

**T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TRAFİK OLAYLARININ ETKİLERİNİN İSTANBUL O2 (TEM) ÖRNEĞİNDE  
DEĞERLENDİRİLMESİ**



**FATİH KEREM BOZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ULAŞTIRMA PROGRAMI**

**DANIŞMAN  
DOÇ. DR. HALİT ÖZEN**

**İSTANBUL, 2016**

T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TRAFİK OLAYLARININ ETKİLERİNİN İSTANBUL O2 (TEM) ÖRNEĞİNDE  
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Fatih Kerem BOZ tarafından hazırlanan tez çalışması 21.04.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Doç. Dr. Halit ÖZEN  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Doç. Dr. Halit ÖZEN  
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Mustafa GÜRSOY  
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Nilgün CAMKESEN  
İstanbul Ticaret Üniversitesi

## ÖNSÖZ

---

Türkiye genelinde gün geçtikçe büyüyen bir problem halini alan karayolu trafiğinin sorunlarını çözmek amacıyla yapılan düşünce fırtınalarına çok önemli fikir desteği sağlayabilmek için; “Trafik Olaylarının Etkilerinin İstanbul O2 (TEM) Örneğinde Değerlendirilmesi” üzerine yaptığım tez çalışmamın faydalı olmasını temenni ediyorum.

Öncelikle tez çalışmamın her aşamasında bilgi ve deneyimleri ile bana yardımcı olan ve yüksek lisans öğrenimimin her aşamasında değerli fikirleri ile bana yol gösteren, tez danışmanım ve saygıdeğer hocam Doç. Dr. Halit ÖZEN’e en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu tezin hazırlanması sırasında, KGM 1. Bölge Müdürlüğü’ne ve İBB Trafik Kontrol Merkezi’ne kaza görüntüsü ve veri temini aşamasındaki yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

İSBK A.Ş.’de çalıştığım dönemde değerli birikimleri ile desteğini esirgemeyen Genel Müdür Yardımcısı Dr. Fatih GÜNDOĞAN’a, Ulaşım Planlama Müdürü Murat Mustafa HARMAN’a, Etüt ve Proje Şefi Dr. Şerif ÇALIŞKAN’a ve çok yoğun çalışmalarına rağmen tez çalışmamda katkıda bulunan başta Ulaşım Planlama Uzmanı Şefika BIYIKLI, Ulaşım Plancısı Zeynep ŞENYER BERKE ve Trafik Sistemleri Uzmanı Zekai KARAGÖZ olmak üzere tüm mesai arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans öğrenimimin ders ve tez aşamasında bana çok yardımcı olan arkadaşım Arş. Gör. Abdulsamet SARAÇOĞLU ile birlikte beni sürekli teşvik eden ve yüreklendiren bütün arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak, bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan ve beni devamlı destekleyen kıymetli aileme çok teşekkür ederim.

Nisan, 2016

Fatih Kerem BOZ

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	xi
ÖZET .....	xii
ABSTRACT.....	xiii
<b>BÖLÜM 1</b>	
GİRİŞ.....	1
1.1    Literatür Özeti .....	2
1.2    Tezin Amacı .....	7
1.3    Hipotez.....	8
<b>BÖLÜM 2</b>	
TRAFİK AKIM KURAMI VE TEMEL KAVRAMLAR .....	9
2.1    Trafik Akımı İle İlgili Değişkenler .....	9
2.1.1    Akım ( $q$ ) .....	10
2.1.2    Hız ( $u$ ).....	10
2.1.3    Yoğunluk ( $k$ ) .....	10
2.1.4    Akım, Hız ve Yoğunluk Değişkenleri Arasındaki İkili İlişkiler .....	11
2.1.4.1    Hız – Yoğunluk İlişkisi .....	11
2.1.4.2    Hız – Akım İlişkisi .....	11
2.1.4.3    Akım – Yoğunluk İlişkisi .....	12
2.2    Şok Dalgası .....	13
2.3    Yığışımli Taşıtlar Sayıları .....	16
2.4    Kuyruk Kuramı.....	18

## BÖLÜM 3

TRAFİKTE OLAY YÖNETİMİ .....	22
3.1 Trafikte Olayın Tanımı .....	22
3.2 Trafikte Olayların Sınıflandırılması .....	23
3.3 Trafik Olayı Yönetimi .....	24
3.3.1 Aşamaları .....	24
3.3.1.1 Tespit .....	25
3.3.1.2 Doğrulama .....	26
3.3.1.3 Olayın Duyurulması .....	26
3.3.1.4 Müdahale .....	27
3.3.1.5 Olay Yeri Yönetimi .....	27
3.3.1.6 Trafik Yönetimi .....	28
3.3.1.7 Olayın Ortadan Kaldırılması .....	29
3.3.2 Performans Ölçütleri .....	29
3.3.3 Trafikte Olay Yönetiminin Amaç ve Faydaları .....	30
3.3.4 Paydaşları ve Görevleri .....	32
3.4 Ülkemizde Trafik Kazalarına Müdahale İşlemleri .....	34

## BÖLÜM 4

TRAFİK BENZETİM MODELLERİ VE OLAY ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: BİR VAKA ANALİZİ .....	36
4.1 Trafik Benzetim Modellerinin Sınıflandırılması .....	36
4.2 Mikrosimülasyon .....	38
4.3 Benzetim Modellerinin Avantajları ve Dezavantajları .....	39
4.4 Mikrosimülasyonun Aşamaları .....	39
4.5 Çalışma Alanı .....	42
4.6 Benzetim Modeli Ulaşım Ağının Hazırlanması .....	45
4.6.1 Normal Trafik Şartları Benzetim Modeli Kalibrasyonu .....	45
4.6.2 Olaylı Durumun Benzetim Modeli Çıktıları .....	53
4.7 Alternatif Senaryoların Oluşturulması .....	57
4.7.1 Tüm Şeritlerin Kapalı Olma Süresinin Azaltılmasının Etkisi .....	58
4.7.2 Kapalı Şerit Sayısının Etkisi .....	64
4.8 Olayın Duyurulmasının Etkisinin İncelenmesi .....	72
4.9 Benzetim Modeli Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	79
4.10 Genel Değerlendirme .....	89

## BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER .....	109
KAYNAKLAR .....	111
ÖZGEÇMİŞ .....	116

## SİMGE LİSTESİ

---

N	Yığılımlı taşıt sayısı
q	Akım
k	Yoğunluk
u	Hız
w	Şok dalgası

## KISALTMA LİSTESİ

---

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ATMS	Advanced Traffic Management System
CAD	Computer Aided Dispatch
CHART	Coordinated Highways Action Response Team
CO	Carbon monoxide
FIFO	First In First Out
FIU	Florida International University
FSM	Fatih Sultan Mehmet
HCM	Highway Capacity Manual
HELP	Highway Emergency Local Patrol
İBB	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
İUAP	İstanbul Ulaşım Ana Planı
İSBAK	İstanbul Ulaşım Haberleşme ve Güvenlik Teknolojileri A.Ş.
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
LIFO	Last In First Out
MAPE	Mean Absolute Percentage Error
NOx	Nitrogen Oxide
ODSİ	Olayın Duyurulma Süresinin İyileştirilmesi
OSYİ	Olay Süresi Yönetiminin İyileştirilmesi
OYYİ	Olay Yeri Yönetiminin İyileştirilmesi
PTV	Planung Transport Verkehr
RIMS	Rutgers Incident Management System
RMSE	Root Mean Square Error
RTMS	Remote Traffic Microwave Sensor
TDK	Türk Dil Kurumu
TEM	Trans European Motorway
TIMH	Traffic Incident Management Handbook
TKM	Trafik Kontrol Merkezi
VISSIM	Verkehr In Städten – SIMulationsmodell
VOC	Volatile Organic Compounds

## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1. 1 Olay kaynaklı toplam tıkanıklık süresi .....	7
Şekil 2. 1 Zamana bağlı yığışımli taşıt sayısı grafiği .....	10
Şekil 2. 2 Hız – yoğunluk ilişkisi .....	11
Şekil 2. 3 Hız – akım ilişkisi .....	12
Şekil 2. 4 Akım – yoğunluk ilişkisi .....	12
Şekil 2. 5 Akım, hız ve yoğunluk arasındaki ilişkiler.....	13
Şekil 2. 6 İki farklı trafik durumu arasındaki arayüzün hızı .....	14
Şekil 2. 7 Bir ağır taşıtın sebep olduğu şok dalgaları .....	15
Şekil 2. 8 Trafik kesilmesinin sebep olduğu şok dalgaları .....	16
Şekil 2. 9 Yığışımli taşıt sayılarıyla kuyrukların ve gecikmelerin öngörülmesi.....	18
Şekil 2. 10 Kuyruk sistemlerinde en iyi hizmet düzeyi .....	19
Şekil 2. 11 Tek kanallı bekleme hattı.....	20
Şekil 2. 12 Çok kanallı bekleme hattı .....	21
Şekil 3. 1 Trafik olayı türleri ve etkileri.....	24
Şekil 3. 2 Olay yönetimi aşamaları .....	25
Şekil 4. 1 Makro – mezo – mikro simülasyon karşılaştırılması.....	38
Şekil 4. 2 Benzetim modeli uygulama süreci.....	41
Şekil 4. 3 Çalışma alanı .....	42
Şekil 4. 4 Olay anına ilişkin basında çıkan görüntüler .....	43
Şekil 4. 5 Asya-Avrupa yönü RTMS noktaları .....	44
Şekil 4. 6 Olayın meydana geldiği yer.....	44
Şekil 4. 7 Normal güne ait gerçek hız verileri ile oluşturulan kontur grafiği .....	49
Şekil 4. 8 Normal güne ait benzetim modelinden elde edilen hız verileri ile oluşturulan kontur grafiği.....	49
Şekil 4. 9 Normal günün gerçek ve benzetim durumunun hız dağılım grafiği .....	50
Şekil 4. 10 Normal günün gerçek ve benzetim durumunun taşıt sayısı dağılım grafiği .	51
Şekil 4. 11 Olaylı duruma ait gerçek hız verileri ile oluşturulan kontur grafiği.....	54
Şekil 4. 12 Olaylı duruma ait benzetim modelinden elde edilen hız verileri ile oluşturulan kontur grafiği .....	55
Şekil 4. 13 İncelenen yol ağındaki kesimler.....	55
Şekil 4. 14 9 Dedektörden alınan hız verileri ile oluşturulan kontur grafiği .....	56
Şekil 4. 15 Olayın değerlendirilmesi.....	57
Şekil 4. 16 Tüm şeritlerin 30 dakika kapalı olma durumunun kontur grafiği.....	59



Şekil 4. 17	Tüm şeritlerin 20 dakika kapalı olma durumunun kontur grafiği.....	61
Şekil 4. 18	Tüm şeritlerin 10 dakika kapalı olma durumunun kontur grafiği.....	63
Şekil 4. 19	3 şeridin kapalı olma durumunun kontur grafiği.....	65
Şekil 4. 20	2 şeridin kapalı olma durumunun kontur grafiği.....	67
Şekil 4. 21	Önce 2 sonra 1 şeridin kapalı olma durumunun kontur grafiği.....	69
Şekil 4. 22	1 şeridin kapalı olma durumunun kontur grafiği.....	71
Şekil 4. 23	Olayın duyurulmasının etkisinin kontur grafiği.....	73
Şekil 4. 24	Olayın duyurulmasının karbonmonoksit salımına etkisi.....	73
Şekil 4. 25	Olayın duyurulmasının nitrojen oksit salımına etkisi.....	74
Şekil 4. 26	Olayın duyurulmasının uçucu organik bileşiklerin salımına etkisi .....	74
Şekil 4. 27	Olayın duyurulmasının yakıt tüketimine etkisi .....	75
Şekil 4. 28	Olayın duyurulmasının taşıt sayısına etkisi .....	76
Şekil 4. 29	Olayın duyurulmasının toplam seyahat süresine etkisi.....	76
Şekil 4. 30	Olayın duyurulmasının toplam gecikmeye etkisi.....	77
Şekil 4. 31	Olayın duyurulmasının toplam duruş sayısına etkisi .....	77
Şekil 4. 32	Tüm şeritlerin kapalı olma sürelerine göre karbonmonoksit salımı .....	80
Şekil 4. 33	Tüm şeritlerin kapalı olma sürelerine göre nitrojen oksit salımı .....	80
Şekil 4. 34	Tüm şeritlerin kapalı olma sürelerine göre uçucu organik bileşiklerin salımı .....	81
Şekil 4. 35	Tüm şeritlerin kapalı olma sürelerine göre yakıt tüketimi .....	81
Şekil 4. 36	Tüm şeritlerin kapalı olma sürelerine göre taşıt sayısı .....	82
Şekil 4. 37	Tüm şeritlerin kapalı olma sürelerine göre toplam seyahat süresi .....	83
Şekil 4. 38	Tüm şeritlerin kapalı olma sürelerine göre toplam gecikme.....	83
Şekil 4. 39	Tüm şeritlerin kapalı olma sürelerine göre toplam duruş sayısı .....	84
Şekil 4. 40	Kapalı şerit sayısına göre karbonmonoksit salımı.....	84
Şekil 4. 41	Kapalı şerit sayısına göre nitrojen oksit salımı.....	85
Şekil 4. 42	Kapalı şerit sayısına göre uçucu organik bileşiklerin salımı .....	86
Şekil 4. 43	Kapalı şerit sayısına göre yakıt tüketimi .....	86
Şekil 4. 44	Kapalı şerit sayısına göre taşıt sayısı .....	87
Şekil 4. 45	Kapalı şerit sayısına göre toplam seyahat süresi .....	87
Şekil 4. 46	Kapalı şerit sayısına göre toplam gecikme.....	88
Şekil 4. 47	Kapalı şerit sayısına göre toplam duruş sayısı .....	88
Şekil 4. 48	Olay süresinin azaltılmasının toplam seyahat süresine etkisi .....	89
Şekil 4. 49	Olay yeri yönetiminde iyileştirilme yapılmasının toplam seyahat süresine etkisi .....	90
Şekil 4. 50	Olayın duyurulmasının toplam seyahat süresine etkisi.....	90
Şekil 4. 51	Olay süresinin azaltılmasının toplam gecikmeye etkisi .....	91
Şekil 4. 52	Olay yeri yönetiminde iyileştirme yapılmasının toplam gecikmeye etkisi ..	92
Şekil 4. 53	Olayın duyurulmasının toplam gecikmeye etkisi.....	92
Şekil 4. 54	Olay süresinin azaltılmasının ortalama hıza etkisi .....	93
Şekil 4. 55	Olay yeri yönetiminde iyileştirme yapılmasının ortalama hıza etkisi .....	94
Şekil 4. 56	Olayın duyurulmasının ortalama hıza etkisi .....	94
Şekil 4. 57	Olay süresinin azaltılmasının toplam duruş sayısına etkisi.....	95
Şekil 4. 58	Olay yeri yönetiminde iyileştirme yapılmasının toplam duruş sayısına etkisi .....	96
Şekil 4. 59	Olayın duyurulmasının toplam duruş sayısına etkisi .....	97

Şekil 4. 60	Olay süresinin azaltılmasının yakıt tüketimine etkisi.....	98
Şekil 4. 61	Olay yeri yönetiminde iyileştirme yapılmasının yakıt tüketimine etkisi.....	98
Şekil 4. 62	Olayın duyurulmasının yakıt tüketimine etkisi .....	99
Şekil 4. 63	Olay süresinin azaltılmasının karbonmonoksit salımına etkisi .....	100
Şekil 4. 64	Olay yeri yönetiminde iyileştirme yapılmasının karbonmonoksit salımına etkisi .....	101
Şekil 4. 65	Olayın duyurulmasının karbonmonoksit salımına etkisi.....	101
Şekil 4. 66	Olay süresinin azaltılmasının nitrojen oksit salımına etkisi .....	102
Şekil 4. 67	Olay yeri yönetiminde iyileştirme yapılmasının nitrojen oksit salımına etkisi .....	103
Şekil 4. 68	Olayın duyurulmasının nitrojen oksit salımına etkisi.....	104
Şekil 4. 69	Olay süresinin azaltılmasının uçucu organik bileşiklerin salımına etkisi....	105
Şekil 4. 70	Olay yeri yönetiminde iyileştirme yapılmasının uçucu organik bileşiklerin salımına etkisi.....	106
Şekil 4. 71	Olayın duyurulmasının uçucu organik bileşiklerin salımına etkisi .....	106

## ÇİZELGE LİSTESİ

---

	Sayfa
Çizelge 4. 1 Normal durumun benzetiminin analiz sonuçları .....	46
Çizelge 4. 2 Normal durumun hacim değerleri ve sapma oranları .....	51
Çizelge 4. 3 Normal durumun hız değerleri ve sapma oranları.....	52
Çizelge 4. 4 Olaylı durumun benzetiminin analiz sonuçları .....	56
Çizelge 4. 5 Tüm şeritlerin 30 dakika kapalı olma durumunun analiz sonuçları .....	59
Çizelge 4. 6 Tüm şeritlerin 20 dakika kapalı olma durumunun analiz sonuçları.....	61
Çizelge 4. 7 Tüm şeritlerin 10 dakika kapalı olma durumunun analiz sonuçları .....	63
Çizelge 4. 8 3 şeridin kapalı olma durumunun analiz sonuçları .....	65
Çizelge 4. 9 2 şeridin kapalı olma durumunun analiz sonuçları .....	67
Çizelge 4. 10 Önce 2 şeridin sonra 1 şeridin kapalı olma durumunun analiz sonuçları.	69
Çizelge 4. 11 1 şeridin kapalı olma durumunun analiz sonuçları.....	71
Çizelge 4. 12 Olayın duyurulmamasının etkilerinin olaylı durum ve normal durum ile karşılaştırılması.....	78
Çizelge 4. 13 Olayın duyurulmasının etkisinin analiz sonuçları .....	78
Çizelge 4. 14 Senaryoların toplam seyahat süresine göre parasal kazançları .....	91
Çizelge 4. 15 Senaryoların toplam gecikmeye göre maddi kazançları.....	93
Çizelge 4. 16 Senaryolara göre taşıtların ortalama hızı.....	95
Çizelge 4. 17 Senaryolara göre taşıtların toplam duruş sayıları.....	97
Çizelge 4. 18 Senaryoların yakıt tüketimine göre maddi kazançları .....	99
Çizelge 4. 19 Senaryoların karbonmonoksit salımına göre maddi kazançları.....	102
Çizelge 4. 20 Senaryoların nitrojen oksit salımına göre maddi kazançları.....	104
Çizelge 4. 21 Senaryoların uçucu organik bileşiklerin salımına göre maddi kazançları	107
Çizelge 4. 22 Senaryolara göre olayın iyileştirilmesinde elde edilen kazançlar.....	107

## TRAFİK OLAYLARININ ETKİLERİNİN O2 (TEM) ÖRNEĞİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ

Fatih Kerem BOZ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Halit ÖZEN

Karayolu kapasitesinde anormal bir azalma veya talepte anormal bir artışa sebep olan tekrarsız durumlar (araç arızaları, çarpışmaları vb.) trafik olayı olarak tanımlanmaktadır. Farklı kaynaklara göre trafikte oluşan gecikmelerin yaklaşık % 25'lik bir bölümü trafik olaylarından kaynaklanmaktadır. Bu olaylar, kapasiteyi doğrudan (kısmi veya tüm şerit kapanması gibi) veya dolaylı olarak (sürücülerin olayı izlemek için yavaşlaması gibi) etkilemekte; trafikteki gecikmelerde ve seyahat süresinde, yakıt tüketiminde, çevreye zararlı gazların salımında artışlar söz konusu olmaktadır. Trafikte meydana gelen olayların olumsuz etkilerinin azaltılmasına yönelik, ulaşım ağının yapım, bakım ve işletilmesinden sorumlu kurumlar ile acil müdahale ekipleri, polis gibi ilgili kurumlara da büyük görevler düşmektedir. Olay süreci boyunca olayın etkilenme alanına giren kesimde oluşacak olumsuz etkilerin belirlenmesi büyük bir öneme sahiptir. Bu amaca yönelik olarak tez çalışması kapsamında, İstanbul O2 Otoyolu üzerinde meydana gelen bir trafik kazası farklı senaryolar ile birlikte VISSIM mikrosimülasyon programı yardımıyla incelenmiştir. Analiz sonucunda; trafik olaylarının karayolu işletimi performans ölçütleri üzerindeki olumsuz etkileri saptanmış ve olay yönetimi stratejileri sayesinde kazanılan faydaları belirtilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İstanbul O2 Otoyolu, trafik olayı, performans ölçütleri, benzetim.

**EVALUATION OF THE EFFECTS OF TRAFFIC INCIDENTS ON O2 (TEM)**

Fatih Kerem BOZ

Department of Civil Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Halit ÖZEN

Traffic incident is defined as an un-recurring traffic congestion that cause an abnormal reduction in road capacity or increase on traffic demand due to vehicle breakdowns, collisions, etc. About 25% of the delays that occur in traffic caused by traffic incident according to the different sources. Traffic delay, travel time, fuel consumption and emission of harmful gases increases because of these events that effect the capacity directly (closing lane) or indirectly (rubber necking effect). Responsible agencies for construction, operation and maintenance of the highway network, relevant institution like fire, emergency, and traffic law enforcement departments have special tasks to reduce the effects of that type of incidents. Estimation of incident duration time and determination of effected road network segment have great importance as term of reduction the effects of incident. For this purpose the scope of the thesis, a traffic incident that occurs on Istanbul O2 Motorway has been analysed with different senarios with the help of VISSIM microsimulation program. At the end of analysis, the negative effects of traffic incidents on highway operating performance measures determined and gained benefits indicated through incident management strategies.

**Keywords:** Istanbul O2 Motorway, traffic incident, performance measures, simulation.

---

**YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY  
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE**

### GİRİŞ

Karayolu kapasitesinde anormal bir azalma veya talepte anormal bir artışa sebep olan tekrarsız durumlar (araç arızaları, çarpışmaları vb.) trafik olayı olarak tanımlanmaktadır. Farklı kaynaklara göre trafikte oluşan gecikmelerin yaklaşık % 25'lik bir bölümü trafik olaylarından kaynaklanmaktadır. Bu olaylar, kapasiteyi doğrudan (kısmi veya tüm şerit kapanması gibi) veya dolaylı olarak (sürücülerin olayı izlemek için yavaşlaması gibi) etkilemekte; trafikteki gecikmelerde ve seyahat süresinde, yakıt tüketiminde, çevreye zararlı gazların salımında artışlar söz konusu olmaktadır. Trafikte meydana gelen olayların olumsuz etkilerinin azaltılmasına yönelik, ulaşım ağının yapım, bakım ve işletilmesinden sorumlu kurumlar ile acil müdahale ekipleri, polis gibi ilgili kurumlara da büyük görevler düşmektedir. Olay süreci boyunca olayın etkilenme alanına giren kesimde oluşacak olumsuz etkilerin belirlenmesi büyük bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, karayolu üzerinde meydana gelen olaylar karşısında;

- Kullanıcıların sergileyecekleri davranışları belirlemelerinde yardımcı olması (seyahatleri esnasında güzergâh değişikliği yapmaları, seyahatlerine farklı bir ulaşım türü ile devam etmeleri gibi),
- İşleticilerin, olayın etkisinin azaltılmasına yönelik daha verimli stratejiler geliştirmeleri (kullanıcıların olay ve süresi hakkında bilgilendirilmesi, farklı güzergâh alternatiflerinin tanımlanması gibi),
- Karar vericilerin, planlama ve projelendirme aşamasında trafikte olay yönetimine ilişkin yatırımları değerlendirmeleri,

için, olayın trafik akımı üzerindeki olumsuz etkisinin belirlenmesine yönelik modellerin geliştirilmesi önem arz etmektedir.

### **1.1 Literatür Özeti**

Olayın meydana geldiği kesit üzerinde olayın şekline, yol kesitine bağlı olarak oluşturduğu etkinin tespit edilmesi ve değerlendirilmesi; özellikle Akıllı Ulaşım Sistemleri'nde ve karayolu projelerinde yapılacak kamu harcamalarının belirlenmesinde büyük bir önem arz etmektedir. Gecikmeler, ikincil kazalar, çevresel kirlenmeler ve tıkanıklıklar dikkate alındığında karayolu olayları, toplumlara önemli maliyetler yüklemektedir [1]. Bu maliyetler, olayların konumuna, süresine, şiddetine ve mevcut karayolu ağının performansına göre simüle edilerek tespit edilebilmektedir. Trafik benzetim (simülasyon) modellerinin kullanılması, değiştirilebilen girdilerle olayın ağ performansı üzerindeki etkilerini belirleyen düşük maliyetli bir yaklaşım sunmaktadır. Bu sayede, olaylardan kaynaklanan gecikmeler, yakıt tüketimi, araçların durma sayısı, ortalama hızlar, seyahat süreleri, zararlı gaz emisyonları gibi birçok farklı gösterge elde edilebilmektedir [1], [3].

Trafikte meydana gelen olayların neden olduğu olumsuzluklar, ulaştırma kurumları tarafından uygulanan olay yönetimi stratejileri ile büyük ölçüde azaltılmaktadır. Ancak, bu stratejilerin uygulanması durumunda elde edilecek faydaların önceden belirlenmesi ve fayda-maliyet analizleri yapılarak uygulanıp uygulanmayacağına karar verilmesi gerekmektedir. Aksi halde, yapılacak yatırımların faydasız olması kamu kaynaklarının boşa harcanmasına neden olacaktır. Olay yönetimi uygulamalarının getireceği faydalar, saha çalışmaları veya trafik benzetim modeli kullanılarak değerlendirilebilmektedir. Saha çalışmalarının pahalı olması ve alternatif senaryolar oluşturulamaması nedeniyle genellikle mikroskobik trafik benzetim modeli kullanılmaktadır. Mikroskobik benzetim modelleri ile kontrollü bir ortamda farklı senaryoları kolay bir şekilde tanımlamak ve değerlendirmek mümkün olmaktadır [2]. Olay ve olay yönetimi etkilerinin değerlendirilmesi ile ilgili yapılan çalışmalarda AIMSUN [1], [6], PARAMICS [4], VISSIM [5], [7], [9] ve CORSIM [8] gibi farklı mikrosimülasyon modelleri kullanılmıştır.

Trafikte meydana gelen olayların etkili bir şekilde yönetilmesi trafiğin gecikmesini azaltarak, sera gazı emisyonlarının, yakıt tüketiminin ve ikincil kaza (karayolunda bir olayın meydana gelmesinin ardından olay mahalli içinde veya olayın oluşturduğu kuyruk bölgesinde karşı yön de dâhil olmak üzere meydana gelen plansız olaylar) olma riskinin de azalmasını sağlar. Birçok çalışmada olay yönetimi stratejilerinin etkisi oldukça olumlu bulgular ile tahmin edilmiştir. ABD’de 1960 yılından itibaren otoyollarda servis devriyelerinin kullanılmaya başlanması ile [10] son zamanlarda yapılan çalışmalarda yılda 23.4 milyon saate [11] kadar gecikmelerden tasarruf sağlandığı görülmüştür. İleri Trafik Yönetim Sistemi (Advanced Traffic Management System-ATMS) sayesinde ise her bir olay için taşıt başına 700 saat kazanılmıştır [12]. Bu gecikmedeki azalma, Amerikalıların daha hızlı işe gitmelerini ve ailelerine ve sosyal aktivitelerine daha çok zaman ayırmalarını sağlamıştır [4].

Gomes ve arkadaşları 2004 yılında yaptıkları çalışmada, VISSIM mikrosimülasyon programı yardımıyla tıkalı bir otoyolu incelemiş ve çalışmayı programın sürücü davranışı parametrelerini kullanarak kalibre etmişlerdir. Karmaşık etkileşimler içeren böyle bir otoyol çalışmasında VISSIM mikrosimülasyon programının çok uygun olduğunu görmüşlerdir [13].

Olay yönetiminin ekipmanları ve stratejileri yardımıyla tahmin edilen yakıt tasarrufu, çalışma metodolojilerine ve mevcut trafik sıklığına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Kaliforniya’da otoyol servis devriyeleri sayesinde olay başına 117,3 litre [14] ve Teksas’ta da ATMS sayesinde olay başına 9841 litre [12] tasarruf sağlandığı görülmüştür.

Koordineli Karayolu Eylem Müdahale Ekibi (Coordinated Highways Action Response Team-CHART), Maryland ve Washington D.C. komşu otoyollarında olay yönetimi için otoyol servis devriyelerinden yararlanmıştır. CHART, ABD’de olay yönetimi ile ilgili yapılan çalışmalar arasında en iyilerden biri kabul edilmektedir. Bu sistem ile olay süresi 93 dakikadan 42 dakikaya düşürülmüş, yıllık gecikme miktarından 23,36 milyon taşıt saat, yıllık yakıt miktarından da 32,6 milyon litre tasarruf sağlanmıştır [11].

1999 yılında CHART azaltılmış emisyonlar da dâhil olmak üzere (hidrokarbonlar, karbonmonoksit ve nitrojen oksit) yakıt ve gecikmelerden yaklaşık olarak 25,7 milyon



dolar tasarruf elde etmiştir. 2000 yılında, CHART sayesinde olay süresi 77 dakikadan 33 dakikaya düşürülmüş, 24,24 milyon taşıt saat gecikme, yaklaşık olarak 15,52 milyon litre yakıt ve 26,7 milyon dolar tasarruf sağlanmıştır [15].

2007 yılında, Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) zorunlu seyahat edenlerin (ev-iş, iş-ev gibi) sıkışıklık nedeniyle 10,6 milyar litre yakıt ve 4,2 milyar saat zaman boşa harcadığı tespit edilmiştir [16].

Orange Kasabası'ndaki otoyol servis devriyeleri olay yönetimi sayesinde her olay başına tahmini olarak yıllık 7,6 ton hidrokarbon, 19,1 ton nitrojen oksit (NOx) ve 77,2 ton karbonmonoksit (CO) emisyonu azalmasına katkıda bulunmuşlardır [14]. Benzer şekilde, San Francisco otoyol servis devriyeleri sayesinde yıllık 320 ton NOx, 129 ton CO ve 13 ton hidrokarbon emisyonu azalma sağlanmıştır [16].

Otoyol servis devriyeleri tüm olaylara müdahale ederken, olay yönetimi ekipleri de büyük olayların temizlenmesine yardımcı olmaktadır. 1997 yılında Cambridge'nin yaptığı çalışmaya göre, yıllık otoyol servis devriyeleri tarafından 3,9 milyon taşıt saat (öncelikle küçük kazalar) ve olay yönetimi ekipleri tarafından 5,6 milyon taşıt saat olmak üzere toplam yaklaşık olarak 9,5 milyon taşıt saat gecikme tasarruf sağlanmıştır [17]. Benzer bir çalışmada, New York Eyaleti'ndeki Rockland ve Westchester kasabalarında Otoyol Acil Bölgesel Devriye (HELP) araçlarının gecikmede yılda 685 bin taşıt saat tasarruf sağladığı görülmüştür [18].

Liu ve Hall 2000 yılında yaptıkları çalışmada, otoyoldaki olayların oluşumunu, acil durum araçlarının sevkini ve yol ağındaki trafik akışını simüle eden INCISIM adında bir benzetim programı geliştirmişlerdir [19].

Özbay ve Bartın (2003) tarafından yapılan çalışmada, olay yönetimi stratejilerinin performansını değerlendirmek için müdahale araçlarının ve trafik koşullarının farklı türlerini içeren eksiksiz bir benzetim modeli geliştirilmiştir [20].

Hadi ve arkadaşları (2013) yaptıkları çalışmada, daha önce gözlemlenen olayların gecikmelerini tahmin etmek için makroskobik ve mikroskobik benzetim modellerinden (FREEVAL ve CORSIM) yararlanmışlardır [21].

Berdica ve arkadaşları 2003 yılında yaptıkları çalışmada, kısa süreli kapanmalar için mikrosimülasyon programı kullanmanın uygun olduğunu görmüşlerdir [22].

Gale ve Spiers (2001), Birmingham şehrinin otoyol ağında meydana gelen bir olayın ardından en iyi yönetim planının belirlenebilmesi için mikrosimülasyon modellerinin kullanımını araştırmışlardır [23].

Özbay ve arkadaşları (2009) çeşitli olay yönetimi stratejileri ve teknolojilerinin yararlarını değerlendirmek için geliştirilen ve Daganzo [24] tarafından önerilen hücre iletim modeline dayalı gerçekçi bir benzetim modeli olan Rutgers Olay Yönetimi Sistemi (RIMS) yazılımını kullanarak trafiği/olayı benzetmeye çalışmışlardır [25].

Gürsoy ve arkadaşları (2006) trafik kazalarının etkisini ölçmek için kuyruk modelleriyle benzetim modelini birleştirmişlerdir. Trafik kazaları nedeniyle oluşan gecikmeleri öngörmek için bir tahmin metodu geliştirdikleri çalışmada, kuyruğa dayalı bir yaklaşım kullanarak çalışmanın sonuçlarını benzetim ile karşılaştırmışlardır. Kuyruk modelinin sonuçlarının benzetim modelinin sonuçlarına çok yakın çıktığını görmüşlerdir. Bu sayede olay yönetimi amacıyla kuyruk modelini benzetim modeline etkili bir alternatif olarak önermişlerdir [26].

Lindley (1987) meydana gelen bir olayın erken tespit edilmesinin ikincil kaza riskini önemli derecede azalttığı belirtmiştir [27].

Yaşar 2010 yılında yaptığı çalışmada, şehir yollarında güvenliği iyileştirmek ve mobilitayı arttırmak için kaza-olaylara hızlı bir şekilde müdahale edilmesini amaçlayan mevcut kaza-olay tespit algoritmalarını inceleyerek uygulamalara yol göstermeyi amaçlamıştır [28].

Şekil 1. 1'de trafikte meydana gelen bir kazanın etkileri gösterilmiştir. Yatay eksen zamanı, dikey eksen de trafik hacmini (geliş ve gidiş) temsil eder. Bu çizgilerin eğimi, hem geliş hem de gidişler için akım oranına karşılık gelir. Bir olay meydana geldiğinde, olayın meydana geldiği yerden sonraki gerçek trafik akımı karayolu kapasitesinin azalması nedeniyle düşer. Olay temizlendiğinde, trafik akımı, kaza alanının memba kısmında kuyruklanma oluşturan taşıtlar nedeniyle normal talepten daha yüksektir. Bununla birlikte, trafik akımı, olayın meydana geldiği yerde karayolunun maksimum

kapasitesiyle sınırlıdır. Trafiği yönlendirme sayesinde gecikme azalması noktalarla belirtilmiş bölgede gösterilmiştir.

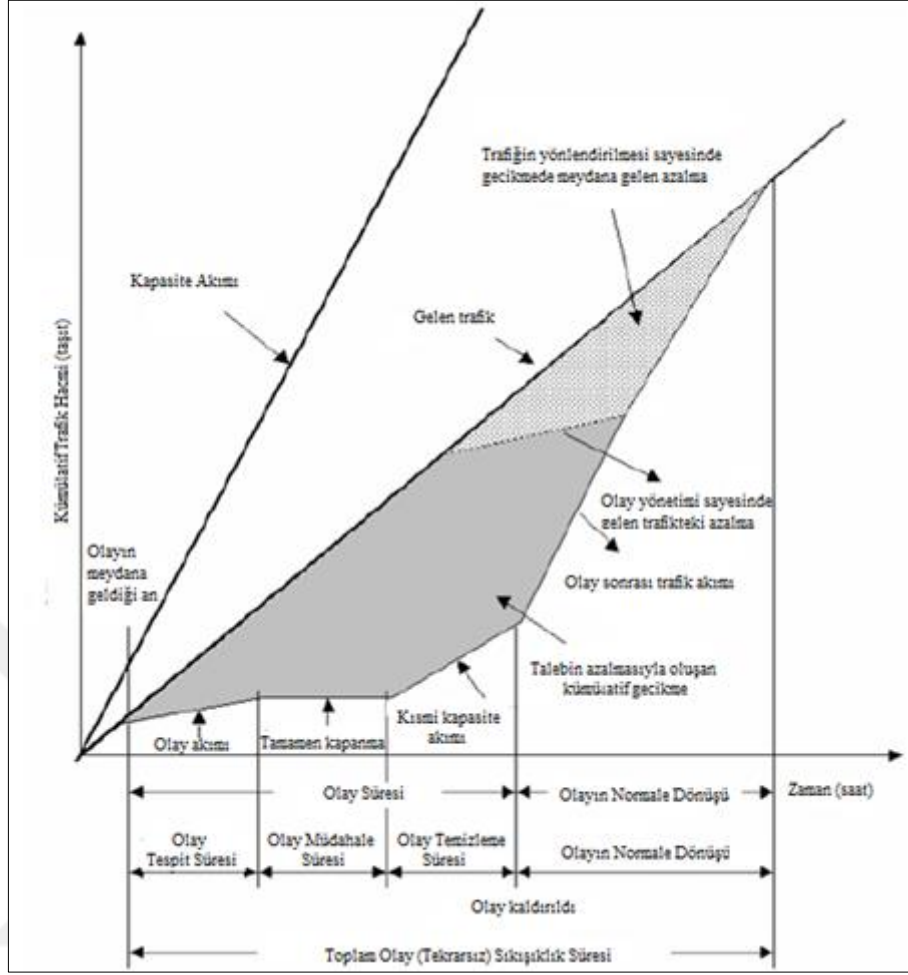
Olay süresi analizi: Şekil 1. 1'de gösterildiği gibi, bir olayın toplam süresi, başından sonuna kadar, Cambridge Sistematik raporunda verilen tanımlara dayanarak aşağıda kısaca tanımlanan birkaç küçük dönemlere ayrılabilir.

1.Olay algılama süresi (tn): Olayın meydana geldiği zaman ile kuruluşların olaydan haber oldukları zamana kadar geçen zamandır.

2.Sevk süresi (td): Olayın müdahale ekiplerine bildirilmesi ile en uygun acil durum aracının olaya atanması arasında geçen zamandır. Eğer bir hizmet aracı varsa, o zaman td sifıra eşittir. Aksi takdirde, td bir hizmet aracı kullanılabilir hale gelinceye kadar bekleme süresine eşittir.

3.Seyahat süresi (tt): Hizmet araçlarının tahsisi ile hizmet araçlarının olay mahaline varışı arasında geçen zamandır. Seyahat süresi, olay yeri ve atanan acil servis yeri arasındaki mesafeye ve trafik koşullarına bağlıdır. Sevk süresi, sevk politikasının tipinden, mevcut acil durum araçlarından ve genel trafik koşullarından vb. etkilenmiş olacaktır.

4.Temizleme süresi (tc): Temizleme süresi, acil durum araçlarının gelişi ile olayın tamamen temizlenmesi arasında geçen zamandır. Tespit, müdahale ve temizlik süresindeki azalmaların toplam olay süresini azalttığı açıktır. Bu elbette, etkin teknolojik çözümlerin kullanılmasını daha da önemli kılmaktadır [25].



Şekil 1. 1 Olay kaynaklı toplam tıkanıklık süresi

## 1.2 Tezin Amacı

Trafik olay yönetiminde, trafikte meydana gelen olayların etkili ve doğru bir şekilde yönetilmesi hayati önem taşımaktadır. Bu noktada, ulaşım ağının yapım, bakım ve işletilmesinden sorumlu kurumlar ile acil müdahale ekipleri, polis gibi ilgili kurumlara büyük görevler düşmektedir. Bu kurumlar tarafından, olay yönetimi kapsamında yapılacak yatırımların fayda-maliyet analizlerinin çıkarılmasında; olayın etkilenme alanına giren kesimde oluşacak olumsuz etkilerin belirlenmesi büyük bir öneme sahiptir. Bu tez çalışmasının amacı, İstanbul O2 Otoyolu üzerinde meydana gelen bir trafik kazasının farklı senaryolar ile birlikte incelenmesi sonucunda; trafik olaylarının karayolu işletimi performans göstergeleri üzerindeki olumsuz etkilerinin saptanması ve olay yönetimi stratejileri sayesinde kazanılan faydaların belirlenmesidir.

### **1.3 Hipotez**

Bu tez çalışmasında, olay yönetiminin ne derece önemli olduğu farklı senaryolar ile analizler yapılarak değerlendirilecektir. Olay yeri yönetiminin, olayın yönetiminin ve olayın duyurulmasının yaygınlaştırılması zararlı gazların salımı, gecikme ve yakıt tüketiminde azalmalara, ortalama hızın artmasına sebep olacağı düşünülmektedir. Çalışma sonucunda elde edilecek çıktılarla, trafik olay yönetiminin sağlayacağı ekonomik yararlar belirlenecek ve olay yönetiminden sorumlu kurumların kendilerine düşen sorumlulukları en verimli şekilde yerine getirmelerinin önemi ortaya konulacaktır.



### TRAFİK AKIM KURAMI VE TEMEL KAVRAMLAR

Trafik, bir yolu ulaşım, yolcu ve yük taşıma, gezinti gibi belli amaçlarla kullanan tek veya çok sayıda insan, binek veya sürü halindeki hayvan, motorlu ya da motorsuz araçların yüklü veya yüksüz yaptıkları her türlü harekettir [29].

Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Terimleri Sözlüğü'ne göre trafik, yayaların, hayvanların ve araçların karayolları üzerindeki hal ve hareketleri olarak tanımlanmaktadır [30].

Karayolu Kapasite Kılavuzu'nda (Highway Capacity Manual-HCM) trafik, yolculuk veya taşıma amacı ile yayaların ve taşıtların, yükleri ile beraber, tek başlarına veya topluca herhangi bir ulaştırma aracını kullanırken yaptıkları her türlü hareket olarak ifade edilmektedir [31].

Trafik ve ulaşım mühendisliğinin amacı, yol ağındaki gecikmeyi azaltarak veya toplumun istenmeyen etkilere maruz kalmasını önleyerek ve trafik akımını iyileştirerek akışı kontrol etmektir. Taşıt trafiğinin analizi, karayolunun verimli bir şekilde işletilmesi için bir temel oluşturmaktadır. Birim zamandaki taşıt sayısı (hacim), taşıt tipleri, taşıt hızları ve trafik akımında zamana bağlı değişimler gibi birçok trafik ölçütü, karayolunun tasarımı, işletimi ve dolayısıyla verimliliğini etkilediği için, trafik akımının değerlendirilmesi ve analiz edilmesi gerekmektedir [32].

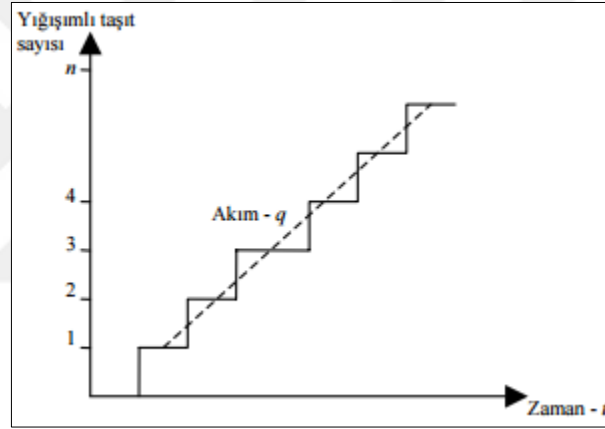
#### 2.1 Trafik Akımı ile İlgili Değişkenler

Trafik akımları ile ilgili değişkenler; trafiğin temel değişkenleri ve trafiğin türetilmiş değişkenleri olarak ikiye ayrılmaktadır. 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), hız (u) ve yoğunluk (k) olarak adlandırılır.

### 2.1.1 Akım (q)

Akımın sürekli olduğu belirli bir yol kesitinden, belli bir zaman aralığında geçen taşıt sayısına akım denir (Şekil 2. 1). Zaman dilimi 1 saat olarak alınabildiği gibi 5, 10 ve 15 dakikalık dilimler şeklinde de olabilir. Akım (akım oranı, akım değeri), 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 [33].



Şekil 2. 1 Zamana bağlı yığılımlı taşıt sayısı grafiği

### 2.1.2 Hız (u)

Trafiği meydana getiren taşıtların tek tek değil toplu halde oluşturdukları akımın birim zamanda aldığı yola hız denir. Buradaki birim zaman, genellikle, 1 saat veya 1 saniye olarak alınmaktadır. Trafiğin temel değişkenlerine bağlı olarak hız formülü  $u = x / t$  olarak ifade edilir.

### 2.1.3 Yoğunluk (k)

Yoğunluk, herhangi bir anda belirli bir yolun birim uzunluğunda bulunan taşıt sayısıdır. Buradaki birim uzunluk çoğunlukla 1 kilometre olarak alınmaktadır. Birim uzunluk

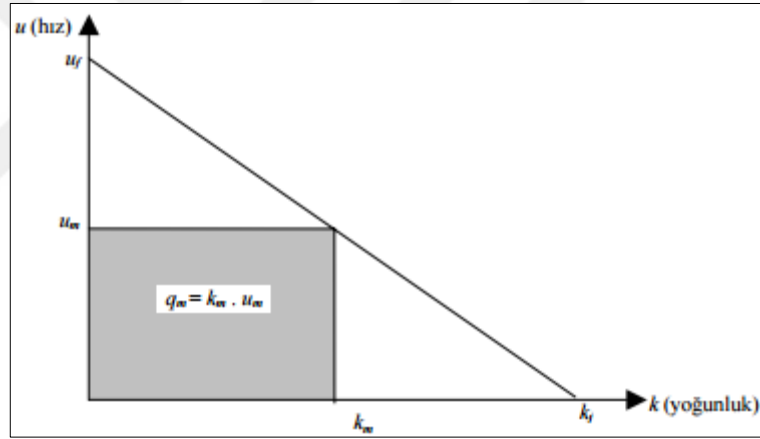
içindeki tüm şeritlerin toplamı veya yalnızca tek şerit için tanımlanan yoğunluk,  $k = n / x$  olarak ifade edilir.

#### 2.1.4 Akım, Hız ve Yoğunluk Değişkenleri Arasındaki İkili İlişkiler

Akım, hız ve yoğunluk değişkenleri arasındaki hız-yoğunluk, hız-akım ve akım-yoğunluk ilişkileri trafik akım kuramının temelini oluşturmaktadır.

##### 2.1.4.1 Hız – Yoğunluk İlişkisi

Hız ve yoğunluk arasındaki ilişki Şekil 2. 2’de görülmektedir. Hız ve yoğunluk arasında ters ve doğrusal bir ilişki vardır. Yoğunluk arttıkça hız azalmaktadır. Burada  $u_f$  serbest akım hızını göstermektedir. Bu grafik içerisindeki bir köşesi başlangıç ve bir köşesi de doğru üzerinde olan bir dikdörtgenin alanı trafik akımını ya da hacmini gösterir [33].

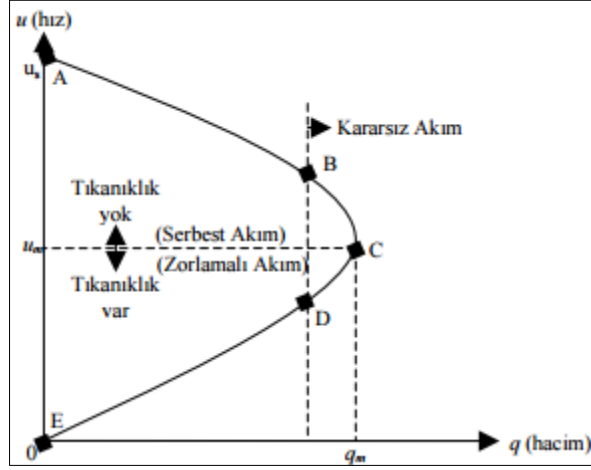


Şekil 2. 2 Hız – yoğunluk ilişkisi

##### 2.1.4.2 Hız – Akım İlişkisi

Hız – akım arasındaki ilişki Şekil 2. 3’te gösterilmiştir. 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 düşüşe geçerler. Kapasitenin hemen altındaki ve üstündeki bölgede (BD-C arasında) trafik akımı kararsız bir hal almakta; akımın AB bölgesinde “serbest” ve DE bölgesinde “zorlamalı” olarak aktığı bilinmektedir [33].

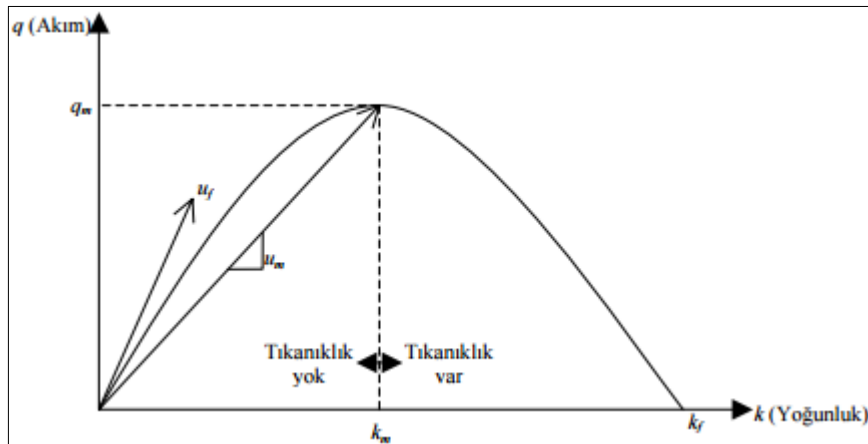




Şekil 2. 3 Hız – akım ilişkisi

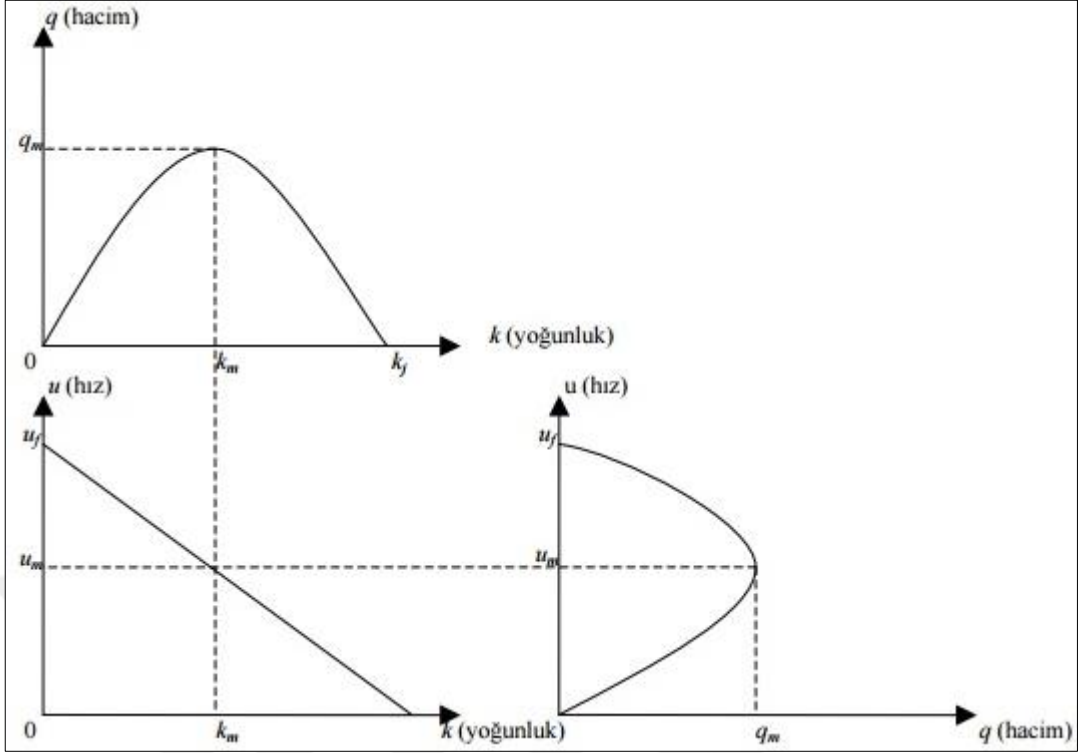
### 2.1.4.3 Akım – Yoğunluk İlişkisi

Akım – yoğunluk ilişkisi Şekil 2. 4’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 (örneğin  $u_m$ ). Başlangıç noktasındaki teğetin eğimi ( $u_f$ ) de “serbest hızı” verir [33].



Şekil 2. 4 Akım – yoğunluk ilişkisi

Bu üç grafiğin birbiriyle ilişkileri Şekil 2. 5’deki gibi gösterilebilir.

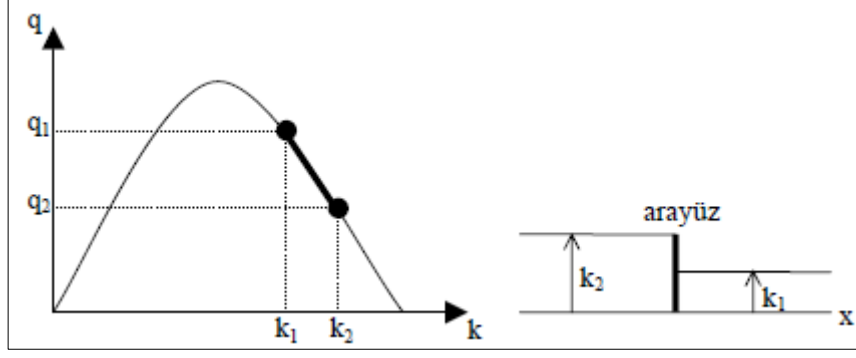


Şekil 2. 5 Akım, hız ve yoğunluk arasındaki ilişkiler

## 2.2 Şok Dalgası

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 eğrisinin 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 arayüzün hareket hızını verecektir ( $w = \Delta q / \Delta k$ ). Bu arayüz Şekil 2. 6'daki gibi gösterilebilir.

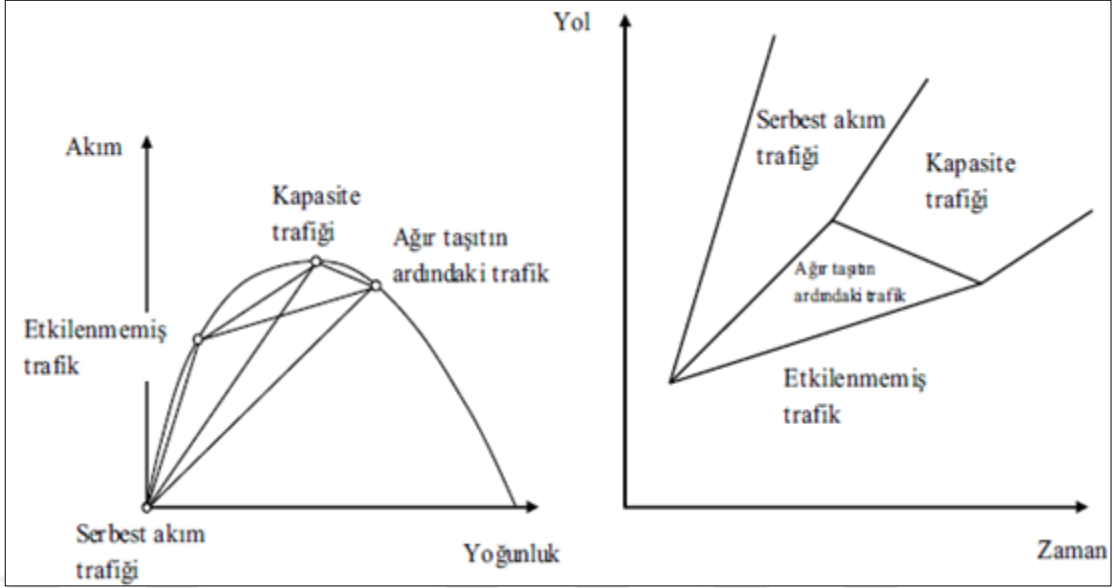


Şekil 2. 6 İki farklı trafik durumu arasındaki arayüzün hızı

Buna göre, Şekil 2. 6'daki  $(q_1, k_1)$  ve  $(q_2, k_2)$  durumları arasındaki arayüzün kinematik dalga hızı (2.1)'de gösterildiği gibi yazılabilir:

$$w = \frac{q_2 - q_1}{k_2 - k_1} = -\frac{\Delta q}{\Delta k} \quad (2.1)$$

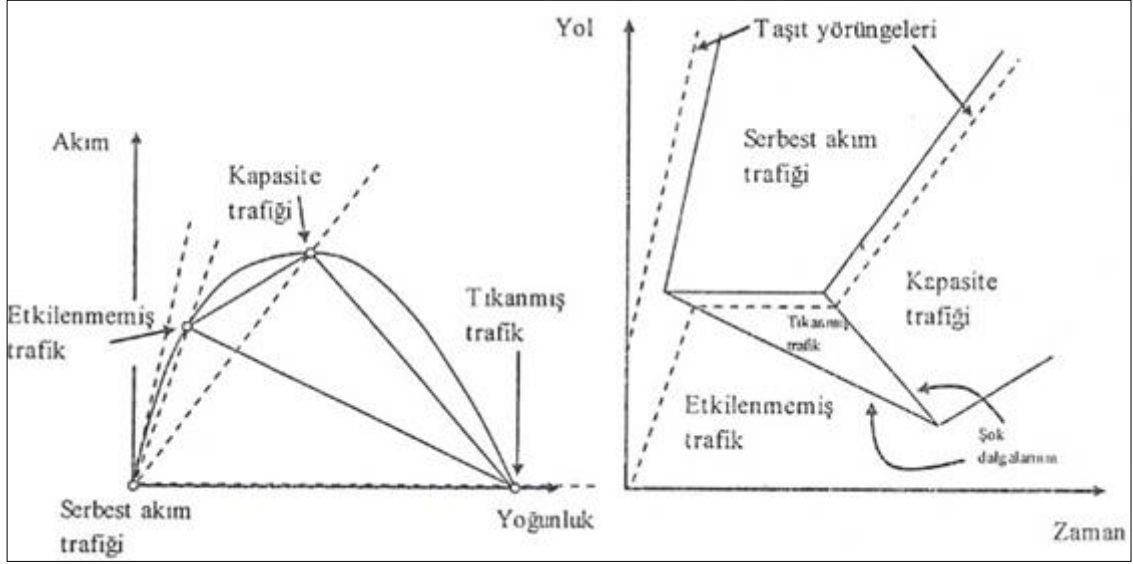
Trafiği tıkayan bir ağır taşıtın sebep olduğu şok dalgaları (ya da kinematik dalgalar) Şekil 2. 7'de görülmektedir. Burada, ağır taşıtın hızı kapasite şartlarındaki akım hızından küçük olup, sollama yapma olanağı bulunmamaktadır. Akım-yoğunluk eğrisi üzerindeki doğru parçaları farklı trafik durumlarını 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 mesafesine erişmek için hızlandığında gözlenir [33].



Şekil 2. 7 Bir ağır taşıtın sebep olduğu şok dalgaları

Eğer, ağır taşıtın hızı, gelen (etkilenmemiş) taşıtların hızından daha küçük ve kapasitedeki hızdan daha büyük olduğunda, gelen taşıtlar, ağır taşıtın arkasındaki trafiğe katılırken yavaşlar ve taşıt dizisinin ön tarafında serbest kaldıktan sonra -yani, ağır taşıt yoldan ayrıldıktan sonra orijinal hızlarına yeniden yükselirler (bu durum Şekil 2. 7’de gösterilmemiştir). Hızlanmalara ilişkin dalga ileri yönlüdür. Bu senaryoda kapasite durumu gerçekleşmez, çünkü bu durumun görülebilmesi için, dizinin önünden ayrılan taşıtların kapasite hızına erişmeleri için yavaşlamaları gerekir; ancak, bu durum, tercih ettikleri hızda yolculuğun mümkün olması halinde sürücülerin eğilimine aykırıdır.

Yavaş hareket eden bir ağır taşıt hareketli darboğaz olarak görülebilirken, trafik ışıkları veya geçici yol kaplamaları gibi hareketsiz engellerin yol açtığı tıkanıklık, durağan (sabit) darboğaz olarak adlandırılır. Bir engelin akım yukarısındaki trafik hareket etmez ve tıkanıklık yoğunluğa sahip bir kuyrukta birikir. Engel ortadan kalktığında, kuyruğun önünde serbest kalan trafik hızlanır ve kapasite durumuna erişir, çünkü engelin arkasındaki trafiğin sıfır hızı doğal olarak kapasite hızından daha küçüktür. Şekil 2. 8, geçici engellemeye ilgili bütün trafik durumlarını ve şok dalgalarını göstermektedir.



Şekil 2. 8 Trafik kesilmesinin sebep olduğu şok dalgaları

Şok dalgaları kavramı, kesintisiz trafik akımları kuramı ve darboğazlarda trafik işletimi kuramı arasında uygun bir köprü vazifesi görür. 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 rasgele değişimini/dalgalanmasını göz önünde bulundurmaz. Bu iki zayıf zayıf nokta, yığışımli taşıt sayıları ve kuyruk kuramı gibi yaklaşımlar aracılığıyla giderilmeye çalışılmıştır [34].

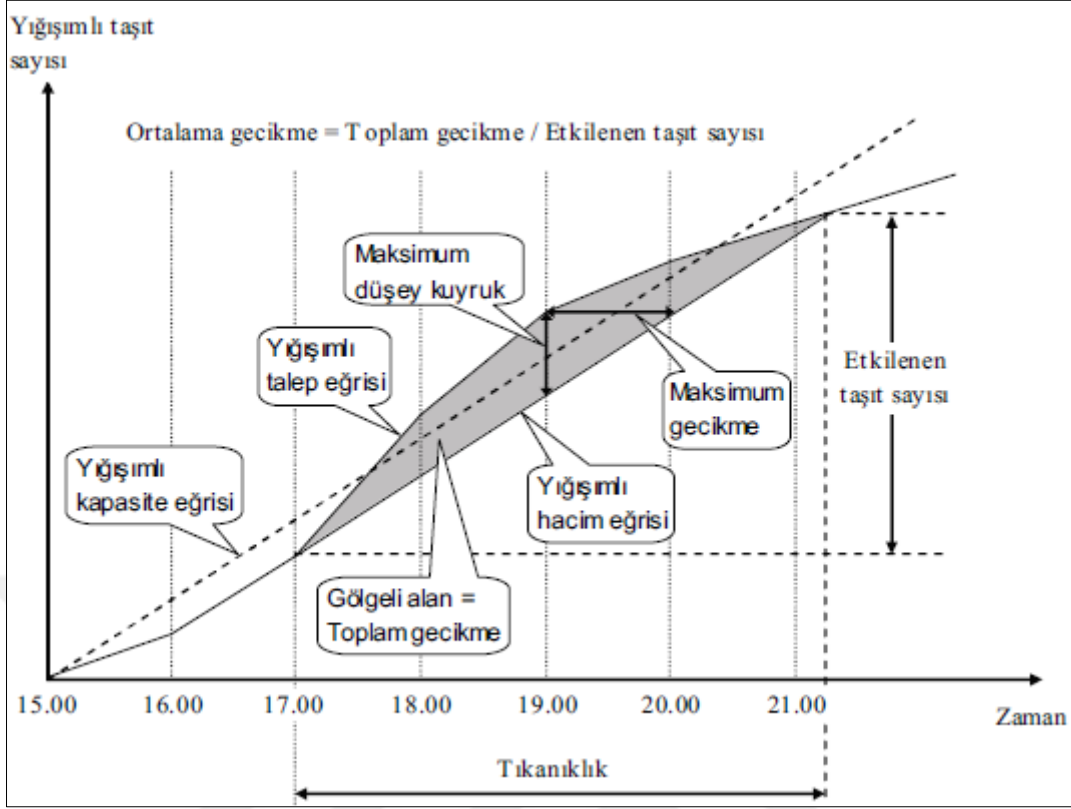
### 2.3 Yığışımli Taşıtların Sayıları

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 yığışimli eğri kullanılarak kolayca belirlenebilir; buradaki yığışimli eğriler, trafik talebini ve darboğaz kapasitesini temsil etmektedir. Trafik talebi, darboğaz bulunmaması halinde darboğaz yerinde gözlenecek trafik hacmidir. Şekil 2. 9'da 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, yığışimli kapasiteyi temsil etmektedir. Birinci eğrinin eğimi talep değeri olurken, ikincinin eğimi kapasite değeridir. Saat 17:00 itibarıyla, talebin kapasiteyi 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 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 (mesafe), daha önce açıklandığı gibi, n'inci taşıtın gecikmesidir. Eğriler arasındaki toplam alan, darboğazın sebep olduğu toplam gecikmedir (birimi, 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. "Maksimum kuyruk" olarak adlandırılan bu sayı, gerçek kuyruk değildir. Gerçek kuyruk, darboğazın bulunmaması halinde ölçüm noktasından geçmesi beklenen taşıtlar (yığışimli eğriler arasındaki düşey mesafe) ile hali hazırda kuyruğa katılmış diğer taşıtlardan oluşur [34].



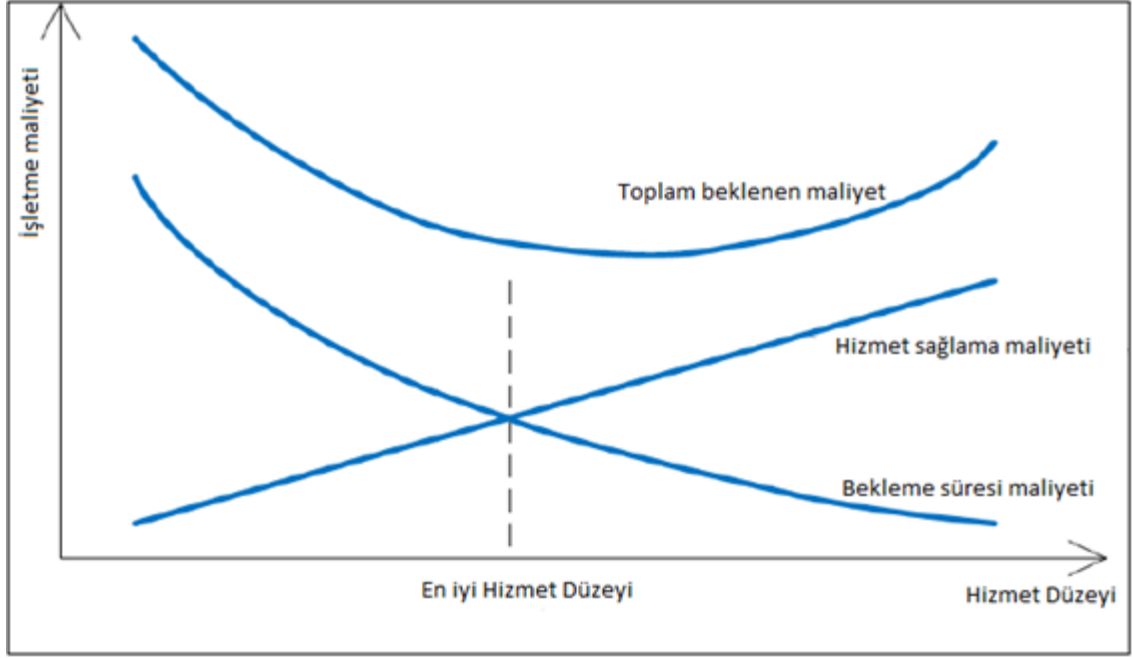
Şekil 2. 9 Yığışimli taşıt sayılarıyla kuyrukların ve gecikmelerin öngörülmesi

Yığışimli eğriler gecikme hesaplarını basitleştirirler; ancak, tıkanıklık kesiminin uzunluğunu bu kadar kolay veremezler. Bu işlem için, şok dalgası kuramı dikkate alınmalıdır. Newell 1993 yılında yaptığı çalışmada, yığışimli taşıt sayısı eğrileri ile 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 [34].

## 2.4 Kuyruk Kuramı

Bir trafik olayı meydana geldiğinde, tüm şeritler veya bazı şeritler taşıt trafiğine kapalı hale gelmektedir. Trafik talebi mevcut kapasiteyi geçerse olay yerinde bir kuyruk oluşacaktır. Şeritte bekleyen taşıtların ya da kuyrukların matematiksel olarak incelenmesine kuyruk teorisi denir. Bu disiplin, şeritte bekleyen taşıtları ya da kuyrukları modellemek ve performanslarını değerlendirmek için matematiksel ilişkilerden yararlanmaktadır.

Kuyruklanma problemi trafik analizine özgü değildir. Kuyruklanma, süpermarketlerdeki ödeme noktalarında, bankalardaki gişelerde, restoranlarda ve tüm ulaşım modlarında olduğu gibi günlük durumlarda her gün ortaya çıkmaktadır. Şekil 2. 10'daki grafik, en iyi hizmet düzeyinin hizmet sağlayan ve sağlayamayan maliyetler arasındaki denge olduğunu göstermektedir. Bir kuyruklanma problemi oluştuğunda hizmet kanallarının sayısı bu şekilde belirlenir.

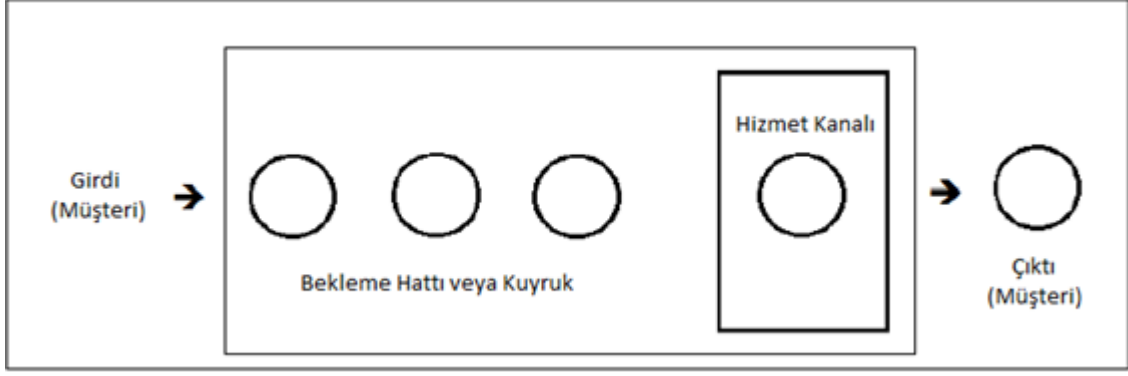


Şekil 2. 10 Kuyruk sistemlerinde en iyi hizmet düzeyi

Kuyruklanmanın performans ve verimlilik üzerine etkisi birçok alanda sayısız kuyruk davranışı teorilerine yol açmıştır. Şekil 2. 11'de görülen bekleme hattına veya kasa kuyruğuna kuyruk teorisi denir. Kuyruk sistemine örnek olarak aşağıdaki unsurlardan oluşan bir trafik kuyruğu gösterilebilir.

- Gelenler (müşteri),
- Bekleme Hattı veya Kuyruk,
- Hizmet Kanalları.





Şekil 2. 11 Tek kanallı bekleme hattı

Kuyruk sistemine ulaşan nüfus sınırlı (sonlu) veya sınırsız (sonsuz) olabilir. Herhangi bir anda gelen müşterilerin sayısı potansiyel gelenlerin sadece küçük bir kısmı olup, nüfus sınırsız kabul edilmektedir. Eğer gelenler planlanmışsa ve belirli bir zamanda sisteme gelen müşteri sayısını tahmin etmek mümkün ise bu durumda gelenler belirleyici olmaktadır. Eğer gelenleri tahmin etmek mümkün değilse ve onlar birbirlerinden bağımsızlarsa bu durumda gelenler gelişigüze'dir. Trafik akımındaki taşıtların gelişimi Poisson dağılımına uymaktadır.

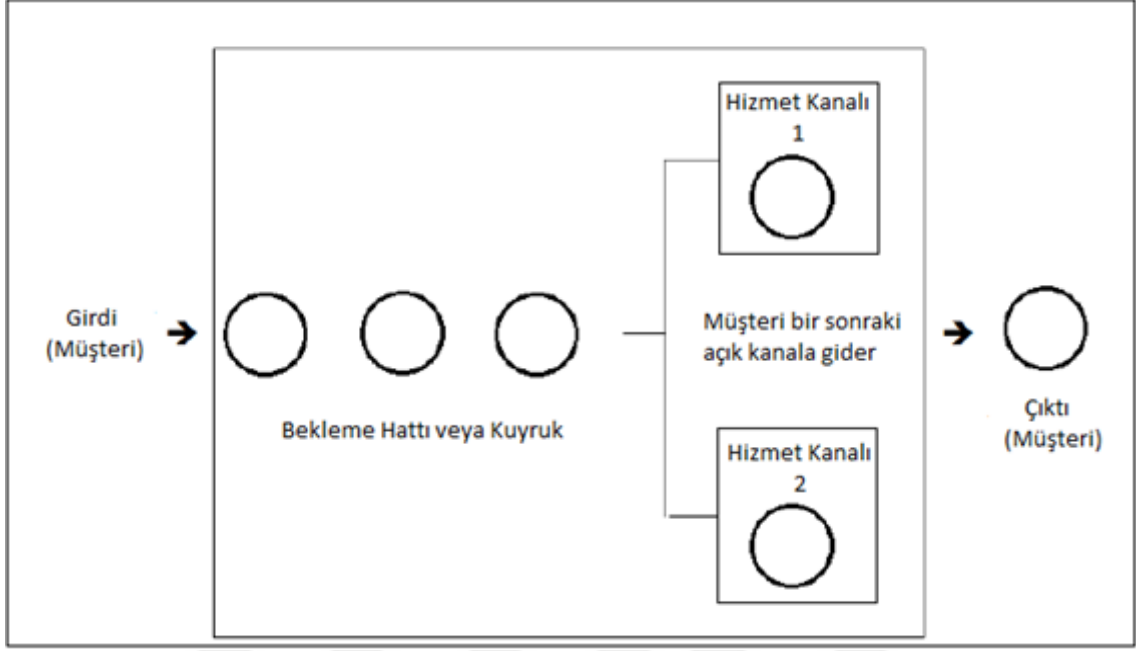
Bekleme hattı veya kuyruk, kuyruk sisteminin ikinci bileşenidir. Bir hat uzunluğu sınırlı veya sınırsız olabilir. Bir kuyruk, kanunen fiziksel kısıtlamalar gereği sonsuz uzunluğa artmadığı zaman sınırlı, büyüklüğü kısıtlanmamış olduğunda sınırsız olmaktadır.

Çoğu sistem, acil servislerde, süpermarketlerde ve kavşaklardaki trafik ışıklarında olduğu gibi "İlk Giren İlk Çıkar" (First In First Out-FIFO) hizmet kuralını kullanmaktadır. Asansörlerde olduğu gibi bazı sistemlerde en son giren müşteri ilk önce ayrılabilir. Bu sistemler "Son Giren İlk Çıkar" (Last In First Out-LIFO) kuralını uygulamaktadır.

Eğer bir kuyruk sistemi sadece tek bir hizmet kanalına sahipse, o zaman o tek kanallı bir sistemdir. Buna karşın, bazı sistemler kendi hizmetlerini iyileştirmek için birden fazla hizmet kanalına sahiptir. Bu sistemlere de çok kanallı sistemler denir.

Kuyruk sistemleri tek fazlı veya çok fazlı sistemler olabilir. Tek fazlı bir sistemde Şekil 2. 11'de görüldüğü gibi müşteri tek bir fazdan hizmet alır ve sistemi terk eder. Şekil 2. 12'de görüldüğü gibi çok fazlı sistemde ise, müşterinin bekleme hattından ayrılması için birden fazla hizmet kanalına (bir fast food restoranından örnek vermek gerekirse, müşteri ilk

olarak bir hizmet kanalından yiyeceği seçer daha sonra başka hizmet kanalında ödemeyi gerçekleştirir ve son olarak da üçüncü hizmet kanalından yiyeceğini almaktadır) uğraması gerekmektedir.



Şekil 2. 12 Çok kanallı bekleme hattı

Hizmet süreleri belirli veya gelişigüzel bir zamanda olabilir. Hizmet süresi bekleme hattındaki her gelen müşteri için aynı ise belirli süreli farklı ise gelişigüzel olmaktadır. Olayların çoğunda, hizmet süreleri gelişigüzel dağıtılmakta iken eğer müşteriler Poisson dağılımına göre gelirlirse, hizmet süreleri katlanarak dağıtılmaktadır [35].

### TRAFİKTE OLAY YÖNETİMİ

Trafikteki meydana gelen tıkanıklıkların önemli bir kısmı karayollarında meydana gelen olaylardan kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, bu olaylar belirli stratejilerle yönetilerek trafik üzerindeki etkilerinin en aza indirilmesi gerekmektedir. Trafikte meydana gelen olayların süresini ve etkisini azaltmak, sürücülerin, kazazedelerin ve müdahale ekiplerinin güvenliğini artırmak için, insan, kurum, mekanik ve teknik kaynakların, sistematik, planlı ve koordineli bir şekilde kullanılması trafikte olay yönetimi olarak adlandırılmaktadır [36].

#### 3.1 Trafikte Olayın Tanımı

Türk Dil Kurumu (TDK) olay kelimesini; ortaya çıkan, oluşan durum, ilgi çeken veya çekebilecek nitelikte olan her türlü iş, hadise, vaka olarak tanımlamaktadır [37]. Trafik olayı tabiri ise, Trafik Olay Yönetimi Elkitabı'nda (Traffic Incident Management Handbook-TIMH), karayolu kapasitesinde bir azalma veya talepte anormal bir artışa neden olan süreksiz durumlar olarak ifade edilmektedir. Bu olaylar; trafik kazaları, araç arızaları, yük dökülmeleri, karayolu onarımları ve rekonstrüksiyon projeleri gibi durumları içermektedir [36]. Benzer şekilde Karayolu Kapasite Kılavuzu'nda (Highway Capacity Manual-HCM) trafik olayı; karayolu kapasitesini düşüren ve karayolu boyunca günlük seyahat sürelerinde çeşitliliğe yol açan kaza, arıza, döküntü gibi oluşumlar olarak tanımlanmaktadır [38].

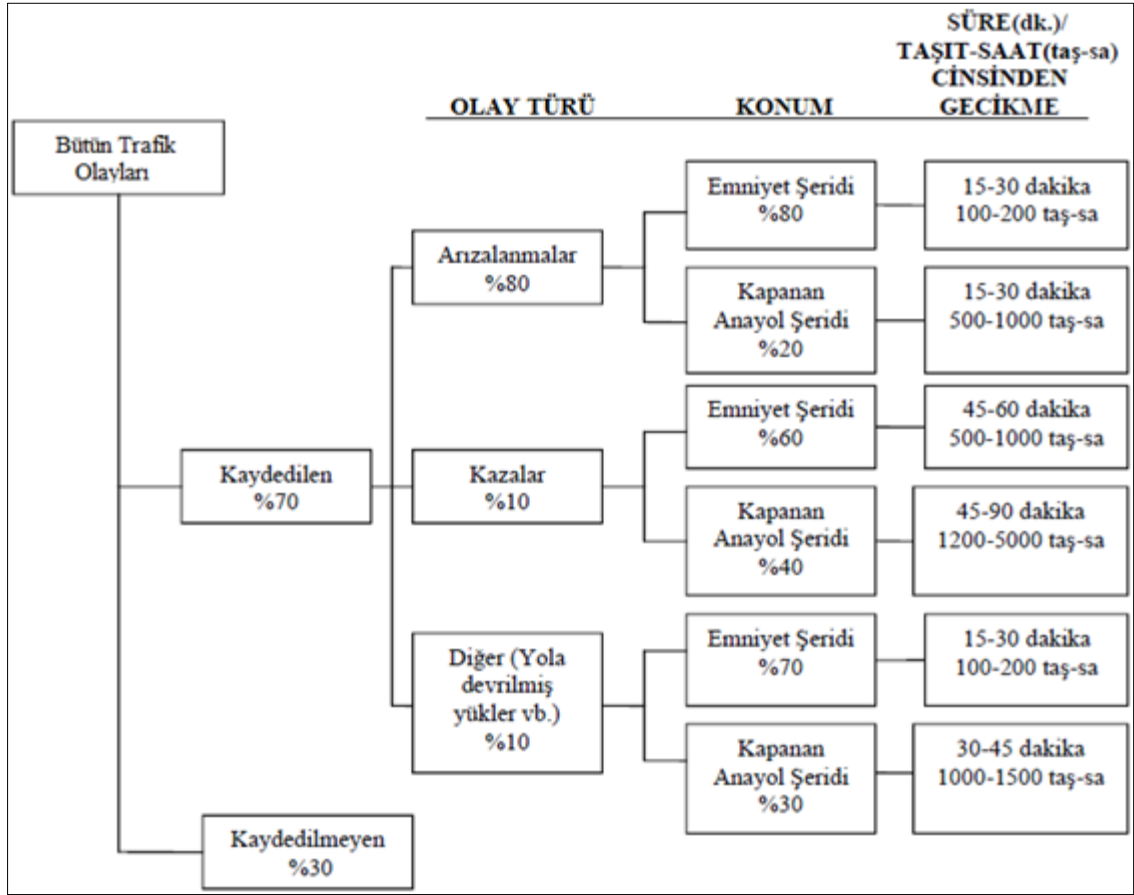
Trafik olaylarıyla doğrudan veya dolaylı şekilde ilgilenmekte olan ulaştırma ve acil müdahale kurumları, hangi durumların olayı oluşturacağı konusunda farklı

tanımlamalara sahiptirler. Bunun başlıca nedeni ulaştırma ve acil müdahale kurumlarının birçok alanda farklı misyonlarının olmasıdır [39].

### **3.2 Trafikte Olayların Sınıflandırılması**

Trafikte meydana gelen olayların (kaza, arıza, yol çalışması vb.) etkilerini azaltmak, yolcu güvenliğini ve ulaştırma sisteminin etkinliğini arttırmak için oldukça önemlidir. Olayların etkilerini en aza indirebilmenin yollarını anlamak amacıyla olayların çeşitlerini incelemek yararlı olacaktır.

1997 yılında Cambridge Systematics tarafından karayollarında meydana gelen olayları sınıflandırmak amacıyla, konuyla alakalı olarak geçmişte yapılmış araştırma sonuçlarından bir derleme çalışması yapılmıştır. Şekil 3. 1'de görülen sınıflandırma Cambridge Systematics'in hazırlamış olduğu bu rapordan alınmış olup otoyollarda meydana gelen olayların, olayın çeşidi, şiddeti ve süresine göre dağılımlarını göstermektedir. Meydana gelen olayların büyük çoğunluğunu emniyet şeridinde arızalanmış olarak bulunan taşıtlar oluşturmaktadır ve bunlar diğer olaylara göre otoyol kapasitesini daha az etkilemektedirler. Cambridge'in hazırladığı rapordan alınan çizelge aynı zamanda farklı çeşitlerdeki trafik olaylarının hareketliliğe olan etkilerini de göstermektedir [40].



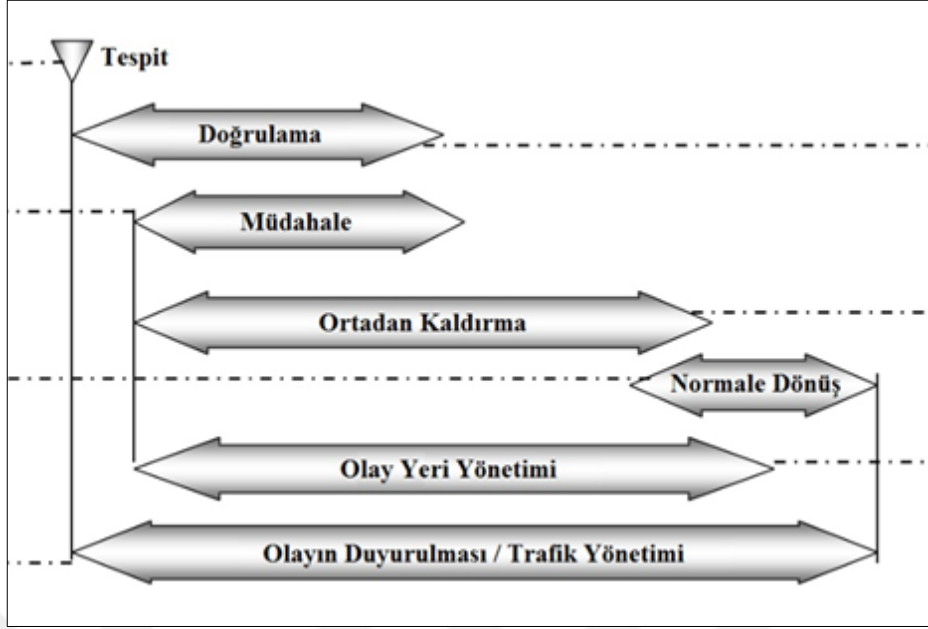
Şekil 3. 1 Trafik olayı türleri ve etkileri

### 3.3 Trafik Olayı Yönetimi

Trafik olaylarının süresini ve etkisini azaltmak, sürücülerin, kazazedelerin ve müdahale ekiplerinin güvenliğini artırmak için, insan, kurum, mekanik ve teknik kaynakların, sistematik, planlı ve koordineli bir şekilde kullanılması trafik olayı yönetimi olarak adlandırılmaktadır.

#### 3.3.1 Aşamaları

Olay yönetimi Şekil 3. 2'de görüldüğü gibi 7 aşamada incelenmektedir. Bu aşamalar; tespit, doğrulama, olayın duyurulması, müdahale, olay yeri yönetimi, trafik yönetimi ve olayın ortadan kaldırılması şeklindedir [41].



Şekil 3. 2 Olay yönetimi aşamaları

### 3.3.1.1 Tespit

Olay yönetiminin ilk aşaması olayın tespittir. Olaydan etkilenen kazazedeler ilk müdahale gelene kadar savunmasız haldedirler. Aynı şekilde trafik de kötü durumdadır. Olayın kısa sürede tespiti ile uygun müdahalenin de hızlı bir şekilde yapılması sağlanmaktadır. Hızlı müdahale; olaya karışan kişilerin, olumsuz etkilere maruz kalma süresini en aza indirmekte, trafik kontrolü uygulamasını hızlandırmakta, trafik akımının süresini azaltmakta ve dolayısıyla genel etkiyi minimize etmektedir.

Olayın hızlı ve doğru bir şekilde tespiti çok önemlidir. Olay tespiti ile ilgili çalışmalar, olay tespiti süresini azaltmayı ve doğru bir şekilde tespit yapmayı amaç edinmektedir. Olay tespitinde kullanılan teknikler 3 kategoride toplanabilir:

- Vatandaşların Çağruları,
- Elektronik Teknikler (Trafik ölçümleri, kameralar, tespit yazılımları gibi),
- Uzman Raporları (Polis veya 112 devriyeleri gibi).

### **3.3.1.2 Doğrulama**

Olay doğrulama aşaması, bir olayın meydana geldiğinin onaylanması, olay yerinin ve seyahat yönünün tam olarak belirlenmesi ve olayla ilgili mümkün olduğunca çok bilginin elde edilmesi ve değerlendirilmesi eylemlerini kapsamaktadır. Olay doğrulama aşaması genellikle, olayı monitörlerden izleyen ve olayla ilgili müdahale ekipleriyle iletişim kuran trafik kontrol merkezi personeli tarafından tamamlanmaktadır. Ancak, tehlikeli madde salımı bulunan olaylar için doğrulama işlemi çok uzun olabilmektedir. Olayların doğrulanması için kullanılacak yöntemler şunlardır:

- TKM operatörü tarafından takip edilen kapalı devre TV kameraları,
- Olay yerine sevk edilen müdahale ekipleri (polis veya ambulans devriyeleri),
- Polis, medya veya bilgi hizmeti sağlayıcıları tarafından işletilen hava araçları,
- Olayla ilgili alınan birden fazla telefon çağrısından gelen bilgilerin birleştirilmesi.

Olayın doğrulanması ne şekilde yapılırsa yapılsın, hedef, hızlı ve doğru bir şekilde olay yerini onaylamak ve olay yerine hangi kaynakların gönderilmesi gerektiğini belirlemek için mümkün olduğunca fazla bilgi toplamaktır. Doğrulama yapılır yapılmaz, olayla ilgili bilgiler mümkün olduğunca çabuk müdahaleden sorumlu kurumlara ve personellere iletilmektedir. Kısa sürede ve doğru olarak sağlanan daha fazla bilgi ile uygun kaynaklar daha hızlı şekilde olay yerine sevk edilebilmektedir. Kurumlar arasındaki etkin iletişim, doğrulama sürecinin önemli bir unsurudur.

### **3.3.1.3 Olayın Duyurulması**

Olayla ilgili bilgilerin yol kullanıcılarına düzenli olarak duyurulması, birçok trafik kontrol merkezi tarafından sağlanan temel hizmetlerden biridir. Ulaştırma kurumları, gerçek zamanlı video görüntülerinin, trafik akım değerlerinin ve olay, yol çalışması gibi durum bilgilerinin medya kuruluşları tarafından kullanılmasına izin vermektedir. Gerçek zamanlı video görüntüleri televizyon kanallarındaki trafik raporları için düzenli olarak kullanılabilir. Olay bilgilerinin duyurulması için genellikle şu yöntemler kullanılmaktadır:

- Değişken mesaj levhaları,

- Araç içi yol bilgilendirme cihazları,
- Online hizmetler ve akıllı telefon uygulamaları,
- Televizyon ve radyo yayınları.

Olayın duyurulması aşaması, olay yeri temizlendikten sonra trafik akımı normal koşullara dönene kadar devam etmelidir. Eğer olay zirve saatlerde meydana gelmişse olayla ilgili bilgilerin duyurulması saatlerce sürebilmektedir.

#### **3.3.1.4 Müdahale**

Olaya müdahale aşaması, bir olayın meydana geldiği kesin olarak tespit edildikten sonra en kısa süre içerisinde uygun personel ve ekipmanın olay yerine sevk edilmesi, ilgili kurumlarla haberleşme bağlantılarının kurulması ve olay bilgilerinin yol kullanıcılarına duyurulmasını içermektedir. Uygun müdahale, olay türünün ve kapsamının saptanması ile olay yerinin temizlenmesi ve trafiğin normal işletim koşullarına dönmesinin sağlanması için atılacak adımların belirlenmesini gerektirmektedir. Olaylara müdahalenin etkili şekilde yapılabilmesi çeşitli faktörlere bağlıdır:

- Kurum içi ve kurumlar arası verimli iletişim,
- Yeterli personel ve ekipman desteği,
- Ekipmanların doğru konumlandırılması,
- Gereksiz müdahale ekibi bulunmaması.

#### **3.3.1.5 Olay Yeri Yönetimi**

Olay yeri yönetimi, olay yerindeki personel ve ekipmanları etkin bir şekilde koordine etme ve yönetme sürecidir. Müdahale personellerinin, kazazedelerin ve diğer sürücülerin güvenliğini sağlamak, olay yeri yönetimindeki en önemli hedeftir. Etkili olay yeri yönetimi bir olay komuta merkezi tarafından sağlanabilmekte ve şu faaliyetleri kapsamaktadır:

- Olayların doğru şekilde değerlendirilmesi,
- Önceliklerin uygun şekilde belirlenmesi,
- Uygun kurum ve kuruluşlar ile koordinasyonun sağlanması,



- Bütün birimlerle sağlıklı iletişim kurulması.

Etkili bir olay yeri yönetimi, ortaklaşa çalışan müdahale ekiplerinin birbirlerinin önceliklerine karşı anlayışlı olmalarını gerektirmektedir. Müdahale kurumları arasında düzenli eğitim, planlama ve haberleşmelerin yapılması müdahale verimini artırmaktadır. Ayrıca, kurumlar arasında sürekli değerlendirmeler yapılmalıdır.

Olay yeri yönetiminin temel amaçları şunlardır:

- Olay mağdurlarının, diğer sürücülerin ve müdahale personelinin güvenliğini artırmak,
- Müdahale ekiplerinin faaliyetlerini düzenlemek,
- Olayın trafik akımı üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak,
- Kurumlar arası haberleşmeleri ve işbirliğini arttırmak,
- Personel ve ekipmanların kullanım verimini maksimize etmek.

### **3.3.1.6 Trafik Yönetimi**

Trafik yönetimi, olay yerinde ve olayın etki alanına giren kesimlerde trafik akımı üzerinde kontrol tedbirlerinin uygulanmasını sağlamaktadır. Temel amacı, müdahale ekiplerinin güvenli bir şekilde çalışmalarına engel olmadan trafikteki kesintileri en aza indirmektir. Bu da olayın meydana geldiği güzergâhtaki ve alternatif yollar üzerindeki trafik akımının iyileştirilmesiyle sağlanabilmektedir. Trafik yönetimi şu faaliyetleri kapsamaktadır:

- Olay yerinde trafik kontrol noktası oluşturulması,
- Karayolundaki alanların yönetilmesi (şerit açma-kapama, müdahale araçlarına güvenli park yerleri belirleme gibi),
- Aktif olarak etkilenen kısımlara gerekli trafik işaret ve levhalarının yerleştirilmesi,
- Alternatif güzergâhlara yönlendirilmelerin yapılması.

Olay yönetiminin bütün aşamalarında olduğu gibi trafik yönetiminin de etkili olabilmesi için yapılması gerekenlerin planlanması gerekmektedir. Olaya müdahale edilmeden önce ilk olarak uygun bir trafik kontrolü ile olay yerinin güvenliği sağlanmalıdır. Daha

sonra olay yeri civarında etkin yönlendirmeler ve trafik yönetimi ile olayın trafik akımı üzerindeki etkileri minimize edilmelidir.

### **3.3.1.7 Olayın Ortadan Kaldırılması**

Olay yerinde bulunan araçların çekilmesi, enkazların kaldırılması, döküntülerin temizlenmesi ve karayolu kapasitesinin normale dönmesi amacıyla olay yerinin trafiğe açılması süreçleri, olayın ortadan kaldırılma aşamasını oluşturmaktadır. Genellikle olay yerinin temizlenmesi için gereken zamanın uzun olması nedeniyle, bu aşama olay yönetiminin en kritik adımıdır. Etkili bir olay yeri temizliğinin başlıca hedefleri şunlardır:

- Mümkün olduğunca hızlı ve güvenli bir şekilde karayolu kapasitesini eski haline getirmek,
- Yol kullanıcılarının gecikmelerini en aza indirmek,
- Tüm temizlik ekipmanlarının etkili şekilde kullanılmasını sağlamak,
- Müdahale personelinin ve yol kullanıcılarının güvenliğini artırmak,
- Kaldırma işlemi sırasında karayolunu ve araçları gereksiz hasarlardan korumak.

### **3.3.2 Performans Ölçütleri**

Performans ölçütleri, diğer sektörlerde olduğu gibi ulaştırma sektöründe de oldukça önemlidir. Kapasite analizi gibi ulaşımın temel ilkeleri, performans ölçütlerine dayanmaktadır. Trafik mühendisliğinin temel parametrelerinden olan yoğunluk, hız ve hacim değerlerinin de performans ölçütlerinde yeri büyüktür. Gerçek zamanlı trafik bilgisi için bu ölçütlerin dikkate alınması, trafikte olan sürücüler ve yolcular için büyük önem arz etmektedir. Performans ölçümleri, önemli ölçüde, mevcut ulaşım planlarının ve programlarının yönetilmesini, uygulanmasını ve geliştirilmesini etkilemesiyle beraber, çoğunlukla başarılı projelerin ve programların belirlenmesine ve değerlendirilmesine katkıda bulunur.

Karayollarının işletiminde performans değerlendirmesi belirli performans ölçütleri çerçevesinde yapılmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalarda, bu performans ölçütleri:

- Ortalama hız,

- Seyahat süresi güvenilirliği,
- Yakıt tüketimi,
- Çevresel etkiler (karbonmonoksit salımı, azot salımı vb.),
- Gecikmeler,
- Tıkanıklık,
- Yol kaplamasındaki işletilebilirlik oranı,

olarak belirlenmiştir.

Karayolu işletim performansının iyi olarak değerlendirilebilmesi için bu ölçütlerin planlanan düzeyde tutulması gerekmektedir. Ancak, karayolunda meydana gelen çeşitli olaylar (trafik kazaları, araç arızaları vb.) kapasitenin düşmesine sebep olup bu ölçütlerin istenen düzeyde tutulmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, olay koşulları altında karayolu performansının değerlendirilmesinde yukarıdaki performans ölçütlerinin birkaçının veya daha farklı ölçütlerin kullanılması söz konusu olabilmektedir.

ABD’de de olay yönetimi performans kriterlerinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalıştayların sonucuna göre, aşağıda yer alan ölçütlerin kullanılması uygun bulunmuştur. Bu ölçütlere göre, kurumların performansları değerlendirilmektedir.

- **Karayolu temizleme süresi:** İlgili kurumlar tarafından olayın farkedilmesi (tespit / bildirim / doğrulama) ve tüm şeritlerin trafiğe açılması arasında geçen süre olarak tanımlanır.
- **Olay temizleme süresi:** İlgili kurumlar tarafından olayın farkedilmesi (tespit / bildirim / doğrulama) ve son müdahale aracının olay yerinden ayrılması arasında geçen süre olarak tanımlanır.
- **İkincil olaylar:** Karayolunda bir olayın meydana gelmesinin ardından olay mahalli içinde veya olayın oluşturduğu kuyruk bölgesinde (karşı yön de dâhil olmak üzere) meydana gelen plansız olayların sayısı olarak tanımlanır.

### 3.3.3 Trafikte Olay Yönetiminin Amaç ve Faydaları

Trafikte olay yönetiminin temel amaçları aşağıda belirtilen maddeler altında toplanabilir:

- Olay bildirim süresini azaltmak,

- Karayolu temizleme süresini (ilgili kurumlar tarafından olayın farkedilmesi ile tüm şeritlerin trafiğe açılması arasında geçen süre) azaltmak,
- Olay temizleme süresini (ilgili kurumlar tarafından olayın farkedilmesi ile son müdahale aracının olay yerinden ayrılması arasında geçen süre) azaltmak,
- Normale dönüş süresini azaltmak,
- Müdahale ekiplerinin olay yerine varış süresini azaltmak,
- Birincil olayların şiddetini, ikincil olayların sayısını ve şiddetini azaltmak,
- Bütün paydaşlar tarafından desteklenen çok disiplinli olay yönetimi amaç ve hedeflerini sağlamak ve geliştirmek,
- Olay süresince, olay durumu ile ilgili müdahale ekipleri ve yöneticiler arasındaki iletişimi geliştirmek,
- Olay sırasında diğer kullanıcılara güncel, doğru ve yararlı seyahat bilgilerini düzenli olarak sağlamak,
- Olay yönetimi programı uygulamalarını geliştirmek için kullanıcıların geri bildirimlerini kullanmak ve düzenli olarak değerlendirmek.

Bu amaçların mümkün olduğunca yerine getirilmesiyle etkili bir olay yönetiminin sağlanmasının birçok faydası bulunmaktadır. Bu faydalar çeşitli performans ölçütlerindeki değişimlerle gözlemlenebilir:

- Olaylardan etkilenen insanların hayatta kalma oranlarında artış,
- Olaylardan kaynaklanan gecikmelerin azalması,
- Müdahale sürelerinin azalması,
- Olaylardan kaynaklanan hava kirliliklerinde azalmalar,
- İkincil olayların sayısında azalmalar,
- Olay yeri güvenliğinde artış,
- Trafiğin normale dönüş sürelerinin azalması,

- Yolcu bilgi hizmetlerinin gelişmesi,
- Seyahat süresi güvenilirliğinin artması,
- Müdahale kurumlarının koordinasyonlarının gelişmesi gibi.

#### **3.3.4 Paydaşları ve Görevleri**

Trafikte meydana gelen olaylara müdahale etme görevi, ulaştırma ve acil müdahale kurumları ile birlikte bazı özel birimlerin sorumluluğundadır. Bu sorumluluğa sahip kurum ve birimlerin herbiri trafik olayı yönetiminin paydaşlarını oluşturmaktadır. Bu paydaşlar ve görevleri TIMH'un 2010 yılındaki güncellemesine göre aşağıda belirtilen şekilde tanımlanmaktadır [41].

**Acil Sevk Merkezi:** Acil sevk birimi genellikle bir olayın meydana geldiği bilgisini ilk alan birimdir. Çalışanların misyonu, olay hakkındaki bilgiyi hızlı ve doğru şekilde uygun kurumlara aktarmak ve olay yerine doğru personel ve ekipmanları kısa sürede sevk etmektir. Acil sevk birimleri Bilgisayar Destekli Sevk (CAD) sisteminde tutulan olay kayıtları ile gerekli verileri toplamaktadırlar. Ülkemizde 112 çağrı numarasıyla hizmet vermektedir.

**Emniyet Teşkilatı:** Birçok durumda, emniyet teşkilatı ekipleri olay yerine ilk gelen ekiptir. Olay yerine ilk ulaşan memur, durumu değerlendirir ve gerekli birimlere (itfaiye, acil servis, kurtarıcı gibi) bilgi verir. İlgili memur, kazazedelerin güvenliği için olay yerini korur ve gerekli trafik kontrolünü yapar. Olay mahallinde soruşturma ve delil toplama işlemlerini yürütür. Ülkemizde, bu görev kentsel alanlarda polise (155 polis imdat), kırsal bölgelerde jandarmaya (156 jandarma imdat) düşmektedir.

**İtfaiye:** Bazı durumlarda da, itfaiye olay yerine ilk gelen müdahale ekibi olabilir. İtfaiye personeli olay yerinde bulunan kurtarma ekiplerinin ve kazazedelerin güvenliğini sağlamakla görevlidir. Olay yeri güvenliğinin sağlanmasının ardından, mağdur olan kazazedeleri belirler ve ihtiyaç olması durumunda acil servis desteği ister. Gerekli ise acil servis ekipleri gelene kadar ilk yardım müdahalesinde bulunur. Yangın veya yangın tehlikesi varsa müdahale eder ve olay yerinin eski haline getirilmesine yardımcı olur.

Ayrıca, olay yerinde varsa tehlike maddeleri belirler ve temizlenmesi için gerekli birimleri haber verir. Ülkemizde 110 çağrı numarasıyla hizmet vermektedir.

**Acil Sağlık Hizmetleri:** Acil sağlık hizmetlerinin sorumlulukları, acil müdahale amacıyla yaralıları belirlemek, olay yerinde gerektiğinde triyaj (yaralı öncelik/sonralık saptaması) yapmak ve yaralıları hızlı bir şekilde sağlık tesislerine kaldırmaktır. Bazı ülkelerde acil sağlık hizmeti itfaiye tarafından sağlanmaktadır.

**Çekme ve Kurtarma Araçları:** Çekme ve kurtarma ekipleri öncelikle çalışamaz haldeki araçları, enkazları ve dökülen yükleri kaldırmak ve temizlemekle görevlidir.

**Ulaştırma Kurumları:** Ulaştırma kurumları içinde, operasyonel bölümler - trafik yönetim merkezleri, saha bakım personelleri ve servis devriyeleri - olay yönetiminde kritik bir rol oynarlar. Trafik yönetim merkezleri olay bilgilerinin toplanması ve duyurulmasında bir merkez işlevi görmektedir. Ayrıca, olayın tespiti ve doğrulanmasında büyük öneme sahiptir. Olay yerinde ulaştırma kurumu personelleri, geçici trafik kontrolünü, olay yerinin hızlı temizlenmesini ve trafik akımının eski haline dönmesini sağlamaya çalışır. Ulaştırma kurumu müdahale ekibi, bakım personelini ve uzman personelleri (bakım ve servis devriye personeli gibi) içerir. Ülkemizde KGM bünyesindeki Alo Karayolları, 159 çağrı numarası ile yollardaki sorunlar hakkında bilgi ve yardım sağlamaktadır.

Bu paydaşların yanısıra, meydana gelen olayın şiddetinin fazla olması durumunda (ölümlü kazalar, büyük çaplı yük dökülmeleri, tehlikeli madde salımı, doğal afetlerden kaynaklanan olaylar gibi) çeşitli özel müdahale ekipleri gerekmektedir. Bu müdahale ekipleri aşağıda sıralanmıştır:

**Tehlikeli Madde Temizleme Ekipleri:** Olay yerinde itfaiye ve kurtarma ekiplerinin müdahale kabiliyeti dışında kalan, tehlikeli madde salımı bulunması durumunda tehlikeli madde temizleme uzmanları olay yerine sevk edilir. Birincil sorumlulukları, olay yerindeki tehlikeli maddeleri temizlemek ve devam eden salımları durdurarak çevreye verilen zararı azaltmaktır.

**Savcılar ve Adli Tabipler:** Ölümlü olaylarda, olay yerine ölüm nedenini araştıran savcılar ve adli tabipler çağırılır. Savcılar ve adli tabipler olay yerine gelene kadar, cesedi kayıp ve tahribattan (ileriye yönelik organ bağışı için) koruma ve olay yerinin temizlenebilmesi

için cesedi başka bir yere taşıma gibi yetkiler, önceden belirlenmiş bazı personellere verilebilir.

**Acil Durum Yönetimi Merkezleri:** Acil durum yönetimi merkezleri, bir olayın kapsamı ve şiddeti belirlendikten sonra, büyük çaplı olaylarda yönlendirme ve acil müdahalelerde bulunur. Hava olayları, yangın, deprem, sel gibi afet durumlarında bu tür müdahaleler söz konusu olmaktadır.

**Çevresel Birimler:** Bu birimler, tehlikeli veya tehlikeli olmayan yük dökülmeleriyle ilgili teknik yardım sağlamak, etkileri değerlendirmek ve azaltma stratejilerini belirlemek ile görevlidir.

**Halk Sağlık Birimleri:** Meydana gelen olay tıbbi atık içeriyorsa, bu atıkların bulaşıcı olup olmadığını belirlemek için halk sağlık birimleri olay yerine çağrılır. Ayrıca, gıda, ilaç ve kozmetik malzeme dökülmelerinin bulunduğu olaylarda, bunların imha edilip edilmemesi konusunda karar verirler. Varsa olay yerindeki radyolojik materyalleri belirleyip imha edilmelerine yardımcı olurlar.

### 3.4 Ülkemizde Trafik Kazalarına Müdahale İşlemleri

Ülkemizdeki meydana gelen trafik kazaları, müdahale sırasında yapılan işlemler dikkate alınarak, maddi hasarlı, yaralanmalı ve ölümlü olmak üzere üç ana başlıkta değerlendirilmiştir [41]:

- Maddi hasarlı trafik kazalarında, taraflar kendi arasında anlaşıp araçlarında buldukları matbu trafik kaza raporunu doldurarak işlem yapabilirler. Eğer kaza tek taraflı ise veya tarafların anlaşamadıkları bir durum mevcut ise, şahıslardan biri 155 polis imdat veya 156 jandarma imdat numarasını arayarak kaza yerinin adresini ve mevcut durumu bildirir. Bundan sonra kaza yerine bakan bölge amirine haber verilir ve amir en yakın trafik ekibini yönlendirir. Gelen trafik ekibi kaza raporunu düzenler. Trafik polisi, tarafları, kazadan bir sonraki gün kaza raporunun onaylı nüshasını ilgili emniyet biriminden almaları konusunda bilgilendirdikten sonra işlem tamamlanır.
- Yaralanmalı trafik kazalarında yine şahıslar 155 numaralı polis imdat numarasını arayarak kaza adresini ve durumu haber verir. Haber merkezi farklı bir frekansla ortak

kullandıkları telsizle sağlık kanalından ambulansı yönlendirir (bu frekansa sadece haber merkezi ulaşabilir). Eğer olayda yangın varsa, yine 155 tarafından telsiz aracılığıyla, itfaiye kaza yerine yönlendirilir. Yaralanmalı kazalar aynı zamanda adli olay olduğu için kaza yerine trafik ekiplerinin yanı sıra karakol ekipleri de yönlendirilir, bu ekipler tarafların ifadelerini alır ve işlem tamamlanır. Eğer şahıs kazadan sonra olay yerinden kaza raporu istemeden ayrılmış ise gittiği hastanenin çalışanları, durumu en yakın polis karakoluna ya da varsa hastane polisine bildirir. Böylelikle işlemler tamamlanmış olur.

- Ölümlü trafik kazalarında olay yerinde meydana gelen bir ölüm var ise, yukarıdaki işlemlere ek olarak bölge savcısının olay yerine gelip inceleme yapması beklenir. Savcının incelemeleri bittikten sonra olay ortadan kaldırılır. Ancak, ölüm ambulans içerisinde veya hastanede meydana geldiyse olay yerine savcının gelmesi beklenmez, süreç 2 numaradaki gibi işler.



### TRAFİK BENZETİM MODELLERİ VE OLAY ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: BİR VAKA ANALİZİ

Mühendisliğin hangi dalı olursa olsun tüm mühendisler onları ilgilendiren çeşitli sistemler üzerinde araştırma yapmaktadır. Bir sistem zaman ve mekân içerisinde var olan ve faaliyet gösteren bileşenlerin bir kümesidir. Mühendisler, inceledikleri sistemin yapısını anlamak amacıyla saha gözlemleri yapmakta ve bu gözlemlere göre model oluşturmaktadır [42].

Benzetim, mühendisliğin gerçek dünya sorunlarını göstermek veya çözmek amacıyla modellenen süreçleri yürütmek için bir yoldur. Banks ve Carson 1982 yılında benzetimi gerçek bir prosesin veya sistemin zamana bağlı matematiksel bir modeli olarak tanımlamıştır. Benzetim ister elle, isterse bilgisayar ile yapılsın, bir sistemin yapay kayıtlarının oluşturulması ve gerçek sistemin işletim karakteristikleriyle ilgili sonuçlarının elde edilmesinde bu yapay kaydın incelenmesini kapsamaktadır [43].

Gerçek bir sistemi temsil eden modelin oluşturulması işlemine benzetim denir. Diğer bir deyişle, gerçek bir sistemin modelini tasarlama süreci ve sistemin davranışını anlamak veya değişik stratejileri değerlendirmek amacı ile geliştirilen bu model üzerinde denemeler yapmaktır [44].

#### 4.1 Trafik Benzetim Modellerinin Sınıflandırılması

Trafik mühendisliğinde ve planlamasında önemli bir rol oynayan benzetim, trafik sistemini temsil eden ayrıntı düzeyine göre sınıflandırılabilir. Bu ayrıntı düzeyleri, Şekil 4.

1'de gösterildiği gibi mikroskobik (çok detaylı), mezoskobik (orta detaylı) ve makroskobik (az detaylı) olmak üzere genellikle üç ana türde kabul edilmektedir [45].

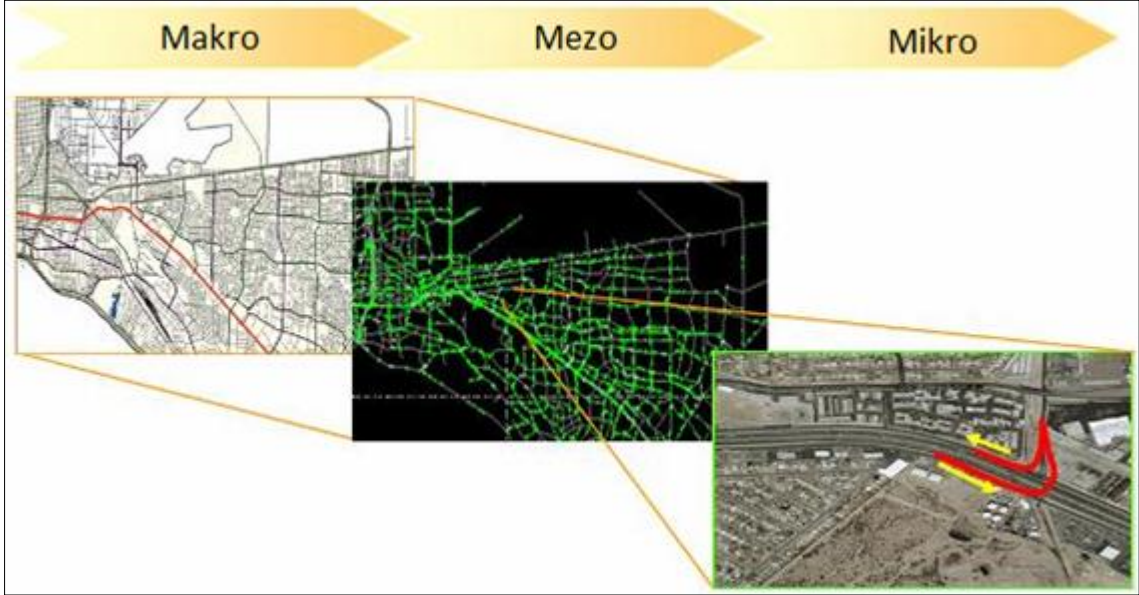
**Mikroskobik Modeller:** Çok detaylı olarak trafik işletimlerini ve taşıt-sürücü davranışlarını temsil edebilen taşıt-izleme ve şerit-değiştirme teorilerini esas almaktadır. Bu modeller hızlanma, yavaşlama, şerit değiştirmeler, geçiş manevraları, dönüş hareketleri ve boşluk süresi kabulü (gap acceptance) gibi taşıt/sürücü davranışlarının tanımlandığı mantıksal işlemleri kapsamaktadır.

**Mezoskobik Modeller:** Genellikle sistem elemanlarının özelliklerini detaylı olarak temsil eder, fakat faaliyetler ve etkileşimler mikroskobik bir modele göre daha az detayda tanımlanırlar.

**Makroskobik modeller:** Genel olarak, otoyol kesimlerindeki yol kapasitesi ve trafik akımının incelenmesi ile geliştirilmiş deterministik ilişkileri esas alırlar. Makroskobik model, sistem elemanlarını ve onların faaliyetlerini ve etkileşimlerini düşük detayda tanımlar.

Başka bir sınıflandırma, kullanılan modeller dikkate alınarak yapılabilir: (1) Deterministik ve (2) Stokastik.

Deterministik modellerde rasgele değişkenler yer almaz, tüm bağımsız etkileşimler gerçek ilişkilerle (matematiksel, istatistiksel veya mantıksal) tanımlanırlar. Stokastik modeller, olasılık fonksiyonları içeren işlemlere sahiptir. Örneğin, bir taşıt-takip (car-following) modeli formüle edilirken, sürücü reaksiyon süresini sabit bir değer olarak deterministik ilişki veya rasgele değişken olarak stokastik ilişki tanımlanabilir [31].



Şekil 4. 1 Makro – mezo – mikro simülasyon karşılaştırılması

## 4.2 Mikrosimülasyon

Trafik mikrosimülasyon modelleri taşıt takip, şerit değiştirme ve boşluk süresi kabulü kuralları dikkate alınarak yol ağında yolculuk eden taşıtların modellendiği bir bilgisayar yazılımıdır [31].

Mikrosimülasyon modelleri, karmaşık trafik problemlerini (akıllı ulaşım sistemleri, karmaşık kavşaklar, şok dalgaları ve kaza etkileri gibi) çözebilme yeteneğine sahip modelleme araçlarıdır. Ayrıca, bu programlar bireysel taşıtların yol ağındaki hareketlerini, kavşak ve yol tiplerini görsel öğelerle çekicilik kazandırarak kullanıcıya sunarlar. Problemin gerçekçi temsili, anlaşılır ve profesyonel bir tarzda, kolay anlaşılabilir bir formatta oluşturulur [31].

Bir ulaştırma sisteminin çalışmasını taklit etmeye çalışan trafik benzetim modeli, sahada çalışmak yerine laboratuvarında karmaşık ulaşım sistemlerinin kurgulanmasına imkan sağlamaktadır. Benzetim modeli ile trafik olaylarını incelemek ve analiz etmek mümkündür. Yazılım geliştiriciler, yoğun bir şekilde araç ve sürücü davranışlarını incelemekte ve bu davranışları belirlemek için matematiksel denklemleri ve bilgisayar programlama yardımıyla elde ettikleri bulguları kullanmaktadır [46].

### 4.3 Benzetim Modellerinin Avantajları ve Dezavantajları

Problem çözmeye son derece etkili bir yöntem olan ve günümüzde oldukça yaygın olarak kullanılan benzetim modellerinin birçok avantajları vardır. Bu avantajlar aşağıda sıralanmıştır:

- Benzetim modelleri ile farklı çalışma koşulları altında mevcut ve muhtemel durumların analizi yapılabilir.
- Alternatif durumlar birbirleri ile karşılaştırılabilir.
- Benzetim modelleri yardımıyla yeni parametreler veya çalışma koşulları ile sistemin performansı test edilebilir.
- Benzetim modelleri ile yapılan denemeler kolayca kopyalanabilir.
- Çok zaman alacak tasarımlar kısa sürede hazırlanabilir.
- Basit veya karmaşık durumlarda da uygulanabilir.

Bu avantajların yanısıra benzetim çalışmalarının bazı dezavantajları da vardır.

- Benzetim modelleri pahalı ve geliştirilmesi zaman alan yazılımlardır.
- Modelleri kalibre etmek genellikle zordur ve çok zaman almaktadır.
- Model sonuçlarını yorumlamak zordur. Bu yüzden benzetim modelleri ile çalışma yapmadan önce konuya hâkim olmak gerekmektedir.
- Kullanılan modelin sistemi doğru yansıtması için geçerliliği sağlanmalıdır.

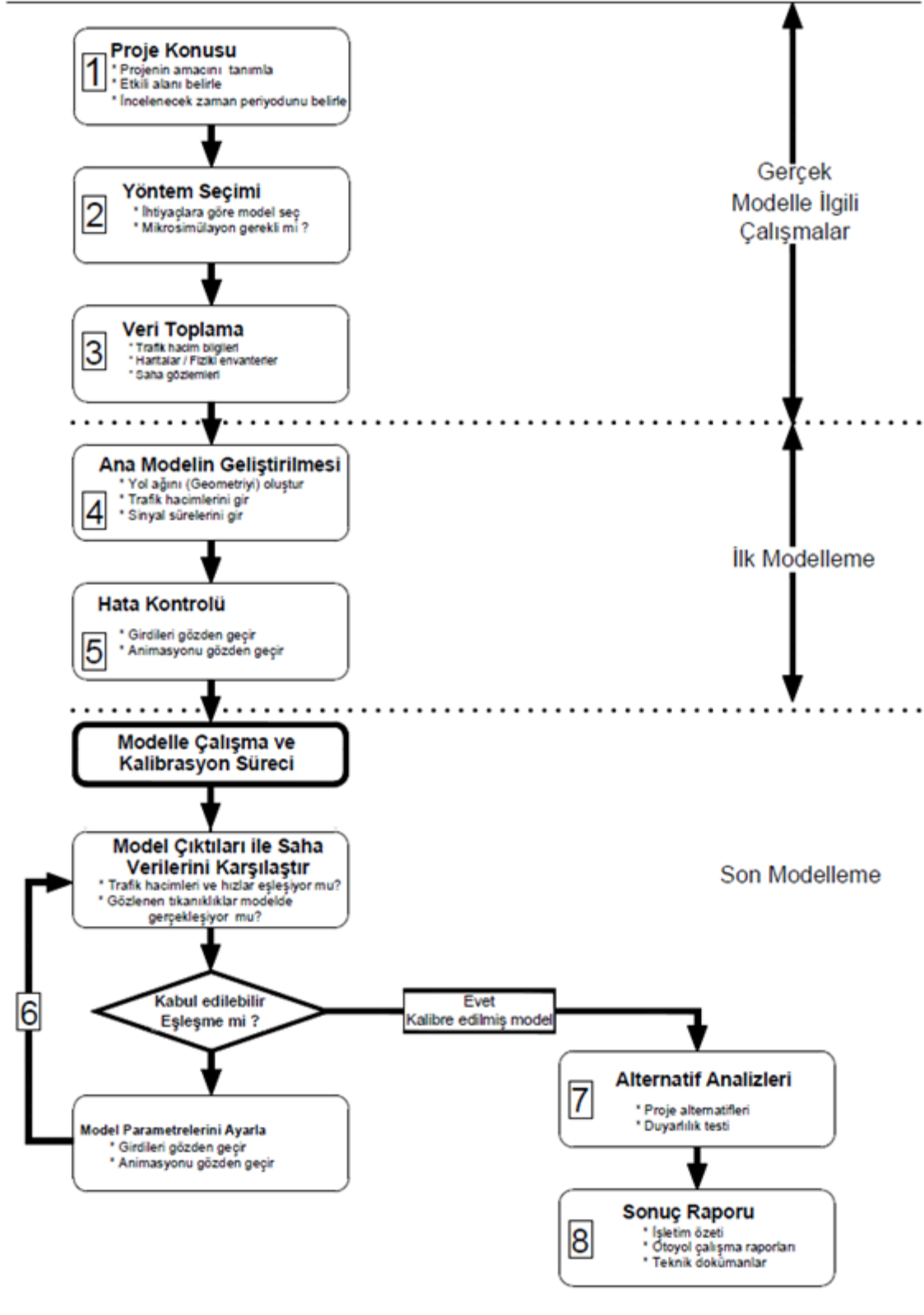
### 4.4 Mikrosimülasyonun Aşamaları

Trafiğin mikrosimülasyon programı yardımıyla analiz edilmesi sekiz aşamadan oluşmaktadır. Aşamalar akış diyagramı şeklinde Şekil 4. 2'de gösterilmiştir.

- 1) Çalışmanın amacının belirlenmesi.
- 2) Çalışmanın yönteminin belirlenmesi.
- 3) Verinin elde edilmesi ve düzenlenmesi.
- 4) Modelin kurulması.

- 5) Hataların kontrol edilmesi.
- 6) Modelin kalibre edilmesi.
- 7) Alternatif senaryoların oluşturulması.
- 8) Çalışmanın sonucunun raporlanması.





Şekil 4. 2 Benzetim modeli uygulama süreci

#### 4.5 Çalışma Alanı

Bu tez çalışması kapsamında, İstanbul O2 Otoyolu üzerinde meydana gelen bir trafik olayı analiz edilerek, olayın trafik üzerindeki etkileri mikrosimülasyon programı yardımıyla incelenmiştir. İncelenen trafik olayı, Fatih Sultan Mehmet (FSM) Köprüsü Avrupa çıkışında 5 Mart 2014 Çarşamba günü saat 14:51'de bir kamyon ile tırın çarpışması neticesinde meydana gelmiştir. Olayın kaldırılması 2 saat 9 dakika sürmüş ve trafiği oldukça olumsuz yönde etkilemiştir.

Avrupa ile Asya kıtalarını birbirine bağlayan FSM Köprüsü'nün Avrupa çıkışında meydana gelen kazanın analiz edilmesi için çalışma alanı olarak Şekil 4. 3'te gösterilen alan seçilmiştir. Modellenen Asya-Avrupa yönü otoyol ağı, Asya kıtasında Molla Gürani Viyadüğü ile Avrupa kıtasında FSM Köprüsü Avrupa çıkışı kesimini kapsamakta ve yaklaşık 7.5 km uzunluğundadır.



Şekil 4. 3 Çalışma alanı

FSM Köprüsü Avrupa çıkışında 5 Mart 2014 tarihinde saat 14:51'de meydana gelen trafik kazasının etkilerini analiz etmek ve değerlendirmek için ilk olarak aynı çalışma alanı üzerinde olaylı durum ile normal durumu karşılaştırmak ve normal durumun benzetim modelini kalibre etmek amacıyla 2014 yılının Mart ayında trafik olayı meydana gelmemiş bir gün belirlenmiştir. 6 Mart Perşembe günü 14:00 ile 21:00 saatleri arası herhangi bir

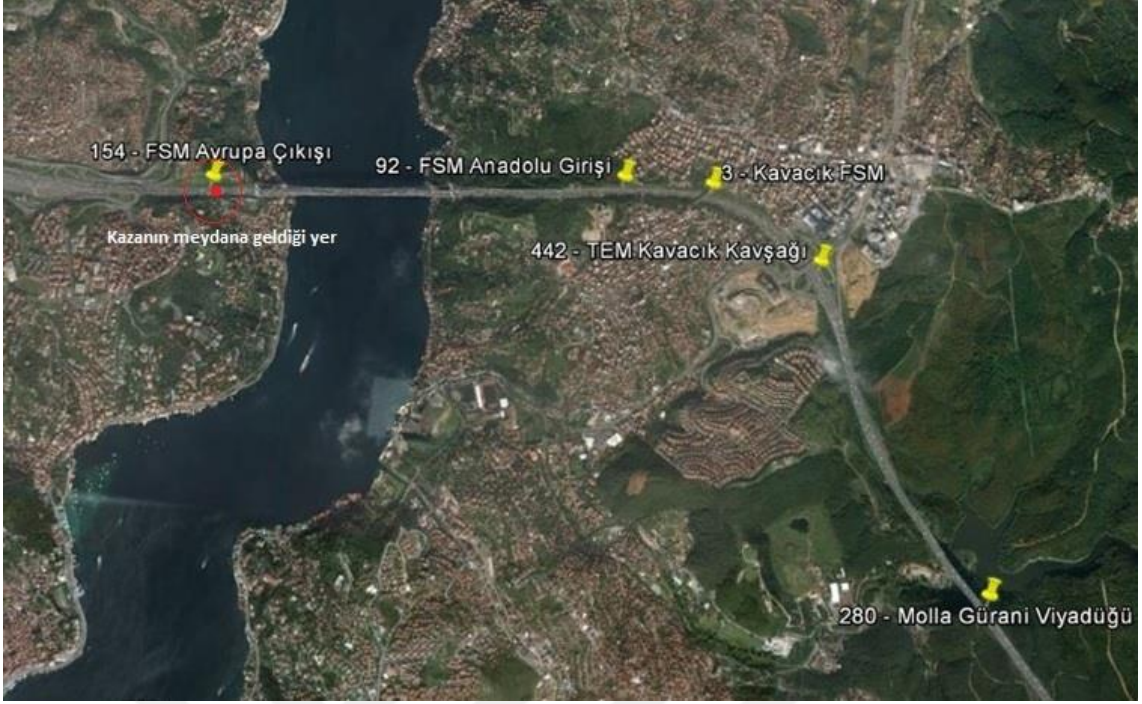
trafik olayı meydana gelmediği için bu günün trafik sayım verileri ile trafik kazasının meydana geldiği 5 Mart Çarşamba gününe ait trafik sayım verileri İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Trafik Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Ayrıca, Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) 1. Bölge Müdürlüğü Trafik Kontrol Merkezi'nden olayın video kaydı ve olay anına ilişkin basında çıkan görüntüler (Şekil 4. 4) elde edilmiştir [47], [48], [49].



Şekil 4. 4 Olay anına ilişkin basında çıkan görüntüler

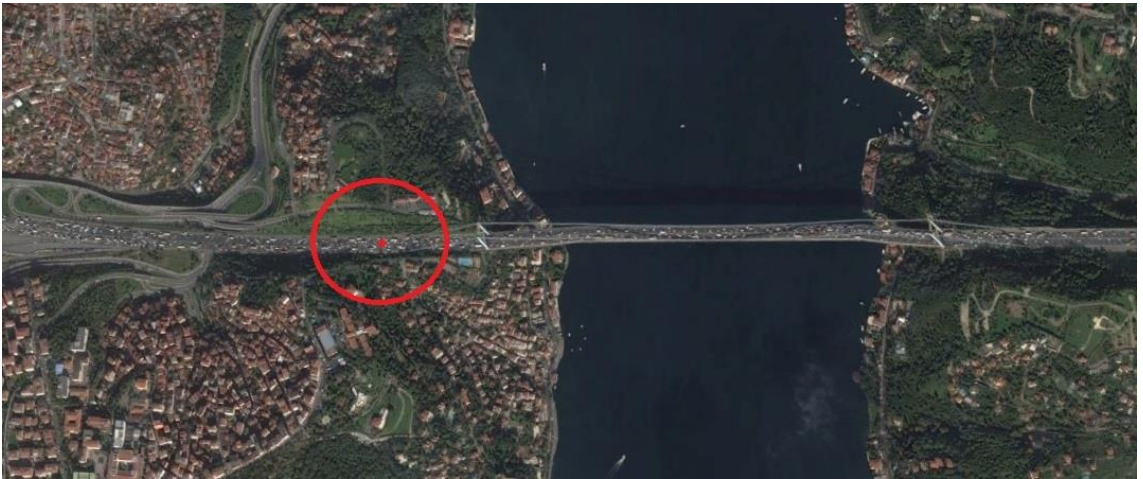
İncelenen yol ağı üzerinde bulunan trafik ölçüm dedektörlerinden olan RTMS (Remote Traffic Microwave Sensor) noktaları belirlenerek, O2 Otoyolu üzerindeki ve köprü çıkış noktasındaki araç sayım, araç hız ve işgaliye bilgileri 7 saat süre ile 2'şer dakikalık aralıklarla temin edilmiştir (Şekil 4. 5).





Şekil 4. 5 Asya-Avrupa yönü RTMS noktaları

Modelde 5 adet RTMS (154-92-3-442-280) noktasına ait hız, taşıt sayısı ve işgaliye değerleri 5 Mart (olaylı) ve 6 Mart (normal) günleri için Microsoft Excel’de 10’ar dakikalık olacak şekilde yeniden düzenlenmiştir. 5 Mart Çarşamba günü tır ile kamyonun çarpışmasıyla meydana gelen yaralanmalı trafik kazası Şekil 4. 6’da görüldüğü gibi FSM Köprüsü Avrupa çıkışında, 154 numaralı RTMS’in bulunduğu noktada meydana gelmiştir.



Şekil 4. 6 Olayın meydana geldiği yer

#### **4.6 Benzetim Modeli Ulaşım Ağının Hazırlanması**

Bu aşamada çalışma alanı üzerinde bulunan RTMS'lere ait trafik hacim verileri ele alınarak trafik akımı 5 ve 6 Mart günleri için VISSIM mikrosimülasyon programı kullanılarak modellenmiştir.

VISSIM şehir içindeki ve şehirler arası trafik akışlarını mikroskobik düzeyde modelleyen mikrosimülasyon programıdır. Trafik ve Ulaşım Plancıları için bir karar destek sistemi olan VISSIM, otomobil, kamyon, demiryolu, hafif raylı tren, bisiklet ve yayaları kapsayan çok modlu trafik akımları için mikroskobik trafik benzetimi sağlayan çok yetenekli bir programdır. Esnek şebeke sistemi sayesinde her çeşit geometride sinyalizasyon kavşak, dönel kavşak, otoyol koridorları, otobüs durakları ve hatta hava alanları benzetimi yapabilecek güçtedir. VISSIM hava fotoğrafları ve CAD çizimleri kullanarak arka plan harita uygulamaları sunar. Program 4 boyutlu (X,Y, Z ve zaman) animasyonu sağlar. Bu program çok kuvvetli bir program olmakla beraber çok pahalıdır [50], [51].

Yazılım ve ulaşım danışmanlık kuruluşu olan Planung Transport Verkehr (PTV) tarafından geliştirilen bu programın kalibrasyonu Almanya Karlsruhe Teknik Üniversitesi'nde gerçekleştirilmiştir. VISSIM, benzetim sürecinde trafiğin görünüşü ve kontrol parametrelerine ilişkin verilerin monitörden canlı olarak izlenebilmesi ve gerçek hayatta trafik dedektörleri üzerinden alınabilecek mikroskobik akım parametrelerinin sanal ortamda üretilebilmesi gibi yenilikleri ile; aynı amaçla kullanılan diğer benzetim programlarına göre daha esnek kullanım imkanları sağlamaktadır [52].

##### **4.6.1 Normal Trafik Şartları Benzetim Modeli Kalibrasyonu**

FSM Köprüsü'nde sabah ve akşam zirve saatlerde yoğunluk sebebi ile ek şerit açılmaktadır. Sabah zirve saatlerinde Anadolu Yakası'ndan Avrupa Yakası'na geçişler için, akşam zirve saatlerinde ise Avrupa Yakası'ndan Anadolu Yakası'na geçişler için 1'er ek şerit kullanıma açılmaktadır. Bu bağlamda, 6 Mart Çarşamba günü normal trafik durumunun benzetimi, 14:00'de başlatılıp saat 17:00 ile 21:00 arasında Avrupa Yakası'ndan Asya Yakası'na geçişler için ek şerit uygulaması dikkate alınarak analiz edilmiştir. 2 saat 9 dakika süren kazanın analizi için performans ölçütü olarak aşağıdaki ölçütler dikkate alınmıştır:

- Toplam duruş sayısı (Taşıtların otopark ve durak harici yaptıkları duruş-kalkış hareketlerinin toplamı),
- Ortalama hız,
- Toplam gecikme,
- Toplam seyahat süresi,
- NO<sub>x</sub> emisyonu,
- CO emisyonu,
- Uçucu Organik Bileşiklerin (Volatile Organic Compounds-VOC) emisyonu,
- Yakıt tüketimi.

Normal günün benzetiminin analiz sonuçları Çizelge 4. 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 1 Normal durumun benzetiminin analiz sonuçları

Saat	Toplam Duruş Sayısı	Toplam Gecikme (saat)	Toplam Seyahat Süresi (saat)	NO <sub>x</sub> Emisyonu (kg)	CO Emisyonu (kg)	VOC Emisyonu (kg)	Yakıt Tüketimi (lt)
14:00	5	2	50	1,23	6,31	1,46	23,78
14:10	111	3	66	1,72	8,86	2,05	33,55
14:20	77	3	67	1,74	8,94	2,07	33,82
14:30	72	3	72	1,84	9,47	2,2	35,67
14:40	60	3	70	1,81	9,29	2,15	35,14
14:50	345	6	72	1,87	9,62	2,23	36,46
15:00	430	8	71	1,77	9,12	2,11	34,61
15:10	358	10	74	1,74	8,95	2,07	33,82
15:20	340	16	82	1,9	9,77	2,26	36,99
15:30	421	22	86	1,77	9,12	2,11	34,35
15:40	398	23	87	1,81	9,3	2,16	35,14
15:50	303	16	78	1,72	8,86	2,05	33,55
16:00	233	35	93	1,62	8,32	1,93	31,44
16:10	844	21	87	1,92	9,87	2,29	37,25
16:20	403	48	119	1,97	10,1	2,34	38,31
16:30	4108	41	110	2,34	12,02	2,79	45,44
16:40	8883	110	183	3,98	20,44	4,74	77,15
16:50	10396	207	277	4,15	21,34	4,94	80,58

Çizelge 4. 1 Normal durumun benzetiminin analiz sonuçları (devamı)

Saat	Toplam Duruş Sayısı	Toplam Gecikme (saat)	Toplam Seyahat Süresi (saat)	NOx Emisyonu (kg)	CO Emisyonu (kg)	VOC Emisyonu (kg)	Yakıt Tüketimi (lt)
17:00	12228	254	325	5,85	30,09	6,97	113,61
17:10	13477	269	338	5,67	29,15	6,76	110,17
17:20	18341	292	359	7,46	38,35	8,89	145,05
17:30	17402	275	348	7,46	38,32	8,88	144,78
17:40	15627	250	322	6,79	34,92	8,09	132,1
17:50	17447	293	360	7,07	36,33	8,42	137,38
18:00	21241	235	309	7,71	39,62	9,18	149,8
18:10	20001	203	287	5,18	26,63	6,17	100,66
18:20	22605	309	391	5,45	28,01	6,49	105,94
18:30	19002	345	428	5,45	28,02	6,49	105,94
18:40	20941	325	407	4,52	23,22	5,38	87,71
18:50	22455	425	508	5,1	26,24	6,08	99,08
19:00	22165	607	691	5,19	26,68	6,18	100,92
19:10	19353	626	707	5,5	28,28	6,55	107
19:20	20695	582	671	4,87	25,05	5,81	94,58
19:30	21023	646	726	6,01	30,89	7,16	116,78
19:40	15252	670	734	7,49	38,49	8,92	145,57
19:50	18055	566	635	7,55	38,81	8,99	146,63
20:00	14077	627	694	8,13	41,8	9,69	157,99
20:10	9506	481	553	5,88	30,22	7	114,13
20:20	8508	513	580	5,28	27,14	6,29	102,51
20:30	7215	470	547	4,5	23,13	5,36	87,45
20:40	4899	504	577	4,03	20,71	4,8	78,2
20:50	6568	369	441	3,9	20,05	4,65	75,83

Karayolu ulaşım sistemlerinde gelişmelerin test edilebilmesi için çok kullanışlı bir araç olan benzetim modeline gereksinim vardır. Oluşturulan model ile önerilen farklı alternatiflerin yaratacağı sonuçlar önceden belirlenebilir ve diğer alternatifler ile karşılaştırılabilir. Benzetim modelinin sonuçlarının doğruluğu ise ancak mevcut trafik durumunu tam olarak yansıtabilmesine bağlıdır. RTMS'lerden elde edilen trafik sayım verileri ile benzetim modelinden elde edilen değerlerin birbirleri ile uyumlu olması ise ancak kalibrasyon ile sağlanabilir. Kalibrasyon, benzetim modellerinin parametrelerinin

ayarlanarak gerçek durum ile benzetim modelinin sonuçlarının birbirleri ile bağdaşmasını sağlamaktadır [52].

Dia ve Cottman (2004) benzetim modellerinin kalibrasyonunu kabul edilebilir bir oranda mevcut duruma ulaşmak için tekrarlı bir yaklaşım gerektiren göz korkutucu bir süreç olarak tanımlamışlardır [53].

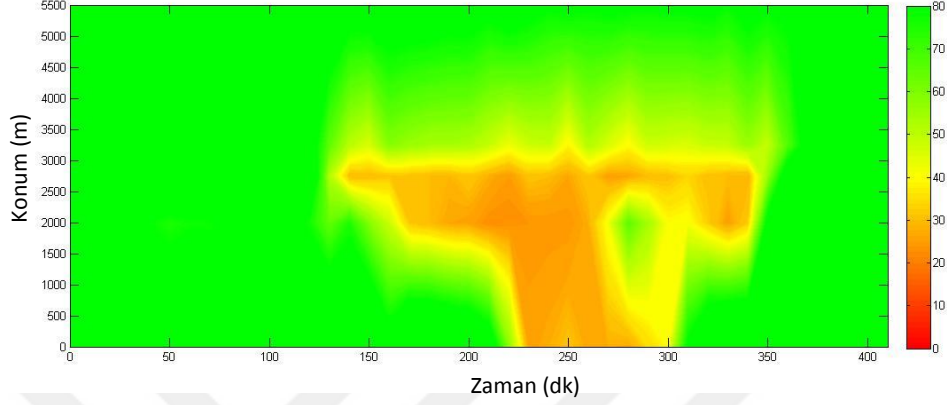
Menneni ve arkadaşları 2008 yılında VISSIM mikrosimülasyon programı kullanarak yaptıkları çalışmada, benzetim modelinin verilerinin kalibre edilmesinde hız-akım arasındaki ilişkiden yararlanmışlardır. Yaptıkları çalışmada, kalibrasyon için hız-akım arasındaki ilişkinin incelenmesinin sadece hızın ya da sadece hacmin zamana göre değişiminin incelenmesine göre daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir [54].

İncelenen kesimde uygulanan alternatif senaryoların ne denli doğru sonuçlar göstereceği ancak iyi kalibre edilmiş bir benzetim modeli hazırlanarak görülebilir. Bu tez çalışması kapsamında, verilerin kalibrasyonunun yapılabilmesi için hız-hacim arasındaki ilişkiden faydalanılmıştır. Gerçek duruma ait 10'ar dakikalık hız ve hacim değerleri ile benzetimden elde edilen değerler karşılaştırılarak bu değerler arasındaki sapma oranları hesaplanmıştır. Sapma oranları göz önünde bulundurularak benzetim modelinde gerekli parametre değerleri (desired speed) değiştirilerek model gerçek duruma benzetilmeye çalışılmıştır. Normal trafik durumunun benzetim modelinin kalibrasyonunu sağlamak ve oluşturulan tüm senaryoların çıktılarını almak amacıyla benzetim modeli 54 kez çalıştırılmıştır.

6 Mart Çarşamba günü normal trafik durumunun benzetim modelinin gerçek trafik durumunu yansıtıp yansıtmadığını görmek amacıyla incelenen güzergâhta yer alan 5 RTMS'e (154-92-3-442-280) ait hız verileri kullanılarak Matlab yardımıyla sırasıyla gerçek durumun ve benzetim modelinin kontur grafiği çizilmiştir. Kontur grafiği, yatayda zaman düşeyde konum olacak şekilde ayarlanmıştır. Taşıtların hızları da renklendirme ile gösterilmiştir.

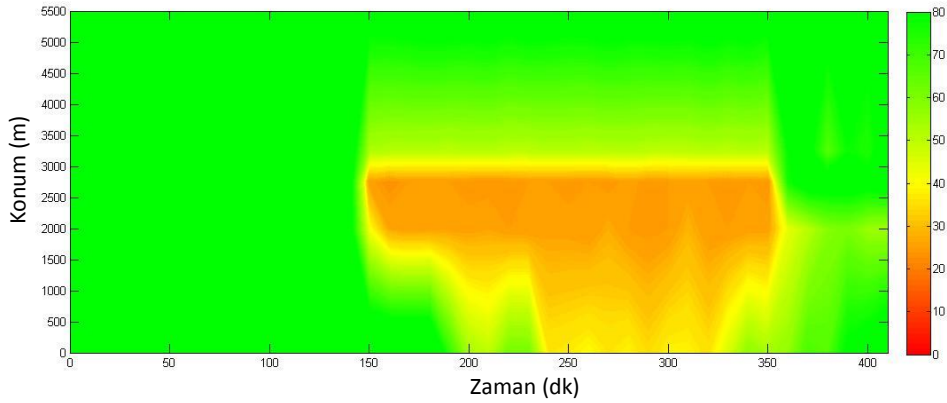
Şekil 4. 7'de gösterilen gerçek durumun kontur grafiğinde saat 17:00'de Avrupa Yakası'ndan Anadolu Yakası'na geçişler için 1'er ek şerit kullanıma açıldığından taşıtların hızlarındaki düşüş görülmektedir. Yol ağının yaklaşık 3000 metresinde bulunan Kavacık

ayrımı ve katılımı akşam zirve saatlerinde taşıların hızlarında düşüşe sebep olmaktadır. Taşıtlar, saat 17:00'e kadar ortalama 78 km/saat hızla seyrederken ek şerit uygulamasının başlamasıyla birlikte akşam 20:00'e kadar taşıtların hızlarının ortalama 34 km/saat'e kadar düştüğü görülmektedir.



Şekil 4. 7 Normal güne ait gerçek hız verileri ile oluşturulan kontur grafiği

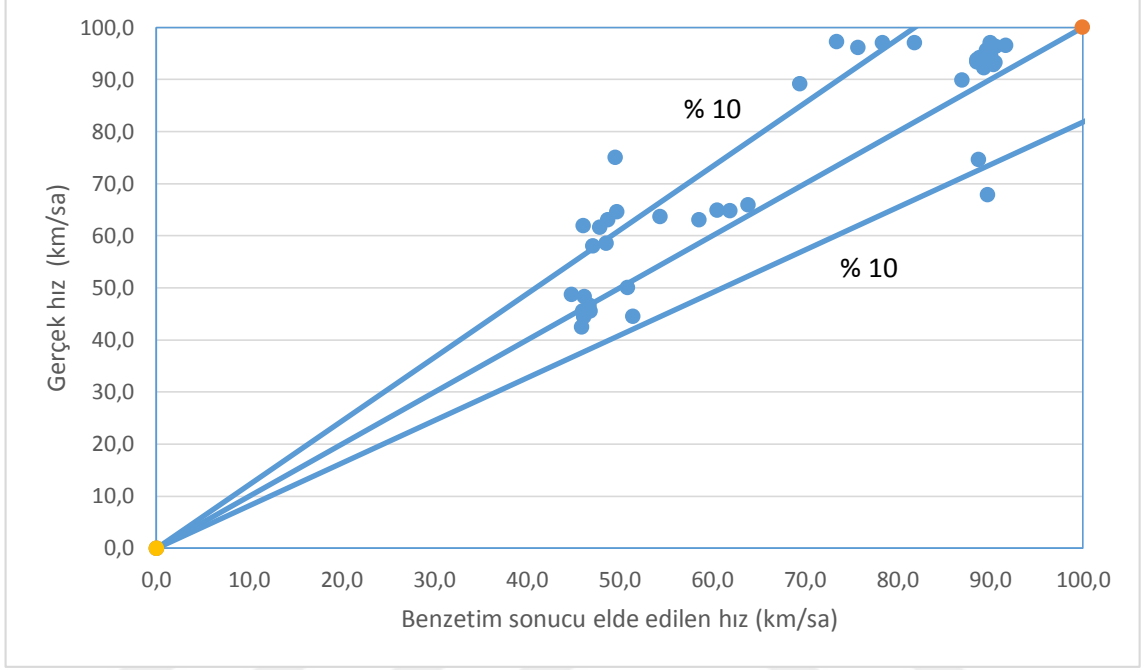
Normal durumun benzetim modeli ile analiz edilmesi neticesinde oluşan kontur grafiği Şekil 4. 8'de gösterilmiştir. Benzetim modeli ile oluşturulan kontur grafiğinin gerçek hız verileri ile oluşturulan kontur grafiğine benzerliği kalibrasyon işleminin doğru yapıldığını göstermektedir.



Şekil 4. 8 Normal güne ait benzetim modelinden elde edilen hız verileri ile oluşturulan kontur grafiği

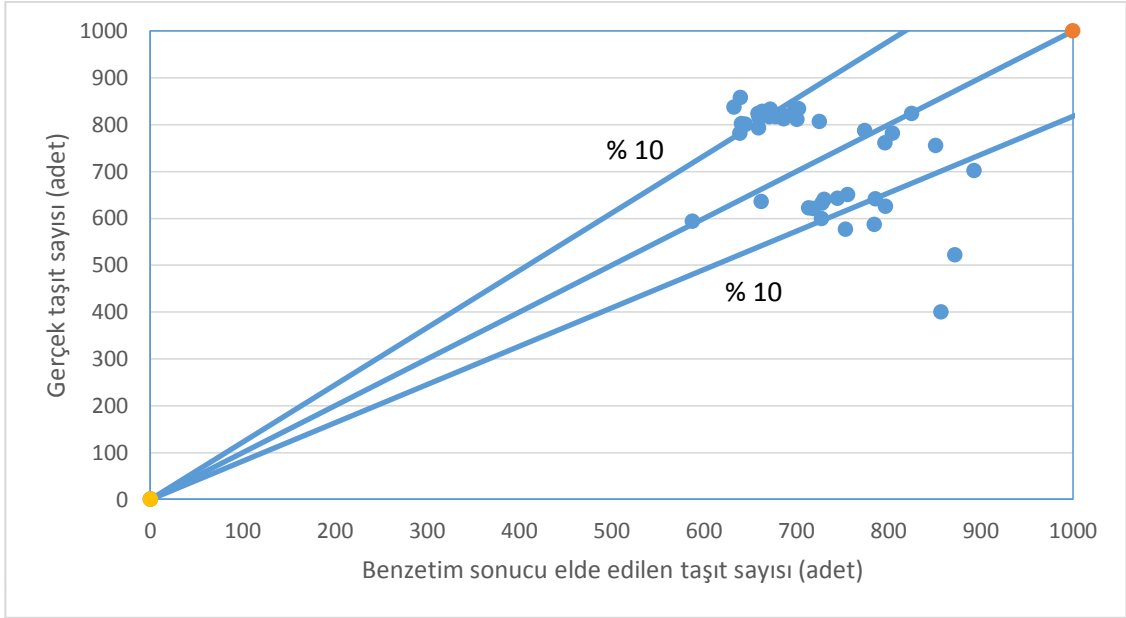
Ayrıca, yapılan kalibrasyon işleminin tutarlılığının görülebilmesi amacıyla gerçek ve benzetimden elde edilen hız ve hacim verileri kullanılarak Ortalama Kareler Hatası (Root Mean Square Error-RMSE) ve Ortalama Mutlak Yüzde Hata (Mean Absolute Percentage

Error-MAPE) analizleri yapılmıştır. Şekil 4. 9'da 6 Mart normal günün gerçek ve benzetim durumunun hız dağılım grafiği görülmektedir. Analiz sonucu hız verilerinin RMSE değeri 11.4 km/sa, MAPE oranı ise % 11.56 çıkmıştır. Hız verilerinin yüzde % 10 eğrisine yakınlığı yine Şekil 4. 9'da görülmektedir.



Şekil 4. 9 Normal günün gerçek ve benzetim durumunun hız dağılım grafiği

Aynı analizler Şekil 4. 10'da görüldüğü gibi normal trafik durumuna ait gerçek ve benzetimden elde edilen hacim verileri kullanılarak da yapılmıştır. RMSE ve MAPE analizlerine göre elde edilen değerler sırasıyla 157 taşıt/sa ve % 19.97 bulunmuştur.



Şekil 4. 10 Normal günün gerçek ve benzetim durumunun taşıt sayısı dağılım grafiği

Benzetim modelinin geçerliliği, incelenen güzergâhta yer alan 5 RTMS'e ait hız ve hacim değerleri ile yol ağında aynı noktalara yerleştirilen detektörlerden elde edilen verilerin karşılaştırılması ile analiz edilmiştir. RTMS'lere ait hacim değerleri ile sapma oranları Çizelge 4. 2'de, hız değeri ile sapma oranları Çizelge 4. 3'te gösterilmiştir.

Çizelge 4. 2 Normal durumun hacim değerleri ve sapma oranları

Saat / RTMS No	Gerçek Durum					Benzetim					Sapma Oranı (%)				
	154	92	3	442	280	154	92	3	442	280	154	92	3	442	280
14:00	658	554	689	431	637	527	644	684	456	626	-0,20	0,16	-0,01	0,06	-0,02
14:10	658	557	707	417	656	823	838	826	533	617	0,25	0,50	0,17	0,28	-0,06
14:20	606	523	670	386	694	834	827	826	567	715	0,38	0,58	0,23	0,47	0,03
14:30	632	540	689	394	676	908	893	881	562	681	0,44	0,65	0,28	0,43	0,01
14:40	679	581	716	442	709	851	882	897	643	713	0,25	0,52	0,25	0,46	0,01
14:50	701	630	737	463	671	874	871	885	619	680	0,25	0,38	0,20	0,34	0,01
15:00	662	583	745	429	691	807	798	773	517	673	0,22	0,37	0,04	0,21	-0,03
15:10	665	588	757	456	733	811	801	801	547	692	0,22	0,36	0,06	0,20	-0,06
15:20	702	596	755	464	735	813	816	824	572	754	0,16	0,37	0,09	0,23	0,03
15:30	679	590	747	455	742	799	801	795	586	744	0,18	0,36	0,06	0,29	0,00
15:40	674	585	723	457	721	797	796	792	538	717	0,18	0,36	0,10	0,18	-0,01
15:50	684	558	716	441	705	796	791	790	546	670	0,16	0,42	0,10	0,24	-0,05
16:00	647	551	734	538	705	725	700	715	505	667	0,12	0,27	-0,03	-0,06	-0,05
16:10	727	833	974	643	757	803	828	830	610	802	0,10	-0,01	-0,15	-0,05	0,06



Çizelge 4. 2 Normal durumun hacim değerleri ve sapma oranları (devamı)

Saat / RTMS No	Gerçek Durum					Benzetim					Sapma Oranı (%)				
	154	92	3	442	280	154	92	3	442	280	154	92	3	442	280
16:20	861	866	936	654	798	893	897	886	654	798	0,04	0,04	-0,05	0	0
16:30	887	828	917	571	868	600	594	661	580	866	-0,32	-0,28	-0,28	0,02	0
16:40	918	859	943	593	746	713	705	705	594	717	-0,22	-0,18	-0,25	0	-0,04
16:50	905	833	960	552	833	674	662	638	516	866	-0,26	-0,2	-0,34	-0,06	0,04
17:00	890	846	938	552	919	661	670	697	590	873	-0,26	-0,21	-0,26	0,07	-0,05
17:10	909	885	939	510	917	691	666	648	550	804	-0,24	-0,25	-0,31	0,08	-0,12
17:20	898	923	981	538	945	639	654	678	550	678	-0,29	-0,29	-0,31	0,02	-0,28
17:30	890	870	921	504	943	705	722	712	598	626	-0,21	-0,17	-0,23	0,19	-0,34
17:40	858	854	878	499	941	721	723	730	591	862	-0,16	-0,15	-0,17	0,19	-0,08
17:50	933	908	949	496	895	639	623	625	538	740	-0,32	-0,31	-0,34	0,08	-0,17
18:00	925	926	951	506	809	707	707	700	592	589	-0,24	-0,24	-0,26	0,17	18:00
18:10	908	896	916	500	885	713	725	729	537	716	-0,21	-0,19	-0,2	0,07	18:10
18:20	912	923	973	522	809	727	725	716	533	617	-0,2	-0,21	-0,26	0,02	18:20
18:30	910	887	904	508	843	716	735	741	598	714	-0,21	-0,17	-0,18	0,18	18:30
18:40	925	881	914	392	793	678	628	598	533	759	-0,27	-0,29	-0,35	0,36	18:40
18:50	840	891	953	536	780	664	688	694	546	633	-0,21	-0,23	-0,27	0,02	18:50
19:00	880	874	907	530	895	713	724	747	553	692	-0,19	-0,17	-0,18	0,04	19:00
19:10	920	875	947	494	863	730	729	723	578	710	-0,21	-0,17	-0,24	0,17	19:10
19:20	950	894	953	512	861	736	732	723	589	734	-0,22	-0,18	-0,24	0,15	-0,15
19:30	884	882	922	508	885	733	708	693	567	688	-0,17	-0,2	-0,25	0,12	-0,22
19:40	826	842	915	527	899	625	653	683	571	672	-0,24	-0,22	-0,25	0,08	-0,25
19:50	824	835	907	502	895	696	659	648	554	740	-0,15	-0,21	-0,29	0,1	-0,17
20:00	855	764	873	519	892	826	888	832	665	813	-0,03	0,16	-0,05	0,28	-0,09
20:10	793	694	849	537	899	874	892	912	723	855	0,1	0,28	0,07	0,35	-0,05
20:20	787	733	870	533	880	812	792	805	740	834	0,03	0,08	-0,08	0,39	-0,05
20:30	600	691	827	511	879	931	951	932	781	870	0,55	0,38	0,13	0,53	-0,01
20:40	513	444	581	410	661	917	897	878	777	891	0,79	1,02	0,51	0,89	0,35
20:50	412	336	422	327	502	863	817	826	758	1021	1,09	1,43	0,96	1,32	1,03

Çizelge 4. 3 Normal durumun hız değerleri ve sapma oranları

Saat / RTMS No	Gerçek Durum					Benzetim					Benzetim				
	154	92	3	442	280	154	92	3	442	280	154	92	3	442	280
14:00	101	90	101	88	99	86	92	91	87	100	-0,15	0,03	-0,10	-0,01	0,01
14:10	101	90	99	82	99	86	86	90	87	101	-0,15	-0,05	-0,09	0,06	0,01
14:20	101	90	99	82	102	87	90	90	86	100	-0,14	0,00	-0,09	0,05	-0,02
14:30	103	91	100	84	102	86	89	89	86	100	-0,16	-0,02	-0,11	0,03	-0,02
14:40	99	87	94	79	99	85	91	89	87	100	-0,14	0,04	-0,05	0,10	0,01
14:50	99	83	94	76	93	85	82	87	84	100	-0,14	-0,01	-0,07	0,10	0,07
15:00	98	89	98	78	98	86	83	88	86	101	-0,12	-0,06	-0,10	0,10	0,03

Çizelge 4. 3 Normal durumun hız değerleri ve sapma oranları (devamı)

Saat / RTMS No	Gerçek Durum					Benzetim					Benzetim				
	154	92	3	442	280	154	92	3	442	280	154	92	3	442	280
15:10	96	87	99	78	95	85	89	87	85	100	-0,11	0,02	-0,12	0,09	0,05
15:20	98	85	102	82	97	85	89	88	85	100	-0,13	0,05	-0,13	0,03	0,03
15:30	96	86	99	84	99	86	82	88	87	100	-0,1	-0,04	-0,11	0,03	0,01
15:40	98	88	95	87	99	84	86	88	86	100	-0,15	-0,02	-0,07	-0,02	0,01
15:50	98	85	97	87	101	85	90	89	85	101	-0,13	0,07	-0,09	-0,03	0
16:00	98	87	97	77	102	86	90	89	87	100	-0,13	0,03	-0,08	0,12	-0,02
16:10	93	65	52	64	106	86	86	85	86	100	-0,08	0,33	0,64	0,35	-0,05
16:20	86	51	30	75	105	85	90	88	86	100	-0,01	0,78	1,9	0,14	-0,05
16:30	87	46	30	59	106	85	53	26	41	100	-0,02	0,17	-0,13	-0,31	-0,05
16:40	89	59	32	48	87	85	52	23	27	100	-0,05	-0,12	-0,27	-0,45	0,15
16:50	88	56	31	32	108	86	52	25	25	100	-0,02	-0,08	-0,21	-0,2	-0,08
17:00	88	54	30	30	109	87	52	25	26	100	-0,02	-0,04	-0,18	-0,13	-0,09
17:10	86	54	29	27	106	87	51	25	26	73	0,01	-0,06	-0,15	-0,04	-0,31
17:20	87	53	32	26	103	86	52	24	26	54	-0,01	-0,04	-0,25	-0,02	-0,47
17:30	83	49	28	23	93	87	52	24	27	50	0,04	0,06	-0,13	0,19	-0,46
17:40	88	43	25	23	58	85	51	24	25	62	-0,04	0,18	-0,07	0,11	0,06
17:50	84	48	31	24	26	87	51	25	25	62	0,03	0,07	-0,17	0,02	1,42
18:00	80	49	30	24	28	86	52	25	26	37	0,08	0,06	-0,18	0,11	0,3
18:10	82	39	27	24	31	85	52	24	26	38	0,04	0,33	-0,12	0,05	0,23
18:20	80	52	32	28	27	86	51	25	25	40	0,08	-0,01	-0,23	-0,12	0,5
18:30	82	46	26	42	28	87	52	24	28	37	0,05	0,12	-0,07	-0,34	0,33
18:40	81	40	27	65	27	86	52	26	25	39	0,06	0,28	-0,03	-0,62	0,43
18:50	80	48	30	54	35	86	51	24	24	35	0,08	0,07	-0,2	-0,55	0
19:00	81	47	31	40	40	87	51	25	25	39	0,07	0,1	-0,2	-0,39	-0,02
19:10	81	46	34	41	82	86	51	26	29	39	0,07	0,11	-0,23	-0,29	-0,53
19:20	82	49	31	33	104	88	52	25	25	36	0,08	0,06	-0,2	-0,25	-0,66
19:30	79	49	30	26	110	86	51	24	25	46	0,08	0,05	-0,19	-0,03	-0,58
19:40	84	56	29	33	109	87	52	25	26	58	0,04	-0,07	-0,14	-0,2	-0,47
19:50	81	49	56	84	107	85	51	24	26	54	0,05	0,04	-0,57	-0,68	-0,5
20:00	82	67	91	98	109	85	79	77	44	57	0,03	0,18	-0,15	-0,55	-0,48
20:10	90	85	99	92	110	85	83	86	51	69	-0,05	-0,02	-0,14	-0,45	-0,37
20:20	94	81	103	91	111	86	67	86	59	67	-0,08	-0,17	-0,17	-0,35	-0,4
20:30	100	82	99	96	105	82	79	86	61	82	-0,19	-0,04	-0,14	-0,36	-0,22
20:40	100	91	108	99	108	84	75	84	56	86	-0,16	-0,17	-0,22	-0,43	-0,2
20:50	96	86	100	99	101	84	86	86	55	94	-0,13	0	-0,14	-0,45	-0,07

#### 4.6.2 Olaylı Durumun Benzetim Modeli Çıktıları

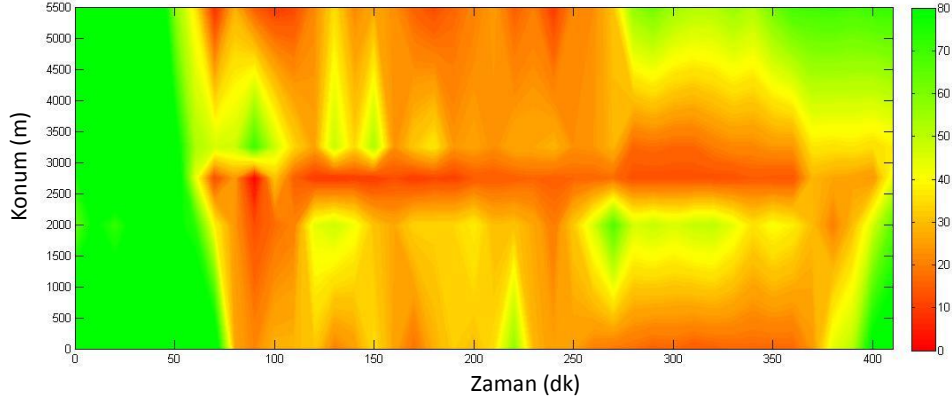
6 Mart Perşembe günü normal trafik durumunun aksine, 5 Mart Çarşamba günü saat 14:51'de gerçekleşen trafik kazasının 2 saat 9 dakika sürede ortadan kaldırılması dolayısıyla trafikte uzun kuyruklar oluşmuş ve ek şerit uygulaması uygulanmamıştır. Bu

nedenle kazanın meydana geldiği gün benzetim modeli de ek şerit uygulaması olmadan oluşturulmuştur.

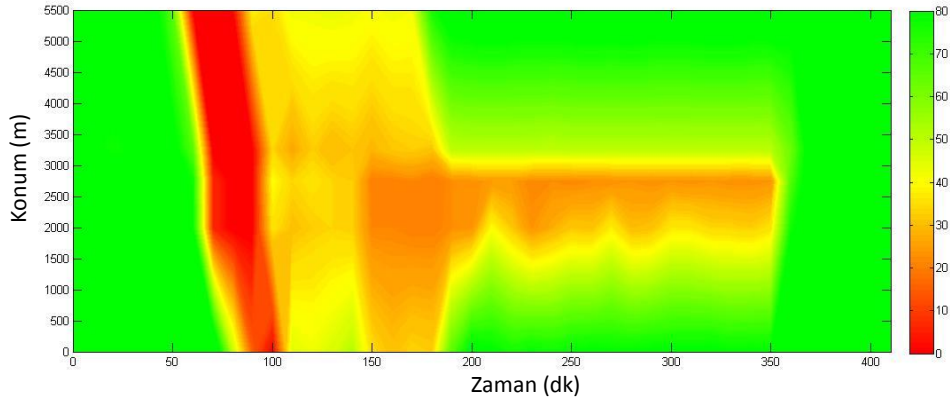
FSM Köprüsü Avrupa çıkışında meydana gelen kazada şeritlerin tümü polis ekipleri ve otoyol servis devriyeleri tarafından 40 dakika boyunca trafiğe kapatılmış ve en sağdaki iki şerit saat 15:31'de trafiğe açılmıştır. Trafik akışı saat 17:00'ye kadar 2 şerit olarak akmaya devam etmiştir. Otoyol servis devriyelerinin ve polis ekiplerinin yoğun uğraşları neticesinde saat 17:00'de kaza ortadan kaldırılarak tüm şeritler trafiğe açılmıştır.

İncelenen kesimde yer alan 5 adet RTMS'ten alınan gerçek hız verileri ile Şekil 4. 11'de gösterilen kontur grafiği, benzetim modelinden temin edilen hız verileri yardımıyla da Şekil 4. 12'de gösterilen kontur grafiği çizilmiştir.

Kaza saat 14:51'de meydana geldiğinden 50 ve 51. dakikalar arasında yüksek hızlarla geçen taşıtlar 50 ve 60. dakikalar arasındaki ortalama hızı yükselttiğinden kazanın bir sonraki 10 dakikalık periyotta meydana geldiği kontur grafiğinde görülmektedir.



Şekil 4. 11 Olaylı duruma ait gerçek hız verileri ile oluşturulan kontur grafiği



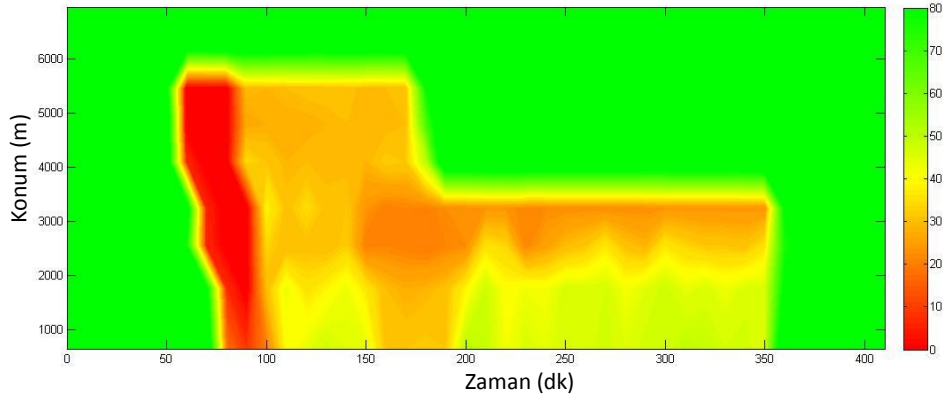
Şekil 4. 12 Olaylı duruma ait benzetim modelinden elde edilen hız verileri ile oluşturulan kontur grafiği

Kazanın etkisinin daha net görülebilmesi amacıyla yol ağı VISSIM’de 9 kesime (node) ayrılmış ve her kesim noktasının ortasına dedektör yerleştirilerek hız ve hacim değerleri elde edilmiştir (Şekil 4. 13).



Şekil 4. 13 İncelenen yol ağındaki kesimler

9 dedektörden alınan hız verileri ile oluşturulan kontur grafiği Şekil 4. 14’de görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi kuyruk uzunluğu kazanın meydana geldiği yerden itibaren incelenen kesimin sonuna kadar ulaşmıştır. Saat 17:00’de kazadan dolayı oluşan kuyruk ile Kavacık katılıminin ve ayrımının oluşturduğu kuyruk birleşmiş ve saat 20:00’ye kadar etkisini göstermiştir.



Şekil 4. 14 9 Dedektörden alınan hız verileri ile oluşturulan kontur grafiği

5 Mart Çarşamba günü olaylı durumun benzetiminin analiz sonuçları Çizelge 4. 4'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 4 Olaylı durumun benzetiminin analiz sonuçları

Saat	Toplam Duruş Sayısı	Toplam Gecikme (saat)	Toplam Seyahat Süresi (saat)	NOx Emisyonu (kg)	CO Emisyonu (kg)	VOC Emisyonu (kg)	Yakıt Tüketimi (lt)
14:00	62	5	71	1,51	7,77	1,8	29,33
14:10	1335	16	102	2,32	11,95	2,77	45,18
14:20	1479	17	103	2,36	12,11	2,81	45,71
14:30	1442	16	101	2,37	12,19	2,83	45,97
14:40	1118	13	96	2,2	11,3	2,62	42,80
14:50	4567	87	147	1,51	7,76	1,8	29,33
15:00	8133	278	314	0,77	3,98	0,92	15,06
15:10	6363	453	470	0,23	1,2	0,28	4,49
15:20	1832	580	583	0,07	0,36	0,08	1,32
15:30	5999	563	577	7,58	38,94	9,02	147,16
15:40	26586	459	488	18,65	95,84	22,21	362,22
15:50	45622	356	398	18,36	94,39	21,87	356,67
16:00	49471	323	369	17,56	90,26	20,92	341,08
16:10	49260	317	364	16,18	83,16	19,27	314,40
16:20	47707	323	368	15,25	78,36	18,16	296,17
16:30	46192	307	364	14,33	73,67	17,07	278,47
16:40	46564	301	366	11,74	60,33	13,98	228,01
16:50	45675	297	364	11,86	60,97	14,13	230,38
17:00	37726	238	321	11,67	60	13,91	226,68
17:10	16128	115	200	4,97	25,54	5,92	96,43
17:20	5567	53	137	2,44	12,52	2,9	47,29
17:30	1697	23	99	1,72	8,86	2,05	33,55
17:40	1880	34	121	1,79	9,2	2,13	34,87

Çizelge 4. 4 Olaylı durumun benzetiminin analiz sonuçları (devamı)

Saat	Toplam Duruş Sayısı	Toplam Gecikme (saat)	Toplam Seyahat Süresi (saat)	NOx Emisyonu (kg)	CO Emisyonu (kg)	VOC Emisyonu (kg)	Yakıt Tüketimi (lt)
17:50	3207	47	137	2,15	11,04	2,56	41,74
18:00	2101	38	131	2,03	10,43	2,42	39,37
18:10	2270	37	127	2,03	10,45	2,42	39,63
18:20	1627	29	114	1,87	9,6	2,22	36,2
18:30	1671	28	110	1,74	8,94	2,07	33,82
18:40	1616	28	108	1,7	8,72	2,02	33,03
18:50	1747	29	109	1,73	8,88	2,06	33,55
19:00	1381	24	103	1,65	8,5	1,97	32,23
19:10	1619	27	106	1,68	8,64	2	32,76
19:20	1567	26	104	1,66	8,55	1,98	32,23
19:30	1678	26	104	1,7	8,72	2,02	33,03
19:40	1714	26	101	1,61	8,27	1,92	31,18
19:50	1702	26	105	1,65	8,5	1,97	32,23
20:00	1528	23	95	2,21	11,34	2,63	42,8
20:10	412	7	76	1,75	8,99	2,08	34,08
20:20	897	11	86	2,01	10,35	2,4	39,1
20:30	771	11	92	2,14	10,98	2,55	41,48
20:40	842	9	80	1,95	10,03	2,32	37,78
20:50	381	6	68	1,6	8,25	1,91	31,18

#### 4.7 Alternatif Senaryoların Oluşturulması

Olaylı durumun benzetim modelinin oluşturulmasının ardından trafik olayı, olay yönetimi ve olayın duyurulması olarak iki şekilde değerlendirilmiştir (Şekil 4. 15). Olay yönetiminin etkilerini görmek amacıyla iki farklı başlık altında 7 senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryoların dışında olayın duyurulmasının etkisi de incelenmiştir.



Şekil 4. 15 Olayın değerlendirilmesi

Olay yönetiminin değerlendirilmesi amacıyla oluşturulan başlıklar aşağıda sıralanmıştır:

- Tüm şeritlerin kapalı olma süresinin azaltılmasının etkisi.
- Kapalı şerit sayısının etkisi.

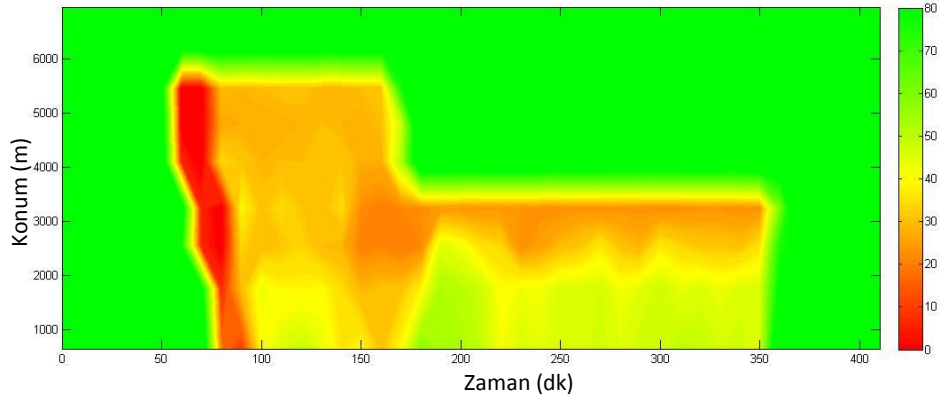
Senaryolara ait kontur grafikleri 9 kesimin orta noktasına yerleştirilen detektörlerden alınan hız verileri kullanılarak oluşturulmuştur.

#### **4.7.1 Tüm Şeritlerin Kapalı Olma Süresinin Azaltılmasının Etkisi**

Polis ekipleri ve otoyol servis devriyeleri tarafından trafik akışının saat 14:51'den saat 15:31' e kadar 40 dakika boyunca durdurulmasının analiz sonuçları ve kontur grafiği yukarıda gösterildikten sonra, tüm şeritlerin kapalı olma süresinin azaltılmasının etkisini görmek amacıyla bu başlıkta 3 farklı senaryo oluşturulmuştur.

#### **OSYİ 30 (Olay Süresi Yönetiminin İyileştirilmesi) - Tüm Şeritlerin 30 Dakika Kapalı Olma Durumu:**

Trafikte olayın meydana geldiği andan itibaren tüm şeritlerin 30 dakika kapalı olma süresinin etkisini görmek amacıyla benzetim modeli yeniden oluşturulmuştur. Tüm şeritlerin saat 14:51'den 15:21'e kadar kapalı olmasının etkisi Şekil 4. 16'da gösterilen kontur grafiğinde görülmektedir. Trafik akışı saat 15:21'de 2 şeridin sürücülerin kullanımına açılmasıyla birlikte saat 16:50'ye kadar devam etmiştir. Kazanın 16:50'de ortadan kaldırılmasıyla tüm şeritler trafiğe açılmıştır. Tüm şeritlerin 30 dakika kapalı olması neticesinde şekilde görüldüğü gibi yaklaşık 5 km uzunluğunda kuyruk meydana gelmiştir.



Şekil 4. 16 Tüm şeritlerin 30 dakika kapalı olma durumunun kontur grafiği

Tüm şeritlerin 30 dakika kapalı olma durumunun analiz sonuçları Çizelge 4. 5’de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 5 Tüm şeritlerin 30 dakika kapalı olma durumunun analiz sonuçları

Saat	Toplam Duruş Sayısı	Toplam Gecikme (saat)	Toplam Seyahat Süresi (saat)	NOx Emisyonu (kg)	CO Emisyonu (kg)	VOC Emisyonu (kg)	Yakıt Tüketimi (lt)
14:00	62	5	71	1,71	8,77	2,03	33,03
14:10	1335	16	102	2,62	13,46	3,12	50,73
14:20	1479	17	103	2,6	13,35	3,09	50,46
14:30	1442	16	101	2,6	13,39	3,1	50,73
14:40	1118	13	96	2,41	12,41	2,88	46,76
14:50	4567	87	147	1,72	8,83	2,05	33,29
15:00	8133	278	314	0,99	5,07	1,17	19,29
15:10	6363	453	470	0,3	1,52	0,35	5,81
15:20	6856	538	554	6,34	32,61	7,56	123,38
15:30	27557	456	485	18,17	93,37	21,64	352,97
15:40	45860	356	399	20,6	105,88	24,54	400,26
15:50	49391	326	372	19,61	100,8	23,36	380,98
16:00	48381	320	367	18,54	95,31	22,09	360,37
16:10	50537	321	367	18,34	94,25	21,84	356,14
16:20	53765	321	367	19,85	102,02	23,65	385,73
16:30	49335	319	373	16,59	85,28	19,76	322,32
16:40	45753	296	361	13,99	71,91	16,67	271,86
16:50	30651	201	281	12,7	65,25	15,12	246,50
17:00	7671	64	141	3,72	19,12	4,43	72,13
17:10	1268	17	81	1,63	8,37	1,94	31,70

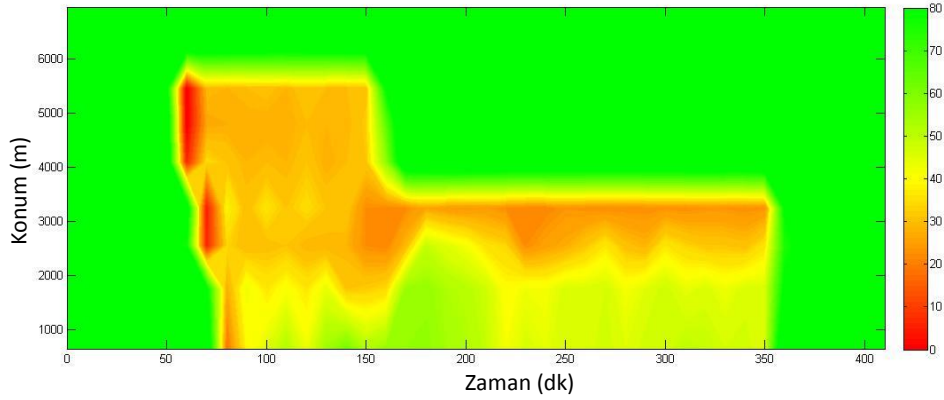


Çizelge 4. 5 Tüm şeritlerin 30 dakika kapalı olma durumunun analiz sonuçları (devamı)

Saat	Toplam Duruş Sayısı	Toplam Gecikme (saat)	Toplam Seyahat Süresi (saat)	NOx Emisyonu (kg)	CO Emisyonu (kg)	VOC Emisyonu (kg)	Yakıt Tüketimi (lt)
17:20	901	16	79	1,38	7,1	1,65	26,95
17:30	1274	20	91	1,57	8,09	1,88	30,65
17:40	2039	35	122	2	10,3	2,39	38,84
17:50	3490	47	137	2,42	12,43	2,88	47,03
18:00	2449	39	132	2,3	11,81	2,74	44,65
18:10	2202	36	127	2,21	11,34	2,63	42,80
18:20	1629	29	113	2,03	10,43	2,42	39,37
18:30	1709	28	109	1,89	9,72	2,25	36,72
18:40	1527	28	107	1,83	9,41	2,18	35,67
18:50	1802	29	109	1,9	9,75	2,26	36,72
19:00	1581	24	103	1,81	9,3	2,16	35,14
19:10	1635	27	106	1,83	9,39	2,18	35,40
19:20	1775	27	105	1,85	9,52	2,21	35,93
19:30	1564	27	104	1,83	9,43	2,19	35,67
19:40	1578	26	101	1,75	9	2,09	34,08
19:50	1608	26	105	1,82	9,34	2,16	35,40
20:00	1451	23	96	2,34	12,04	2,79	45,44
20:10	369	7	76	1,92	9,86	2,28	37,25
20:20	728	10	86	2,21	11,36	2,63	42,80
20:30	986	12	92	2,38	12,21	2,83	46,24
20:40	538	9	81	2,08	10,67	2,47	40,42
20:50	376	6	68	1,75	8,99	2,08	34,08

#### OSYİ 20 - Tüm Şeritlerin 20 Dakika Kapalı Olma Durumu:

İkinci senaryo ise ilk senaryoya göre tüm şeritlerin 10 dakika daha erken açılma durumunun etkisini görmek amacıyla oluşturulmuştur. Benzetim modeli saat 14:51'den 15:11'e kadar tüm şeritler kapalı olacak şekilde yeniden düzenlenmiş ve senaryonun kontur grafiği Şekil 4. 17'de gösterilmiştir. Saat 15:11'den 16:40'a kadar 2 şerit kapalı şekilde trafik akışı sağlanmıştır. Tüm şeritler saat 16:40'ta trafiğe açılmıştır. Kazanın ardından tüm şeritlerin 20 dakika kapalı olma durumunun etkisinin gösterildiği kontur grafiğinde, yaklaşık 3 km kuyruk oluştuğu görülmektedir.



Şekil 4. 17 Tüm şeritlerin 20 dakika kapalı olma durumunun kontur grafiği

Tüm şeritlerin 20 dakika kapalı olma durumunun analiz sonuçları Çizelge 4. 6'da gösterilmiştir.

Çizelge 4. 6 Tüm şeritlerin 20 dakika kapalı olma durumunun analiz sonuçları

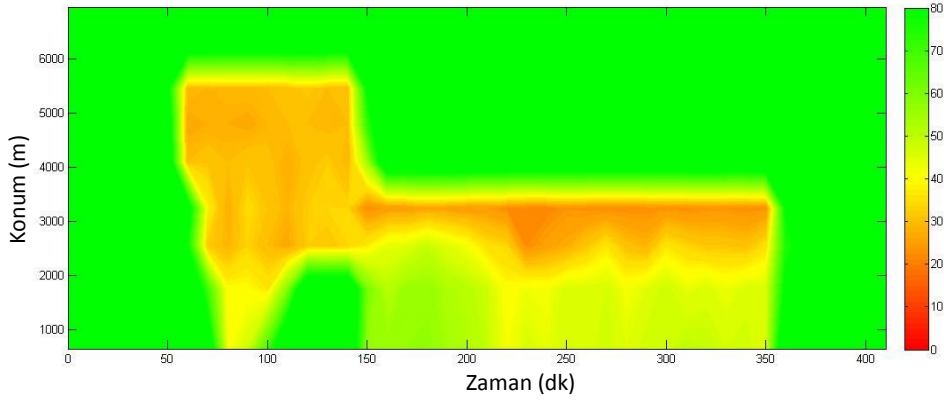
Saat	Toplam Duruş Sayısı	Toplam Gecikme (saat)	Toplam Seyahat Süresi (saat)	NOx Emisyonu (kg)	CO Emisyonu (kg)	VOC Emisyonu (kg)	Yakıt Tüketimi (lt)
14:00	62	5	71	1,71	8,77	2,03	33,15
14:10	1335	16	102	2,62	13,46	3,12	50,86
14:20	1479	17	103	2,60	13,35	3,09	50,45
14:30	1442	16	101	2,60	13,39	3,10	50,61
14:40	1118	13	96	2,41	12,41	2,88	46,89
14:50	4567	87	147	1,72	8,83	2,05	33,38
15:00	8133	278	314	0,99	5,07	1,17	19,16
15:10	11391	411	441	5,25	26,99	6,25	102,00
15:20	28418	431	461	15,84	81,41	18,87	307,70
15:30	46759	353	396	19,08	98,08	22,73	370,72
15:40	50751	326	372	19,37	99,54	23,07	376,23
15:50	48923	309	355	19,27	99,07	22,96	374,44
16:00	42662	278	325	18,36	94,38	21,87	356,74
16:10	40724	268	315	16,58	85,22	19,75	322,11
16:20	40601	263	310	15,93	81,90	18,98	309,55
16:30	36349	242	298	14,38	73,91	17,13	279,35
16:40	25147	156	231	11,11	57,13	13,24	215,92
16:50	2877	28	91	2,58	13,24	3,07	50,05
17:00	433	8	55	1,03	5,28	1,22	19,96
17:10	685	12	67	1,18	6,07	1,41	22,95
17:20	585	13	75	1,35	6,94	1,61	26,24

Çizelge 4. 6 Tüm şeritlerin 20 dakika kapalı olma durumunun analiz sonuçları (devamı)

Saat	Toplam Duruş Sayısı	Toplam Gecikme (saat)	Toplam Seyahat Süresi (saat)	NOx Emisyonu (kg)	CO Emisyonu (kg)	VOC Emisyonu (kg)	Yakıt Tüketimi (lt)
17:30	453	15	85	1,43	7,37	1,71	27,86
17:40	781	29	118	1,97	10,14	2,35	38,34
17:50	3311	46	136	2,42	12,44	2,88	47,01
18:00	2139	39	131	2,22	11,40	2,64	43,08
18:10	2237	37	127	2,23	11,48	2,66	43,40
18:20	1664	29	114	2,02	10,37	2,40	39,19
18:30	1753	28	110	1,90	9,77	2,27	36,94
18:40	1463	28	108	1,85	9,51	2,21	35,96
18:50	1969	30	109	1,88	9,67	2,24	36,56
19:00	1434	25	103	1,81	9,28	2,15	35,07
19:10	1802	27	106	1,85	9,51	2,20	35,95
19:20	1574	26	104	1,85	9,49	2,20	35,86
19:30	1492	26	103	1,84	9,47	2,19	35,77
19:40	1718	26	102	1,76	9,03	2,09	34,13
19:50	1673	26	105	1,82	9,36	2,17	35,39
20:00	1572	22	95	2,38	12,26	2,84	46,32
20:10	308	7	76	1,91	9,82	2,28	37,12
20:20	785	10	86	2,20	11,33	2,63	42,82
20:30	896	12	92	2,36	12,13	2,81	45,87
20:40	863	10	80	2,11	10,87	2,52	41,07
20:50	269	6	68	1,75	8,99	2,08	33,96

#### OSYİ 10 - Tüm Şeritlerin 10 Dakika Kapalı Olma Durumu:

Son olarak, tüm şeritlerin 10 dakika kapalı olma durumunun trafiği ne derece etkileyeceğini görmek amacıyla benzetim modeli yeniden oluşturulmuştur. Saat 15:01'de 2 şerit açılarak trafik akışı saat 16:30'a kadar 2 şerit akmaya devam etmiştir. Saat 16:30'da tüm şeritler sürücülerin kullanımına açılmıştır. Tüm şeritlerin kaza sonrası 10 dakika kapalı olmasının etkisi Şekil 4. 18'deki kontur grafiğinde görülmektedir.



Şekil 4. 18 Tüm şeritlerin 10 dakika kapalı olma durumunun kontur grafiği

Tüm şeritlerin 10 dakika kapalı olma durumunun analiz sonuçları Çizelge 4. 7'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 7 Tüm şeritlerin 10 dakika kapalı olma durumunun analiz sonuçları

Saat	Toplam Duruş Sayısı	Toplam Gecikme (saat)	Toplam Seyahat Süresi (saat)	NOx Emisyonu (kg)	CO Emisyonu (kg)	VOC Emisyonu (kg)	Yakıt Tüketimi (lt)
14:00	62	5	71	1,71	8,77	2,03	33,15
14:10	1335	16	102	2,62	13,46	3,12	50,86
14:20	1479	17	103	2,60	13,35	3,09	50,45
14:30	1442	16	101	2,60	13,39	3,10	50,61
14:40	1118	13	96	2,41	12,41	2,88	46,89
14:50	4567	87	147	1,72	8,83	2,05	33,38
15:00	13161	236	285	4,63	23,80	5,52	89,95
15:10	32119	304	348	13,40	68,86	15,96	260,25
15:20	46137	328	372	17,27	88,76	20,57	335,47
15:30	45254	304	351	18,65	95,87	22,22	362,34
15:40	38138	263	308	16,83	86,51	20,05	327,00
15:50	32409	217	257	13,59	69,86	16,19	264,05
16:00	28769	183	228	11,79	60,58	14,04	228,98
16:10	26671	178	223	10,88	55,94	12,97	211,44
16:20	26281	175	222	10,95	56,29	13,05	212,77
16:30	16985	110	182	9,89	50,82	11,78	192,08
16:40	1061	14	73	1,80	9,23	2,14	34,87
16:50	336	5	43	0,82	4,20	0,97	15,89
17:00	261	6	48	0,86	4,43	1,03	16,73
17:10	133	6	57	1,03	5,28	1,22	19,97
17:20	40	8	62	1,08	5,54	1,28	20,94
17:30	458	15	84	1,43	7,37	1,71	27,86

Çizelge 4. 7 Tüm şeritlerin 10 dakika kapalı olma durumunun analiz sonuçları (devamı)

Saat	Toplam Duruş Sayısı	Toplam Gecikme (saat)	Toplam Seyahat Süresi (saat)	NOx Emisyonu (kg)	CO Emisyonu (kg)	VOC Emisyonu (kg)	Yakıt Tüketimi (lt)
17:40	781	29	118	1,97	10,14	2,35	38,34
17:50	3311	46	136	2,42	12,44	2,88	47,01
18:00	2139	39	131	2,22	11,40	2,64	43,08
18:10	2237	37	127	2,23	11,48	2,66	43,40
18:20	1664	29	114	2,02	10,37	2,40	39,19
18:30	1753	28	110	1,90	9,77	2,27	36,94
18:40	1463	28	108	1,85	9,51	2,21	35,96
18:50	1969	30	109	1,88	9,67	2,24	36,56
19:00	1434	25	103	1,81	9,28	2,15	35,07
19:10	1802	27	106	1,85	9,51	2,20	35,95
19:20	1574	26	104	1,85	9,49	2,20	35,86
19:30	1492	26	103	1,84	9,47	2,19	35,77
19:40	1718	26	102	1,76	9,03	2,09	34,13
19:50	1673	26	105	1,82	9,36	2,17	35,39
20:00	1572	22	95	2,38	12,26	2,84	46,32
20:10	308	7	76	1,91	9,82	2,28	37,12
20:20	785	10	86	2,20	11,33	2,63	42,82
20:30	896	12	92	2,36	12,13	2,81	45,87
20:40	863	10	80	2,11	10,87	2,52	41,07
20:50	269	6	68	1,75	8,99	2,08	33,96

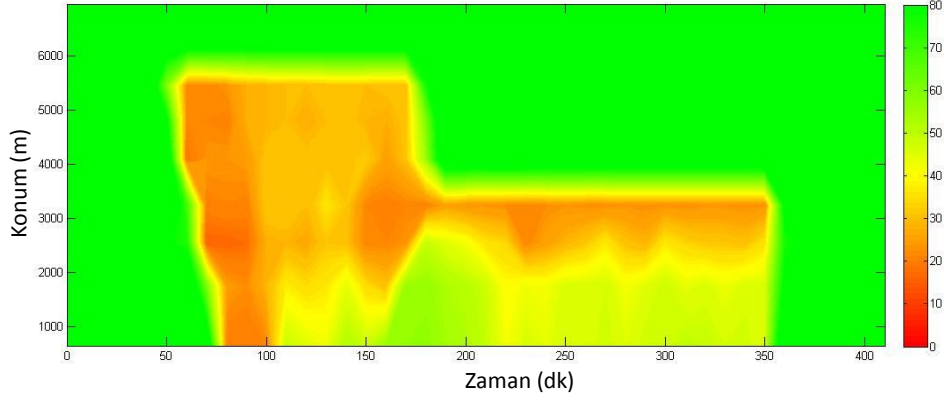
#### 4.7.2 Kapalı Şerit Sayısının Etkisi

Bu başlıkta 4 senaryo oluşturulmuştur. Senaryolar, saat 14:51’de meydana gelen trafik kazasında tüm şeritlerin 40 dakika boyunca kapatılmasından dolayı kapalı şerit sayısının etkisini görmek amacıyla analiz edilmiştir.

#### OYYİ 1 (Olay Yeri Yönetiminin İyileştirilmesi) - 3 Şeridin Kapalı Olması:

İlk senaryo, trafik kazası sonrası 3 şeridin 40 dakika boyunca polis ekipleri ve otoyol servis devriyeleri tarafından sürücülerin kullanımına kapatılmasının etkisini görmek amacıyla oluşturulmuştur. Şekil 4. 19’da trafik akışının saat 15:31’e kadar en sağ şeritten sağlanması neticesinde oluşan kontur grafiği görülmektedir. Saat 15:31’de bir şeridin daha trafiğe açılmasıyla birlikte trafik akışının saat 17:00’ye kadar iki şeritten akması sağlanmıştır. Saat 17:00’de ise tüm şeritler trafiğe açılmıştır. Bu senaryoda trafik

tamamen durmamış, ancak hız yaklaşık 5 km boyunca 10 km/sa'e kadar düşmüştür. Yine Kavacık katılım ve ayrılımasının etkisi Şekil 4. 19'de görülmektedir.



Şekil 4. 19 3 şeridin kapalı olma durumunun kontur grafiği

3 şeridin kazanın meydana geldiği saatten itibaren 40 dakika boyunca kapalı olma durumunun analiz sonuçları Çizelge 4. 8'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 8 3 şeridin kapalı olma durumunun analiz sonuçları

Saat	Toplam Duruş Sayısı	Toplam Gecikme (saat)	Toplam Seyahat Süresi (saat)	NOx Emisyonu (kg)	CO Emisyonu (kg)	VOC Emisyonu (kg)	Yakıt Tüketimi (lt)
14:00	62	5	71	1,71	8,77	2,03	33,15
14:10	1335	16	102	2,62	13,46	3,12	50,86
14:20	1479	17	103	2,60	13,35	3,09	50,45
14:30	1442	16	101	2,60	13,39	3,10	50,61
14:40	1118	13	96	2,41	12,41	2,88	46,89
14:50	7080	67	133	2,64	13,59	3,15	51,35
15:00	22306	206	254	5,63	28,92	6,70	109,32
15:10	34553	330	365	9,75	50,11	11,61	189,41
15:20	45382	409	434	14,85	76,33	17,69	288,50
15:30	49618	419	449	19,88	102,20	23,69	386,28
15:40	50064	369	408	24,93	128,14	29,70	484,35
15:50	46292	315	361	20,93	107,55	24,93	406,50
16:00	44461	282	329	17,95	92,26	21,38	348,70
16:10	43767	272	319	18,05	92,79	21,51	350,73
16:20	39909	270	316	16,06	82,53	19,13	311,94
16:30	38725	253	308	14,58	74,96	17,37	283,32
16:40	32731	214	271	11,63	59,75	13,85	225,84
16:50	24611	166	217	9,69	49,83	11,55	188,33

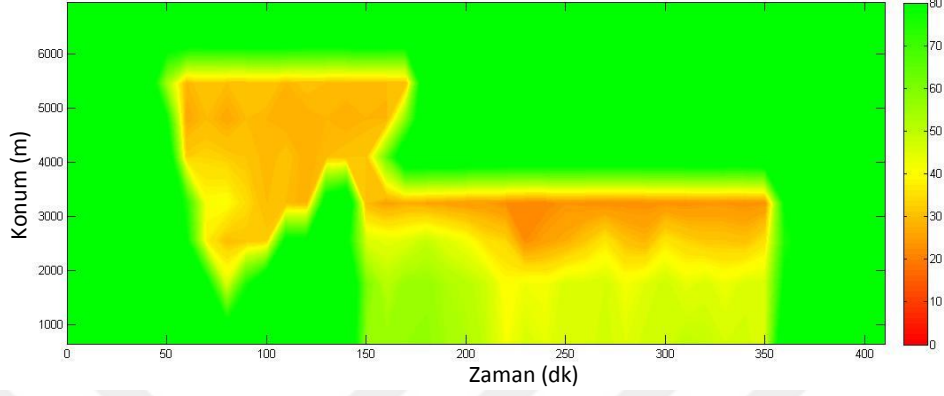
Çizelge 4. 8 3 şeridin kapalı olma durumunun analiz sonuçları (devamı)

Saat	Toplam Duruş Sayısı	Toplam Gecikme (saat)	Toplam Seyahat Süresi (saat)	NOx Emisyonu (kg)	CO Emisyonu (kg)	VOC Emisyonu (kg)	Yakıt Tüketimi (lt)
17:00	12581	86	154	8,71	44,74	10,37	169,12
17:10	712	13	74	1,43	7,37	1,71	27,84
17:20	931	16	78	1,38	7,12	1,65	26,90
17:30	1383	20	91	1,58	8,13	1,88	30,73
17:40	1901	35	122	2,01	10,33	2,39	39,04
17:50	3369	47	137	2,43	12,51	2,90	47,29
18:00	2328	39	131	2,25	11,57	2,68	43,72
18:10	2315	37	127	2,22	11,39	2,64	43,04
18:20	1759	29	113	2,05	10,53	2,44	39,81
18:30	1723	28	109	1,89	9,71	2,25	36,72
18:40	1595	28	108	1,83	9,42	2,18	35,59
18:50	1865	29	108	1,89	9,72	2,25	36,74
19:00	1397	24	103	1,80	9,27	2,15	35,03
19:10	1735	27	107	1,86	9,54	2,21	36,07
19:20	1659	27	104	1,84	9,46	2,19	35,76
19:30	1641	26	104	1,85	9,53	2,21	36,03
19:40	1716	26	101	1,75	8,97	2,08	33,92
19:50	1703	26	105	1,82	9,35	2,17	35,36
20:00	1593	22	95	2,39	12,29	2,85	46,45
20:10	357	7	76	1,92	9,88	2,29	37,35
20:20	842	10	86	2,21	11,37	2,64	42,98
20:30	729	11	92	2,35	12,05	2,79	45,56
20:40	581	9	81	2,10	10,82	2,51	40,88
20:50	261	5	69	1,75	8,98	2,08	33,94

#### OYYİ 2 - 2 Şeridin Kapalı Olması:

İkinci senaryo, saat 14:51'den 15:31'e kadar 2 şeridin kapalı olma durumunun etkisini görmek amacıyla oluşturulmuştur. Saat 15:31'de taşıt trafiğine kapalı olan 2 şerit açılmayıp saat 17:00'ye kadar trafik 2 şeritten sağlanmıştır. Saat 17:00'de ise tüm şeritler sürücülerin kullanımına açılmıştır. Şekil 4. 20'de gösterilen kontur grafiğinde, hız yaklaşık 3.5 km boyunca 25 km/sa'e kadar düşmüştür.

Saat 16:30'da kazadan dolayı oluşan kuyruğun Kavacık katılım ve ayrımından dolayı oluşan kuyruk ile birleştiği ve akşam saat 20:00'ye kadar katılım ve ayrımın etkisinin devam ettiği Şekil 4. 20'de görülmektedir.



Şekil 4. 20 2 şeridin kapalı olma durumunun kontur grafiği

2 şeridin kapalı olma durumunun analiz sonuçları Çizelge 4. 9'da gösterilmiştir.

Çizelge 4. 9 2 şeridin kapalı olma durumunun analiz sonuçları

Saat	Toplam Duruş Sayısı	Toplam Gecikme (saat)	Toplam Seyahat Süresi (saat)	NOx Emisyonu (kg)	CO Emisyonu (kg)	VOC Emisyonu (kg)	Yakıt Tüketimi (lt)
14:00	62	5	71	1,71	8,77	2,03	33,15
14:10	1335	16	102	2,62	13,46	3,12	50,86
14:20	1479	17	103	2,60	13,35	3,09	50,45
14:30	1442	16	101	2,60	13,39	3,10	50,61
14:40	1118	13	96	2,41	12,41	2,88	46,89
14:50	5558	48	120	2,96	15,19	3,52	57,43
15:00	19779	131	194	7,40	38,02	8,81	143,70
15:10	31838	201	258	12,10	62,22	14,42	235,16
15:20	35813	229	276	14,03	72,10	16,71	272,51
15:30	35838	214	256	14,09	72,40	16,78	273,66
15:40	27590	180	220	11,90	61,16	14,17	231,15
15:50	22189	149	186	9,56	49,12	11,38	185,67
16:00	18986	125	168	9,15	47,01	10,90	177,70
16:10	16323	108	152	7,45	38,31	8,88	144,81
16:20	16491	107	155	7,27	37,37	8,66	141,25
16:30	13825	103	156	7,00	35,97	8,34	135,97
16:40	9856	77	123	5,52	28,37	6,57	107,23
16:50	3670	34	69	2,67	13,70	3,18	51,79
17:00	294	7	50	1,24	6,36	1,47	24,04

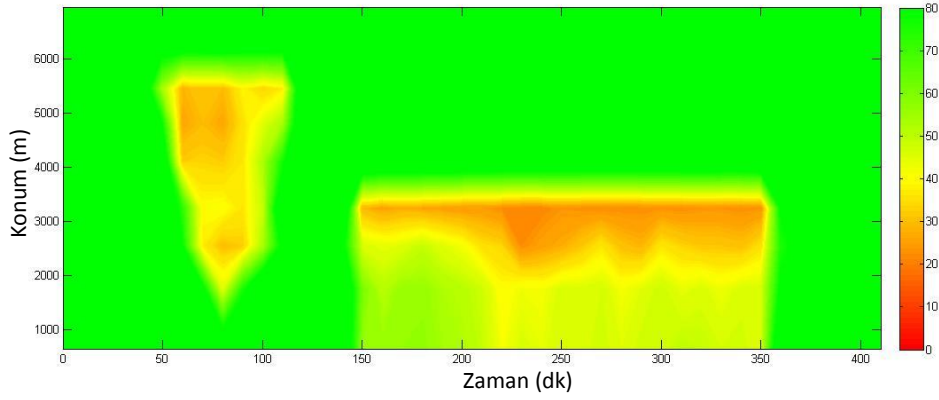


Çizelge 4. 9 2 şeridin kapalı olma durumunun analiz sonuçları (devamı)

Saat	Toplam Duruş Sayısı	Toplam Gecikme (saat)	Toplam Seyahat Süresi (saat)	NOx Emisyonu (kg)	CO Emisyonu (kg)	VOC Emisyonu (kg)	Yakıt Tüketimi (lt)
17:10	133	6	57	1,03	5,28	1,22	19,97
17:20	40	8	62	1,08	5,54	1,28	20,94
17:30	458	15	84	1,43	7,37	1,71	27,86
17:40	781	29	118	1,97	10,14	2,35	38,34
17:50	3311	46	136	2,42	12,44	2,88	47,01
18:00	2139	39	131	2,22	11,40	2,64	43,08
18:10	2237	37	127	2,23	11,48	2,66	43,40
18:20	1664	29	114	2,02	10,37	2,40	39,19
18:30	1753	28	110	1,90	9,77	2,27	36,94
18:40	1463	28	108	1,85	9,51	2,21	35,96
18:50	1969	30	109	1,88	9,67	2,24	36,56
19:00	1434	25	103	1,81	9,28	2,15	35,07
19:10	1802	27	106	1,85	9,51	2,20	35,95
19:20	1574	26	104	1,85	9,49	2,20	35,86
19:30	1492	26	103	1,84	9,47	2,19	35,77
19:40	1718	26	102	1,76	9,03	2,09	34,13
19:50	1673	26	105	1,82	9,36	2,17	35,39
20:00	1572	22	95	2,38	12,26	2,84	46,32
20:10	308	7	76	1,91	9,82	2,28	37,12
20:20	785	10	86	2,20	11,33	2,63	42,82
20:30	896	12	92	2,36	12,13	2,81	45,87
20:40	863	10	80	2,11	10,87	2,52	41,07
20:50	269	6	68	1,75	8,99	2,08	33,96

#### OYYİ 2\_1 - Önce 2 Şeridin Sonra 1 Şeridin Kapalı Olması:

Üçüncü senaryo, ikinci senaryoda olduğu gibi saat 14:51'den 15:31'e kadar 2 şeridin kapalı olma durumunun etkisini görmek amacıyla oluşturulmuştur. Saat 15:31'e kadar trafik akışı 2 şeritten sağlanmıştır. Bu senaryoda trafik akışı, ikinci senaryodan farklı olarak polis ekipleri ve otoyol servis devriyelerinin saat 15:31'de bir şeridi daha sürücülerin kullanımına açması sayesinde saat 17:00'ye kadar 3 şeritten sağlanmıştır. Saat 17:00'de ise tüm şeritler trafiğe açılmıştır. Şekil 4. 21'de görülen kontur grafiğinde saat 15:31'e kadar hız yaklaşık 2 km boyunca 35 km/sa'e kadar düşmüştür. Akşam saat 17:00'den 20:00'e kadar Kavacık katılım ve ayrılıminin etkisinin devam ettiği görülmektedir.



Şekil 4. 21 Önce 2 sonra 1 şeridin kapalı olma durumunun kontur grafiği

Çizelge 4. 10'da önce 2 şeridin sonra 1 şeridin kapalı olma durumunun analiz sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 4. 10 Önce 2 şeridin sonra 1 şeridin kapalı olma durumunun analiz sonuçları

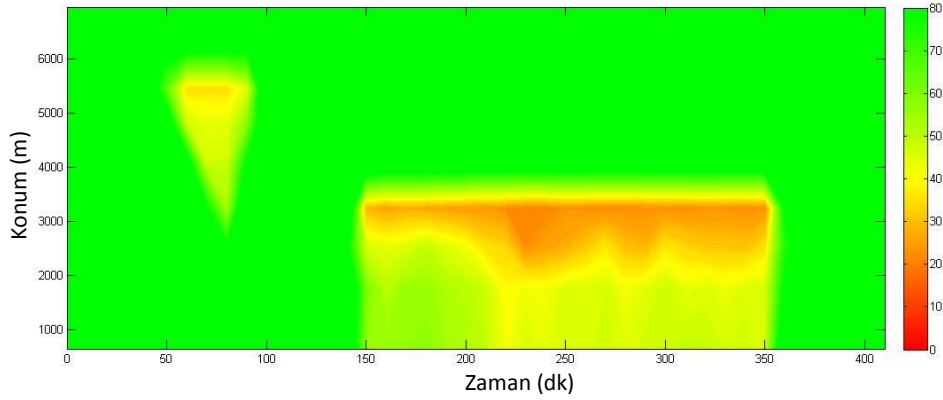
Saat	Toplam Duruş Sayısı	Toplam Gecikme (saat)	Toplam Seyahat Süresi (saat)	NOx Emisyonu (kg)	CO Emisyonu (kg)	VOC Emisyonu (kg)	Yakıt Tüketimi (lt)
14:00	62	5	71	1,71	8,77	2,03	33,15
14:10	1335	16	102	2,62	13,46	3,12	50,86
14:20	1479	17	103	2,60	13,35	3,09	50,45
14:30	1442	16	101	2,60	13,39	3,10	50,61
14:40	1118	13	96	2,41	12,41	2,88	46,89
14:50	5558	48	120	2,96	15,19	3,52	57,43
15:00	19779	131	194	7,40	38,02	8,81	143,70
15:10	31838	201	258	12,10	62,22	14,42	235,16
15:20	35813	229	276	14,03	72,10	16,71	272,51
15:30	31562	192	243	14,44	74,19	17,19	280,42
15:40	16083	105	160	8,57	44,03	10,21	166,43
15:50	5144	40	81	3,71	19,09	4,42	72,14
16:00	18	1	37	0,96	4,93	1,14	18,62
16:10	11	1	41	1,06	5,43	1,26	20,54
16:20	55	2	52	1,32	6,76	1,57	25,56
16:30	28	4	52	0,96	4,92	1,14	18,59
16:40	15	4	44	0,82	4,23	0,98	15,99
16:50	0	1	27	0,49	2,52	0,58	9,54
17:00	261	6	48	0,86	4,43	1,03	16,74
17:10	133	6	57	1,03	5,28	1,22	19,97
17:20	40	8	62	1,08	5,54	1,28	20,94
17:30	458	15	84	1,43	7,37	1,71	27,86

Çizelge 4. 10 Önce 2 şeridin sonra 1 şeridin kapalı olma durumunun analiz sonuçları  
(devamı)

Saat	Toplam Duruş Sayısı	Toplam Gecikme (saat)	Toplam Seyahat Süresi (saat)	NOx Emisyonu (kg)	CO Emisyonu (kg)	VOC Emisyonu (kg)	Yakıt Tüketimi (lt)
17:40	781	29	118	1,97	10,14	2,35	38,34
17:50	3311	46	136	2,42	12,44	2,88	47,01
18:00	2139	39	131	2,22	11,40	2,64	43,08
18:10	2237	37	127	2,23	11,48	2,66	43,40
18:20	1664	29	114	2,02	10,37	2,40	39,19
18:30	1753	28	110	1,90	9,77	2,27	36,94
18:40	1463	28	108	1,85	9,51	2,21	35,96
18:50	1969	30	109	1,88	9,67	2,24	36,56
19:00	1434	25	103	1,81	9,28	2,15	35,07
19:10	1802	27	106	1,85	9,51	2,20	35,95
19:20	1574	26	104	1,85	9,49	2,20	35,86
19:30	1492	26	103	1,84	9,47	2,19	35,77
19:40	1718	26	102	1,76	9,03	2,09	34,13
19:50	1673	26	105	1,82	9,36	2,17	35,39
20:00	1572	22	95	2,38	12,26	2,84	46,32
20:10	308	7	76	1,91	9,82	2,28	37,12
20:20	785	10	86	2,20	11,33	2,63	42,82
20:30	896	12	92	2,36	12,13	2,81	45,87
20:40	863	10	80	2,11	10,87	2,52	41,07
20:50	269	6	68	1,75	8,99	2,08	33,96

### OYYİ 3 - 1 Şeridin Kapalı Olması:

Saat 14:51’de meydana gelen kazadan sonra 1 şeridin kapalı olma durumunun etkisini görmek amacıyla oluşturulan bu senaryoda, ulaşım saat 17:00’ye kadar 3 şeritten sağlanmıştır. Polis ekipleri ve otoyol servis devriyeleri tüm şeritleri saat 17:00’de sürücülerin kullanımına açmıştır. Şekil 4. 22’de gösterilen kontur grafiğinde, trafiğin 3 şeritten akması sayesinde herhangi bir kuyruğun oluşmadığı ve ayrıca saat 16:30’da Kavacık katılım ve ayrımının etkisinin akşam saat 20:00’e kadar devam ettiği görülmektedir.



Şekil 4. 22 1 şeridin kapalı olma durumunun kontur grafiği

1 şeridin kapalı olma durumunun analiz sonuçları Çizelge 4. 11’de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 11 1 şeridin kapalı olma durumunun analiz sonuçları

Saat	Toplam Duruş Sayısı	Toplam Gecikme (saat)	Toplam Seyahat Süresi (saat)	NOx Emisyonu (kg)	CO Emisyonu (kg)	VOC Emisyonu (kg)	Yakıt Tüketimi (lt)
14:00	62	5	71	1,71	8,77	2,03	33,15
14:10	1335	16	102	2,62	13,46	3,12	50,86
14:20	1479	17	103	2,60	13,35	3,09	50,45
14:30	1442	16	101	2,60	13,39	3,10	50,61
14:40	1118	13	96	2,41	12,41	2,88	46,89
14:50	2269	24	103	2,68	13,77	3,19	52,03
15:00	7450	56	133	4,44	22,83	5,29	86,30
15:10	12000	81	156	6,14	31,57	7,32	119,31
15:20	12889	83	144	6,51	33,44	7,75	126,37
15:30	3815	30	72	3,13	16,09	3,73	60,80
15:40	1	0	26	0,67	3,45	0,80	13,05
15:50	4	0	26	0,66	3,42	0,79	12,91
16:00	4	1	36	0,90	4,63	1,07	17,50
16:10	11	1	41	1,06	5,43	1,26	20,54
16:20	46	2	52	1,32	6,77	1,57	25,59
16:30	23	4	52	0,95	4,90	1,14	18,52
16:40	15	4	44	0,82	4,23	0,98	15,99
16:50	0	1	27	0,49	2,52	0,58	9,54
17:00	261	6	48	0,86	4,43	1,03	16,74
17:10	133	6	57	1,03	5,28	1,22	19,97
17:20	40	8	62	1,08	5,54	1,28	20,94
17:30	458	15	84	1,43	7,37	1,71	27,86

Çizelge 4. 11 1 şeridin kapalı olma durumunun analiz sonuçları (devamı)

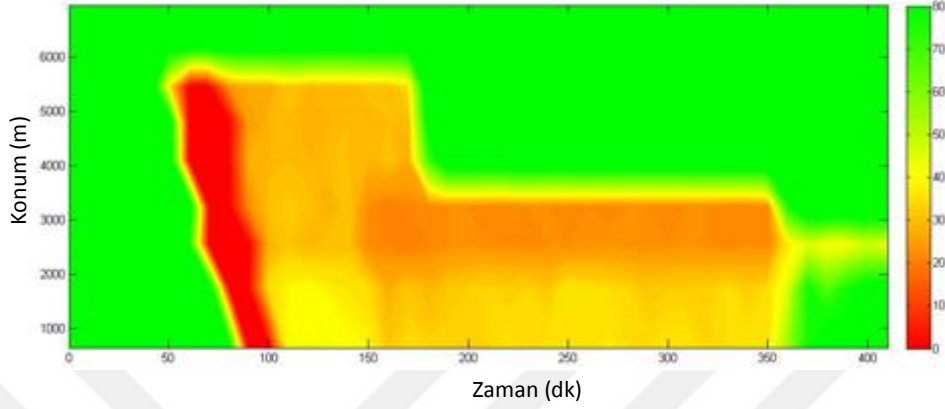
Saat	Toplam Duruş Sayısı	Toplam Gecikme (saat)	Toplam Seyahat Süresi (saat)	NOx Emisyonu (kg)	CO Emisyonu (kg)	VOC Emisyonu (kg)	Yakıt Tüketimi (lt)
17:40	781	29	118	1,97	10,14	2,35	38,34
17:50	3311	46	136	2,42	12,44	2,88	47,01
18:00	2139	39	131	2,22	11,40	2,64	43,08
18:10	2237	37	127	2,23	11,48	2,66	43,40
18:20	1664	29	114	2,02	10,37	2,40	39,19
18:30	1753	28	110	1,90	9,77	2,27	36,94
18:40	1463	28	108	1,85	9,51	2,21	35,96
18:50	1969	30	109	1,88	9,67	2,24	36,56
19:00	1434	25	103	1,81	9,28	2,15	35,07
19:10	1802	27	106	1,85	9,51	2,20	35,95
19:20	1574	26	104	1,85	9,49	2,20	35,86
19:30	1492	26	103	1,84	9,47	2,19	35,77
19:40	1718	26	102	1,76	9,03	2,09	34,13
19:50	1673	26	105	1,82	9,36	2,17	35,39
20:00	1572	22	95	2,38	12,26	2,84	46,32
20:10	308	7	76	1,91	9,82	2,28	37,12
20:20	785	10	86	2,20	11,33	2,63	42,82
20:30	896	12	92	2,36	12,13	2,81	45,87
20:40	863	10	80	2,11	10,87	2,52	41,07
20:50	269	6	68	1,75	8,99	2,08	33,96

#### 4.8 Olayın Duyurulmasının Etkisinin İncelenmesi

5 Mart kazanın meydana geldiği gün 280 numaralı RTMS'ten 7 saat boyunca toplam 27 bin 702 taşıt geçerken aynı RTMS'ten ertesi gün 33 bin 809 taşıt geçmiştir. Kazanın sürücülere ve toplu taşıma kullanan yolculara sosyal medya ve radyo aracılığıyla bildirilmesi sayesinde olaylı ve normal trafik durumu arasında taşıt sayısında % 22 oranında fark olduğu görülmüştür. Eğer sosyal medya veya radyo aracılığıyla olayın daha geç duyurulması ya da hiç duyurulmaması gibi durumlar yaşansaydı olayın trafik üzerindeki etkileri ne olurdu diye araştırabilmek ve Olayın Duyurulma Süresinin İyileştirilmesi (ODSi)'nin önemini vurgulamak amacıyla bu senaryo oluşturulmuştur.

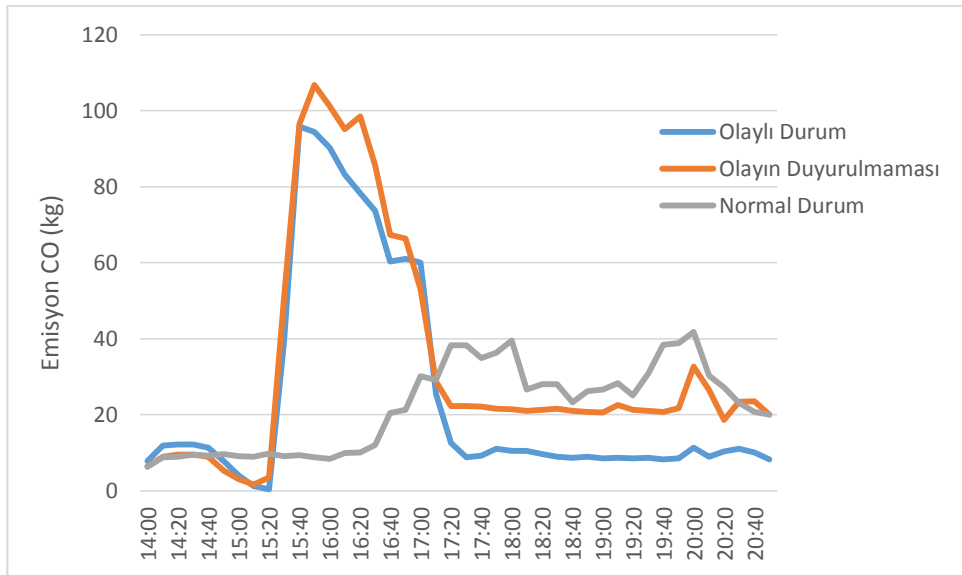
Her kesim noktasının ortasına yerleştirilen 9 dedektörden alınan hız verileri ile Şekil 4. 23'de gösterilen kontur grafiği oluşturulmuştur. Taşıtların sayısı, olaylı duruma göre % 22 oranında fazla olduğundan kuyruk uzunluğu 55 dakika içerisinde incelenen kesimin

sonuna kadar ulaşmıştır. Kazadan dolayı oluşan kuyruk ile Kavacık katılımının ve ayrımının oluşturduğu kuyruk saat 17:00'de birleşmiş ve saat 20:00'ye kadar etkisini göstermiştir.



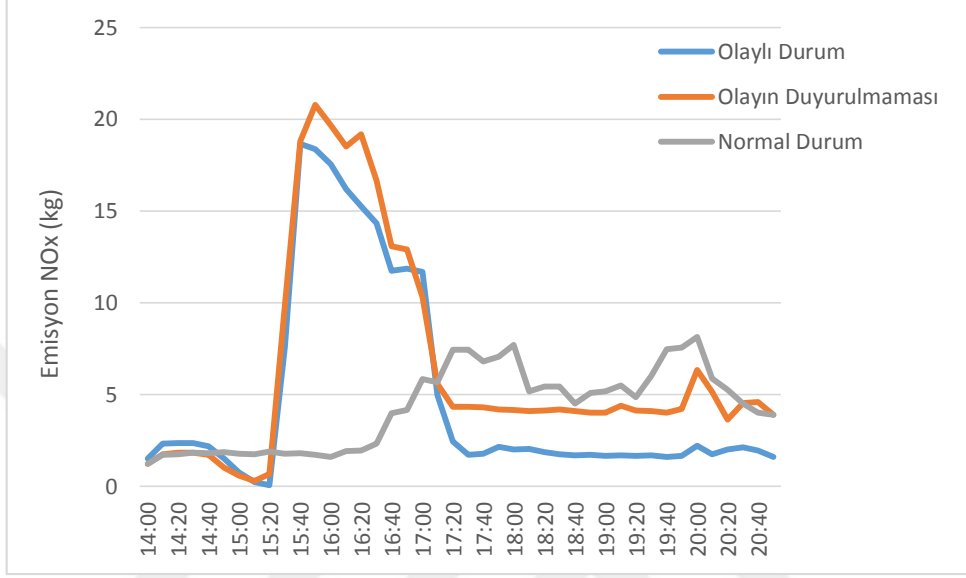
Şekil 4. 23 Olayın duyurulmasının etkisinin kontur grafiği

Olaylı durumun, normal durumun ve olayın duyurulmasının etkisi performans göstergelerine göre karşılaştırılmıştır. Şekil 4. 24'te olayın duyurulmasının karbonmonoksit salımına etkisi görülmektedir. Olaylı duruma bakıldığında, 15:40 ile 17:00 saatleri arasında olayın duyurulmasının etkisi görülmektedir. Normal durumda saat 17:00'den itibaren hem ek şerit uygulamasının hem de Kavacık katılım ve ayrımının karbonmonoksit salımını arttırdığı görülmektedir.

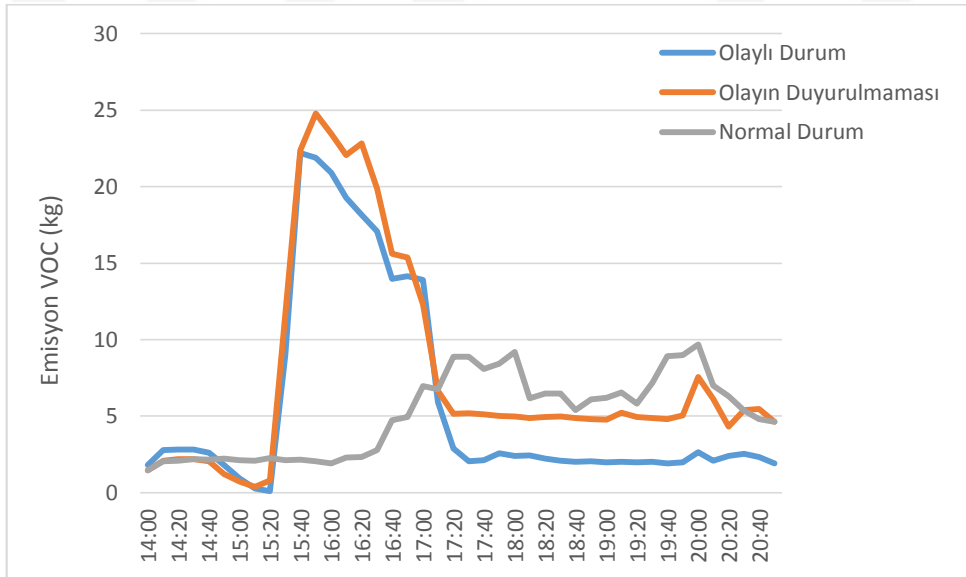


Şekil 4. 24 Olayın duyurulmasının karbonmonoksit salımına etkisi

Şekil 4. 25 ve Şekil 4. 26’da sırasıyla olayın duyurulmasının nitrojen oksit ve uçucu organik bileşiklerin salımına etkisi görülmektedir. Olayın duyurulması, karbonmonoksit salımında olduğu gibi nitrojen oksit ve uçucu organik bileşiklerin salımında da olumlu etki yaratmıştır.

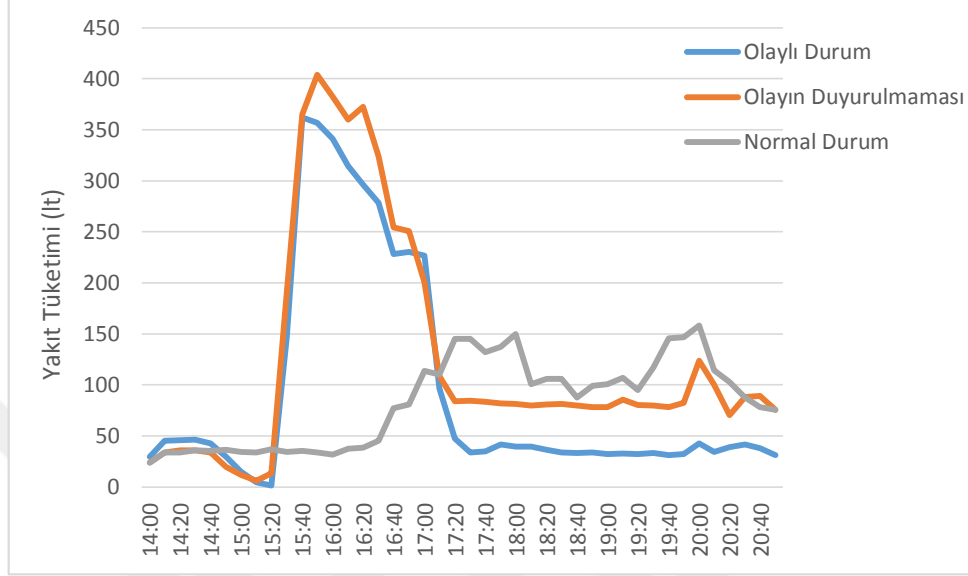


Şekil 4. 25 Olayın duyurulmasının nitrojen oksit salımına etkisi



Şekil 4. 26 Olayın duyurulmasının uçucu organik bileşiklerin salımına etkisi

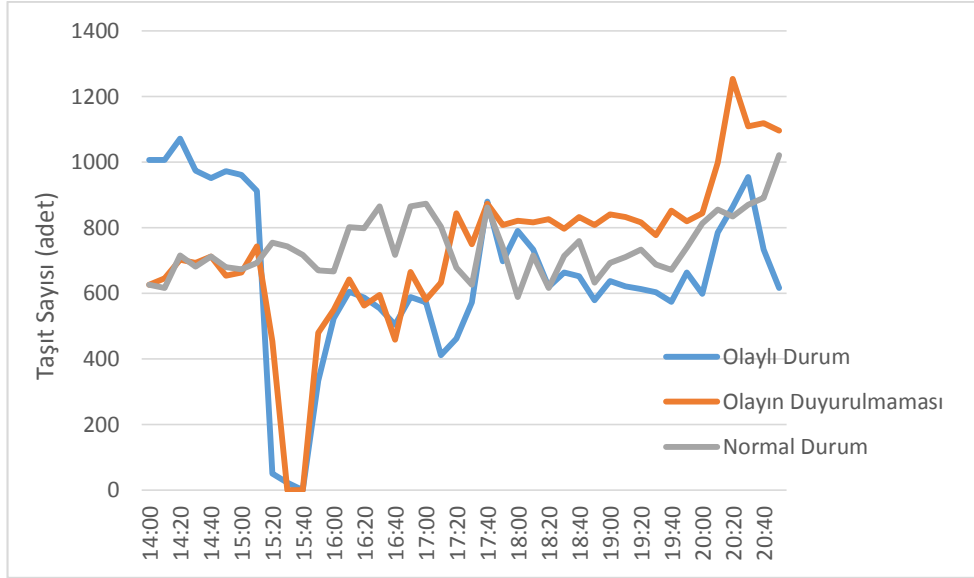
Şekil 4. 27'deki grafik, olayın duyurulmasının yakıt tüketimine etkisini görebilmek amacıyla oluşturulmuştur. Saat 17:00'den itibaren normal durumda ek şerit uygulamasından dolayı yakıt tüketiminin arttığı görülmektedir.



Şekil 4. 27 Olayın duyurulmasının yakıt tüketimine etkisi

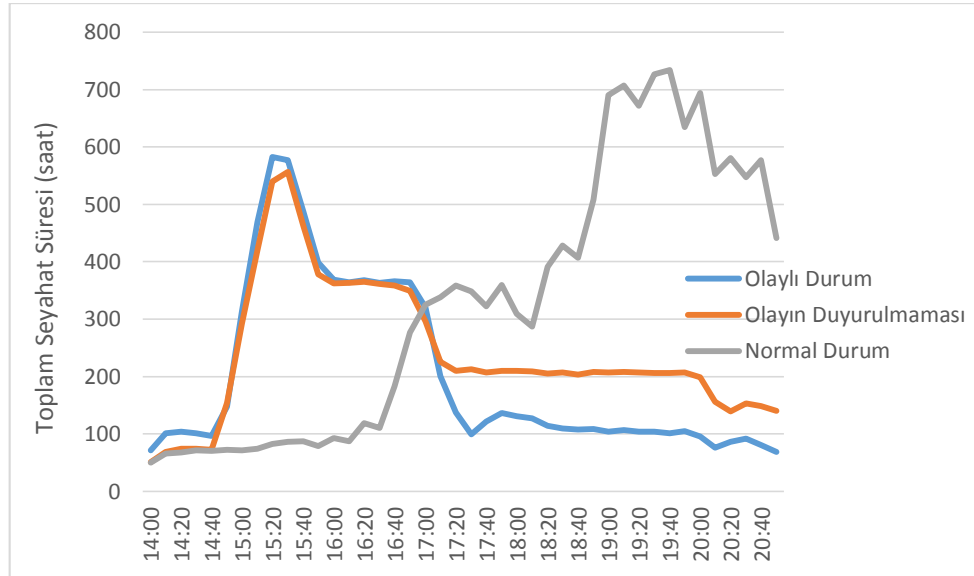
Oluşturulan senaryoda kazadan dolayı 280 numaralı RTMS'e kadar kuyruk meydana gelmiş ve saat 17:00'den itibaren tüm şeritlerin sürücülerin kullanımına açılmasıyla birlikte RTMS'lerden okunan taşıt sayısı da artmıştır. Şekil 4. 28'de gösterilen taşıt sayısı grafiğinde, olayın duyurulmasının etkisi saat 17:00'den itibaren daha net görülebilmektedir.



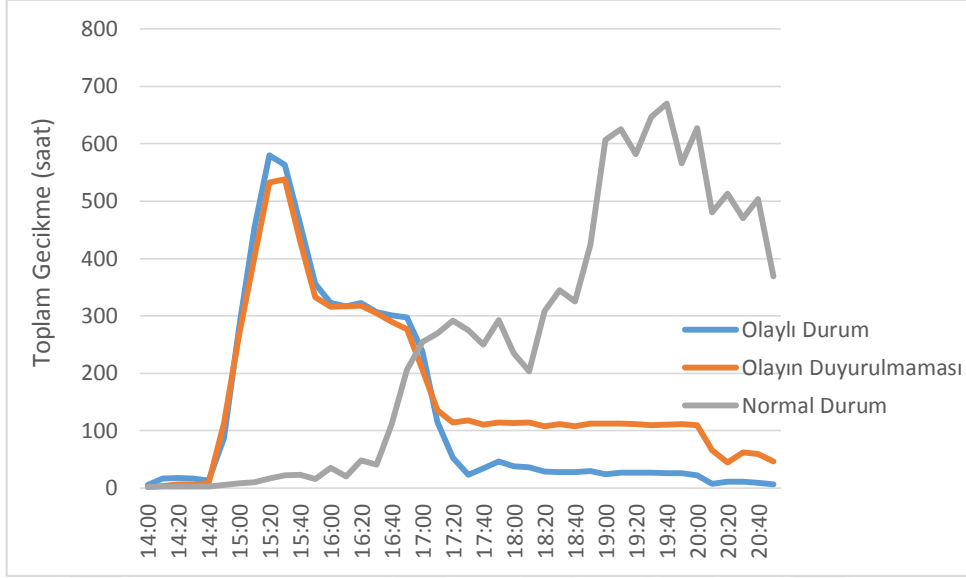


Şekil 4. 28 Olayın duyurulmasının taşıt sayısına etkisi

Şekil 4. 29 ve Şekil 4. 30, sırasıyla olayın duyurulmasının toplam seyahat süresine ve toplam gecikmeye etkisini görmek amacıyla oluşturulmuştur. Kazadan hemen sonra olayın duyurulmasının saat 17:00'ye kadar trafikte herhangi bir etki yaratmadığı, saat 17:00'den sonra sürücülerin ve yolcuların başka yolları (D100, Harem-Sirkeci Feribotu veya Marmaray gibi) tercih ettikleri görülmektedir.

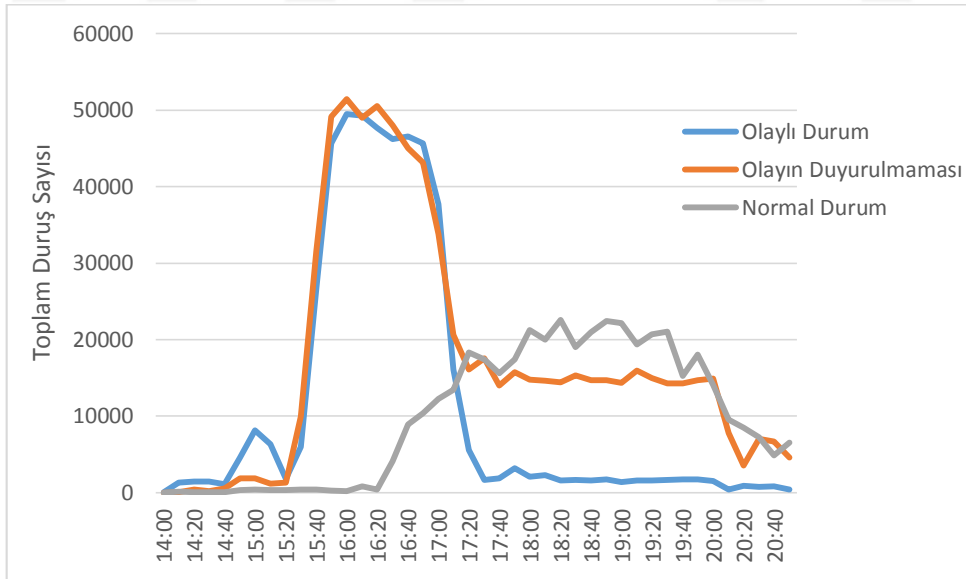


Şekil 4. 29 Olayın duyurulmasının toplam seyahat süresine etkisi



Şekil 4. 30 Olayın duyurulmasının toplam gecikmeye etkisi

Olayın duyurulmasının toplam duruş sayısına etkisinin gösterildiği Şekil 4. 31’de saat 17:00’den saat 20:00’e kadar ek şerit uygulamasının etkisi görülmektedir. Sürücülerin ve yolcuların kazadan dolayı meydana gelen yoğun trafiği saat 17:00’den sonra dikkate aldıkları ve alternatif yollara yönelindikleri görülmektedir.



Şekil 4. 31 Olayın duyurulmasının toplam duruş sayısına etkisi

Olayın duyurulmamasının etkisi, olaylı ve normal durum ile karşılaştırılarak Çizelge 4. 12’de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 12 Olayın duyurulmamasının etkilerinin olaylı durum ve normal durum ile karşılaştırılması

	Olaylı durum	Olayın duyurulmaması	Normal durum
<b>Emisyon CO (kg)</b>	1040	1395	920
<b>Emisyon NOx (kg)</b>	202	271	179
<b>Emisyon VOC (kg)</b>	241	323	213
<b>Yakıt Tüketimi (lt)</b>	3930	5272	3477
<b>Taşıt Sayısı</b>	252431	269673	277370
<b>Toplam Seyahat Süresi (sa)</b>	8480	10080	13685
<b>Toplam Gecikme (sa)</b>	5635	6985	10712
<b>Toplam Duruş Sayısı</b>	481136	724812	415870

Olayın duyurulmasının etkisinin analiz sonuçları Çizelge 4. 13’de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 13 Olayın duyurulmasının etkisinin analiz sonuçları

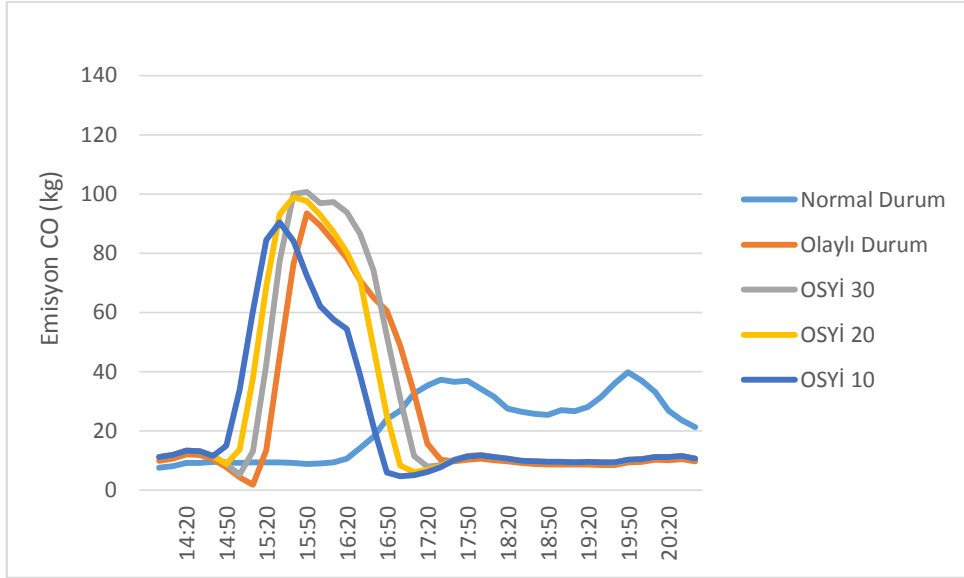
Saat	Toplam Duruş Sayısı	Toplam Gecikme (saat)	Toplam Seyahat Süresi (saat)	NOx Emisyonu (kg)	CO Emisyonu (kg)	VOC Emisyonu (kg)	Yakıt Tüketimi (lt)
14:00	19	2	51	1,24	6,36	1,47	24,05
14:10	47	4	68	1,75	8,99	2,08	33,98
14:20	406	7	74	1,85	9,52	2,21	35,97
14:30	217	6	74	1,85	9,49	2,20	35,88
14:40	516	8	72	1,74	8,92	2,07	33,73
14:50	1880	113	154	1,02	5,25	1,22	19,85
15:00	1869	265	292	0,60	3,10	0,72	11,72
15:10	1205	403	420	0,31	1,62	0,37	6,11
15:20	1280	532	540	0,68	3,47	0,80	13,13
15:30	9952	538	557	9,83	50,54	11,71	191,02
15:40	31550	430	463	18,79	96,57	22,38	365,02
15:50	49154	332	378	20,79	106,85	24,76	403,85
16:00	51456	316	363	19,69	101,18	23,45	382,43
16:10	49028	317	363	18,52	95,17	22,06	359,73
16:20	50551	318	365	19,17	98,54	22,84	372,45
16:30	48029	304	362	16,66	85,63	19,85	323,66
16:40	45054	290	358	13,09	67,29	15,60	254,34
16:50	43107	277	349	12,90	66,32	15,37	250,66
17:00	33767	206	296	10,31	53,00	12,28	200,32
17:10	20590	135	226	5,58	28,68	6,65	108,42
17:20	16103	115	210	4,33	22,26	5,16	84,14
17:30	17541	118	212	4,34	22,33	5,17	84,39
17:40	14020	110	207	4,30	22,09	5,12	83,51
17:50	15753	114	210	4,20	21,60	5,01	81,64

Çizelge 4. 13 Olayın duyurulmasının etkisinin analiz sonuçları (devamı)

Saat	Toplam Duruş Sayısı	Toplam Gecikme (saat)	Toplam Seyahat Süresi (saat)	NOx Emisyonu (kg)	CO Emisyonu (kg)	VOC Emisyonu (kg)	Yakıt Tüketimi (lt)
18:00	14739	114	210	4,17	21,46	4,97	81,10
18:10	14632	114	209	4,10	21,07	4,88	79,65
18:20	14409	108	205	4,15	21,31	4,94	80,55
18:30	15340	111	207	4,19	21,54	4,99	81,40
18:40	14722	108	203	4,10	21,07	4,88	79,65
18:50	14668	113	208	4,03	20,73	4,80	78,34
19:00	14370	113	207	4,02	20,64	4,78	78,01
19:10	15975	112	208	4,39	22,56	5,23	85,26
19:20	14956	112	207	4,14	21,28	4,93	80,43
19:30	14294	110	206	4,10	21,05	4,88	79,56
19:40	14280	111	206	4,03	20,69	4,80	78,21
19:50	14721	112	207	4,23	21,72	5,03	82,09
20:00	14941	109	198	6,36	32,67	7,57	123,50
20:10	7829	66	156	5,16	26,52	6,15	100,24
20:20	3568	44	139	3,63	18,67	4,33	70,58
20:30	7038	62	153	4,54	23,35	5,41	88,25
20:40	6675	59	149	4,59	23,57	5,46	89,10
20:50	4561	47	140	3,90	20,03	4,64	75,70

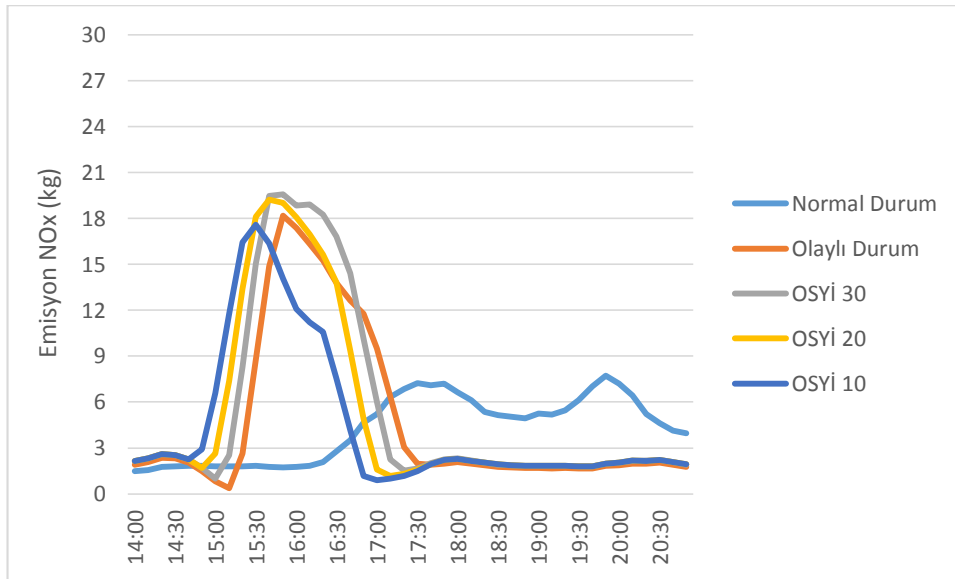
#### 4.9 Benzetim Modeli Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu bölümde, iki başlık altında oluşturulan senaryolar performans göstergeleri üzerinden karşılaştırılmıştır. Tüm şeritlerin kapalı olma sürelerine göre karbonmonoksit salımındaki değişim Şekil 4. 32'deki grafikte görülmektedir. Normal durumda saat 17:00'den itibaren hem ek şerit uygulamasının hem de Kavacık katılım ve ayrımının karbonmonoksit salımını arttırdığı görülmektedir. Senaryolara bakıldığında beklenenin aksine OSYİ 30'un ve OSYİ 20'nin olaylı duruma göre sırasıyla ortalama % 13 ve % 8 oranında fazla, OSYİ 10'un ise ortalama % 7 oranında daha az karbonmonoksit salımına neden olduğu görülmüştür. Sürücüler, OSYİ 30 ve OSYİ 20'de olaylı duruma göre daha çok dur kalk yaptıkları için karbonmonoksit salımı fazla çıkmıştır.

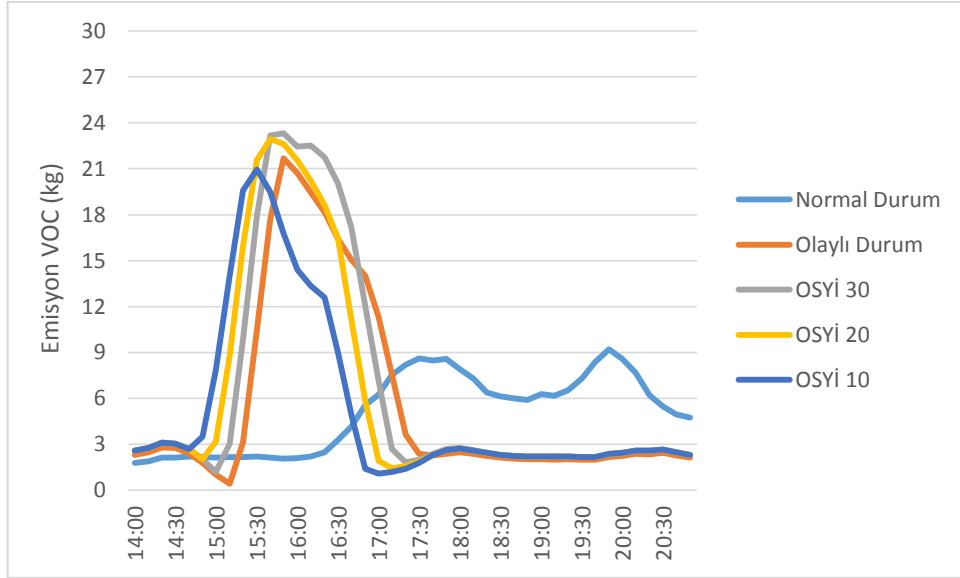


Şekil 4. 32 Tüm şeritlerin kapalı olma sürelerine göre karbonmonoksit salımı

Şekil 4. 33 ve Şekil 4. 34’de sırasıyla tüm şeritlerin kapalı olma sürelerine göre nitrojen oksit ve uçucu organik bileşiklerin salım grafiği görülmektedir. Karbonmonoksit salımında olduğu gibi taşıtların dur kalk yapmaları neticesinde nitrojen oksit ve uçucu organik bileşiklerin salımının olaylı duruma göre yüksek çıktığı görülmektedir. Saat 17:00’de başlatılan ek şerit uygulaması ise normal durumda emisyon değerlerinin yüksek çıkmasına neden olmuştur.

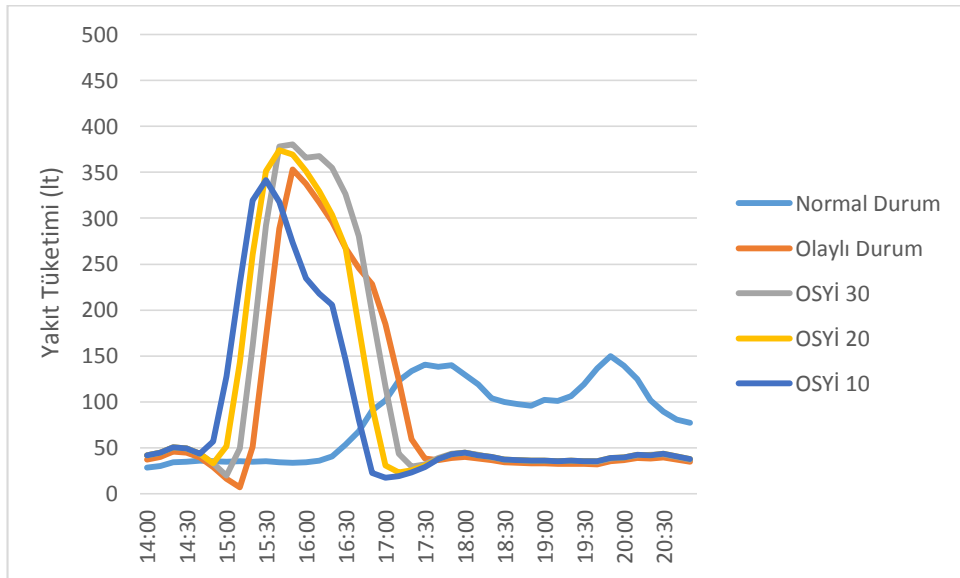


Şekil 4. 33 Tüm şeritlerin kapalı olma sürelerine göre nitrojen oksit salımı



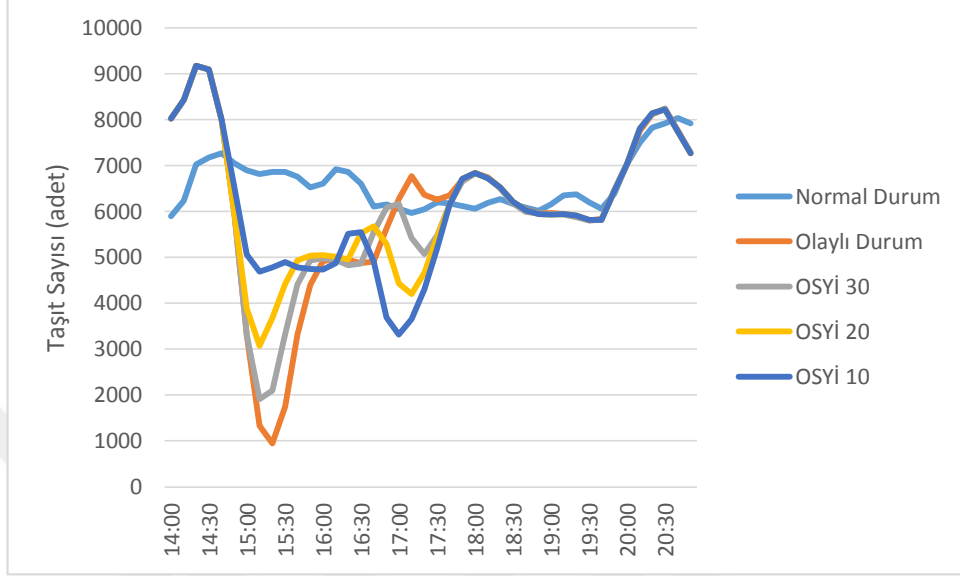
Şekil 4. 34 Tüm şeritlerin kapalı olma sürelerine göre uçucu organik bileşiklerin salımı

Şekil 4. 35’de tüm şeritlerin kapalı olma sürelerine göre yakıt tüketimi grafiği görülmektedir. Karbonmonoksit, nitrojen oksit ve uçucu organik bileşiklerin salımında olduğu gibi yakıt tüketiminde de OSYİ 30 ve OSYİ 20 senaryoları olaylı duruma göre yüksek çıkmıştır.



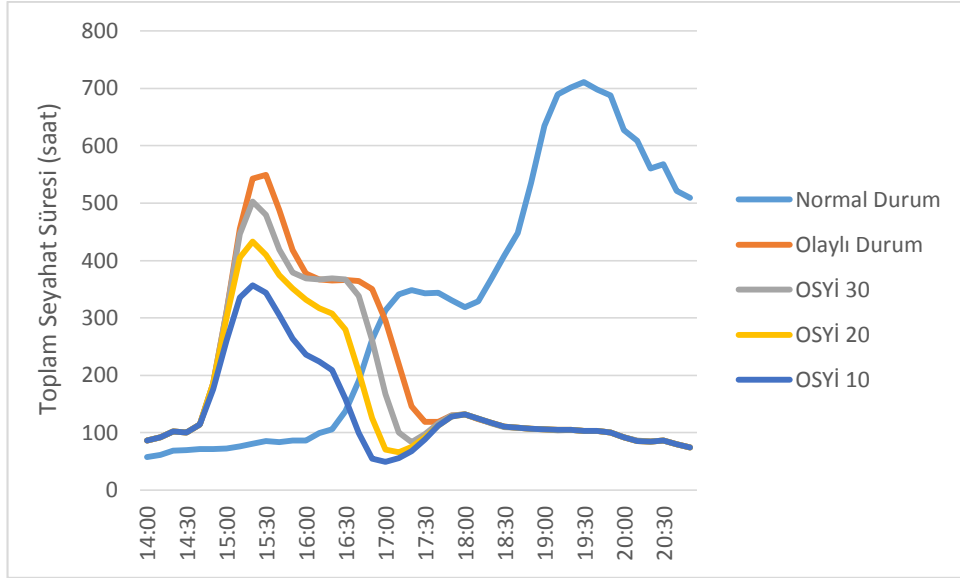
Şekil 4. 35 Tüm şeritlerin kapalı olma sürelerine göre yakıt tüketimi

Beklenildiği gibi trafik kazasından dolayı tüm şeritlerin kapalı olma süresi taşıt sayısını da etkilemiştir. Trafiğin polis ekipleri tarafından saat 14:51'de 40 dakika boyunca durdurulması RTMS'lerden okunan taşıt sayısını azalttığı görülmektedir (Şekil 4. 36).

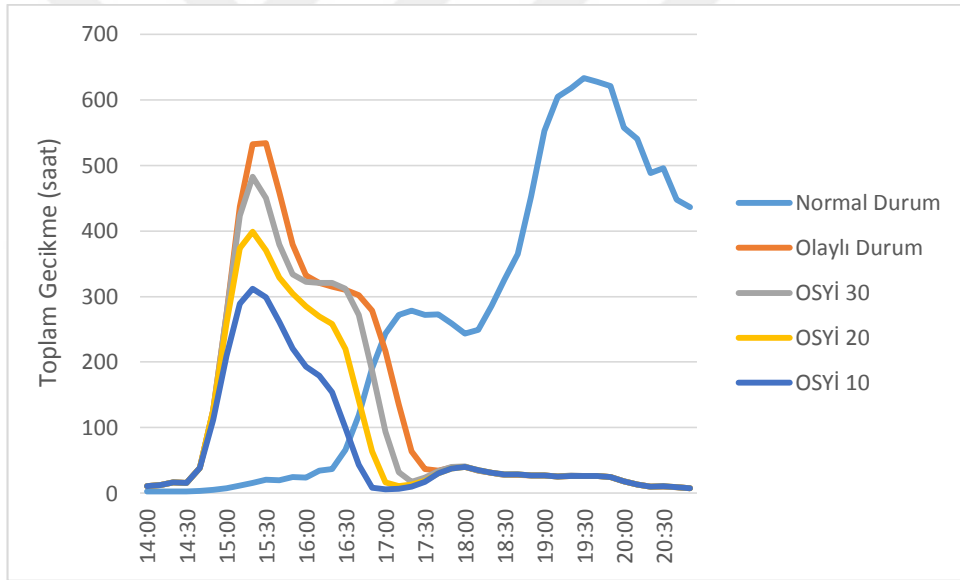


Şekil 4. 36 Tüm şeritlerin kapalı olma sürelerine göre taşıt sayısı

Tüm şeritlerin kapalı olma sürelerine göre toplam seyahat süresi ve toplam gecikme sırasıyla Şekil 4. 37 ve Şekil 4. 38'de görülmektedir. Tüm şeritler olaylı durumda diğer senaryolara göre daha uzun kapalı kaldığından olaylı durumdaki toplam seyahat süresi ve toplam gecikme diğer senaryolara göre daha yüksek çıkmıştır. Normal durumda ise toplam gecikmenin ve seyahat süresinin saat 17:00'de başlatılan ek şerit uygulamasından dolayı yüksek çıktığı görülmektedir.



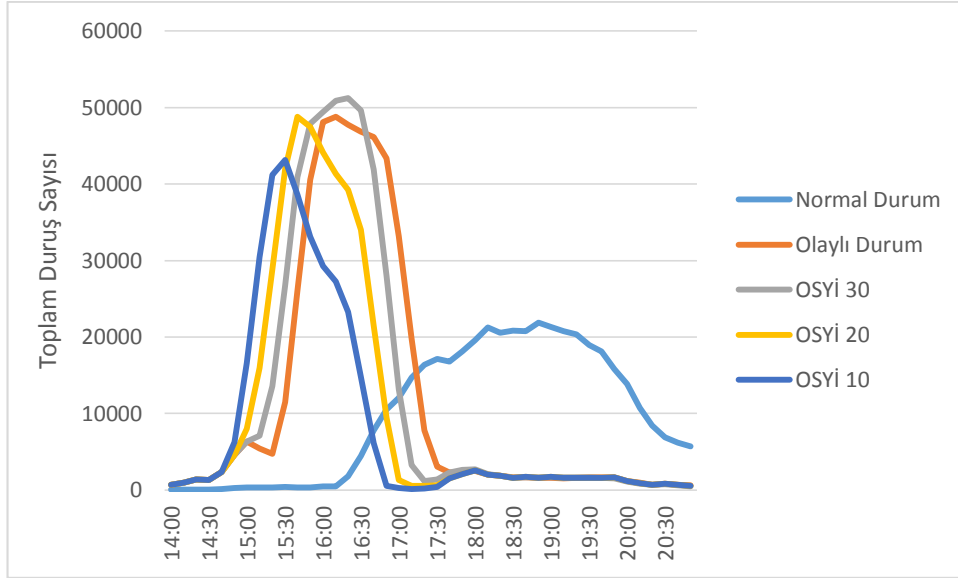
Şekil 4. 37 Tüm şeritlerin kapalı olma sürelerine göre toplam seyahat süresi



Şekil 4. 38 Tüm şeritlerin kapalı olma sürelerine göre toplam gecikme

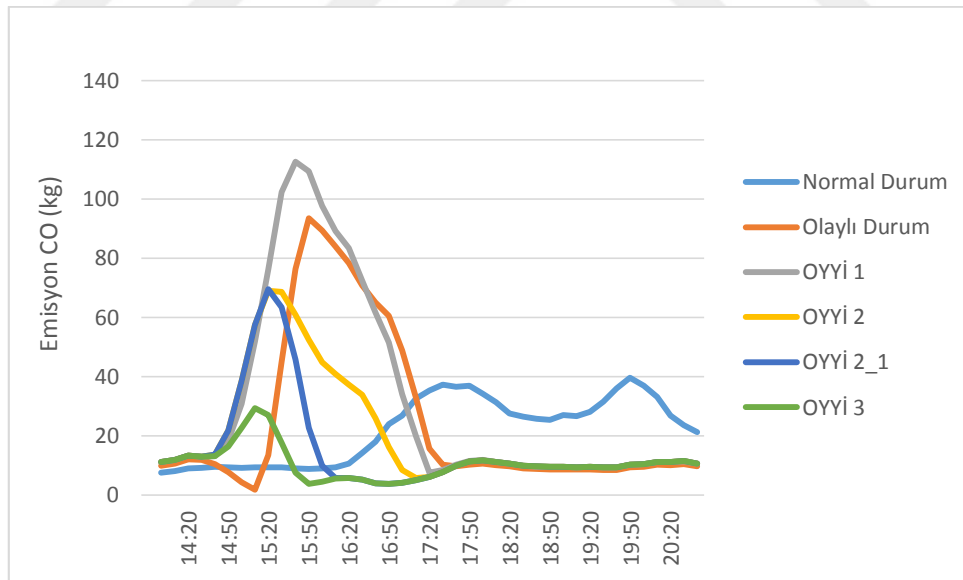
OSYİ 30 ve OSYİ 20 senaryolarında olaylı duruma göre daha fazla duruş meydana gelmiştir (Şekil 4. 39). Normal durumda ise saat 17:00'de ek şerit uygulamasının başlamasıyla birlikte duruş sayısının arttığı görülmektedir.





Şekil 4. 39 Tüm şeritlerin kapalı olma sürelerine göre toplam duruş sayısı

Kapalı şerit sayısına göre karbonmonoksit salımındaki değişim Şekil 4. 40'da görülmektedir. Normal durumda saat 17:00'den itibaren hem ek şerit uygulamasının hem de Kavacık katılım ve ayırımının karbonmonoksit salımını arttırdığı görülmektedir.

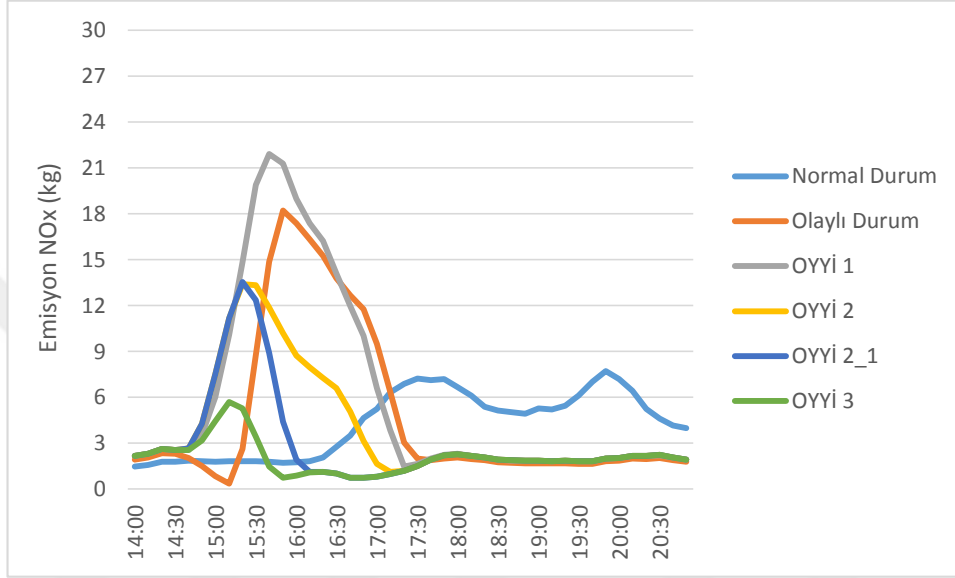


Şekil 4. 40 Kapalı şerit sayısına göre karbonmonoksit salımı

Senaryolara bakıldığında ise OYYİ 1'de 3 şeridin 40 dakika boyunca kapalı olması ve sürücülerin açık olan şeridi kullanmak istemeleri sürücülerin daha çok dur kalk yapmalarına neden olmuştur. Bu nedenle OYYİ 1'deki karbonmonoksit salımı olaylı

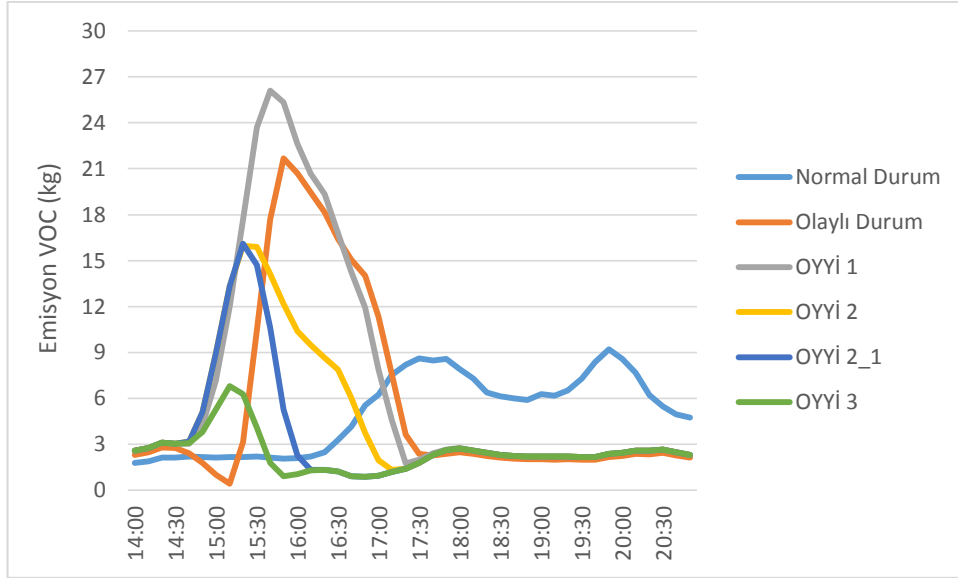
duruma göre daha yüksek çıkmıştır. Diğer senaryolara bakıldığında ise trafik daha rahat aktığından karbonmonoksit salımı olaylı duruma daha düşük çıkmıştır.

Şekil 4. 41'de kapalı şerit sayısına göre nitrojen oksit salımı grafiği görülmektedir. Karbonmonoksit salımında olduğu gibi nitrojen oksit salımında da OYYİ 1'deki salım değerleri olaylı duruma göre yüksek çıkmıştır.



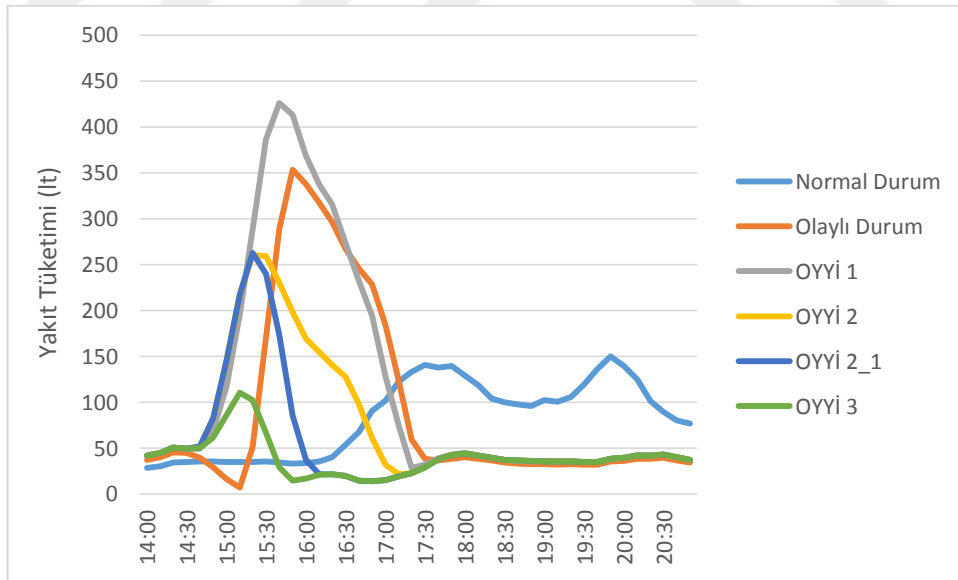
Şekil 4. 41 Kapalı şerit sayısına göre nitrojen oksit salımı

Uçucu organik bileşiklerin salım grafiğinin gösterildiği Şekil 4. 42'de, olaylı durumun OYYİ 1'e göre düşük diğer senaryolara göre yüksek salıma neden olduğu görülmektedir. Sürücüler OYYİ 1'de olaylı duruma göre daha çok dur kalk yaptıklarından uçucu organik bileşiklerin salımı daha yüksek çıkmıştır.



Şekil 4. 42 Kapalı şerit sayısına göre uçucu organik bileşiklerin salımı

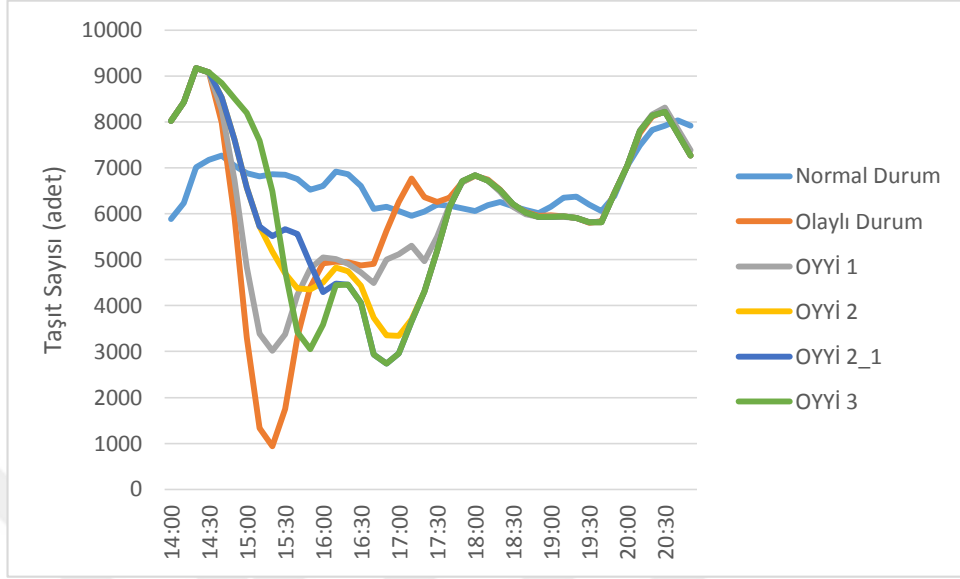
Emisyon salımlarında olduğu gibi kapalı şerit sayısına göre yakıt tüketiminin gösterildiği Şekil 4. 43'deki grafikte, OYYi 1'de sürücülerin harcadıkları yakıtın olaylı duruma ve diğer senaryolara göre fazla olduğu görülmektedir. Normal durumda ise saat 17:00'de ek şerit uygulamasının başlamasıyla birlikte yakıt tüketiminin arttığı görülmektedir.



Şekil 4. 43 Kapalı şerit sayısına göre yakıt tüketimi

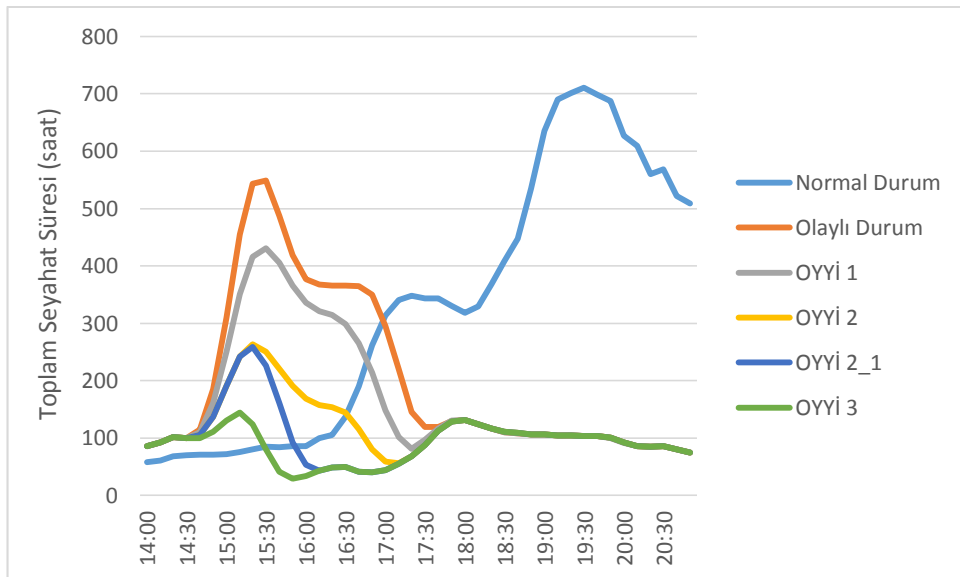
Kapalı şerit sayısına göre taşıt sayısı grafiği Şekil 4. 44'de gösterilmiştir. Trafik kazasından dolayı tüm şeritlerin sürücülerin kullanımına kapatılması RTMS'lerden az sayıda taşıdın okunmasına neden olmuştur. Trafik diğer senaryolarda olaylı duruma göre daha rahat

aktığından saat 17:00'de tüm şeritlerin trafiğe açılmasıyla birlikte olaylı durumdaki taşıt sayısının da arttığı görülmektedir.

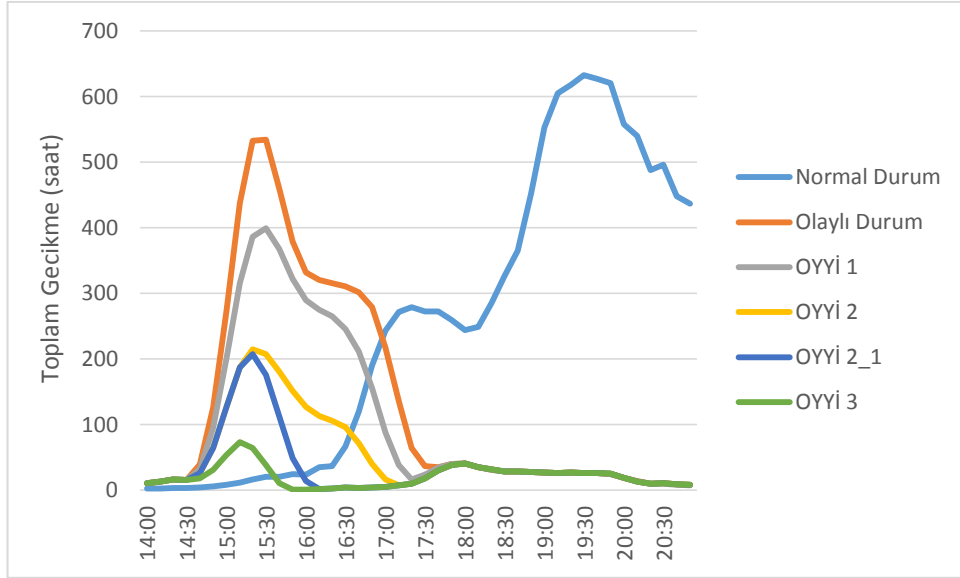


Şekil 4. 44 Kapalı şerit sayısına göre taşıt sayısı

Kapalı şerit sayısına göre toplam seyahat süresi ve toplam gecikme sırasıyla Şekil 4. 45 ve Şekil 4. 46'da görülmektedir. Beklenildiği gibi şeridin kapalı olması seyahat süresini ve toplam gecikmeyi olumsuz etkilemektedir. Normal durumda ise toplam gecikmenin ve seyahat süresinin saat 17:00'de başlatılan ek şerit uygulamasından dolayı yüksek çıktığı görülmektedir.

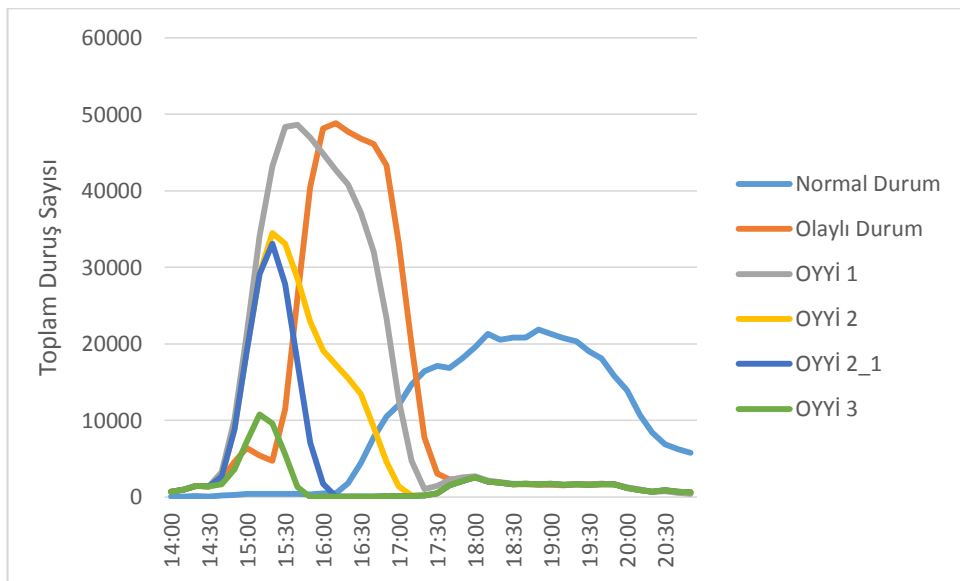


Şekil 4. 45 Kapalı şerit sayısına göre toplam seyahat süresi



Şekil 4. 46 Kapalı şerit sayısına göre toplam gecikme

OYYİ 1’de olaylı duruma göre neredeyse aynı sayıda duruş meydana gelmiştir (Şekil 4. 47). Saat 14:51’de meydana gelen kazadan sonra sadece en sağ şeridin sürücülerin kullanımına açık olması OYYİ 1’de olaylı duruma yakın sayıda duruş yapılmasına neden olmuştur. Diğer senaryolarda trafik daha rahat aktığından olaylı duruma ve OYYİ 1’e göre daha az duruş gözlenmiştir. Normal durumda ise saat 17:00’de ek şerit uygulamasının başlamasıyla birlikte duruş sayısının arttığı görülmektedir.



Şekil 4. 47 Kapalı şerit sayısına göre toplam duruş sayısı

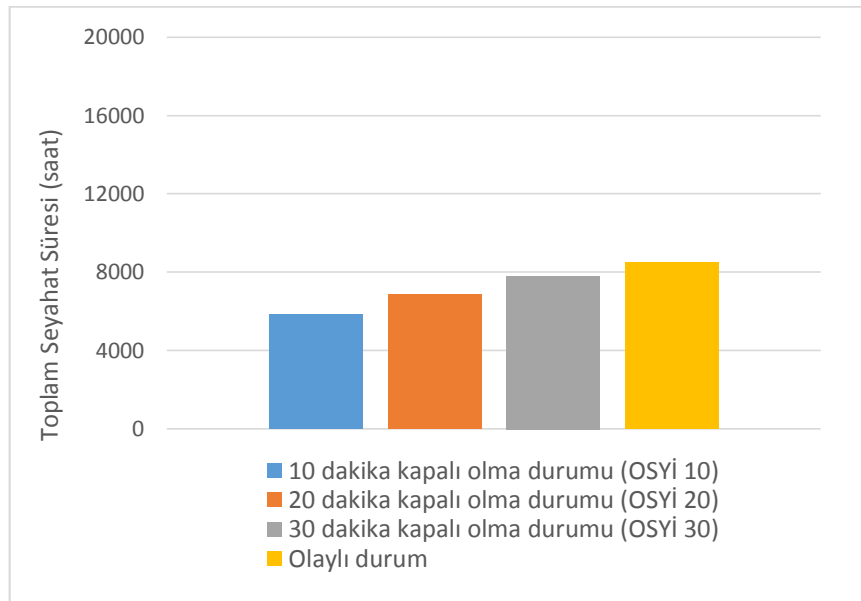
#### 4.10 Genel Değerlendirme

Bu bölümde, olayın trafik üzerine etkileri toplam seyahat süresi, toplam gecikme, ortalama hız, toplam duruş sayısı, yakıt tüketimi ve zararlı gaz salımları dikkate alınarak farklı senaryolar için ayrı ayrı analiz edilmiş ve yukarıda sıralanan her bir performans göstergesinin oluşturulan senaryolar için parasal kazançları veya kayıpları hesaplanmıştır.

Toplam seyahat süresinden ve toplam gecikmeden elde edilen parasal kazançlar, 2011 yılında hazırlanan İstanbul Ulaşım Ana Planı (İUAP)'nda kullanılan taşıtların zaman maliyeti, taşıt kompozisyonu da dikkate alınarak hesaplanmış ve saatte 70 TL olarak kabul edilmiştir [55].

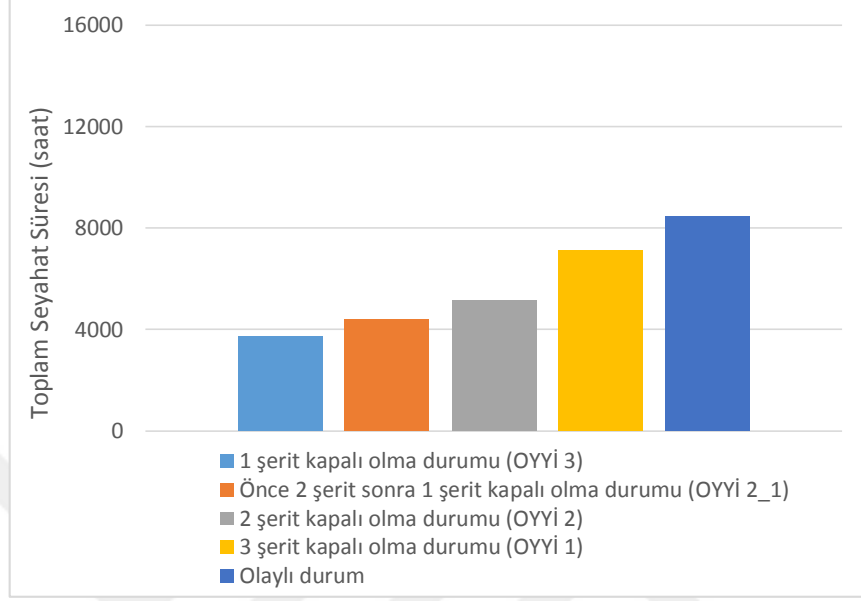
Taşıtların harcadıkları yakıtın litre fiyatı 4 TL olarak kabul edilmiştir. Zararlı gaz salımlarından karbonmonoksit gazının, nitrojen oksit gazının ve uçucu organik bileşiklerin kg fiyatı 2008 yılında Florida Uluslararası Üniversitesi Lehman Ulaşım Araştırma Merkezi'nin hazırladığı rapor dikkate alınarak hesaplanmış ve sırasıyla 11 TL, 10,6 TL ve 5,03 TL alınmıştır [56].

Şekil 4. 48'de olay süresinin azaltılmasının toplam seyahat süresine etkisi görülmektedir. Beklenildiği gibi olay süresinin azalması toplam seyahat süresini düşürmektedir.



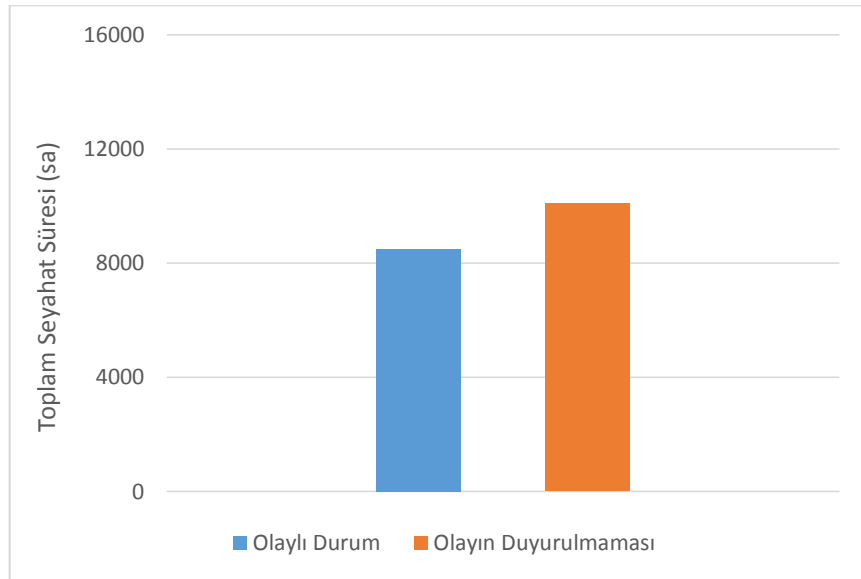
Şekil 4. 48 Olay süresinin azaltılmasının toplam seyahat süresine etkisi

Olay yeri yönetiminde iyileştirilme yapılmasının toplam seyahat süresine etkisi Şekil 4. 49'da görülmektedir. Şekilden de görüleceği üzere, kapalı şerit sayısının azalması toplam seyahat süresini olumlu etkilemektedir.



Şekil 4. 49 Olay yeri yönetiminde iyileştirilme yapılmasının toplam seyahat süresine etkisi

Olayın duyurulmasının toplam seyahat süresine etkisi Şekil 4. 50'de gösterilmiştir. Sürücülerin alternatif yollara yönelmeleri toplam seyahat süresini düşürmüştür.



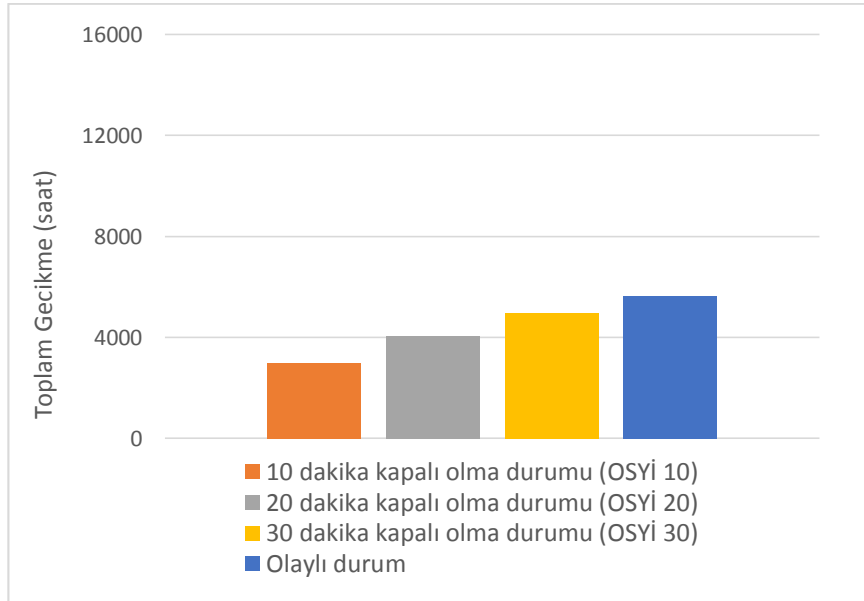
Şekil 4. 50 Olayın duyurulmasının toplam seyahat süresine etkisi

Senaryoların toplam seyahat süresine göre parasal kazançları Çizelge 4. 14’de gösterilmiştir. Senaryolara bakıldığında, tüm senaryoların parasal kazanç sağladığı görülmektedir. Olay yeri yönetiminde iyileştirme yapılması olay süresinde iyileştirme yapılmasından daha çok kazanç sağlamıştır. Olayın duyurulması ile de ciddi miktarda kazanç elde edilmiştir.

Çizelge 4. 14 Senaryoların toplam seyahat süresine göre parasal kazançları

	Olaylı durum ile arasındaki saat farkı	Olayın iyileştirmesinde elde edilen kazanç (TL)
<b>OSYİ 30</b>	681	47670
<b>OSYİ 20</b>	1595	111650
<b>OSYİ 10</b>	2643	185010
<b>OYYİ 1</b>	1366	95620
<b>OYYİ 2</b>	3347	234290
<b>OYYİ 2_1</b>	4095	286650
<b>OYYİ 3</b>	4798	335860
<b>ODSİ</b>	1593	111510

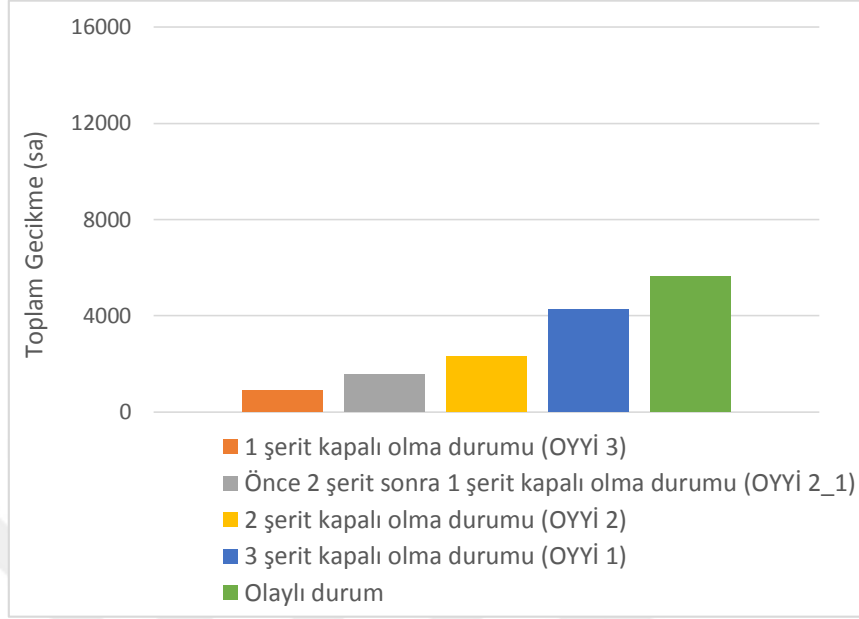
Şekil 4. 51’de olay süresinin azaltılmasının toplam gecikmeye etkisi görülmektedir. Olay süresinin azalması toplam seyahat süresi gibi toplam gecikmeyi de düşürmektedir.



Şekil 4. 51 Olay süresinin azaltılmasının toplam gecikmeye etkisi

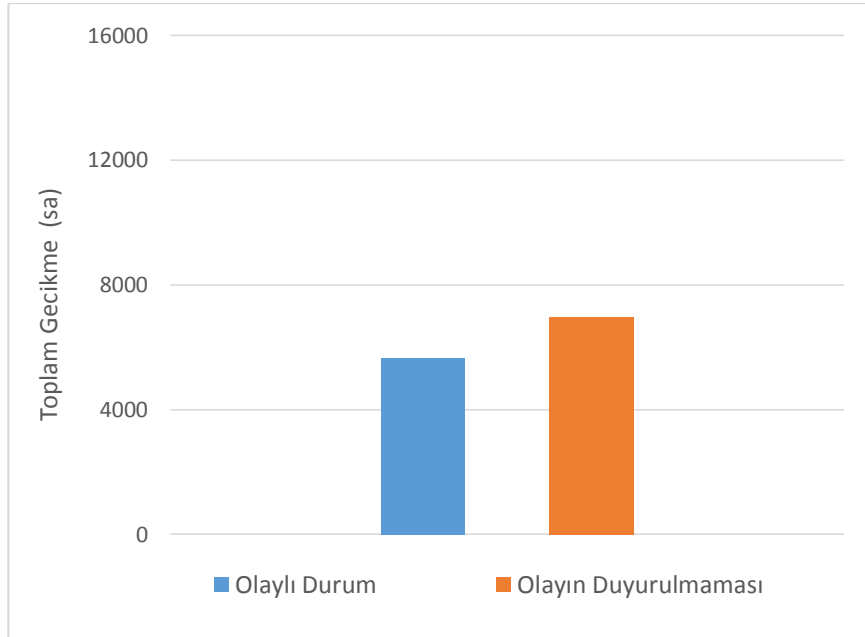


Olay yeri yönetiminde iyileştirme yapılmasının toplam gecikmeye etkisinin gösterildiği Şekil 4. 52’de şerit sayısının kapalı olması gecikmeyi arttırdığı görülmektedir.



Şekil 4. 52 Olay yeri yönetiminde iyileştirme yapılmasının toplam gecikmeye etkisi

Olayın duyurulması ve duyurulmaması durumları için toplam gecikmeler hesaplanmış ve Şekil 4. 53’te gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere, sürücüler olayın duyurulması ile alternatif yollara yönelmiş ve bu sayede toplam gecikme azalmıştır.



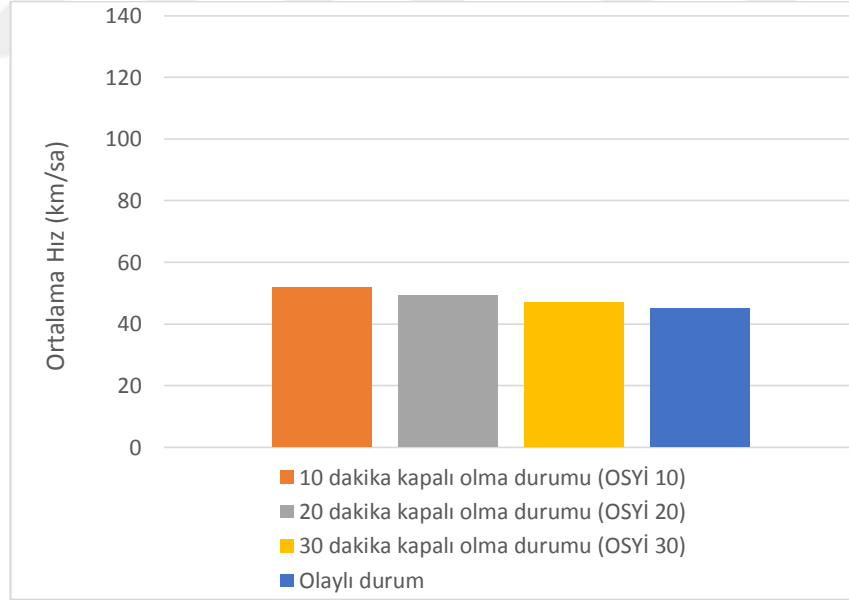
Şekil 4. 53 Olayın duyurulmasının toplam gecikmeye etkisi

Senaryoların toplam gecikmeye göre parasal kazançları Çizelge 4. 15'te gösterilmiştir. Senaryolara bakıldığında, tüm senaryoların parasal kazanç sağladığı görülmektedir.

Çizelge 4. 15 Senaryoların toplam gecikmeye göre maddi kazançları

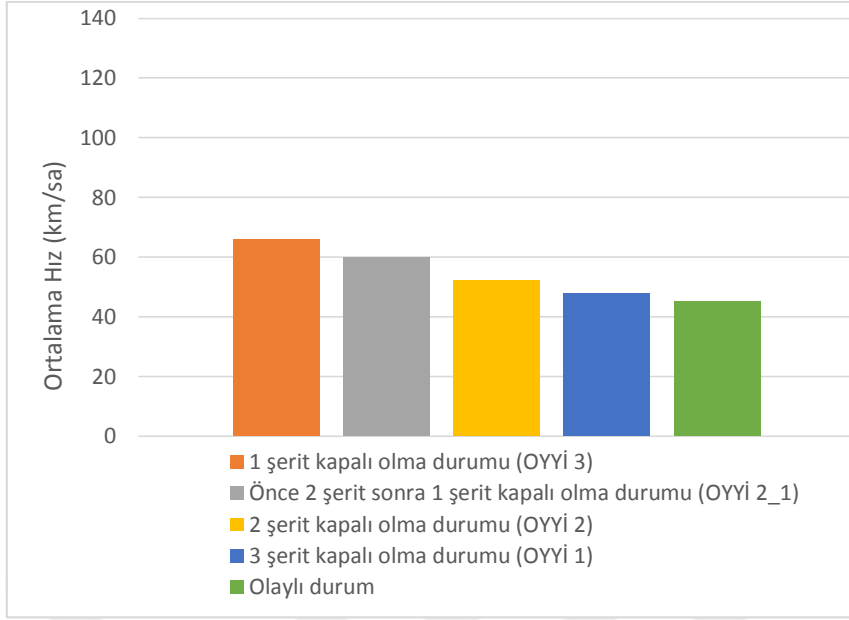
	Olaylı durum ile arasındaki saat farkı	Olayın iyileştirmesinde elde edilen kazanç (TL)
<b>OSYİ 30</b>	682	47740
<b>OSYİ 20</b>	1599	111930
<b>OSYİ 10</b>	2636	184520
<b>OYYİ 1</b>	1368	95760
<b>OYYİ 2</b>	3336	233520
<b>OYYİ 2_1</b>	4082	285740
<b>OYYİ 3</b>	4754	332780
<b>ODSİ</b>	1348	94360

Olay süresinin azaltılmasının ortalama hıza etkisi Şekil 4. 54'de gösterilmiştir. Olay süresinin azalması ile ortalama hızın arttığı görülmektedir.



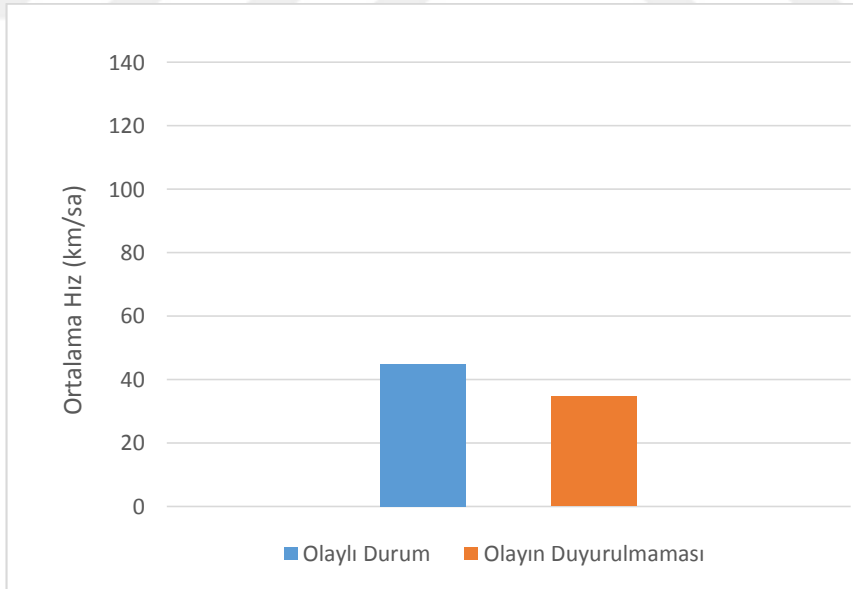
Şekil 4. 54 Olay süresinin azaltılmasının ortalama hıza etkisi

Olay yeri yönetiminde iyileştirme yapılmasının ortalama hıza etkisinin gösterildiği Şekil 4. 55'de kapalı şerit sayısının azalması ortalama hızı yükseltmektedir.



Şekil 4. 55 Olay yeri yönetiminde iyileştirme yapılmasının ortalama hıza etkisi

Olayın duyurulmasının ortalama hıza etkisi Şekil 4. 56'da gösterilmiştir. Olayın Duyurulması (OD) ile ortalama hız 35 km/sa'ten 45 km/sa'e arttığı Çizelge 4. 16'da görülmektedir.



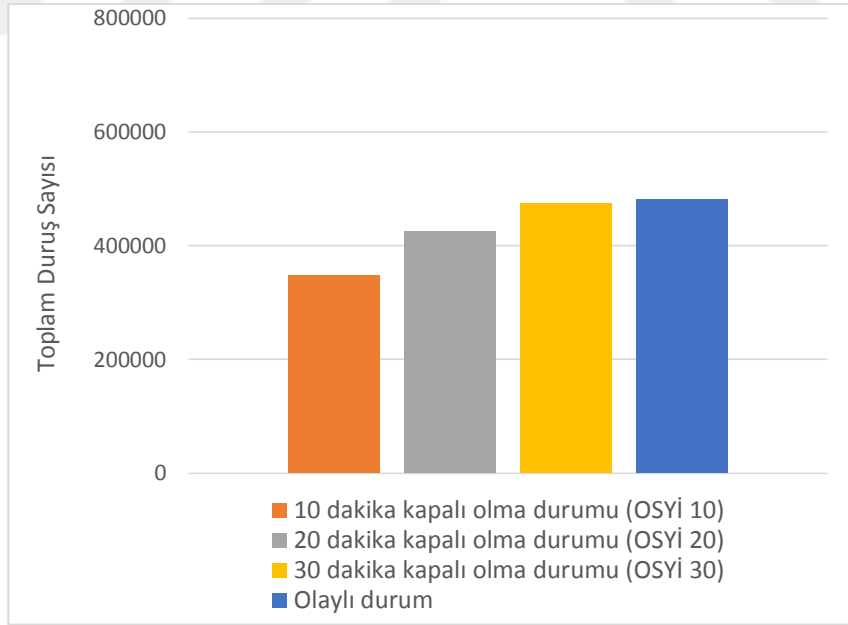
Şekil 4. 56 Olayın duyurulmasının ortalama hıza etkisi

Çizelge 4. 16'da oluşturulan tüm senaryoların ortalama hızları gösterilmiştir. Olay yeri yönetiminde iyileştirme yapılması olay süresinde iyileştirme yapılmasına göre ortalama hızı daha çok arttırdığı görülmektedir.

Çizelge 4. 16 Senaryolara göre taşıtların ortalama hızı

	Ortalama Hız (km/saat)
<b>OSYİ 30</b>	47
<b>OSYİ 20</b>	49
<b>OSYİ 10</b>	52
<b>OYYİ 1</b>	48
<b>OYYİ 2</b>	52
<b>OYYİ 2_1</b>	60
<b>OYYİ 3</b>	66
<b>OD</b>	45
<b>ODSİ</b>	35

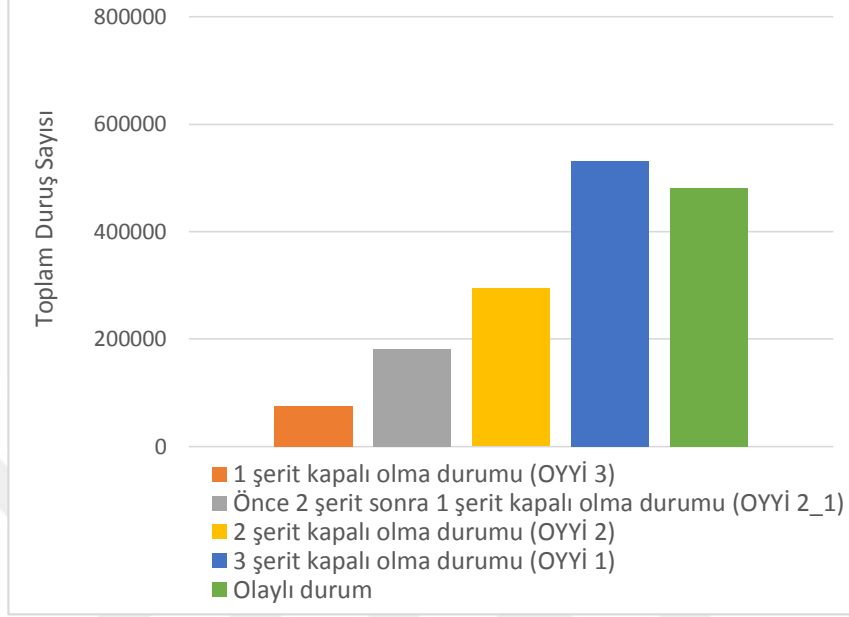
Olay süresinin azaltılmasının toplam duruş sayısına etkisi Şekil 4. 57'de gösterilmiştir. Olaylı durumda ve oluşturulan OSYİ 30 senaryosunda yakın sayıda duruş kalkış hareketi yapıldığı görülmektedir.



Şekil 4. 57 Olay süresinin azaltılmasının toplam duruş sayısına etkisi

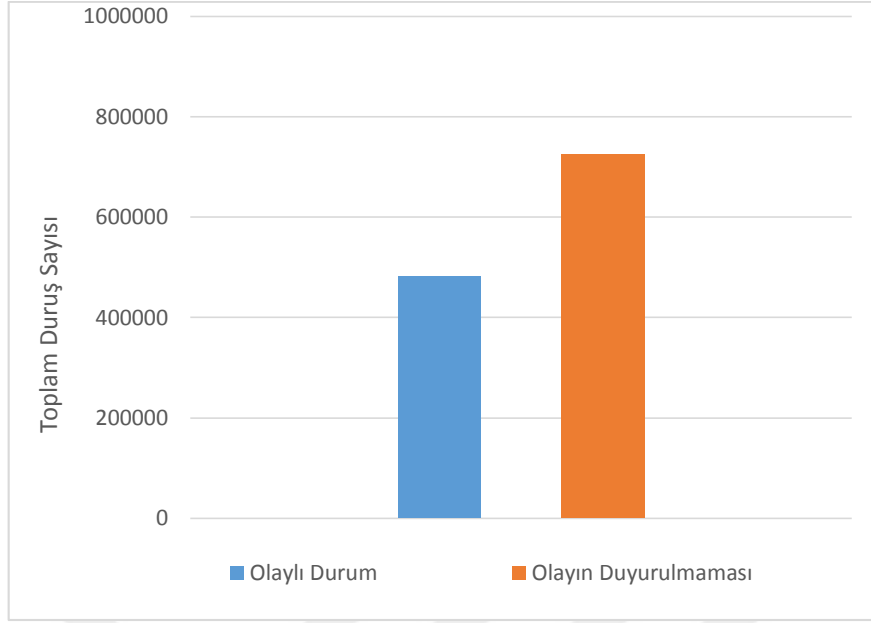
Olay yeri yönetiminde iyileştirme yapılmasının toplam duruş sayısına etkisinin gösterildiği Şekil 4. 58'de OYYİ 1 senaryosunda 3 şerit kapalı olduğundan ve sürücülerin

açık olan şeridi kullanmak istemelerinden dolayı duruş sayısı olaylı duruma göre daha yüksek çıkmıştır. Trafik diğer senaryolarda olaylı duruma göre daha rahat aktığından duruş kalkış hareketi daha az yaşanmıştır.



Şekil 4. 58 Olay yeri yönetiminde iyileştirme yapılmasının toplam duruş sayısına etkisi

Olayın duyurulması ve duyurulmaması durumları için toplam duruş sayıları hesaplanmış ve Şekil 4. 59'da gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere, sürücüler olayın duyurulması ile alternatif yollara yönelmiş ve bu sayede incelenen güzergâhta toplam duruş sayısı azalmıştır.



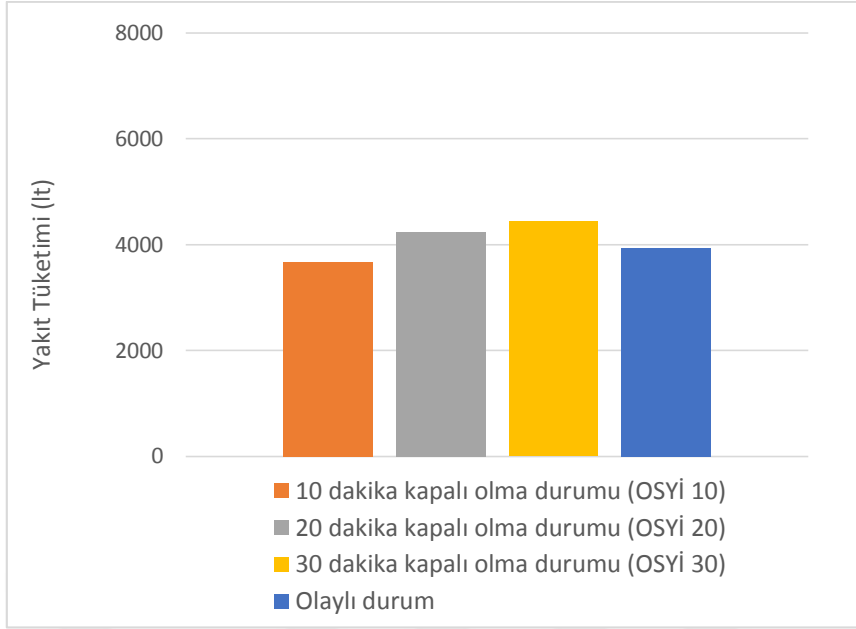
Şekil 4. 59 Olayın duyurulmasının toplam duruş sayısına etkisi

Senaryolara göre toplam duruş sayıları Çizelge 4. 17’de gösterilmiştir. Olay yeri yönetiminde ve olay süresinde iyileştirme yapılması toplam duruş sayısını azalttığı görülmektedir.

Çizelge 4. 17 Senaryolara göre taşıtların toplam duruş sayıları

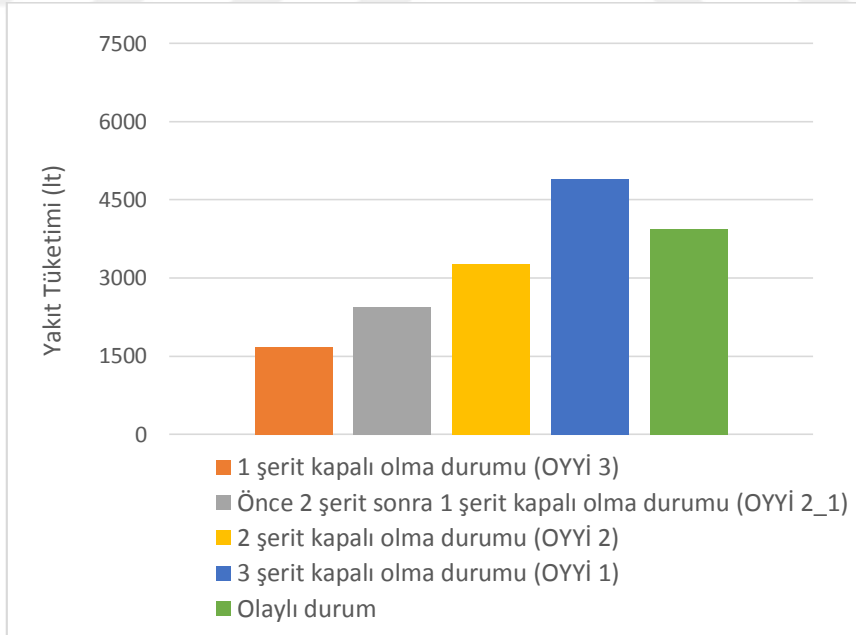
	Toplam Duruş Sayısı
<b>OSYİ 30</b>	474974
<b>OSYİ 20</b>	424908
<b>OSYİ 10</b>	348230
<b>OYYİ 1</b>	531877
<b>OYYİ 2</b>	294131
<b>OYYİ 2_1</b>	182246
<b>OYYİ 3</b>	74869
<b>OD</b>	481425
<b>ODSİ</b>	724812

Şekil 4. 60’da olay süresinin azaltılmasının yakıt tüketimine etkisi görülmektedir. OSYİ 30 ve OSYİ 20 senaryolarında olaylı duruma göre tüm şeritlerin sürücülerin kullanımına açılmasına kadar daha çok duruş kalkış hareketi yapıldığı ve böylece yakıt tüketiminin arttığı görülmektedir.



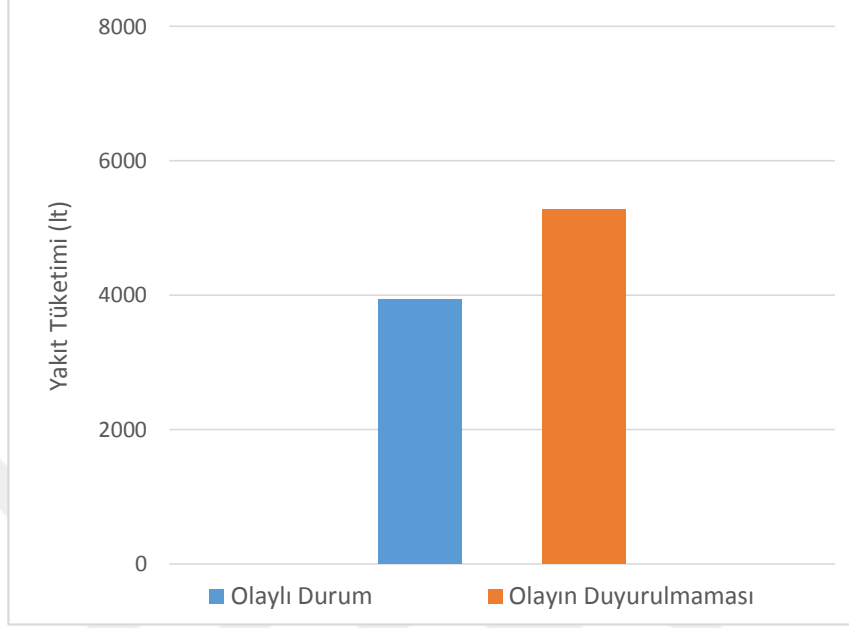
Şekil 4. 60 Olay süresinin azaltılmasının yakıt tüketimine etkisi

Olay yeri yönetiminde iyileştirme yapılmasının yakıt tüketimine etkisinin gösterildiği Şekil 4. 61'de, OYYİ 1 senaryosunda gerçekleşen duruş kalkış hareketleri yakıt tüketimini arttırmıştır. Diğer senaryolarda olaylı duruma göre daha az yakıt harcanmıştır.



Şekil 4. 61 Olay yeri yönetiminde iyileştirme yapılmasının yakıt tüketimine etkisi

Olayın duyurulması ve duyurulmaması durumları için yakıt tüketimi değerleri hesaplanmış ve Şekil 4. 62’de gösterilmiştir. Sürücüler olayın duyurulması ile alternatif yollara yöneldiğinden incelenen güzergâhta harcanan yakıt miktarı da azalmıştır.



Şekil 4. 62 Olayın duyurulmasının yakıt tüketimine etkisi

Senaryoların yakıt tüketimine göre kazançları Çizelge 4. 18’de gösterilmiştir. OSYİ 30, OSYİ 20 ve OYYİ 1 senaryolarında beklenenin aksine olaylı duruma göre daha çok duruş meydana gelmesi yakıt tüketiminin artmasına neden olmuş ve yakıt tüketiminden kazanç sağlanamamıştır. Olayın duyurulması ile yakıt tüketiminden elde edilen kazancın 5352 TL olduğu Çizelge 4. 18’de görülmektedir.

Çizelge 4. 18 Senaryoların yakıt tüketimine göre maddi kazançları

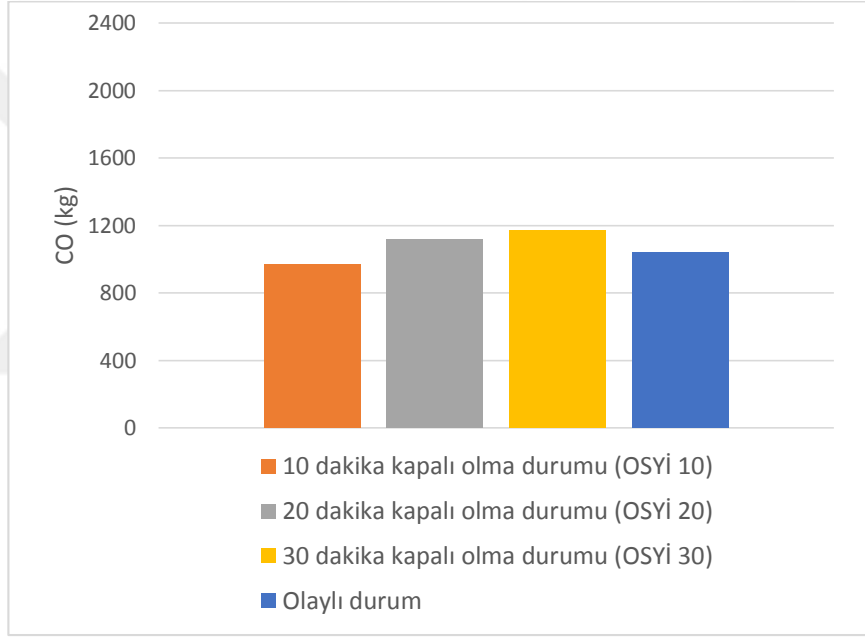
	Olaylı durum ile arasındaki litre farkı	Olayın iyileştirmesinde elde edilen kazanç (TL)
<b>OSYİ 30</b>	-501	-2004
<b>OSYİ 20</b>	-296	-1184
<b>OSYİ 10</b>	264	1056
<b>OYYİ 1</b>	-963	-3852
<b>OYYİ 2</b>	667	2668
<b>OYYİ 2_1</b>	1496	5984
<b>OYYİ 3</b>	2254	9016



Çizelge 4. 18 Senaryoların yakıt tüketimine göre maddi kazançları (devamı)

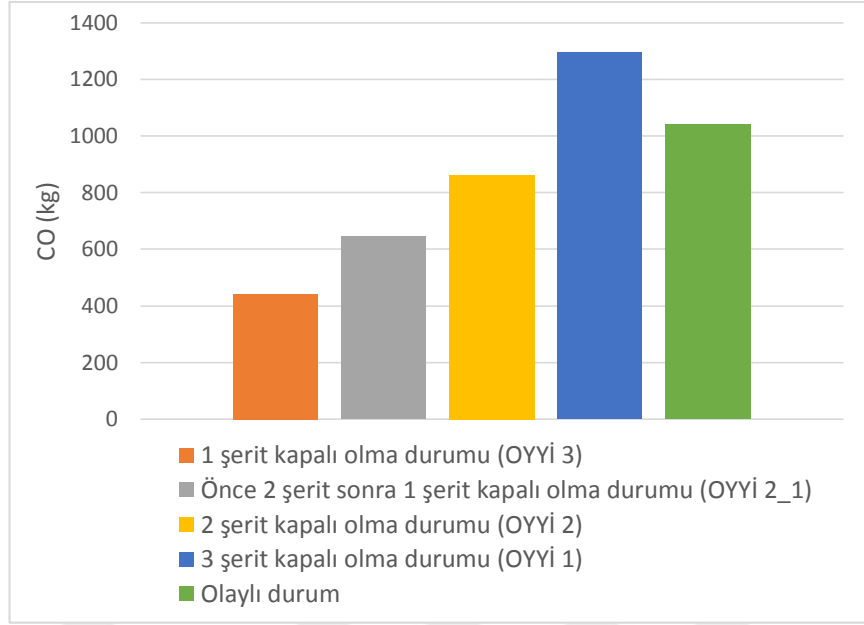
	Olaylı durum ile arasındaki litre farkı	Olayın iyileştirmesinde elde edilen kazanç (TL)
<b>ODSi</b>	1338	5352

Şekil 4. 63'de olay süresinin azaltılmasının karbonmonoksit salımına etkisi görülmektedir. Yakıt tüketiminde olduğu gibi OSYİ 30 ve OSYİ 20 senaryolarında duruş kalkış hareketlerinin fazla olmasından dolayı karbonmonoksit salım değerleri olaylı duruma göre yüksek çıkmıştır.



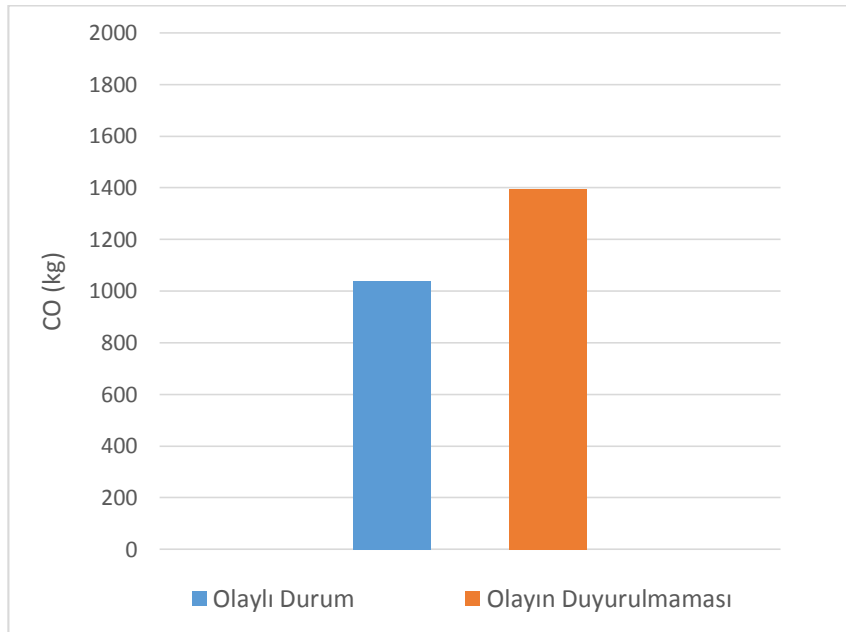
Şekil 4. 63 Olay süresinin azaltılmasının karbonmonoksit salımına etkisi

Olay yerinde iyileştirme yapılmasının karbonmonoksit salımı değerleri hesaplanmış ve Şekil 4. 64'de gösterilmiştir. OYYİ 1 senaryosunda gerçekleşen duruş kalkış hareketleri karbonmonoksit salımını arttırmıştır. Oluşturulan diğer senaryolarda olaylı duruma göre daha az karbonmonoksit salımı gerçekleşmiştir.



Şekil 4. 64 Olay yeri yönetiminde iyileştirme yapılmasının karbonmonoksit salımına etkisi

Olayın duyurulması ve duyurulmaması durumları için hesaplanan karbonmonoksit değerleri Şekil 4. 65'te gösterilmiştir. Sürücüler olayın duyurulması ile alternatif yollara yöneldiğinden incelenen güzergâhta oluşan karbonmonoksit salımı da azalmıştır.



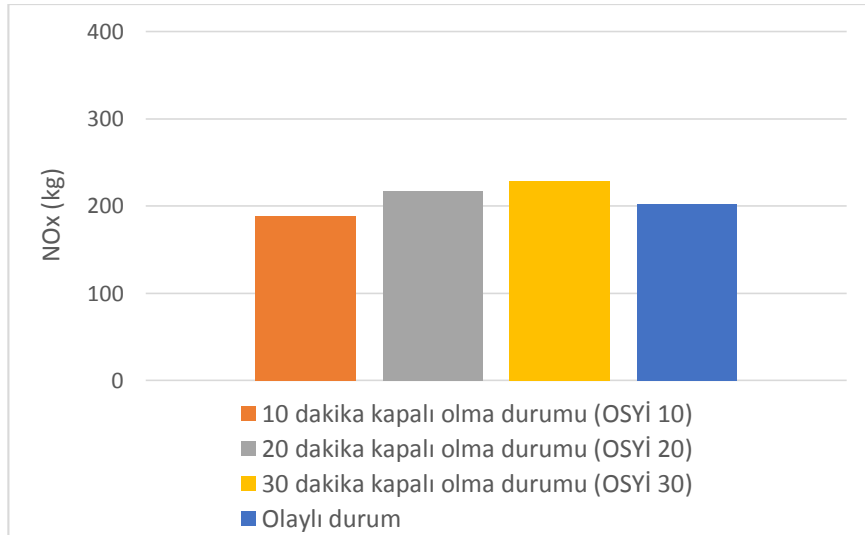
Şekil 4. 65 Olayın duyurulmasının karbonmonoksit salımına etkisi

Çizelge 4. 19’da senaryoların karbonmonoksit salımına göre kazançları gösterilmiştir. Yakıt tüketiminde olduğu gibi, OSYİ 30, OSYİ 20 ve OYYİ 1 senaryolarında olaylı duruma göre daha çok duruş meydana gelmesi karbonmonoksit salımının artmasına neden olmuş ve kazanç sağlanamamıştır. Olayın duyurulması ile karbonmonoksit salımından elde edilen kazancın 3894 TL olduğu Çizelge 4. 19’da görülmektedir.

Çizelge 4. 19 Senaryoların karbonmonoksit salımına göre maddi kazançları

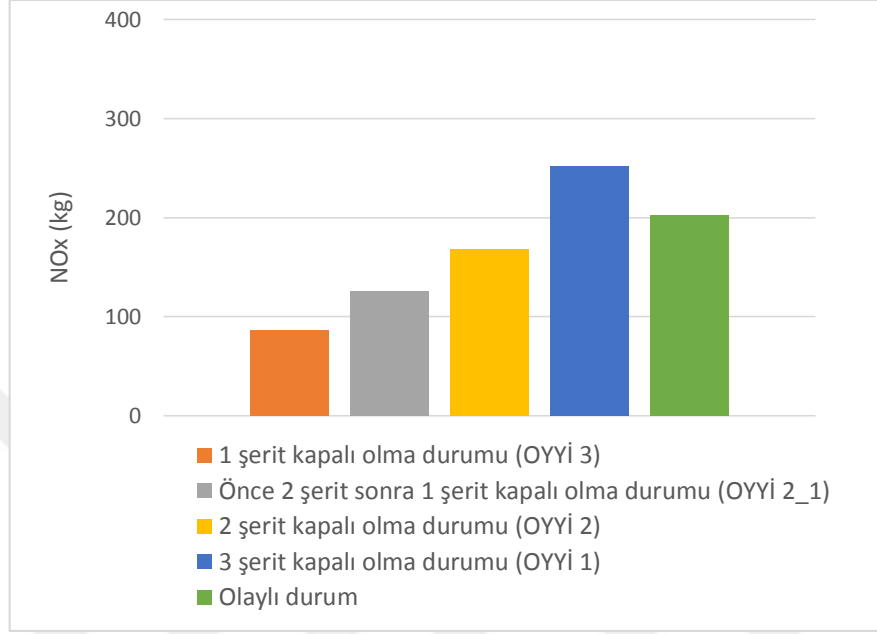
	Olaylı durum ile arasındaki kg farkı	Olayın iyileştirmesinde elde edilen kazanç (TL)
<b>OSYİ 30</b>	-133	-1463
<b>OSYİ 20</b>	-78	-858
<b>OSYİ 10</b>	70	770
<b>OYYİ 1</b>	-254	-2794
<b>OYYİ 2</b>	177	1947
<b>OYYİ 2_1</b>	396	4356
<b>OYYİ 3</b>	597	6567
<b>ODSİ</b>	354	3894

Olay süresinin azaltılmasının nitrojen oksit salımına etkisi Şekil 4. 66’da görülmektedir. Karbonmonoksit salımında olduğu gibi OSYİ 30 ve OSYİ 20 senaryolarında duruş kalkış hareketlerinin fazla olmasından dolayı nitrojen oksit salım değerleri olaylı duruma göre yüksek çıkmıştır.



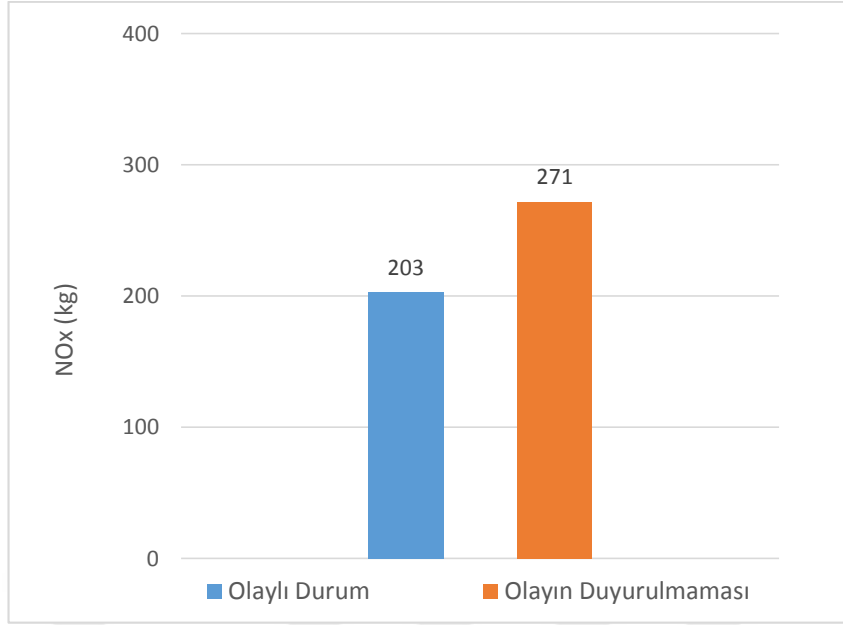
Şekil 4. 66 Olay süresinin azaltılmasının nitrojen oksit salımına etkisi

Olay yerinde iyileştirme yapılmasının nitrojen oksit salımı değerleri hesaplanmış ve Şekil 4. 67’de gösterilmiştir. OYYİ 1 senaryosunda gerçekleşen duruş kalkış hareketleri nitrojen oksit salımını arttırmıştır. Şekilden de görüleceği üzere oluşturulan diğer senaryolarda olaylı duruma göre daha az nitrojen oksit salımı gerçekleşmiştir.



Şekil 4. 67 Olay yeri yönetiminde iyileştirme yapılmasının nitrojen oksit salımına etkisi

Şekil 4. 68’de olayın duyurulması ve duyurulmaması durumları için hesaplanan nitrojen oksit değerleri gösterilmiştir. Sürücüler olayın duyurulması ile alternatif yollara yöneldiğinden incelenen güzergâhta oluşan nitrojen oksit salımı da azalmıştır.



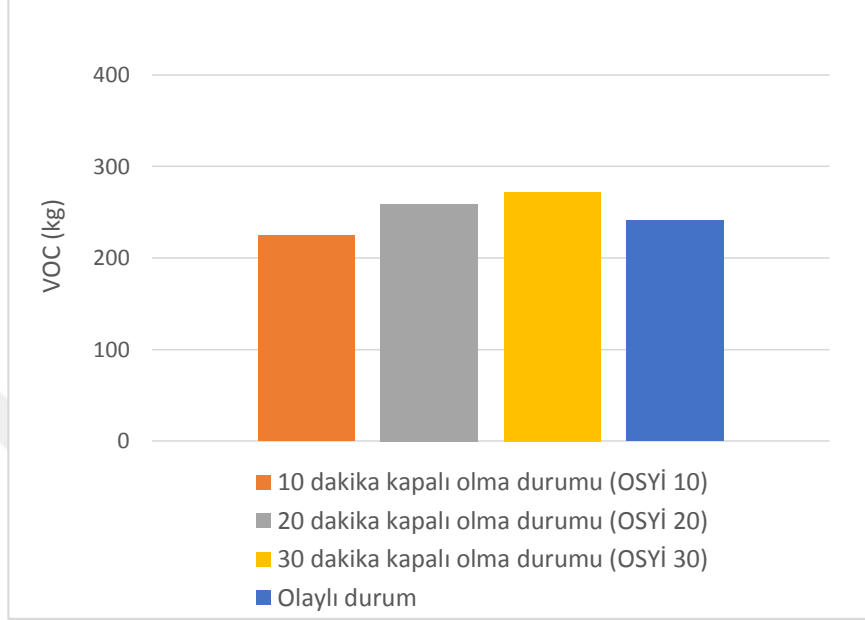
Şekil 4. 68 Olayın duyurulmasının nitrojen oksit salımına etkisi

Senaryoların nitrojen oksit salımına göre kazançları Çizelge 4. 20'de gösterilmiştir. Karbonmonoksit salımında olduğu gibi OSYİ 30, OSYİ 20 ve OYYİ 1 senaryolarında olaylı duruma göre daha çok duruş meydana gelmesi nitrojen oksit salımının artmasına neden olmuş ve kazanç sağlanamamıştır. Olayın duyurulması ile nitrojen oksit salımından elde edilen kazancın 721 TL olduğu Çizelge 4. 20'de görülmektedir.

Çizelge 4. 20 Senaryoların nitrojen oksit salımına göre maddi kazançları

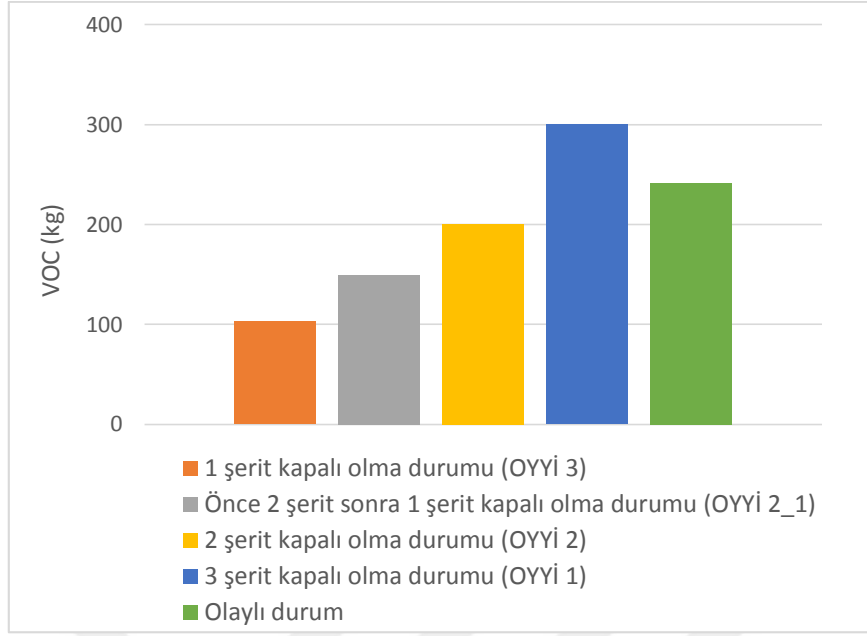
	Olaylı durum ile arasındaki kg farkı	Olayın iyileştirmesinde elde edilen kazanç (TL)
<b>OSYİ 30</b>	-25	-265
<b>OSYİ 20</b>	-15	-159
<b>OSYİ 10</b>	14	148
<b>OYYİ 1</b>	-49	-519
<b>OYYİ 2</b>	35	371
<b>OYYİ 2_1</b>	77	816
<b>OYYİ 3</b>	117	1240
<b>ODSi</b>	68	721

Olay süresinin azaltılmasının uçucu organik bileşiklerin salımına etkisi Şekil 4. 69'da görülmektedir. Nitrojen oksit salımında olduğu gibi OSYİ 30 ve OSYİ 20 senaryolarında duruş kalkış hareketlerinin fazla olmasından dolayı uçucu organik bileşiklerin salım değerleri olaylı duruma göre yüksek çıkmıştır.



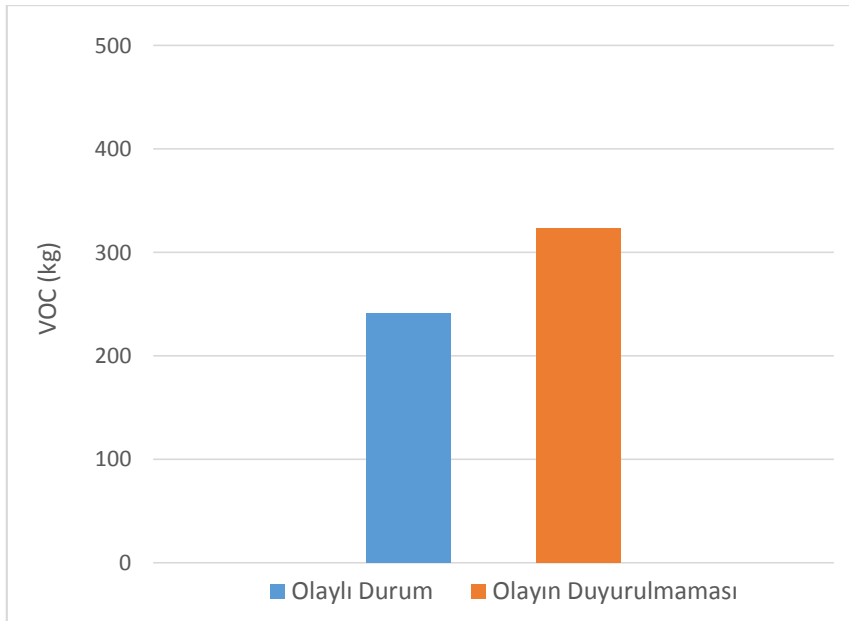
Şekil 4. 69 Olay süresinin azaltılmasının uçucu organik bileşiklerin salımına etkisi

Olay yerinde iyileştirme yapılmasının uçucu organik bileşiklerin salım değerleri hesaplanmış ve Şekil 4. 70'de gösterilmiştir. OYYİ 1 senaryosunda gerçekleşen duruş kalkış hareketleri uçucu organik bileşiklerin salımını arttırmıştır. Bununla birlikte, oluşturulan diğer senaryolarda olaylı duruma göre daha az VOC salımı gerçekleşmiştir.



Şekil 4. 70 Olay yeri yönetiminde iyileştirme yapılmasının uçucu organik bileşiklerin salımına etkisi

Olayın duyurulması ve duyurulmaması durumları için hesaplanan uçucu organik bileşiklerin salım değerleri Şekil 4. 71’de gösterilmiştir. Sürücüler olayın duyurulması ile alternatif yollara yöneldiğinden incelenen güzergâhta oluşan VOC salımı değerleri de azalmıştır.



Şekil 4. 71 Olayın duyurulmasının uçucu organik bileşiklerin salımına etkisi

Senaryoların uçucu organik bileşiklerin salımına göre kazançları Çizelge 4. 21’de gösterilmiştir. Nitrojen oksit salımında olduğu gibi, OSYİ 30, OSYİ 20 ve OYYİ 1 senaryolarında olaylı duruma göre daha çok duruş meydana gelmesi uçucu organik bileşiklerin salımının artmasına neden olmuş ve kazanç sağlanamamıştır. Olayın duyurulması ile nitrojen oksit salımından elde edilen kazancın 443 TL olduğu Çizelge 4. 21’de görülmektedir.

Çizelge 4. 21 Senaryoların uçucu organik bileşiklerin salımına göre maddi kazançları

	Olaylı durum ile arasındaki kg farkı	Olayın iyileştirmesinde elde edilen kazanç (TL)
<b>OSYİ 30</b>	-31	-156
<b>OSYİ 20</b>	-18	-91
<b>OSYİ 10</b>	16	80
<b>OYYİ 1</b>	-59	-297
<b>OYYİ 2</b>	41	206
<b>OYYİ 2_1</b>	92	463
<b>OYYİ 3</b>	138	694
<b>ODSi</b>	88	443

Senaryolardan OSYİ 30, OSYİ 20 ve OYYİ 1’de beklenenin aksine çevresel etkilerde (zararlı gaz salımları ve yakıt yüklemi) kazanç elde edilememiştir. Buna istinaden, olayın iyileştirilmesinde elde edilen kazançlar çevresel etkiler dâhil ve çevresel etkiler hariç olmak üzere Çizelge 4. 22’de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 22 Senaryolara göre olayın iyileştirilmesinde elde edilen kazançlar

Senaryolar	Çevresel Etkiler Dâhil		Çevresel Etkiler Hariç	
	Olayın iyileştirmesinde elde edilen kazanç (TL) (7saat için)	Olayın iyileştirmesinde elde edilen kazanç (TL) (1saat için)	Olayın iyileştirmesinde elde edilen kazanç (TL) (7saat için)	Olayın iyileştirmesinde elde edilen kazanç (TL) (1saat için)
<b>OSYİ 30</b>	<b>91522</b>	<b>13075</b>	<b>95410</b>	<b>13630</b>
<b>OSYİ 20</b>	<b>221288</b>	<b>31613</b>	<b>223580</b>	<b>31940</b>
<b>OSYİ 10</b>	<b>371584</b>	<b>53083</b>	<b>369530</b>	<b>52790</b>
<b>OYYİ 1</b>	<b>183918</b>	<b>26274</b>	<b>191380</b>	<b>27340</b>
<b>OYYİ 2</b>	<b>473002</b>	<b>67572</b>	<b>467810</b>	<b>66830</b>
<b>OYYİ 2_1</b>	<b>584009</b>	<b>83430</b>	<b>572390</b>	<b>81770</b>



Çizelge 4. 22 Senaryolara göre olayın iyileştirilmesinde elde edilen kazançlar (devamı)

Senaryolar	Çevresel Etkiler Dâhil		Çevresel Etkiler Hariç	
	Olayın iyileştirmesinde elde edilen kazanç (TL) (7saat için)	Olayın iyileştirmesinde elde edilen kazanç (TL) (1saat için)	Olayın iyileştirmesinde elde edilen kazanç (TL) (7saat için)	Olayın iyileştirmesinde elde edilen kazanç (TL) (1saat için)
OYYİ 3	686157	98022	668640	95520
ODSİ	216280	30987	205870	29410



### SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Fatih Sultan Mehmet Köprüsü örneğinde trafik olaylarının etkileri ve farklı olay yönetimi stratejilerinin faydalarının belirlenmesi amacıyla çeşitli senaryolar oluşturulmuş ve benzetim modeli yardımıyla değerlendirilmiştir. Öncelikle incelenen yol ağında aynı saat diliminde normal bir güne ait taşıtların hız ve hacim verileri kullanılarak mevcut durumun benzetimi oluşturulmuş ve model kalibrasyonu yapılmıştır. Normal bir gün ile olaylı gün benzetim modeli çıktıları olan seyahat süresi ve hız, çevresel etkilerine göre karşılaştırılmıştır. Trafik olay yönetiminden sorumlu kurumların kendilerine düşen sorumlulukları en verimli şekilde yerine getirmelerinin ne derece önemli olduğunu görmek amacıyla senaryolar oluşturulmuştur.

Oluşturulan senaryoların sonuçları aşağıda sıralanmıştır:

- Elde edilen çevresel etkilerin tamamının (CO, NO<sub>x</sub>, VOC ve yakıt tüketimi) senaryolara göre değişimleri aynı yönlü (pozitif-negatif) olmuştur. OSYİ 30, OSYİ 20 ve OYYİ 1 senaryolarında toplam duruş sayılarının olaylı duruma göre fazla olması nedeni ile çevresel etkilerden sağlanan kazanç beklenenin aksine negatif olmuştur. Diğer senaryolar için ise pozitif çıkmıştır.
- Senaryolar süreye (OSYİ) ve şerit sayısına (OYYİ) göre iyileştirildikçe makul olarak ortalama hız artmıştır. Aynı şekilde, toplam gecikme ve toplam seyahat süresi de iyileştirmelere bağlı olarak azalmıştır.
- Olay Yeri Yönetiminin İyileştirilmesi (OYYİ)'nin Olay Süresi Yönetiminin İyileştirilmesi (OSYİ)'ne göre daha fazla kazanç sağladığı görülmüştür. Yani,

meydana gelen bir olayın ardından tüm şeritleri kapatıp olayı kısa bir zamanda kaldırmaktansa, mümkünse şeritlerin yarısını kapatıp olayı daha uzun sürede ortadan kaldırmanın daha az zararlı olması beklenmektedir.

- Olayın Duyurulma Süresinin İyileştirilmesi (ODSi)'nin önemini vurgulamak amacıyla oluşturulan senaryoda, beklenildiği gibi toplam seyahat süresi, toplam gecikme, zararlı gazların salımı ve yakıt tüketimi azalmış, ortalama hız ise artmıştır. Olayın duyurulması ile elde edilen kazancın, OSYİ 20 ve OYYİ 1 senaryoları ile elde edilen kazanç kadar olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada, olayın trafik üzerine olan etkileri, toplam seyahat süresi, toplam gecikme, ortalama hız, yakıt tüketimi ve zararlı gaz salımları dikkate alınarak yapılmıştır. İleride yapılacak çalışmalarda faydanın daha anlaşılabilir bir halde sunulması için; yukarıda sıralanan her bir göstergenin parasal karşılığı belirlenerek, olay etkisini parasal olarak değerlendirecek çalışmaların yayılması uygun olacaktır.

## KAYNAKLAR

---

- [1] Dia, H. ve Gondwe, W., (2008). "Evaluation of Incident Impacts on Integrated Motorway And Arterial Networks Using Traffic Simulation", 31st Australasian Transport Research Forum (ATRF), 563-575.
- [2] Dia, H. ve Cottman, N., (2006). "Evaluation of Arterial Incident Management Impacts Using Traffic Simulation", IEE Proceedings - Intelligent Transport Systems, Vol. 153, No. 3, 242-252.
- [3] Akiva, M.B., Cuneo, D., Hasan, M., Jha, M. ve Yang, Q., (2003). "Evaluation of Freeway Control Using a Microscopic Simulation Laboratory", Transportation Research Part C 11, 29–50.
- [4] Fries, R., (2007). "Evaluating The Impacts of Accelerated Incident Clearance Tools and Strategies by Harnessing The Power of Microscopic Traffic Simulation", A Dissertation Presented to the Graduate School of Clemson University.
- [5] Tasic, I., (2012). Using Microsimulation to Evaluate Traffic Incident Responses for Traffic Operations Center Decision Making, Master of Science, Department of Civil and Environmental Engineering, The University of Utah.
- [6] Barceló, J., Ferrer, J., Casas, J., Montero, L. ve Perarnau, J., (2002). "Microscopic Simulation With Aimsun For The Assessment of Incident Management Strategies".
- [7] Zhoua, H. ve Tian, Z., (2012). "Modeling Analysis of Incident and Roadway Clearance Time", Procedia - Social and Behavioral Sciences 43, 349 – 355.
- [8] Pulugurtha, S.S., Nambisan, S.S., Dangeti, M. ve Kaseko, M., (2002). "Simulating and Analyzing Incidents Using CORSIM and VISSIM Traffic Simulation Software", Applications of Advanced Technologies in Transportation, 811-818.
- [9] Saka, A.A., Jeihani, M. ve James, P. A., (2008). "Estimation of Traffic Recovery Time for Different Flow Regimes on Freeways Final Report 2008", Department of

Transportation and Urban Infrastructure Studies School of Engineering Morgan State University Baltimore.

- [10] Dixon, L.D., (2007). "An Evaluation Of The Alabama Service And Assistance Patrol With Respect To Mobility-Related Benefits", Yüksek Lisans Tezi, Auburn Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Auburn, Alabama.
- [11] Chang, G. ve Point-Du-Jour, J.Y., (2001). "Performance Evaluation of CHART: An Incident Management Program Final Report", July 2001.
- [12] Henk, R.H., Molina, M.E. ve Irwin, P., L., (1997). "San Antonio TransGuide: Analysis of the Benefits". ITS Quarterly. Vol. 5, No. 1.
- [13] Gomes, G., May, A. ve Horowitz, R., (2004). "Calibration of VISSIM for a Congested Freeway", California PATH Research Report, UCB-ITS-PRR-2004-4.
- [14] Skabardonis, A., Noeimi, H., Petty, K., Rydzewski, D., Varaiya, P.P. ve Al-Deek, H., (1995). "Freeway Service Patrol Evaluation", California PATH Research Report, UCV-ITS-PRR-95-5, Institute of Transportation Studies, Univ. Of California, Berkeley.
- [15] Petrov, A.A., Lin, P.W., Zou, N., Chang, G.L. ve Point-Du-Jour, J.Y., (2002). "Evaluation of the Benefits of A Real-Time Incident Response System". The 9th World Congress on ITS, Chicago, Illinois, America.
- [16] US Department of Transportation, (1996). "Innovations in Transportation and Air Quality: Twelve Exemplary Projects", USDOT Publication FHWA-PD-96-016.
- [17] Cambridge Systematics, (1997). "Incident Management: Challenges, Strategies, and Solutions for Advancing Safety and Roadway Efficiency", Report prepared for the ATA Foundation for National Incident Management Coalition, February, 1997.
- [18] Garmen Associates, (2000). "Help Benefit Assessment Final Report: Rockland and Westchester Counties", November 30, 2000.
- [19] Liu, H. ve Hall, R.W., (2000). "INCISIM: users manual", California PATH research report, UCB-ITS-PWP-2000-15.
- [20] Ozbay, K. ve Bartın, B., (2003). "Incident management simulation", SIMULATION, Vol. 79, No. 2, pp.69–82.
- [21] Hadi, M., Xiao, Y. ve Wang, T., (2013). "Use of the HCM Freeway Facility Analysis and Microscopic Simulation Models as Part of Real-Time Management Decision Support Systems", Procs of 92nd Transportation Research Board Annual Meeting, Washington DC, USA, 13-17 Jan.

- [22] Berdica, K., Andjic, Z. ve Nicholson, A.J., (2003). "Simulating Road Traffic Interruptions: Does it Matter What Model we Use?", M.G.H, Bell, Y. Lida (Eds.), The Network Reliability of Transport, Elsevier Science, Oxford, UK, pp.353-368.
- [23] Gale, C. ve Spiers, J., (2001). "Urban Traffic Management and Control Report 4 (Network monitoring, modelling and management): Project summary and evaluation", MVA Report UTMC-04, Dept for Transport, London, UK.
- [24] Daganzo, C.F., (1993). "The cell transmission model: a dynamic representation of highway traffic consistent with the hydrodynamic theory", Transportation Research B., Vol. 28B, No. 4, pp.269-287.
- [25] Ozbay, K., Xiao W., Jaiswal, G., Bartin B., Kachroo P. ve Gursoy M.B., (2009). "Evaluation of incident management strategies and technologies using an integrated traffic/incident management simulation", Int. J. Technology Management, Vol. X, No. Y, XXXX, pp.51-82.
- [26] Gursoy, M.B., Xiao, W., Duan, Z. ve Ozbay. K., (2006). "Delay Estimation for Traffic Flow Interrupted by Incidents", 86th Annual Transportation Research Conference, Washington D.C., 2006.
- [27] Lindley, J.A., (1987). "Urban Freeway Congestion: Quantification of the Problem and Effectiveness of Potential Solutions", ITE Journal, Jan., pp. 27-32.
- [28] Yaşar, I., (2010). "Kaza-Olay Tespit Algoritmalarına Genel Bakış", DEU Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi Cilt: 12 Sayı: 1 Sh. 33-45.
- [29] Yayla, N., (1980). Türkçe-İngilizce Karayolu ve Trafik Terimleri Sözlüğü, İstanbul.
- [30] T.C. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı Yayınları-16, (2012). Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Terimleri Sözlüğü, Ankara.
- [31] Aydın, A.F., (2008). Fatih Sultan Mehmet Köprüsü'ndeki Ek Şerit Uygulamasının Simülasyon Modeli İle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [32] Karahasan, S.P., (2009). Karayollarında Performans Analizi ve Yolculuk Süresi Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [33] Şahin, İ., Akyıldız, G., Zorer, A. ve Gedizlioğlu, E., (2004). "Proje No: İÇTAG-920 Uzun Otoyol Kuyruklarının İncelenmesi ve İyileştirme Stratejilerinin Araştırılması", İstanbul.
- [34] Şahin, İ., (2012). Trafik Akım Kuramı, Basılmamış Ders Notları, YTÜ, İstanbul.

- [35] Martin, P.T., Chaudhuri, P., Tasic, I. ve Zlatkovic, M., (2011). "Freeway Incidents: Simulation and Analysis", Civil and Environmental Engineering, University of Utah.
- [36] PB Farradyne Inc., (2000). "Traffic Incident Management Handbook," Fed. Highw. Adm. Off. Travel Management.
- [37] Türk Dil Kurumu, Güncel Türkçe Sözlük, <http://www.tdk.gov.tr>, 9 Mart 2016.
- [38] Transportation Research Board of the National Academies, (2010). Highway Capacity Manual, Fifth Edition, Washington.
- [39] Balke, K.N., Fenno, D.W. ve Ullman, B., (2002). "Incident Management Performance Measures," Texas Transp. Inst.
- [40] Oktav, S., (2009). Kaza-Arıza Yönetimi ve Kaza-Arızaların Otomatik Algılanması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [41] Saraçoğlu, A., (2015). Trafikte Olay Yönetimi ve Süreç Tahmini: İstanbul TEM Otoyolu Örneği, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [42] Göksu, G., (2013). "Microscopic Simulation Of Dynamic Freeway Traffic Flow Control Approaches On An Urban Highway", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [43] Banks, J. ve Carson, J.S., (1984). "Discrete - Event System Simulation", Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- [44] Halaç, O., (1998). İşletmelerde Simülasyon Teknikleri, Alfa Yayınları, 3. Basım, İstanbul.
- [45] DynusT Online Users Manual, [http://wiki.dynust.net/doku.php?id=multi\\_resolution\\_modeling](http://wiki.dynust.net/doku.php?id=multi_resolution_modeling), 18 Ekim 2014.
- [46] Chowdhury, M. ve Sadek, A., (2003). "Fundamentals of Intelligent Transportation Systems Planning", Artech House, Inc., Norwood, MA.
- [47] NTV, <http://www.ntv.com.tr/turkiye/fsm-koprusunde-trafigi-durduran-kaza,nWz9JPAVOUi0izpwtIMRQw>, 5 Mart 2014.
- [48] Onedio, <http://onedio.com/haber/fsm-de-trafigi-durduran-kaza-263244>, 5 Mart 2014.
- [49] İnternet Haber, <http://www.internethaber.com/fsmde-korkunc-kaza-trafik-felc-oldu-647469h.htm>, 5 Mart 2014.

- [50] Can, O., (2005). "Development of a Control Strategy for Urban Traffic Management System of Istanbul", Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [51] Ergün, G., Avrenli K., Harman, M.M. ve Pehlivan E., (2006). Arterlerde Sinyal Koordinasyonu ve Optimizasyonu: Yöntem Ve Uygulama El Kitabı, Boğaziçi Üniversitesi İnsaat Mühendisliği Bölümü Arastırma Çalışması.
- [52] Koç, H., (2010). "Eşdüzey Kavşaklardan Katlı Kavşaklara Geçiş Örnekler Ve Uygunluklarının Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [53] Dia, H. ve Cottman, N., (2004). "Evaluation of Incident Management Benefits Using Traffic Simulation". Presented at Workshop on Traffic Simulation (Bridging Theory and Practice), Customs House, Brisbane, Queensland, 5-6 August, 2004.
- [54] Menneni, S., Sun, C. ve Vortisch, P., (2008). "Microsimulation calibration using speed-flow relationships". Transportation Research Board, vol 2088. Washington pp 1-9.
- [55] İBB, Ulaşım Daire Başkanlığı Ulaşım Planlama Müdürlüğü, (2011). İstanbul Metropolitan Alanı Kentsel Ulaşım Ana Planı (İUAP), İstanbul.
- [56] FIU, The Lehman Center for Transportation Research, (2008). Evaluation Tools to Support ITS Planning Process: Development of a Sketch Planning Tool in FSUTMS/Cube Environment, Florida.



## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Fatih Kerem BOZ  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 09.02.1990 / Fatih  
**Yabancı Dili** : İngilizce  
**E-posta** : fkb090@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Ulaştırma Programı	Yıldız Teknik Üniversitesi	2016
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Sakarya Üniversitesi	2013
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Universidade Dos Açores (Erasmus)	2011
Lise	Sayısal	Yedikule Anadolu Lisesi	2008

### İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2014 - 2016	İSBAK (İstanbul Ulaşım Haberleşme ve Güvenlik Teknolojileri A.Ş.)	Trafik Sistemleri Mühendisi

## **YAYINLARI**

### **Bildiri**

1. Yardım, M.S., Saraçoğlu, A. ve Boz, F.K., (2014). "YTÜ Davutpaşa Metro Kavşağında Trafik Kurallarına Riayet Etütleriyle Yaya Hareketlerinin İncelenmesi", 5. Karayolu Trafik Güvenliği Sempozyum ve Sergisi, 21-23 Mayıs 2014, Ankara.
2. Özen, H., Saraçoğlu, A. ve Boz, F.K., (2014). "Ağır Taşıt Kısıtlamasının Trafik Kazaları Üzerine Etkisinin İncelenmesi : İstanbul Örneği", Karayolu 3. Ulusal Kongresi, 25-27 Kasım 2014, Ankara.
3. Özen, H., Saraçoğlu, A. ve Boz, F.K., (2015). "Trafikte Olay Süreci ve Yönetimi: Örnek Olay İncelemesi", 6. Karayolu Trafik Güvenliği Sempozyum ve Sergisi, 12-14 Kasım 2015, Ankara.
4. Özen, H., Saraçoğlu, A., Boz, F.K. ve Kuşakcı, S.ř., (2015). "Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Kullanılarak İstanbul Park-Et Devam-Et Tesislerinin Değerlendirilmesi", Transist 8. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyum ve Fuarı, 17-19 Aralık 2015, İstanbul.