YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AVCILAR - SÖĞÜTLÜÇEŞME KORİDORUNDA METROBÜS SİSTEMİNİN İŞLETİM ÖZELLİKLERİNİN SİMÜLASYON MODELİ İLE İNCELENMESİ

İnşaat Müh. Deniz ORHAN

FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Programında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

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

İSTANBUL, 2010

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ…….. iv

KISALTMA LİSTESİ…….. v

ŞEKİL LİSTESİ…… vi

ÇİZELGE LİSTESİ……... viii

ÖNSÖZ……. ix

ÖZET…… x

ABSTRACT…….. xi

1. GİRİŞ……. 1

2. KENTİÇİ TOPLU TAŞIMA……..……. 2

2.1. Toplu Taşıma Sistemleri……... 4

2.1.1. Raylı Toplu Taşıma Sistemleri…… 4

2.1.1.1. Tramvay Sistemi…….. 4

2.1.1.2. Hafif Raylı Sistem (HRS)…….…… 5

2.1.1.3. Metro Sistemi…….. 5

2.1.2. Lastik Tekerlekli Toplu Taşıma Sistemleri……. 6

2.1.2.1. Ara Toplu Taşıma Sistemi…… 6

2.1.2.2. Otobüs Sistemi……. 7

2.1.2.3. BRT (Metrobüs) Sistemi……. 8

3. TRAFİK BENZETİM (SİMÜLASYON) MODELLERİ……... 13

3.1. Terminoloji……. 15

3.2. Simülasyon Modeli Oluşturma ve Uygulama Süreci……... 16

3.2.1. Çalışmanın Amacı, Konusu ve Yönteminin Belirlenmesi…….. 17

3.2.2. Veri Toplanması ve Hazırlanması…….….. 18

3.2.3. Ana Modelin Geliştirilmesi……. 18

3.2.4. Hata Testi…….…… 19

3.2.5. Model Kalibrasyonu…… 19

3.2.6. Simülasyon Modeli İle Seçeneklerin Analizi…….…… 20

3.2.7. Sonuç Raporu ve Teknik Belgelendirme…….…… 20

3.2.8. TSIS 5.1…….. 21

4. SİMÜLASYON UYGULAMASI……..…… 23

4.1. Çalışmanın Amacı, Kapsamı ve Yöntemi…….. 23
4.2. Veriler……. 25
4.2.1. Taşıtta Yapılan Çalışmalar…….. 25
4.2.1.1. Avcılar-Zincirlikuyu Yönü Toplam Yolculuk Süresi (Sabah)……. 25
4.2.1.2. Zincirlikuyu-Avcılar Yönü Toplam Yolculuk Süresi (Akşam)……... 25
4.2.1.3. Söğütlüçeşme-Edirnekapı Yönü Toplam Yolculuk Süresi (Sabah)……. 26
4.2.1.4. Edirnekapı- Söğütlüçeşme Toplam Yolculuk Süresi (Akşam)…… 26
4.2.2. Terminalde Yapılan Çalışmalar…….. 26
4.2.2.1. Avcılar Terminalinde Sabah Zirvesi…… 26
4.2.2.2. Söğütlüçeşme Terminalinde Sabah Zirvesi……. 26
4.2.2.3. Edirnekapı Terminalinde Akşam Zirvesi…… 27
4.2.2.4. Zincirlikuyu Terminalinde Akşam Zirvesi…….. 27
4.2.2.5. Topkapı Terminalinde Akşam Zirvesi……. 27
4.2.3. Duraklarda Yapılan Çalışma……... 27
4.3. Simülasyon Modelin Geliştirilmesi…… 28
4.3.1. Geçki (Güzergâh) ve Hattın Belirlenmesi……..... 28
4.3.2. Arka Planın Kodlanması……. 29
4.3.3. Bağların Kodlanması……... 30
4.3.4. Durak ve Hatların Kodlanması……..... 32
4.3.5. Trafik Verilerinin Modele Girilmesi……... 34
4.4. Hata ve Kabuller……..……... 49
4.5. Modelin Kalibrasyonu…… 52
4.6. Seçenek Analizi…….…… 53
4.7. Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi…….. 56

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER……..……..... 93

KAYNAKLAR…….. 95

İNTERNET KAYNAKLARI……... 96

EKLER……... 97

ÖZGEÇMİŞ……... 99

SİMGE LİSTESİ

x_i Bir durağın i aralığındaki duruş sürelerinin frekansı

$\overline{x}$ Bir durağın duruş süreleri frekanslarının ortalaması

n Bir durağın duruş sürelerinin sınıf sayısı

KISALTMA LİSTESİ

BRT	Bus Rapid Transit
CORSIM	Corridor Simulation
DİE	Devlet İstatistik Enstitüsü
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
FHWA	Federal Highway Administration
FRESIM	FREeway SIMulation
HCM	Highway Capacity Manual
HD	Hizmet Düzeyi (Level of Service)
HOT	Hızlı Otobüs Taşımacılığı
HRS	Hafif Raylı Sistem
İBB	İstanbul Büyükşehir Belediyesi
İETT	İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel İşletmeleri
KG	Kalite Güvence
KK	Kalite Kontrol
KTH	Karesel Hataların Toplamı (Error Sum of Squares)
KTKS	Kentsel Trafik Kontrol Sistemi
NETSIM	NETwork SIMulation
TRAFVU	TRAFfic Visualization Utility
TSIS	Traffic Software Integrated System

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Taşıma Maliyetleri……. 9
Şekil 2.2 Avcılar-Söğütlüçeşme Metrobüs hattından bir görüntü: Çağlayan durağı……. 10
Şekil 2.3 HOT sistemine hiyerarşik bakış……. 12
Şekil 3.1. TSIS'in ekran görüntüsü ……... 15
Şekil 3.2. Simülasyon modeli gelişimi ve uygulama süreci……...……... 17
Şekil 4.1 Sabah zirvesinde incelenen hatlar…….……. 24
Şekil 4.2 Akşam zirvesinde incelenen hatlar……..….... 24
Şekil 4.3-a 34T (Avcılar - Zincirlikuyu) metrobüs güzergahı……... 28
Şekil 4.3-b 34A (Edirnekapı -Söğütlüçeşme) metrobüs güzergahı……... 29
Şekil 4.4 Söğütlüçeşme terminal rampası…….. 30
Şekil 4.5 NETSIM'de oluşturulan bağ-düğüm diyagramı……. 31
Şekil 4.6 NETSIM'de oluşturulan bağ-düğüm diyagramının altlık üzerinde görünüş….. 31
Şekil 4.7 NETSIM'de hatların oluşturulması…… 33
Şekil 4.8 Taşıtların izleme sürelerinin hatlar üzerine girilmesi……. 37
Şekil 4.9 Durakların özelliklerinin girilmesi……. 38
Şekil 4.10 Netsim programının kendi değerleriyle duraklarda bekleme süreleri dağılımı. 43
Şekil 4.11 Sabah zirvesinde Zincirlikuyu - Avcılar ve Edirnekapı - Söğütlüçeşme arasındaki duraklara ait dendrogram…….. 46
Şekil 4.12a Mercedes CapaCity aracından bir görünüm……... 50
Şekil 4.12b Mercedes Citaro aracından bir görünüm…… 50
Şekil 4.12c Hollanda'dan alınan Phileas aracından bir görünüm……... 51
Şekil 4.13 Sistemdeki gecikme sürelerinin sabah senaryolarına göre değişimi…… 58
Şekil 4.14 Sistemdeki gecikme sürelerinin akşam senaryolarına göre değişimi……... 60
Şekil 4.15 Taşıt hızlarının sabah senaryolarına göre değişimi…….. 62
Şekil 4.16 Taşıt hızlarının akşam senaryolarına göre değişimi……. 63
Şekil 4.17 Sabah zirvesinde taşıtlarda harcanan toplam yakıt (lt)……. 65
Şekil 4.18 Akşam zirvesinde taşıtlarda harcanan toplam yakıt (lt)……... 66
Şekil 4.19 Sabah zirvesinde taşıtların ortalama yolculuk süreleri (dk)……..….... 68
Şekil 4.20 Akşam zirvesinde taşıtların ortalama yolculuk süreleri (dk)……..…. 69
Şekil 4.21 Sabah zirvesinde Avcılar - Zincirlikuyu yönünde gecikme süreleri (senaryo 7)……. 79

Şekil 4.22 Sabah zirvesinde Avcılar - Zincirlikuyu yönünde gecikme süreleri (gerçeği durumu yansıtan senaryo 12)……... 80
Şekil 4.23 Sabah zirvesinde Avcılar - Zincirlikuyu yönünde gecikme süreleri (senaryo 14)……... 81
Şekil 4.24 Sabah zirvesinde Söğütlüçeşme - Edirnekapı yönünde gecikme süreleri (senaryo 7)……. 82
Şekil 4.25 Sabah zirvesinde Söğütlüçeşme - Edirnekapı yönünde gecikme süreleri (senaryo 12)……... 83
Şekil 4.26 Sabah zirvesinde Söğütlüçeşme - Edirnekapı yönünde gecikme süreleri (senaryo 14)……... 84
Şekil 4.27 Akşam zirvesinde Zincirlikuyu - Avcılar yönünde gecikme süreleri (senaryo 7)……. 85
Şekil 4.28 Akşam zirvesinde Zincirlikuyu - Avcılar yönünde gecikme süreleri (senaryo 11)……... 86
Şekil 4.29 Akşam zirvesinde Zincirlikuyu - Avcılar yönünde gecikme süreleri (senaryo 14)……... 87
Şekil 4.30 Akşam zirvesinde Edirnekapı Söğütlüçeşme yönünde gecikme süreleri(senaryo 7)……. 88
Şekil 4.31 Akşam zirvesinde Edirnekapı Söğütlüçeşme yönünde gecikme süreleri (senaryo 11)……... 89
Şekil 4.32 Akşam zirvesinde Edirnekapı Söğütlüçeşme yönünde gecikme süreleri (senaryo 14)……... 90
Şekil 4.33 Akşam zirvesinde Edirnekapı - Söğütlüçeşme yönünde, Edirnekapı terminalindeki değişiklikler sonucu 11. 19. 20. ve 21 senoryoların karşılaştırılması…… 91
Şekil 4.34 Akşam zirvesinde Zincirlikuyu - Avcılar yönünde, Zincirlikuyu terminalindeki değişiklikler sonucu 11. 19. 20. ve 21 senoryoların karşılaştırılması…… 92

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Bazı ulaştırma türlerinin hızları ve kapasiteleri…….. 11

Çizelge 4.1 Taşıt içinde ölçülen çalışma değerleri……..……..……..... 25

Çizelge 4.2 Duraklar adları ve durakların NETSIM' deki numaraları…… 32

Çizelge 4.3 Metrobüs hatları ve hatların kullandığı duraklar……. 34

Çizelge 4.4 Örnek Terminal Veri Toplama Çizelgesi……. 35

Çizelge 4.5 Terminalden kalkan taşıtların birbirlerini izleme süreleri (sn cinsinden)…..... 37

Çizelge 4.6 Taşıtlarda yapılan çalışmaların bir örneği…… 39

Çizelge 4.7-a Avcılar – Zincirlikuyu arasındaki duraklarda bekleme süreleri, sayıları ve yüzdeleri…….. 41

Çizelge 4.7-b Edirnekapı - Söğütlüçeşme arasındaki duraklarda bekleme süreleri, sayıları ve yüzdeleri……..... 42

Çizelge 4.8 Sabah zirvesinde Avcılar – Zincirlikuyu arası durakların dağılım katsayıları…… 44

Çizelge 4.9 Sabah Avcılar – Zincirlikuyu Zirvesinde 1 nolu durak tipinin değişken katsayılarınının hesabı……..... 48

Çizelge 4.10 Metrobüs hattında kullanılan taşıt tiplerinin özellikleri……..…... 51

Çizelge 4.11 Sabah zirvesinde hatların terminaller arası yolculuk süreleri (Dakika:Saniye)…….. 52

Çizelge 4.12 Akşam zirvesinde hatların terminaller arası yolculuk süreleri (Dakika:Saniye)…….. 52

Çizelge 4.13 Sabah senaryolardaki durak çeşitleri, terminalden kalkış sıklıkları, durmadan geçme (pass) yüzdeleri ve duraklarda bekleme süreleri……..... 53

Çizelge 4.14 Sabah zirvesinde terminallerdeki değiştirilmiş izleme süreleri…..……. 54

Çizelge 4.15 Akşam senaryolardaki durak çeşitleri, terminalden kalkış sıklıkları, durmadan geçme (pass) yüzdeleri ve duraklarda bekleme süreleri……..... 55

Çizelge 4.16 Akşam zirvesinde terminallerdeki izleme süreleri…… 55

Çizelge 4.17 Zincirlikuyu – Söğütlüçeşme arasında değiştirilen terminal verileri (sn).…… 56

Çizelge 4.18a Avcılar – Zincirlikuyu çalışması sonuçları…….. 70

Çizelge 4.18b Söğütlüçeşme – Edirnekapı çalışması sonuçları…….. 71

Çizelge 4.18c Sabah senaryoları sefer (taşıt) sayıları……..... 72

Çizelge 4.19a Zincirlikuyu – Acılar çalışması sonuçları…… 73

Çizelge 4.19b Edirnakapı – Söğütlüçeşme çalışması sonuçları…….. 74

Çizelge 4.19c Akşam senaryoları sefer (taşıt) sayıları…… 75

ÖNSÖZ

İstanbul'da ve tüm büyüyen şehirlerde önemli bir ulaştırma sorunu olarak ön plana çıkan tekrarlı trafik sıkışıklıkları, günlük hayatımızı etkilemekte, maddi ve psikolojik birçok kayıplara neden olmaktadır. Çalışmamda, İstanbul için bu sorunlara bir çözüm olarak getirilen Metrobüs projesi incelenmiştir. Yapılan incelemenin, sorunların çözümüne yönelik faydalı olmasını umut ediyorum.

Bu çalışmamda beni yönlendiren, bana danışmalık ederek yardımlarını esirgemeyen Sayın Hocam Doç. Dr. İsmail ŞAHİN'e, 2010 güz ve 2010 bahar yarıyıllarında metrobüs sistemi üzerine Bitirme Çalışması yaparak verilerini benimle paylaşan arkadaşlarıma, verilere ulaşmamda gösterdikleri kolaylıklardan dolayı Karayolları 17. Bölge Müdürlüğü'ne, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığı'na, yardımlarından dolayı Arş. Gör. Erhan Çene'ye ve tez çalışmam boyunca dayanışma içinde olduğum Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Serdar IŞIK'a yardımları için teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, yaşamım boyunca maddi manevi bana destek olan, başta annem ve abim olmak üzere tüm sevdiklerime, çalışmam boyunca gösterdikleri sabır ve destek için sonsuz teşekkür ederim.

Deniz ORHAN

ÖZET

Otobüs sisteminin gerekli konfor ve hizmet düzeyini sağlayamaması, mevcut işletme koşullarında yetersiz kalması ve artan yolculuk taleplerine yanıt verememesi, kent yöneticilerini, kentiçi toplu taşıma projelerinde raylı sistemlere yöneltmektedir. Raylı sistemler ise çok yüksek yatırım maliyetleri, uzun süren yapım süreleri ve sınırlı erişim alanları gibi problemlerle kısa ve orta vadede sorunlara çözüm getirmekte zorlanmaktadır. Bu noktada otobüs ve raylı sistemlerin olumlu yönlerini alıp olumsuz yönlerini gideren metrobüs sistemleri, özellikle kaynak sıkıntısı çeken ve gelişen ülkelerde raylı sistemlere seçenek oluşturmuştur. Bu çalışmada da metrobüs sisteminin ülkemizdeki ilk uygulaması olan, Avcılar – Söğütlüçeşme hattı incelenmiştir. Sahada yapılan ölçümlerden yararlanarak metrobüs sistemi TSIS 5.1 benzetim programı yardımıyla modellenmiş, senaryo analizeleri yapılmış ve başarı ölçütleri bulunmuştur. Mevcut durum analizine ilişkin senaryo, sistemin kapasitesinde çalıştığını göstermektedir. Terminal izleme sürelerinin kısaltılması sistemde tıkanmalara neden olmaktadır. Durak duruş sürelerinin düzenli hale getirilmesi kapasiteyi arttırmaya olanak vermektedir; ancak, bunun için özel trafik kontrol teknik ve teknolojileri kullanılmalıdır.

Anahtar kelimeler: Kentiçi toplu taşımacılık, Metrobüs, Simülasyon, Kapasite, İzleme süresi

ABSTRACT

Decision makers in city administrations tend to favor rail system projects because regular bus services are unable to provide adequate quality and service level, and to meet increased passenger demand. However, rail systems are having difficulty to solve short and medium term problems due to high capital costs, long construction time, and limited accessibility. At this point, Metrobus (Bus Rapid Transit) systems, which keep positive features of bus and rail systems and keep out negative ones, become alternative solutions for developing countries with resource difficulties. In this study, the first Metrobus implementation in Turkey in Avcılar - Söğütlüçeşme corridor was analyzed. After some measurements in the field, the metrobus system modeled with TSIS 5.1 simulation software, some scenarios are analyzed, and some performance measures are computed. The scenario representing the current state shows that the metrobus system is operating in capacity limit. Reducing terminal headways results in congestions at its the system. Making station dwell times uniform provides opportunities for capacity increase; however, this requires using specific control techniques and technologies.

Keywords: Urban public transportation, Metrobus (Bus Rapid Transit), Simulation, Capacity, Headway.

1. GİRİŞ

İnsanların her geçen gün şehirlerde daha fazla yaşamaya başladığı, dolayısıyla şehirlerin büyüdüğü dünyada, ulaştırma önemli bir sorun olarak ön plana çıkmaktadır. Öyle ki, ulaştırma ağının bir kentin ana damarları olduğunu söylemek yanlış olmayacaktır. Bu nedenle ulaştırma ağlarının verimli bir şekilde işletilmesi ve yönetilmesi son derece önemlidir.

İstanbul gibi anakent bölgelerde toplu taşımacılık hizmeti, günlük hayatta ve ekonomik süreçte her zaman kilit rol oynamaktadır. Yüksek nüfus yoğunluğu, yerleşim yerleri ve şehir merkezi ya da önemli merkezi iş alanları arasındaki uzun yolculukların yapıldığı yollar için ayrılmış sınırlı alanlar şehirdeki trafik sıkışıklığının en önemli nedenleridir.

Dünya genelinde, toplu taşıma kuruluşları, hareketliliği arttırmak amacıyla gelişmiş toplu taşıma çözümleri üzerine çalışılmaktadır. Bu düşünce, mevcut toplu taşıma teknolojilerinin gözden geçirilmesine ve toplu taşıma sistemlerinin verimliliğini arttırıcı yeni ve yaratıcı yöntemler bulmak için araştırmalar yapılmasına öncülük etmektedir.

Bu çalışmada, kentiçi toplu taşımacılığında yeni bir anlayış olarak ortaya çıkan Metrobüs sistemlerinin özellikleri anlatılmış, diğer sistemlerle karşılaştırmaları yapılmış ve dünyadaki uygulamalarından bahsedilmiştir. Uygulama kısmında ise İstanbul'da 2007 ve 2008 yıllarında D−100 ve O−1 koridorunda aşamalı olarak hizmete giren, Avcılar – Söğütlüçeşme hattında yapılan saha çalışmaları değerlendirilmiş, TSIS (Traffic Software Integrated System) 5.1 trafik simülasyon (benzetim) yazılımı kullanılarak Avcılar–Söğütlüçeşme metrobüs hattı modellenmiş ve başarım analizi yapılmıştır.

Çalışmanın amacı, Avcılar – Söğütlüçeşme metrobüs hattında metrobüslerin en uygun takip aralıklarını bulmak, aynı zamanda metrobüslerin terminallerden kalış aralıklarına göre sistemi TSIS 5.1 yardımı ile simüle edip sistemin başarımının nasıl değişeceğini analiz etmektedir.

Sonuç bölümünde ise elde edilen analiz sonuçları özetlenmiş sistemde gözlenilen aksaklıklara değinilmiş ve bu aksaklıkların giderilmesi için önerilerde bulunulmuştur.

2. KENTİÇİ TOPLU TAŞIMA

Günümüzde dünyanın hemen her ülkesinde karayolu ulaştırması ve trafiği büyük bir sorun halindedir. Türkiye'nin de bu konuda bir ayrıcalığı yoktur. Şehirleşme ile birlikte ortaya çıkan trafik sıkışıklığını ve kargaşasını giderebilmek için optimum bakışla bir ulaşım planlaması yapmak gereklidir.

Bilgisayarların gelişmesiyle gelişme gösteren simülasyon (benzetim) tekniği ile trafik olayına çok kapsamlı yaklaşımlar yapılabilmektedir. Bundan dolayı metrobüs hattında hesaplanması zor ve karmaşık olan; gecikme kuyruk gibi problemler bilgisayar benzetim programlarıyla çok daha rahat bir şekilde optimize edilip, uygun sonuçlar alınabilmektedir.

Raylı sistemler; hızlı bir ulaşım ve yüksek kaliteli hizmet sunmaktadır. Bunun yanında çok yüksek maliyetleri, uzun yapım süreleri ve sınırlı erişim alanları ile kentsel nüfusun belli bir bölümüne hizmet verebilmektedir. Bu olumsuzlukları nedeniyle raylı sistem uygulamaları yalnızca belirli bir yolculuk talebine ulaşıldığında ve diğer sistemler yetersiz olduğunda tercih edilmelidir. Ancak nüfusu yüz binler düzeyinde olan birçok kentte veya düşük yolcu yoğunluğu olan kesimlerde raylı sistem yatırımları politik yönden saygınlık projesi olarak gündeme alınmakta ve gerekliliği araştırılmadan inşaatına başlanmaktadır.

Dünyada kullanılan en yaygın toplu taşıma sistemi olan otobüs ise mevcut işletme koşulları içerisinde yetersiz kalmakta, yolculuk taleplerini karşılayamamakta ve raylı sistemlere karşı alternatif bir çözüm olamamaktadır. Ancak yapılacak bir takım fiziksel ve yönetsel iyileştirmeler ile geleneksel otobüs sisteminin verimi ve hizmet kalitesi yükseltilebilmektedir. Böylece otobüs sistemi, özellikle kaynak sıkıntısı çeken ülkelerde raylı sistemlerle yarışacak kalitede ekonomik bir toplu taşıma sistemine dönüşmektedir.

DPT (Devlet Planlama Teşkilatı) tarafından hazırlanan Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Ulaştırma (Kentiçi Ulaşım) Özel İhtisas Komisyonu Raporunda (2001) ve Dokuzuncu Kalkınma Planında (2006); raylı sistemler ve otobüs sistemleri ile ilgili ülkemizde izlenmesi gereken politikalar şu şekilde belirlenmiştir:

- Yolculuk taleplerinin düşük kapasiteli toplu taşımacılıkla (otobüs) karşılanabileceği bazı kentlerde ve/veya koridorlarda ise gerçekte son derece yüksek maliyetli yatırımları gerektiren raylı taşımacılık sistemleri yapılmak istenmekte/yapılmaktadır.

- Kentiçi raylı sistemler, yüksek maliyetleri ve yıllarca süren inşaat dönemlerinden sonra hizmete girebilen yüksek kapasiteli toplu taşıma türleri olduğu için, zorunlu olan koşullarda ve bu türlerin verimli işletilebilmesini sağlayacak talep düzeylerine ulaşıldığında düşünülmesi gereken çözümler olmalıdır.

- Raylı sistem projeleri, diğer toplu taşıma sistemlerinin yetersiz kaldığı, sistemin işletmeye açılması öngörülen yıl için doruk saat yolculuk talebinin tek yönde asgari 15.000 yolcu/saat düzeyinde gerçekleşmesi beklenen koridorlarda planlanacaktır.

- Otobüs, raylı sistemleri besleyici taşıma türü olarak ve raylı sistemi gerektirmeyen yolculuk hacimlerinde toplu taşıma yolculukları için temel tercih olmalıdır.

- Kentlerimizin çoğunda ve kentsel alanların büyük bir kesiminde yaygın bir şekilde görev yapan otobüs işletmelerinin planlama ve işletmeciliğinin geliştirilmesi tüm kentlerde birinci öncelikli hedef olmalıdır.

Bu yaklaşımlardan da anlaşılacağı gibi ülkemizde kentiçi ulaştırma çözümleri üretirken yüksek maliyet gerektiren projelerden kaçınılması, yeterli olduğu düzeye kadar otobüs sisteminin öncelikli tercih olması ve mevcut otobüs işletmeciliğinin iyileştirilmesi önerilmektedir.

Bu çalışmada da, yukarıdaki yaklaşımlar doğrultusunda yeterli olduğu düzeye kadar raylı sistemlere seçenek olarak kullanılabilecek kaliteli, verimli, düşük maliyetli bir çözüm olan Metrobüs konusu ele alınmaktadır. Metrobüs terimi, Bus Rapid Transit ve Hızlı Otobüs Taşımacılığı (HOT) olarak da kullanılmıştır.

2.1. Toplu Taşıma Sistemleri

Kentlerde kullanılan toplu taşıma sistemlerini; lastik tekerlekli, raylı, deniz ve hava toplu taşıma sistemleri olarak dört ana başlıkta gruplandırmak mümkündür.

Raylı toplu taşıma sistemleri; tramvay, hafif raylı sistem, metro, banliyö ve monoray sistemi olarak beş gruba, lastik tekerlekli sistemler ise ara toplu taşıma ve otobüs sistemi olarak iki gruba ayrılmaktadır. Ayrıca teknolojinin ilerlemesiyle başka ara sistemler ya da yeni sistemler ortaya çıkmaktadır.

2.1.1. Raylı Toplu Taşıma Sistemleri

2.1.1.1. Tramvay sistemi

Tramvay, kent sokaklarında veya karma (karışık) trafikte ray üzerinde hareket eden bir veya birkaç vagondan oluşan, enerjisini havai hattan alan, bir sürücü tarafından kumanda edilen, düşük kapasiteli ve yavaş raylı taşıma sistemidir. Karayolu ile aynı seviyede hareket ettiğinden mevcut trafik düzenine uymak zorunda olup kavşak ve geçitlerde diğer taşıtlara göre geçiş üstünlüğü sağlamaktadır.

Genellikle 1-2 bazen de 3 taşıtlık diziler halinde işletilen tramvayların en büyük hızları 60-70 km/sa, işletme hızları ise 10-25 km/sa arasında değişmektedir. Taşıtların kapasitesi 100-200 yolcu arasındadır. Bu sistem için önerilen duraklar arası uzaklık 400-600 m arasındadır.

Karma trafikte tek parçalı tramvay kullanılması durumunda sistemin taşıma kapasitesi 6.000 yolcu/saat-yön ve ortalama işletme hızı 12 km/sa'dir. Aynı yol şartlarında çok parçalı veya büyük tramvaylar kullanılması halinde kapasite 12.000 yolcu/sa-yön'e çıkmaktadır. İşletmenin diğer trafikten ayrılmış yollarda, büyük kapasiteli tramvaylar kullanılarak ve kavşaklarda geçiş üstünlüğü sağlanarak yapılması durumunda işletme hızı artmakta, buna paralel olarak kapasite de 20.000 yolcu/sa-yön değerine ulaşmaktadır (Güven, 2008).

2.1.1.2. Hafif Raylı Sistem (HRS)

Hafif raylı sistem, tramvay ile metro sistemi arasında olan ve bu iki sistemin olumlu yönlerini birleştiren bir toplu taşıma türüdür. Hafif raylı sistem; hafif metro, ön metro, yarı metro gibi değişik isimler altında tanımlanan sistemleri kapsamaktadır.

Hafif raylı sistem, klasik metronun yüksek kapasitesini, katarlaşma özelliğini, gelişmiş teknolojisini içermekle birlikte tramvayın düşük dönüş yarıçaplarını, dik eğimli ve yüzeyde gidebilme özelliğini taşıyan bir sistemdir. Böylece yüzeyde, tünelde ya da tramvay gibi şehir sokaklarında gidebilme özelliğine sahiptir.

Hafif raylı sistemlerin; standart demiryolu altyapı ve üstyapı malzemesinin kullanılması, metrodaki üçüncü ray yerine elektriğin havai hat kablolarıyla sağlanması, taşıtlar hafif metallerden yapıldığından enerji tüketimi ve altyapı bakım maliyetlerinin azalması, taşıtların basamaklarının alçak ya da yüksek seviyede yapılabilmesi, kolay durup hızlanması, metroya göre düşük maliyetli olması gibi belirgin özellikleri vardır.

Hafif raylı sistemler tek taşıtla işletilebildiği gibi 2-6 aracın birbirine bağlanarak dizi oluşturması ile de işletilebilmektedir. Taşıt boyları 20-33 m, kapasiteleri 80-335 yolcu arasındadır. Taşıtların en büyük hızları genelde 80 km/sa olmakla birlikte, 125 km/sa hızlara ulaşabilen taşıtlar da mevcuttur. Ortalama işletme hızları 20-45 km/sa arasında değişmektedir..

Hafif raylı sistemlerin yolcu taşıma kapasitesi ayrılmış yollarda 20.000 yolcu/sa-yön değerine ulaşmaktadır. Aynı yol durumunda özel önlemler alınması ve vagon sayısının 5-6'ya çıkarılması halinde kapasite 36.000 yolcu/sa-yön'e kadar yükselmektedir (Güven, 2008).

2.1.1.3. Metro Sistemi

Metro, çoğunlukla yeraltında, bazen diğer trafikten ayrılmış olarak yerüstünde veya platform üzerinde işletilen ağır raylı toplu taşıma sistemidir. Kullandıkları yollar tümüyle diğer trafikten ayrılmış olduğundan tam otomatik denetim sistemi ile işletilirler.

Çok yüksek yapım maliyetlerine karşın, yolculuk isteminin fazla olduğu ve taşımanın diğer sistemlerle karşılanmasını kent yapısının olumsuz kıldığı koşullarda metronun kullanımı bir zorunluluk olmaktadır. Bu uygunsuz koşullarda bile metro, çevreyi bozmadan, güvenli, yüksek kapasiteli, hızlı ve konforlu bir taşıma sağlamaktadır.

Metro sistemi; uzunlukları 15-23 m ve kapasiteleri 100-250 yolcu arasında olan taşıtların 2-10 tanesinin birbirine bağlanarak dizi oluşturmasıyla işletilmektedir. Taşıtların en yüksek hızları 130 km/sa'a ulaşırken, işletme hızları 25-60 km/sa arasında değişmektedir. Duraklar arası uzaklık 500-2000 m arasında olabilmektedir.

Metro sisteminde, taşıt sıklığı 90 sn indirilerek kapasitesi 1200 yolcu olan bir dizi işletilmesi durumunda bir yöndeki bir saatteki en yüksek kapasite 48.000 yolcu olmaktadır. Fazla yolcu kapasiteli taşıtlar kullanmak, dizideki taşıt sayısını artırmak gibi düzenlemelerle ve özel önlemlerle kapasite 80.000 yolcu/sa-yön değerine ulaşabilmektedir.

Metro sisteminin bu üstünlüklerinin yanında, altyapı maliyetlerinin çok yüksek olması, aktarma ve değişme zorluğu, genişletme ve büyütme olanaklarının sınırlı olması, şehrin fiziki durumuna uyum zorluğu gibi zayıflığı da bulunmaktadır (Güven, 2008).

2.1.2. Lastik Tekerlekli Toplu Taşıma Sistemleri

2.1.2.1. Ara Toplu Taşıma Sistemi

Ara toplu taşıma sistemi (paratransit), otomobilin bireysel kullanımı ile otobüs ve raylı taşımanın sabit geçki ve zaman tarifeli işletmeciliği arasında kalan, genellikle düşük kapasiteli taşıtlar ve esnek çalışma düzeni ile tanımlanan toplu taşıma türlerine verilen genel isimdir. Gelişmekte olan ülkelerde çeşitli adlar altında ara toplu taşım türleri işletilirken, ülkemizde dolmuş ve minibüs adı altında uzun süredir kullanılan sistemler bu kapsam içinde değerlendirilmektedir.

2.1.2.2. Otobüs Sistemi

Otobüs sistemi, dünyada kullanılan en yaygın toplu taşıma sistemidir. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde farklı yolculuk talebi düzeylerinde işletilebilmektedir. Geçkilerin belirlenmesinde ve işletme sisteminde büyük esnekliklere sahiptir.
Kentiçi toplu taşımacılığında kullanılan otobüs sistemi, motorlu otobüsler ve troleybüslerden oluşmaktadır. İşletilecekleri geçkiler, duraklar ve taşıma ücretleri yerel otoritelerce önceden belirlenmiştir. Taşıma ücretleri sabit veya uzaklığa göre değişken olabilmektedir. Ücret toplama işlemi farklı yöntemlerle yapılabilmektedir.

Otobüs, yapısı itibariyle sürücüsünden başka en az 15 oturma yeri bulunan ve insan taşımak için imal edilmiş olan motorlu taşıttır. Troleybüsler de bu sınıfa girmektedir (DİE, 2002). 4925 sayılı Karayolu Taşıma Kanunu'na ait Karayolu Taşıma Yönetmeliği'nde ise otobüs, yapısı itibariyle sürücüsü dahil en az 9 oturma yeri olan ve yolcu taşımak için imal edilmiş motorlu taşıt olarak tanımlanmaktadır.

Otobüslerin yolcu taşıma kapasitesi 12-240 yolcu arasındadır. Ancak günümüzde daha yüksek kapasiteye sahip özel otobüsler de üretilmektedir. Genellikle kapasiteyi oturan ve ayakta yolculuk yapan yolcular birlikte oluşturdukları gibi bazı işletmelerde ayakta yolcu alınmamaktadır ve kapasiteyi yalnızca oturan yolcular oluşturmaktadır.

Otobüs sisteminin en önemli üstünlüğü, şehirdeki gelişmeye ve talepteki değişmeye göre istenilen şekilde düzenlenebilmesi ve bu düzenleme yapılırken önemli bir altyapı yatırımına gerek duymayarak diğer taşıtlarla aynı altyapıda işleyebilmesidir. Ayrıca özel sektör işletmelerinin de otobüs taşımacılığı yapması yerel yönetimlerin yükünü hafifletmektedir.

Yılda 60.000-70.000 km yol kat eden otobüslere zamanında bakım ve onarım yapılması son derece önemlidir. Zamanında bakım ve onarım yapılmayan taşıtlar aşırı gürültüye, hava kirliliğine ve işletilirken arızalanması sonucu trafik aksamasına neden olmaktadır.

Otobüs sisteminin yatırım ve işletme maliyetini belirleyen en önemli etken üzerinde işlediği yolun durumudur. Karma trafikte işletilen otobüs sisteminde ilk yatırım maliyeti düşük,

işletme maliyeti yüksektir. Özel otobüs yolunda ise ilk yatırım maliyeti yüksek, işletme maliyetleri düşüktür.

Yaklaşık 80 yolcu taşıma kapasitesine sahip orta büyüklükteki bir otobüs, karışık trafikte, bir yönde, saatte 10.000 yolcu taşıyabilmektedir. Aynı yol şartlarında 120 veya daha fazla kapasiteli büyük taşıtlar çalıştırıldığında kapasite 15.000 yolcu/sa-yön'e çıkmaktadır. Karışık ve yoğun trafikte ortalama işletme hızı 12 km/sa'e kadar düşebilmektedir.

Otobüslerin, özel ayrılmış şeritlerde işletilmesi halinde ortalama işletme hızı 18 km/sa'i aşabilmektedir. İşletme hızının artmasıyla birlikte, standart otobüslerle taşıma yapılması halinde sistem kapasitesi 15.000 yolcu/sa-yön, büyük otobüslerle taşıma yapılması halinde ise kapasite 20.000 yolcu/sa-yön olmaktadır.

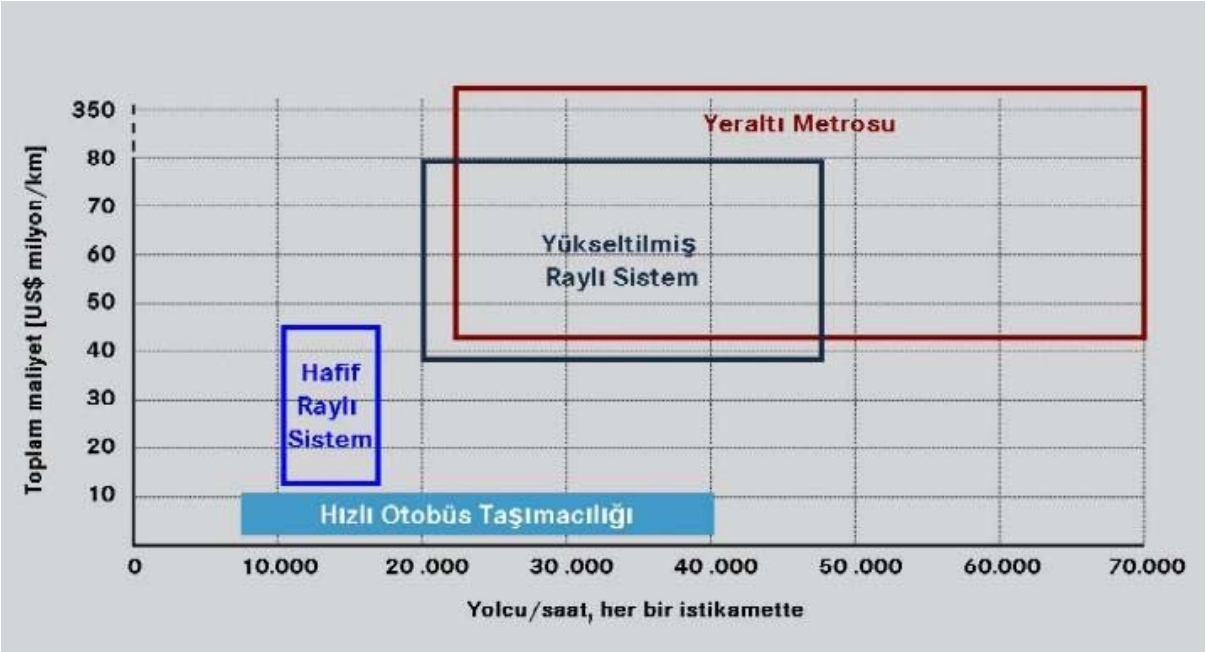
En büyük başarım tam kontrollü özel otobüs yollarında görülmektedir. Bu yollarda işletme hızı 15-30 km/sa arasında değişmekte ve sistemin taşıma kapasitesi 30.000 yolcu/sa-yön değerini aşmaktadır. Alışılagelmiş biçimde diğer trafik ile karışık olarak işletildiğinde orta kapasiteli bir sistem olan otobüs, ayrılmış iz ve yollar üzerinde özel önlemlerle desteklendiği zaman raylı sistemlerle yarışan bir kapasiteye erişebilmektedir.

Bu görüşün en iyi örneği, ayrıntılı olarak anlatılacak olan, kendine has elemanları ve özellikleri olan Metrobüs sistemidir. Otobüs sisteminin günümüzde farklı bir uygulama şekli olan Metrobüs, raylı sistemin konforu ve düzenliliği ile otobüs sisteminin esnekliğini ve düşük maliyetini birleştirip yüksek sayıda yolcuya hizmet edebilen lastik tekerlekli yüzeysel metrodur (Güven, 2008).

2.1.2.3. HOT (Metrobüs) Sistemi

Kaliteli bir görünüme ve benzersiz bir kimliğe sahip olan, bir sistem bütünlüğü içinde, çeşitli fiziksel ve işletimsel bileşenleri içinde barındıran esnek ve yüksek başarımlı bir toplu taşıma türüdür. Ulaştırma sektörüne uyarlanan çeşitli teknik ve teknolojik uygulamaları içeren bir sistemdir. Ülkemizde HOT olarak adlandırılan bu sistem, halk arasında metrobüs olarak kullanılmaktadır.

Son yıllarda kentiçi toplu taşımada HOT (Metrobüs) sistemleri gittikçe önem kazanmaya başlamıştır. Dünyanın birçok şehrinde HOT sistemleri kullanılmakta veya yapılması planlanmaktadır. HOT sistemlerine olan bu ilgi elbette boşa değildir. Şekil 2.1'de görülebileceği gibi, HOT sistemleri kısa sürede, düşük maliyetlerle yüksek kapasiteli toplu taşıma olanağı sunmaktadır. Daha açık söylemek gerekirse; HOT sistemleri klasik otobüs sistemlerinden çok daha fazla kapasiteye sahipken; maliyet bakımından raylı sistemlere oranla daha ucuza inşa edilebilmektedir. Bu özelliklerinden ötürü, özellikle gelişmekte olan şehirlerde HOT son derece yaygın bir toplu taşıma seçeneği haline gelmekte ve ciddi biçimde raylı sistemlerle yarışmaktadır.



Şekil 2.1 Taşıma maliyetleri (Baysal ve diğ., 2010)

Dünya genelinde, toplu taşıma kuruluşları, erişim ve hareketliliği arttırmak amacıyla geliştirilmiş toplu taşıma çözümleri üzerine çalışmaktadır. Güven ve Şahin (2009)'da belirtildiği gibi, kentsel yerleşimin yayılması ve çevre yollarında kapasitenin üzerindeki talebin olumsuz çevre etkileri göz önüne alındığında, ulaştırmada yeni seçeneklerin aranması gündeme gelmiştir. Bu arayış, mevcut toplu taşıma teknolojilerinin gözden geçirilmesi ile toplu taşıma sistemlerinin verimliliğini arttırıcı yeni ve yaratıcı yöntemler bulmak için araştırmalar yapılmasına öncülük etmektedir. Bu kapsamda yaygınlaşmaya başlayan Metrobüs (HOT, Hızlı Otobüs Taşımacılığı) sistemleri, yüksek kalitede ve başarımda

hizmet sunarken yüksek maliyet verimliliğine sahip olabilmektedir. Metrobüs sistemleri dünya çapında birçok ülkede kullanıldığı gibi İstanbul'da da ulaşım çözümlerinin baş sıralarında yer almaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Avcılar-Söğütlüçeşme Metrobüs hattından bir görüntü: Çağlayan durağı

HOT sistemi modern raylı sisteme başarım ve konfor olarak benzemekle beraber, yatırım maliyeti açısından hafif raylı sisteme oranla 4 ile 20 kat; metro sistemine oranla 10 ile 100 kat daha azdır. Bu sistemler tasarım, işletim ve verimlilik açısından çeşitlilik göstermektedir.

HOT terimi, uygulama çeşidine göre farkı dünya ülkelerinde farklı isimlerle nitelendirilmektedir. Bunlardan bazıları;

-Yüksek kapasiteli otobüs sistemleri,

-Yüksek kaliteli otobüs sistemleri,

-Metrobüs,

-Hızlı otobüs sistemleri,

-Otobüs yolu sistemleri.

Terimler ülkeden ülkeye değişse de HOT'un dayanak noktası yüksek kalitede, uygun bir fiyatta halkın ulaşımını gerçekleştirmektir. Kuşkusuz, HOT kavramının zamanla teknolojiye e paralel olarak gelişimini sürdürmekte olduğu söylenilebilir.

Tüm bu tanımlamalar HOT'u geleneksel taşıma sisteminden farklı bir yere koymaktadır. Aslında, bu tanımlamalar HOT'u raylı taşıma sistemlerinden daha uzaklaştırma eğilimindedir. Dünyadaki bazı olumsuz raylı sistem örnekleri yanında, HOT gerçekten övgüyü hak etmektedir. HOT sistemi, hafif raylı sistem ve metro sisteminin, halk tarafından en çok sevilen ve tercih edilen taşıma sistemi olması yönünü ele geçirmek için uğraşmaktadır. Bunun yanında, bu niteliği ele geçirerek daha rahat erişilebilir ve şehirlerin daha geniş bir alanına hizmet verebilme eğilimindedir. Kentsel raylı sistemler ve HOT arasındaki en önemli fark, HOT'un kentiçi ulaştırmasını birçok şehrin ödeyebileceği taşıma ücreti düzeyinde, yüksek kaliteli bir hizmet olarak sunabilmesidir. Çizelge 2.1 de ulaştırma türlerinin hızları ve kapasiteleri gösterilmiştir (Güven, 2008).

Çizelge 2.1 Bazı kentsel ulaştırma türlerinin hızları ve kapasiteleri

Sistem Tipi	İşletme Hızı (km/saat)	Kapasite (yolcu/saat/yön)
Otomobil	15-50	2.000-6.000
Dolmuş-Minibüs	12-20	1.000-4.000
Otobüs	10-20	10.000-15.000
Otobüs (Öncelikli)	15-30	15.000-30.000
Tramvay	10-25	6.000-20.000
Hafif Raylı Sistem	20-45	20.000-36.000
Metro	25-60	40.000-80.000
Tren	30-70	40.000-90.000
Vapur	10-25	5.000-24.000

Bugün, büyük şehirler düşük maliyete oranla yüksek başarımlı ulaştırma çözümleri aradığından HOT sisteminden yararlanılmaktadır. HOT üzerine elde edilen deneyimler,

HOT'un kuşkusuz gelişmeye devam edeceğini ortaya koymaktadır. Yüksek kaliteli HOT sistemleri dünyanın çeşitli şehirlerinde hızlı erişimi düşük ücretle sağladığından, özel taşıtlara oranla halkı toplu taşıma sistemine yönlendirmektedir.

HOT (Metrobüs) sistemlerinin yurtdışındaki uygulamaları gün geçtikçe yaygınlaşmakta, ülkemizde de uygulanmakta ve yaygınlaştırılması planlanmaktadır. Kendi yoluna sahip İstanbul'daki Metrobüs sistemi ilk olarak D-100 koridorunda yaklaşık 19 km uzunluğundaki Avcılar-Topkapı hattında 14 istasyonla Eylül 2007'de hizmet vermeye başlamıştır. Hattın yaklaşık 10 km uzunluğundaki 11 istasyonlu Topkapı (Maltepe)-Zincirlikuyu ayağı O-1 karayolunda Eylül 2008 tarihinde hizmete alınmıştır. HOT (Metrobüs) hattı Mart 2009'da yapılan 11 km ek ve 7 yeni istasyonla Boğaziçi Köprüsünü geçerek Söğütlüçeşme'ye kadar uzatılmıştır (http://www.ibb.gov.tr/ ve www.iett.gov.tr).

HOT sistemleri ulaştırma plancıları ve karar vericiler için çeşitli ulaştırma seçenekleri sunarlar. Seçeneklerin değerlendirilmesi ve sonrasındaki planlama süreçlerinde ele alınan temel bileşenlerin, bunlarla ilgili çeşitli özelliklerin ve bunlar arasındaki ilişkilerin sistem bütünlüğü içinde ele alınması gerekmektedir (Güven, 2008).

Metrobüs sistemi; hiyerarşik olarak sistem bileşenleri, sistem başarım ve sistem faydaları bakış açılarıyla ele alınabilir (Şekil 2.3). Hiyerarşik yapıdaki bu bakış açıları arasındaki ilişkiler kurulurken, HOT sistem bileşenleri sistem başarımını belirlemekte, sistemin başarım özellikleri ise sistemin faydalarını etkilemektedir.



Şekil 2.3 HOT sistemine hiyerarşik bakış

3. TRAFİK BENZETİM (SİMÜLASYON) MODELLERİ

Simülasyon, bir sistemin gerçekteki davranışını tekrar oluşturmak için model kurma yoludur. Bir anlamda her model gerçeğinin bir benzetimidir. Sistemin incelenmesi ve düzenlenmesi için çeşitli yol ve yöntemler vardır. Bir sistemin davranışını anlamak ve çeşitli karar ve seçenekleri değerlendirmek amacı ile sistemin herhangi bir şekilde modeli kurularak sonuca gidilmeye çalışılır, gerçek sistemi temsil eden bir model geliştirilir ve bu model üzerinde denemeler yapılarak sistemin yapısı, davranışı ve işleyişi gözlenir. Başka bir deyişle simülasyon, bir sistemin bileşenlerinin ve bileşenler arası ilişkilerin bilgisayarla uyarlanabilecek matematik yardımıyla modellenmesidir. Bilgisayarlarla simülasyon için hazırlanmış özel bilgisayar programları mevcuttur.

Simülasyonda aşağıdaki hususlar önemlidir;

1. Simülasyon, modeli kurulan sistemin karmaşık ve dinamik özellikleri nedeniyle analitik yollarda çözüm bulunamadığı hallerde başvurulacak sayısal bir tekniktir.
2. Simülasyon aynı zamandan bir deney aracıdır; simülasyon yolu ile kontrollü laboratuar tipi deneyler yapılabilir.
3. Simülasyon bilgisayarlarla yapıldığı için, bilgisayar kullanmak işlemleri hızlandırır ve hata olasılığını azaltır. Bilgisayarsız simülasyonun pratikte bir değeri yoktur.
4. Analitik çözümlemelerin doğrulanması için simülasyon kullanılabilir. Simülasyon incelenen sistemin daha iyi anlaşılmasına yarar. Gerçek yaşamda denemesi olanaksız olan ya da çok pahalı olan işlemlerde simülasyon yardımcı olur.

Trafik mühendisliğinin en önemli taşıtlarından biri bilgisayar simülasyonudur (benzetimidir). Bilgisayar simülasyonları ile çalışmak saha çalışmalarına göre çok daha pratiktir. Bunun nedenlerini şu şekilde sıralanabilir (TSIS User's Guide, 2003);

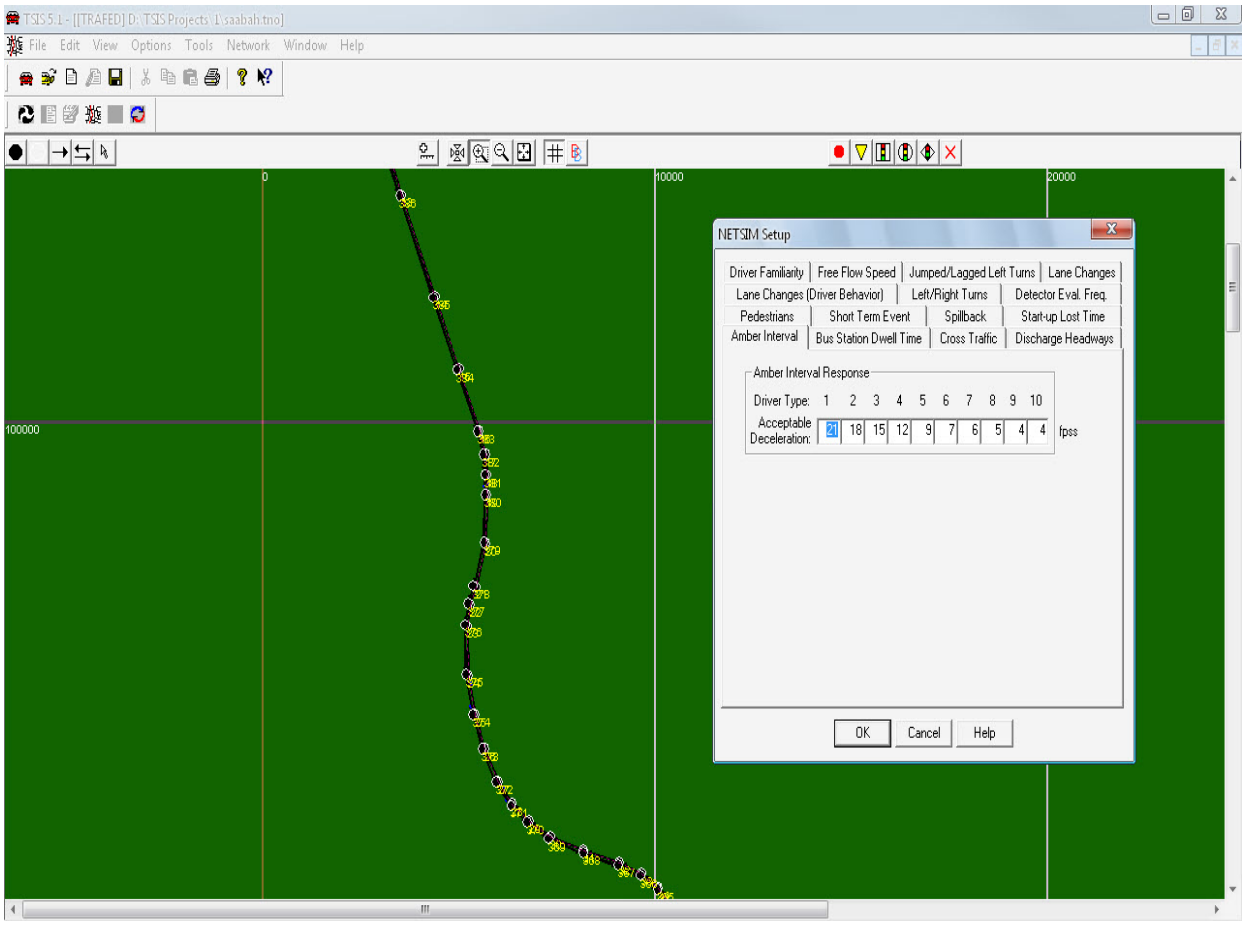
- Daha düşük maliyetlidir.
- Sonuçlar çok çabuk elde edilir.
- Simülasyon tarafından üretilen birçok veriyi, saha çalışmalarından elde etmek zordur.
- Trafik yönetiminde meydana gelebilecek düzensizliklerden kaçınılmış olunur.
- Birçok tasarım, tesisler üzerinde büyük ölçüde değişiklik gerektirir. Gerçek hayatta bunları deneysel amaçla uygulayamayız; ancak simülasyon ile yapılabilir.

- Geliştirilen çeşitli yönetim stratejilerinin, gelecekteki trafik talepleri üzerinde yaratacağı etkiler belirlenebilir.
- Birçok değişken sabit tutulabilir.

Karayolu trafik sisteminin bilgisayar simülasyon modeli oluşturulabilirse, planlanan trafik kontrolü ve yönetimi uygulamalarının sistem başarımı üzerinde yaratacağı etkiler değişik giriş değerlerine bağlı olarak elde edilebilir. Bu özelliği ile simülasyon modelleri yeni geliştirilmiş trafik yönetim sistemlerinin denenmesi için uygun bir ortam sunmaktadır. Böylece yaratıcılık konusunda trafik mühendislerini kısıtlayan etmenler ortadan kalkmış olur. Ayrıca mevcut yönetim sistemlerinin de en uygun işletilmesine yardımcı olacaktır (TSIS User's Guide, 2003).

Simülasyon çalışması yapmak için öncelikle çalışılan konuya teorik olarak egemen olmak gerekmektedir. Böylelikle simülasyondan çıkan sonuçlar doğru analiz edilebilir ve anlaşılabilir. Yine kullanılan simülasyon yazılımının da teorik altyapısını ve çalışma mantığını da bilmek gerekmektedir.

Bu çalışmada TSIS (Traffic Software Integrated System) sürüm 5.1 yazılım paketi içindeki NETSIM, cadde simülasyon programı kullanılmıştır. NETSIM, CORSIM adındaki ana simülasyon modülünün bir alt programıdır. Şekil 3.1'de TSIS'in ekran görüntüsü görülmektedir.



Şekil 3.1. TSIS'in ekran görüntüsü

3.1. Terminoloji

Kalibrasyon (calibration): Kullanıcının sahada ölçtüğü yerel trafik durumunu en iyi şekilde simüle edebilmesi (benzetebilmesi) için model parametrelerini ayarlama sürecidir.

Simülasyon (simulation): Karayolu veya kentiçi diğer sistemlerde, trafiğin başarımını değerlendirmek için, saniye veya daha kısa zaman aralıklarıyla bireysel taşıt hareketlerinin modellenmesidir.

Model (model): Özel bir uygulamaya yönelik olarak, modelleme yazılımı ve kullanıcı girdilerinin kombinasyonudur. Tekil bir model, belirli bir çalışma sahasına çeşitli zaman aralıklarıyla ve gelecekte geliştirilebilecek seçenekler için uygulanabilir.

Proje (project): Projenin kendisi ile analizinin birbirine karışmasını en aza indirmek için, "proje" terimi çalışılan fiziksel yollar için kullanılır. Projenin etkilerinin değerlendirilmesi "analiz" olarak adlandırılır.

Yazılım (software): Özel simülasyon modelinin uygulaması ve geliştirilmesinde analiz yapan kişiye yardımcı olmak için hazırlanan bilgisayar programıdır. Tek bir yazılım programı kullanılarak birçok model geliştirilebilir. Bu modeller yazılımda saklanan bazı temel algoritmaları paylaşırlar, aynı zamanda farklı girdi ve parametre değerleri kullanırlar.

Geçerlilik (validation): Bir karayolu sistemine ait modelin sunduğu trafik özelliklerini saha ölçümlerinden elde edilen (trafik hacimleri, yolculuk süreleri, ortalama hızlar, ortalama gecikmeler vb.) verilerle karşılaştırıldığı süreçtir. Modelin geçerliliği, sahadaki verilerin farklı bir kesite uygulanmasıyla değerlendirilir. Bu çalışmada yazılım geliştiricisinin sayısız araştırmalar ve uygulamalar sonrasında yazılımın ve alt algoritmalarının geçerliliğini sağladığı varsayılmıştır.

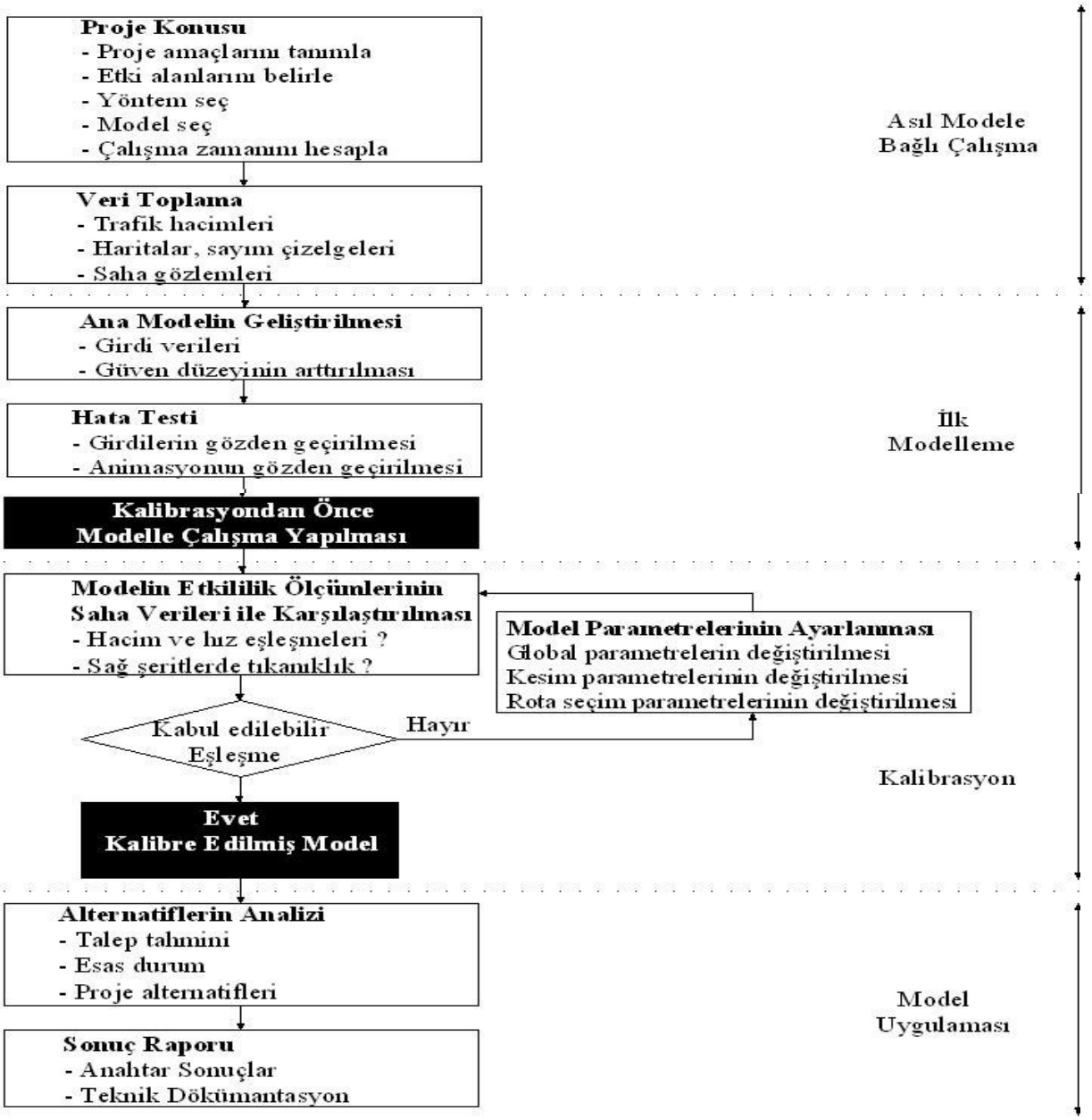
Doğrulama (verification): Yazılım geliştiricisinin ve diğer araştırmacıların trafik akımı kuramına dayalı olarak hazırlanan yazılımın (modelin) doğruluğunu test ettiği süreçtir.

3.2. Simülasyon Modeli Oluşturma ve Uygulama Süreci

Özel bir trafik analiz problemi için simülasyon uygulaması ve geliştirilmesi yedi aşamadan oluşur:

1. Çalışmanın amacı, konusu ve yönteminin belirlenmesi.
2. Veri toplanması ve hazırlanması.
3. Ana modelin geliştirilmesi.
4. Hata testi.
5. Model kalibrasyonu.
6. Alternatiflerin analizi.
7. Sonuç raporu ve teknik belgelendirme.

Bütün bu süreçleri içeren bir akış şeması Şekil 3.2'te gösterilmiştir (Güven, 2008). Bu şema çalışmaya genel bir bakış sağlaması için hazırlanmıştır.



Şekil 3.2. Simülasyon modeli gelişimi ve uygulama süreci.

3.2.1. Çalışmanın Amacı, Konusu ve Yönteminin Belirlenmesi

Simülasyon çalışmasının yöntemiyle ilgili kilit noktalar şunlardır:

• Modeli geliştirmek ve değerlendirmek için yeterli derecede uzman olunmalıdır.

• Simülasyon modelini geliştirmek ve kalibre etmek için yeteri kadar zaman ve kaynak sağlanmalıdır.

• Model geliştirme süreci ve kalibrasyon sonuçları için uygun raporlama yapılmalıdır.

3.1.2. Veri Toplanması ve Hazırlanması

Bu aşama simülasyon analizi için gerekli olan tüm verilerin toplanmasını ve hazırlanmasını içeriyor. Simülasyon modelleri aşağıda belirtilen geniş kapsamlı girdi verilerine ihtiyaç duyarlar:

• Geometri (uzunluklar, şeritler, eğimler)
• Kontroller (sinyaller, sinyal süreleri)
• Mevcut talepler (dönüş hacimleri, başlangıç-son (O-D) matrisleri)
• Kalibrasyon verileri (kapasiteler, yolculuk süreleri, kuyruklanmalar)
• Toplu taşıma, bisiklet ve yaya verileri

Hata testi ve kalibrasyon için gerekli kapasiteler herhangi bir anda ölçülebilirken, diğer kalibrasyon verileri (yolculuk süreleri, gecikmeler ve kuyruklanmalar) trafik sayımları ile eş zamanlı ölçülmelidir.

3.1.3. Ana Modelin Geliştirilmesi

Ana modelin geliştirilmesinin hedefi, doğru, gerçek ve geliştirilebilen bir model oluşturmaktır. Bu, karmaşık ve zaman gerektiren bir süreçtir ve adımları, simülasyon analizini temsil eden simülasyon yazılımına göre değişir. Model geliştirmenin ayrıntıları, yazılımların kullanıcı kılavuzlarında en iyi şekilde açıklanmıştır ve bu sebeple model geliştirme süreci değişkendir. Burada model geliştirme sürecine genel bir bakış sağlanmaktadır.

Simülasyon modeli geliştirme yöntemi, model tamamlanana kadar modelin bazı katmanlarının en iyi şekilde oluşturulması olarak düşünülebilir. İlk katman (bağ-düğüm diyagramı) modelin temelini oluşturur. Daha sonra bu temel üzerine ek olarak trafik kontrolleri ve bağ işletimi eklenir. Bu temel ağın üzerine yolculuk talebi ve yolculuk edenlerin davranışı eklenir. Son olarak, sahadan elde edilen veriler, model geliştirme hedefini tamamlamak için girdi olur. Model geliştirme süreci tamamen bu sırayı izlemek zorunda değildir; bununla birlikte, bu katmanlardan her biri herhangi bir simülasyon modelinde bir şekilde gereklidir. Model geliştirme aşaması, model başlangıcında girdi kodlama hatalarını azaltmak için, kalite güvence / kalite kontrol (KG/KK) planının geliştirilmesi ve uygulanmasını içermek zorundadır.

3.1.4. Hata Testi

Hata testi, model kodlama hatalarını tanımlamak ve düzeltmek için gereklidir fakat model kalibrasyonu ile karıştırmamak gerekir. Kodlama hataları model kalibrasyon sürecini saptırabilir ve kalibrasyon parametreleri için hatalı değerleri kullanmasına sebep olabilir. Hata testi girdi kodlama hatalarını belirlemek amacı ile kendi içinde çeşitli testler içerir.

3.1.5. Model Kalibrasyonu

Her simülasyon yazılım programı, yerel koşullara daha iyi uyum sağlamak amacı ile yapılacak kalibrasyon için, kullanıcının ayarlayabileceği parametrelere sahiptir. Bu parametre ayarlamaları vazgeçilmezdir, çünkü hiçbir simülasyon modeli kapasite ve trafik işletimini etkileyebilecek tüm olası unsurları (yol içerisinde veya yol dışında) içermez. Model kalibrasyonu, bu parametrelerin en iyi değerlerini belirlemek amacı ile modelin kalibrasyonunu ve tekrarlı işletimi için bazı parametrelerin seçimini içerir. Bu, zaman alan bir süreç olabilir. Kalibrasyon işlemi çok iyi belgelendirilmelidir, çünkü modeli sonradan analiz edenler kalibrasyon sırasında yapılan parametre değişikliklerinin mantığını anlayabilmelidirler. Kalibrasyon sürecindeki kilit noktalar şunlardır:

• Model kalibrasyon amaçlarının belirlenmesi.
• Kalibrasyon hedeflerine ulaşmak için yeterli zaman ve kaynak ayrılması.
• Yol ve kavşak kapasiteleri ile en iyi eşleşen uygun kalibrasyon parametrelerin seçiminin yapılması.
• Mevcut geçki (güzergah) seçim parametrelerini en iyi temsil eden kalibrasyon parametre değerlerinin seçiminin yapılması.
• Yolculuk süresi, gecikmeler ve kuyruklanmalar gibi tüm sistem başarım ölçümlerinin model genelinde kalibrasyonunun yapılması.
• Geçerlilik (validation) sınaması yapılır.

3.1.6. Simülasyon Modeli İle Seçeneklerin Analizi

Kalibre edilmiş simülasyon modeli çeşitli proje seçeneklerini test etmek için bir çok kere çalıştırılır. Burada ilk adım, gerçek talep senaryosunu geliştirmektir. Sonra geliştirilmiş çeşitli seçenekler simülasyon modeline kodlanır. Hangi başarım istatistiklerini toplanacağına karar verir ve gerekli çıktıları oluşturmak amacı ile her seçenek için modeli çalıştırır. Hizmet düzeyi (HD) sonuçlarına ulaşmak istenirse, simülasyon sonuçları HCM (Highway Capacity Manual) uyumlu HD sonuçlarına dönüştürülebilir. Alternatiflerin analizindeki anahtar noktalar şunlardır:

• Geleceğe yönelik gerçekçi talep tahminleri yapmak.
• Seçenekleri değerlendirmede uygun başarım ölçütlerinin seçimini yapmak.
• Her seçenek için tüm tıkanıklık azalmalarını hesaplamak.
• Simülasyon sonuçlarını hizmet düzeyine HCM yardımıyla dönüştürmek.

3.1.7. Sonuç Raporu ve Teknik Belgelendirme

Bu adım analitik sonuçları özetlemeyi ve analitik yaklaşımı teknik olarak belgelemeyi içerir. Bu kapsamda, çalışma sonuçlarını teknik denetçilere, kamu yönetimlerine ve diğer kuruluşlara anlatmak için sunumlar yapılabilir.

Sonuç raporu, proje için karar vericilere, basit ve anlaşılabilir şekilde analitik sonuçları sunabilmelidir. Sonuç raporu için sonuçların özetlenmesindeki çalışma, simülasyon modeli yeteri derecede zengin sayısal çıktı üretene kadar devam etmelidir.

Teknik belgelendirme karar vericilerin sonuçların arkasında hangi varsayımların olduğunu anlamasını ve diğer analizcilerin sonuçları yeniden üretebilmesini sağlamak için önemlidir. Belgelendirme yeterli düzeyde olmalıdır, böylece verilen aynı girdi değerleri için başka bir analist kalibrasyon sürecini anlayabilmeli ve seçenek analizleri tekrar edebilmelidir.

3.1.8. TSIS 5.1

TSIS'in ana bölümünü trafik benzetim modeli olan CORSIM oluşturmaktadır. CORSIM (CORridor SIMulation) mikroskopik bir benzetim modeli olup Amerika'daki Federal Karayolları İdaresi (FHWA) tarafından otoyollardaki, şehir içi caddelerdeki ve bunların birleşerek oluşturdukları yol ağlarındaki trafik akımının benzetimini yapmak için geliştirilmiştir. CORSIM, NETSIM (NETwork SIMulation) ve FRESIM (FREeway SIMulation) benzetim modellerinin bir karışımı olup birleştirilmiş bir yol ağındaki trafik akımının taşıt bazında benzetimini yapabilmektedir.

CORSIM iki mikroskobik simülasyon modelinin birleşmesiyle oluşan bir programdır. Bu iki modelden biri NETSIM diğeri de FRESIM dir. NETSIM kent içi trafiğini benzetirken, FRESIM otoyollardaki trafiği benzetir. Yani CORSIM şehir içi trafiği ile otoyol trafiğini beraber çalışacak şekilde benzetir. CORSIM mikroskobik bir simülasyon modeli olarak taşıt özellikleri bazında işlem yapar ve bu işlemi her bir zaman adımı (1 sn) için uygular.

NETSIM modeli Kentsel Trafik Kontrol Sistemi (UTCS) programının bir parçası olarak, Federal Karayolları İdaresi (FHWA) için geliştirilmiştir. İlk sürümü 1971 yılında UTCS-1 olarak yayımlanmıştır (Güven, 2008).

Kentsel sistem tek yönlü bağlantıları olan bir düğüm kümesi olarak temsil edilmelidir. Taşıtlar belirlenen giriş bağlantıları üzerinden ağa katılır ve çıkış bağlantıları aracılığıyla ağdan ayrılır. Burada istenilirse taşıtlar giriş bağlantıları yerine, orta bağlantı yerlerinden sisteme katılıp sistemi terk edebilir. Kavşaklar için hiç kontrolsüz ya da tam kontrollü bir kontrol aralığı belirlenebilir. Sinyallerin uyum içinde olması kullanıcı tarafından belirlenen aralıklarla da kontrol edilebilir. Taşıtların durması gibi kısa zamanlı olaylar ve şerit kapatılması ya da kazalar gibi uzun süreli olaylar modellenebilir. Otobüs trafiğini de ayrıntı bir şekilde modellemek mümkündür. Eğer gerekirse, farklı sürücü türleri ve taşıt türlerinin özellikleri için kalibre edilmiş değerler kullanılabilir.

NETSIM taşıtların konumlarını, hızlarını, ivmelerini tek tek inceleyen bir ayrık zaman simülatörüdür. Her bir zaman aralığında (genellikle 1 saniye) kendi bünyesindeki matematiksel modeller ile uygun değerlerin güncellenmesini yapar.

NETSIM tarafından benzetimi yapılacak olan kavşak, bütünleştirilmiş trafik benzetim sistemleri için etkileşimli trafik ağı veri düzenleyicisi olan ITRAF ile kolaylıkla tasarlanmaktadır. ITRAF'ın en büyük üstünlüğü kod girilmesine ihtiyaç olmaksızın yol ağı kurulurken veri yapısını kendisinin oluşturması ve aynı zamanda hata denetimi yaparak kullanıcıyı bilgilendirmesidir.

Bütünleşik trafik programında, benzetim sonuçları bir grafik işlemci olan TRAFVU (TRAF Visualization Utility) tarafından görsel olarak da kullanıcıya verilmektedir. TRAFVU benzetim için girilen verileri grafiksel bir ortamda sunmakta, incelenen bir yol ağı veya kavşaktaki trafik akımının ve sinyal sisteminin animasyonunu yapmaktadır. Aynı zamanda TRAFVU, benzetim sonuçlarına göre etkinlik ölçülerinin belirlenmesinde kullanılan istatistikleri, tablo veya grafik olarak da verebilmektedir.

4. SİMÜLASYON UYGULAMASI

İstanbul'da 2007, 2008 ve 2009 yıllarında D−100 ve O−1 koridorunda aşamalı olarak hizmete giren, Avcılar – Söğütlüçeşme metrobüs hattı çalışma sahası olarak seçilmiştir. Sahada terminal, durak ve taşıt içi olmak üzere 3 çeşit veri toplanmıştır (Baysal ve diğ., 2010).

Saha çalışmalarından elde edilen veriler değerlendirilmiş, TSIS (Traffic Software Integrated System) 5.1 trafik simülasyon (benzetim) yazılımı kullanılarak Avcılar–Söğütlüçeşme metrobüs hattı modellenmiş ve başarım analizi yapılmıştır.

4.1. Çalışmanın Amacı, Kapsamı ve Yöntemi

Çalışmanın amacı, Avcılar – Söğütlüçeşme metrobüs hattında metrobüslerin en uygun takip aralıklarını bulmak, aynı zamanda metrobüslerin terminallerden kalış aralıklarına göre sistemi TSIS 5.1 yardımı ile benzetilip sistemin başarımını nasıl değişeceğini analiz etmektedir.

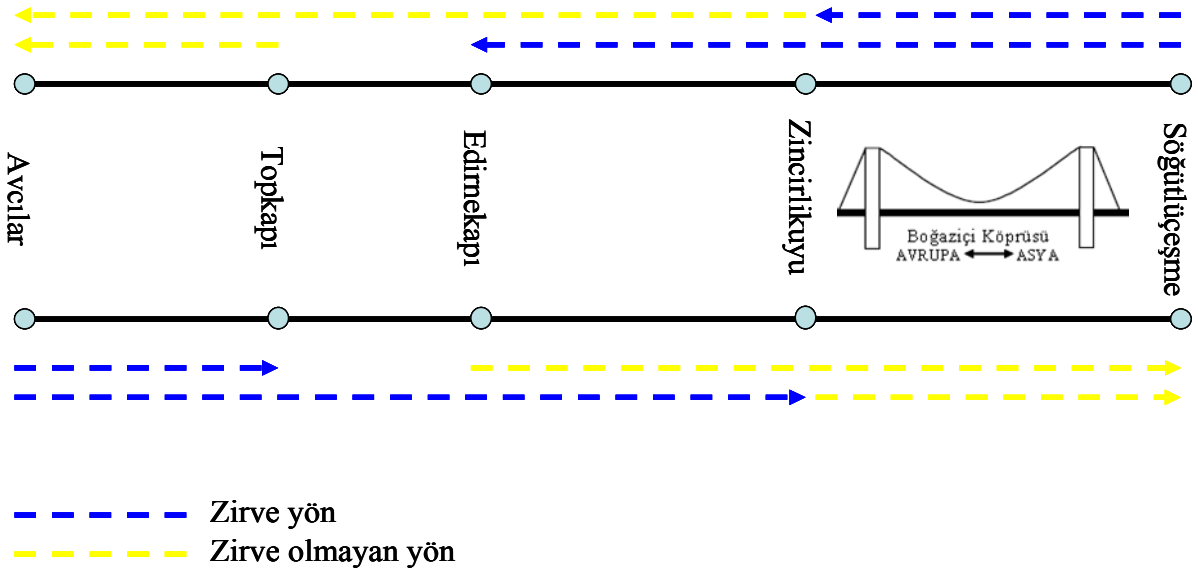
Avcılar–Söğütlüçeşme metrobüs hattının işletim özelliklerinin incelenmesi için saha çalışmaları yapılarak çeşitli veriler toplanmıştır. Saha çalışması Avcılar–Zincirlikuyu, Zincirlikuyu–Avcılar ve Edirnekapı-Söğütlüçeşme, Söğütlüçeşme-Edirnekapı yönlerinde akşam ve sabah zirve saatlerde yapılmıştır.

Bu çalışmalarda sabah 07.00 ile 09.00, akşam 17.30 ile 19.30 zirve saatleri arasında hafta içi havanın yağışsız olduğu günlerde ölçümler yapılmıştır. Zirve saatlerini belirlenmesinde yolcuların sabah işe gidiş ve akşam işten çıkış saatleri referans alınmıştır. Zirve yönler, sabah Avcılar'dan Zincirlikuyu'ya ve Söğütlüçeşme'den Edirnekapı'ya, akşam ise ters yönlerdir.

Her iki bölüm ve yöndeki saha çalışması toplam yolculuk süresi, duraklar arası yolculuk süresi, duraklarda duruş süresi, duraklar arasında taşınan yolcu sayıları ve izleme süreleri; taşıtlarda, terminallerde ve istasyonlarda ayrı ayrı incelenmiştir.

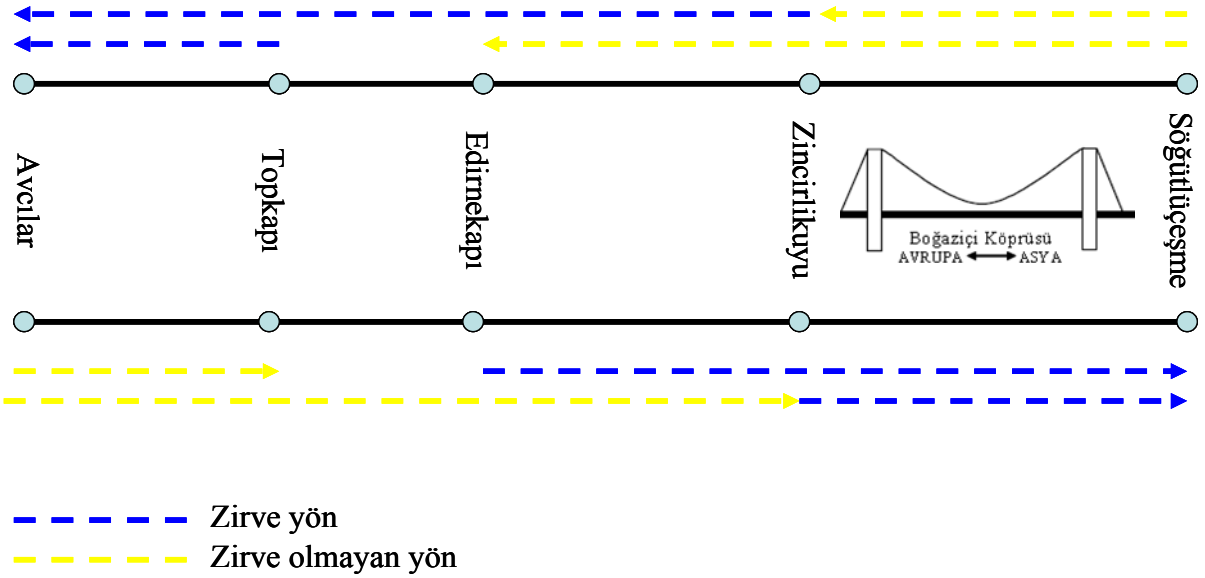
Sabah zirvesinde Avcılar – Zincirlikuyu yönünde, Avcılar – Zincirlikuyu (34) hattı, Avcılar – Topkapı (34T) hattı ve Edirnekapı – Söğütlüçeşme (34A) hattının Edirnekapı – Zincirlikuyu kısmı dikkate alınmıştır. Söğütlüçeşme – Edirnekapı yönünde Söğütlüçeşme – Edirnekapı

(34A) hattı, Söğütlüçeşme – Zincirlikuyu hattı ve Zincirlikuyu – Avcılar hattının Zincirlikuyu – Edirnekapı kısmı dikkate alınmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Sabah zirvesinde incelenen hatlar

Akşam zirvesinde Zincirlikuyu - Avcılar yönünde, Zincirlikuyu - Avcılar (34) hattı, Topkapı - Avcılar (34T) hattı ve Söğütlüçeşme - Edirnekapı (34A) hattının Zincirlikuyu – Edirnekapı kısmı dikkate alınmıştır. Edirnekapı - Söğütlüçeşme yönünde Edirnekapı - Söğütlüçeşme (34A) hattı, Zincirlikuyu - Söğütlüçeşme hattı ve Avcılar – Zincirlikuyu hattının Edirnekapı – Zincirlikuyu kısmı dikkate alınmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Akşam zirvesinde incelenen hatlar

4.2. Veriler

4.2.1. Taşıtta Yapılan Çalışmalar

Taşıtta yapılan çalışmalar sırasında elde edilen veriler ile terminaller arasında yapılan yolculuğa ilişkin süre hesapları yapılmıştır. İlk istasyondan başlayarak bir sonraki istasyona kadar geçen süreler (yolculuk ve duruş süreleri) hesap edilmiş ve bütün istasyon aralıklarında bu süreler toplandığında terminaller arasındaki toplam yolculuk süresi elde edilmiştir. Taşıtta yapılan bu yolculuk ölçümlerden terminaller arası toplam yolculuk süresi, duraklar arası yolculuk süresi, duraklardaki duruş süresi ve veri kapsamına bağlı olarak, taşıt istasyona yanaşırken veya uzaklaşırken oluşan süre kayıpları elde edilebilir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1 Taşıt içi gözlem değerleri

			Yolculuk Süreleri					
	Dilim		En Büyük	En Küçük	Ortalama	Standart	Değişkenlik	Gözlem
Kesim	Sabah	Akşam	(dk)	(dk)	(dk)	Sapma	Katsayısı	Sayısı
A-Z	X		54,03	41,55	46,17	04,00	0,086	25
Z-A		X	49,42	41,47	45,33	02,02	0,045	26
S-E	X		35,45	29,27	32,20	01,48	0,055	24
E-S		X	37,47	24,10	33,14	02,38	0,079	24

A-Z : Avcılar – Zincirlikuyu S-E : Söğütlüçeşme – Edirnekapı

Z-A : Zincirlikuyu – Avcılar E-S : Edirnekapı - Söğütlüçeşme

4.2.1.1. Avcılar-Zincirlikuyu Yönü Toplam Yolculuk Süresi (Sabah)

Erken saatlerdeki ilk yolculukların kısa, ilerleyen saatlerdeki yolculukların uzun sürdüğü görülmektedir. Avcılar-Zincirlikuyu terminalleri arasında sabah yapılan ölçümlerde, toplam yolculuk süresinin en küçüğü 41:55 dk ve en büyüğü 54:03 dk olarak ölçülmüştür. Toplam yolculuk süresinin ortalaması 46:17 dk ve standart sapması 04:00 dk değişkenlik katsayısı 0,086 (standart sapma/ortalama) olarak hesaplanmıştır. Ölçümlerde, ilk 8 çalışma 04.03.2010 tarihinde, sonraki 8 çalışma 15.03.2010 ve son 9 çalışma 16.03.2010 tarihinde yapılmıştır.

4.2.1.2. Zincirlikuyu-Avcılar Yönü Toplam Yolculuk Süresi (Akşam)

Zincirlikuyu−Avcılar terminalleri arasında akşam yapılan ölçümlerde, toplam yolculuk süresinin en küçüğü 41:47 dk ve en büyüğü 49:42 dk olarak ölçülmüştür. Toplam yolculuk süresinin ortalaması 45:33 dk ve standart sapması 02:02 dk, değişkenlik katsayısı 0,045

(standart sapma/ortalama) olarak hesaplanmıştır. Ölçümlerde, ilk 8 çalışma 04.03.2010 tarihinde, sonraki 8 çalışma 15.03.2010 ve son 10 çalışma 16.03.2010 tarihinde yapılmıştır.

4.2.1.3. Söğütlüçeşme-Edirnekapı Yönü Toplam Yolculuk Süresi (Sabah)

En uzun yolculuk ile en kısa yolculuk arasında 06:18 dk fark vardır. Söğütlüçeşme-Edirnekapı terminalleri arasında sabah yapılan ölçümlerde, toplam yolculuk süresinin en küçüğü 29:27 dk ve en büyüğü 35:45 dk olarak ölçülmüştür. Toplam yolculuk süresinin ortalaması 32:20 dk ve standart sapması 01:48 dakika, değişkenlik katsayısı 0,055 (standart sapma/ortalama) olarak hesaplanmıştır. İlk 8 çalışma 22.03.2010 tarihinde, sonraki 6 çalışma 23.03.2010 ve son 10 çalışma 26.03.2010 tarihinde yapılmıştır.

4.2.1.4. Edirnekapı- Söğütlüçeşme Toplam Yolculuk Süresi (Akşam)

Edirnekapı-Söğütlüçeşme terminalleri arasında akşam yapılan ölçümlerde, toplam yolculuk süresinin en küçüğü 24:10 dk ve en büyüğü 37:47 dk olarak ölçülmüştür. Toplam yolculuk süresinin ortalaması 33:14 dk ve standart sapması 02:38 dk, değişkenlik katsayısı 0,079 (standart sapma/ortalama) olarak hesaplanmıştır. İlk 8 çalışma 22.03.2010 tarihinde, sonraki 7 çalışma 23.03.2010 ve son 9 çalışma 26.03.2010 tarihinde yapılmıştır.

4.2.2. Terminalde Yapılan Çalışmalar

Terminallerde yapılan saha çalışmasında tüm taşıtların terminalden çıkış zamanları kaydedilmiş ve bu verilerden yararlanılarak belirli numaralı hatlardaki yolculukların birbirini izleme süreleri elde edilmiştir.

4.2.2.1. Avcılar Terminalinde Sabah Zirvesi

Avcılar terminalinde, sabah zirve saatlerde kalkan, 34 (Avcılar – Zincirlikuyu) ve 34T (Avcılar – Topkapı) metrobüs hatlarının frekans (sıklık) değerleri 3 gün (04, 15 ve 16 Mart 2010 tarihlerinde) yapılan çalışma sonucunda ölçülmüştür.

4.2.2.2. Söğütlüçeşme Terminalinde Sabah Zirvesi

Söğütlüçeşme terminalinde, sabah zirve saatlerde kalkan, 34A (Söğütlüçeşme – Edirnekapı) metrobüs hattının frekans (sıklık) değeri 3 gün (22, 23 ve 26 Mart 2010 tarihlerinde) yapılan çalışma sonucunda ölçülmüştür.

4.2.2.3. Edirnekapı Terminalinde Akşam Zirvesi

Edirnekapı terminalinde akşam saatlerinde geçen/kalkan, 34 (Zincirlikuyu – Avcılar) ve 34A (Edirnekapı – Söğütlüçeşme) hatları için frekans (sıklık) değerleri 3 gün (04, 15 ve 16 Mart 2010 tarihlerinde) yapılan çalışma sonucunda ölçülmüştür.

4.2.2.4. Zincirlikuyu Terminalinde Akşam Zirvesi

Zincirlikuyu terminalinde akşam saatlerinde geçen/kalkan, 34 (Zincirlikuyu – Avcılar) ve 34A (Edirnekapı – Söğütlüçeşme) hatları için frekans (sıklık) değerleri 3 gün (04, 15 ve 16 Mart 2010 tarihlerinde) yapılan çalışma sonucunda ölçülmüştür

4.2.2.5. Topkapı Terminalinde Akşam Zirvesi

Çalışmada Topkapı terminalinde durularak veri toplanmamış, bunun yerine Cevizlibağ'da durak bazında yapılan ölçümlerden yararlanarak 34T (Topkapı – Avcılar) hattın sıklık değeri hesaplanmıştır.

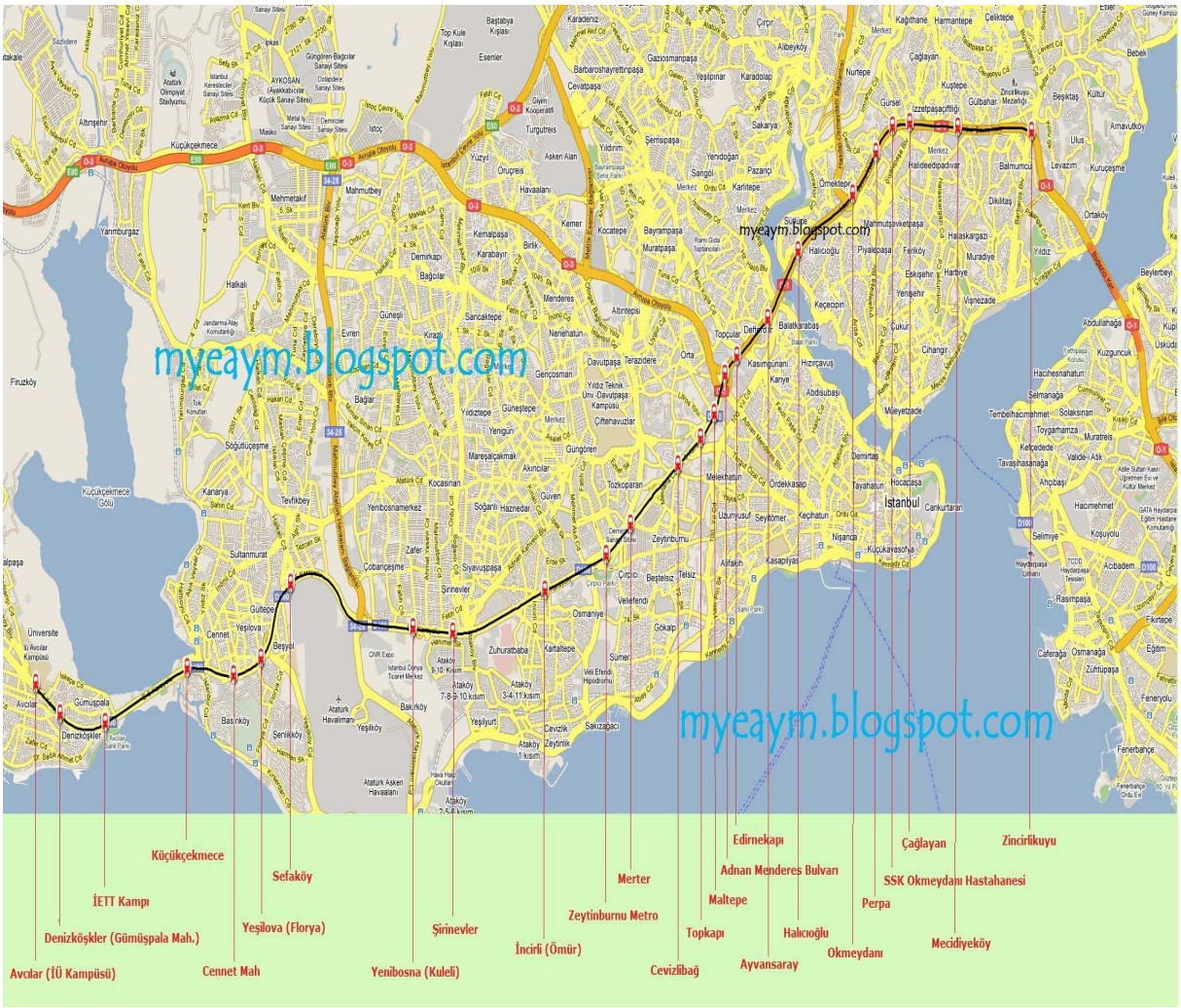
4.2.3. Duraklarda Yapılan Çalışma

Çalışma yapılan duraklar Avcılar-Zincirlikuyu bölümünde Avcılar, Cennet Mahallesi, Sefaköy, Şirinevler, Zeytinburnu, Cevizlibağ, Edirnekapı, Perpa ve Mecidiyeköy; Edirnekapı-Söğütlüçeşme bölümünde Edirnekapı, Perpa, Mecidiyeköy, Zincirlikuyu, Altunizade, Uzunçayır, Söğütlüçeşme olarak seçilmiştir. Duraklar belirlendikten sonra durakta zirve yön için tüm hat numaralarına ait taşıtların (kapı numaralarına göre) birbirini izleme süreleri ölçülmüştür. Bu verilerden yararlanılarak taşıtların hat boyunca birbirlerini izleme süreleri hesap edilmiştir.

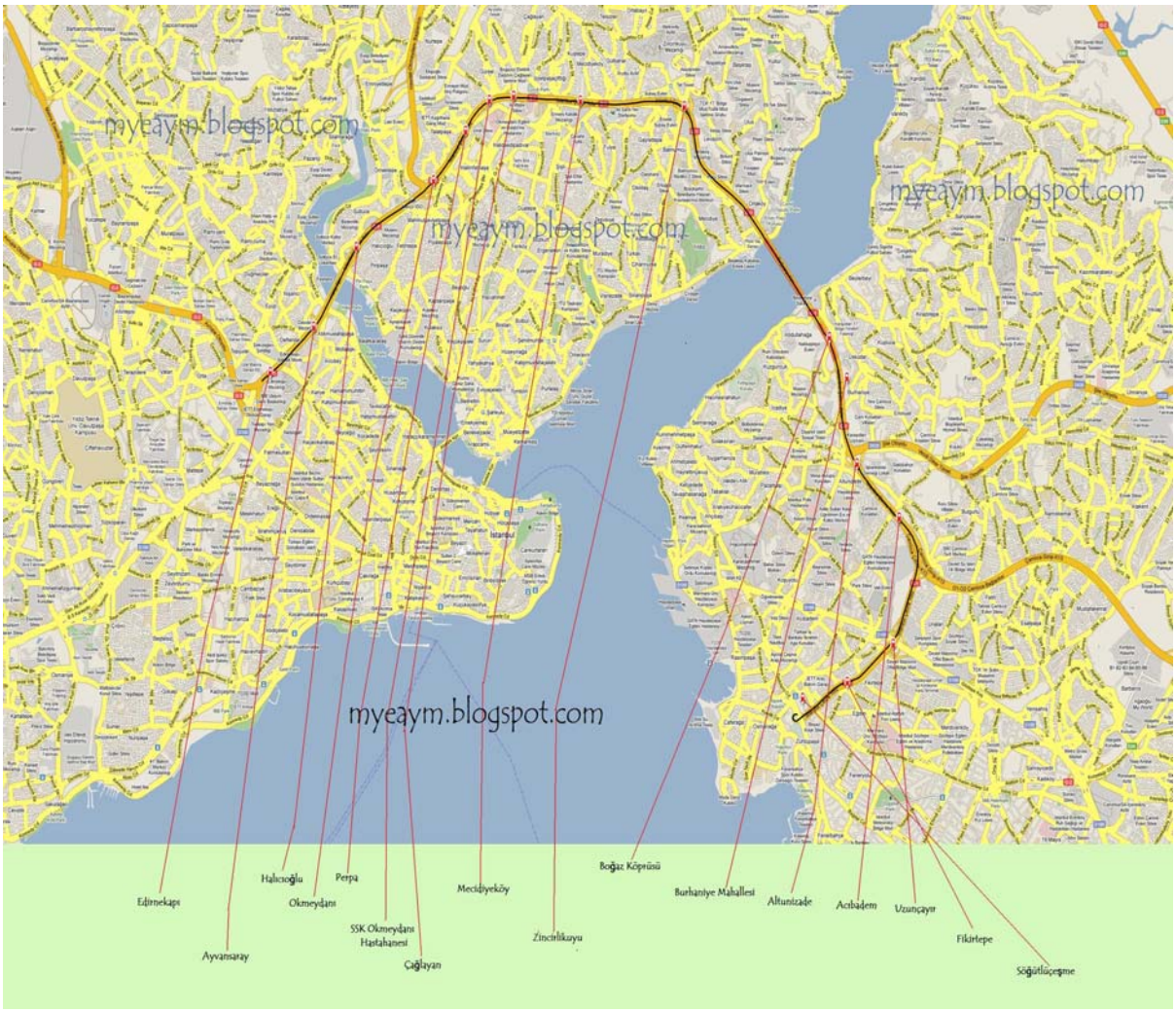
4.3. Simülasyon Modelin Geliştirilmesi

4.3.1. Güzergâh ve Hattın Belirlenmesi

Yapımına 2007 yılı başında başlanan 18,3 km uzunluğunda, kendi yoluna sahip İstanbul'daki metrobüs sistemi ilk olarak D-100 koridorunda Avcılar – Topkapı arasında tamamlnarak, 17 Eylül 2007'de açılmıştır. Hattın Avcılar – Zincirlikuyu ayağının tamamlanmasıyla durak sayısı 25'e yükseldi. BRT (Metrobüs) hattının 11 km ek ve 7 yeni istasyonla Boğaziçi Köprüsü'nü geçerek, üçüncü adımı olan Söğütlüçeşme hattı 3 Mart 2009 günü hizmete alınarak İstanbul'un iki yakası arasında yolcu taşıması başlamıştır (http:// www.iett.gov.tr/ Erişim tarihi: 29 Mayıs 2010) (Şekil 4.3a-b).



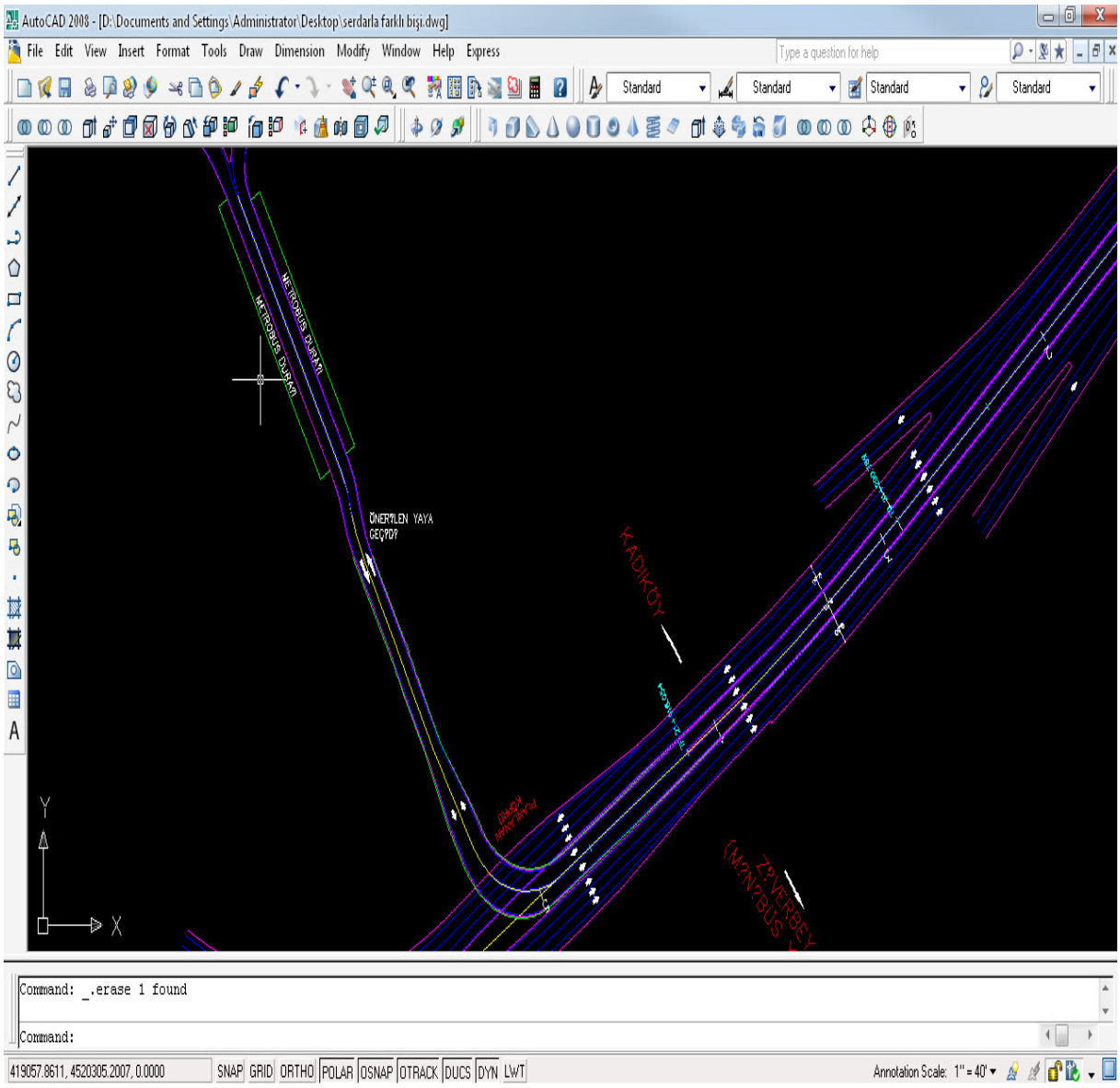
Şekil 4.3a 34T Metrobüs'ün Avcılar – Zincirlikuyu kesimi



Şekil 4.3b 34A Metrobüs'ün Edirnekapı -Söğütlüçeşme kesimi

4.3.2. Arka Planın Kodlanması

İstanbul D−100 ve O−1 karayollarında bulunan Avcılar – Söğütlüçeşme hattı simülasyon çalışmasında ağın bölgenin geometrik özelliklerini yansıtacak şekilde oluşturulması için, arka plan olarak, Karayolları 17. Bölge Müdürlüğünden sağlanan metrobüs hattının AUTOCAD çizimleri kullanılmıştır (Şekil 4.4).

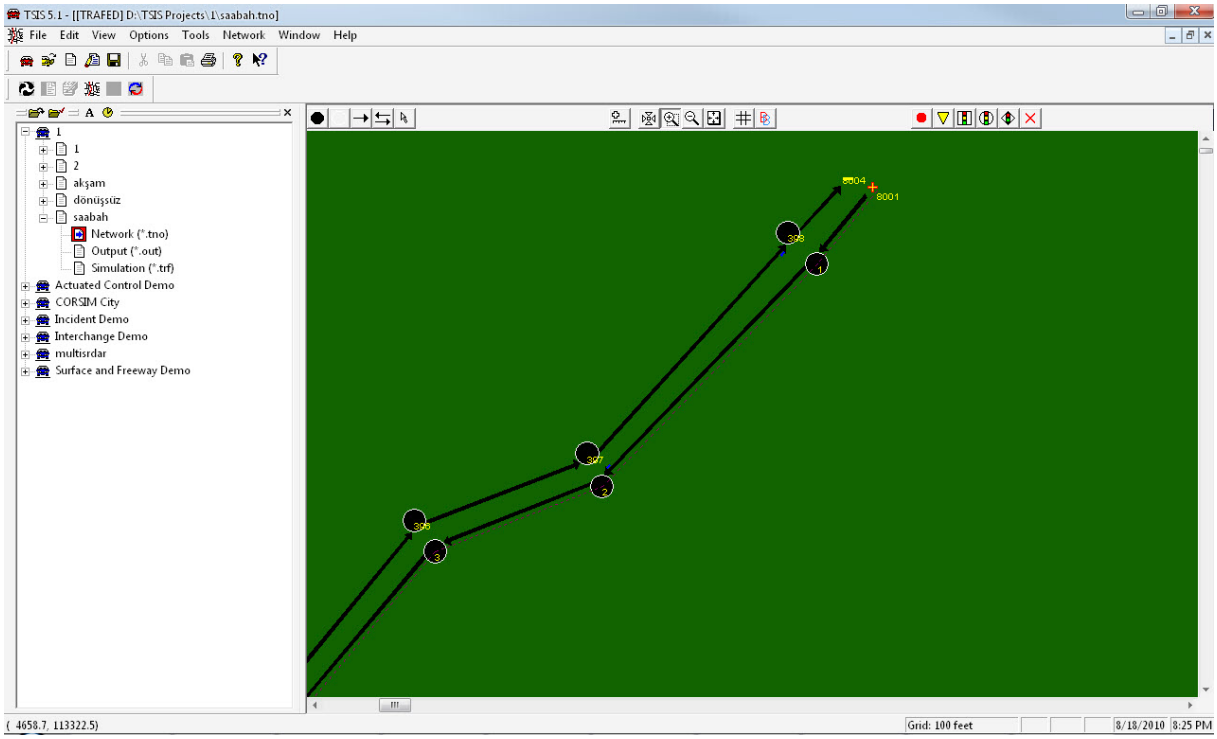


Şekil 4.4 Söğütlüçeşme terminal rampası

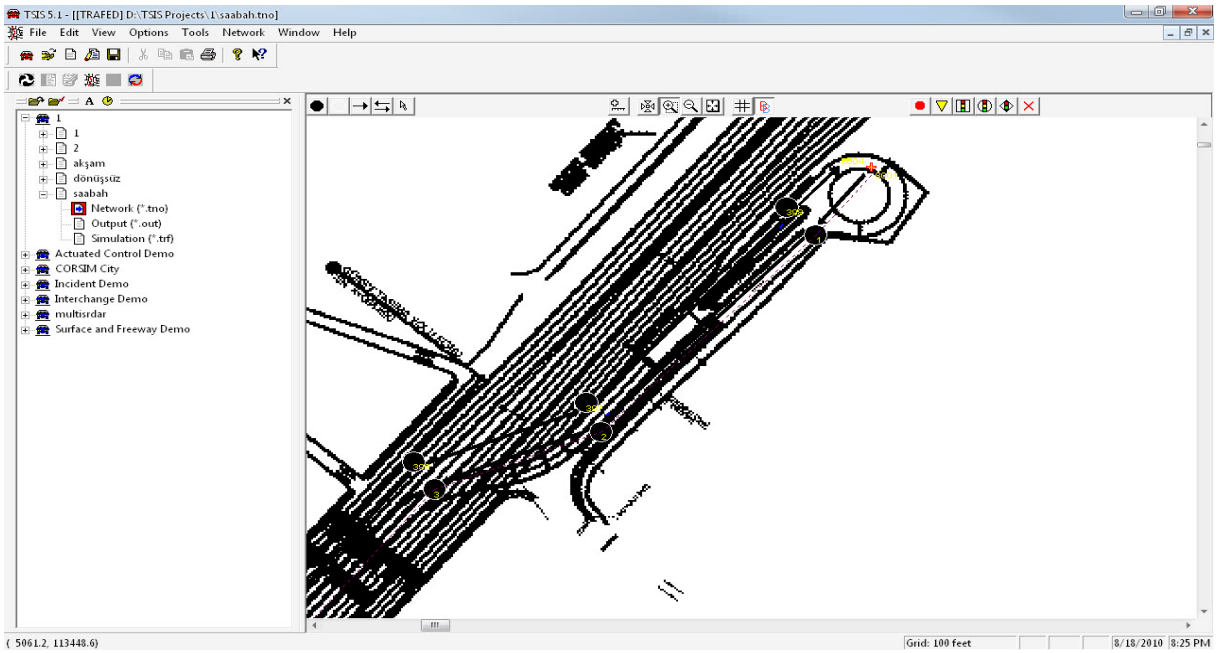
4.3.3. Bağların Kodlanması

TSIS 5.1 simülasyon programında, ağ oluşturulurken öncelikle bağların kodlanması gerekmektedir. Arka planın eklenmesi ile birlikte NETSIM modülü kullanılarak düğüm ve bağların oluşturulması işlemine geçilmiştir. NETSIM'in mantığına göre ağ, önce düğüm noktalarının oluşturulması ve sonrasında bu noktaların bağlarla birleştirilmesiyle oluşturulmaktadır (Şekil 4.5 ve 4.6). İstanbul D–100 ve O–1 karayollarında bulunan Avcılar –

Söğütlüçeşme hattında, simülasyon çalışması için gerekli olan bağlar, AUTOCAD programıyla elde edilen görüntülere göre kodlanmıştır. Dönemeçlerde, düğüm noktaları daha sık aralıklarla kodlanarak yumuşak geçişler sağlanmıştır.



Şekil 4.5 NETSIM'de oluşturulan bağ-düğüm görüntüsü



Şekil 4.6 NETSIM'de oluşturulan bağ-düğüm diyagramının altlık üzerinde görünüşü

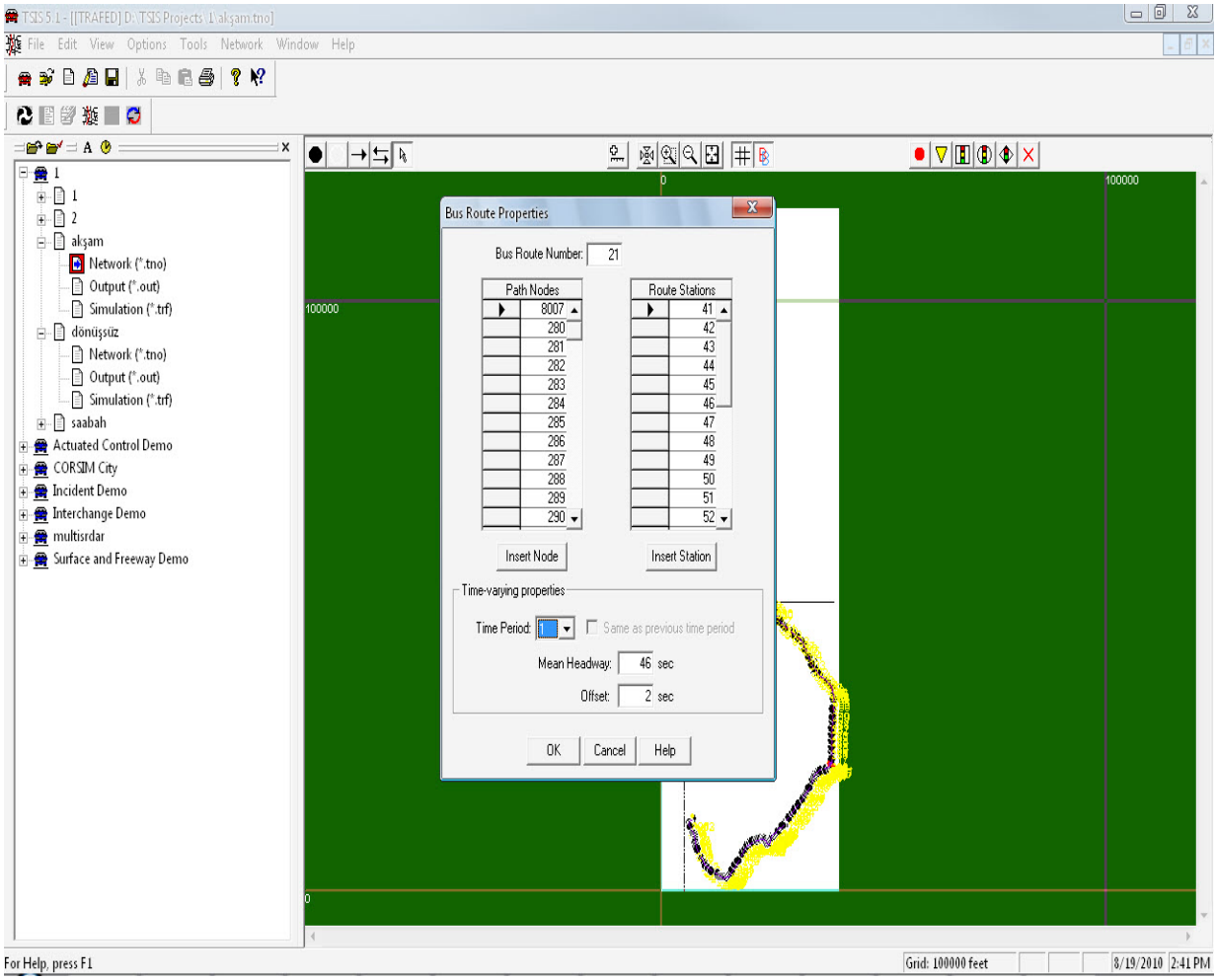
4.3.4. Durak ve Hatların Kodlanması

Bağları oluşturduktan sonra metrobüs hattına 33 durak yerleştirilmiştir. Durak adları sırasıyla şöyledir: İst.Ünv.Avcılar Kamp, Şükrübey, İETT Kampı, Küçükçekmece, Cennet Mah., Y.Ova-Florya, Sefaköy, Yenibosna-Kuleli, Şirinevler, Bahçelievler, İncirli-Ömür, Z.Burnu Metro, Merter, Cevizlibağ, Topkapı, Maltepe, Adnan Menderes Bulvarı, Edirnekapı, Ayvansaray, Halıcıoğlu, Okmeydanı, Perpa, SSK Okmeydanı Hastanesi, Çağlayan, Mecidiyeköy, Zincirlikuyu, Boğazköprüsü, Burhaniye Mahallesi, Altunizade, Acıbadem, Uzunçayır, Fikirtepe, Söğütlüçeşme (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2 Duraklar adları ve durakların NETSIM'deki numaraları

Duraklar	Avcılar - Söğütlüçeşme	Söğütlüçeşme-Avcılar
İST.ÜNV.AVCILAR KAMPI	1	64
ŞÜKRÜBEY	2	63
İETT KAMPI	3	62
KÜÇÜKÇEKMECE	4	61
CENNET MAHALLESİ	5	60
Y.OVA-FLORYA	6	59
SEFAKÖY	7	58
YENİBOSNA-KULELİ	8	57
ŞİRİNEVLER	9	56
BAHÇELİEVLER	65	66
İNCİRLİ-ÖMÜR	10	55
Z.BURNU METRO	11	54
MERTER	12	53
CEVİZLİBAĞ	13	52
TOPKAPI	14	51
MALTEPE	15	50
ADNAN MENDERES BULVARI	16	49
EDİRNEKAPI	17	48
AYVANSARAY	18	47
HALICIOĞLU	19	46
OKMEYDANI	20	45
PERPA	21	44
SSK OKMEYDANI HASTANESİ	22	43
ÇAĞLAYAN	23	42
MECİDİYEKÖY	24	41
ZİNCİRLİKUYU	25	40
BOĞAZKÖPRÜSÜ	26	39
BURHANİYE MAHALLESİ	27	38
ALTUNİZADE	28	37
ACIBADEM	29	36
UZUNÇAYIR	30	35
FİKİRTEPE	31	34
SÖĞÜTLÜÇEŞME	32	33

Bu duraklar kullanılarak 34 Avcılar – Zincirlikuyu, 34T Avcılar – Topkapı, 34A Edirnekapı- Söğütlüçeşme hatları oluşturulmuştur (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 NETSIM'de hatların oluşturulması

34A hattındaki metrobüslerin bir kısmının Söğütlüçeşme – Zincirlikuyu arasında çalıştığından, bu duraklar arasına da ek bir hat oluşturulmuştur. Oluşturulan bu hatların kullandığı duraklar Çizelge 4.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 Metrobüs hatları ve hatların kullandığı duraklar

34		34T		34A		ZİNCİRLİKUYU		HAT
A-Z	Z-A	A-T	T-A	E-S	S-E	Z-S	S-Z	
12	21	13	31	45	54	56	55	PROGRAM NO
1	40	1	51	17	33	25	33	
2	41	2	52	18	34	26	34	
3	42	3	53	19	35	27	35	
4	43	4	54	20	36	28	36	
5	44	5	55	21	37	29	37	
6	45	6	66	22	38	30	38	
7	46	7	56	23	39	31	39	
8	47	8	57	24	40	32	40	
9	48	9	58	25	41			
65	49	65	59	26	42			
10	50	10	60	27	43			
11	51	11	61	28	44			
12	52	12	62	29	45			
13	53	13	63	30	46			
14	54	14	64	31	47			
15	55			32	48			
16	66							
17	56							
18	57							
19	58							
20	59							
21	60							
22	61							
23	62							
24	63							
25	64							

A-Z Avcılar – Zincirlikuyu

Z-A Zincirlikuyu – Avcılar

A-T Avcılar – Topkapı

T-A Topkapı – Avcılar

E-S Edirnekapı – Söğütlüçeşme

S-E Söğütlüçeşme – Edirnekapı

Z-S Zincirlikuyu – Söğütlüçeşme

S-Z Söğütlüçeşme- Zincirlikuyu

4.3.5. Trafik Verilerinin Modele Girilmesi

Geometrik verilere göre yol ağı oluşturulduktan sonra, sahada yapılan ölçümler modele girilmiştir.

Terminal Verilerinin Modele Girilmesi

Terminal verileri, 04, 15, 16 Mart 2010 tarihlerinde Avcılar-Zincirlikuyu hattında, Avcılar ve Zincirlikuyu terminallerinde, 22, 23, 26 Mart 2010 tarihlerinde Edirnekapı- Söğütlüçeşme hattında Edirnekapı, Zincirlikuyu ve Söğütlüçeşme terminallerinde yapılan sabah ve akşam ölçümlerinden elde edilmiştir. Ölçümler sabah ve akşam zirve saatlerinde yapılmıştır. Zirve saati olarak sabah 07:00 – 09:00 arası ve akşam 17:00 – 19:00 arası olarak alınmıştır. Terminal verileri ölçülürken hat numarası, taşıt tipi, kapı açma zamanı, hareket zamanları kayıt edilmiştir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4 Örnek Terminal Veri Toplama Çizelgesi

TERMİNAL: Edirnekapı			**Tarih: 22.03.2010**		
Hat No: Taşıt Tipi:	Kapı Açma Zamanı	Hareket Zamanı	Hat No: Taşıt Tipi:	Kapı Açma Zamanı	Hareket Zamanı
34A-Capacity	07:00:54	07:01:05	34-Capacity	07:14:38	07:15:07
34-Capacity	07:01:10	07:01:43	34A-Capacity	07:15:22	07:15:47
34-Capacity	07:02:34	07:03:04	34-Capacity	07:15:32	07:16:13
34A-Capacity	07:03:20	07:03:49	34A-Capacity	07:16:22	07:16:51
34-Capacity	07:04:05	07:04:36	34-Citaro	07:16:25	07:16:58
34A-Capacity	07:05:10	07:05:32	ServisDışı	07:17:11	07:16:59
34-Capacity	07:05:37	07:05:56	34-Capacity	07:17:13	07:17:00
34-Capacity	07:06:32	07:06:58	34A-Capacity	07:17:30	07:17:45
34A-Capacity	07:07:18	07:07:45	34-Capacity	07:17:37	07:18:01
34-Citaro	07:07:23	07:08:07	34-Capacity	07:17:48	07:18:11
34-Capacity	07:09:00	07:09:22	34-Capacity	07:18:18	07:18:50
34A-Capacity	07:09:40	07:10:04	34-Capacity	07:18:57	07:19:15
34-Capacity	07:09:43	07:10:12	34A-Capacity	07:19:30	07:19:59
34-Capacity	07:10:20	07:10:20	34-Citaro	07:19:28	07:20:06
34-Capacity	07:10:27	07:11:06	34-Capacity	07:19:36	07:20:08
34-Capacity	07:10:29	07:11:16	34-Capacity	07:20:15	07:20:38
34-Capacity	07:11:20	07:11:44	34-Capacity	07:20:18	07:20:45
34-Capacity	07:11:23	07:11:50	34A-Capacity	07:20:57	07:21:28
34-Capacity	07:11:50	07:11:50	34-Capacity	07:21:10	07:21:41
34A-Capacity	07:12:04	07:12:26	34A-Capacity	07:21:58	07:22:25
34-Capacity	07:12:32	07:12:32	34A-Capacity	07:22:37	07:23:01
34A-Capacity	07:12:44	07:13:05	34A-Capacity	07:23:19	07:23:42
34A-Capacity	07:13:31	07:13:49	34A-Capacity	07:23:57	07:24:20
34-Capacity	07:13:42	07:14:22	34A-Capacity	07:24:36	07:24:50
34A-Capacity	07:14:35	07:14:58	34-Capacity	07:24:35	07:25:12

Sabah Avcılar terminal verileri için 04, 15, 16 Mart 2010 verileri kullanılmıştır. 4 Mart'ta toplam 250 taşıt kaydedilmiştir. Bunların 25 tanesi 34T, 225 tanesi 34 olarak ölçülmüştür. 15 Mart'ta toplam 252 taşıt sayılmıştır. Bunların 23 tanesi 34T, 229 tanesi 34 olarak ölçülmüştür. 16 Mart'ta toplam 200 taşıt sayımı olmuştur. Bunların 16 tanesi 34T, 184 tanesi 34 olarak ölçülmüştür.

Sabah Söğütlüçeşme terminal verileri için 22, 23 Mart 2010 verileri kullanılmıştır. 22 Mart'ta toplam 140 taşıt kaydedilmiştir. Bunların tamamı 34A olarak ölçülmüştür. 49 tanesi Zincirlikuyu'ya kadar geri kalan 91 tanesi Edirnekapı'ya gitmektedir. 23 Mart'ta toplam 143 taşıt sayılmıştır. Bunların tamamı 34A olarak ölçülmüştür. 45 tanesi Zincirlikuyu'ya kadar geri kalan 98 tanesi Edirnekapı'ya gitmektedir.

Akşam Zincirlikuyu terminal verileri için 04, 15, 16, 22, 23 Mart 2010 verileri kullanılmıştır. 4 Mart'ta toplam 321 taşıt sayılmıştır. Bunların 179tanesi Avcılar yönüne sevk edilen 34 hat nolu otobüsler ve 142 tanesi Söğütlüçeşme'den gelen 34A olarak ölçülmüştür. 15 Martta toplam 212 taşıt sayımı olmuştur. Bunların 171 tanesi 34, 41 tanesi Söğütlüçeşme'den gelen 34A olarak ölçülmüştür. 16 Martta toplam 192 taşıt sayılmıştır. Bunların 132 tanesi 34, 39 tanesi Söğütlüçeşme'den gelen 34A olarak kaydedilmiştir. 22 Martta toplam 138 taşıt sayılmıştır. Bunların tamamı Söğütlüçeşme'ye giden 34A olarak kaydedilmiştir. 23 Martta toplam 130 taşıt sayılmıştır. Bunların tamamı Söğütlüçeşme'ye giden 34A olarak kaydedilmiştir.

Akşam Edirnekapı terminal verileri için 22, 23, 26 Mart 2010 verileri kullanılmıştır. 22 Mart'ta toplam 237 taşıt sayılmıştır. Bunların 68 tanesi 34A, 168 tanesi Zincirlikuyu'ya giden 34 olarak kaydedilmiştir. 23 Martta toplam 241 taşıt sayılmıştır. Bunların 73 tanesi 34A, 168 tanesi Zincirlikuyu'ya giden 34 olarak kaydedilmiştir. 26 Martta toplam 195 taşıt sayılmıştır. Bunların 57 tanesi 34A, 138 tanesi Zincirlikuyu'ya giden 34 olarak kaydedilmiştir.

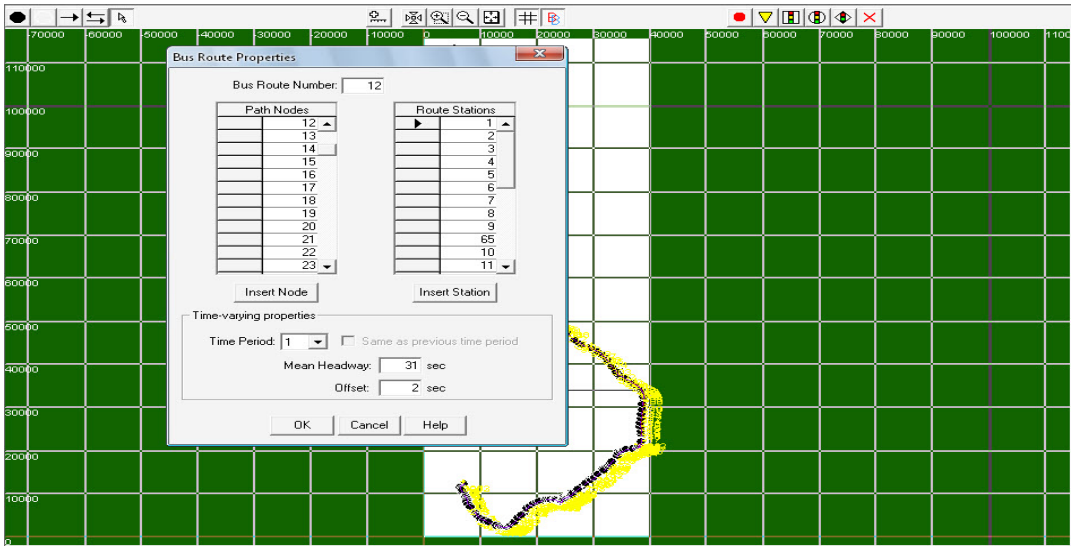
Akşam Topkapı terminali için ayrı bir çalışma yapılmamıştır. Bunun yerine duraklarda 30 Nisan ve 13 Mayıs tarihlerinde yapılan çalışmalardan, Cevizlibağ durağı seçilmiş ve Cevizlibağ durağından geçen 34T nolu metrobüs hattındaki taşıtların aralarındaki izleme süreleri dikkate alınmıştır.

Çalışmada ortalamalar sütunundaki mavi renki hücrelerdeki izleme süreleri kullanılmıştır. Bu çalışmaların sonuçları Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5 Terminalden kalkan taşıtların birbirlerini izleme süreleri (sn)

	SABAH			AKŞAM			
	4 Mart	15 Mart	16 Mart	4 Mart	15 Mart	16 Mart	Ortalamalar
AVCILAR							Sabah / Akşam
34	32	31	29	42	47	48	31 / 46
34T	226	242	237	95	132	130	235 / 119
ZİNCİRLİKUYU							
34	39	39	30	40	42	43	36 / 42
34A	94	193	139	128	146	151	142 / 142
	22 Mart	23 Mart	26 Mart	22 Mart	23 Mart	26 Mart	
SÖĞÜTLÜÇEŞME							
34A	83	73	-	100	105	108	78 / 104
ZİN	149	152	-	102	134	143	151 / 126
EDİRNEKAPI							
34	-	33	-	42	-	43	33 / 43
34A	-	84	90	106	99	107	87 / 104
ZİNCİRLİKUYU							
34A				52	56	-	/ 54

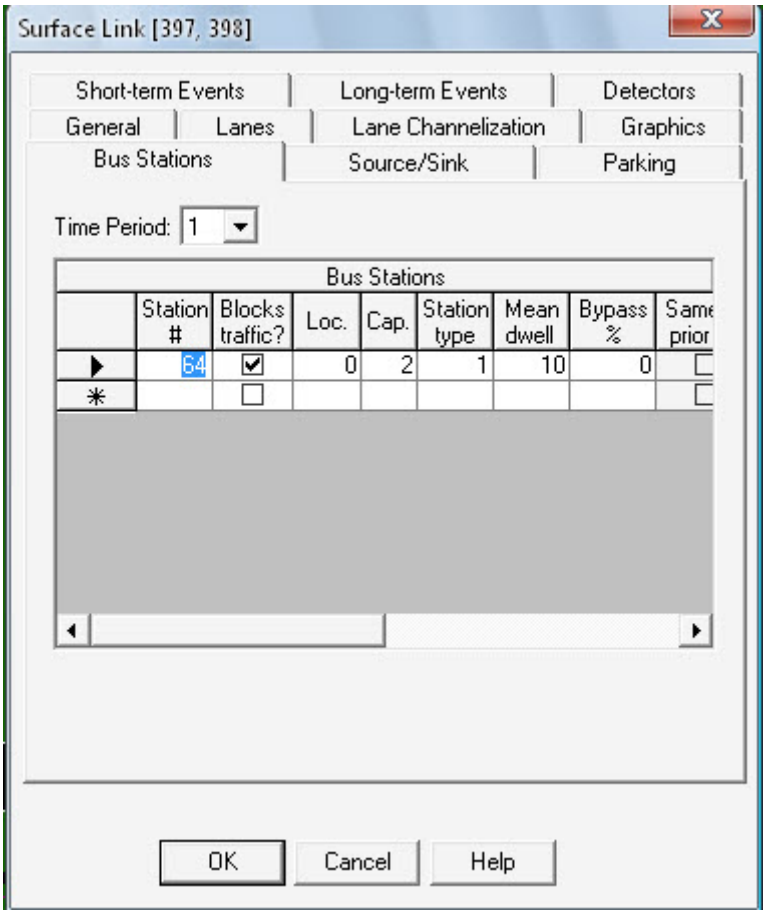
Kaydedilen taşıtların birbirlerini izleme süreleri, TSIS 5.1 simülasyon programında daha önce hazırlanan hatlar üzerine Ortalama İzleme Süresi (Mean Headway) olarak girilmiştir (Şekil 4.8)



Şekil 4.8 Taşıtların izleme sürelerinin hatlar üzerine girilmesi

Durak Verilerinin Modele Girilmesi

TSIS 5.1 simülasyon programında duraklar; durakların kapasiteleri (Cap.), durak çeşidi (Station Type), ortalama kayıp süre - duruş süresi (Mean Dewell Time), durmadan geçme yüzdesi (Bypass %), trafiği engelliyor- engellemiyor (Blocks Traffic) değeriyle tanımlanır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 Durakların özelliklerinin girilmesi

Durakların taşıt kapasite değerlerinin, yapılan gözlemler sonucunda 2 taşıt olduğu görülmüştür. Sefaköy, Cevizlibağ ve Mecidiyeköy durakları, yolcu talebine bağlı olarak, 3 taşıt kabul edebilmektedir.

Metrobüs duraklarında otobüs duraklarında olduğu gibi ayrı bir durak cebi olmadığı için arkadan gelen metrobüs taşıt trafiğini engellemektedir.

Durak verileri, 04, 15, 16 Mart 2010 tarihlerinde Avcılar-Zincirlikuyu hattında, 22, 23, 26 Mart 2010 tarihlerinde Edirnekapı- Söğütlüçeşme hattında, sabah ve akşam olarak, taşıt içinde yapılan gözlem değerleri kullanılarak elde edilmiştir. Sayımlar sabah ve akşam zirve saatlerinde yapılmıştır. Zirve saati olarak sabah 07:00 – 09:00 arası ve akşam 17:00 – 19:00 arası olarak alınmıştır. Durak verileri toplanırken metrobüs taşıtının duruş zamanı, kapı açma zamanı, kapı kapama zamanı ve hareket zamanı kayıt edilmiştir (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6 Taşıtlarda yapılan çalışmaların bir örneği

Tarih:22.03.2010 Taşıt Tipi:Capacity		Ara Duruş / Kalkış Zamanı (Arıza vd. nedenle)	Duruş Zamanı	Kapı Açma Zamanı	Kapı Kapatma Zamanı	Kalkış Zamanı
1	EDİRNEKAPI	BOŞ	BOŞ	BOŞ	07:48:15	07:48:15
2	AYVANSARAY		07:49:19	07:49:19	07:49:31	07:49:31
3	HALICIOĞLU		07:50:55	07:50:55	07:51:05	07:51:05
4	OKMEYDANI		07:53:35	07:53:35	07:53:45	07:53:45
5	PERPA		07:55:05	07:55:05	07:55:20	07:55:20
6	SSK OKMEYDANI HST.		07:56:34	07:56:34	07:56:48	07:56:48
7	ÇAĞLAYAN		07:57:30	07:57:30	07:57:42	07:57:42
8	MECİDİYEKÖY-METROBUS		07:59:07	07:59:07	07:59:47	07:59:47
9	ZİNCİRLİKUYU		08:03:03	08:03:03	08:03:22	08:03:31
10	BOĞAZKÖPRÜSÜ		08:08:50	08:08:50	08:09:08	08:09:08
11	BURHANİYE MAH.		08:10:20	08:10:20	08:10:39	08:10:39
12	ALTUNİZADE		08:12:17	08:12:17	08:12:33	08:12:33
13	ACIBADEM		08:13:53	08:13:53	08:14:05	08:14:05
14	UZUNÇAYIR		08:16:07	08:16:07	08:16:34	08:16:34
15	FİKİRTEPE		08:17:45	08:17:45	08:17:52	08:17:52
16	SÖĞÜTLÜÇEŞME	BOŞ	08:19:05	08:19:05	BOŞ	BOŞ

Taşıtlarda yapılan çalışmalarda, kapı kapama zamanı – kapı açma zamanı farkından, taşıtların duraklarda ortalama bekleme süreleri (Mean Dewell Time) elde edilmiştir. Çalışmada aracın durakta 5 sn'den az beklemesi durumunda, aracın o durakta bekleme yapmadığı kabul edilmiştir. Ayrıca bazı duraklarda taşıtların 2 kez durdukları gözlemlenmiştir. İlk duruş metrobüs durağının arkasında yolcu indirme amaçlı olup, ikinci duruş metrobüs durağında yolcu alma amaçlı olmaktadır. Bu tür çift duruşlu duraklara Sefaköy, Şirinevler, Zeytinburnu,

Cevizlibağ ve Edirnekapı örnek verilebilir. Çift duruşlu duraklarında ortalama bekleme süresini bulmak için, iki duruşun toplam zamanını almak yerine, ilk duruşun tamamını ve ikinci duruşun yarısını almak gibi bir kabul yapılmıştır.

Sabah zirvesi için;
Avcılar – Zincirlikuyu yönünde 04, 15, 16 Mart 2010 tarihlerinde 25 adet taşıt içi ölçüm yapılmıştır, yapılan ölçümlerden her durak için 25 adet bekleme süresi elde edilmiştir.

Avcılar – Topkapı yönü için 04, 15, 16 Mart 2010 tarihinde Avcılar – Zincirlikuyu yönünden elde edilen veriler kullanılmıştır.

Söğütlüçeşme – Edirnekapı yönünde 22, 23, 26 Mart 2010 tarihlerinde 25 adet taşıt içi ölçüm yapılmıştır, yapılan ölçümlerde her durak için 25 adet bekleme süresi elde edilmiştir.

Akşam zirvesi için;
Zincirlikuyu – Avcılar yönünde 04, 15, 16 Mart 2010 tarihlerinde 26 adet taşıt içi ölçüm yapılmıştır, yapılan ölçümlerden her durak için 26 adet bekleme süresi elde edilmiştir.

Edirnekapı - Söğütlüçeşme yönünde 22, 23, 26 Mart 2010 tarihlerinde 25adet taşıt içi ölçüm yapılmıştır, yapılan ölçümlerde her durak için 25 adet bekleme süresi elde edilmiştir.

Zincirlikuyu – Söğütlüçeşme yönü için 22, 23, 26 Mart 2010 tarihinde Edirnekapı - Söğütlüçeşme yönünden elde edilen veriler kullanılmıştır.

Topkapı – Avcılar yönü için 22, 23, 26 Mart 2010 tarihinde Zincirlikuyu – Avcılar yönünde elde edilen veriler kullanılmıştır.

Elde edilen duraklardaki ortalama bekleme süreleri, ölçümlerde 5 sn ve altındaki beklemelerin sayısı (durmadan geçişlerin) ve bu bekleme sayılarının toplam beklemeye oranı tablolaştırılmıştır. (Çizelge 4.7a-b).

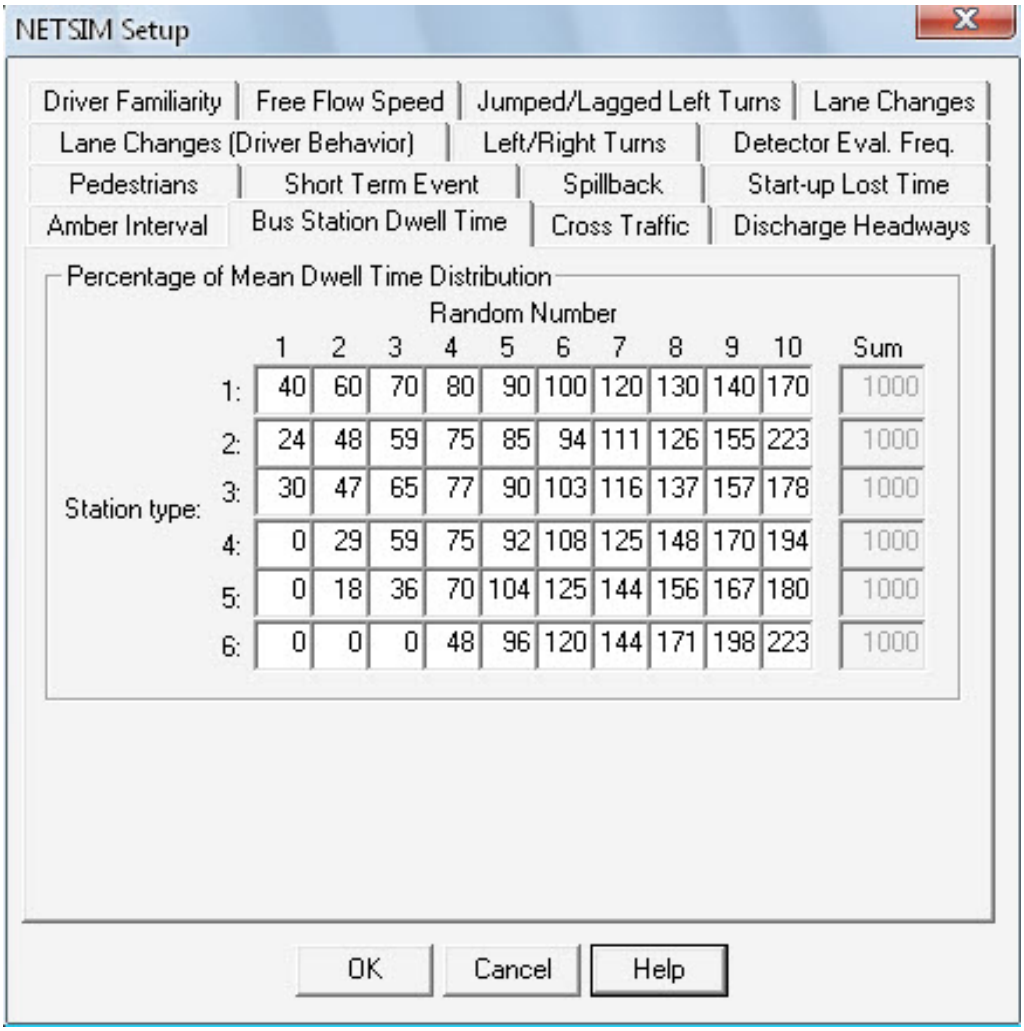
Çizelge 4.7a Avcılar – Zincirlikuyu arasındaki duraklarda ortalama bekleme süreleri, durmadan geçme sayıları ve yüzdeleri

Durak Adı	Avcılar-Zincirlikuyu (Sabah)			Zincirlikuyu-Avcılar (Akşam)		
	Bekleme süresi (sn)	Durmadan Geçme Sayısı	Durmadan Geçme yüzdesi	Bekleme süresi (sn)	Durmadan Geçme Sayısı	Durmadan Geçme yüzdesi
ŞÜKRÜBEY	14	4	16	12	1	4
İETT KAMPI	11	6	24	11	7	27
KÜÇÜKÇEKMECE	11	7	28	11	3	12
CENNET MAH.	12	2	8	12	2	8
Y.OVA-FLORYA	12	4	16	11	1	4
SEFAKÖY	18	0	0	19	0	0
YENİBOSNA	18	0	0	17	4	15
ŞİRİNEVLER	20	1	4	20	0	0
BAHÇELİEVLER	17	1	4	15	2	8
İNCİRLİ-ÖMÜR	19	0	0	22	0	0
Z.BURNU METRO	20	0	0	22	0	0
MERTER	12	5	20	16	4	15
CEVİZLİBAĞ	25	1	4	18	0	0
TOPKAPI	15	7	28	14	4	15
MALTEPE	16	5	20	18	5	19
A. MENDERES	21	21	84	00	26	100
EDİRNEKAPI	18	1	4	24	0	0
AYVANSARAY	13	7	28	16	1	4
HALICIOĞLU	09	9	36	13	8	31
OKMEYDANI	12	7	28	13	4	15
PERPA	12	1	4	13	2	8
SSK OKMEYDANI	12	5	20	13	5	19
ÇAĞLAYAN	12	5	20	17	3	12
MECİDİYEKÖY	20	0	0	23	0	0

Çizelge 4.7b Edirnekapı - Söğütlüçeşme arasındaki duraklarda bekleme süreleri, durmadan geçme sayıları ve yüzdeleri

Durak Adı	Söğütlüçeşme - Edirnekapı (Sabah)			Edirnekapı - Söğütlüçeşme (Akşam)		
	Bekleme süresi (sn)	Durmadan Geçme Sayısı	Durmadan Geçme yüzdesi	Bekleme süresi (sn)	Durmadan Geçme Sayısı	Durmadan Geçme yüzdesi
AYVANSARAY	11	4	17	14	6	25
HALICIOĞLU	12	11	46	13	1	4
OKMEYDANI	14	12	50	10	1	4
PERPA	10	2	8	16	1	4
OKMEYDANI	18	8	29	12	7	29
ÇAĞLAYAN	13	2	8	15	1	4
MECİDİYEKÖY	21	0	0	33	0	0
ZİNCİRLİKUYU	32	0	0	17	1	4
BOĞAZKÖPRÜSÜ	22	5	21	21	3	13
BURHANİYE	13	15	63	12	12	50
ALTUNİZADE	26	1	4	20	2	8
ACIBADEM	17	3	13	14	2	8
UZUNÇAYIR	26	3	13	24	3	13
FİKİRTEPE	10	11	46	12	2	8

TSIS 5.1 simülasyon programında, duruş sürelerine göre 6 durak tipi (Station Type) tanımlanabilmektedir (Şekil 4.10). Programın kendi değerleri değiştirilerek, modellenen hattaki istasyon tipleri oluşturulmuştur.



Şekil 4.10 Netsim programının kendi değerleriyle, duraklarda bekleme süreleri dağılımı

TSIS 5.1 simülasyon programında, NETSIM aracılığı ile 6 tip durak tanımlanabilmektedir. Her istasyon için 1-10 arasındaki rasgele sayılara (Random Number) bağlı olarak 10 adet ortalama duruş süresi dağılım oranı belirlenmiştir.

Girilen bu değerlerin toplamı 1.000'e eşit olmalıdır. Girilen değerler negatif olmamalıdır. Girilen değerler, daha önce o durağa girilen ortalama bekleme süresiyle çarpılır. Böylece, bir durakta her otobüsün rasgele farklı sürelerde durması sağlanarak, gerçek durumla benzerlik sağlanmaya çalışılmıştır.

Örnek olarak bir durağa ortalama bekleme süresi olarak 50 sn ve durak çeşidi olarak 1 seçilmiş olsun. Bu durumda bir otobüsün o duraktaki bekleme süresi, 50 sn'nin rastgele olarak birinci satırdaki değerlerin biriyle çarpılıp 100'e bölünmesi sonucu elde edilen değer olur.

Duraklardaki duruş sürelerinin dağılım katsayıları (bağıl frekansları), ölçülen duruş sürelerinin sıklığından elde edilmiştir. Her bir durakta ölçülen bekleme süreleri gruplandırılmıştır. Duraklardaki en büyük ve en küçük bekleme süreleri bulunmuştur. Bu iki değer farkından yararlanarak ölçülen değerler 10 aralığa ayrılmıştır. Her bir aralığa gelen ölçüm sonuçları hesaplanmış ve 1000'delik değere çevrilmiştir (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.7 Sabah zirvesinde Avcılar – Zincirlikuyu arası durakların dağılım katsayıları

DURAKLAR	RASGELE SAYILAR ve DAĞILIM SAYILARI										TOPLAM
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ş.BEY	0	0	42	42	83	83	83	167	167	333	1000
İ.KAMPI	0	0	42	42	83	125	125	167	167	250	1000
K.ÇEKMECE	0	0	42	42	83	83	125	125	208	292	1000
CENNET	0	0	0	42	42	42	83	83	250	458	1000
Y.OVA	0	0	42	42	125	125	167	167	208	125	1000
SEFAKÖY	0	0	0	42	42	83	125	125	167	417	1000
Y.BOSNA	0	42	42	42	83	125	125	167	167	208	1000
Ş.EVLER	0	0	42	42	42	83	125	167	167	333	1000
B.EVLER	0	0	42	42	83	83	83	83	250	333	1000
İNCİRLİ	0	42	42	83	83	83	167	167	167	167	1000
Z.BURNU	0	42	42	42	42	125	125	167	208	208	1000
MERTER	0	0	0	42	42	83	167	208	208	250	1000
C.BAĞ	42	42	42	83	83	83	125	125	167	208	1000
TOPKAPI	0	0	0	42	42	83	167	167	208	292	1000
MALTEPE	0	0	0	0	0	0	42	167	208	583	1000
AMENDERES	0	0	0	0	0	42	42	42	42	875	1000
E.KAPI	0	0	42	42	83	125	125	167	208	208	1000
AYVANSARAY	0	0	42	42	83	83	83	125	250	292	1000
H.OĞLU	0	0	42	42	83	83	125	125	125	375	1000
OKMEYDANI	0	0	42	42	83	83	125	125	208	292	1000
PERPA	42	42	42	83	83	83	125	167	167	167	1000
OKMEYDANI	0	0	42	42	42	125	167	167	208	208	1000
ÇAĞLAYAN	0	42	42	42	42	83	125	208	208	208	1000
M.KÖY	0	0	42	42	42	42	125	167	167	375	1000

Bu çalışma, sabah zirve yönü olan Avcılar – Zincirlikuyu, Söğütlüçeşme – Edirnekapı arası ve akşam zirve yönü olan Zincirlikuyu – Avcılar, Edirnekapı – Söğütleşme hatları arasındaki duraklarda ayrı ayrı yapılmıştır. Duraklarda ölçülen duruş sürelerinden yararlanarak, duraklar, TSIS programının izin verdiği 6 tür olarak sınıflandırılmıştır.

Bu sınıflandırma, Statistica programı yardımıyla sabah ve akşam zirveleri için ayrı ayrı yapılmıştır. Sonuçlar dendogram yardımıyla görselleştirilmiştir.

Dendogram, kümeleme analizinin görsel bir sunuş halidir. Birleştirilmesi ve kümelenmesi uygun olan durumları ortaya koyan dendrogram, gerçek uzaklıklar yerine yeniden ölçeklendirilmiş bir uzaklık ölçümü kullanır. Dendrogram soldan sağa doğru okunur. Yatay çizgiler birleştirilmiş kümeleri, çizginin konumu ise kümenin hangi uzaklıkta birleştirildiğini gösterir. Çalışmada Ward'ın minimum varyans yöntemi kullanılmıştır.

Ward'ın Yöntemi: Minimum varyans yöntemi olarak da bilinen bu yaklaşım, bir kümenin ortasına düşen gözlemin, aynı kümenin içinde bulunan gözlemlerden ortalama uzaklığını ele alır ve toplam sapmaların karelerinden yararlanır (Denklem 4.1). Sıkça kullanılan hiyerarşik bir kümeleme yöntemidir (Ward, 1963).

$$ESS(X) = \sum_{i=1}^{n} \left(x_i - \bar{x}\right)^2 \tag{4.1}$$

Burada;

ESS = Karesel hataların toplamı (KHT) (Error of Sum of Squares)

x_i = Bir durağın i aralığındaki duruş sürelerinin frekansı

$\bar{x}$ = Bir durağın duruş süreleri frekanslarının ortalaması

n = Bir durağın duruş sürelerinin sınıf sayısı

Çalışmada Ward'ın yöntemiyle hesaplanan KHT değerleri, Kümeler Arası Ortalama Bağlantı (Average Between-Group Linkage Average (Between-Group) Linkage yöntemi ile gruplandırılmıştır.

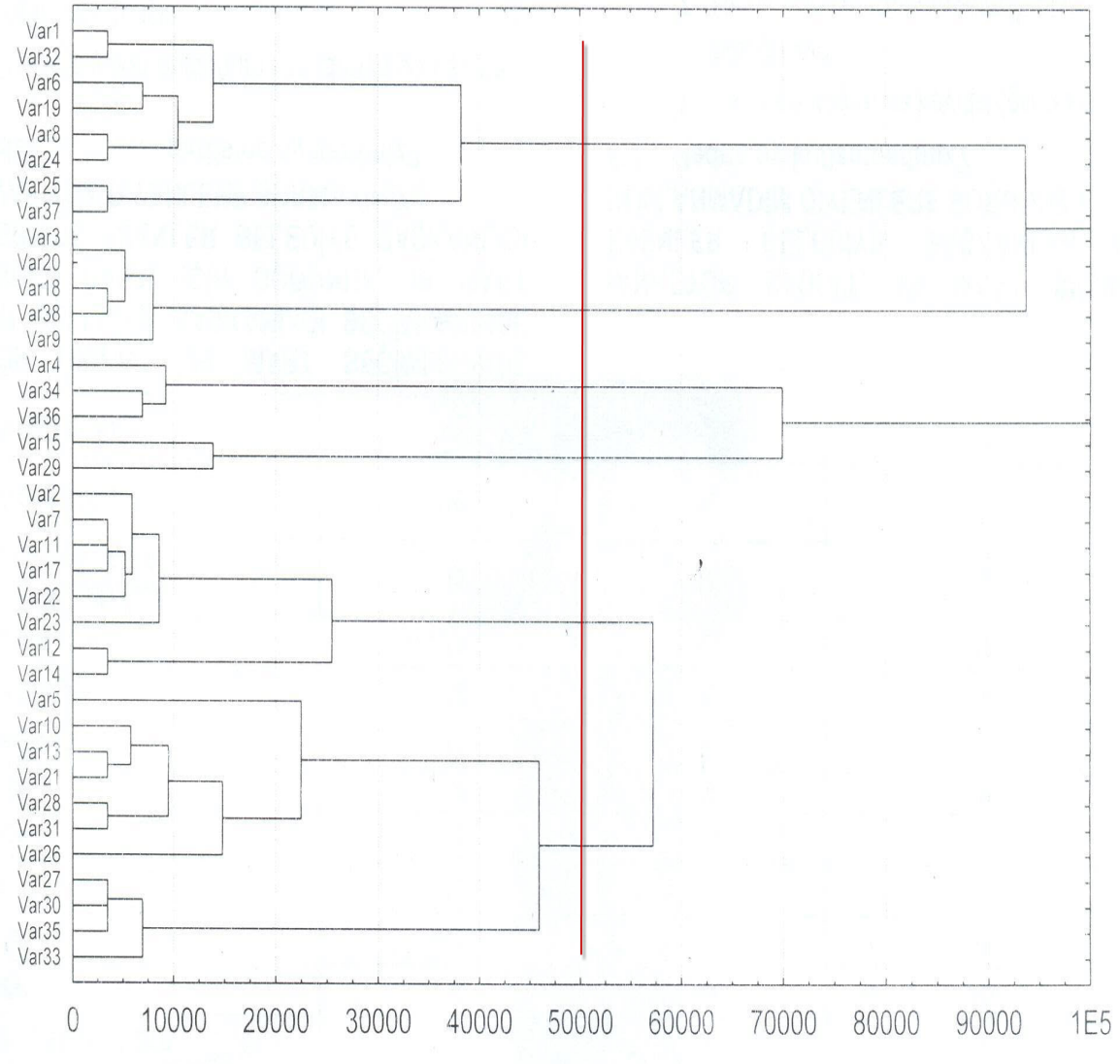
Kümeler Arası Ortalama Bağlantı Yöntemi:

Satır ve sütunlarında duraklar bulunan bir kare matriste, KHT değerleri birbirine en yakın olan durakların birleştirilmesiyle (aynı kümeye dahil edilmesiyle) yeni kümeler oluşturulur. Yeni kümelerin KHT değerleri, birleştirilen bileşenlerin KHT değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanır. Oluşturulan yeni kümelerin de bulunduğu matristeki uzaklıklardan yararlanarak yeni birleştirmeler yapılır. Bu işlem tüm duraklar tek bir kümede toplanana kadar sürer.

Sabah ölçümlerine ilişkin bir dendogram örneği Şekil 4.11'da verilmiştir. Dendrogramın solunda duraklara verilen numaralar yer almaktadır. Dendrogramda dikey olarak çizilen bir

çizgiyle, yataydaki 6 çizgi kesilerek, 6 durak tipi ve böylece herbir tipteki durak numaraları belirlenmiştir. Adnan Menderes durağının duruş sürelerinin frekansları diğer duraklardan çok farklı olduğundan, bu durak farklı bir tip olarak kabül edilip dendrogramda gösterilmemiştir. Ayrıca, simülasyon uygulamasında, şekildeki 2 ve 33 (Var2 ve Var 33) arasındaki duraklar da aynı tip olarak kabul edilmiştir.

Var1 – Var 33 değerleri 33 tane durağı temsil etmektedir.



Şekil 4.11 Sabah zirvesinde Avcılar – Zincirlikuyu ve Söğütlüçeşme – Edirnekapı arasındaki duraklara ait dendrogram

Buna göre sabah yapılan ölçümler sonucuna göre;

1.*durak tipinde olan duraklar*;

Avcılar – Zincirlikuyu yönünde: Şükrübey, Sefaköy, Şirinevler, Halıcıoğlu, Mecidiyeköy

Söğütlüçeşme – Edirnekapı yönünde: Fikirtepe, Mecidiyeköy, Halıcıoğlu

2.*durak tipinde olan duraklar*;

Avcılar – Zincirlikuyu yönünde: İETT Kampı, Y.Ova-Florya, Yenibosna-Kuleli, İncirli-Ömür, Z.Burnu Metro, Merter,Cevizlibağ, Topkapı, Edirnekapı, Perpa, SSK Okmeydanı Hst., Çağlayan

Söğütlüçeşme – Edirnekapı yönünde: Uzunçayır, Acıbadem, Altunizade, Boğazköprüsü, Zincirlikuyu, Çağlayan, Perpa

3.*durak tipinde olan duraklar*;

Avcılar – Zincirlikuyu yönünde: Küçükçekmece, Bahçelievler, Ayvansaray, Okmeydanı

Söğütlüçeşme – Edirnekapı yönünde: Ayvansaray

4.*durak tipinde olan duraklar*;

Avcılar – Zincirlikuyu yönünde: Cennet Mah.

Söğütlüçeşme – Edirnekapı yönünde : SSK Okmeydanı Hst., Okmeydanı

5.*durak tipinde olan duraklar*;

Avcılar – Zincirlikuyu yönünde: Maltepe

Söğütlüçeşme – Edirnekapı yönünde: Burhaniye Mahallesi

6.*durak tipinde olan duraklar*;

Avcılar – Zincirlikuyu yönünde: Adnan Menderes Bulv.

Akşam yapılan ölçümler sonucuna göre;

1.*durak tipinde olan duraklar*;

Zincirlikuyu – Avcıar yönünde: Mecidiyeköy, SSK Okmeydanı Hst., Perpa, Ayvansaray, Edirnekapı, Topkapı, Şirinevler, Yenibosna-Kuleli, İett Kampı, Şükrübey

Edirnekapı - Söğütlüçeşme yönünde: Ayvansaray, Perpa, SSK Okmeydanı Hst., Çağlayan, Boğazköprüsü, Uzunçayır

2.*durak tipinde olan duraklar*;

Zincirlikuyu – Avcılar yönünde: Çağlayan, Halıcıoğlu, İncirli-Ömür

Edirnekapı - Söğütlüçeşme yönünde: Burhaniye Mah., Altunizade, Acıbadem, Fikirtepe

3.*durak tipinde olan duraklar*;

Zincirlikuyu – Avcılar yönünde: Okmeydanı, Cevizlibağ, Merter

Edirnekapı - Söğütlüçeşme yönünde: Mecidiyeköy, Zincirlikuyu

4.*durak tipinde olan duraklar*;

Zincirlikuyu – Avcıar yönünde: Adnan Menderes Bulv.

Edirnekapı - Söğütlüçeşme yönünde: -

5.*durak tipinde olan duraklar*;

Zincirlikuyu – Avcıar yönünde: Z.Burnu- Metro, Bahçelievler, Sefaköy, Cennet Mah.

Edirnekapı - Söğütlüçeşme yönünde: Halıcıoğlu, Okmeydanı

6.*durak tipinde olan duraklar*;

Zincirlikuyu – Avcıar yönünde: Y.Ova-Florya, Küçükçekmece, Maltepe

Edirnekapı - Söğütlüçeşme yönünde: -

Dendorogram yardımıyla gruplandırılan durakları temsil edecek duruş sürelerinin dağılım katsayıları (bağıl frekansları), Çizelge 4.9'da gösterildiği gibi o duraklara ait dağılım katsayılarının ortalaması alınarak elde edilmiştir.

Çizelge 4.9 Sabah Avcılar – Zincirlikuyu Zirvesinde 1 nolu durak tipinin ortalama dağılım katsayılarınının hesabı

Ş.bey (1)	S.köy (6)	Ş.evler (8)	H.oğlu (19)	M.köy (24)	F.tepe (25)	M.köy (32)	H.oğlu (37)	Ortalama
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	42	42	10
42	0	42	42	42	42	42	42	36
42	42	42	42	42	42	42	42	42
83	42	42	83	42	42	83	42	57
83	83	83	83	42	83	83	42	73
83	125	125	125	125	83	83	83	104
167	125	167	125	167	125	125	125	141
167	167	167	125	167	125	167	125	151
333	417	333	375	375	458	333	458	385

4.4. Hata ve Kabuller

Hata ve kabuller bir kalibrasyon değildir yani kalibrasyon aşamasında yapıldığı gibi yanlışlıkların düzeltildiği bir aşama değildir. Hata testi, kurulan modelde, basitleştirmeden ve yapılan kabullerden kaynaklanan hataların saptanması için gerçekleştirilir. Metrobüs simülasyonu için kurulan modelde de kabuller ve bazı basitleştirmeler, yani hatalar vardır. Hata testi aşamasında yapılan diğer bir çalışma ise, girilen verilerin gözden geçirilmesidir. Bu kapsamda ağ bağlantıları, bağ geometrisi gözden geçirilmiş ve gerekli görülen düzeltmeler yapılmıştır.

Modellemede yapılan kabuller şu şekilde sıralanabilir;

Metrobüsün Avrupa – Asya geçişinde, Yıldız katılımından Burhaniye Mahallesi durağına kadarki O-1 yolunda (Boğaziçi Köprüsü ve gişelerde) serbest hızın 50 km/sa olduğu kabul edilmiştir. Aynı şekilde Asya – Avrupa geçişinde Burhaniye Mahallesinden Beşiktaş katılımına kadarki O-1 yolunda (Gişeler ve Boğaziçi Köprüsü'nde) serbest hız 50 km/sa olarak kabul edilmiştir. Hattın geri kalan kısımlarda serbest hız 70 km/sa olarak kabul edilmiştir.

Hatlar üzerinde tek tip taşıt çalıştığı ve taşıtların % 90 doluluk oranıyla işletildiği kabul edilmiştir. Ayrıca her taşıtın uzunluğunun 25 m olduğu kabul edilmiştir. Taşıtların hızlanma ve yavaşlama ivme değerleri için, programın kendi değerleri (varsayılan değerler) kullanılmıştır.

Ancak metrobüs hattı üzerinde 3 farklı taşıt çalışmaktadır. Bunlar Mercedes'in CapaCity ve Citaro ve Hollanda'dan alınan Phileas otobüsleridir (Şekil 4.12a-b-c).

CapaCity ve Phileas modeli otobüslerde, taşıt uzunluğuna oranla daha az oturma yeri sağlanmış, bu şekilde yolcu dolaşımı arttırılmıştır. Böylece yolcuların taşıta biniş ve inişi için gereken duruş süresi azaltılmıştır. Taşıt kapasiteleri geleneksel otobüslerden daha fazla oldugu ve kendisine ayrılmış şeritlerde, diger trafikten etkilenmeden yolculukların yapabildiği için, sistemin hız ve kapasitesi geleneksel otobüs sistemlerine göre daha yüksektir.



Şekil 4.12a Mercedes CapaCity aracından bir görünüm



Şekil 4.12b Mercedes Citaro aracından bir görünüm



Şekil 4.12c Hollanda'dan alınan Phileas aracından bir görünüm

Avcılar – Söğütlüçeşme metrobüs hattında kullanılan taşıtların teknik özellikleri Çizelge 4.10'da gösterilmiştir. (Güven, 2008).

Çizelge 4.10 Metrobüs hattında kullanılan taşıt tiplerinin özellikleri

Model	**Phileas**	**CapaCity**	**CITARO**
Konfigürasyon	2 körüklü (26m)	Tek körüklü (19m)	Tek körüklü (18m)
Döşeme yüksekliği	Düşük	Düşük	Düşük
Kapı sayısı	4	4	4
Otobüs kapasitesi (oturan sayısı)	52	42	45
Yolcuların ayakta durabileceği alan (m^2)	30	25	20
Otobüs kapasitesi (ayakta sayısı; 4 kişi/m^2)	120	100	80
Toplam yolcu kapasitesi (oturan ve ayakta)	172	142	125
Çekim sistemi (hibrid/içten yanmalı)	4 zamanlı paralel hibrid sistem (dizel ve cer motor)	-	4 zamanlı dizel motor, pld yakıt sistemi
Yakıt	Dizel+elektrik	Dizel	Dizel
Emisyon standardı	Euro IV	Euro III	Euro III
Tekerlekli sandalye güvenlik tipi	Geriye doğru duruş pozisyonu	Geriye doğru duruş pozisyonu	Geriye doğru duruş pozisyonu
Uzunluk (m)	26,04	19,54	17,94
Genişlik (m)	2,54	2,55	2,55
Yükseklik (m)	2,95	3,16	3,08
Boş ağırlık (kg)	21530	18550	16758
Azami yüklü ağırlık (kg)	34600	32000	26278
Minimum dönüş yarıçapı (m)	12,50	22,85	11,41
En yüksek hız (km/sa)	85	80	60

4.5. Modelin Kalibrasyonu

Modelin kalibrasyonunda, işletilen otobüslerin yolculuk süreleri alınmıştır. Bunun için, modeldeki taşıtların, hat bazında, terminaller arasındaki ortalama yolculuk süreleri, sahada ölçülen değerler ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada toplam yolculuk sürelerindeki sapma aralığı ± 3 dk olarak kabul edilmiştir.

Sabah zirvesinde, Avcılar – Söğütlüçeşme yönünde incelenen 34, 34T ve Söğütlüçeşme – Edirnekapı yönünde incelenen 34A, 34A (Zincirlikuyu) hatlarında çalışan taşıtların sahada ölçülen ve modeldeki, 10 çalışma sonucu elde edilen, ortalama yolculuk süreleri Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.11 Sabah zirvesinde hatların terminaller arası yolculuk süreleri (Dakika:Saniye)

HATLAR	SAHA ÖLÇÜMLERİ	SİMÜLASYON SONUÇLARI	FARK
34	43:36	44:29	00:53
34T	26:49	27:12	00:23
34A	33:47	33:51	00:04
34A (ZİN)	18:55	19:03	00:08

Akşam zirvesinde, Zincirlikuyu – Avcılar yönünde incelenen 34, 34T ve Edirnekapı – Söğütlüçeşme yönünde incelenen 34A, 34A (Zincirlikuyu) hatlarında çalışan taşıtların sahada ölçülen ve modeldeki, 10 çalışma sonucu elde edilen, ortalama yolculuk süreleri Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.12 Akşam zirvesinde hatların terminaller arası yolculuk süreleri (Dakika:Saniye)

HATLAR	SAHA ÖLÇÜMLERİ	SİMÜLASYON SONUÇLARI	FARK
34	41:27	43:50	02:23
34T	26:46	27:50	01:04
34A	31:31	32:29	00:58
34A (ZİN)	18:06	18:32	00:26

Bulunan sonuçlar doğrultusunda, hazırlanan simülasyon modelinin gerçeğe yakın olduğu söylenebilir. Sonuçların aynı çıkmamasının nedenlerini, yukarıda (hata testi kısmında) da belirtildiği gibi, yapılan bazı kabuller ve değiştirilemeyen bazı değerlerdir. Bunlara ek olarak metrobüs sürücülerinin sürüş anındaki davranışları ve benzer şekilde yolcu davranışları da bulunan sonuçların değişmesinde etkili olamaktadır.

4.6. Seçenek Analizi

Mevcut durumun yansıtıldığı her iki yöne ait modellerin kalibrasyon aşaması bitirildikten sonra, yapılan çalışmanın amacına uygun olarak, sabah ve akşam zirvelerinde metrobüs hatlarının verimliliğin araştırılmasına yönelik senaryolar üretilmiştir.

Çalışmada durak çeşitleri, terminallerdeki izleme süreleri, durakta durmadan geçme (pass) yüzdeleri ve duraklarda bekleme süreleriyle ilişkili bazı senaryolar oluşturulmuştur. Oluşturulan sabah senaryolarındaki kabuller Çizelge 4.13'te verilmiştir.

Çizelge 4.13 Sabah senaryolarındaki durak çeşitleri, terminal izleme süreleri, durmadan geçme (pass) yüzdeleri ve duraklarda bekleme süreleri

SABAH SENARYOLARI	Durak Çeşitleri	Terminal İzleme Süreleri Türü	Durmadan Geçme Yüzdeleri	Duraklardaki Duruş Süreleri
1. Senaryo	Değiştirilmiş	A	Gerçek	Gerçek
2. Senaryo	Değiştirilmiş	B	Gerçek	Gerçek
3. Senaryo	Değiştirilmiş	C	Gerçek	Gerçek
4. Senaryo	Değiştirilmiş	D	Gerçek	Gerçek
5. Senaryo	Değiştirilmiş	E	Gerçek	Gerçek
6. Senaryo	Değiştirilmiş	F	Gerçek	Gerçek
7. Senaryo	Değiştirilmiş	G	Gerçek	Gerçek
8. Senaryo	Gerçek	A	Gerçek	Gerçek
9. Senaryo	Gerçek	B	Gerçek	Gerçek
10. Senaryo	Gerçek	C	Gerçek	Gerçek
11. Senaryo	Gerçek	D	Gerçek	Gerçek
12. Senaryo	Gerçek	E	Gerçek	Gerçek
13. Senaryo	Gerçek	F	Gerçek	Gerçek
14. Senaryo	Gerçek	G	Gerçek	Gerçek
15. Senaryo	Değiştirilmiş	E	Değiştirilmiş	Gerçek
16. Senaryo	Gerçek	E	Gerçek	Maks
17. Senaryo	Gerçek	E	Gerçek	Min
18. Senaryo	Gerçek	E	Gerçek	Ort

Sabah zirvesi için ilk 7 senaryoda, duraklardaki dağılım katsayıları değiştirilmiş (yani, katsayıların eşdeğer olduğu kabul edilmiş), bununla birlikte Avcılar – Zincirlikuyu ve Söğütlüçeşme – Edirnekapı hatları için Avcılar ve Söğütlüçeşme terminallerindeki izleme süreleri de eş zamanlı olarak değiştirilmiştir. Buna göre, terminallerdeki değiştirilmiş izleme süreleri Çizelge 4.14'te verilmiştir. Avcılar ve Söğütlüçeşme terminallerindeki izleme süre çiftleri (türleri) A-G temsil edilmiştir. 8-14 senaryolarında, duraklardaki dağılım katsayıları gerçek değerlerinde bırakılarak terminallerdeki izleme süreleri değiştirilmiştir. 15. Senaryoda duraklardaki dağılım katsayıları değiştirilmiş ve tüm taşıtların her durakta durduğu (pass geçmediği) kabul edilmiştir. 16. 17. ve 18. Senoryalarda duraklardaki kapı açma – kapı kapama zaman farkından bulunan duraklardaki duruş sürelerinin, sırasıyla, o hattaki en büyük (Maks) 32 sn, en küçük (Min) 9 sn ve ortalama (Ort) 16 sn olduğu kabül edilmiştir. Çizelge 4.12'deki 12. Senaryo "Gerçek" durumu temsil etmektedir.

Çizelge 4.14 Sabah zirvesinde terminallerdeki değiştirilmiş izleme süreleri (sn)

Terminal İzleme Süreleri Türü	Avcılar Terminali	Söğütlüçeşme Terminali
A	70	120
B	60	110
C	50	100
D	40	90
E	31 (Gerçek)	78 (Gerçek)
F	25	70
G	20	60

Akşam zirvesi için de benzer senaryolar oluşturulmuştur. Akşam zirvesi için ilk 7 senaryoda, duraklardaki dağılım katsayıları değiştirilmiş (yani, katsayıların eşdeğer olduğu kabul edilmiş), bununla birlikte Zincirlikuyu - Avcılar ve Edirnekapı – Söğütlüçeşme hatların için Zincirlikuyu ve Edirnekapı terminallerindeki izleme sürelerinin de eş zamanlı olarak değiştirilmiştir. 8-14 senaryolarında, duraklardaki dağılım katsayıları gerçek değerlerinde bırakılarak terminallerdeki izleme süreleri de eş zamanlı değiştirilmiştir. 15. Senaryoda duraklardaki dağılım katsayıları değiştirilmiş ve tüm taşıtların her durakta durduğu (pass geçmediği) kabul edilmiştir. 16. 17. ve 18. Senaryolarda duraklardaki kapı açma – kapı kapama zaman farkından bulunan duraklardaki duruş sürelerinin, sırasıyla, o hattaki en büyük (EB) 33 sn, en küçük (EK) 9 sn ve ortalama (Ort) 16 sn olduğu kabül edilmiştir. Çizelge 4.15'te verilmiştir.

Çizelge 4.15 Akşam senaryolardaki durak çeşitleri, terminalden izleme süreleri, durmadan geçme (pass) yüzdeleri ve duraklarda bekleme süreleri

AKŞAM SENARYOLARI	Durak Çeşitleri	Terminal İzleme Süreleri Türü	Durmadan Geçme Yüzdesi	Duraklardaki Duruş Süreleri
1. Senaryo	Değiştirilmiş	A	Gerçek	Gerçek
2. Senaryo	Değiştirilmiş	B	Gerçek	Gerçek
3. Senaryo	Değiştirilmiş	C	Gerçek	Gerçek
4. Senaryo	Değiştirilmiş	D	Gerçek	Gerçek
5. Senaryo	Değiştirilmiş	E	Gerçek	Gerçek
6. Senaryo	Değiştirilmiş	F	Gerçek	Gerçek
7. Senaryo	Değiştirilmiş	G	Gerçek	Gerçek
8. Senaryo	Gerçek	A	Gerçek	Gerçek
9. Senaryo	Gerçek	B	Gerçek	Gerçek
10. Senaryo	Gerçek	C	Gerçek	Gerçek
11. Senaryo	Gerçek	D	Gerçek	Gerçek
12. Senaryo	Gerçek	E	Gerçek	Gerçek
13. Senaryo	Gerçek	F	Gerçek	Gerçek
14. Senaryo	Gerçek	G	Gerçek	Gerçek
15. Senaryo	Değiştirilmiş	E	Değiştirilmiş	Gerçek
16. Senaryo	Gerçek	E	Gerçek	Maks
17. Senaryo	Gerçek	E	Gerçek	Min
18. Senaryo	Gerçek	E	Gerçek	Ort
19. Senaryo	Değiştirilmiş	X	Gerçek	Gerçek
20. Senaryo	Değiştirilmiş	Y	Gerçek	Gerçek
21. Senaryo	Değiştirilmiş	Z	Gerçek	Gerçek

Zincirlikuyu ve Edirnekapı terminallerinde değiştirilen izleme süreleri Çizelge 4.16'da verilmiştir. Çizelge 4.15'teki 11. Senaryo "Gerçek" durumu temsil etmektedir.

Çizelge 4.16 Akşam zirvesinde terminallerdeki değiştirilmiş izleme süreleri (sn)

Terminal İzleme Süreleri Türü	Zincirlikuyu – Avcılar	Edirnekapı – Söğütlüçeşme
A	70	130
B	60	120
C	50	110
D	42 (Gerçek)	104 (Gerçek)
E	35	90
F	30	80
G	20	70

19. 20. ve 21. Senaryolarda, Edirnekapı – Söğütlüçeşme (34A) taşıtları arasındaki izleme sürelerinin kısaltılmasının, akşam zirvesindeki trafik koşullarına etkisi incelenmiştir. Bunun için, Söğütlüçeşme – Edirnekapı yönünde seyreden taşıtların izleme süreleri Zincirlikuyu terminalinde azaltılmış, bu azaltmanın sisteme olan etkisi (yön bazında) incelenmiştir. Ayrıca Edirnekapı – Söğütlüçeşme yönünde seyreden 34A taşıtlarının izleme süreleri Edirnekapı terminalinde azaltılmış, bu azaltmanın akşam zirvesinde sisteme olan etkisi (yön bazında) incelenmiştir. Söğütlüçeşme – Edirnekapı yönünde 34A taşıtları arasındaki izleme sürelerinin Zincirlikuyu terminalinde azaltılmasının nedeni, akşam zirvesinin Zincirlikuyu – Avcılar yönünde olmasıdır. Değiştirilen terminal verileri Çizelge 4.17'de verilmiştir.

Çizelge 4.17 Zincirlikuyu ve Edirnekapı terminallerinde 34A taşıtları için değiştirilen izleme süreleri (sn)

Terminal İzleme Süreleri Türü	Söğütlüçeşme – Edirnekapı yönü (Zincirlikuyu Terminali)	Edirnekapı – Söğütleçeşme yönü (Edirnekapı Terminali)
	142 (Gerçek)	104 (Gerçek)
X	52	53
Y	42	43
Z	32	33

4.7. Simülasyon Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Oluşturulan senaryoların simülasyon sonuçları çeşitli etkinlik ölçütleri bazında elde edilmiştir. Bulunan tüm sonuçlar, rasgele değişkenlerle modelin tekrarlı olarak 10 kez çalıştırılmasından elde edilen ortalama değerlerdir.

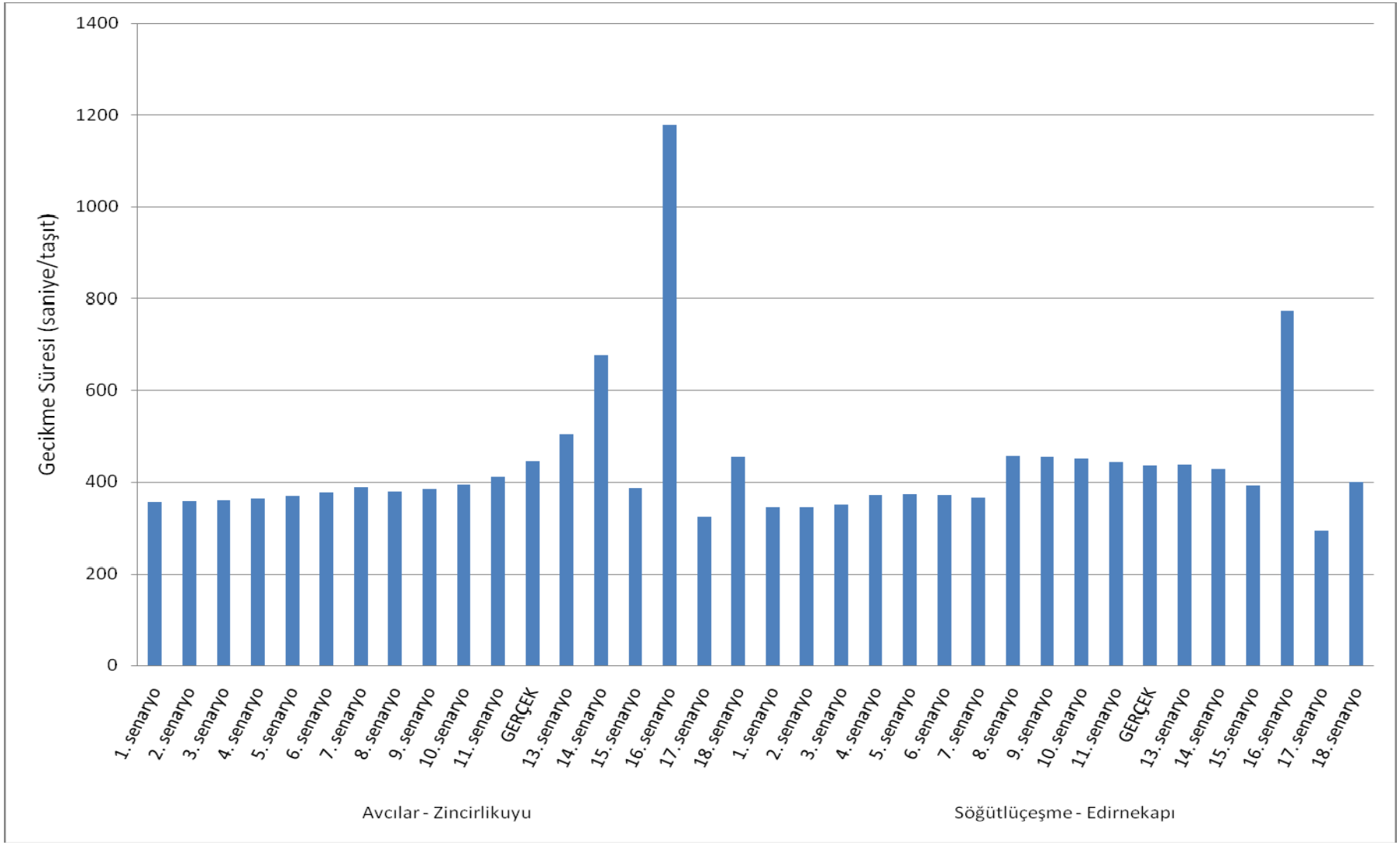
Çalışmada, gerçek durumu yansıtan simülasyon modeli ile geliştirilen senaryolardan elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Buna göre sabah Avcılar – Zincirlikuyu ve Söğütlüçeşme – Edirnekapı koridorlarında, ayrıca akşam Zincirlikuyu – Avcılar ve Edirnekapı – Söğütlüçeşme geçkilerinde etkinlik ölçütleri olarak yolculuk boyunca ortalama kayıp süreler, ortalama hızlar, ortalama yolculuk süreleri ve toplam yakıt tüketimi incelenmiştir. Bunlara ek olarak, bazı senaryolar için ortalama kayıp sürelerin koridor boyunca değişimi incelenmiştir.

Sabah ve akşam zirvelerinde ilk yarım saat (30 dk) göz önüne alınmamıştır. Bunun nedeni, simülasyon modeli oluşturulan hattın ilk yarım saatlik ısınma sürecinde boş olmasıdır.

Buna göre, sabah zirvesi için elde edilen ortalama gecikme süreleri senaryo bazında Şekil.4.13'te verilmiştir. Duraklardaki dağılım katsayılarının eşdeğer olduğu ve terminallerdeki izleme sürelerinin değiştirildiği 1-7 senaryolarında, gecikme süreleri, gerçek ortalama gecikme süresinden düşük çıkmıştır. Duraklardaki gerçek dağılım katsayılarının kullanılıp terminallerdeki izleme sürelerinin değiştirildiği 8-14 senaryolarında, gecikme sürelerinin artığı görülmüştür. En büyük gecikme süresi her iki yön için, tüm duraklardaki bekleme sürelerinin en büyük (EB) kabul edildiği 16. senaryoda görülmüştür.

Şekil 4.13'te, duruş süreleri dağılımının eşdeğer olması (1-7 Senaryoları), taşıtların durak bazında eşit süre beklediği anlamına gelmektedir (her durağın gerçek ortalama duruş süresi dikkate alınmıştır). Bu senaryolarda terminal izleme sürelerinin kısalmasına karşın (Çizelge 4.13), duraklardaki düzenli duruş, toplam gecikmeleri arttırmamıştır. 8-14 Senaryolarınında gerçek durak dağılım katsayılarının kullanılmasıyla beraber terminal izleme sürelerinin kısalması, sistemdeki düzensizliği ve dolayısıyla ortalama gecikme sürelerinin artmasına neden olmuştur.

Gecikme süresi 3 tür gecikme toplamından oluşur. Bunlar, aracın durakta bekleme süresi, durağa yaklaşırken yavaşlama ve duraktan ayrılırken hızlanma ivmeleri nedeniyle oluşan kayıp süreler ve taşıt demetlenmerinin neden olduğu sürelerin toplamıdır.



Şekil 4.13 Sistemdeki gecikme sürelerinin sabah senaryolarına göre değişimi

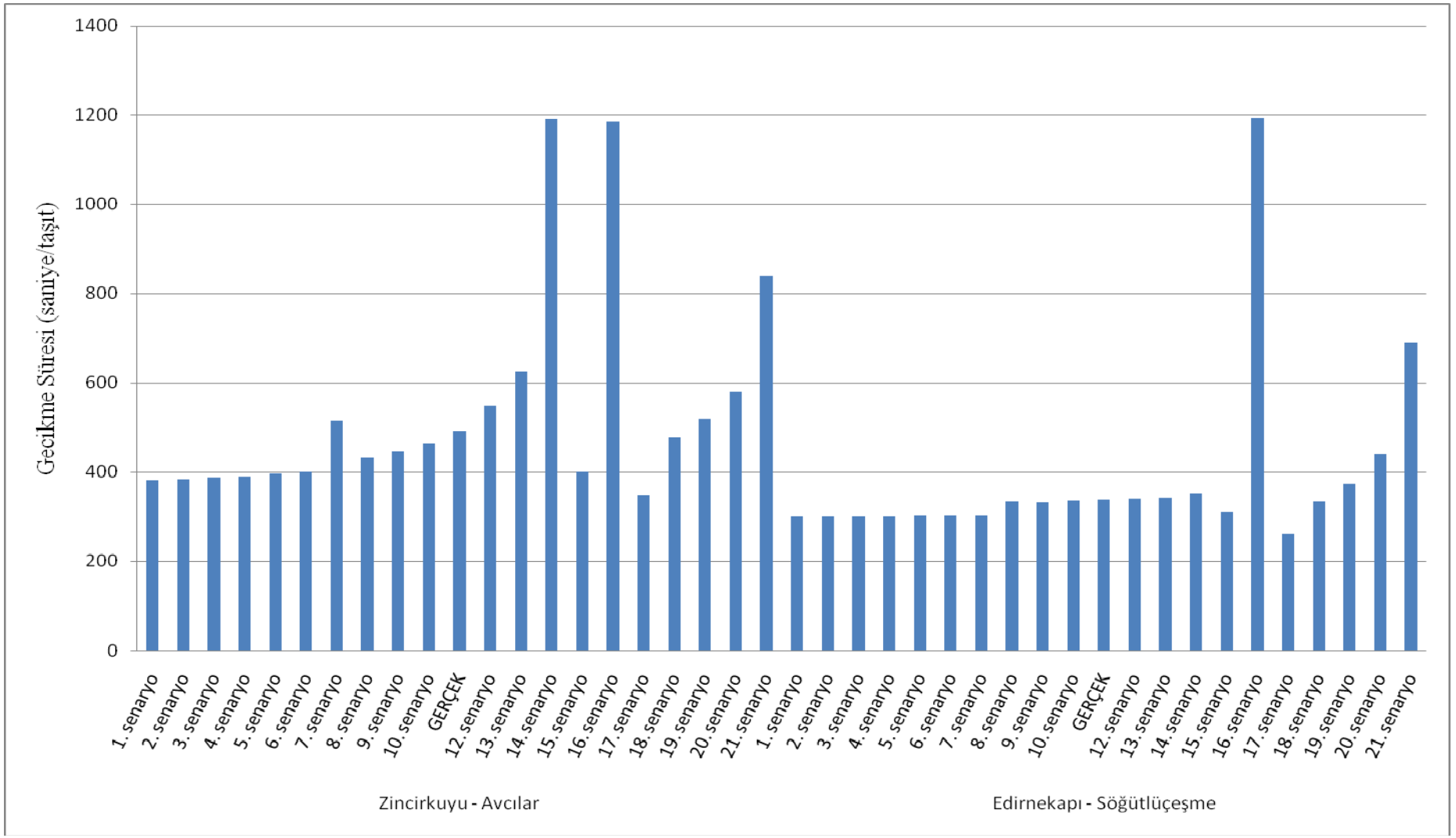
Akşam zirvesi için elde edilen ortalama gecikme süreleri senaryo bazında Şekil.4.14'te verilmiştir. Duraklardaki dağılım katsayılarının eşdeğer olduğu ve terminallerdeki izleme sürelerinin değiştirildiği 1-7 senaryolarında, gecikme süreleri, 7.senaryo hariç, gerçek ortalama gecikme süresinden düşük çıkmıştır. Duraklardaki gerçek dağılım katsayılarının kullanılıp terminallerdeki izleme sürelerinin değiştirildiği 8-14 senaryolarında, gecikme sürelerinin arttığı görülmüştür. En büyük gecikme süresi her iki yön için, tüm duraklardaki bekleme sürelerinin en fazla (Maks) kabul edildiği 16. senaryoda görülmüştür. 1-7 Senaryolarına benzer olarak 19. 20. ve 21. Senaryolarda, durak duruş dağılım katsayılarının eşdeğer olduğu ve terminallerdeki izleme sürelerinin değiştirildiği durumda, ortama gecikme sürelerinde artış gözlenmiştir.

Sonuç olarak sabah ve akşam zirveleri için;
Terminallerdeki izleme sürelerinin azaltıldığı ve duraklardaki dağılım katsayılarının eşdeğer olmadığı (gerçek) durumlarda, taşıtların birbirleriyle daha fazla etkileşim içine girdiği ve gecikme sürelerinin arttığı gözlenmiştir.

Duraklardaki dağılım katsayılarının eşdeğer kabul edildiği, terminallerden kalkış sürelerinin sahadaki gerçek durumdan alındığı ve tüm taşıtların duraklarda bekleme yaptığı (pass geçmediği) 15. Senaryoda bulunan gecikme sürelerinin, gerçek durumdaki gecikme sürelerinden az olduğu görülmüştür.

Duraklardaki bekleme sürelerinin en fazla (Maks), en az (Min) ve ortalama (Ort) olarak kabul edildiği 16. 17. ve 18. senaryolarda, gecikme sürelerinin sırasıyla büyük ölçüde arttığı, azaldığı ve değişmediği gözlenmiştir.

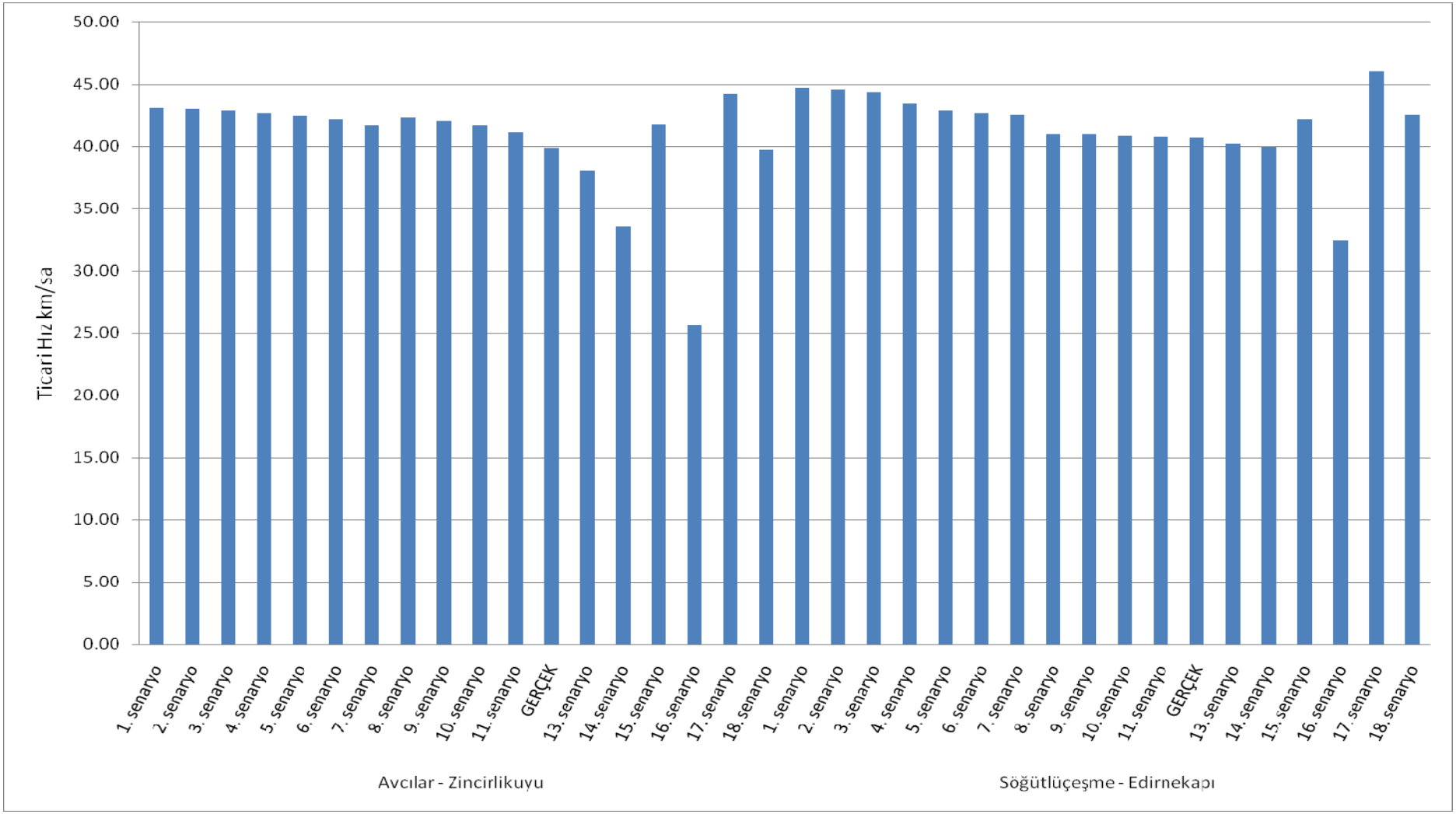
Ayrıca sistemde denetim ve kontrolün arttığı, tüm durakların aynı dağılım katsayısına sahip olduğu 1-7 senaryolarında, her aracın her durakta durduğu (pass geçişin olmadığı) 15. senaryoda ve her aracın her durakta eşit süre beklediği (sistem bazında ortalama) 18. Senaryoda, sistemin gecikme sürelerinde iyileşmeler gözlenmiştir.



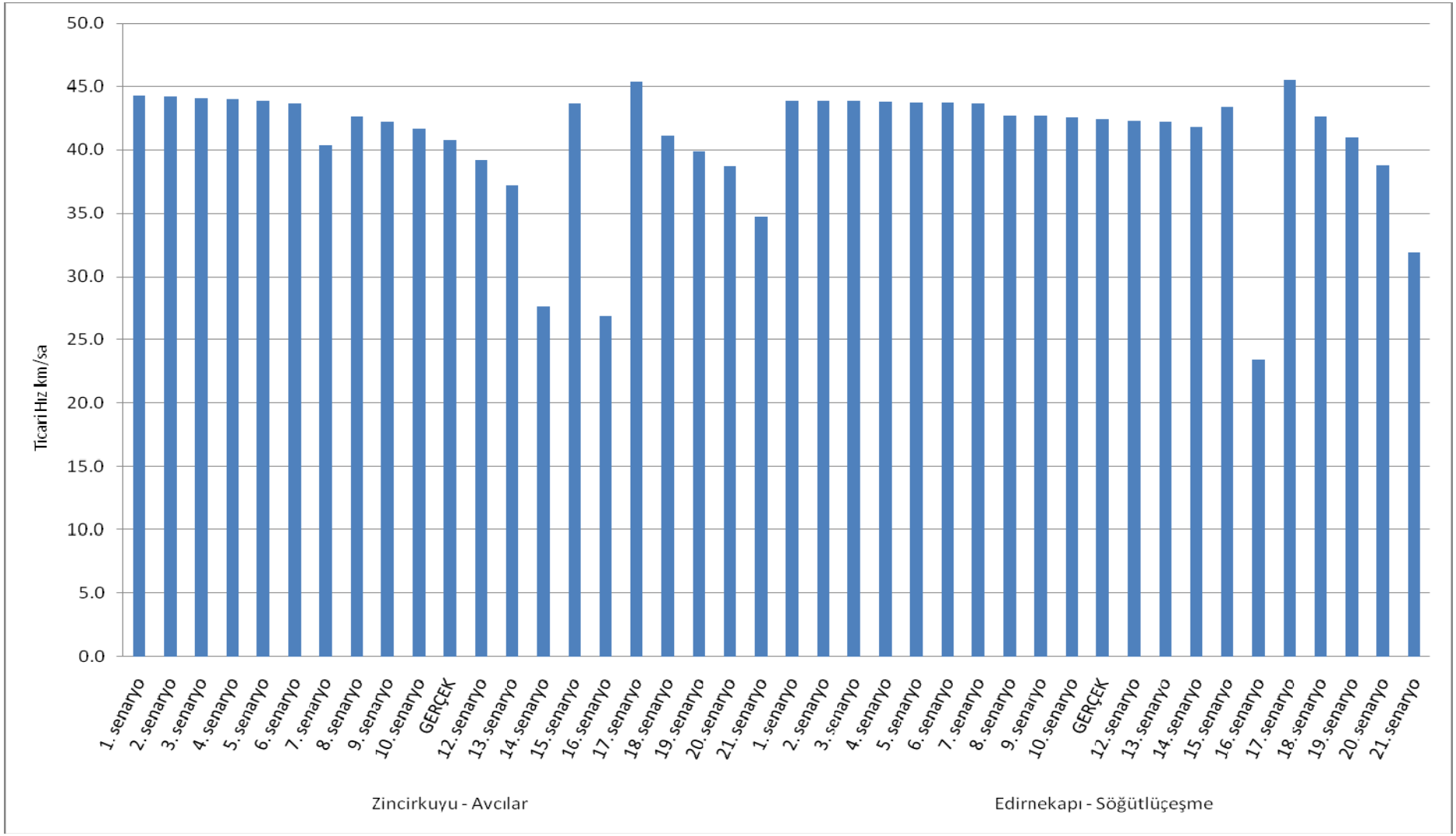
Şekil 4.14 Sistemdeki gecikme sürelerinin akşam senaryolarına göre değişimi

Ortalama hızların senaryo bazında incelenmesi

Sabah ve akşam zirvelerinde hatlardaki taşıtların ortalama hızları, sırasıyla, Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da gösterilmiştir. Taşıtların hızları, incelenen hat üzerinde değiştirilmiş terminal izleme sürelerine ve buna bağlı olarak o hat üzerinde çalışan taşıt sayısına bağlıdır. Hat üzerindeki taşıt sayısı arttıkça buna bağlı olarak taşıtların birbirleri ile etkilişimleri de artmakta ve taşıtların ortalama hızları azalmaktadır. Durakta bekleme sürelerinin en fazla olduğu 16. Senaryoda hızların oldukça azaldığı görülmektedir. Sistem genelinde sabah ve akşam zirvelerinde her iki yönde taşıt hızlarının yaklaşık 40 km/sa ile 45 km/sa aralığında değiştiği gözlenmiştir.



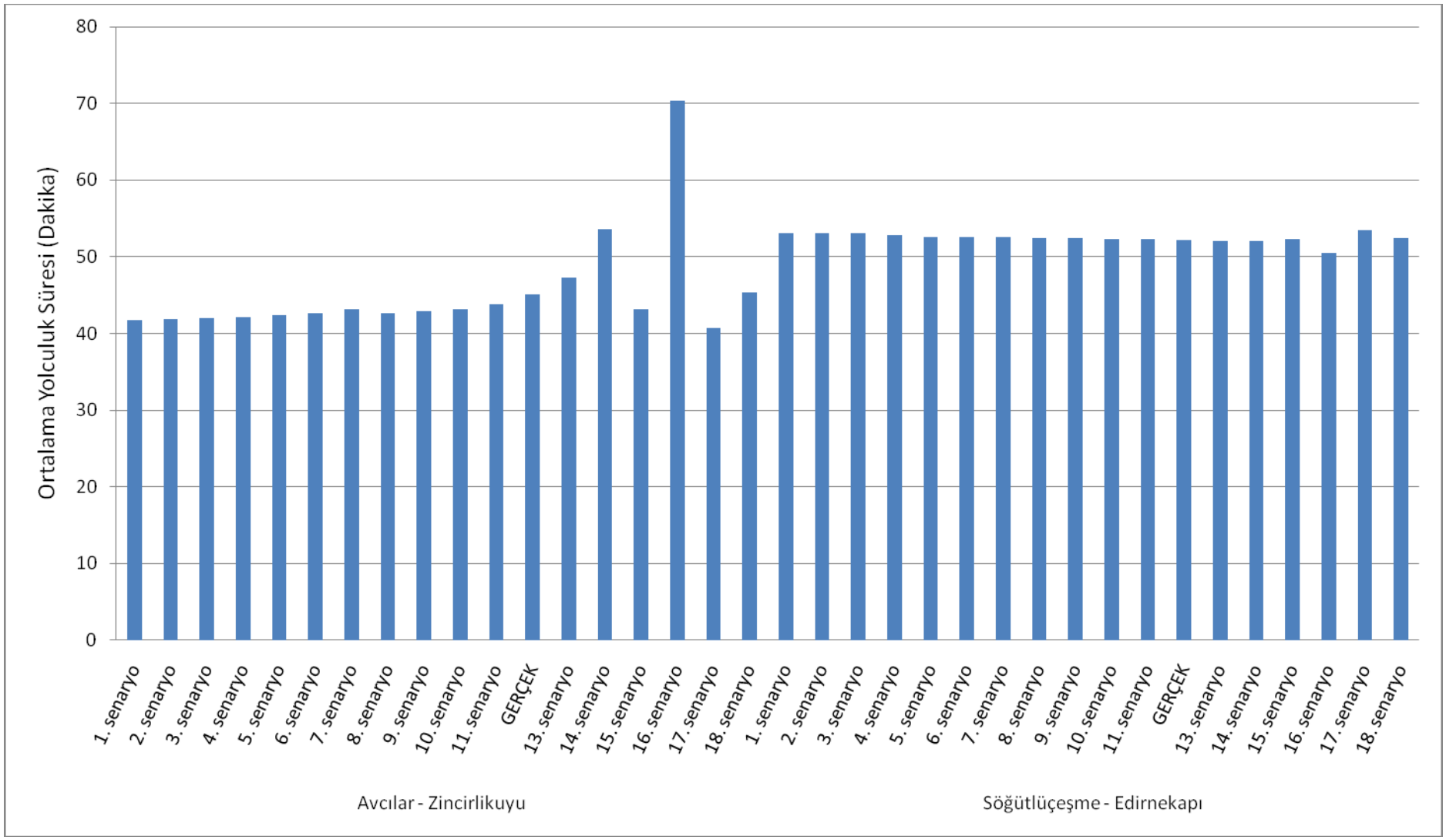
Şekil 4.15 Taşıt hızlarının sabah senaryolarına göre değişimi



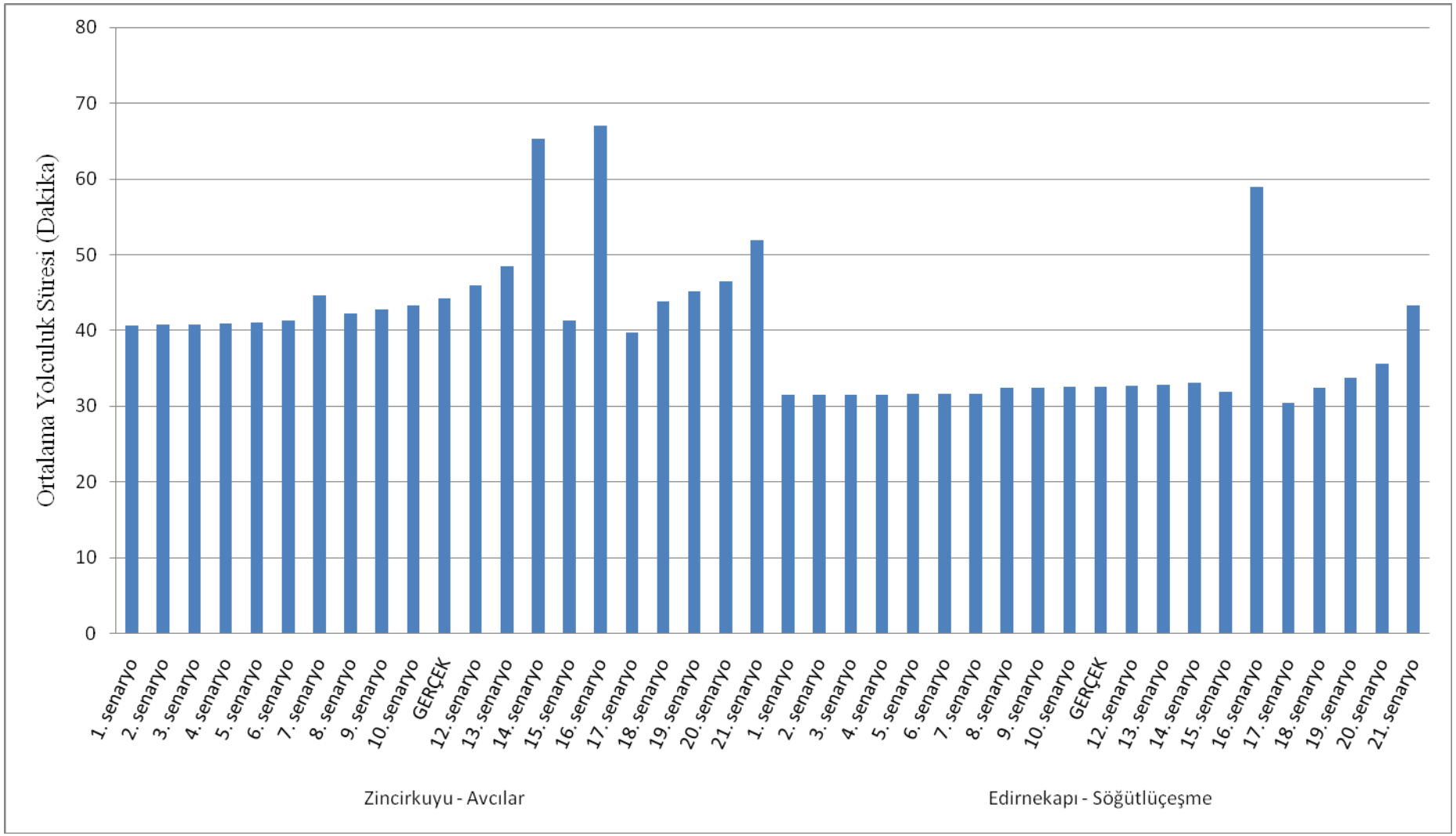
Şekil 4.16 Taşıt hızlarının akşam senaryolarına göre değişimi

Yolculuk sürelerinin senaryo bazında incelenmesi

Sabah ve akşam zirvelerinde terminaller arası ortalama yolculuk süreleri Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'de verilmiştir. Toplam yolculuk süresi, taşıtların birbirleriyle etkileşimlerinden kaybettikleri süre ve duraklarda bekleme sebebiyle kaybettikleri sürelerin toplamı olan ortalama kayıp süre ve taşıtların hareket halindeyken geçen hareketli sürelerin toplamı olarak gösterilmiştir. Her iki zirve için de terminallerdeki izleme sürelerinin azaltılması durumunda, sisteme daha fazla taşıt gireceği için, toplam yolculuk sürelerinde artış görülmüştür.



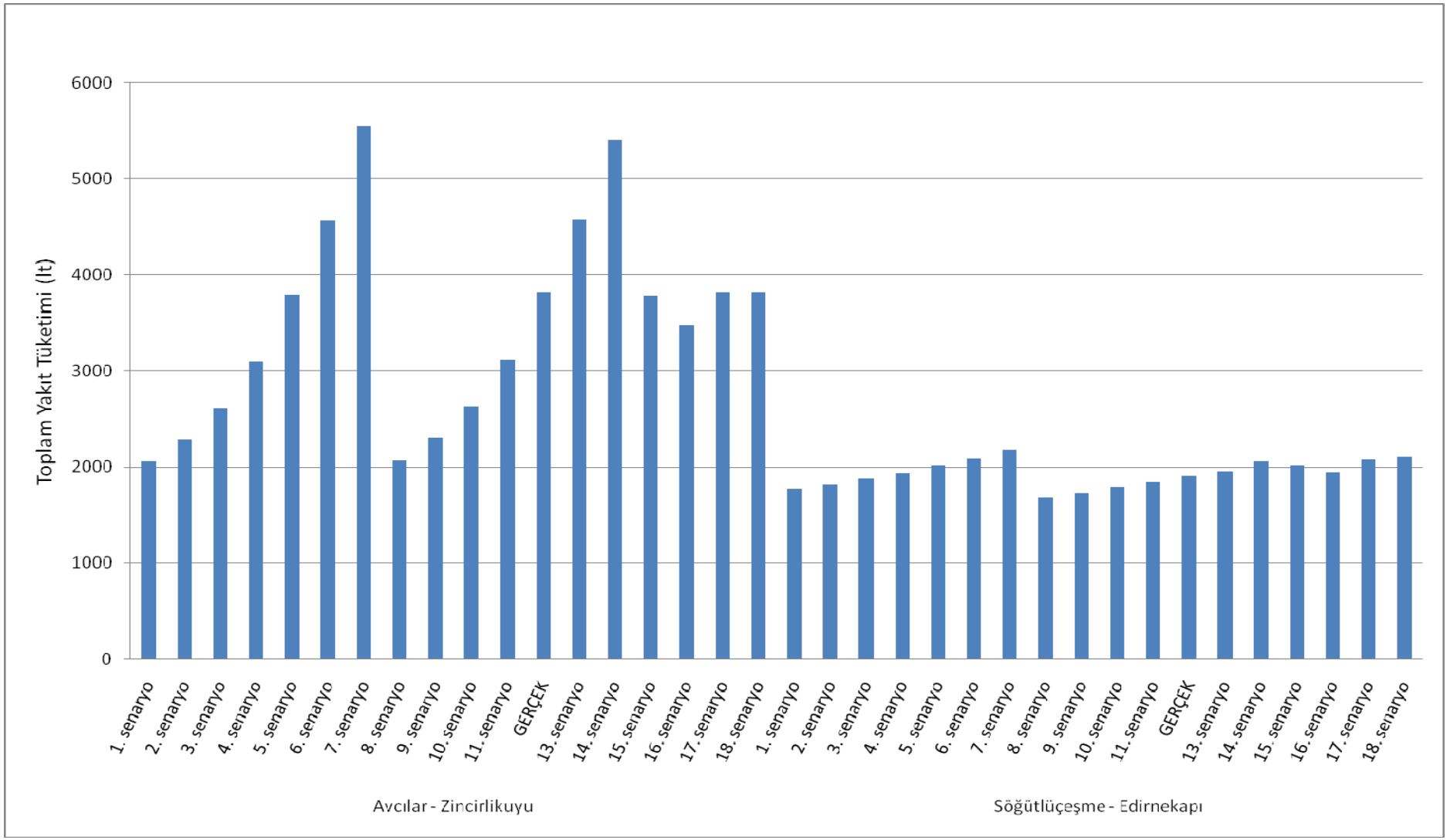
Şekil 4.17 Sabah zirvesinde taşıtların ortalama yolculuk süreleri



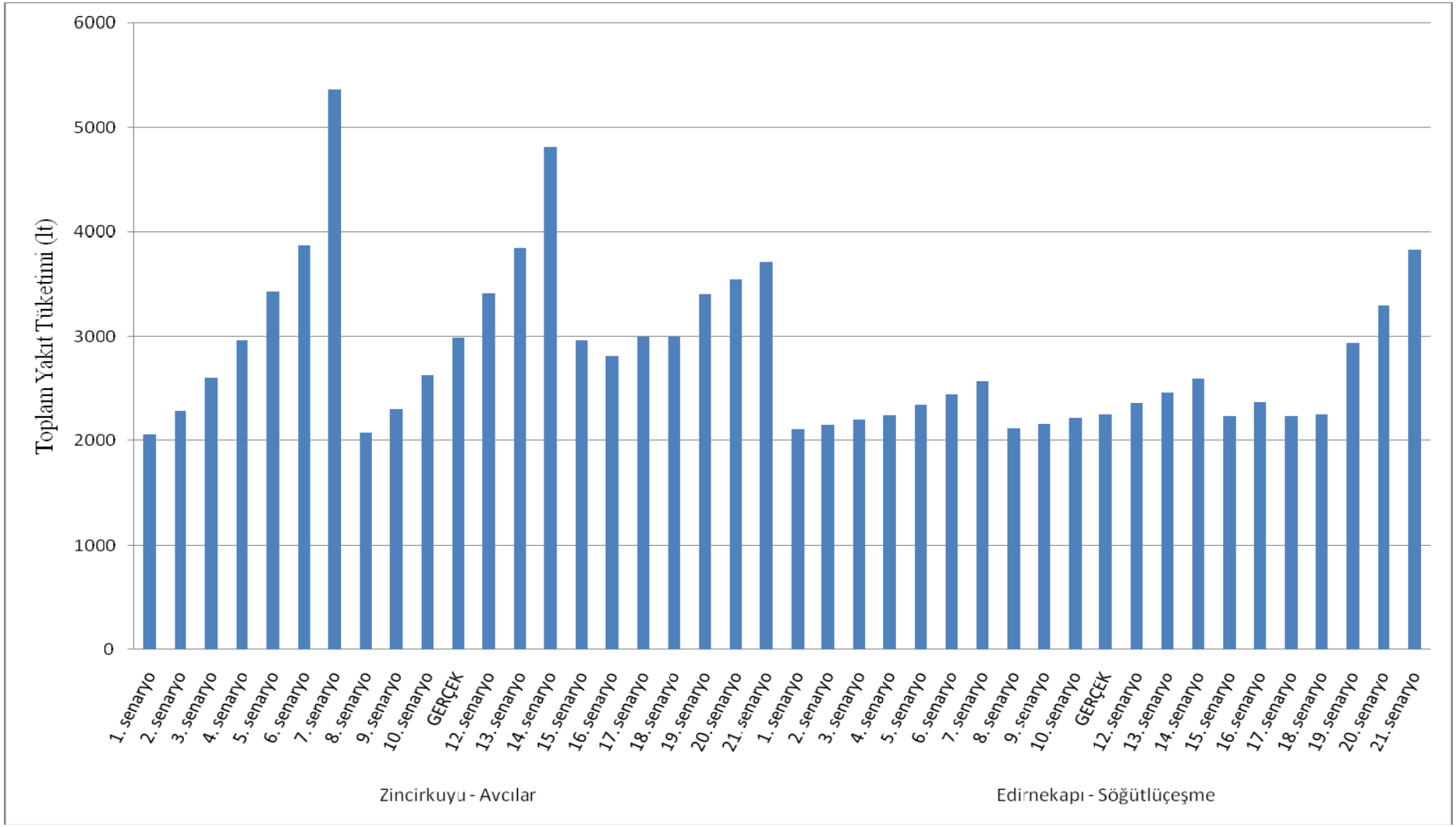
Şekil 4.18 Akşam zirvesinde taşıtların ortalama yolculuk süreler

Yakıt tüketiminin senaryo bazında incelenmesi

Yakıt tüketimi, sistemde çalışan taşıt sayılarıyla paralel olarak artış göstermiştir. Sabah ve akşam zirvelerinde terminallerdeki izleme süreleri azaltıldıkça, sistemde daha fazla taşıt çalıştığı için, sistemin genelindeki yakıt tüketimleri artmıştır. Sabah ve akşam zirveleri için toplam yakıt tüketimleri litre olarak Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'de verilmiştir.



Şekil 4.19 Sabah zirvesinde taşıtlarda harcanan toplam yakıt



Şekil 4.20 Akşam zirvesinde taşıtlarda harcanan toplam yakıt

Sabah zirvesi için modellenen 18 senaryonun sonuçları toplu olarak Çizelge 4.18a-b-c'de verilmiştir.

Çizelge 4.18a Avcılar – Zincirlikuyu çalışması sonuçları

Senaryolar	Kayıp süre – taşıt (sn)	Toplam yakıt tüketimi (lt)	Ticari hız (km/sa)	Ortalama yolculuk süresi (dk)
1. Senaryo	356	2056	43,1	41,75
2. Senaryo	358	2285	43,0	41,85
3. Senaryo	359	2607	42,9	41,95
4. Senaryo	363	3093	42,7	42,12
5. Senaryo	368	3791	42,5	42,39
6. Senaryo	376	4566	42,2	42,69
7. Senaryo	389	5550	41,7	43,16
8. Senaryo	379	2065	42,3	42,58
9. Senaryo	386	2297	42,0	42,85
10. Senaryo	394	2622	41,7	43,20
11. Senaryo	409	3112	41,1	43,77
GERÇEK	445	3820	39,9	45,13
13. Senaryo	504	4578	38,1	47,29
14. Senaryo	675	5407	33,6	53,60
15. Senaryo	387	3783	41,7	43,12
16. Senaryo	1177	3473	25,6	70,37
17. Senaryo	324	3822	44,2	40,75
18. Senaryo	454	3822	39,7	45,29

Çizelge 4.18b Söğütlüçeşme – Edirnekapı çalışması sonuçları

Senaryolar	Kayıp süre – taşıt (sn)	Toplam yakıt tüketimi (lt)	Ticari hız (km/sa)	Ortalama yolculuk süresi (dk)
1. Senaryo	343	1763	44,7	30,87
2. Senaryo	343	1814	44,6	30,93
3. Senaryo	350	1875	44,3	31,12
4. Senaryo	370	1939	43,4	31,77
5. Senaryo	374	2019	42,9	32,16
6. Senaryo	371	2080	42,7	32,32
7. Senaryo	364	2179	42,5	32,47
8. Senaryo	458	1685	41,0	33,64
9. Senaryo	455	1730	41,0	33,66
10. Senaryo	451	1784	40,9	33,77
11. Senaryo	443	1838	40,8	33,8
GERÇEK	435	1907	40,6	33,95
13. Senaryo	438	1957	40,2	34,33
14. Senaryo	428	2059	39,9	34,57
15. Senaryo	393	2022	42,2	32,71
16. Senaryo	773	1944	32,4	42,57
17. Senaryo	293	2079	46,0	29,97
18. Senaryo	400	2102	42,5	32,45

Çizelge 4.18c Sabah senaryoları sefer (taşıt) sayıları

Senaryolar	Avcılar Z.kuyu (34)	E.kapı Z.kuyu (34A)	Avcılar Topkapı (34T)	Z.kuyu E.kapı (34)	S.çeşme E.kapı (34A)	S.çeşme Z.kuyu (34A)
1. Senaryo	71	26	182	76	47	42
2. Senaryo	82	26	183	76	51	42
3. Senaryo	98	26	183	76	55	42
4. Senaryo	121	25	181	76	61	42
5. Senaryo	157	25	175	76	69	41
6. Senaryo	195	25	164	76	79	41
7. Senaryo	242	25	149	75	91	42
8. Senaryo	70	26	168	75	44	41
9. Senaryo	82	25	162	75	48	41
10. Senaryo	96	26	164	76	55	41
11. Senaryo	118	25	152	76	59	41
GERÇEK	149	25	136	75	68	41
13. Senaryo	189	24	137	75	78	40
14. Senaryo	194	23	128	70	88	41
15. Senaryo	155	25	171	76	69	41
16. Senaryo	96	20	135	66	62	40
17. Senaryo	161	26	186	76	72	42
18. Senaryo	151	25	184	75	70	41

Akşam zirvesi için modellenen 21 senaryonun sonuçları Çizelge 4.19a-b-c'de verilmiştir.

Çizelge 4.19a Zincirlikuyu – Avcılar çalışması sonuçları

Senaryolar	Kayıp süre – taşıt (sn)	Toplam yakıt tüketimi (lt)	Ticari hız (km/saat)	Ortalama yolculuk süresi (dak)
1. Senaryo	382	2062	44,3	40,64
2. Senaryo	384	2288	44,2	40,71
3. Senaryo	387	2605	44,1	40,8
4. Senaryo	391	2965	44,0	40,9
5. Senaryo	395	3424	43,9	41,04
6. Senaryo	401	3875	43,7	41,21
7. Senaryo	515	5356	40,3	44,61
8. Senaryo	433	2074	42,6	42,23
9. Senaryo	447	2304	42,2	42,69
10. Senaryo	464	2624	41,7	43,21
GERÇEK	493	2987	40,8	44,15
12. Senaryo	548	3412	39,2	45,96
13. Senaryo	625	3845	37,2	48,38
14. Senaryo	1193	4813	27,6	65,25
15. Senaryo	401	2958	43,6	41,24
16. Senaryo	1185	2811	26,9	66,97
17. Senaryo	350	2994	45,4	39,69
18. Senaryo	478	2995	41,1	43,79
19. Senaryo	520	3401	39,8	45,17
20. Senaryo	580	3548	38,7	46,47
21. Senaryo	841	3712	34,7	51,85

Çizelge 4.19b Edirnakapı – Söğütlüçeşme çalışması sonuçları

Senaryolar	Kayıp süre – taşıt (sn)	Toplam yakıt tüketimi (lt)	Ticari hız (km/saat)	Ortalama yolculuk süresi (dak)
1. Senaryo	301	2106	43,9	31,44
2. Senaryo	301	2150	43,9	31,44
3. Senaryo	301	2203	43,9	31,47
4. Senaryo	301	2241	43,8	31,48
5. Senaryo	302	2348	43,7	31,55
6. Senaryo	303	2444	43,7	31,58
7. Senaryo	304	2572	43,6	31,62
8. Senaryo	333	2117	42,6	32,36
9. Senaryo	332	2161	42,7	32,35
10. Senaryo	336	2216	42,5	32,47
GERÇEK	338	2254	42,4	32,55
12. Senaryo	341	2364	42,3	32,64
13. Senaryo	343	2463	42,2	32,7
14. Senaryo	352	2597	41,8	33
15. Senaryo	311	2236	43,4	31,8
16. Senaryo	1194	2368	23,4	58,91
17. Senaryo	262	2239	45,5	30,35
18. Senaryo	334	2256	42,6	32,39
19. Senaryo	375	2934	41,0	33,67
20. Senaryo	440	3290	38,8	35,59
21. Senaryo	689	3833	31,9	43,24

Çizelge 4.19c Akşam senaryoları sefer (taşıt) sayıları

Senaryolar	Z.kuyu Avcılar (34)	Z.kuyu E.kapı (34A)	Topkapı Avcılar (34T)	E.kapı Z.kuyu (34)	E.kapı S.çeşme (34A)	Z.kuyu S.çeşme (34A)
1. Senaryo	71	47	47	152	43	118
2. Senaryo	84	47	47	152	47	118
3. Senaryo	100	47	46	152	51	118
4. Senaryo	119	47	46	153	53	118
5. Senaryo	142	47	47	153	62	118
6. Senaryo	163	47	46	153	70	118
7. Senaryo	232	45	46	152	78	117
8. Senaryo	68	47	46	151	43	118
9. Senaryo	83	47	46	151	46	118
10. Senaryo	96	47	46	152	51	118
GERÇEK	110	46	45	151	53	118
12. Senaryo	131	47	44	151	60	116
13. Senaryo	154	47	44	151	68	118
14. Senaryo	161	39	39	151	78	117
15. Senaryo	118	47	46	152	53	118
16. Senaryo	76	45	34	102	35	113
17. Senaryo	110	47	44	151	53	118
18. Senaryo	120	47	46	153	54	118
19. Senaryo	113	125	45	151	102	115
20. Senaryo	111	153	45	150	122	115
21. Senaryo	100	179	46	131	141	115

Kayıp sürelerin koridor boyunca değişimi incelenmesi

Yukarıdaki çalışmalara ek olarak, hazırlananan bazı senaryo için, taşıtların yolculuk boyunca ortalama gecikme (kayıp) süreleri incelenmiştir. Bu sayede bir hat üzerindeki taşıtın, hangi duraklarda ne kadar gecikme yaptığı bulunmuştur.

Sabah ve akşam zirvesi için, en olumsuz senaryolar olan 7. ve 14. Senaryolar ile sabah zirvesi için gerçek durumu yansıtan 12. senaryo ve akşam zirvesi için gerçek durumu yansıtan 11. senaryo incelenmiştir.

Sabah zirvesi için 7. 14. ve 12. Senaryolarda taşıtların Avcılar – Zincirlikuyu yönündeki ortalama gecikme süreleri, Şekil 4.21, Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'te gösterilmiştir. Söğütlüçeşme – Edirnekapı yönündeki ortalama gecikme süreleri de Şekil 4.24, Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'da gösterilmiştir.

Akşam zirvesi için 7. 14. ve 11. Senaryolarda taşıtların Zincirlikuyu – Avcılar yönündeki ortama gecikme süreleri Şekil 4.27, Şekil 4.28 ve Şekil 4.29'da gösterilmiştir. Edirnekapı – Söğütlüçeşme yönündeki ortalama gecikme süreleri de Şekil 4.30, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32'de gösterilmiştir.

Akşam zirvesi için Edirnekapı ve Zincirlikuyu terminallerinde izleme sürelerinin azaltılması sonucu bulunan ortalama gecikme süreleri (19. 20. ve 21. Senaryolar), gerçek ortalama gecikme süreleriyle (11. Senaryo) beraber Şekil 4.33 ve Şekil 4.34'te gösterilmiştir.

Üçgen (ya da üçgene benzeyen) görünümlü gecikme süreleri grafikleri, üç tür gecikmenin toplamından oluşmaktadır: Durakta duruş süresi, durağa yaklaşırken yavaşlama ve duraktan ayrılırken hızlanma ivmeleri nedeniyle oluşan kayıp süreler ve taşıt demetlenmelerinin neden olduğu gecikmeler. Grafiğin çarpıklığı gecikme yoğunluğunun duraktan önce mi yoksa sonra mı olduğu hakkında ipucu vermektedir. Bir piramit kenarının sıfıra düşmeden tekrar yükselmesi, taşıtların ilgili duraklar arasında -duraklar arası uzaklığın yeterli uzunlukta olmaması nedeniyle- serbest hıza erişemediklerini göstermektedir.

Sabah zirvesinde Avcılar – Zincirlikuyu yönünde, duraklardaki dağılım katsayılarının eşdeğer olduğu ve terminallerdeki izleme sürelerinin değiştirildiği ilk 7 Senaryo'dan, terminal izleme sürelerinin en az olduğu 7. Senaryo'da ortalama gecikme süreleri, sabah zirvesinde gerçek durumu gösteren 12. Senaryo'daki gecikme sürelerinden daha düşüktür (Şekil 4.21 ve Şekil 4.22). Duraklardaki dağılım katsayılarının eşdeğer olmadığı (gerçek dağılımların kullanıldığı) ve terminallerdeki izleme sürelerinin değiştirildiği 8 -14 Senaryo'larında, terminallerdeki izleme süresi en az olduğu için en kötü durumu yansıtan 14. Senaryo'da, ortalama gecikme sürelerinin gerçek durumu yansıtan 12. Senaryo'daki ortalama gecikme sürelerinden daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 4.23 ve Şekil 4.22). 7. Senaryo'da en büyük gecikme süreleri Yenibosna, Zeytinburnu, Cevizlibağ, SSK Okmeydanı ve Mecidiyeköy duraklarında 30-35 sn iken, gerçek durumu temsil eden 12. Senaryo'da ortalama gecikme sürelerinin 35-40 sn olduğu görülmektedir (Şekil 4.21 ve Şekil 4.22). Gerçek durumu temsil eden 12. Senaryo'da 7. Senaryo'daki duraklara ek olarak Sefaköy, Şirinevler, Bakırköy ve Perpa duraklarında ortalama gecikme sürelerinin büyük olduğu gözlenmiştir. 14. Senaryo'da tüm duraklarda ortalama gecikme süreleri artmıştır (Şekil 4.23).

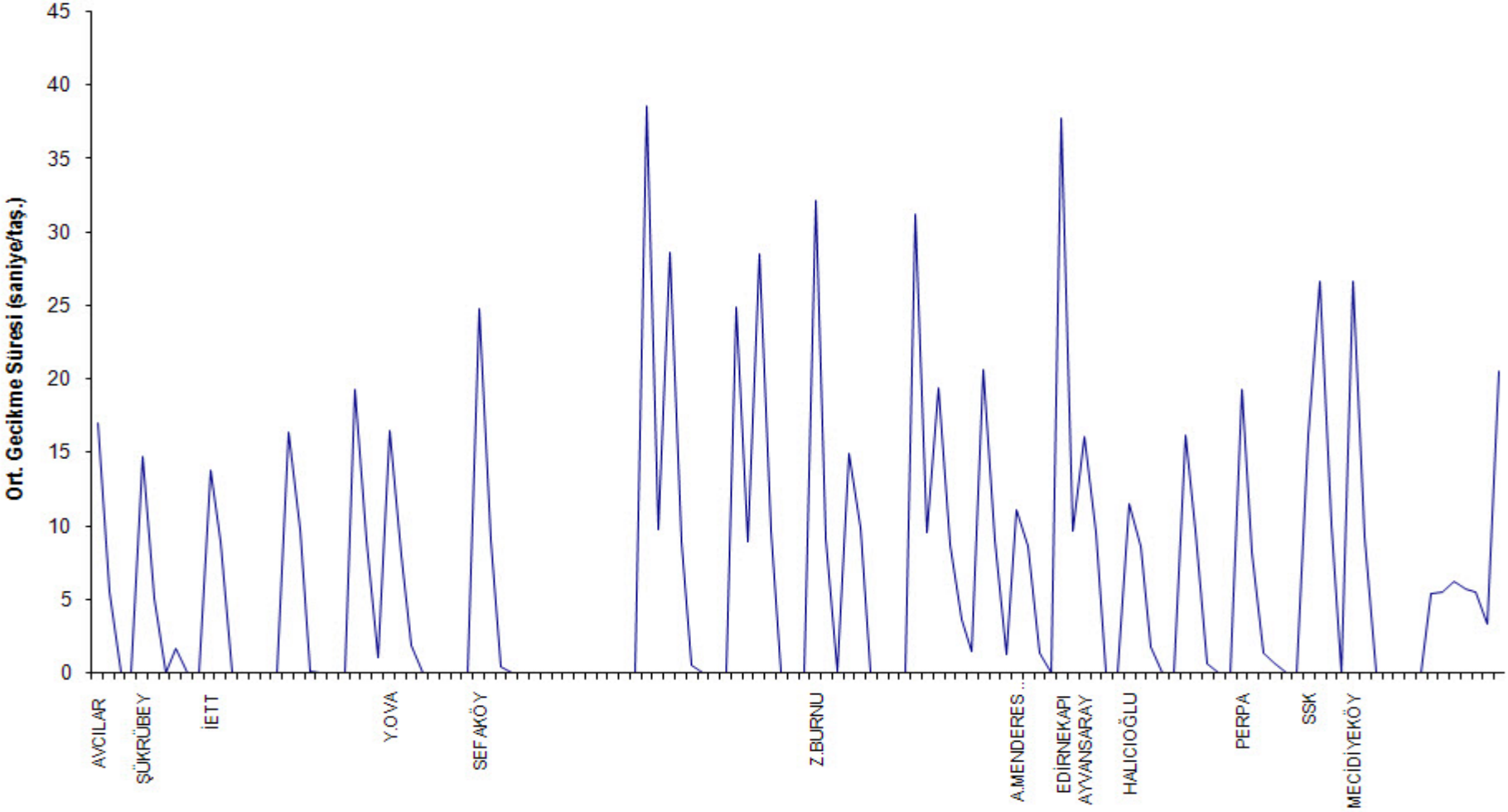
Benzer şekilde sabah zirvesinde Söğütlüçeşme – Edirnekapı yönünde, 7. Senaryo'da taşıtların en fazla ortalama gecikme sürelerinin Uzunçayır, Altunizade, Boğaziçiköprüsü ve Çağlayan duraklarında 25-30 sn civarında olduğu görülmektedir. Ayrıca Zincirlikuyu durağında 90 sn ortalama gecikme görülmektedir. Bunun nedeninin, modelde, Zincirlikuyu'ya kadar giden kısa hat, Edirnekapı'ya giden 34A ve Avcılara giden 34 taşıtlarının Zincirlikuyu durağını ortak kullanmaları olduğu düşünülmektedir. Aynı şekilde 12. ve 14. Senaryo'larda da en yüksek ortalama gecikme süresi Zincirlikuyu durağında görülmektedir (sırasıyla Şekil 4.25 ve Şekil 4.26).

Akşam zirvesinde Zincirlikuyu – Avcılar yönünde demetlenmelerin olmadığı ya da çok az olduğu, ortalama gecikme sürelerinin az olduğu görülmektedir (Senaryo 7, Şekil 4.27). Akşam zirvesi için gerçek durumu yansıtan 11. Senaryo'da (Şekil 4.28) ve terminal izleme sürelerinin en kısa olduğu 14. Senaryo'da (Şekil 4.29) gecikme süreleri artmıştır. Akşam zirvesi için Edirnekapı – Söğütlüçeşme yönünde demetlenmelerin olmadığı, yani taşıtların birbirleriyle etkileşimlerinin az olduğu görülmektedir (Senaryo 7, Şekil 4.30). Akşam zirvesi için gerçek durumu gösteren 11. Senaryo'nun (Şekil 4.31) ortalama gecikme süreleri 7. Senaryo'ya göre artmıştır. 14. Senaryo'da (Şekil 4.32) ortalama gecikme süreleri daha da

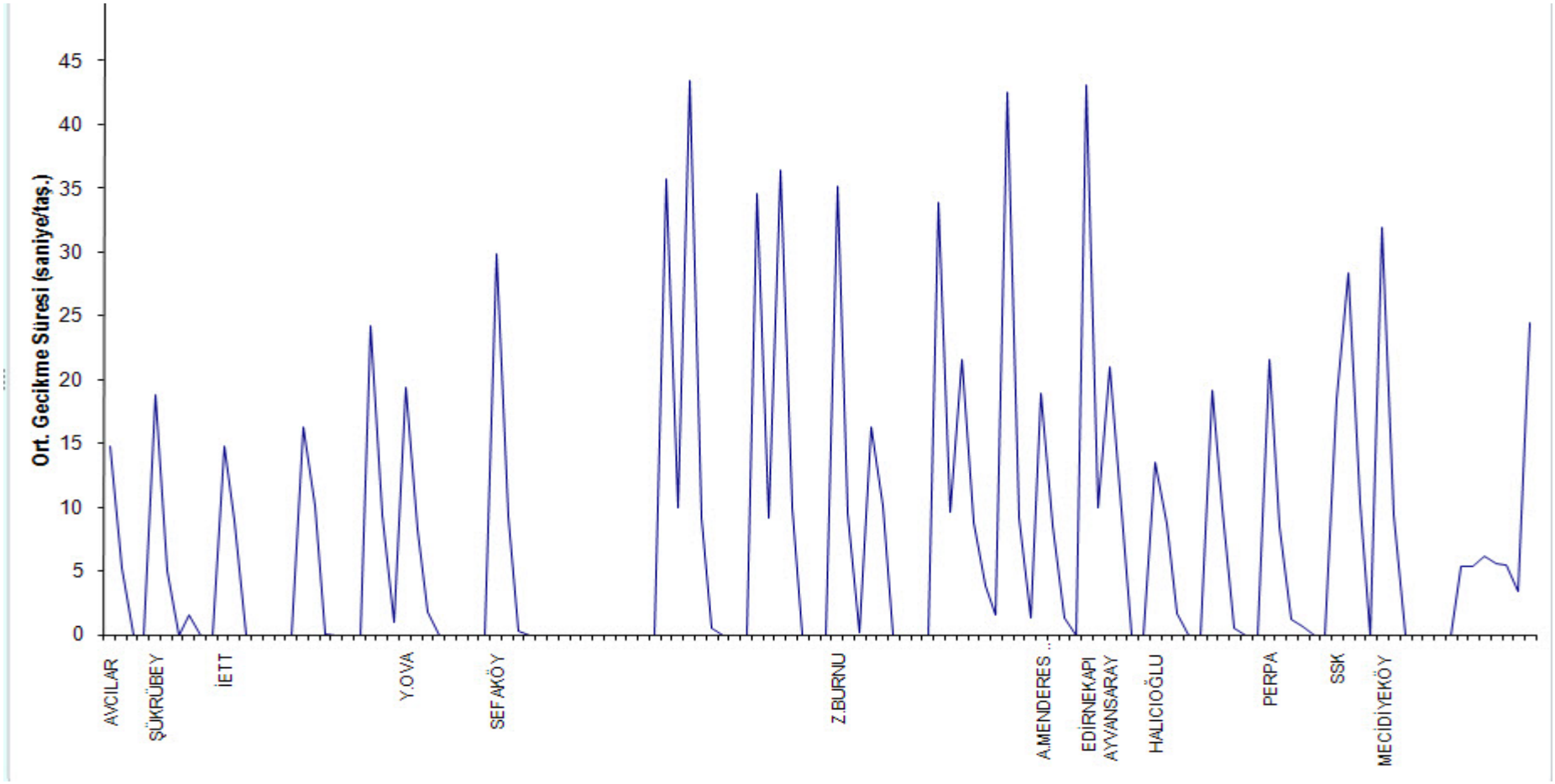
artmıştır. Gecikme sürelerinin artmasına rağmen demetlenmeler görülmediğinden Edirnekapı – Söğütleşme yönünde sistemin kapasitesinin altında çalıştığı söylenebilir.

Akşam zirvesi için 34A hattını kapasitesinde kullanmak için hazırlanan 19. 20 ve 21. Senaryolar'da, Edirnekapı terminalindeki izleme sürelerinin azaltılması taşıtların yalnızca Mecidiyeköy – Zincirlikuyu arasında demetlenmelerine neden olmuştur (Şekil 4.33). Zincirlikuyu terminalindeki izleme sürelerinin azaltılmasının demetlenmeleri değiştirmediği (pirimaitlerin taban genişliklerinin farklı senaryolarda aynı olduğu, yani gecikmelerin etki alanının eşit olduğu), yalnızca ortalama gecikme sürelerinin artmasına neden olduğu söylenebilir (Şekil 4.34).

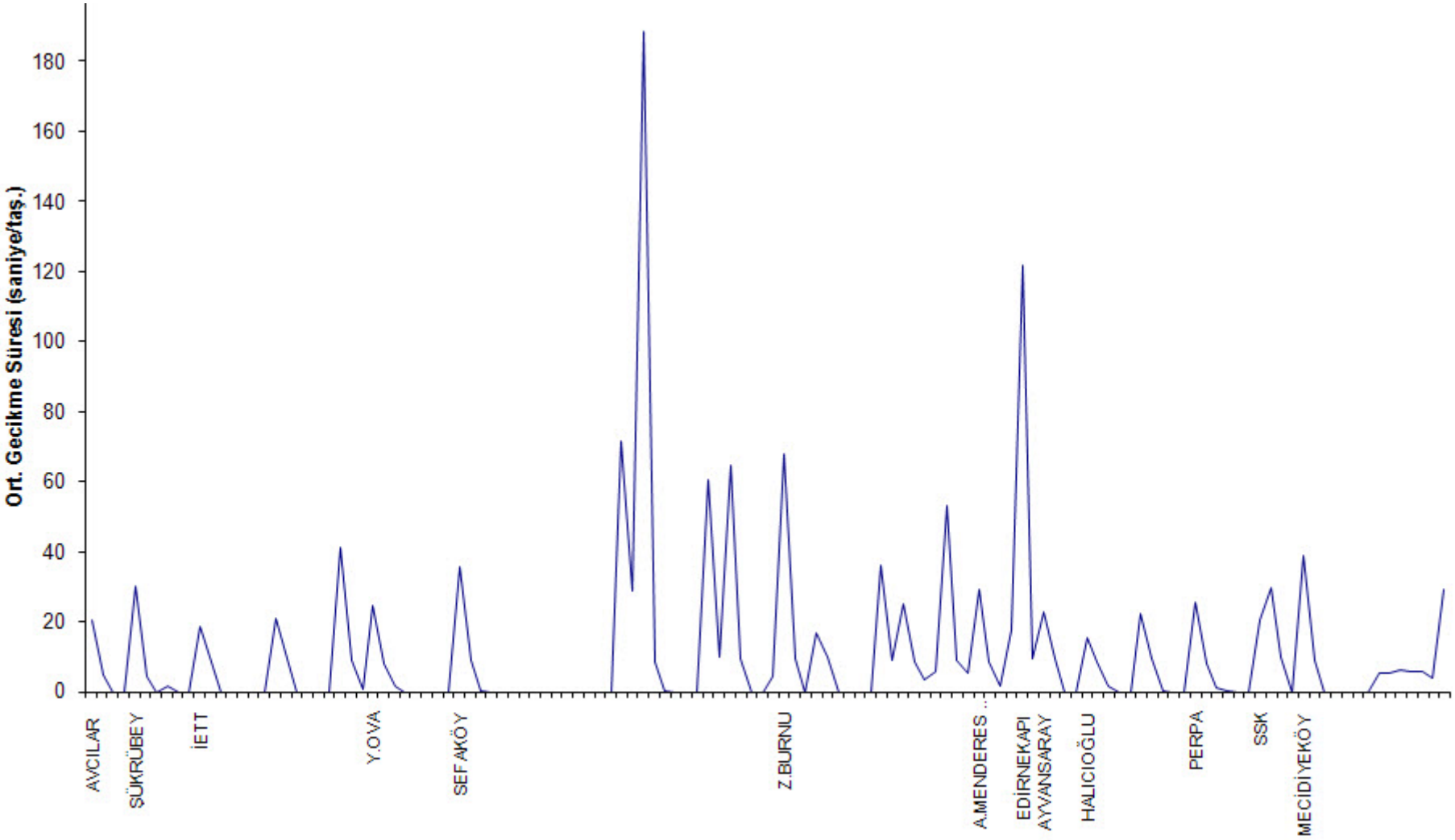
Terminallerdeki izleme süreleri azaldıkça duraklardaki duruş süreleri ve durakların yakın çevresindeki kayıp süreler artmaktadır. Ayrıca, eşdeğer dağılım katsayısına sahip olmayan duraklardan oluşan 8-14 senaryolarında ortalama gecikmelerirn, eşdeğer dağılım katsayısına sahip olan 1-7 senaryolarındaki ortalama gecikmelere göre fazla olduğu görülmektedir.



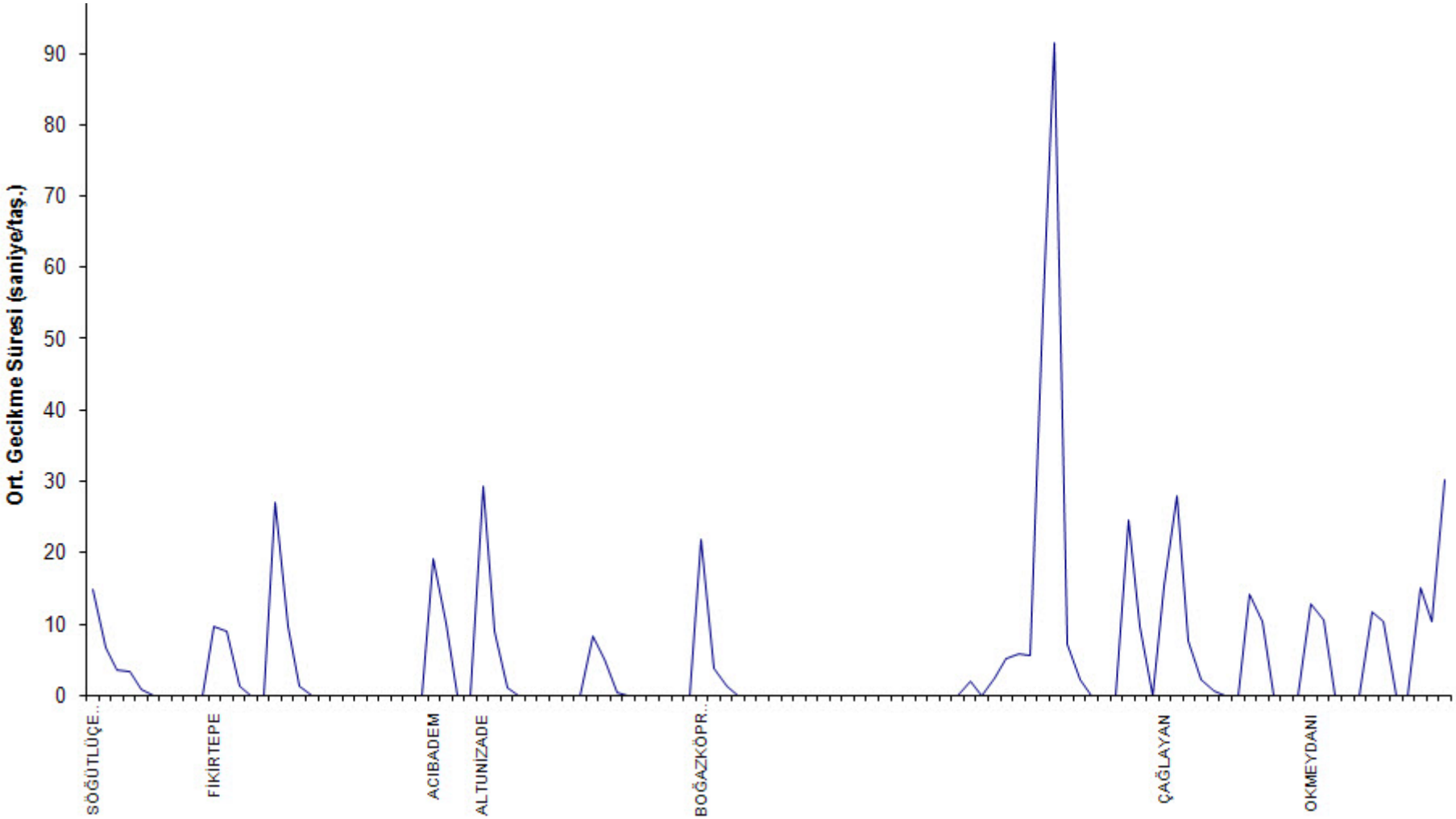
Şekil 4.21 Sabah zirvesinde Avcılar – Zincirlikuyu yönünde gecikme süreleri (Senaryo 7)



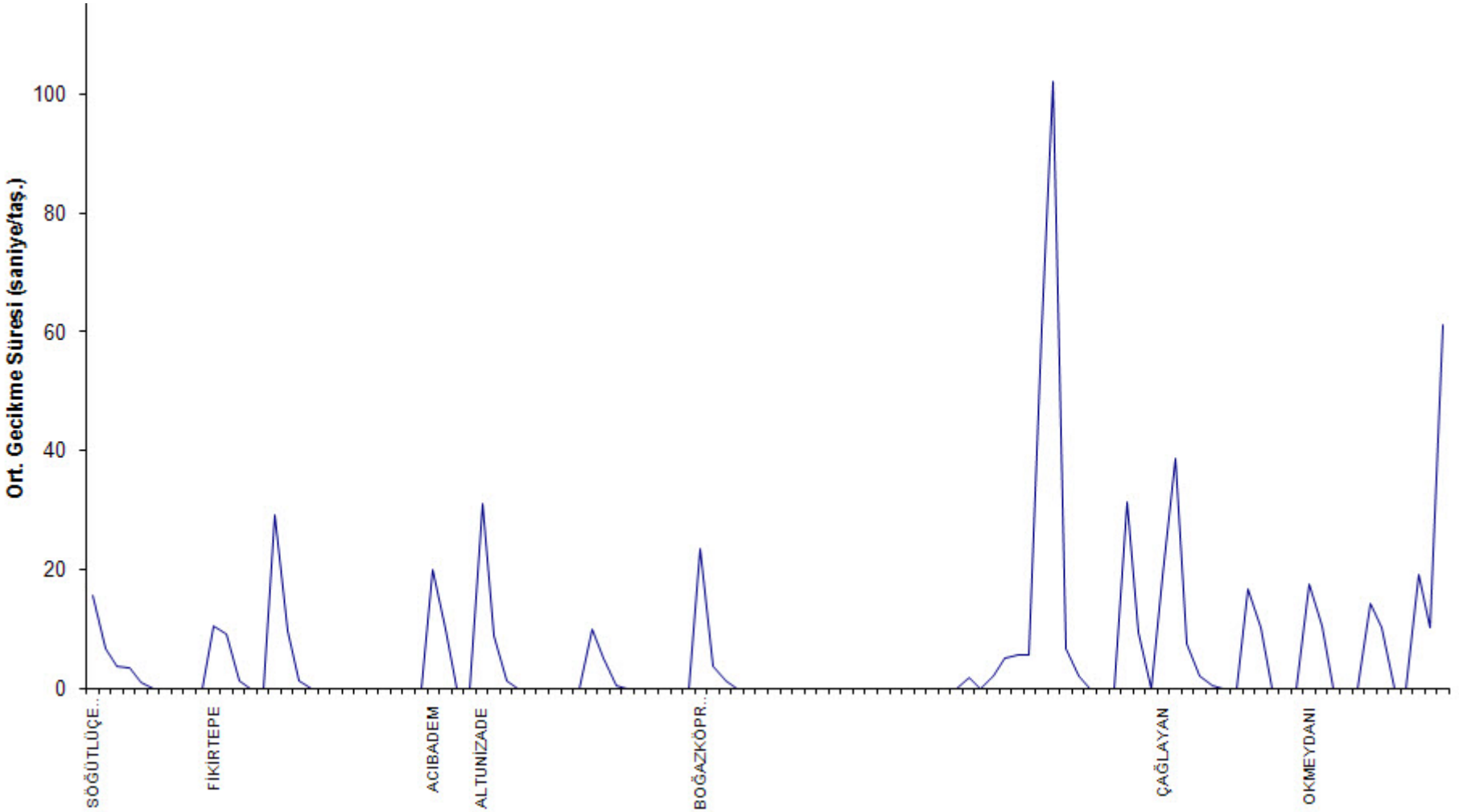
Şekil 4.22 Sabah zirvesinde Avcılar – Zincirlikuyu yönünde gecikme süreleri (gerçek durumu yansıtan Senaryo 12)



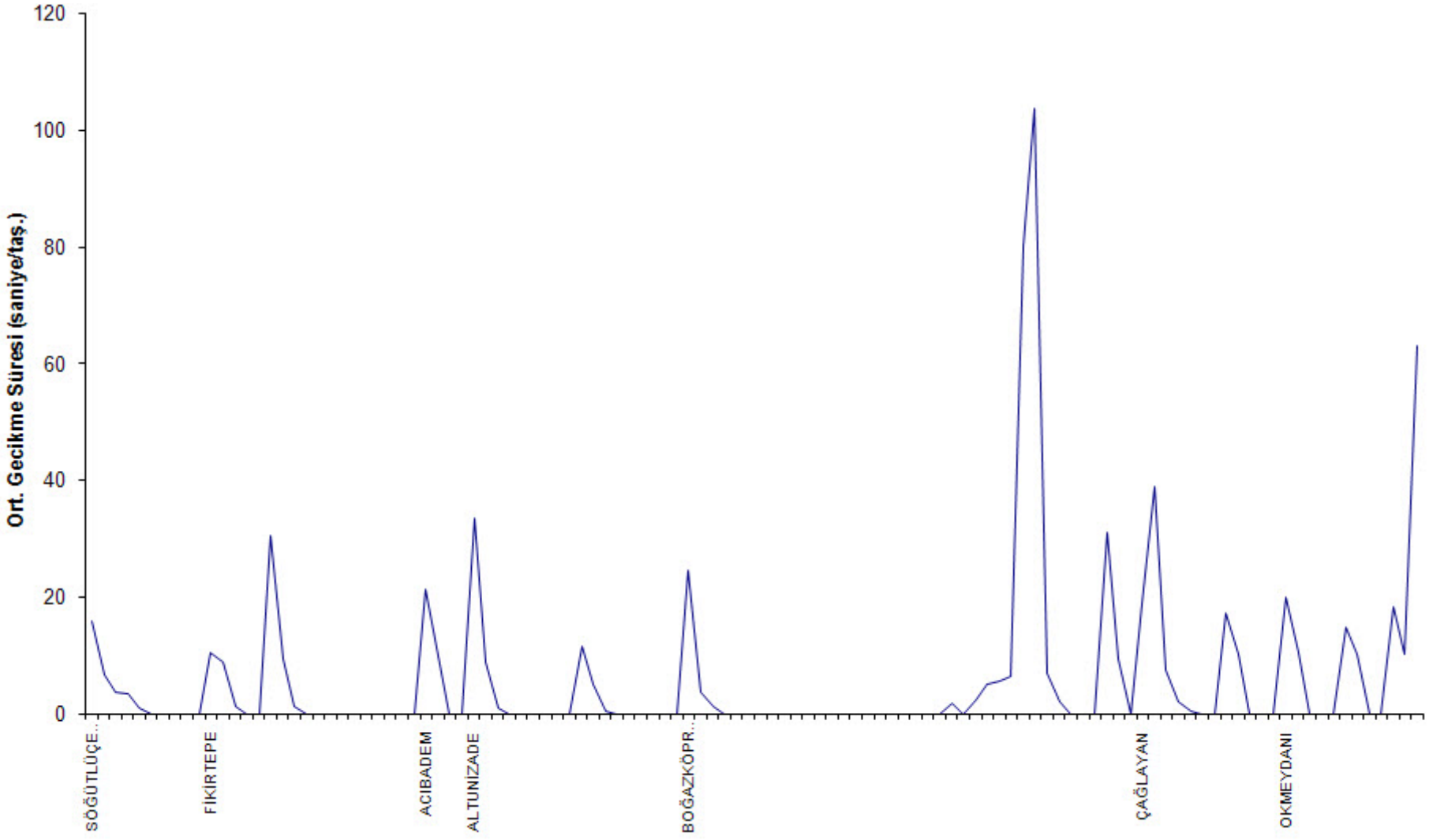
Şekil 4.23 Sabah zirvesinde Avcılar – Zincirlikuyu yönünde gecikme süreleri (Senaryo 14)



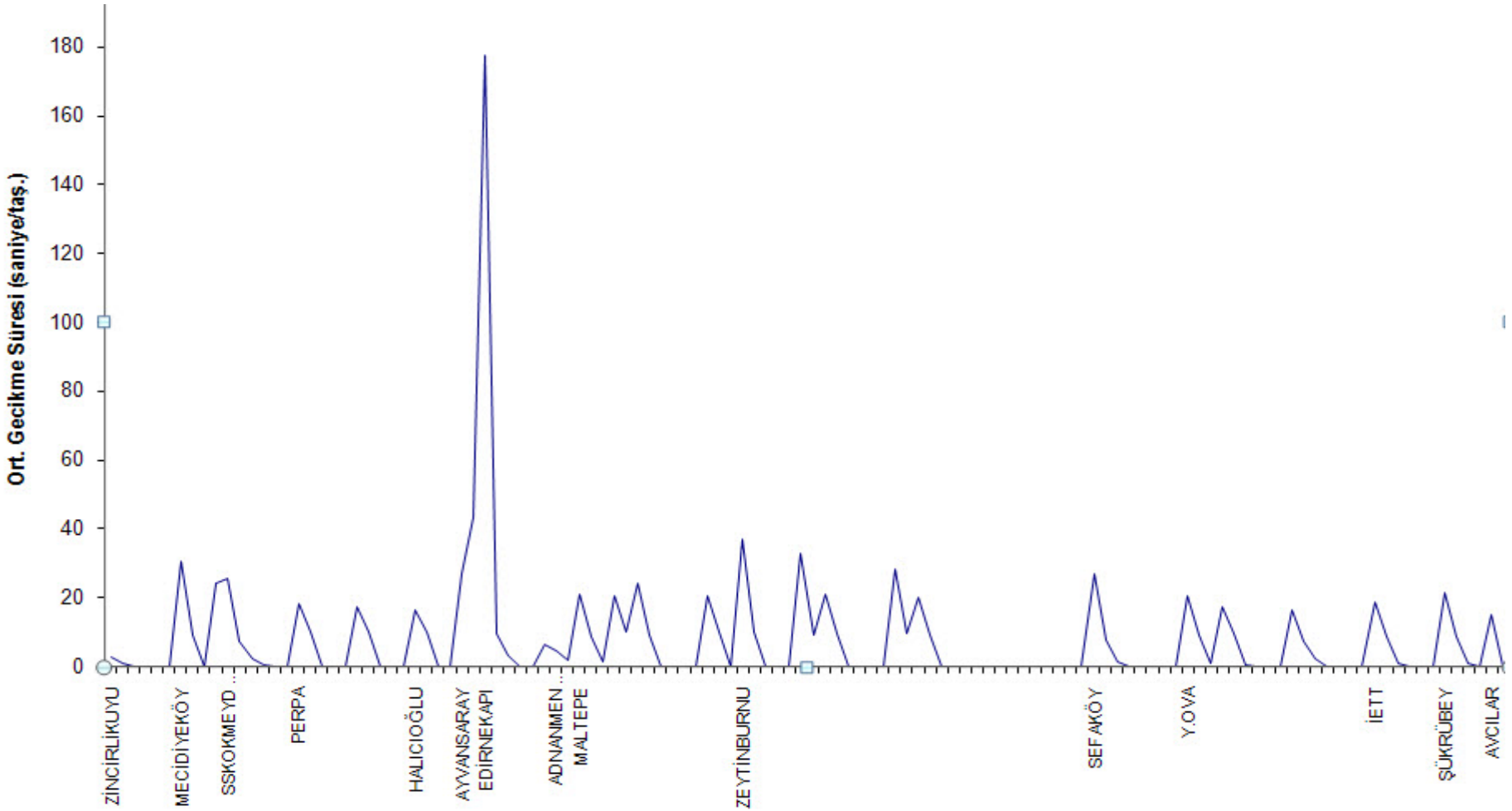
Şekil 4.24 Sabah zirvesinde Söğütlüçeşme - Edirnekapı yönünde gecikme süreleri (Senaryo 7)



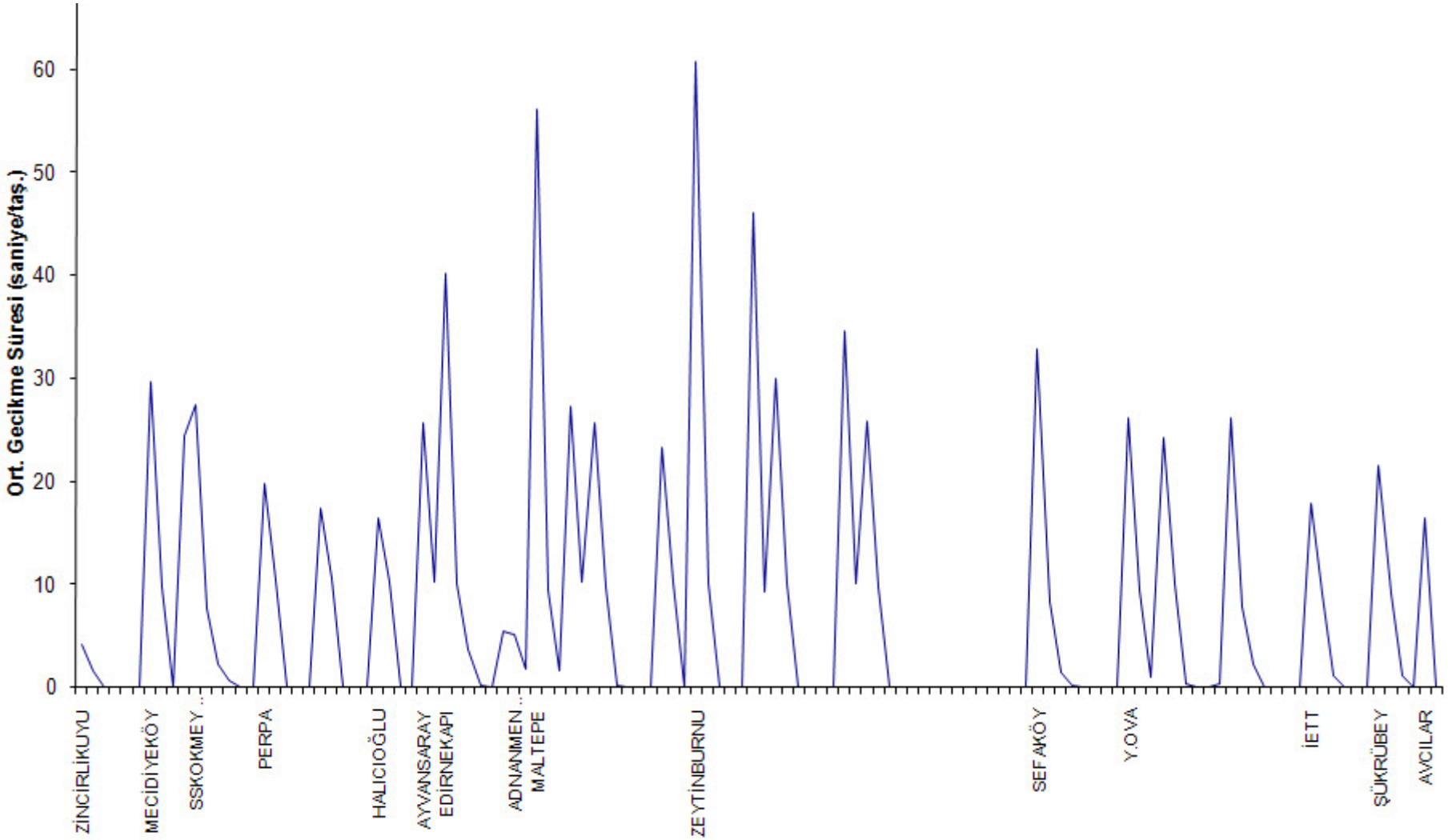
Şekil 4.25 Sabah zirvesinde Söğütlüçeşme - Edirnekapı yönünde gecikme süreleri (Senaryo 12)



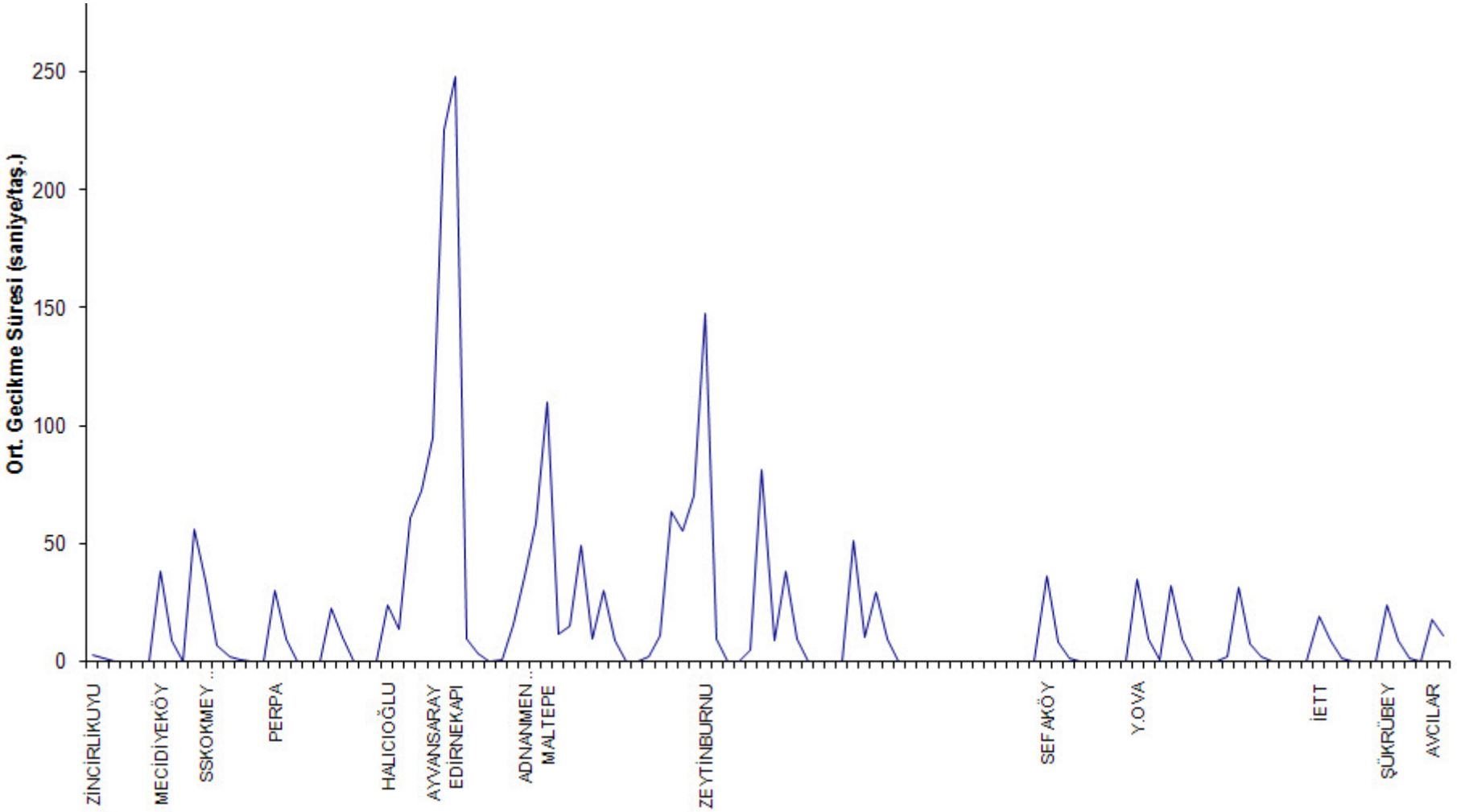
Şekil 4.26 Sabah zirvesinde Söğütlüçeşme - Edirnekapı yönünde gecikme süreleri (Senaryo 14)



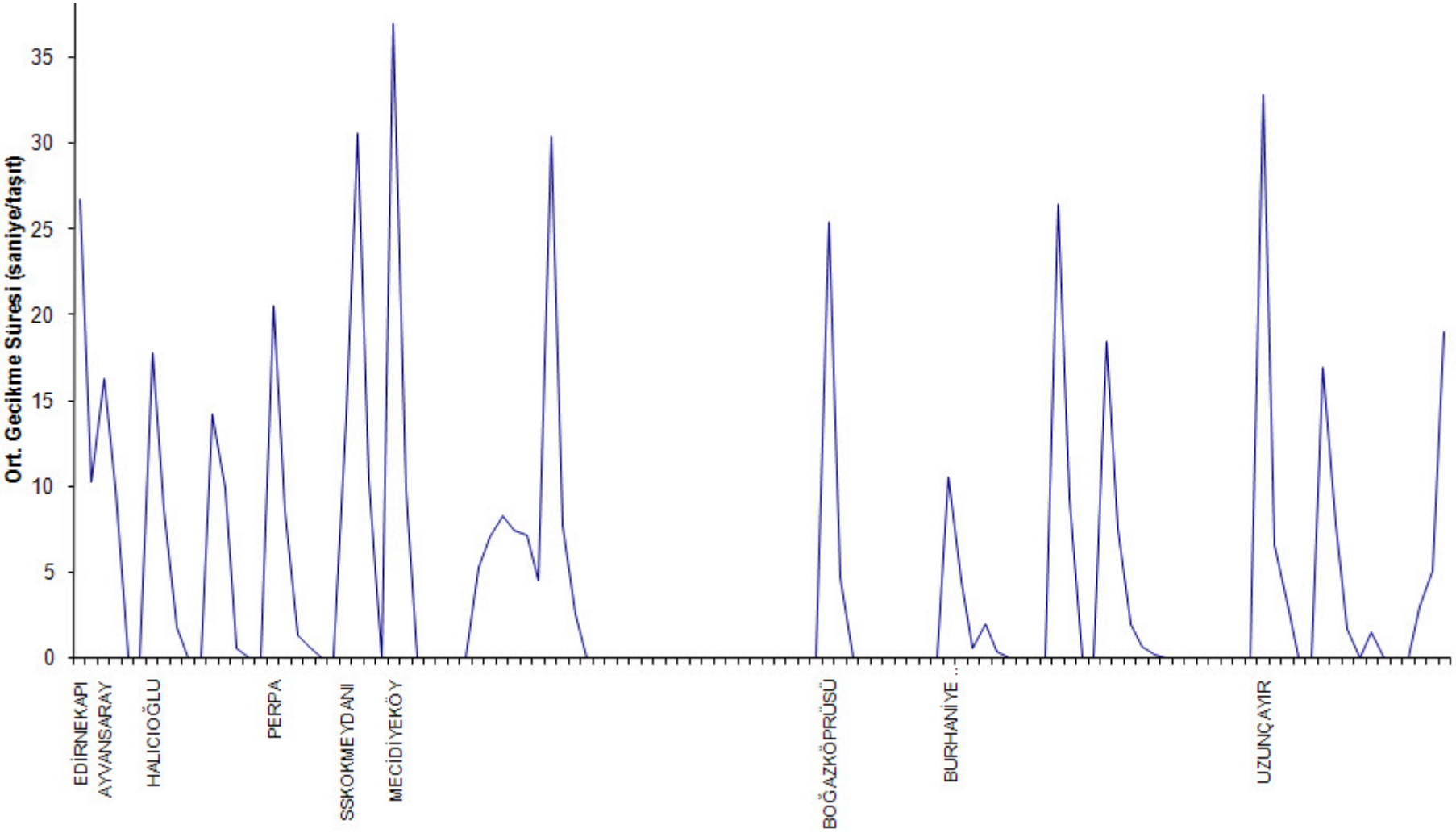
Şekil 4.27 Akşam zirvesinde Zincirlikuyu - Avcılar yönünde gecikme süreleri (Senaryo 7)



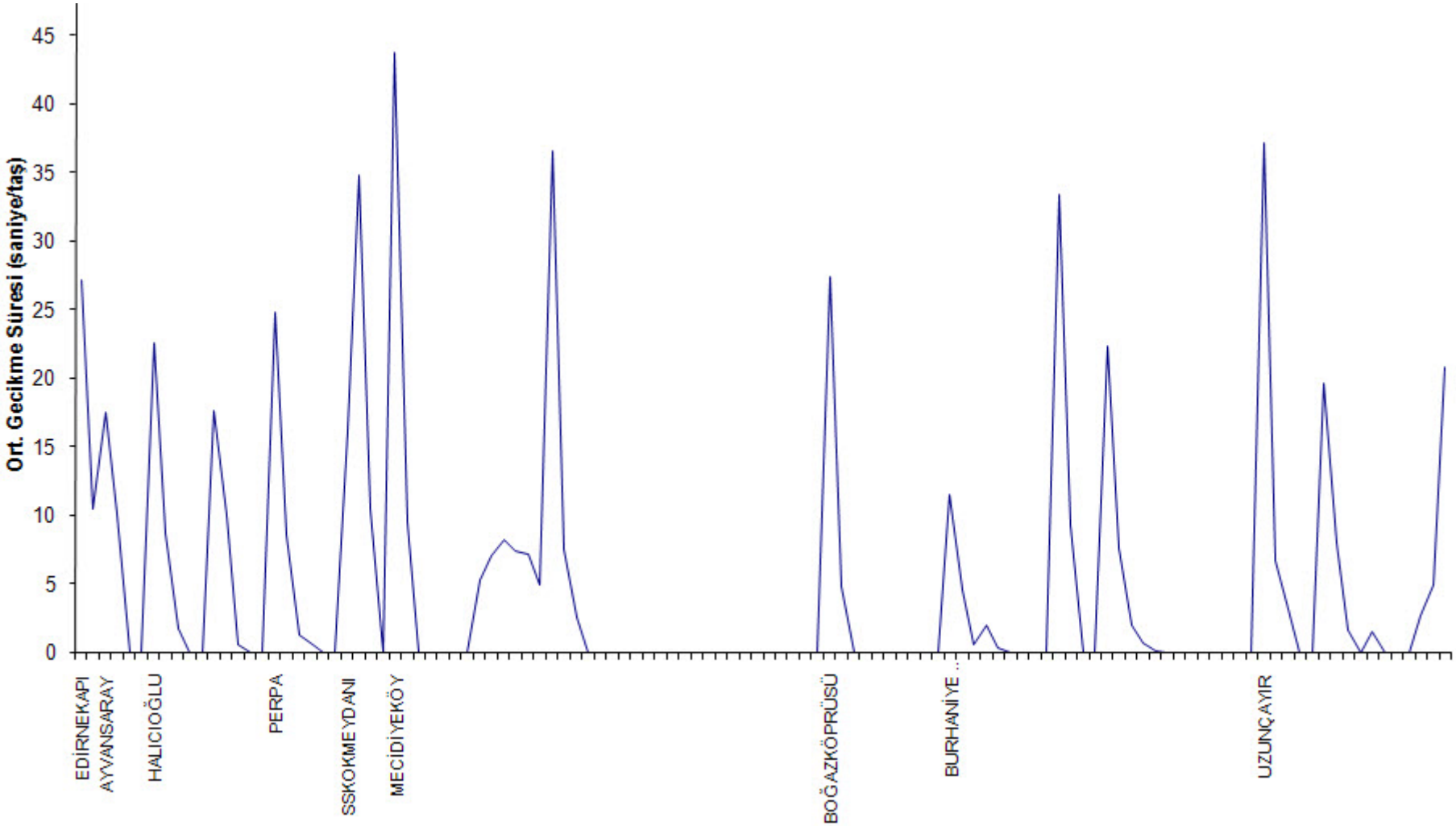
Şekil 4.28 Akşam zirvesinde Zincirlikuyu - Avcılar yönünde gecikme süreleri (Senaryo 11)



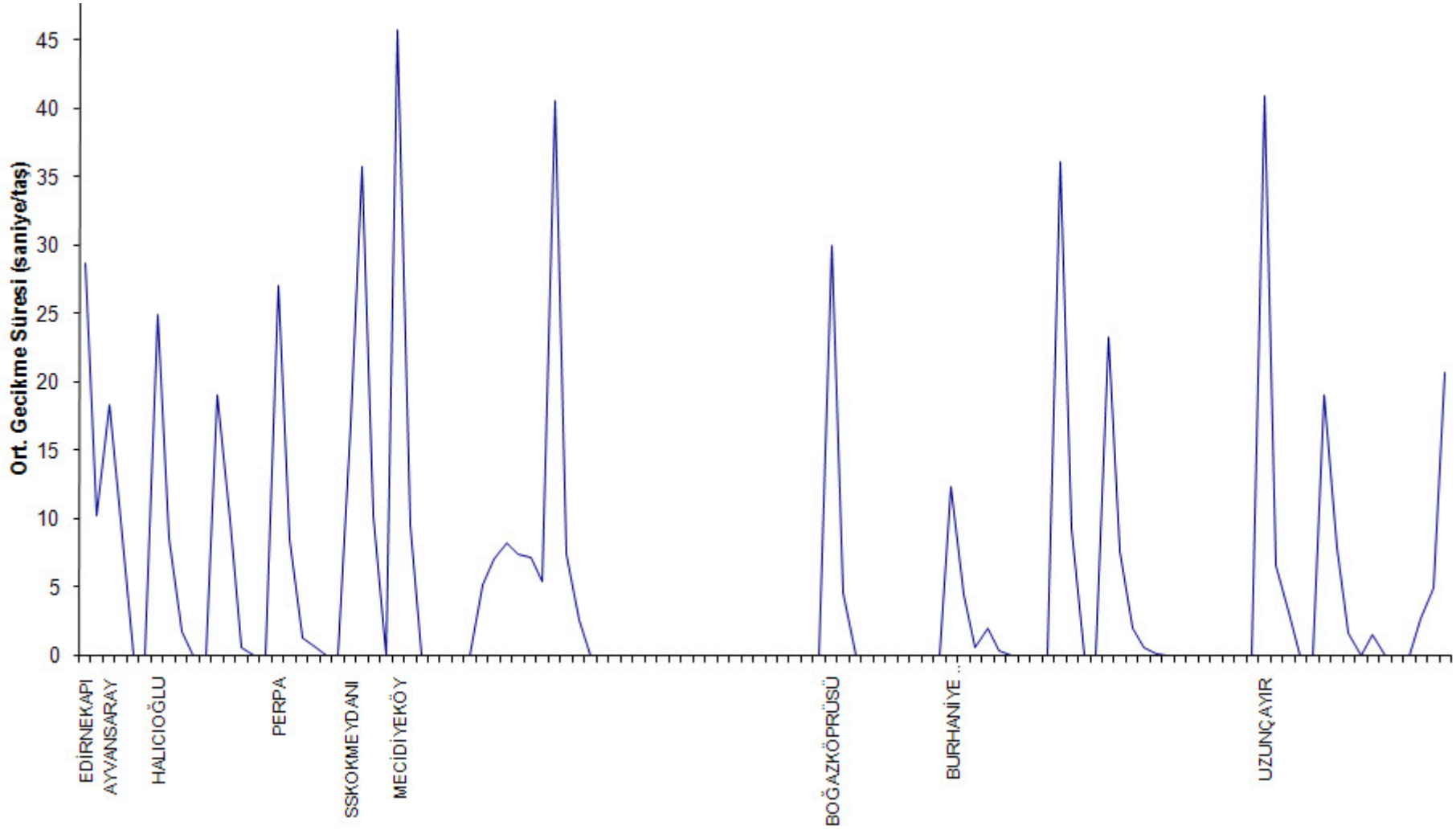
Şekil 4.29 Akşam zirvesinde Zincirlikuyu - Avcılar yönünde gecikme süreleri (Senaryo 14)



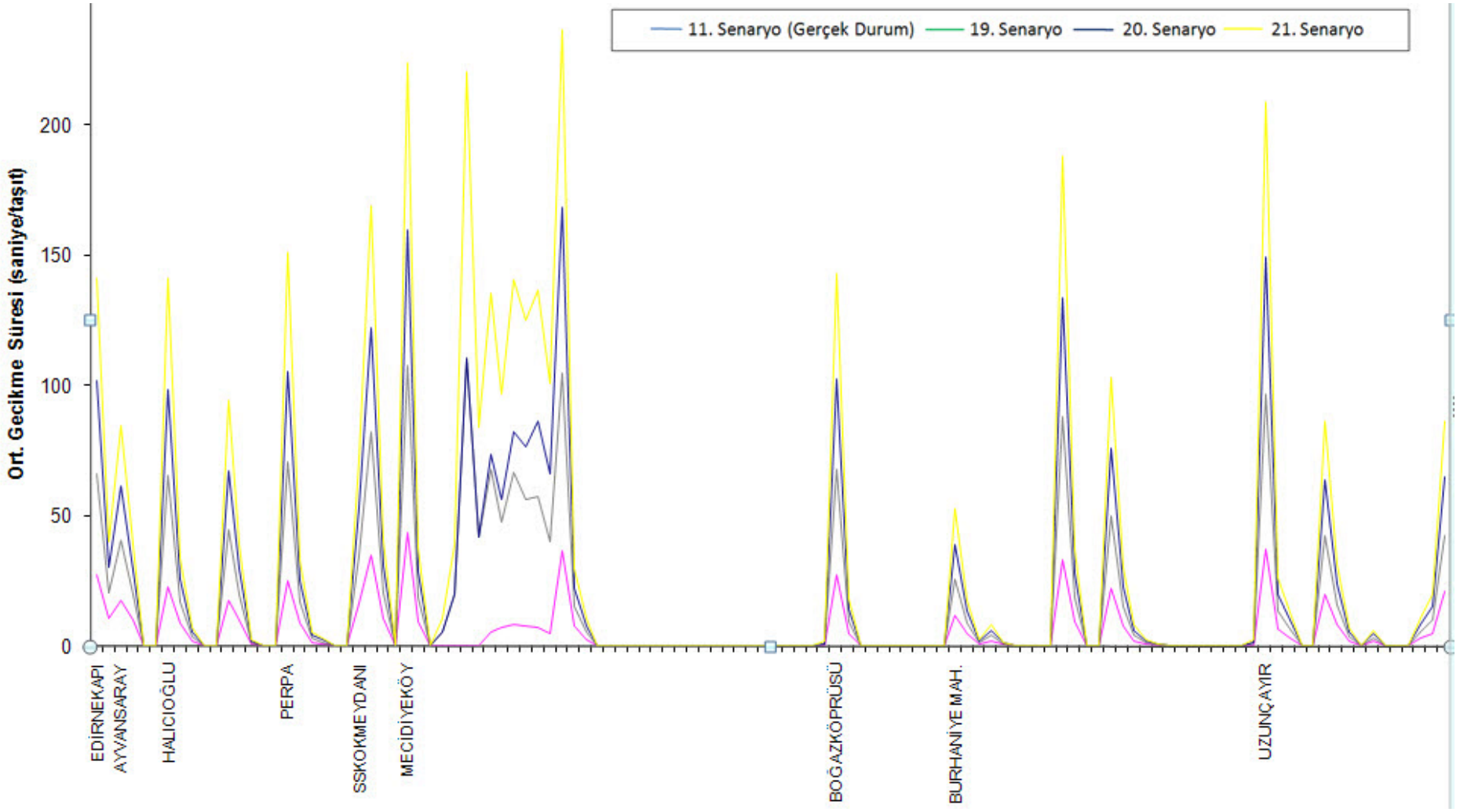
Şekil 4.30 Akşam zirvesinde Edirnekapı Söğütlüçeşme yönünde gecikme süreleri (Senaryo 7)



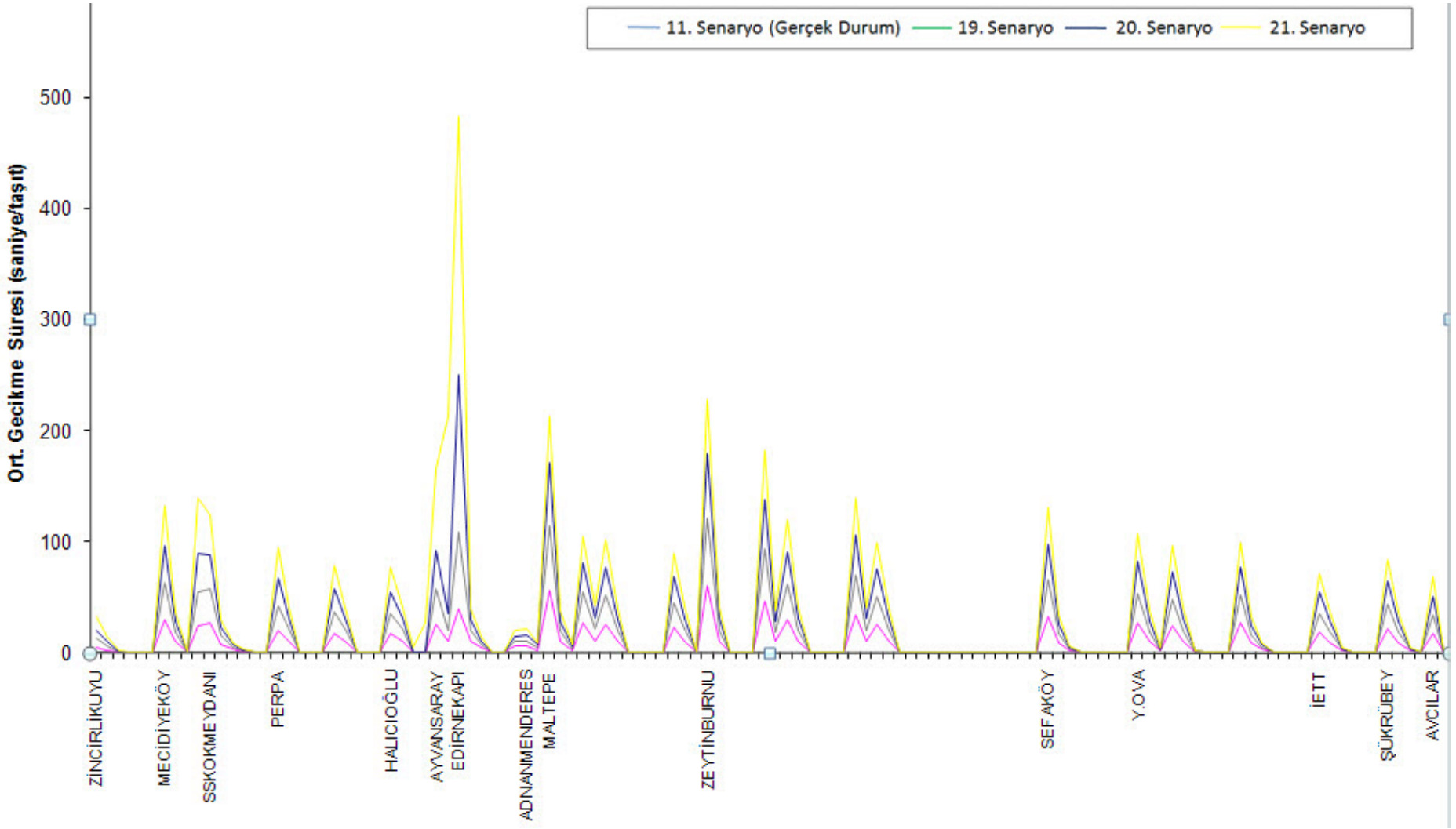
Şekil 4.31 Akşam zirvesinde Edirnekapı Söğütlüçeşme yönünde gecikme süreleri (Senaryo 11)



Şekil 4.32 Akşam zirvesinde Edirnekapı Söğütlüçeşme yönünde gecikme süreleri (Senaryo 14)



Şekil 4.33 Akşam zirvesinde Edirnekapı – Söğütlüçeşme yönünde, Edirnekapı terminalindeki değişiklikler sonucu 11. 19. 20. ve 21 Senoryo'ların karşılaştırılması



Şekil 4.34 Akşam zirvesinde Zincirlikuyu – Avcılar yönünde, Zincirlikuyu terminalindeki değişiklikler sonucu 11. 19. 20. ve 21 Senoryo'ların karşılaştırılması

5.SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, kentiçi toplu taşımacılığında yeni bir anlayış olarak ortaya çıkan Metrobüs sistemlerinin özellikleri anlatılmış, diğer sistemlerle karşılaştırmaları yapılmıştır.

Bir trafik simülasyon modelini oluştururken dikkat edilmesi gereken hususlara değinilmiş ve TSIS (Traffic Software Integrated System) 5.1 simülasyon modelinin özellikleri kısaca anlatılmıştır.

Avcılar – Söğütlüçeşme koridorundaki metrobüs hatlarının simülasyon modelini kurmak için yapılan saha çalışmalarına değinilmiştir. Bu kapsamda toplanan terminal verilerine, taşıt içi ölçümlere ve durak çalışması verilerine istatiksel bakışla değinilmiştir.

Uygulama kısmında ise, İstanbul'da 2007 ve 2009 yılları arasında D–100 ve O–1 koridorunda kademeleri olarak hizmete giren Avcılar – Söğütlüçeşme metrobüs sistemi incelenmiştir. Bu incelemede Avcılar – Söğütlüçeşme koridorunda yapılan ölçümlerden yararlanılarak, metrobüs hatları TSIS 5.1 trafik simülasyon (benzetim) yazılımı kullanılarak modellenmiş ve başarım analizleri yapılmıştır. Simülasyon programında yapılan kabullere değinilmiş, elde edilen simülasyon sonuçları, sahada yapılan ölçümlerle karşılaştırılarak gerekli kalibrasyon işlemleri yapılmıştır.

Seçenek (Senaryo) analizi kısmında, TSIS 5.1 simülasyon programı ile modellenen metrobüs hatlarının sabah ve akşam zirveleri için senaryoları üretilmiştir. Sabah zirvesi için 18, akşam zirvesi için 21 adet senaryo hazırlanmış ve bu senaryolar sonucunda elde edilen başarım değerleri incelenmiştir.

Sonuç olarak;

- Terminallerdeki izleme sürelerini azaltmanın hatlarda çalışan taşıt sayısını arttırdığı, buna paralel olarak bekleme süreleri ve yolculuk sürelerinin de arttırdığı görülmüştür.
- Akşam zirvesinde Edirnekapı – Söğütlüçeşme (34A) hattında, Edirnekapı ve Söğütlüçeşme'de terminalden kalkış zamanlarının sıklaştırılabileceği, ancak bu durum, birim zamanda işletilmesi gereken taşıt sayısını arttıracağından, Zincirlikuyu - Edirnekapı arasında gecikme sürelerinin artacağı görülmüştür.

- Sistemin en verimli çalışma koşulları, sistemin düzenli ve kontrol edilebilir olduğu durumlarda elde edilmiştir. Bu durumlar, tüm duraklarda bekleme sürelerinin aynı olduğu, tüm durak dağılım katsayılarının aynı olduğu ya da taşıtların tüm duraklarda bekleme yaptığı (durağı pas geçmediği) durumlardaki çalışma şekilleridir.

- Bu koşullar mevcut metrobüs sistemi için geçerli olmadığından, şu anki sistemde terminalden kalkış sürelerini değiştirmek, sistemde gecikmelere yol açacaktadır.

- Yalnızca terminalden kalkış sürelerinin değiştirilmesiyle hazırlanan 8-14 Senaryo'larında, bugünkü metrobüs sisteminin kapasitesinde çalışmakta olduğu görülmüştür.

- Modelleme yapılırken, durak öncesi linkler 20 metre ara ile yerleştirilirse, gecikmelerin daha rahat izlenebileceği düşünülmektedir.

Bunlarla beraber, Avcılar – Söğütlüçeşme metrobüs hattının genişleme olanakları kısıtlıdır. Sistem zirve saatlerde zirve yönlerde kapasitesinde çalışmaktadır. Sistemin sunulan hizmetin iyileştirilmesine yönelik getirilecek öneriler, taşıtların iyileştirilmesi veya yolların genişletilmesinden çok insan odaklı olmalıdır. Sahadaki personel, geliştirilebilecek bazı işletim yöntemlerine göre eğitilerek, işletimin verimliliğini arttırabilir.

Taşıtlar arası izleme sürelerini sabit tutabilecek teknolojik bir altyapı da, sistemi daha düzenli hale getirip, sistemdeki toplam gecikme sürelerinin azalmasına ve böylece, taşıt/yolcu kapasitesinin artmasına yardımcı olabilir.

KAYNAKLAR

Aydın, F., (2008), "Fatih Sultan Mehmet Köprüsü'ndeki Ek Şerit Uygulamasının Simülasyon Model ile İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Baysal, Z., Yetgin, B., Avcı, A., Koyuncu, O., Kahraman, İ., Bay, U. ve Ertuğrul, Y., (2010), "Avcılar – Söğütlüçeşme Metrobüs Hattının İşletim Özellikleri", Bitirme Çalışması, YTÜ.

DİE, 2002, Ulaştırma İstatistikleri Özeti, Devlet İstatistik Enstitüsü, 2894, 33 s.

Federal Highway Administration, (2007), Traffic Analysis Toolbox Volume IV: Guidelines for Applying CORSIM Microsimulation Modeling Software, Yayın No : FHWA-HOP-07-079, Washington, D.C.

Gökdağ, M., (1996), "Sinyalizasyon Tekniğinin Sinyalize Kavşaklara Uygulanması" , Doktara Tezi, K.T.Ü., İnşaat Bölümü.

Güven, G., (2008), "Metrobüs Sistemlerinin Planlama, Tasarım ve İşletim Özellikleri", Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Güven, G. ve Şahin, İ., (2009), "Metrobüs (BRT) Sistemlerinin Planlama, Tasarım ve İşletim Özellikleri", 8. Ulaştırma Kongresi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, 30 Eylül, 1-2 Ekim, Bildiriler Kitabı, 299-308, ISBN: 978-9944-89-773-0, İstanbul.

İETT, "İstanbulda Otobüs Taşımacılığının İyileştirilmesi, Final Raporu", (03.05.2007).

Kocabaş,N., (2007), "Metrobüs Sistemlerinin Ülkemizde Uygulanabilirliğinin Araştırılması" , Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

TSIS User's Guide, Version 5.1. ITT Industries, Inc., Systems Division, Prepared for Federal Highway Administration under contract number: DTFH61-01-C-00005, May 2003.

Ward, J., (1963), "Hierarchical Grouping to optimize an objective function" , Journal of American Statistical Association, 58(301), 236-244.

Wright, L. and Hook, W. (2007), "Bus Rapid Transit Planning Guide". 3rd Edition, Institute for Transportation and Development Policy, USA.

Yan, B., Jiang,y., Yu, B., Yang, Zohongzhen., (2009), "An Optımızatıon Model For Bus Rapid Transit". ICCTP 2009: Critical Issues in Transportation Systems Planning, Development, and Management.

Yu, L., Yu, L. ve Chen, X., (2007), "Benefit Analysis on Bus Rapid Transit Exclusive Lanes", International Conference on Transportation Engineering.

İNTERNET KAYNAKLARI

[1] www.ibb.gov.tr

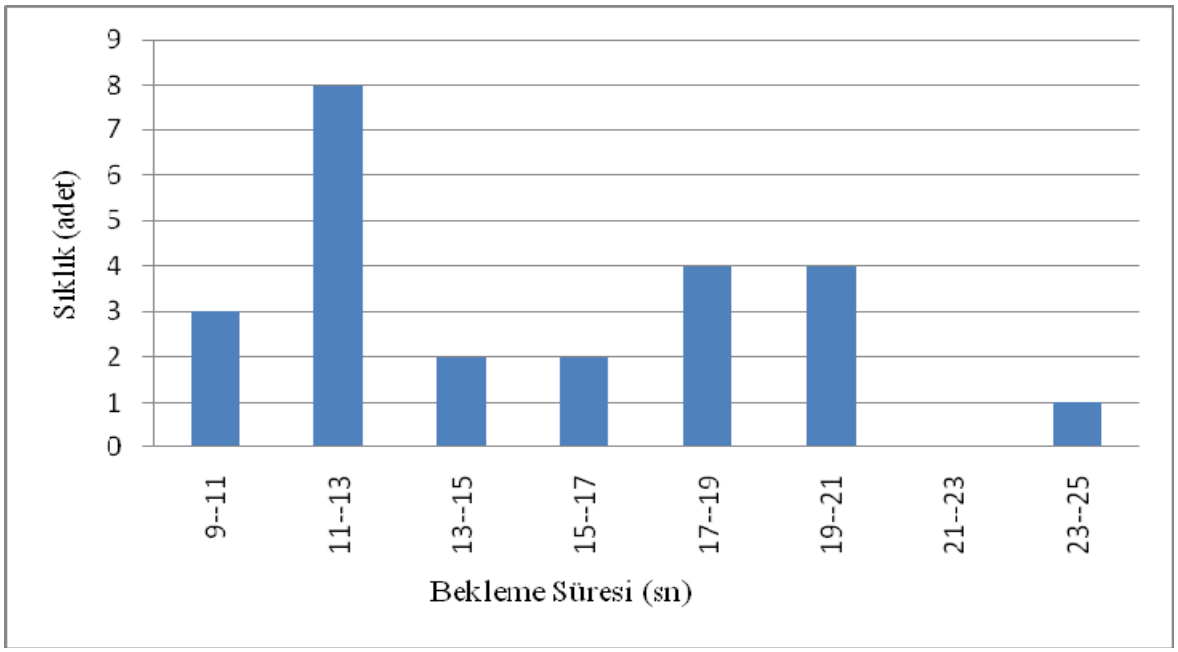
[2] www.iett.gov.tr

[3] http://myeaym.blogspot.com/2009/08/metrobus-yol-haritas-metrobus-yol.html

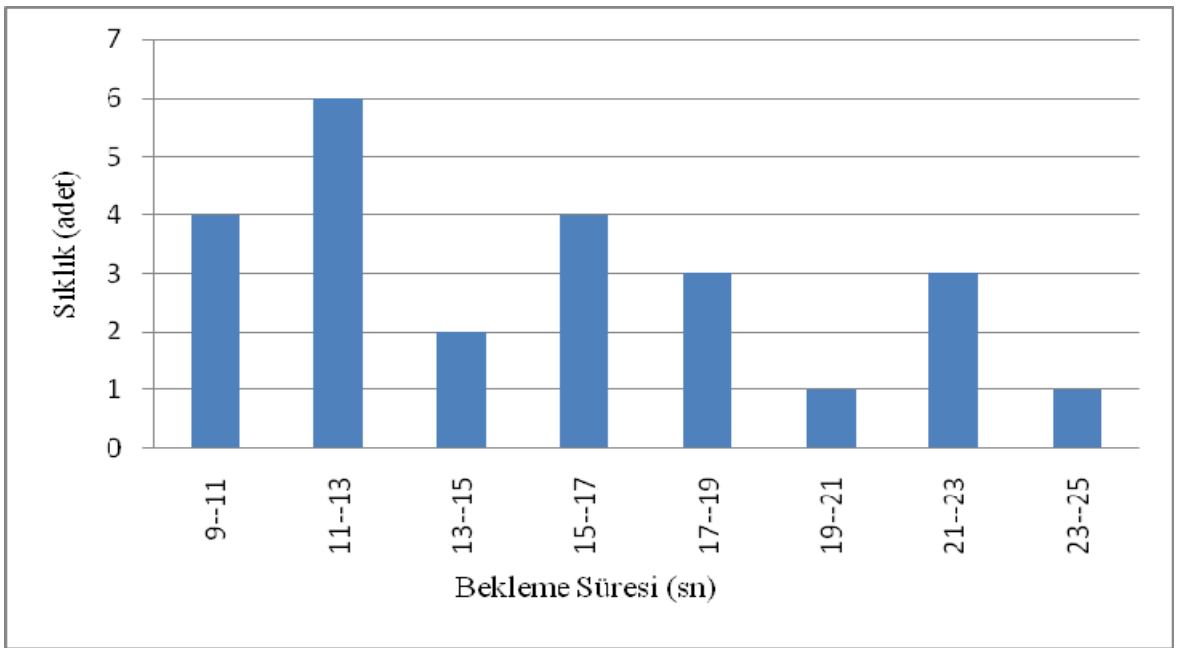
[4] http://wowturkey.com

[5] http://www.mercedes-benz.com.tr

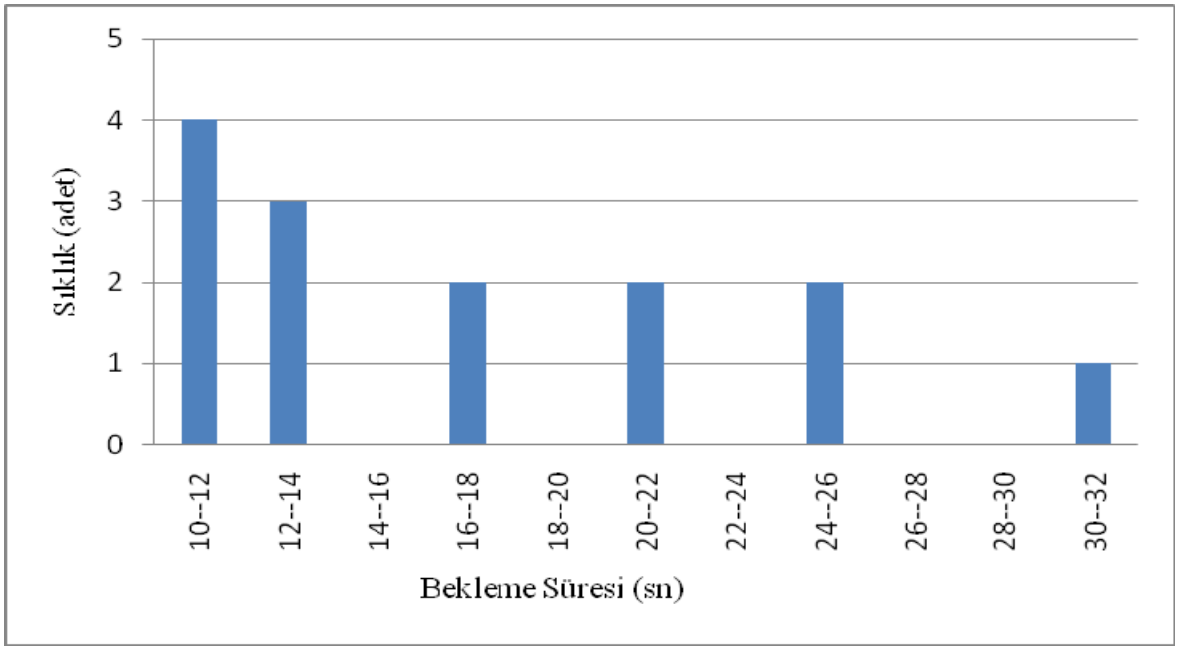
EK 1 BEKLEME SÜRELERİNİN SIKLIĞI



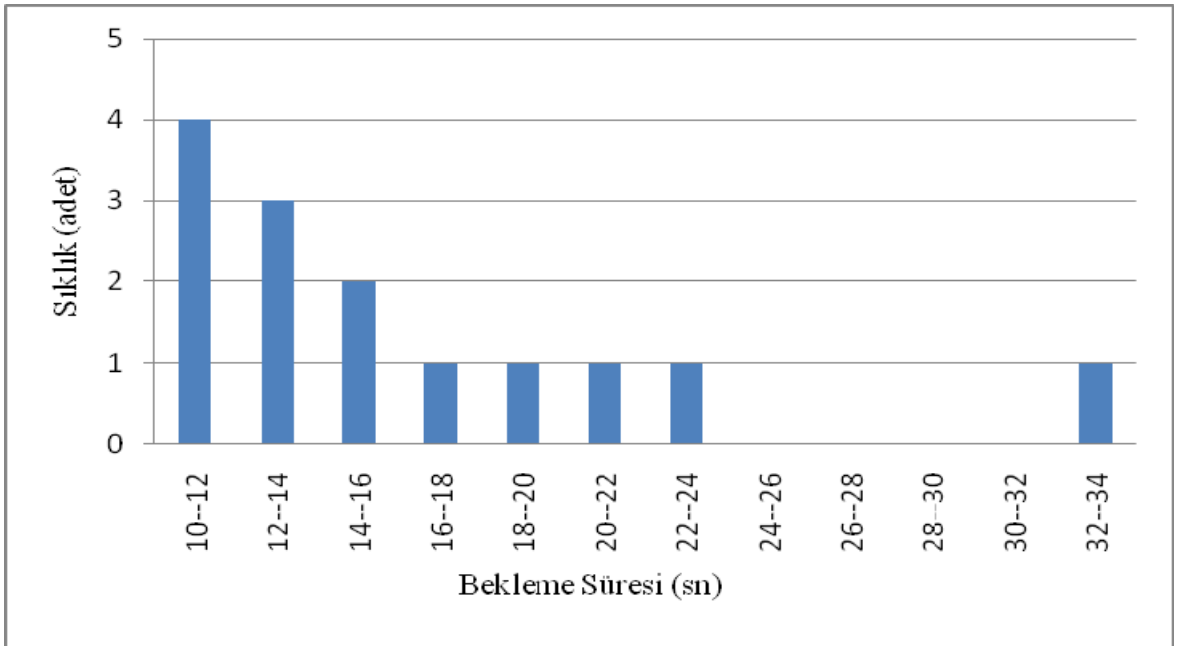
Sabah zirvesinde Avcılar-Zincirlikuyu yönündeki duraklarda bekleme süreleri frekansı



Akşam zirvesinde Zincirlikuyu-Avcılar yönündeki duraklarda bekleme süreleri frekansı



Sabah zirvesinde Söğütlüçeşme – Edirnekapı yönündeki duraklarda bekleme süreleri frekansı



Akşam zirvesinde Edirnekapı – Söğütlüçeşme yönündeki duraklarda bekleme süreleri frekansı

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi:	21.07.1986
Doğum yeri:	Varna
Lise:	2004 Özel Darüşşafaka Lisesi
Lisans:	2008 Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans:	2008 – 2010 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Ulaştırma Programı