

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TOPLU TAŞIMA SİSTEMİNİN VERİMLİLİĞİNİN  
ARTIRILMASINA YÖNELİK PLANLAMA ÇALIŞMALARI:  
SAKARYA UYGULAMALARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Serkan KARACA**

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**  
**Enstitü Bilim Dalı : ULAŞTIRMA**  
**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Hakan GÜLER**

**Ocak 2018**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOPLU TAŞIMA SİSTEMİNİN VERİMLİLİĞİNİN  
ARTIRILMASINA YÖNELİK PLANLAMA ÇALIŞMALARI:  
SAKARYA UYGULAMALARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serkan KARACA

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : ULAŞTIRMA

Bu tez 16/01/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı

7. Doç. Dr. İrfan Pınar



Üye

Yrd. Doç. Dr. Abdülkadir

DEMİREL



Üye

Doç. Dr. Hakan Güler



## BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Serkan KARACA

16./01./2018



## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım ve üniversite eğitim hayatım boyunca kendisinden çok Őey öğrendiğim, bana nasıl bir mühendis olunması gerektiğini gösteren sayın danışman hocam Doç. Dr. Hakan GÜLER'e içten bir teşekkürü borç biliyorum.

Hayatım boyunca beni her konuda destekleyen, hayatta attığım her adımda bana güvenen ve ihtiyacım olduğu anda her türlü desteği veren sevgili annem Betül KARACA ve kardeőim Serhan KARACA'ya sonsuz sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Bana yol gösterip tez çalıőmama destek olduğu için Sayın Orhan DEMİR'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalıőmam boyunca VISUM yazılımını kullanmama izin verdikleri için PTV Group'a teşekkür ederim.

Son olarak tez çalıőmam süresince verdikleri desteklerden dolayı dostlarım Ömer YÖNEV ve Ahmet Hamdi SERDAR'a teşekkürlerimi sunarım.

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
TABLO LİSTESİ .....	v
ŞEKİL LİSTESİ .....	vi
ÖZET.....	vii
SUMMARY .....	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ .....	1
1.1. Sakarya İli ile İlgili Genel Bilgiler .....	2
BÖLÜM 2.	
ULAŞIM .....	6
2.1. Ulaşım Sisteminin Bileşenleri .....	6
2.2. Bireysel Ulaşım .....	7
2.2.1. Otomobil.....	7
2.3. Paratransit Ulaşım .....	8
2.3.1. Taksi .....	9
2.4. Kentiçi Toplu Taşıma.....	9
2.5. Toplu Taşıma Sistemi Özellikleri .....	11
2.5.1. Sistem performansı.....	11
2.5.2. Toplu taşıma sisteminin hizmet verdiği toplam alana ve yakın çevresine etkileri .....	11
2.5.3. Raylı sistemler .....	12
2.5.3.1. Tramvay .....	12
2.5.3.2. Hafif raylı sistemler .....	14
2.5.3.3. Metro.....	14

2.5.4. Denizyolu .....	15
2.5.5. Karayolu .....	16
2.5.5.1. Metrobüs .....	16
2.5.5.2. Trolleybüs .....	17
2.5.5.3. Otobüs .....	18
BÖLÜM 3.	
ULAŞIM PLANLAMASI .....	20
3.1. Ulaşım Planlaması Gelişimi .....	20
3.2. Ulaşım Ana Planı .....	22
3.2.1. Ulaşım ana planının amacı .....	24
3.2.2. Ulaşım ana planı kapsamı .....	24
3.2.3. Ulaşım ana planının yapım aşamaları .....	25
3.3. Yolculuk Talep Tahmin Modelinin Kurulması .....	26
3.3.1. Yolculuk üretimi .....	28
3.3.1.1. Regresyon analiz yöntemi .....	29
3.3.2. Yolculuk dağılımı .....	30
3.3.2.1. Çekim modeli .....	32
3.3.3. Türel dağılım .....	34
3.3.3.1. Lojistik regresyon modeli .....	34
3.3.4. Yolculuk atamaları .....	36
BÖLÜM 4.	
SAKARYA İLİ OTOBÜS TOPLU TAŞIMA MODELİ .....	38
4.1. Sakarya İli Mevcut Ulaşımı .....	38
4.1.1. Sakarya ili mevcut toplu taşıma sistemi .....	39
4.1.1.1. Hafif raylı sistem .....	39
4.1.1.2. Taksi dolmuş .....	40
4.1.1.3. Minibüs .....	41
4.1.1.4. Otobüs .....	42
4.2. VISUM Yazılımı .....	43
4.3. VISUM Yazılımı ile İlgili Yapılan Çalışmalar .....	44

4.4. Sakarya İli Ulaşım Ağının VISUM Yazılımına Aktarılması .....	45
4.5. Sakarya İli Otobüs Toplu Taşıma Sisteminin Modellenmesi ve Analizi .....	52
BÖLÜM 5.	
SAKARYA İLİ OTOBÜS TOPLU TAŞIMA SİSTEMİNİN	
DEĞERLENDİRİLMESİ .....	59
5.1. Toplu Taşıma Sisteminde Seferlerin Düzenlenmesi.....	60
5.2. Toplu Taşıma Sisteminde Araç Seçimi ve Değişikliği Etkisinin İncelenmesi.....	61
5.3. Toplu Taşıma Sisteminde İşletmenin Düzenlenmesi.....	62
BÖLÜM 6.	
SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER .....	64
KAYNAKLAR.....	66
ÖZGEÇMİŞ .....	69

## TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1. 2014 yılı büyükşehir raylı sistemlerinin yolculuk sayıları ve uzunluklarının karşılaştırılması .....	12
Tablo 3.1. Büyükşehir belediyelerinin ulaşım ana planı hazırlama durumu .....	23
Tablo 3.2. Başlangıç-Variş matrisi .....	30
Tablo 4.1. Aktif olduğu sürede Adaray sefer saatleri .....	39
Tablo 4.2. Taksi dolmuş güzergahları .....	40
Tablo 4.3. Sakarya minibüs güzergahları .....	41
Tablo 4.4. Sakarya Büyükşehir Belediyesi güzergâh uzunlukları.....	46
Tablo 4.5. Sakarya Büyükşehir Belediyesi güzergâhlarında çalışan otobüslerin özellikleri.....	48
Tablo 4.6. Sakarya Büyükşehir Belediyesi güzergâhlarında gidiş ve dönüş yönünde günlük olarak çalışan otobüs bilgileri.....	54
Tablo 5.1. Otokar Doruk ve Mercedes Conecto Esentepe-Kampüs-Yazlık (12) güzergahı günlük tek yön taşınabilecek yolcu sayıları.....	62
Tablo 5.2. Duraklarda bekleme sürelerinin düşürülmesi durumunda 12 Esentepe-Kampüs-Yazlık güzergahı sefer süresi .....	63



## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. Ford model T .....	1
Şekil 1.2. Sakarya ilinin Türkiye’deki konumu, ilçeleri ve yol ağları .....	2
Şekil 1.3. Yıllara göre Sakarya ili nüfusları .....	3
Şekil 1.4. 2016 yılı Sakarya ilçelerinin nüfusları ve nüfus artış hızları .....	4
Şekil 1.5. Yıllara göre Sakarya Üniversitesi toplam öğrenci sayısı .....	4
Şekil 1.6. Sakarya ilinin yıllara göre aldığı ve verdiği göçler .....	5
Şekil 2.1. Otomobil genel ölçüleri (ölçüler milimetre olarak gösterilmiştir).....	8
Şekil 2.2. Toplu taşıma ağı örneği Karlsruhe, Almanya.....	10
Şekil 2.3. Riga tramvay sistemi, Letonya .....	13
Şekil 2.4. Kartal-Kadıköy metro hattı tüneli .....	15
Şekil 2.5. Kentiçi deniz ulaşımı, İstanbul .....	16
Şekil 2.6. Metrobüs sistemi bileşenleri .....	17
Şekil 2.7. Malatya trolleybüs sistemi .....	18
Şekil 3.1. Ulaşım planı yapım aşamaları .....	26
Şekil 3.2. Yolculuk üretimi.....	27
Şekil 3.3. Yolculuk dağılımı .....	28
Şekil 3.4. Türel dağılım.....	28
Şekil 3.5. Yolculuk atamaları .....	28
Şekil 3.6. Çalışılan coğrafyanın bölgelere (zonlara) ayrılması ve yolculuk üretimleri (yolcu/gün).....	29
Şekil 3.7. Yolculuk dağılımı (yolcu/gün) .....	34
Şekil 3.8. Avrupa 2014 yılı ülke içi yolcu-km cinsinden türel dağılım istatistikleri	36
Şekil 3.9. Sakarya ili yolculuk ataması (PTV VISUM) .....	37
Şekil 4.1. Adaray durakları.....	40
Şekil 4.2. Taksi dolmuş güzergahları plan görünümü .....	41
Şekil 4.3. Sakarya minibüs güzergahları plan görünümü .....	42

Şekil 4.4. Sakarya Büyükşehir Belediyesi otobüslerinin anlık konumları.....	43
Şekil 4.5. Sakarya ili merkez bölgesi ulaşım ağı .....	45
Şekil 4.6. Sakarya Büyükşehir Belediyesi otobüs güzergâhları.....	46
Şekil 4.7. Sakarya Büyükşehir Belediyesi otobüs durakları .....	48
Şekil 4.8. VISUM yazılımında otobüs özelliklerinin tanımlanması .....	49
Şekil 4.9. Her bir güzergâhta çalışan otobüslerin VISUM yazılımına aktarılması ..	49
Şekil 4.10. Gar-Küpçüler güzergahı otobüslerinin duraklarda bekleme ve duraklar arası seyahat süreleri .....	50
Şekil 4.11. Gar-Küpçüler otobüs güzergahında çalışan otobüslerin hareket saatleri tablosu .....	51
Şekil 4.12. Gar-Küpçüler otobüs güzergâhında çalışan otobüslerin Orer grafiği ....	51
Şekil 4.13. Toplu taşıma güzergâhlarında çalışan tüm otobüslerin Orer grafiği.....	52
Şekil 4.14. Sefer esaslı atama modeli örneği .....	52
Şekil 4.15. Mevcut durumda otobüs hatlarında gün boyu taşınabilecek yolcu sayıları .....	53
Şekil 4.16. Mevcut durumda Kampüs-Karaman Ekspres hattı durakları arasında gün boyu yapılan analiz sonuçları.....	54
Şekil 4.17 Güzergâhlarındaki durakların hizmet alanının 300 m olması durumunda durakların hizmet alanları.....	57
Şekil 5.1. 12 Esentepe-Kampüs-Yazlık güzergahı ek sefer konulması durumunda Orer grafiği .....	61
Şekil 5.2. 12 Esentepe-Kampüs-Yazlık güzergahı otobüsü Otokar Doruk'un Mercedes Conecto ile değiştirilmesi.....	62

## ÖZET

Anahtar Kelimeler: Toplu taşıma, Ulaşım planlaması, Verimlilik

Dünya genelinde özellikle kent merkezlerinde araç sahipliğinin artmasıyla birlikte çevre sorunları da artmaya başlamıştır. Bu sorunların üstesinden gelebilmek için toplu taşıma sistemlerinin etkinliğinin artırılmasına yönelik çalışmalar hızlandırılmıştır. İnsanların özel araçlarını kullanmadan yolculuklarını yapabilmeleri için toplu taşıma seçenekleri artırılmaktadır. Bir taraftan da toplu taşıma sisteminin iyi bir şekilde planlaması yapılarak verimliliği artırılmaya çalışılmaktadır.

Bu çalışmada etkin ve verimli bir toplu taşıma sisteminin oluşturulmasına yönelik Sakarya ili ölçeğinde bir çalışma yapılmıştır. Sakarya Büyükşehir Belediyesi sınırları içinde bulunan yol ağları, toplu taşıma güzergâhları ve seferleri VISUM ulaşım planlama programı ortamına aktarılmıştır. VISUM programında ulaşım planlama teknikleri kullanılarak toplu taşıma güzergâhlarında taşınabilecek yolcu miktarları hesaplanmıştır. Toplu taşıma araç hızları, duraklarda bekleme süreleri ve araç türleri gibi önemli parametreler değiştirilerek senaryolar üretilmiş ve Sakarya’da toplu taşıma sisteminin verimliliği artırılmaya çalışılmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçlar değerlendirilerek Sakarya’nın toplu taşıma sisteminin geliştirilmesine yönelik çözüm önerileri sunulmuştur.

# **PLANNING STUDIES TO INCREASE THE EFFICIENCY OF PUBLIC TRANSPORT SYSTEM: AN APPLICATION FOR SAKARYA PROVINCE**

## **SUMMARY**

Keywords: Public transport, Transportation Planning, Efficiency

Environmental problems especially in city centers arised by automobile ownership in the world. Efforts to increase the efficiency of the public transport systems have been performed, in order to overcome these issues. Public transportation options and efficiency must be improved by making good planning so that people can travel without using private vehicles.

In this paper, a study was carried out in the province of Sakarya to create an efficient and effective public transportation system. The road networks, public transportation routes and trips within the boundaries of the Sakarya Metropolitan Municipality were transferred to the VISUM transportation planning software. The number of passengers could be carried on public transport routes was calculated by VISUM software with using transportation planning methods. Different scenarios were performed by changing important parameters such as the speed of public transportation vehicles, waiting times at stops and vehicle types, and the efficiency of the public transportation system was tried to be increased in Sakarya. Furthermore, by evaluating the results obtained, solutions for the development of Sakarya's public transport system have been proposed.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Geçmişte toplu taşıma ile gerçekleştirilen ulaşım hizmetleri, otomobilin icadı ve otomobil teknolojisindeki hızlı gelişme ile ulaşımın toplu taşıma araçları yerine otomobillerle çözüleceği inancını güçlendirmişti. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde sürekli olarak yollar yapılmakta, özel araç sahipliği özendirilmekte ve toplu taşıma sistemlerinin etkinliği azaltılmaktaydı. Otomobillerin sayısı 1908 yılında 250.000 iken, Ford Model T'nin ortaya çıkışıyla 500.000'e ulaşmış, İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra bu rakam 50 milyonun üzerine çıkmıştır. Günümüzde ise yılda 70 milyonun üzerinde otomobil üretilmektedir. Ancak otomobil sahipliği ile bireysel araç kullanımının getirdiği problemler de artmaya başlamıştır [1].



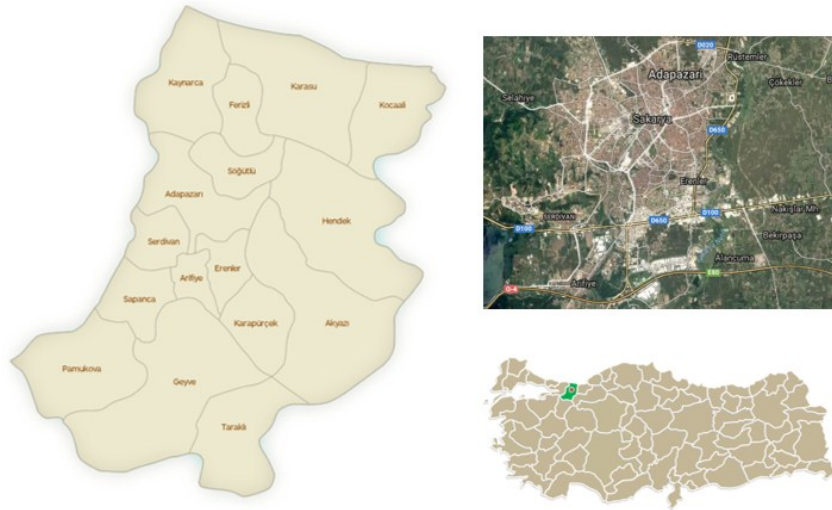
Şekil 1.1. Ford model T [2]

Bu sorunların üstesinden gelebilmek için toplu taşıma sistemlerinin etkinliğinin artırılmasına yönelik çalışmalar başlamıştır. Bu çalışmada toplu taşıma sisteminin iyileştirilmesine yönelik olarak Sakarya ili için örnek bir uygulama yapılmıştır. Sakarya Büyükşehir Belediyesi sınırları içinde bulunan yol ağları, toplu taşıma

güzergâhları ve seferler VISUM ulaşım planlama programı ortamına aktarılmış ve analizler yapılmıştır.

### 1.1. Sakarya İli ile İlgili Genel Bilgiler

Sakarya ili Marmara Bölgesi'nin Çatalca-Kocaeli Bölümü'nde bulunur. Yüzölçümü 4.821 km<sup>2</sup>'dir. Kuzeyinde Karadeniz, batısında Kocaeli, Bursa, doğusunda Düzce ve güneyinde de Bolu ile Bilecik bulunmaktadır. Sakarya Nehri, Sakarya'nın Karasu ilçesinde Karadeniz'e dökülür. Sakarya'da 16 ilçe ve belediye, bu belediyelerde toplam 665 mahalle bulunur [3].

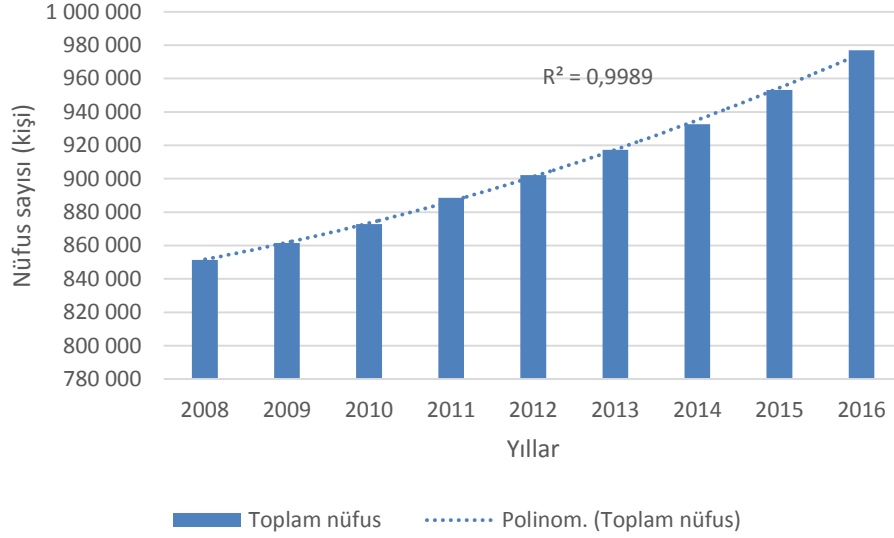


Şekil 1.2. Sakarya ilinin Türkiye'deki konumu, ilçeleri ve yol ağları [4,5]

Sakarya ekonomisine tarım ve sanayi öncülük eder. Ağırlıklı olarak fındık ve mısır yetiştirilir. TÜVASAŞ, Goodyear, Adapazarı Şeker Fabrikası, Toyota ve Otokar şehrin önde gelen sanayi kuruluşlarıdır. Şehirde sanayinin son yıllarda ilerlemesiyle, toplam nüfus bakımından İstanbul, Bursa, Kocaeli ve Balıkesir'in ardından Marmara Bölgesi'nin en büyük beşinci şehridir [6].

Sakarya ilinde; şehrin gelişmeye devam etmesi, üniversite öğrencisi sayısının artması ve yeni iş imkânlarının ortaya çıkması ile şehrin hızla göç alması, şehrin nüfusunda bir artışa sebep olmuştur. Adrese dayalı nüfus kayıt sistemine göre 2016 yılı Sakarya

ili nüfusu 976.948'dir [7]. Şekil 1.3.'te Sakarya ilinin yıllara göre nüfusu gösterilmiştir.



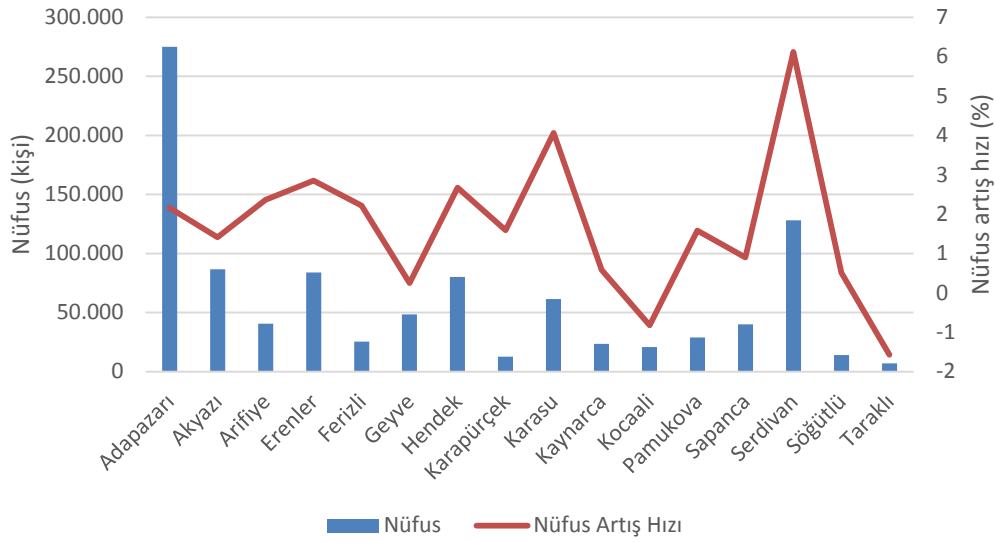
Şekil 1.3. Yıllara göre Sakarya ili nüfusları

Sakarya ilinin yıllara göre nüfusunu gösteren grafikten oluşturulan Denklem 1.1 ile gelecekteki nüfusları tahmin etmek mümkündür.

$$y = 761,06x^2 - 3047073,04x + 3050731717,4 \quad (1.1)$$

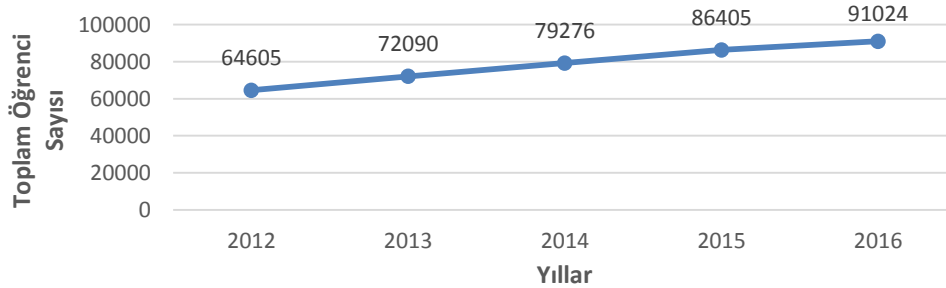
Denklem 1.1'de x yerine hedef yıl koyularak Sakarya nüfusu 2025 yılında 1.230.473 kişi ve 2050 yılında 2.586.635 kişi olarak hesaplanmıştır.

Sakarya ilçeleri arasında en kalabalık nüfusa sahip olan ilçeler 274.898 kişi ile Adapazarı ve 128.121 kişi ile Serdivan'dır [7]. Şekil 1.4.'te ilçe nüfusları ve nüfus artış hızları gösterilmiştir.



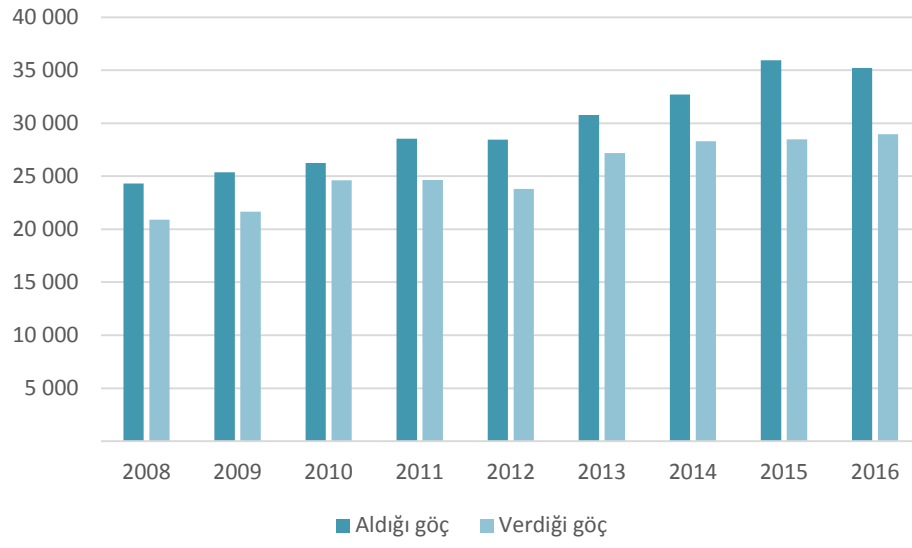
Şekil 1.4. 2016 yılı Sakarya ilçelerinin nüfusları ve nüfus artış hızları

Nüfusun artmasıyla Adapazarı ve Serdivan gibi bölgelerde nüfus daha da yoğunlaşmıştır. Ayrıca bu nüfus artışı şehrin, yeni yerleşim yerleri olan, kampüs çevresi, Korucuk, Camili ve Karaman bölgelerine doğru yayılmasına neden olmuştur. Belli bölgelerde yoğunlaşan nüfus ve yeni yerleşim yerlerinin ulaşımını sağlama ihtiyacı, şehrin ulaşım planının güncellenmesini zorunlu kılmıştır. Şehir merkezi ve Serdivan'daki yoğun trafik ve Karaman-Camili-Korucuk gibi merkeze uzak yeni yerleşim yerlerinin ulaşımı için toplu taşıma araçlarının kullanılması önemlidir. 2016 yılı verilerine göre Sakarya Üniversitesi öğrenci sayısı 91.024 [8] (Şekil 1.5.), Sakarya ilinin aldığı göç 35.228, verdiği göç 28.965 [7] (Şekil 1.6.), nüfus artış hızı %24,6'dır. Sakarya iline kayıtlı toplam otomobil sayısı 133.944'tür.



Şekil 1.5. Yıllara göre Sakarya Üniversitesi toplam öğrenci sayısı





Şekil 1.6. Sakarya ilinin yıllara göre aldığı ve verdiği göçler

## **BÖLÜM 2. ULAŞIM**

Ulaşım; insanların ve nesnelerin belirli bir amaca yönelik olarak yer değiştirmeleridir. Bu yer değiştirme işlemlerinin yerine getirilmesine “ulaştırma” adı verilir [9]. Ulaştırma sistemi ise, insan ve yüklerin bir yerden başka bir yere iletilmelerinin, istenilen koşullara uygun, iyi tanımlanmış bir şekilde sağlanması amacıyla bir araya getirilmiş, işlevleri ve karşılıklı etkileşimleri organize edilmiş, ilgili tüm fiziksel, sosyal, ekonomik ve kurumsal bileşenlerin kümesi şeklinde tanımlanmaktadır [10].

Bireysel gereksinimler için ulaşmak ve ulaşılır olmak zorunluluktur. Ancak ulaşım sadece hareketlilik anlamına gelmemektedir. Önemli olan erişilebilirliğin sağlanmasıdır. Ulaşım ve hareketlilik, insanların diğer insanlara ve mekanlara erişimidir [11].

### **2.1. Ulaşım Sisteminin Bileşenleri**

- Yollar: Yollar iki veya daha fazla noktayı birbirine bağlayan, sistemin işlemesine elverişli bağlantılardır. Ulaşım türlerinin ayrımı göz önünde bulundurularak, bir yol bir türe (bir demiryolunda sadece ağır raylı sistem işletilmesi gibi) veya birkaç türe (bir yolun enkesitinde hafif raylı sistem, otobüs, binek taşıt sistemlerine karma trafik düzeni içinde hizmet vermesi gibi) hizmet edebilir [12].
- Kentsel yol ağı: Bir kentin yaya ve taşıt, tüm yollarının toplamından oluşur. Kentsel toplu taşıma ağı, kentin toplu taşıma sistemlerinin kullanıldığı yol ağıdır. Böyle bir toplu taşıma ağında güzergâh ve hat deyimleri birbirlerinin yerine kullanılabilir fakat yol platformunun tamamını kapsayabilen, bu nedenle daha esnek olan güzergâh deyimini genellikle otobüs sistemleri, hat

deyimi ise daha belirgin bir ulaşım alt yapısını çağrıştırdığından, genellikle raylı sistemler için kullanılmaktadır [12].

- Taşıtlar: Bir ulaşım ağında yolcu veya yükü bir yerden başka bir yere taşıyan araçlardır [12].
- Yolcu/yük indirme/bindirme yerleri: Terminaller indirme/bindirme veya yükleme/boşaltmanın, başlangıç ve varış noktalarında yer alırlar. İlgili ulaşım türü ve ilgili işlemlere ilişkin donanımlara sahip mekanlardır. Duraklar kısa süreli beklemelelere de hizmet vermek amacı ile basit donanıma sahip olup, terminaller arasında, güzergâh boyunca konumlandırılırlar. İstasyonlar genelde raylı sistem durakları anlamında kullanılmakta olup, özellikle büyük istasyonlar yolcu/yük indirme/bindirme, bilet satış, bagaj vb. hizmetler için gerekli alanlar dışında büfe, kafeterya, dükkân gibi alışveriş ve yeme-içme mekanlarını da içeren alanlardır [12].
- Garaj veya depo: Lastik tekerlekli, raylı vb. sistem taşıtlarının çalışmaları dışında çekildikleri, barındırıldıkları yerlerdir. Atölyeler taşıtların bakım ve onarımlarının yapıldığı yerlerdir. Atölyeler genelde garaj veya depo ile birlikte, aynı alanda düzenlenirler. Ancak büyük bir sistem için ayrı bir atölye alanı gerekebilir [12].

Ulaşım, kullanılan araç türleri ve amaçlarına göre sınıflandırılır.

## **2.2. Bireysel Ulaşım**

Bireysel ulaşım, bireylerin araçlarını kendi kişisel ihtiyaçları için kullanmalarınıdır. En yaygın modları; yaya, bisiklet ve özel araçlardır [13].

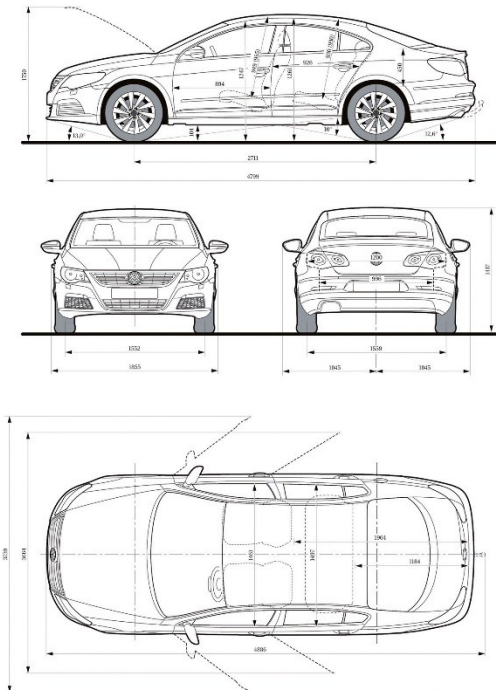
### **2.2.1. Otomobil**

İnsan taşımak için üretilen ve yapı itibarıyla sürücüsü dahil en çok dokuz oturma yeri olan motorlu taşıtlara otomobil denir [14].

Otomobilin çok geniş bir kullanım alanı vardır. Hızı, konforu ve seyahat esnekliğinden dolayı tercih edilir. Buna karşılık ekonomik, teknik ve çevresel açılardan bakıldığında, aşırı ve düzensiz kullanımında topluma zarar veren bir ulaşım sistemi olduğu söylenebilir [15].

Otomobiller yolcu kapasitelerinin düşük olmasına karşın, ülkemizde en fazla kullanılan ulaşım modlarından biridir. Bu açıdan bakıldığında trafikte çok fazla yer kaplayıp trafik tıkanıklıklarına sebep olurlar ve ulaşım kalitesini düşürürler [15].

Ekim 2017 itibariyle Türkiye’de trafikte bulunan toplam otomobil sayısı 11.907.977’dir [7]. Diğer bir deyişle, trafikte bulunan tüm araçların %54’ü otomobillerdir. Şekil 2.1.’de bir otomobilin ölçüleri taslak olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Otomobil genel ölçüleri (ölçüler milimetre olarak gösterilmiştir) [16]

### 2.3. Paratransit Ulaşım

Kişilerin, araçları ve operatörlerini kiralayarak yaptıkları bireysel ya da toplu yolculuklara paratransit ulaşım denir. Taksi ve servis bu ulaşım türünün örneklerindedir [13].

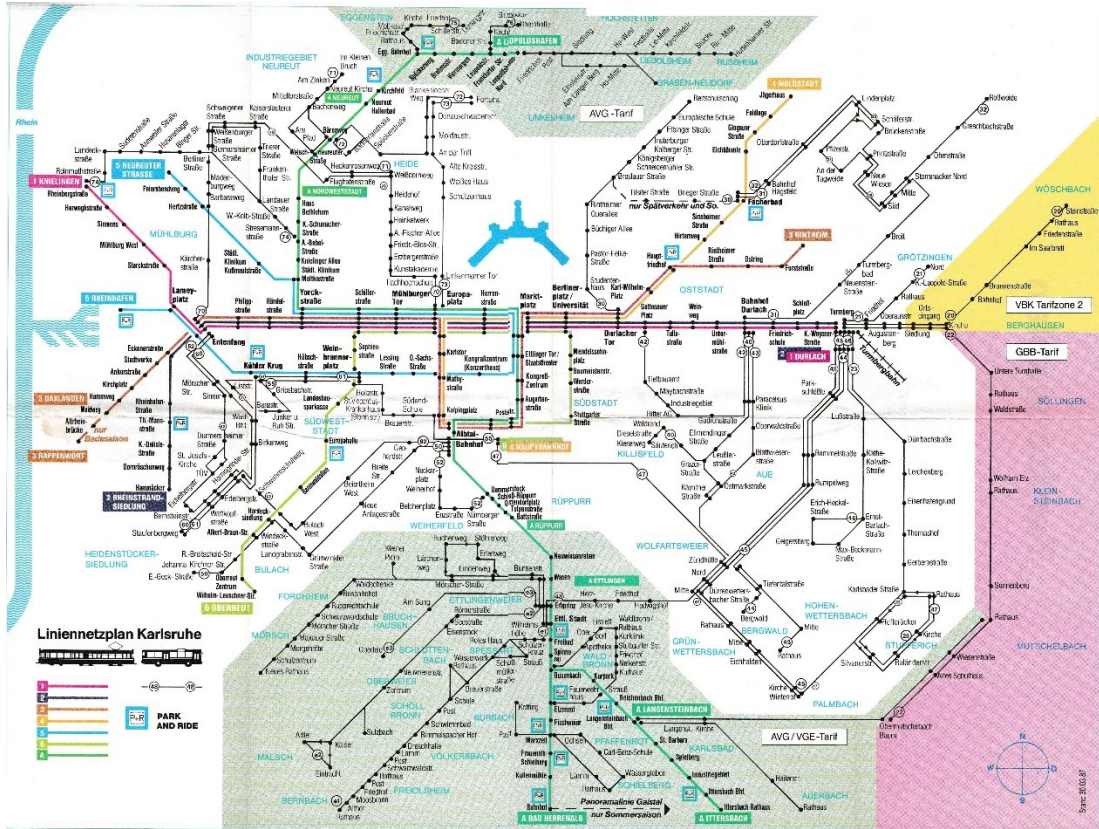
### 2.3.1. Taksi

Karayolları Trafik Yönetmeliği'ne göre; yapısı itibariyle sürücüsü dâhil en çok dokuz oturma yeri olan, insan taşımak için imal edilmiş ve taksimetre veya tarife ile yolcu taşıyan ticari motorlu araçtır [14].

Kolay ulaşımı, hızı ve rahatlığı nedeniyle tercih edilir fakat toplu taşıma araçlarına göre daha pahalıdırlar. Taşıdıkları yolcu sayısına göre trafikte çok fazla yer kapladıklarından ve belirli saatleri ya da yol üzerinde durakları olmadığından dolayı trafik akışını yavaşlatıp tıkanıklıklara neden olabilirler.

### 2.4. Kentiçi Toplu Taşıma

Toplu taşıma, her ferde açık, daha önce belirlenmiş bir ücret karşılığı, belirli bir güzergahta, belirli bir zaman tarifesine göre, belirli duraklarda duran, koridordaki diğer araçlarla birlikte veya diğer araçlardan ayrılmış olarak işletilen sistemler olarak tanımlanır [17]. Özellikle batı ülkelerinde kentiçi ulaşım denilince; felsefesi, politikaları, kavramları, kuram ve uygulama örnekleri (modelleri), stratejileri ile kentsel, hatta ulusal bağlamın içine yerleştirilen, oluşturulan akademi içi ve dışı literatürüyle geniş, yerleşik bir disiplin anlaşılır [11] (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. Toplu taşıma ağı örneği Karlsruhe, Almanya

Tüm özel araç kullanıcılarının talebini karşılayacak yol ağı sağlamak maliyet ve arazi kullanımı gibi nedenlerden dolayı mümkün olmayacağı için, toplu ulaşım sistemlerinin iyileştirilmesi ve geliştirilmesi için yatırımların yapılması, kişilerin ulaşım ihtiyacının karşılanması için akılcı olan yöntemdir [18].

Kentçi ulaşımında kullanılacak sistemin belirlenmesi; taşınacak yolcu sayısı, kapasitesi, frekansları ve hacmi gibi birçok değişik faktöre bağlıdır. Genelde bu faktörler bölgeden bölgeye, şehirden şehre ve ülkeden ülkeye değişim gösterebilir. Kentçi ulaşımında değişmeyen hedef, taşımacılıkta kullanılacak sistemin güvenli, hızlı, ekonomik, dakik, sık işleyen, tarifeli ve düzgün işleyen bir sistem olmasıdır [18].

Bir bölge veya bir kent için sistem belirlemeye gidilirken o bölgenin veya kentin iklim yapısı, jeolojisi, bölgenin veya kentin sosyo-ekonomik yapısı, şehrin planlama

özellikleri, mevcut olan yolların veya sistemlerin kaliteleri, verimliliği, ülkeden ve bölgeden gelen veriler vb. birçok faktör göz önünde bulundurulmalıdır [18].

## **2.5. Toplu Taşıma Sistemi Özellikleri**

Bir toplu taşıma sisteminin özellikleri aşağıdaki gibi iki başlıkta incelenebilir.

### **2.5.1. Sistem performansı**

- Hizmet sıklığı: Saat başına toplu taşıma birimlerinin kalkış sayısıdır [12].
- İşletme hızı: Güzergahta, yolcuların yolculukları sırasında yapılan hız [12].
- Güvenirlilik: Tarifede önceden belirlenmiş bir zaman sapması (geç kalma zamanının) içinde kalarak, vaktinde gelen taşıtların yüzdesi ile tanımlanmaktadır [12].
- Güvenlik: Her 100 milyon yolcu-km veya benzeri bir birime düşen ölümcül kazalar, hafif yaralanmalar ve maddi hasar ile ölçülür [12].
- Hat kapasitesi: Bir saatlik sürede bir hatta belli bir noktadan geçerken toplu taşıma araçlarının taşıyabileceği yolcu sayısıdır [12].

### **2.5.2. Toplu taşıma sisteminin hizmet verdiği toplam alana ve yakın çevresine etkileri**

Bu etkiler olumlu veya olumsuz olabilir.

- Kısa dönemde, yeni açılan bir hattın etkileri trafik sıkışıklığı düzeyindeki değişiklik, hava kirliliğinde değişiklik, gürültü ve estetik gibi etkilerdir [12].
- Uzun dönemde, arsa ve yapı değerlerindeki ekonomik aktivitelerdeki, kent formunda ve kentin sosyal çevre değerlerindeki, değişiklikleri içerir [12].

### 2.5.3. Raylı sistemler

Sabit bir yola (raya) bağımlı olarak hareket ederek yük ve yolcu taşıyan, tek ya da birleşik araçlarla bunların yardımcı tesislerinden oluşan sistemlere raylı sistemler denilmektedir [15].

Raylı sistem taşımacılığı genel olarak, otobüs sistemi ile karşılanamayacak yüksek talep düzeylerindeki ulaşım koridorlarında yapılmaktadır. Büyük şehirlerde, genellikle şehir dışındaki yerleşim bölgelerine ulaşımında kullanılır [15].

Raylı sistemler günümüzde yaygın olarak kullanılan toplu taşıma sistemlerinden birisidir. Kalabalık nüfusa sahip olan kentlerde sıklıkla tercih edilir ve verimli olarak kullanılır. Başlıca üç farklı türde olmaktadır. Bunlar; tramvay, hafif raylı sistemler ve metrodur [15]. Tablo 2.1.'de [19] bazı metropollerde bulunan raylı sistem uzunlukları ve günde taşıdıkları yolcu sayıları gösterilmiştir.

Tablo 2.1. 2014 yılı büyükşehir raylı sistemlerinin yolculuk sayıları ve uzunluklarının karşılaştırılması

Şehir adı	Uzunluk (km)	Yolcu Sayısı (yolcu/gün)
İstanbul	142	1.632.863
Londra	408	3.500.000
Roma	76	870.000
Tokyo	880	8.700.000
Paris	214	4.500.000
Singapur	130	1.952.000

#### 2.5.3.1. Tramvay

Dünyadaki ilk tramvay sistemleri 1800'lerin ilk yarısında at gücüyle çekilen ve rayların üzerinde hareket eden toplu taşıma sistemleri olarak kurulmuştur. New York, New Orleans, Paris, Londra ve Kopenhag bu şehirlere örnek olarak verilebilir. Bu sistem ile taşımacılık anlamında büyük bir adım atılmış ve iki atın yapabileceği iş bir at ile yapılmaya başlanmıştır. At gücüyle çekilen tramvay sistemlerinden sonra elektrikli tramvaylar geliştirilmiştir. İlk elektrikli tramvay 1881 yılında Almanya'da



kullanılmış olup bu tarihten sonra atların çektiği tramvayların yerini elektrikli tramvaylar almaya başlamıştır. Her ne kadar tramvayların Amerika ve İngiltere ve Fransa'da zamanla kullanımı azalsa da özellikle Almanya ve Doğu Avrupa'da tramvaylar yoğun bir şekilde kullanılmaya devam etmiştir [20].



Şekil 2.3. Riga tramvay sistemi, Letonya

Tramvaylar genelde 1-2 araçlık diziler halinde (bazı durumlarda 3), hemzemin ve trafik ile karışık olarak işletilmektedir. Araçlar 4-6 akslı olup uzunlukları 14-21 metre arasında değişmektedir. 100-180 yolcu taşıma kapasitesine sahip bu araçlarda kapasitenin yaklaşık yüzde 20-40'ı oturma yeridir. Tramvay sistemi trafik ile karışık işlediğinden ve daha kısa istasyon aralıklarına sahip olduğundan, işletme hızları diğer raylı sistemlere göre düşük olup 15-30 km/s arasında değişebilmektedir [20].

### 2.5.3.2. Hafif raylı sistemler

En az tek ray üzerinde kılavuzlu olarak hareket ettirilen, tek araç veya kısa dizi olarak işletilebilen; yer seviyesinde, yükseltilmiş yollarda veya yer altında kendine ait özel bir yolu olan kentiçi raylı sistemlerdir. Şehir içinde gezinmesiyle tramvaya, trafiğin elvermediği bölgelerde yer altına inmesiyle de metroya benzer [21].

Hafif raylı sistem araçları genellikle yüksek tabanlıdırlar. İstasyonlardaki platformlar sayesinde yolcu binişleri kolaylaşır. Ortalama işletme hızları 60-80 km/s arasındadır. İstasyon aralıkları kent merkezlerinde 400-800 m civarındayken, şehir merkezinden uzak bölgelerde 1-2 km'ye kadar çıkabilir [21].

Ülkemizde İstanbul, Ankara, İzmir, Bursa, Adana, Gaziantep gibi şehirlerde hafif raylı sistem kullanılmaktadır.

### 2.5.3.3. Metro

Kendi kılavuzlu hattına sahip olan, elektrikli işletilen, bir bütün şeklinde kendi hat yatağına sahip olan (çoğunlukla yeraltında veya yer üstünde) sistemlere metro sistemleri denir [22].

Metrolar, yüksek kapasiteli ve yüksek hizmet frekansı olan, elektrikli kentiçi bir ulaşım sistemidir. Metrolar yaya ve yol trafiğinden tamamen bağımsızdır. Bu nedenle tünel, viyadük veya yer seviyesi gibi farklı fiziksel ayırımdaki operasyonlar için tasarlanmışlardır. Metro, yüksek kapasiteli bir hat veya ağ hizmeti için en uygun toplu taşıma modudur [23].

Kentsel bölgelerde özel raylarda işletilen elektrikli bir tren olan metro 1890 yılında ortaya çıkmıştır. Aynı yıl ilk resmi yeraltı hattı açılışı Londra'da yapılmıştır. Bu zamandan beri Avrupa, Asya ve Amerika kıtalarında yaklaşık 120 metropolde metro sistemleri bulunmaktadır. Kahire, Afrika'da metro hattına sahip olan tek şehir iken, Okyanusya'da ise sadece tramvay ve hafif raylı sistemler bulunmaktadır [23].



Şekil 2.4. Kartal-Kadıköy metro hattı tüneli

İstanbul’da metro ağları ile 2016 yılında günde 1,5 milyon yolcu taşınmıştır [24]. Bu sayı, şehirde toplu taşıma ile seyahat eden yolcu sayısının %15’ini oluşturur [25]. Dünyada ise 2014 yılında metro ağlarıyla günde yaklaşık 150 milyon yolcu [26], havayollarıyla ise yaklaşık 9 milyon yolcu taşınmıştır [27]. Diğer bir deyişle metro ile günlük hava yolcusu sayısının yaklaşık 17 katı yolcu taşınmıştır. Tek başına bu karşılaştırma, metro sistemlerinin geliştirilmesi, organize edilmesi ve çalıştırılmasının ekonomik ve sosyal önemini gösterir. Yüzyılı aşkın bir süredir metro, yolcu hizmeti kalitesini artırırken, endüstriyel ve teknolojik alanlarda önemli ilerlemeler kaydetmiştir [23].

#### **2.5.4. Denizyolu**

Denizyolu taşımacılığı entegre bir sistem olarak algılanmakta, tüm ulaşım sistemlerinin oluşturduğu “Ulaştırma zincirinin” bir parçası olarak görülmektedir [15].



Şekil 2.5. Kentiçi deniz ulaşımı, İstanbul

Kitle taşımacılığı içinde birim taşıma maliyeti en düşük olanı denizyolu taşımacılığıdır. Bu nedenle de sanayileşmiş ve denize kıyısı olan ülkeler taşımacılıkta denizyolunu tercih etmektedirler. Bugün dünya ticaretinin yaklaşık %80'i denizyolu ile yapılmakta, ton-mil bazında ise bu oran %99'u bulmaktadır. Denizyolu ulaştırmasında ulaşım ağının sınırlılığı, deniz ve kara ulaşım ağının birbirlerine bağlanmasıyla çözülmektedir [15].

## 2.5.5. Karayolu

### 2.5.5.1. Metrobüs

Metrobüs bir çeşit toplu taşıma sistemidir. Trafikte özel bir şerit tahsis edilerek işletilir. Bu sistemlerin amacı, otobüs taşımacılığının esnekliği ve düşük maliyetini korurken, raylı sistem hizmet kalitesine yaklaşmaktır.

Metrobüs ülkemizde sadece İstanbul'da kullanılmaktadır. Toplam 52 km.'lik hat uzunluğuna sahip metrobüs ile 2013 yılında günde 750.000 yolcu taşınmıştır [28].

Şekil 2.6.'da Metrobüs sistemlerinin bileşenleri gösterilmiştir [29].





Şekil 2.6. Metrobüs sistemi bileşenleri

### 2.5.5.2. Trolleybüs

Trolleybüs, tramvay gibi sabit bir enerji hattına bağlı olarak çalışan fakat vagon yerine otobüslerin kullanıldığı bir toplu taşıma sistemidir. Lastikleri bulunduğu sınırlı düzeyde esnekliğe sahiptirler. Tramvaylara göre basit bir teknolojiye ve otobüslere göre daha düşük bir ilk yatırım maliyetine sahip oldukları için tercih edilirler [30].

Elektrik enerjisi ile çalıştılarından dolayı fosil yakıt kullanan araçlarla karşılaştırıldıklarında çevre ve ses kirliliğine daha az neden olur. Bununla birlikte elektriklerin kesilmesi halinde yedek (akü) ya da alternatif bir enerji kaynağı (farklı bir trafo) olmaması durumunda, trafik tıkanıklıklarına sebep olabilirler [30].



Şekil 2.7. Malatya trolleybüs sistemi [31]

Trolleybüs ülkemizde şu an Malatya’da kullanılmaktadır. 36 km. uzunluğunda ve 57 adet istasyonu bulunan bir ağa sahiptir [32].

### 2.5.5.3. Otobüs

Sürücüsü dahil dokuzdan fazla oturma yeri olan ve insan taşımak için imal edilmiş olan motorlu taşıtlara otobüs denir [14].

Otobüsler en çok kullanılan toplu taşıma teknolojisini temsil eder. Esas itibarıyla dünyada toplu taşıma hizmeti olan her şehir otobüs işletir. Raylı sistemi olan büyük şehirler bile geniş kapsamlı otobüs ağları işletirler, genellikle daha düşük yolcu hacimli hatlarını ya da demiryollarını beslerler. Güzergâh üzerindeki duraklar basit olabilir [13].

Otobüs sistemleri genel karakteristikleri aşağıda belirtilmiştir [13].

- Esneklik: Karışık modlarda birçok yol üzerinde işletme olanağı sağlar.
- Düşük Yatırım Maliyeti: Asgari altyapı, hızlı tanıtım ve kolay değişim avantajı bulunur.

- Sınırlı Kapasite: Yoğunluğu az ya da orta derecede olan toplu taşıma güzergahları için idealdir.

Toplu taşıma sistemlerinde sık kullanılan otobüs türleri aşağıda sıralanmıştır [13].

- Standart otobüs: 10-12 metre uzunluğunda ve 2,50 metre genişliğindedir.
- Körüklü otobüs: Ana gövdesi iki aks ve körüklü bölümü üçüncü bir aks üzerindedir. Bu otobüsler 16-18 metre uzunluğundadır ve kapasiteleri standart bir otobüsten yaklaşık yüzde elli daha fazladır. Geniş kapasiteleriyle, körüklü otobüsler yolculuk talebinin yoğun olduğu güzergahlara uygundur.
- Çift katlı otobüs: İki kata sahiptir ve üst katları sadece oturan yolculara aittir. Tıpkı körüklü otobüsler gibi, çift katlı otobüsler de standart otobüslere göre geniş kapasiteye sahiptir fakat yolda daha az yer kaplarlar.

## **BÖLÜM 3. ULAŞIM PLANLAMASI**

Mevcut kentsel ulaşım sisteminin analiz ve değerlendirmelerinin yapılarak, hedeflenen yıllar için dengeli ve sürdürülebilir bir ulaşım sisteminin tasarlanmasına ulaşım planlaması denir. Hedef yıl için bölgede yapılacak yatırımlar, çekim merkezleri, nüfus, seyahat talepleri ve trafik hacmi gibi kriterler göz önünde bulundurularak ulaşım planlaması yapılır [33].

Günümüzde, ulaşım plancıları ve mühendislerinin görevleri şöyledir [33];

- Ulaştırma sistemlerinin gelişimi için ayrılan kaynakların etkili ve verimli bir şekilde kullanımını planlarlar.
- Trafik sıkışıklığı ve ulaşım talebinin yönetilmesi için çalışırlar.
- Tür ve güzergâh seçimini etkileyen faktörleri belirlerler.
- Toplu taşımaya öncelik verirler.
- Kullanıcılar için konforlu ve güvenli sistemlerin oluşturulmasını sağlarlar.
- Gürültü ve hava kirliliğinin azaltılmasına yönelik önlemler alırlar.
- Toplu taşımının optimizasyonu için analiz yapıp öneriler sunarlar.
- Türler arası entegrasyonun akılcı ve uygulanabilir olmasına yönelik çalışmalar yaparlar.

### **3.1. Ulaşım Planlaması Gelişimi**

Hızlı kentleşme ile birlikte nüfus artışının yaşanması şehirlerde bazı sorunların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Trafik tıkanıklığı, bireysel araç kullanımının artması, düzensiz yapılaşma gibi problemler yeni çözümler üretilmesini zorunlu kılmıştır [15].



1950’li yıllardan önce ulaştırma içerisinde az sayıda bulunan özel araçlar, 1950’li yıllardan sonra hızlı bir şekilde artmaya başlamıştır. İnsanların otomobillere olan talebi toplu taşıma kullanımının azalmasına sebep olmuştur. Buna bağlı olarak trafiğe çözüm üretebilmek düşüncesiyle kentlerde yeni yol ağları oluşturulmuş ve kent merkezlerine de otoparklar inşa edilmiştir. Yaya ulaşımının dışlandığı, toplu taşıma araçlarından yüz çevrilen bu dönemde birçok yerde var olan tramvay rayları kaldırılmıştır [34].

1950’li yıllarda dünyada meydana gelen hızlı teknolojik gelişmelerin etkisinde kalınmış ve sorunların çözümünde teknolojinin yeterli olacağı düşünülmüştür. Bu düşünce planlama çalışmalarını olumsuz yönde etkilemiştir. 1962 Yılında bir rapor yayınlayan Buchanan, otomobilin ulaşım için çok pahalı ve sorunlu bir çözüm olacağını ortaya koymuştur. Buchanan bu nedenle nüfusu 100 bini aşan şehirlerde mutlaka başka sistemlerin geliştirilmesi gerekliliğini açıklamıştır. Ancak yine de bu dönemde teknolojinin olanaklarından yararlanılarak otomobil öncelikli ulaşımın sorunlarına çözüm üretilebileceği düşünülmüştür. Dolayısıyla otoyol ve ekspres yollarının yapılması öngörülmüştür. Aynı dönemde toplu taşıma ile ilgili de çeşitli düzenlemeler yapılmıştır. Paris’te caddelerin yarısından fazlası tek yön olarak değiştirilmiş, toplu taşımaya yönelik olarak da otobüslere özel şeritler tahsis edilmiştir. Bu dönemde büyük kentlerde trafik sıkışıklığına çözüm üretilememiş, ayrıca çevre ve ses kirliliği kaygı verici düzeylere ulaşmıştır [34].

1970’lerde geriye dönük olarak 20 yılda yapılan hataların farkına varılmış ve daha gerçekçi, ekonomik ve uygulanabilir projeler gündeme getirilmiştir. Otomobilin artmasına paralel olarak ortaya çıkan sorunların teknoloji ile çözümlenemeyeceği ve toplu taşıma sistemlerine ihtiyaç duyan büyük kitlelerin var olduğu fark edilmiş, böylece taşıt yerine insan öncelikli planlar yapılmaya başlanmıştır. Ayrıca ekoloji ve estetik değerlerin ön plana çıkması toplu taşıma araçlarının çözüm olarak görülmesini sağlamıştır. 1973-1974 yıllarında petrol krizinin ortaya çıkması da toplu taşımayı tek alternatif kılmıştır. Böylece bireysel ulaşımın maliyeti yükselmiş, taşıtlar için kurulacak karayolu ağları finanse edilemez hale gelmiştir. Bu durum otomobil odaklı ulaşım düşüncesinin değişmesini zorunlu kılmıştır [34].

1980'lerde, kentiçi ulaşım sorunlarının ancak toplu taşıma sistemleriyle çözülebileceği anlaşılmış, yolcular için güvenilir toplu taşıma sistemlerinin kurulması ve özel otomobil sürücülerini caydırıcı birtakım uygulamalarla toplu taşıma sistemlerine çekilmesi stratejisi izlenmiştir. Bu yaklaşım içerisinde başta raylı sistemler olmak üzere, şehir merkezlerinde büyük kapasiteli toplu taşıma sistemlerine öncelik vermeye ve entegre toplu taşımacılık sistemleri oluşturulmaya başlanmıştır. Kişilere mümkün olduğunca çok yolculuk alternatifi sunulmuştur. Bu sunumların ana hedefi ise kişilerin özel otomobil ile kent merkezine giriş taleplerini azaltmaktır [34].

### **3.2. Ulaşım Ana Planı**

Ulaşım ana planı; metodolojik bir süreç izleyen ve matematiksel yöntemler ile talep tahmin modellerinin kurulumunu amaçlayan, kentlerin hedefleri doğrultusunda yapılan kapsamlı bir çalışmadır. Yolcuların bir yerden bir yere hızlı ve güvenli bir şekilde ulaşımını sağlamak, mevcutta var olan sorunları çözüme kavuşturup geleceğe yönelik tedbirler almak ve şehrin fiziksel, ekonomik ve kültürel olarak gelişimini ulaşım ile paralel olarak sürdürmek için yapılan stratejik çalışmaların bütününe ulaşım ana planı denmektedir [33].

Ulaşım ana planının temel fonksiyonu, gerekli olan planlama konseptlerini ve tedbirleri tanımlamak ve bu konuyla bağlantılı olarak bugün ve gelecekte çevreyi ve kaynakları koruyacak şekilde, sosyal açıdan kabul edilebilir biçimde, şehrin imkânlarına ve gelecekte göstereceği gelişime uygun ve ekonomik olarak insanların, mal ve hizmetlerin ulaşım ve ulaştırmalarını sağlamak için en uygun olan temel çerçeveleri tarif etmektir [33].

Ulaşım ana planı, gerçekleştirme açısından ulaşım yatırımlarının talep tahmin verileri ışığında öncelikleri tespit etmelidir ve söz konusu uygulamaların adım adım en etkili biçimde gerçekleştirilebilmesini sağlayan bir uygulama stratejisi tavsiye etmelidir. Bu anlamda, ulaşım ana planı, bağlayıcı etkisi yüksek olan stratejik bir planlama kılavuzudur [33].

Ülkemizde 30.03.2014'te yürürlüğe giren büyükşehir ve ilçe belediyelerinin görev ve sorumluluklarını içeren 5216 Sayılı Büyükşehir Belediyesi Kanunu Madde 7/f'ye göre; "Büyükşehir ulaşım ana plânını yapmak veya yaptırmak ve uygulamak; ulaşım ve toplu taşıma hizmetlerini plânlamak ve koordinasyonu sağlamak; kara, deniz, su ve demiryolu üzerinde işletilen her türlü servis ve toplu taşıma araçları ile taksit sayılarını, bilet ücret ve tarifelerini, zaman ve güzergâhlarını belirlemek; durak yerleri ile karayolu, yol, cadde, sokak, meydan ve benzeri yerler üzerinde araç park yerlerini tespit etmek ve işletmek, işletirmek veya kiraya vermek; kanunların belediyelere verdiği trafik düzenlemesinin gerektirdiği bütün işleri yürütmek." büyükşehir ve ilçe belediyelerinin görev ve sorumlulukları arasındadır. Toplam 30 büyükşehir belediyesinden, 20 tanesi ulaşım ana planını hazırlamıştır. Bu durum ülkemizde ulaşım planlamasına yeteri kadar önem verilmediğini gösterir (Tablo 3.1.).

Tablo 3.1. Büyükşehir belediyelerinin ulaşım ana planı hazırlama durumu [35]

No	Büyükşehir Belediyesi	Ulaşım Ana Planı Hazırlama Durumu
1	Adana	Hazırlandı
2	Ankara	Hazırlandı
3	Antalya	Hazırlandı
4	Aydın	Hazırlanmadı
5	Balıkesir	Hazırlandı
6	Bursa	Hazırlandı
7	Denizli	Hazırlandı
8	Diyarbakır	Hazırlandı
9	Erzurum	Hazırlandı
10	Eskişehir	Hazırlandı
11	Gaziantep	Hazırlandı
12	Hatay	Hazırlanmadı
13	İstanbul	Hazırlandı
14	İzmir	Hazırlandı
15	Kahramanmaraş	Hazırlanmadı
16	Kayseri	Hazırlandı
17	Kocaeli	Hazırlandı
18	Konya	Hazırlandı
19	Malatya	Hazırlanmadı
20	Manisa	Hazırlanmadı
21	Mardin	Hazırlanmadı
22	Mersin	Hazırlandı
23	Muğla	Hazırlandı
24	Ordu	Hazırlanmadı
25	Sakarya	Hazırlandı
26	Samsun	Hazırlandı
27	Şanlıurfa	Hazırlanmadı
28	Tekirdağ	Hazırlanmadı
29	Trabzon	Hazırlandı
30	Van	Hazırlanmadı

### 3.2.1. Ulaşım ana planının amacı

Şehirlerde hızlı bir şekilde artan nüfus, iş olanakları, bireysel taşıt sayısı, kentsel kullanım alanlarının genişlemesi ve çeşitlenmesi gibi etkenler, kentiçi ulaşımın çevre, enerji, sürdürülebilirlik, sosyal denge gibi kriterler dikkate alınarak bilimsel metotlarla çözülmesini zorunlu kılmaktadır. Bu çerçevede kentiçi ulaşımının, belirlenen hedef yıllara göre; kentin merkezi idareye bağlı kurumların yatırım programları dikkate alınarak analiz edilmesi ve düzenlenmesi gerekmektedir. Toplu taşıma sistemlerine ve yaya, bisiklet gibi çevre dostu motorsuz ulaşım biçimlerine öncelik verilerek, ulaşım problemleri giderilmelidir. Toplu taşıma türlerinin entegrasyonu ile durak ve terminal alanlarının düzenlenmesi ve erişimlerinin kolay olması önemlidir. Bireysel ulaşım da dahil olmak üzere farklı ulaşım türlerinin birbirlerini tamamlaması için bir bütün olarak planlanması ve işletilmesi hedeflenmelidir [33].

Belediyelerin uzun vadeli ulaşım planlarının, hedef yıllar için arazi kullanım ve nüfus yapısına bağlı olarak, düşük maliyetli, çevreye verilen zararı en aza indiren, kentin tarihi ve kültürel kimliği ile uyumlu, sürdürülebilir olması gerekmektedir. Erişilebilir, konforlu, güvenli ve dakik sistemler tasarlanarak kentte yaşayanların ulaşım taleplerinin karşılanması ulaşım ana planının en önemli görevidir [33].

### 3.2.2. Ulaşım ana planı kapsamı

Ulaşım ana planı, toplanacak mevcut ve yeni bilgilerden yararlanılarak mevcut yapıdaki sorunlar ve yetersizliklerin tanımlanarak uzun dönemli talep tahmin sonuçları doğrultusunda önerilerin geliştirilmesi çalışmasıdır [33].

Ulaşım ana planında farklı alternatifler için senaryolar oluşturulur ve bu senaryolar, karşılaştırılarak, alınacak önlemlerle ilgili bir öncelik sıralaması yapılır. Önlemleri uygulama planında, önlemler gerçekleştirilme önceliği açısından kısa, orta ve uzun vadeli önlemler olarak sınıflandırılır ve kademeli olarak uygulamaya konulur [33].

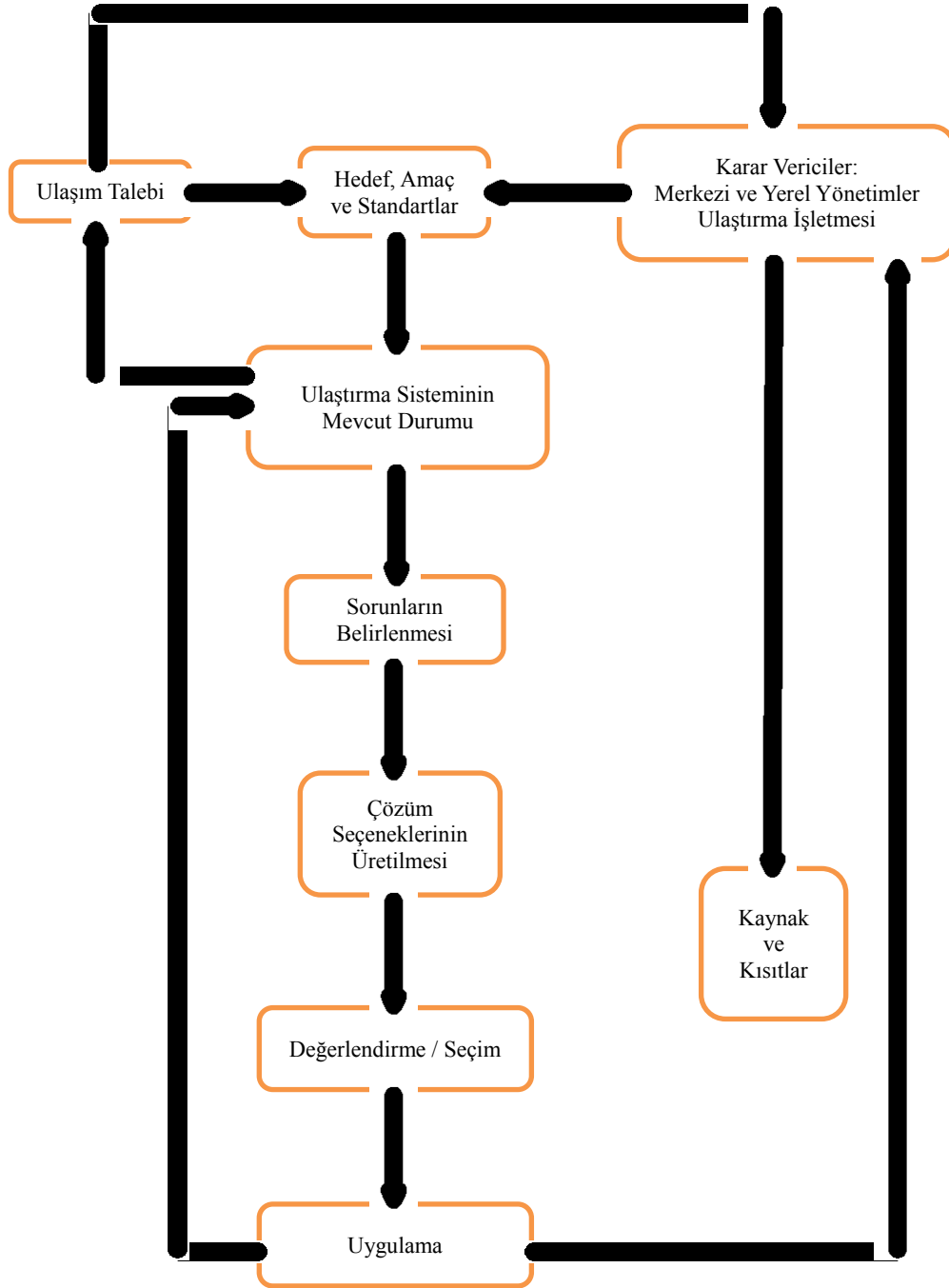
Ulaşım ana planı ile alınan kararların gerçekleştirilebilmesi için gerekli ulaşım yatırımlarının, ulaşım ve trafik sisteminin işletme ve yönetiminin, hedef yıllar için orta ve uzun vadede oluşması beklenen yolculuk taleplerinin toplu taşıma ağırlıklı bir ulaşım sistemi ile karşılayabilmek hedeflenmelidir [33].

Arazi kullanım planları ile ulaştırma arasındaki ilişkileri iyi anlayarak ve kentin gelecekteki arazi kullanım yapısını doğru planlayarak gelecekteki ulaşım talepleri azaltılmalı ya da dengelenmeli ve birçok ulaşım sorununun ortaya çıkması önlenmelidir [33].

Ulaşım ana planları belediyelerin birimleri tarafından işletilebilmeli, güncellenebilmeli, kentin her türlü ulaşım sisteminde aktif olarak kullanılacak şekilde oluşturulmalı ve bilgi transferi sağlanabilmelidir [33].

### **3.2.3. Ulaşım ana planının yapım aşamaları**

Kentiçi ulaştırma planlamasında kullanılan temel veri ulaşım talebidir. Planlama süreci içinde ulaşım talebi ve politikalar, hedefler doğrultusunda mevcut sorunların belirlenip çözülmesinde etkin olan en önemli faktörlerdir [9]. Ulaşım ana planı yapım aşamaları Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Ulaşım ana planı yapım aşamaları [9]

### 3.3. Yolculuk Talep Tahmin Modelinin Kurulması

Planlama verilerinin toplanması ve değerlendirilmesi amacıyla çalışma kapsamındaki alan öncelikle, trafik analiz bölgesi (zon) adı verilen trafik oluşturan ya da çeken coğrafi planlama birimlerine bölünecektir [33].

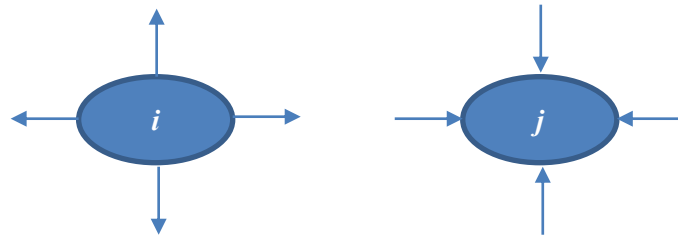
Ulaşım modelleme çalışmalarında en temel birim trafik analiz bölgeleridir ve bu bölgeler kendi içinde homojen özelliğe sahip olmalıdır. Trafik analiz bölgeleri oluşturulurken idari sınırlar gözetilerek öncelikle ulaşım ağları (demiryolu, anayol vb.) ve yerleşim yerlerinin nüfus büyüklükleri, coğrafi eşikler ve içerisinde bulunan fonksiyonel yapılar (OSB, Sanayi, Üniversite) incelenmelidir [33].

Trafik analiz bölgeleri oluşturulurken nüfus, işgücü vb. verilerinden yararlanılmalıdır. Trafik analiz bölgeleri, nüfus özelliklerine göre mahalle sınırı ve/veya trafik yolları ile sınırlanmış mahalle içindeki daha küçük alanlardan oluşabilir ve kent merkezinden uzaklaştıkça daha geniş alanları kapsayabilir [33].

Kullanılacak ulaşım modellerinde, kentte mevcut durumda işletilmekte olan toplu taşıma sistemleri (metro, hafif raylı sistem, tramvay, kablolu insan taşıma sistemleri, otobüs, dolmuş, taksi ve servis araçları vb.) ile yapımı devam eden toplu taşıma sistemleri de varsa bunlar da göz önüne alınmalıdır. Mevcut toplu taşıma sistemlerine ilişkin hatlar, güzergahlar, durak/istasyon/iskele ve terminaller, sabah ve akşam doruk saatlerdeki sıklıklar, hızlar, bilet ücretleri model girdisi formatında değerlendirilmelidir [33].

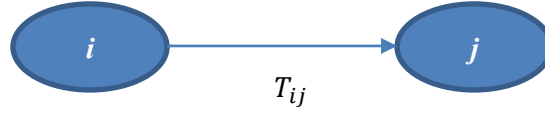
Yolculuk talep tahmin modelinin kurulması dört aşamadan oluşur [36].

#### 1- Yolculuk üretimi



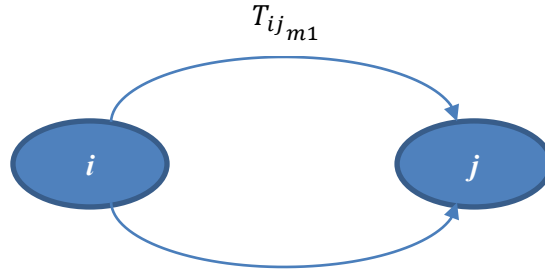
Şekil 3.2. Yolculuk üretimi

## 2- Yolculuk dağılımı



Şekil 3.3. Yolculuk dağılımı

## 3- Türel dağılım



Şekil 3.4. Türel dağılım

## 4- Yolculuk atamaları



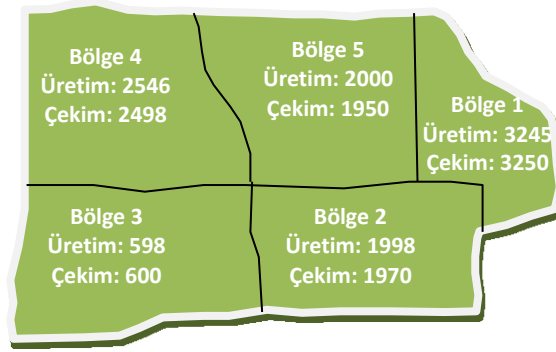
Şekil 3.5. Yolculuk atamaları

- $i, j$ : Örnek zonlar
- $T_{ij}$ :  $i$  zonundan  $j$  zonuna yolculuk sayısı
- $m_{1,2}$ : Örnek modlar

**3.3.1. Yolculuk üretimi**

Yolculuk üretimi, belirli bir bölge tarafından üretilen ve çekilen yolculukların toplam miktarını tahmin etmeye yardımcı olur [37]. İnsanlara, daha önceden belirlenmiş olan ve belirli bir amaç doğrultusunda oluşturulan sorular sorularak yolculuk üretim ve çekimleri belirlenir [9]. Şekil 3.6.'da yolculuk üretim ve çekimleri örnek olarak gösterilmiştir [1]. Gelecekte oluşacak yolculuk üretim ve çekimlerini tahmin etmek için regresyon analizi yöntemi kullanılabilir.





Şekil 3.6. Çalışılan coğrafyanın bölgelere (zonlara) ayrılması ve yolculuk üretimleri (yolcu/gün)

### 3.3.1.1. Regresyon analiz yöntemi

Geleceğe uygun yolculuk sayılarını tahmin edebilmek için bu yöntem kullanılır. Regresyon analiz yönteminde yolculuk üretimi için kullanılan genel bir form olarak, Denklem 3.1’de görülen matematiksel yapıdan bahsedilebilir [38].

$$T_i = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_i, \dots, x_k) \quad (3.1)$$

Buradaki  $T_i$ ,  $i$  yılında gerçekleşmesi beklenen toplam üretilecek yolculuk sayısını,  $x$ , hangi faktöre bağlı olarak (hane halkı büyüklüğü, gelir seviyesi, araç sahiplik oranları vb.) toplam yolculuk miktarı hesap edilecekse, o değişkenleri temsil etmektedir [38].

En yaygın olarak kullanılan yolculuk üretiminin matematiksel yapısı (doğrusal olmayan regresyon analizleri de olmakla beraber) doğrusal fonksiyonla ifade edilen Denklem 3.2’deki gibidir [38].

$$T_i = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_ix_i + \dots + a_kx_k \quad (3.2)$$

Bu regresyon eşitliğindeki  $a$ ’lar, eşitliğin katsayıları olup, değerleri regresyon analizi ile bulunur [38].

### 3.3.2. Yolculuk dağılımı

Yolculuk dağılımında, yolculuk üretimi adımı ile tahmin edilen yolculuklar bölgeler arasında bölüştürülerek her yolculuk amacı için başlangıç-varış matrisleri oluşturulur [33].

Yolculuk dağılımı modellenirken zonların ekonomik gücü ve arazi kullanımı ile olan ilişkileri önemli rol oynar. Bu faktörlerin dışında nüfus, bireysel taşıt sahipliliği, çalışan sayısı, cinsiyet, vb. gibi sosyo-ekonomik faktörlerin de etkisi modelin içinde yer almalıdır. İleride ortaya çıkacak seyahat talebinin dağılımının yapılabilmesi için zonlara ait seyahat talebinin diğer zonalardaki çekim noktalarına hangi kriterlere göre nasıl dağıldığı, hangi genel etkenin bunda rol oynadığı araştırılmalıdır. Belirlenen yolculuk dağılımlarının bir matris yapısıyla ifade edilmesi sonucunda B-V matrisi elde edilmektedir [9].

Yolculuk dağılımı adımı amaç, birinci adımda belirlenmiş yolculuk üretim-çekim değerlerinin, zonlar arasındaki dağılımını bulmaktır. Farklı zonlar arasındaki yolculuk talebi, yolculuk üretimi aşamasında yapılmış çalışmaların değerlendirilip modelin uygulanması sonucu elde edilen değerler, matrislerin kolon ve satırlarında belirtilir (Tablo 3.2.) [9].

Tablo 3.2. Başlangıç-Varış matrisi [38]

Varış (j) Başlangıç (i)	1	2	3	...	j...	z	$\sum_j T_{ij}$
1	$T_{11}$	$T_{12}$	$T_{13}$	...	$T_{1j...}$	$T_{1z}$	$O_1$
2	$T_{21}$	$T_{22}$	$T_{23}$	...	$T_{2j...}$	$T_{2z}$	$O_2$
3	$T_{31}$	$T_{32}$	$T_{33}$	...	$T_{3j...}$	$T_{3z}$	$O_3$
...	...	...	...	...	...	...	...
i	$T_{i1}$	$T_{i2}$	$T_{i3}$	...	$T_{ij...}$	$T_{iz}$	$O_i$
...	...	...	...	...	...	...	...
z	$T_{z1}$	$T_{z2}$	$T_{z3}$	...	$T_{zj...}$	$T_{zz}$	$O_z$
$\sum_i T_{ij}$	$D_1$	$D_2$	$D_3$	...	$D_j$	$D_z$	$\sum_{ij} T_{ij} = T$

$T_{13}$ : 1 no'lu zondan 3 no'lu zona olan talep (harici, dışsal)

$T_{11}$ : 1 no'lu zondan 1 no'lu zona olan talep (dahili, içsel)

En sağdaki kolona ait değerlerle, en alttaki satıra ait değerler sırası ile; o şebekenin ürettiği ve çektiği toplam yolculuk miktarını ifade etmektedir [38].

Bu matrise, seyahat eden kişi profilleri ve/veya ulaşım türleri (modları) de dahil edilebilir. Bu durumda,  $T_{ij}^{kn}$ : i zonundan j zonuna n tipindeki kişilerin k tipindeki ulaşım türünü kullanmaları ile üretecekleri toplam yolculuk miktarı Denklem 3.3'de gösterilmiştir [38].

$$T_{ij}^n = \sum_k T_{ij}^{kn} \quad (3.3)$$

$T_{ij}^n$ : i ile j zonları arasındaki n tipindeki kişilerin yaptıkları toplam yolculuk (farklı ulaşım modlarını kullanabilirler)

Şebekedeki toplam yolculuk miktarı Denklem 3.4'de gösterildiği gibi olur [38].

$$T = \sum_{ij} T_{ij} \quad (3.4)$$

T: Şebekedeki (sistemdeki) toplam yolculuk miktarı

Eğer Denklem 3.5 ve Denklem 3.6'daki  $O_i$  ve  $D_j$  değerleri biliniyorsa, oluşturulan model her iki şartı da sağlayacak demektir. Bir başka ifade ile, ikili sınırlayıcı şart vardır. Bazı durumlarda ise,  $O_i$  ve  $D_j$  değerlerinden sadece biri biliniyor olabilir. Bu durumda da model, tekil sınırlayıcı koşul altında çalışacak demektir [38].

$$\sum_j T_{ij} = O_i \text{ (Üretim)} \quad (3.5)$$

$$\sum_i T_{ij} = D_j \text{ (Çekim)} \quad (3.6)$$

Bugünkü dağılım modeli bir kere bulunduktan sonra gelecekteki dağılım, aynı formül içine gelecekteki yolculuk üretimi, çekimi, zonlar arası yeni mesafeler, kent gelişimi ve sosyo-ekonomik faktörlerdeki değişim konarak elde edilir. Gelecekteki ulaşımın dağılımı için yaygın olarak çekim modeli kullanılmaktadır [9].

### 3.3.2.1. Çekim modeli

Çekim modeli zonlar arası üretim ve çekim değerlerini kullanarak ulaşım dağılımının nasıl ortaya çıktığını, hangi faktörlerin etkisi altında olduğunu araştırır ve bunları matematiksel olarak ifade eder. Mevcut yolculuk dağılımının modellenmesinden sonra aynı modelde gelecek için tahmin edilen seyahat talebi kullanılır ve gelecekteki yolculuk dağılımı bulunur [9].

Çekim modelleri çok sayıda teorik avantajlara sahiptirler. Örneğin, arazi kullanımındaki değişikliklerden ötürü çekim değerinin değiştirilmesi ve ulaşım faaliyetlerindeki gelişmelerin dahil edilmesi kolaydır. Bununla birlikte dezavantajları da vardır. Örneğin, çekim modelinde çok uzun veya çok kısa seyahatlerde uzaklığın karesinin kullanılması yanıltıcı sonuçlar doğurabilir. G çekim katsayısının belirlenmesi zordur ve deneme yanılma ile bulunur. G çekim katsayısı mevcut durum için sabit olduğundan, gelecek talep tahminlerinde bu sabitler tahminin güvenilirliğini azaltabilir. İki yerleşim yeri arasındaki mesafe, süre ve maliyet gibi etkenlerin artmasıyla çekim azalır ancak yerleşim yerlerindeki hareketlilik miktarı ile doğru orantılıdır. Kısaca, Newton kanunundaki; iki kütle birbirini, kütlelerinin çarpımı ile doğru ve uzaklıklarının karesi ile ters orantılı olarak çekerler esasına dayanan bu modeldeki genel eşitlik olarak şöyledir [39];

$$q_{ij} = \frac{GM_iM_j}{D_{ij}^2} \quad (3.7)$$

$q_i$  = i ve j arasındaki çekim kuvveti

G = Çekim kuvvet katsayısı

M = Kütle veya büyüklük

$D_{ij}$  = i ve j kütlelerinin birbirine mesafesi

Seyahat talebi tahmininde çekim modeli de Newton'un çekim modelinin benzeridir. Kentsel sistemlerin analizinde, ilk uygulamalardaki çekim modelinde; iki alanın birbirine etkisi olarak, alanın büyüklüğü (veya çekimi) ve uzaklığın üssü kullanılmıştır (Denklemler 3.8) [39].

$$q_{ij} = G \frac{P_i P_j}{d_{ij}^b} \quad (3.8)$$

i = matris satırları

j = matris kolonları

q = i zonundan j zonuna olan hareket (yolculuk)

d = i zonu ile j zonu arası mesafe

b = üs, katsayı=0,6~3,5

P<sub>i</sub>, P<sub>j</sub> = i ve j zonlarının alan büyüklüğü

G = ampirik olarak bulunan katsayı

Yolculuk dağılımı için, bölgeler arası mesafe ölçütü olarak seyahat süreleri kullanılabilir. Çoğunlukla doruk saatlerdeki seyahat sürelerinin kullanılmasına gayret edilir. Çekim Modelinin, ulaşım planlamasında kullanılan çift kısıtlı çekim modeli denklemini aşağıda gösterildiği gibidir (Denklem 3.9) [39].

$$q_{ij} = \frac{O_i A_j K_{ij} F(d_{ij})}{\sum_j A_j K_{ij} F(d_{ij})} \quad (3.9)$$

q<sub>ij</sub> = i zonundan j zonuna yolculuk

O<sub>i</sub> = i zonundan diğer j zonlarına ürettiği yolculuk

A<sub>j</sub> = j zonunun diğer i zonlarından çektiği yolculuklar

d<sub>ij</sub> = zonlar arasındaki uzaklık

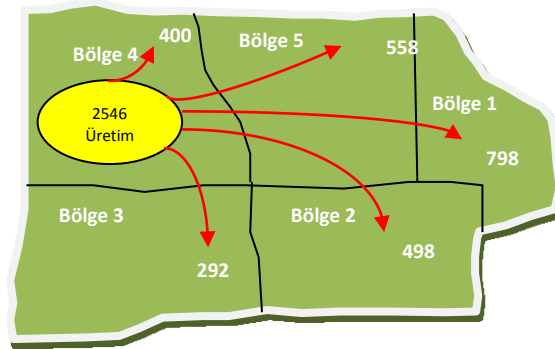
K<sub>ij</sub> = katsayı (ij değişimi için bir sosyo-ekonomik faktör)

F(d<sub>ij</sub>) = belirleme fonksiyonu

Yukarıdaki Denklem 3.9'daki F(d<sub>ij</sub>) belirleme fonksiyonu bilinmemektedir. Kişilerin farklı mesafelere veya farklı seyahat yapma gönülsüzlüklerini ya da seyahat zorluklarını ifade eder. Bunu hesaplamak için, bugünkü trafiğe göre; benzer bir kentte daha önce hesaplanmış değer varsa bu değer, yoksa, tahmin edilen değer veya F(d<sub>ij</sub>) = 1 alınarak, q<sub>ij</sub> değerinin aynısı veya kabul edilebilir doğruluk limitlerine yakın değerini bulup, bu fonksiyonun gelecekte de aynen devam edeceği kabul edilir [39].

$F(d_{ij})$  ve  $K$  katsayıları her aralıkta hesaplanacaktır. Daha sonra da uzaklıklara göre bulunan,  $F(d_{ij})$  ve  $K$  katsayıları kullanılarak, yukarıdaki Denklem 3.9'dan, geleceğin yolculuk dağılımı yapılır [39].

Şekil 3.7.'de verilen Bölge 4'ün yolculuklarının hangi bölgelere gerçekleştiği örnek olarak gösterilmiştir [1].



Şekil 3.7. Yolculuk dağılımı (yolcu/gün)

### 3.3.3. Türel dağılım

Türel dağılım aşamasında, değerlendirme yılı için öngörülen ulaşım alt yapısı ve şehrin ulaşım sistemleri göz önüne alınır. Bir önceki adım olan yolculuk dağılım modeli ile tahmin edilmiş olan bölgeler arası yolculukların hangi ulaşım türü ile yapılacağını öngören bir yöntem kullanılmaktadır. İleride farklı ulaşım sistemlerine yapılacak yatırımların, türlerin performans ölçülerine duyarlı bir türel dağılım modeli kullanılması gerekmektedir. Dolayısıyla bir ulaşım sistemine yatırım yapılması durumunda, diğer türlerden bu yeni türe kayacak yolculuk miktarlarının tahmin edilmesi amaçlanmaktadır [33].

#### 3.3.3.1. Lojistik regresyon modeli

Yolcuların hangi modu seçeceğini tahmin edebilmek için lojistik regresyon modeli kullanılabilir. Anket çalışmaları yapılarak, yolcuların seyahat modunu seçerken hangi özelliklere önem verdikleri belirlenir. Belirlenen parametrelere ve anket sonuçlarına göre Denklem 3.10'da gösterildiği gibi bir fayda fonksiyonu ( $Z$ ) oluşturulur [40].

$$Z = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n \quad (3.10)$$

Z: Fayda fonksiyonu

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ : Sabit katsayılar

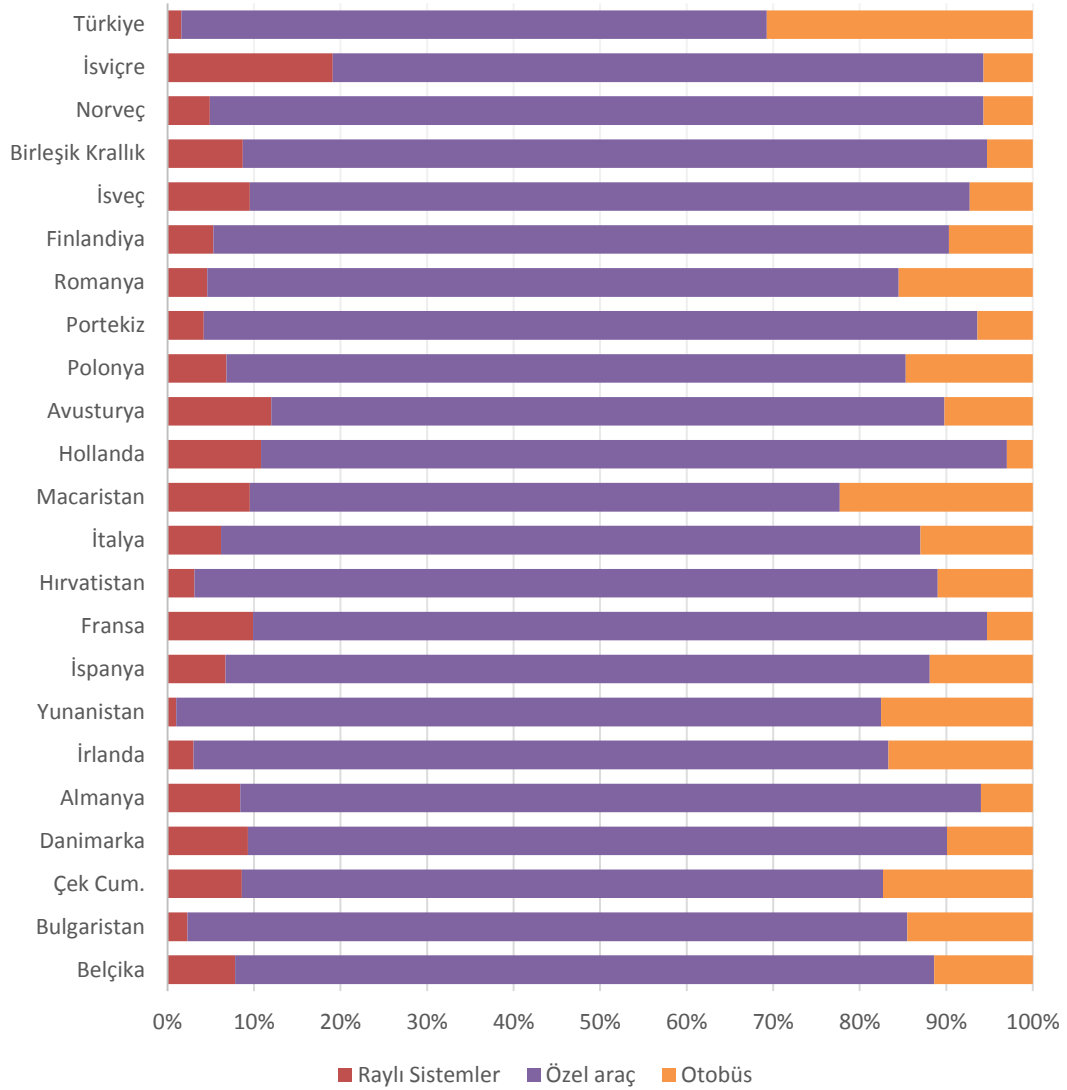
$x_1, x_2, \dots, x_n$ : Yolcuların ulaşım modunu seçme kriterleri

Bu fayda fonksiyonu kullanılarak her bir ulaşım modunun, yolcular tarafından tercih edilme olasılıkları ( $P_i$ ) Denklem 3.11'deki gibi elde edilir. Bulunan olasılıklara göre türel dağılım oluşturulur [40].

$$P_i = \frac{e^Z}{1+e^Z} \quad (3.11)$$

$P_i$ : i modunun seçilme olasılığı

Yolcuların toplu taşımaya yönlendirilmesi amaçlansa da bireysel araç kullanımı günümüzde en çok kullanılan ulaşım türüdür (Şekil 3.8.) [41].



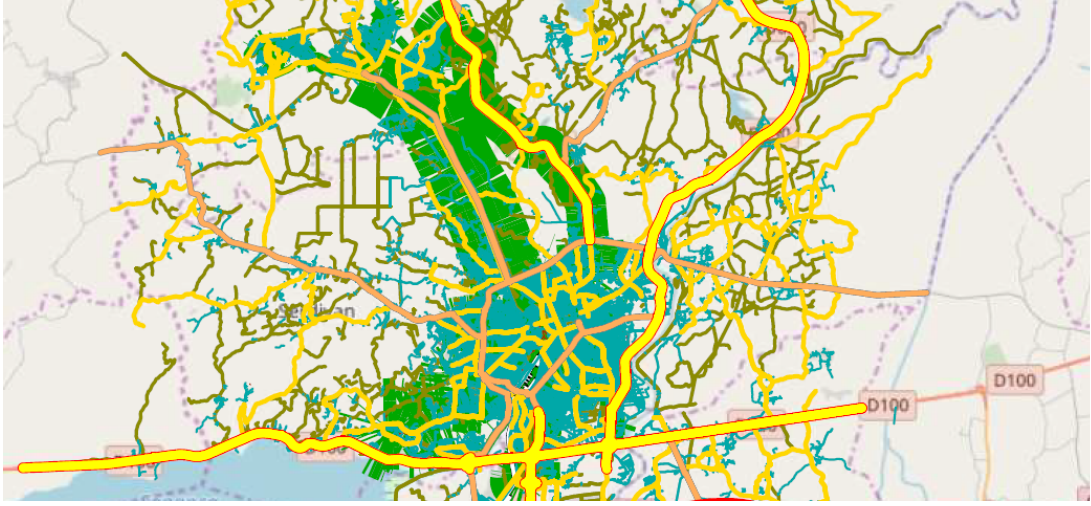
Şekil 3.8. Avrupa 2014 yılı ülke içi yolcu-km cinsinden türel dağılım istatistikleri

### 3.3.4. Yolculuk atamaları

Ulaşım modellemesinin son adımı olan yolculuk atamaları adımına ulaşıldığında ne kadar yolcunun, nereden nereye ve hangi ulaşım türüyle seyahat edeceği belirlenmiş olur. Bu aşamada toplanan veriler, yük taşımacılığı da göz önünde bulundurularak, toplu taşıma ve karayolu ağlarına atanıp analiz yapılır. Analiz sonuçlarında doruk saatteki akımlar elde edilir.



Yeni yolların yapılması, mevcut ulaşım sistemlerinin geliştirilmesi gibi seçenekler bu aşamada test edilebilir. Aşağıdaki şekilde PTV VISUM ulaşım planlaması yazılımından elde edilmiş örnek bir yolculuk atama grafiği gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Sakarya ili yolculuk ataması (PTV VISUM)

## **BÖLÜM 4. SAKARYA İLİ OTOBÜS TOPLU TAŞIMA MODELİ**

### **4.1. Sakarya İli Mevcut Ulaşımı**

Sakarya tüm önemli kara ve demiryollarının kavşak noktasında bulunmaktadır. Ulusal ve uluslararası taşımacılıkta önemli yeri olan ve ili doğu yönünde boydan boya geçen D-100 karayolu, TEM Otoyolu, D-20 ve D-650 karayolları ilin ana ulaşım eksenini durumundadır. Edirne'den başlayan Kınalı-İstanbul-Sakarya-Ankara otoyolu uluslararası bir öneme sahiptir. Kınalı'da otoyolun bir kolu Yunanistan'a diğer kolu da Bulgaristan'a bağlantılıdır. Sakarya ilinin karayolu ile bazı illere uzaklığı: Adana'ya 797 km., Antalya'ya 583 km., Bilecik'e 102 km., Bursa 158 km., Eskişehir 188 km., İstanbul 148 km., Trabzon 933 km., Ankara 306 km., Bolu 114 km., İzmir 486 km., Düzce 79 km., Muğla 708 km., Zonguldak 179 km. ve Kocaeli 37 km.'dir [4].

İl sınırları içinde 65 km.'lik demiryolunda 7 istasyon bulunmaktadır. İstanbul'u Ankara ve diğer Anadolu illerine bağlayan demiryolu, Sakarya ilinden geçmektedir. Haydarpaşa'dan itibaren, İzmit'in 10 km. doğusuna kadar D-100 karayolunun hemen yanında ona paralel olarak uzanmakta, Derbent mevkiinde D-100'den ayrılıp, Sapanca Gölü'nün güney kıyısını izleyerek Arifiye istasyonuna varmaktadır. Arifiye istasyonundan itibaren, ana hattan ayrılarak 8,4 km.'lik bir mesafe ile Adapazarı Garı'nda son bulmaktadır. Arifiye'den güneye yönelen ana demiryolu ise Arifiye-Eskişehir karayolunu takip ederek Ankara'ya ulaşmaktadır. Adapazarı'nın demiryolu ile İstanbul'a uzaklığı 141 km., Ankara'ya uzaklığı ise 436 km.'dir [4].

Adapazarı'na havayolu ile ulaşım tercih edildiğinde Kocaeli Cengiz Topel Havaalanı 33 km., İstanbul Kurtköy Sabiha Gökçen Havaalanı 110 km. ve İstanbul Yeşilköy Atatürk Havaalanı 170 km. uzaklıktadır [4].

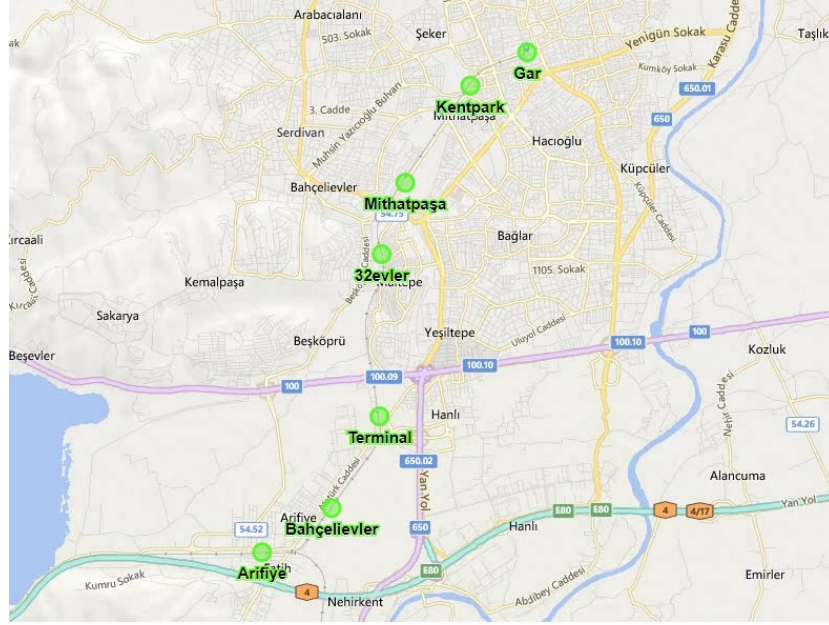
#### 4.1.1. Sakarya ili mevcut toplu taşıma sistemi

##### 4.1.1.1. Hafif raylı sistem

Sakarya kentiçi raylı sistemi Adaray, Adapazarı Garı ve Arifiye arasında 5 adet ara, 2 adet ana olmak üzere 7 adet istasyondan oluşmaktadır. Toplam hat uzunluğu 9 km.'dir. 2013 Mayıs ayında ilk seferlerine başlayan Adaray, 2017 Ağustos ayından beri aktif değildir. Adaray ile iş günleri ve cumartesi günlerinde, günde ortalama 1450 yolcu taşınmıştır [4]. Tablo 4.1.'de aktif olduğu sürede Adaray sefer saatleri gösterilmiştir [42].

Tablo 4.1. Aktif olduğu sürede Adaray sefer saatleri

Adapazarı Kalkış		Arifiye Kalkış	
05:40	15:00	06:05	15:20
06:50	15:40	07:08	16:20
07:25	16:37	07:42	16:54
08:00	17:11	08:25	17:28
08:45	17:45	09:30	18:02
09:50	18:20	10:15	18:50
10:35	19:10	10:55	19:30
11:20	19:50	11:50	20:10
12:08	20:30	13:00	21:00
13:20	21:20	13:40	21:50
14:00	22:25	14:43	22:45



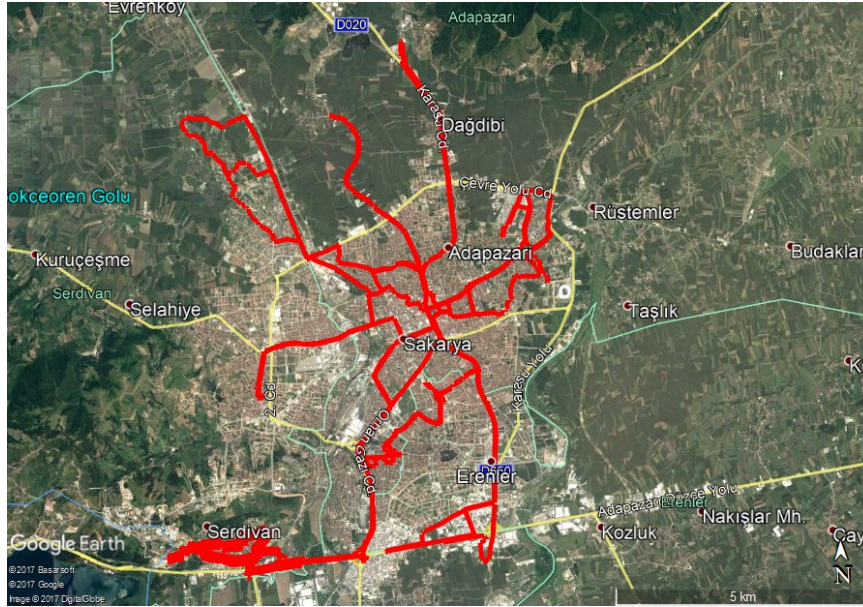
Şekil 4.1. Adaray durakları [42]

#### 4.1.1.2. Taksi dolmuş

Sakarya ilinde taksi dolmuşlar da toplu taşımada kullanılmaktadır. Sürücü dahil en fazla 9 oturma yeri olan ve insan taşımak için imal edilmiş motorlu taşıtlardır [14]. Yolcu kapasiteleri düşük olmasına karşın düşük seyahat süreleri ve sık seferlerinden ötürü tercih edilirler. Güzergahları Tablo 4.1. ve Şekil 4.2.'de gösterilmiştir [43].

Tablo 4.2. Taksi dolmuş güzergahları

Hat No	Güzergâh
1	Sigorta-Şeker Mahallesi-Yazlık
2	Beşköprü-Gazeller
3	Dağdibi-Etbalık-Yanyol
4	Hacıoğlu-Karakamış
5	Serdivan-Zirai Aletler-Güneşler



Şekil 4.2. Taksi dolmuş güzergahları plan görünümü

#### 4.1.1.3. Minibüs

Sürücü dahil oturma yeri on yediyi aşmayan motorlu taşıtlardır [14]. Sakarya’da birçok toplu taşıma güzergahında işletilirler. Doruk saatler gibi otobüslerin kapasitelerinin yetersiz kaldığı zamanlarda, toplu taşımaya destek olurlar. Fakat otobüsler kadar düzenli ve disiplinli değildir. Duraklar arası bölgelerde durup yolcu indirip bindirmeye müsaade ettikleri ve kapasitelerinin üzerinde yolcu taşıdıkları için, hizmet düzeyi düşüktür ve trafik akışını olumsuz yönde etkilerler. Güzergahları Tablo 4.2. ve Şekil 4.3.’te gösterilmiştir [43].

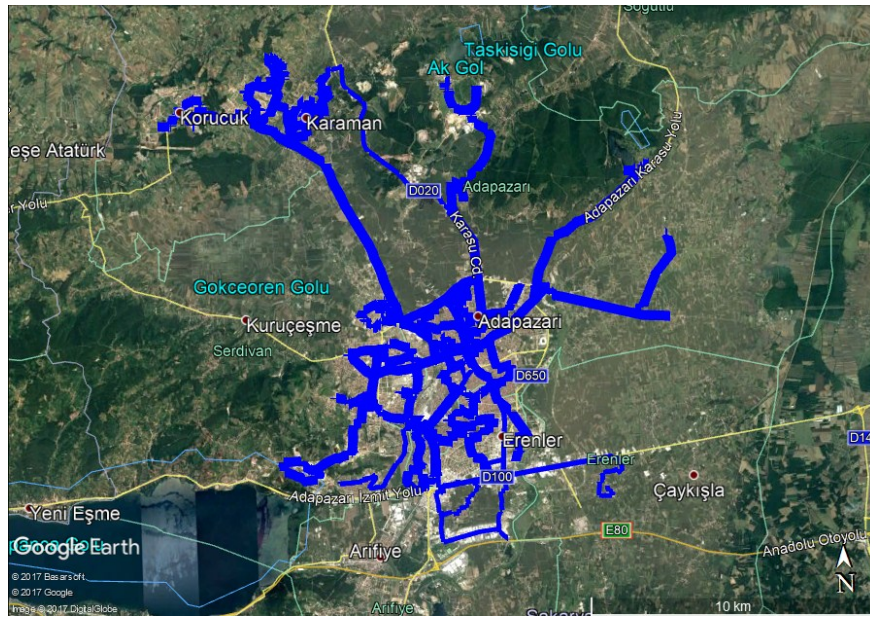
Tablo 4.3. Sakarya minibüs güzergahları

Güzergâh	
1	Gar Meydanı-Dört Yol Hanlı 17 Şal Sokak-Serdivan
2	Gar Meydanı-Bekirpaşa 18 Şal Sokak-Altınova
3	Gar Meydanı-Etbalık 19 Orhan Camii-Şeker Mahalle
4	Gar Meydanı-Hacıoğlu 20 Orhan Camii-Dağdibi
5	Milli Egemenlik-Dört Yol Hanlı 21 Orhan Camii-Ozanlar
6	Milli Egemenlik-Lojmanlar-Serdivan 22 Kavaklar Caddesi-Küpçüler
7	Milli Egemenlik-Lojmanlar-Kampüs 23 Kavaklar Caddesi-Dernekçırı
8	Milli Egemenlik-Lojmanlar-32 Evler 24 Kavaklar Caddesi-Budaklar
9	Milli Egemenlik-Sigorta 25 Korucuk-Camili-Karaman



Tablo 4.3. (Devamı)

Güzergâh			
10	Milli Egemenlik-Maltepe	26	Unkapanı-Poyrazlar
11	Orta Garaj-Yazlık	27	Unkapanı-Taşkısığı
12	Orta Garaj-Camili 1A	28	Unkapanı-Kızılbeylik
13	Orta Garaj- Camili 1B	29	Unkapanı-Karaman A
14	Şal Sokak-Yıldız Mahalle	30	Unkapanı-Karaman B
15	Şal Sokak-Sultan Sokak	31	Unkapanı-Çamyolu
16	Şal Sokak-Serdivan-Kampüs	32	Unkapanı-Devoğlu



Şekil 4.3. Sakarya minibüs güzergahları plan görünümü

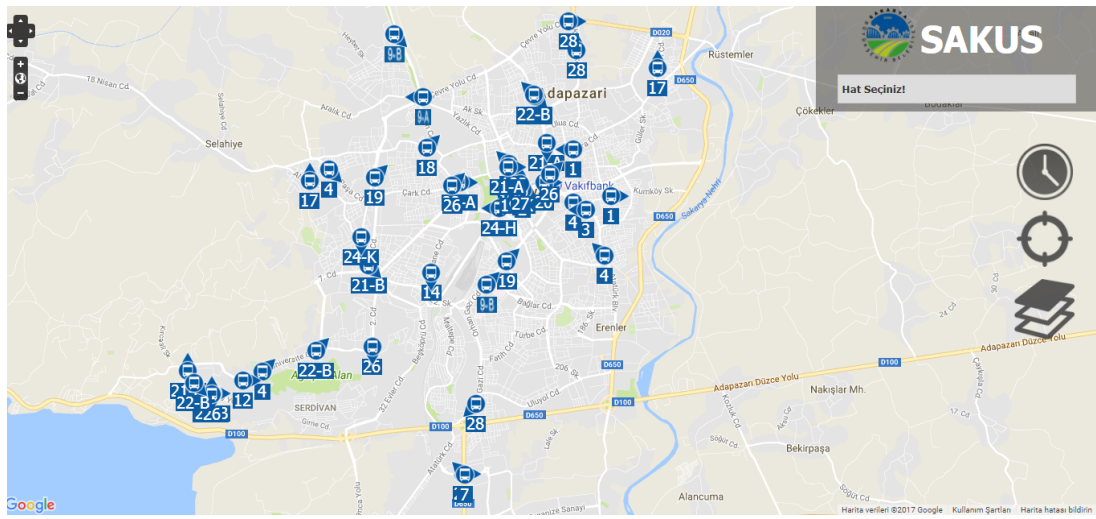
#### 4.1.1.4. Otobüs

Sakarya’da özel halk otobüsleri ve belediye otobüsleri toplu taşıma hizmeti vermektedir. Sakarya Büyükşehir sınırları dahilindeki 40 adet hatta, 608 adet özel halk otobüsü ve 30 adet hatta, 91 adet belediye otobüsü bulunmaktadır [4].

Otobüslerde nakit yerine elektronik ücret toplama sistemi kullanılmaktadır. Bu sayede seyahat süresi kısalmış, kaza olasılığı azalmış ve otobüslerin hizmet düzeyi artmış olur.

Otobüslerde araç takip sistemleri mevcuttur. Sisteme dâhil olan tüm araçların geçmişe dönük güzergâh, hareket saati ve hız limitlerine uyumları kontrol edilmektedir [4].

Belediye otobüslerinin anlık konumları, araç takip sistemi aracılığıyla, internet üzerinden ve akıllı telefon uygulaması ile yolcularla paylaşılır (Şekil 4.4.). Yolcular, hatlarda çalışan otobüslerin konumlarını anlık olarak takip ettiklerinden, duraklarda daha az beklemiş olurlar [42].



Şekil 4.4. Sakarya Büyükşehir Belediyesi otobüslerinin anlık konumları

## 4.2. VISUM Yazılımı

VISUM, trafik, ulaşım analizleri ve tahminleri için önde gelen bir yazılımdır. Bireysel ve toplu taşıma alanında coğrafi bilgi sistemleri tabanlı veri yönetimine izin verir.

VISUM, bir ulaşım sistemini analiz etmek ve planlamak için kullanılan, bilgisayar destekli bir ulaşım planlaması programıdır. VISUM planlamacıların önlemler geliştirmesini destekleyip, bu önlemlerin etkisini belirlemektedir [44].

### 4.3. VISUM Yazılımı ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Konu ile ilgili VISUM yazılımı kullanılarak farklı çalışmalar yapılmıştır.

Selvi [45], İzmit ilçesi mevcut durumdaki ulaşım sorunlarını saptamıştır. Bu sorunların saptanması için mevcut durum analizleri VISUM simülasyon programı ile yapılmıştır. Tespit edilen ulaşım sorunlarına yönelik, yine VISUM programı aracılığıyla, yeni bir ring otobüs hattı önerisi getirilmiş ve İzmit şehir içi trafik sistemi için yeni düzenlemeler sunulmuştur. Önerilen otobüs hattının, şehrin merkezindeki 1 km'lik kısmında diğer araç trafiğinden ayrı bir özel yol izlemesi ve bu sayede şehir merkezindeki yoğun araç trafiğinin azaltılması amaçlanmıştır.

Altıntaş [46], Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Kampüsü'nde, sürdürülebilir kampüs ulaşımı politikasını geliştirmek için, mevcut araç hareketliliği ve araç emisyon miktarını belirlemiştir. Farklı seyahat grupları için analiz yaparak ve PTV-VISUM yazılımını kullanarak, her bir yol kesimindeki hız ve taşıt-km değerlerini elde etmiştir. Kampüs'ün mevcut durumundaki hareketlilik ve emisyon değerlerine göre daha sürdürülebilir kampüs ulaşımı sağlayabilmek için, PTV-VISUM yazılımında senaryolar üreterek simülasyonlarını yapmıştır. Mevcut karbon emisyon değeri, üretilen senaryoların değerleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, öğrencilerin özel araç kullanımının azaltılması birinci ve en basit eylem olarak görülmüştür.

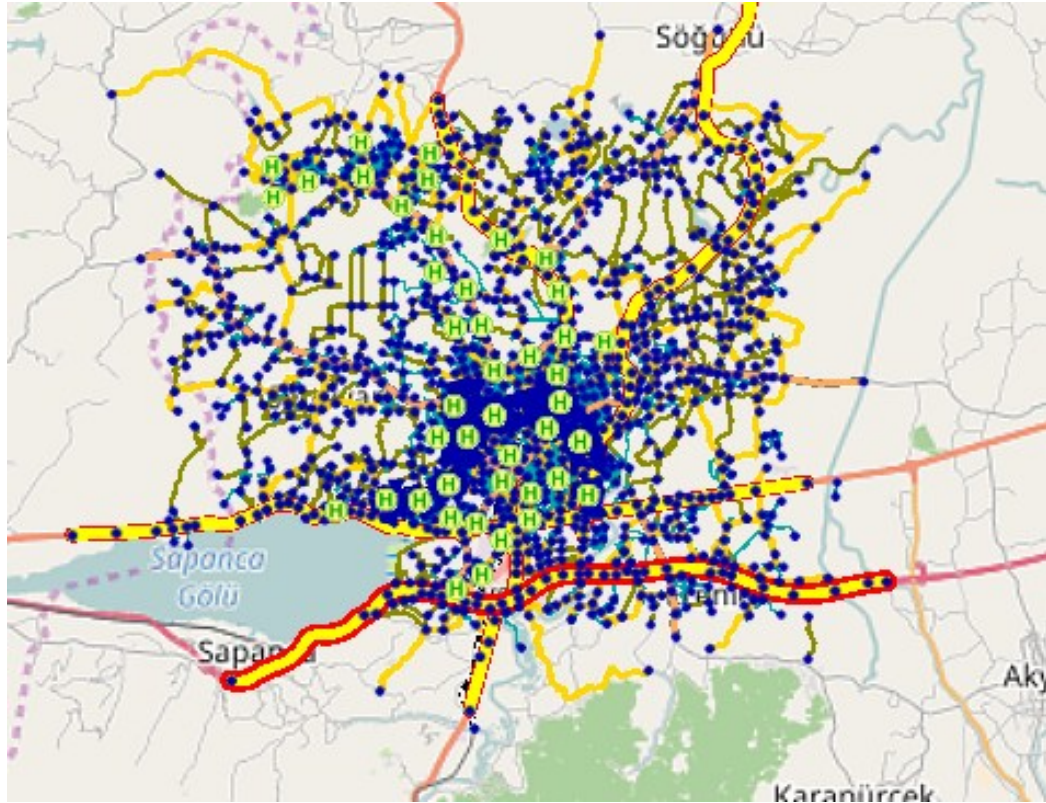
Gülhan [47], çalışmasında erişilebilirlik ölçütlerinden, toplu taşıma planlamasının karar verme aşamalarında yararlanmıştır. Bu hedef doğrultusunda Denizli genelinde yapılan toplu taşıma planlaması çalışmalarından faydalanarak yürütülen çalışmada üç adet yöntem geliştirmiştir. Birinci ve ikinci yöntemlerde, oluşturulan toplu taşıma senaryolarının ağ genelinde nasıl bir erişilebilirlik farkı yarattığını hesaplamış ve bu fark klasik verimlilik göstergeleri ile birlikte değerlendirme ölçütü olarak kullanmıştır. Sonuçlara göre, karar verme aşamasında erişilebilirlik ölçütleri senaryoların daha etkin değerlendirilmesini sağlayan göstergeler olarak kullanılabilir. Üçüncü yöntemde, erişilebilirlik ölçütlerinden toplu taşıma ağ



tasarımının karar verme aşamasında yararlanmıştır. Böylece toplu taşıma planlamasında verilen kararların erişilebilirliğe olan etkileri de süreç içerisinde katılarak rotaların belirlenmesinde, toplumsal faydanın daha güçlü temsili sağlanmıştır. Rotaların tasarlanmasında ve en verimli rotaların tespitinde erişilebilirlik ölçütlerinin sonuçları etkilediği ve farklı kararlar alınmasını sağladığı görülmüştür.

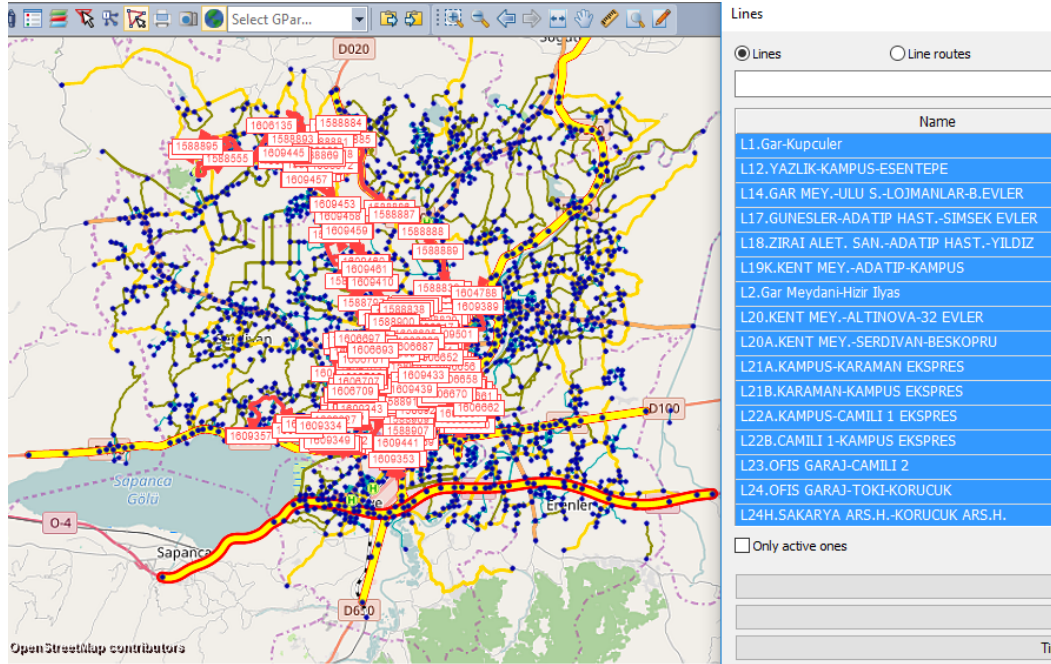
#### 4.4. Sakarya İli Ulaşım Ağının VISUM Yazılımına Aktarılması

Sakarya ili toplu taşıma sisteminde planlama çalışmaları yapmak için Sakarya ili merkez bölgesinin ulaşım ağı VISUM programı ortamına aktarılmıştır. Ulaşım ağı oluşturulurken yol tipleri (sokak, cadde, çevre yolu vb.), yolun fiziksel özellikleri (şerit genişliği, şerit sayısı, yön durumu vb.) ve yolun işletme özellikleri (maksimum hızlar, hangi araçların kullanabileceği vb.) gibi önemli özellikler de programda tanımlanmıştır. Şekil 4.5.'te VISUM ortamına aktarılan Sakarya ulaşım ağı görülmektedir.



Şekil 4.5. Sakarya ili merkez bölgesi ulaşım ağı

Mevcut toplu taşıma sisteminin değerlendirilmesi ve analizlerin yapılması için Sakarya Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığı'ndan elde edilen Sakarya Büyükşehir Belediyesi tarafından işletilen toplam 28 güzergâh [43] VISUM programı toplu taşıma modülünde oluşturulmuş ve Şekil 4.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Sakarya Büyükşehir Belediyesi otobüs güzergâhları

Oluşturulan güzergâhların uzunlukları hesaplanmış ve Tablo 4.3.'te gösterilmiştir.

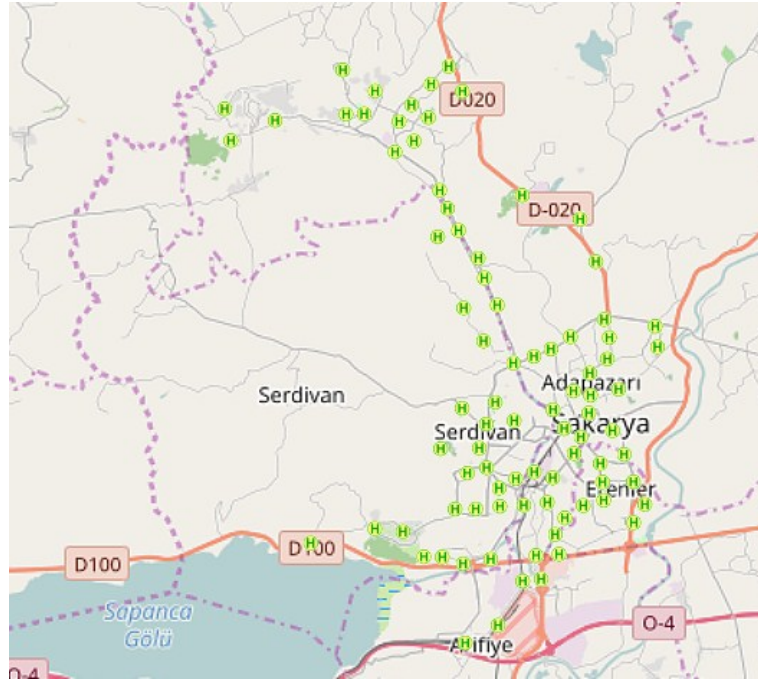
Tablo 4.4. Sakarya büyükşehir belediyesi güzergâh uzunlukları

Hat No	Güzergâhlar	Uzunluklar (km)
1	Gar-Küpçüler	7,27
2	Gar Meydanı-Hızır İlyas	10,63
3	Kent Meydanı-Yeşiltepe-Yeni Terminal	11,93
4	Kampüs-Et Balık	19,73
5	Gar Meydanı-Dört Yol-Beşköprü-Kampüs	13,34
6	Gar Meydanı-32 Evler-Beşköprü-Kampüs	11,37
7	Kent Meydanı-Yıldıztepe-Yeni Terminal	12,38
9A	Maltepe-Yazlık	19,20
12	Yazlık-Kampüs-Esentepe	25,25

Tablo 4.4. (Devamı)

Hat No	Güzergahlar	Uzunluklar (km)
14	Gar Meydanı-Ulu Sokak-Lojmanlar-Beş Evler	8,99
17	Güneşler-Adatıp-Şimşek Evler	14,73
18	Zirai Aletler-Adatıp-Yıldız	12,47
19K	Kent Meydanı-Adatıp-Kampüs	13,00
20	Kent Meydanı-Altınova-32 Evler	8,94
20A	Kent Meydanı-Serdivan-Beşköprü	15,80
21A	Kampüs-Karaman Ekspres	27,92
21B	Karaman-Kampüs Ekspres	27,87
22A	Kampüs-Camili 1 Ekspres	28,50
22B	Camili 1-Kampüs Ekspres	33,76
23	Ofis Garaj-Camili 2	16,96
24	Ofis Garaj-TOKİ-Korucuk	20,91
24H	Sakarya Araştırma Hastanesi-Korucuk Araştırma Hastanesi	21,09
24K	Korucuk-Kampüs	27,11
26	Kent Meydanı-Altınova Hastanesi -Kampüs	10,57
27	Ofis Garaj-ATSO Evleri-Kampüs	13,05
28	Kuzey Terminal-Yeni Terminal	11,01
29	Yeni Terminal-Kampüs	15,66
30	Sakarya MYO-Camili MYO	15,71

Otobüs güzergâhları yanında toplam 329 otobüs durağı da VISUM programında tanımlanmıştır. Şekil 4.7.'de belediye otobüslerine ait otobüs durakları görülmektedir. Otobüs duraklarının bir kısmı Sakarya Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığı'ndan elde edilmiş bir kısmı ise belediye otobüslerinde seyahatler yapılarak belirlenmiş [43] ve durak koordinatları GPS cihazı ile kaydedilmiştir.



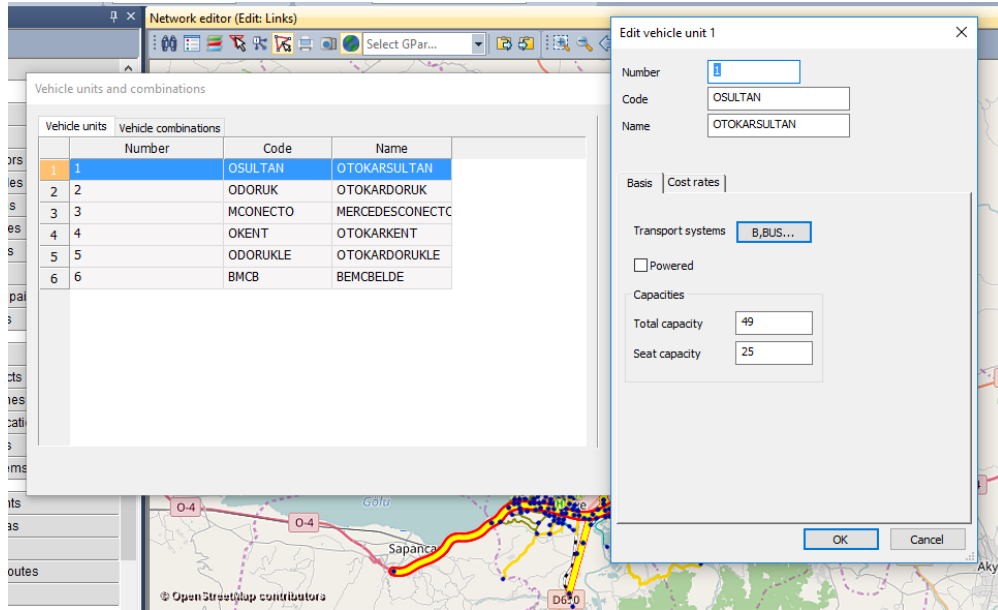
Şekil 4.7. Sakarya Büyükşehir Belediyesi otobüs durakları

Toplu taşıma güzergâhlarında yolculuk analizlerinin yapılabilmesi için, belediyeye ait toplu taşıma güzergâhlarında çalışan otobüslerin fiziksel özellikleri ve yolcu taşıma kapasiteleri belirlenmiş ve Tablo 4.4.'te verilmiştir [43].

Tablo 4.5. Sakarya Büyükşehir Belediyesi güzergâhlarında çalışan otobüslerin özellikleri

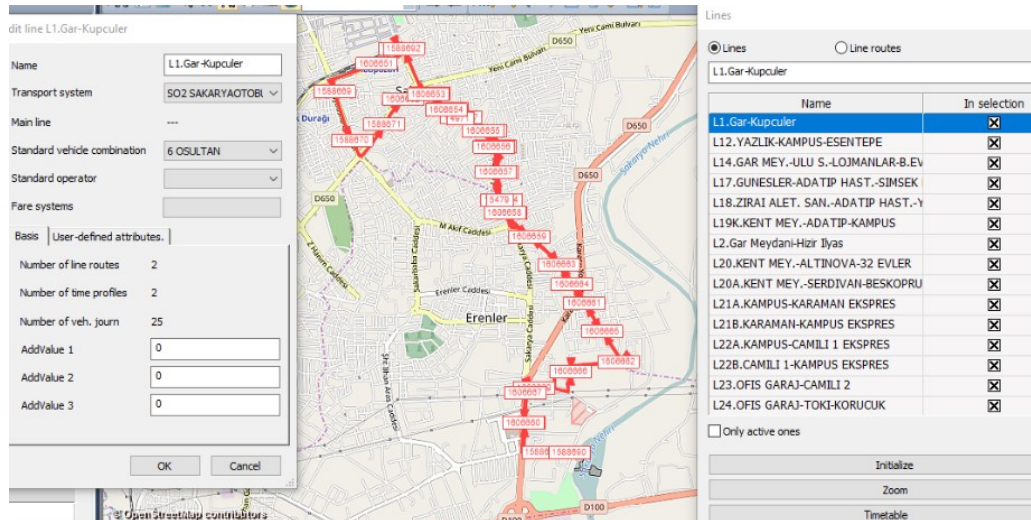
No	Marka	Yıl	Model	Adet	Tipi	Koltuk Sayısı	Toplam Yolcu Sayısı (Oturan + Ayakta)
1	Mercedes	2012	Conecto	4	Körüklü (18 m)	42	148
2	Mercedes	2011	Conecto	2	Körüklü (18 m)	42	148
3	Otokar	2012	Kent	8	Solo (12 m)	51	103
4	Otokar	2011	Kent	8	Solo (12 m)	51	103
5	BMC	2007	Belde 280-CB	6	Solo (12 m)	41	101
6	BMC	2004	Belde 260-CB	3	Solo (12 m)	41	101
7	Otokar	2015	Doruk LE	11	Midi (10 m)	25	75
8	Otokar	2012	Doruk	12	Midi (9 m)	39	57
9	Otokar	2011	Doruk	6	Midi (9 m)	39	57
10	Otokar	2010	Doruk	20	Midi (9 m)	39	57
11	Otokar	2015	Sultan	10	Midi (7,7 m)	25	49
12	Otokar	2013	Sultan	1	Midi (7,7 m)	25	49
Toplam:				91			

Belirlenen bu özellikler VISUM programına aktarılmıştır. VISUM ortamında oluşturulan otobüs özellikleri Şekil 4.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. VISUM yazılımında otobüs özelliklerinin tanımlanması

Her bir güzergâhta otobüslerle taşınabilecek yolculuk miktarlarının hesaplanabilmesi için güzergâhlarda çalışan otobüs türleri belirlenmiş ve bu otobüsler güzergâhlarla ilişkilendirilmiştir. Şekil 4.9.'da örnek olarak Gar-Küpçüler güzergâhında çalışan otobüslerin VISUM programında tanımlanması görülmektedir.



Şekil 4.9. Her bir güzergâhta çalışan otobüslerin VISUM yazılımına aktarılması

Ayrıca Sakarya Büyükşehir Belediyesi'nin otobüs hareket cetvelleri dikkate alınarak her bir güzergâh üzerinde otobüslerin ortalama hızları belirlenmiş ve güzergâhlarda seyahat süreleri hesaplanmıştır. Belediye otobüslerinde seyahat edilmiş, otobüsler



duraklarda durduğu zaman otobüslerin içinden otobüslerin durakta bekleme süresi kronometre tutularak hesaplanmıştır. Otobüslerin duraklarda yolcu biniş ve inişleri için ortalama olarak 15 saniye bekledikleri tespit edilmiştir. Şekil 4.10.'da örnek olarak Gar-Küpçüler otobüs güzergâhında çalışan otobüslerin duraklarda bekleme süresi ve duraklar arası seyahat süreleri görülmektedir.

Profile point	Board	Alight	StopTime	Run time	AccumRunTime
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0s	60s	0h
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	15s	51s	1min
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	15s	56s	2min 6s
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	15s	31s	3min 17s
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	15s	46s	4min 3s
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	15s	32s	4min 50s
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	15s	22s	5min 27s
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	15s	16s	5min 58s
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	15s	25s	6min 38s
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	15s	18s	7min 11s
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	15s	24s	7min 50s
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	15s	29s	8min 34s
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	15s	14s	9min 3s
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	15s	35s	

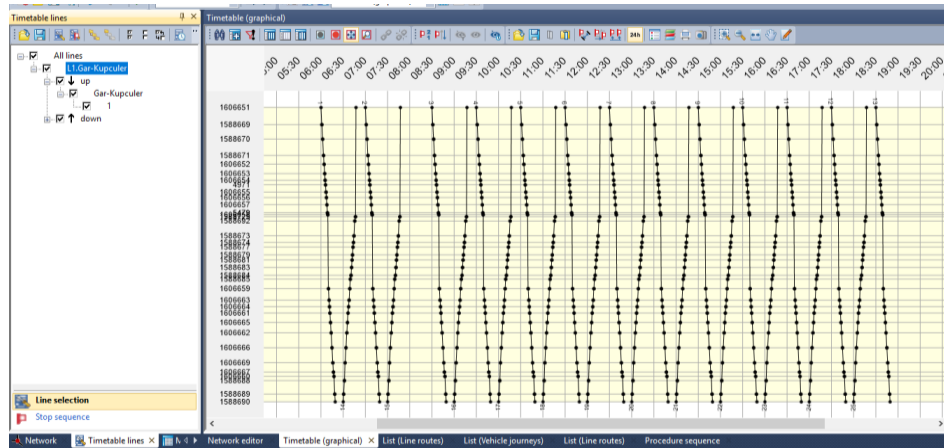
Şekil 4.10. Gar-Küpçüler güzergâhı otobüslerinin duraklarda bekleme ve duraklar arası seyahat süreleri

Belediye otobüslerinin duraklardan kalkış ve son durağa varış saatleri Büyükşehir Belediyesi'nden elde edilmiştir. Araçların kalkış-varış saatleri, duraklar arası mesafeler ve duraklarda bekleme süreleri dikkate alınarak güzergâhlarda ortalama işletme hızı belirlenmiştir. Güzergâhların vektör haritaları, Google haritaları esas alınarak oluşturulmuştur. Güzergâh uzunlukları da Sakarya Büyükşehir Belediyesi'nden [43] de kontrol edilerek VISUM yazılımına aktarılmıştır (Şekil 4.11.). İşletme hızı, duraklarda bekleme süresi ve duraklar arası mesafe belirlenmiş olduğundan, duraklar arası seyahat süresini hesaplamak mümkündür.

ObjNo	ObjCode	ObjName	Arr / Dep	Arr / Dep	Arr / Dep	Arr / Dep	Arr / Dep	Arr / Dep	Arr / Dep	Arr / Dep	Arr / Dep	Arr / Dep	Arr / Dep
1588728													
1588769													
136													
1609353													
1													
1588669			▼ 06:31:15		▼ 07:31:15		▼ 09:01:15		▼ 10:01:15		▼ 11:01:15		
1588670			▼ 06:32:21		▼ 07:32:21		▼ 09:02:21		▼ 10:02:21		▼ 11:02:21		
1588894													
1588671			▼ 06:33:32		▼ 07:33:32		▼ 09:03:32		▼ 10:03:32		▼ 11:03:32		
1606652			▼ 06:34:18		▼ 07:34:18		▼ 09:04:18		▼ 10:04:18		▼ 11:04:18		
1606653			▼ 06:35:05		▼ 07:35:05		▼ 09:05:05		▼ 10:05:05		▼ 11:05:05		
1606654			▼ 06:35:42		▼ 07:35:42		▼ 09:05:42		▼ 10:05:42		▼ 11:05:42		
4971			▼ 06:36:13		▼ 07:36:13		▼ 09:06:13		▼ 10:06:13		▼ 11:06:13		
1606655			▼ 06:36:53		▼ 07:36:53		▼ 09:06:53		▼ 10:06:53		▼ 11:06:53		
1606656			▼ 06:37:26		▼ 07:37:26		▼ 09:07:26		▼ 10:07:26		▼ 11:07:26		
1606657			▼ 06:38:05		▼ 07:38:05		▼ 09:08:05		▼ 10:08:05		▼ 11:08:05		
5479			▼ 06:38:49		▼ 07:38:49		▼ 09:08:49		▼ 10:08:49		▼ 11:08:49		
1606658			▼ 06:39:18		▼ 07:39:18		▼ 09:09:18		▼ 10:09:18		▼ 11:09:18		
1606676													
1606675													
1606674													
1606673													
1588760													

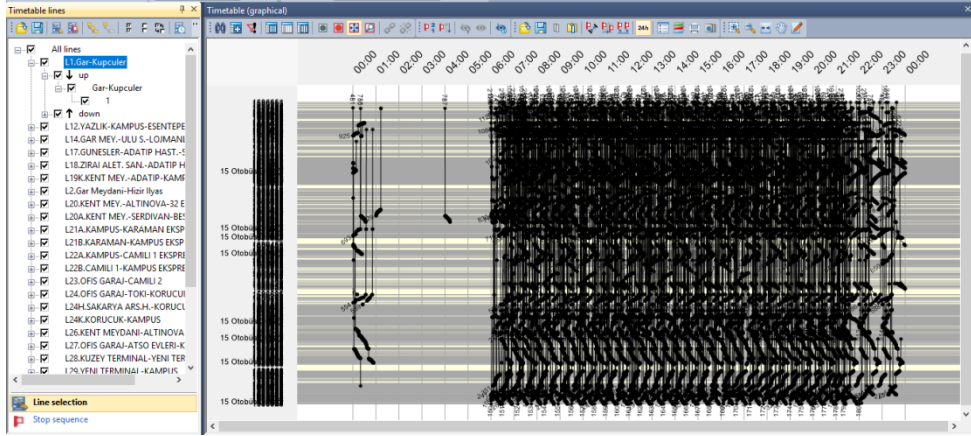
Şekil 4.11. Gar-Küpçüler otobüs güzergahında çalışan otobüslerin hareket saatleri tablosu

Şekil 4.11.'de örnek olarak gösterilen Gar-Küpçüler arasında çalışan otobüslerin gün içindeki hareket saatleri tablosu, Şekil 4.12.'de Orer olarak ifade edilen konum-zaman grafiği olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Gar-Küpçüler otobüs güzergahında çalışan otobüslerin Orer grafiği

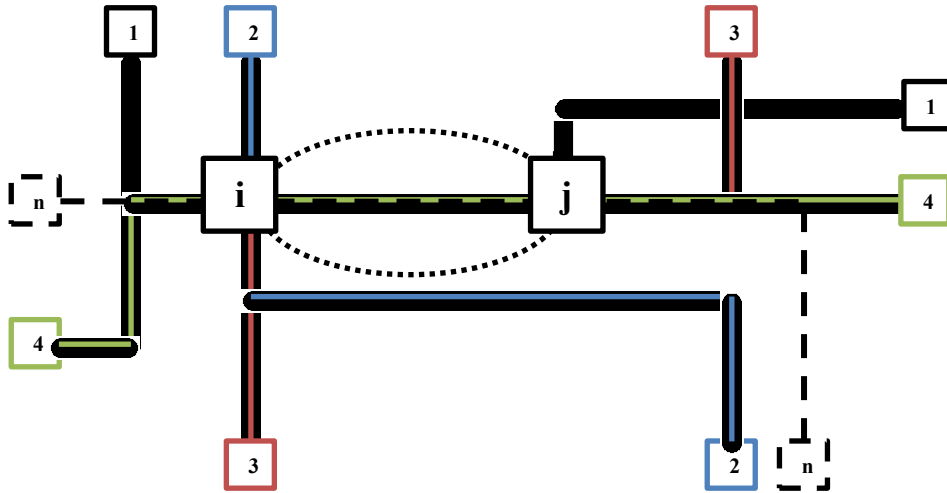
Şekil 4.13.'te ise tüm güzergâhlarda gün içinde çalışan otobüslerin Orer grafikleri görülmektedir.



Şekil 4.13. Toplu taşıma güzergâhlarında çalışan tüm otobüslerin Orer grafiği

#### 4.5. Sakarya İli Otobüs Toplu Taşıma Sisteminin Modellenmesi ve Analizi

Yukarıda verilen temel veriler kullanılarak VISUM programında atama analizleri yapılmıştır. Bu çalışmada toplu taşıma sistemi için bir analiz yapıldığından “Sefer Esaslı Atama Modeli” ile atamalar yapılmıştır [44]. Sefer esaslı atama modeli Şekil 4.14.’te şema olarak gösterilmiş ve Denklem 4.1’de matematiksel olarak ifade edilmiştir.



Şekil 4.14. Sefer Esaslı Atama Modeli örneği

$$S_{ij} = \sum_{k=1}^n O_k^{ij} \quad (4.1)$$

1, 2, 3, 4: güzergahlar



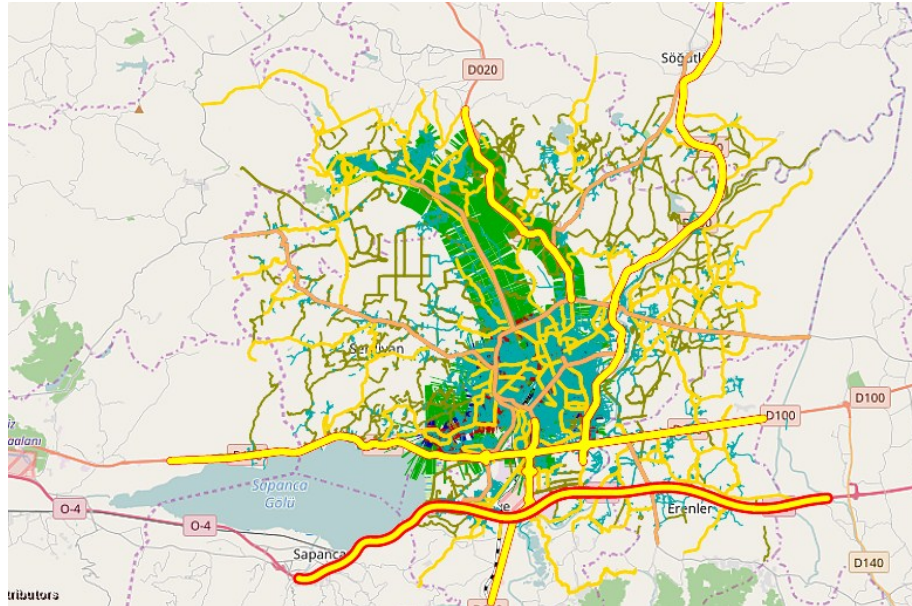
$i, j$ :  $i$ . ve  $j$ . duraklar

$n$ :  $i$  ve  $j$  duraklarından geçen güzergah sayısı

$O_k^{ij}$ :  $i$  ve  $j$  durakları arasından geçen  $k$ . güzergahın günlük sefer sayısı

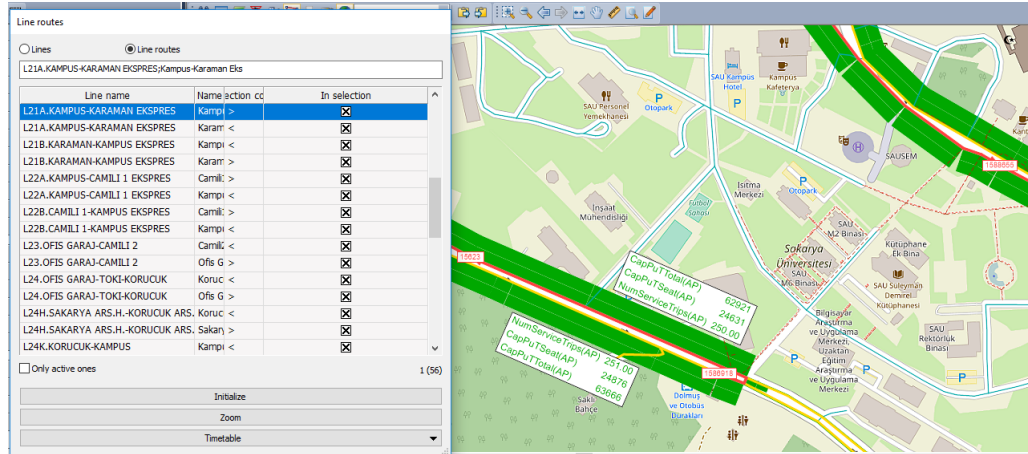
$S_{ij}$ :  $i$  ve  $j$  durakları arasından geçen günlük toplam sefer sayısı

Atama analizi sonuçları Şekil 4.15.'te gösterilmiştir. Yeşil kalın çizgiler mevcut durumda otobüs hatlarında gün boyu taşınabilecek yolculuk sayılarını göstermektedir. Çizgi kalınlıkları taşınan yolcu sayısına göre değişiklik göstermektedir. Grafik olarak güzergâhları değerlendirmek ve en fazla ya da en az yolcu taşınan kesimleri (duraklar arası yol kesimleri) görmek mümkündür.



Şekil 4.15. Mevcut durumda otobüs hatlarında gün boyu taşınabilecek yolcu sayıları

Şekil 4.16.'da örnek olarak Kampüs-Karaman Ekspres hattı durakları arasında yolculuklar görülmektedir.  $CapPuTTotal(AP)$ , analiz süresince (gün boyu) otobüslerle taşınan toplam yolcu sayısını,  $CapPuTSeat(AP)$ , analiz süresince (gün boyu) otobüslerle taşınan ve oturarak seyahat eden toplam yolcu sayısını,  $NumServiceTrips(AP)$  ise analiz süresince (gün boyu) servis yapan otobüs sayısını göstermektedir. VISUM ortamında yapılan analizlerde istenilen yol kesimine yaklaşıp toplu taşıma ile gerçekleştirilen yolculuk bilgilerine erişilebilir.



Şekil 4.16. Mevcut durumda Kampüs-Karaman Ekspres hattı durakları arasında gün boyu yapılan analiz sonuçları

Tablo 4.5.'te güzergâhlarda gidiş ve dönüş yönünde günlük olarak çalışan, otobüs sayısı, toplam mesafe, oturarak seyahat eden toplam yolcu sayısı ve toplam taşınabilecek yolcu sayısı (oturan + ayakta) görülmektedir. Tablo 4.5.'te ">" ve "<" sembolleri sırasıyla güzergâhlarda gidiş ve dönüşleri göstermektedir.

Tablo 4.6. Sakarya Büyükşehir Belediyesi güzergâhlarında gidiş ve dönüş yönünde günlük olarak çalışan otobüs bilgileri

Hat No	Güzergâh	Yön	Uzunluk (km)	Sefer sayısı (Günlük)	Seyahat süresi	Oturarak taşınabilen yolcu sayısı	Toplam taşınabilen yolcu sayısı
1	Gar-Küpçüler	>	7,27	13	19dk. 9sn.	325	637
1	Küpçüler-Gar	<	5,86	12	17dk. 17sn.	300	588
2	Gar Meydanı-Hızır İlyas	>	10,14	30	21dk. 52sn.	1170	1710
2	Hızır İlyas-Gar Meydanı	<	10,63	30	22dk. 11sn.	1170	1710
3	Kent Meydanı-Yeşil Tepe-Yeni Terminal	>	11,93	23	31dk. 29sn.	575	1725
3	Yeni Terminal-Yeşil Tepe-Kent Meydanı	<	10,11	24	30dk. 36sn.	600	1800
4	Et Balık-Kampüs	<	19,73	26	38dk. 57sn.	832	1716
4	Kampüs-Et Balık	>	18,43	26	38dk. 4sn.	832	1716
5	Gar Meydanı-Beşkörü-Kampüs	>	10,58	15	28dk. 47sn.	585	855
5	Kampüs-Beşkörü-Gar Meydanı	<	13,34	17	28dk. 11sn.	663	969
6	Gar Meydanı-32 Evler-Beşkörü-Kampüs	>	11,37	12	30dk. 9sn.	468	684

Tablo 4.6.(Devamı)

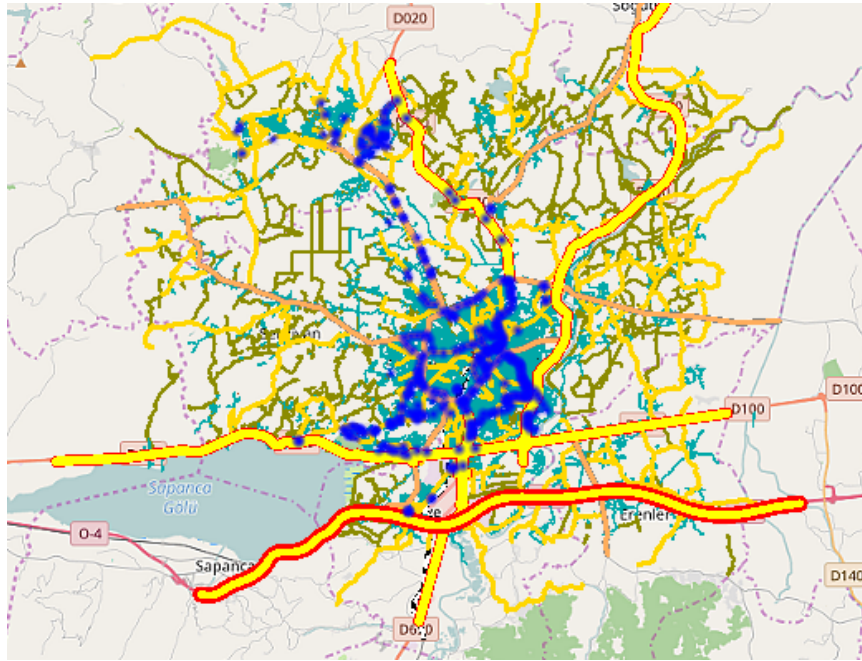
Hat No	Güzergâh	Yön	Uzunluk (km)	Sefer sayısı (Günlük)	Seyahat süresi	Oturarak seyahat eden yolcu sayısı	Toplam yolcu sayısı
6	Kampüs-32 Evler-Beşköprü-Gar Meydanı	<	10,62	14	30dk. 8sn.	546	798
7	Kent Meydanı-Yıldıztepe-Yeni Terminal	>	12,38	21	31dk. 16sn.	532	1246
7	Yeni terminal-Yıldıztepe-Kent Meydanı	<	10,42	22	30dk. 41sn.	557	1305
9A	Maltepe-Yazlık	>	19,20	20	32dk. 21sn.	780	1140
9A	Yazlık-Maltepe	<	9,76	20	32dk. 51sn.	780	1140
12	Esentepe-Kampüs-Yazlık	<	20,58	8	45dk. 25sn.	312	456
12	Yazlık-Kampüs-Esentepe	>	25,25	8	45dk. 59sn.	312	456
14	Beşevler-Lojmanlar-Ulu sokak-Gar Meydanı	<	8,99	14	24dk. 55sn.	546	798
14	Gar Meydanı-Ulu sokak-Lojmanlar-Beşevler	>	7,34	14	24dk. 50sn.	546	798
17	Güneşler-Adatıp-Şimşek Evler	>	14,73	18	25dk. 19sn.	702	1026
17	Şimşek Evler-Adatıp-Güneşler	<	14,00	18	25dk. 8sn.	702	1026
18	Yıldız-Adatıp-Zirai Aletler	<	9,99	22	21dk. 58sn.	858	1254
18	Zirai Aletler-Adatıp-Yıldız	>	12,47	22	21dk. 44sn.	858	1254
19K	Kampüs-Adatıp-Kent Meydanı	<	13,00	31	24dk. 36sn.	1581	3193
19K	Kent Meydanı-Adatıp-Kampüs	>	12,39	30	24dk. 23sn.	1530	3090
20	32 Evler-Altınova-Kent Meydanı	<	8,94	14	27dk. 24sn.	546	798
20	Kent Meydanı-Altınova-32 Evler	>	8,01	13	28dk. 46sn.	507	741
20A	Beşköprü-Serdivan-Kent Meydanı	<	15,80	10	31dk. 2sn.	390	570
20A	Kent Meydanı-Serdivan-Beşköprü	>	13,86	10	31dk. 2sn.	390	570
21A	Kampüs-Karaman Ekspres	>	24,33	33	29dk. 58sn.	1172	3308
21A	Karaman Ekspres-Kampüs	<	27,92	34	29dk. 43sn.	1207	3409
21B	Kampüs Ekspres-Karaman	<	27,87	31	28dk. 44sn.	1101	3108
21B	Karaman-Kampüs Ekspres	>	24,29	33	28dk. 54sn.	1172	3308

Tablo 4.6. (Devamı)

Hat No	Güzergâh	Yön	Uzunluk (km)	Sefer sayısı (Günlük)	Seyahat süresi	Oturarak seyahat eden yolcu sayısı	Toplam yolcu sayısı
22A	Camili 1 Ekspres-Kampüs	>	25,09	33	26dk. 35sn.	1089	2904
22A	Kampüs-Camili 1 Ekspres	<	28,50	33	25dk. 36sn.	1089	2904
22B	Kampüs Ekspres-Camili 1	>	26,32	31	26dk. 33sn.	1023	2728
22B	Camili 1-Kampüs Ekspres	<	29,18	31	28dk. 26sn.	1023	2728
23	Camili 2-Ofis Garaj	<	16,96	14	35dk. 19sn.	350	1050
23	Ofis Garaj-Camili 2	>	16,96	13	35dk. 20sn.	325	975
24	Korucuk-TOKİ-Ofis Garaj	<	20,91	35	26dk. 25sn.	1435	3535
24	Ofis Garaj-TOKİ-Korucuk	>	20,91	33	26dk. 26sn.	1353	3333
24H	Korucuk Araştırma Hastanesi-Sakarya Araştırma Hastanesi	<	21,02	6	35dk.	234	342
24H	Hastanesi-Korucuk Araştırma Hastanesi	>	21,09	6	35dk. 3sn.	234	342
24K	Kampüs-Korucuk	<	27,11	16	38dk. 36sn.	816	1648
24K	Korucuk-Kampüs	>	27,05	17	38dk. 44sn.	867	1751
26	Kampüs-Altınova-Kent Meydanı	<	10,57	26	28dk. 11sn.	923	2607
26	Kent Meydanı-Altınova-Kampüs	>	10,14	25	28dk. 7sn.	888	2506
27	Kampüs-ATSO Evleri-Ofis Garaj	<	13,05	14	28dk. 3sn.	546	798
27	Ofis Garaj-ATSO Evleri-Kampüs	>	12,91	13	28dk. 36sn.	507	741
28	Kuzey Terminal-Yeni Terminal	>	10,31	42	13dk. 23sn.	1610	3290
28	Yeni Terminal-Kuzey Terminal	<	11,01	43	13dk. 15sn.	1648	3368
29	Kampüs-Yeni Terminal	<	15,66	24	27dk. 32sn.	600	1800
29	Yeni Terminal-Kampüs	>	14,78	24	27dk. 30sn.	600	1800
30	Camili MYO-Sakarya MYO	<	15,71	14	47dk. 23sn.	532	1246
30	Sakarya MYO-Camili MYO	>	15,47	15	48dk. 40sn.	570	1335

VISUM programında durak hizmet alanı araştırması yapılarak, analizi yapılan güzergâhlarda durakların hizmet verebileceği alanlar belirlenmeye çalışılmıştır.

Durak hizmet alanları analizlerde 100 m ve 500 m arasında alınmış ve seyahat sürelerine olan etkileri incelenmiştir. Analiz sonuçları toplu taşıma uzmanları ile değerlendirilmiş ve durak hizmet alanlarının mevcut durumda ortalama 300 m olmasına karar verilmiştir. Şekil 4.17.'de durak hizmet alanının 300 m olması durumu görülmektedir. Mavi renkler durakların hizmet verebileceği bölgeleri göstermektedir. Şekil 4.17.'de görüldüğü gibi bazı koridorlarda durak sayılarının artması gerektiği görülmektedir. Bu artış daha fazla bölgeye toplu taşıma hizmeti sağlarken seyahat sürelerinin artmasına sebep olacaktır.



Şekil 4.17 Güzergâhlarındaki durakların hizmet alanının 300 m olması durumunda durakların hizmet alanları

Güzergâhlarda gün boyu hizmet veren araç sayıları, araçların kapasitesi belli olduğundan her bir güzergâhta mevcut durumda taşınabilecek yolcu sayısını hesaplamak mümkündür. Bu hesaplama Denklem 4.2'de gösterilmiştir.

$$Y = k \times n \quad (4.2)$$

Y: Günde taşınan yolcu sayısı

n: Güzergâhta hizmet veren günlük otobüs sefer sayısı

k: Güzergâhta çalışan otobüsün yolcu kapasitesi

Sakarya'da belediye otobüsleri ile günde yaklaşık 92.633 yolcunun taşınabileceği hesaplanmıştır. Sakarya'da en fazla yolcu taşınabilecek güzergâhın 24 Ofis Garaj-Toki-Korucuk olduğu belirlenmiştir. Korucuk'tan şehir merkezine günde 3.535 yolcu, şehir merkezinden Korucuk'a ise günde 3.333 yolcu taşımak mümkündür. En fazla yolcunun taşınabileceği duraklar arası kesimin Kampüs içinde olduğu ve günde 64.688 yolcu taşınabileceği tespit edilmiştir. Adapazarı kent merkezinde ise günde 62.000 yolcunun taşınabileceği belirlenmiştir. Sakarya'da belediye otobüslerinin doluluk oranlarının belirlenmesi için arazi çalışmaları yapılmıştır. Doluluk oranlarını en çok üniversite öğrencilerinin etkilediği gözlenmiştir. Üniversitenin öğrenim dönemlerinde özellikle doruk saatlerde doluluk oranı yüksektir. Buna karşın üniversitenin tatil olduğu dönemlerde Kampüs güzergahlarında doluluk oranının önemli ölçüde düştüğü saptanmıştır. Yapılan çalışmalarda doruk saatlerde (sabah ve akşam) otobüslerin ortalama %100 dolulukta çalıştığı, gün içinde ise ortalama %50-80 dolaylarında bir doluluk oranına sahip olduğu gözlenmiştir. Ortalamada ise bu oranın yaklaşık %65 dolaylarında olduğu hesaplanmıştır. Ortalama doluluk oranı dikkate alındığında Sakarya'da belediye otobüsleri ile günde yaklaşık 58.882 yolcu taşınmaktadır. Sakarya'da belediye otobüsleri ile yılda yaklaşık 21.491.805 yolcu taşındığı hesaplanmıştır.

## **BÖLÜM 5. SAKARYA İLİ OTOBÜS TOPLU TAŞIMA SİSTEMİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Sakarya'da en fazla araç-km değerinin 21A Kampüs-Karaman güzergâhı olduğu belirlenmiştir. Karaman'dan Kampüs'e araçlar günde 949,19 km, Kampüs'ten Karaman'a ise günde 802,79 km yapmaktadırlar. Sakarya Büyükşehir Belediyesi otobüsleri, günde toplam 19.828 araç-km yapmaktadır. Araç-km değerleri kullanılarak yakıt maliyet hesaplarını yapmak mümkündür. Otobüs işletmesinde yapılacak iyileştirmelerle (duraklarda bekleme sürelerinin düşürülmesi, seyahat sürelerinin azaltılması vb.) araç işletme maliyetlerini düşürmek mümkündür.

Durakların, kent merkezinde çok yoğun olduğu ancak Korucuk, Karaman ve Camili koridorlarında ise durakların seyrek olduğu tespit edilmiştir. Bu koridor boyunca yeni yerleşim bölgelerinin artması durumunda araç durak sayısı artacaktır. Durak sayısının artmasıyla birlikte daha fazla bölgeye toplu taşıma hizmeti sağlanırken seyahat süreleri uzayacaktır. Seyahat sürelerinin artması yeni otobüs alımlarını gerektirecektir. Gerek durak sayısı ve gerekse alınacak otobüs türlerinin belirlenmesi için VISUM ortamında hazırlanmış olan mevcut planlama sistemini kullanarak analizler yapmak ve doğru kararlar vermek mümkündür.

Sakarya'da merkez ve Kampüs arasındaki toplu taşıma güzergâhlarında özellikle doruk saatlerde (sabah ve akşam) Kampüs yönüne doğru belediye otobüslerinin %100'ün üzerinde bir dolulukta çalıştığı ancak dönüşlerinde ise doluluğun %20 civarında olduğu otobüslerle seyahat edilerek tespit edilmiştir. Dönüş güzergâhları değiştirilerek doluluk oranı artırılabilir. Bu amaçla olası güzergâhlar belirlenerek güzergâhların hizmet vereceği bölgeler arasında yolculuk matrislerinin belirlenmesi gerekmektedir. VISUM ortamında hazırlanmış olan mevcut planlama sistemini kullanarak bölgeler arası yolculuk matrislerini girmek ve atama analizleri yapmak

mümkündür. Merkez üniversite kampüsü kavramının çeşitli avantajlarının olmasına karşın toplu taşıma açısından dezavantajları bulunmaktadır. Eğer toplu taşıma sistemini güçlendirmeye yönelik girişimler yapılmayacaksa, Sakarya Üniversitesi Merkez Kampüsü'nün nüfus yoğunluğunun artırılmamasına yönelik çalışmaların yapılması şehrin ulaşımı için olumlu bir adım olacaktır.

Mevcut modeli kullanarak güzergâhlardaki durak sayısını artırmak ya da azaltmak mümkündür. Ayrıca gelecekte bulunması muhtemel cazibe merkezlerine göre her bir güzergâhta otobüs sefer saatlerini düzenlemek ve otomatik olarak taşınabilecek yolculuk sayısını hesaplamak mümkündür.

Araç işletme maliyetlerinin kilometre ölçeğinde bilinmesi halinde mevcut durumda ve gelecek ile ilgili senaryolarda güzergâh başına gerçekleşebilecek maliyetleri ve karbon emisyonunu hesaplamak mümkündür.

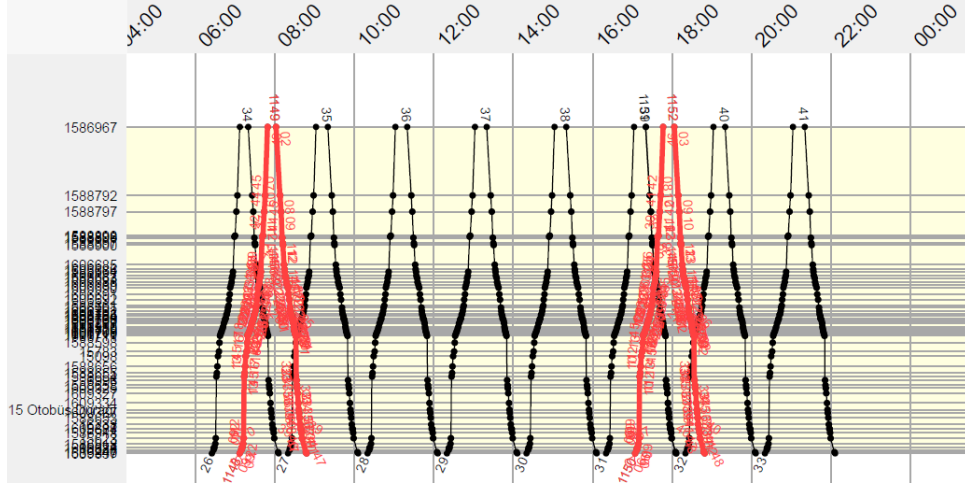
Oluşturulan otobüs ağı modelinde birtakım değişkenler değiştirilerek aşağıdaki senaryolar geliştirilmiştir.

### **5.1. Toplu Taşıma Sisteminde Seferlerin Düzenlenmesi**

Özellikle Kampüs ve şehir merkezine diğer bölgelerden, sabah ve akşam saatlerinde yoğun bir yolculuk talebi olurken, gün içinde bu talebin ciddi bir şekilde azaldığı belirlenmiştir. Yolculara anketler düzenlenerek, yoğun ve seyrek seyahat taleplerinin zaman aralıkları belirlenebilir. Sistemik olarak zaman çizelgeleri belirlenen otobüs seferlerinin, belirlenen zaman aralıkları göz önünde bulundurularak, oluşturulan modelde elle düzenlemeler yapılabilir.

Durumla ilgili bir senaryo oluşturulmuştur. Otomatik olarak oluşturulan otobüs seferleri zaman çizelgesi, yolculuk taleplerine göre elle düzenlenmiştir. Doruk saatlerde yolcu kapasitesini karşılamak için ek seferler konulup Şekil 5.1.'de görüldüğü gibi analiz yapılmıştır.





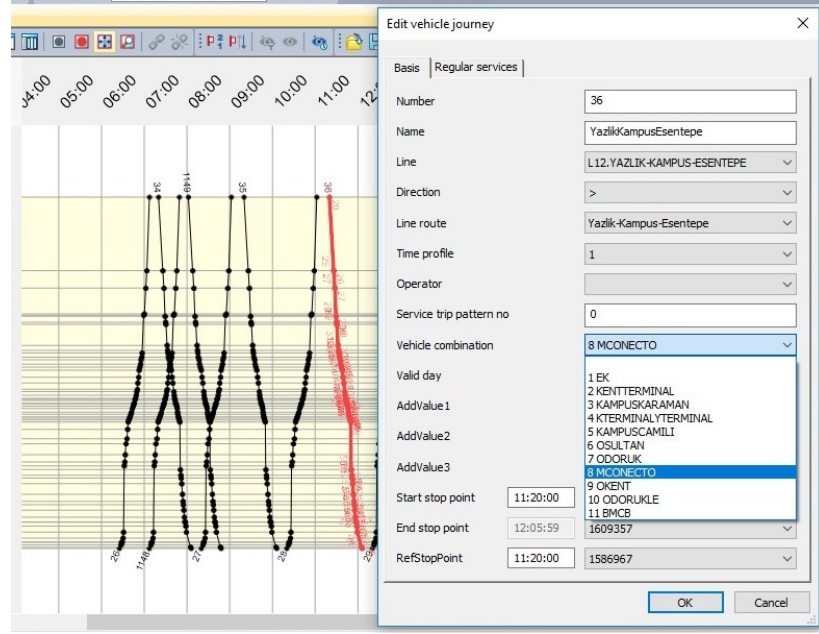
Şekil 5.1. 12 Esentepe-Kampüs-Yazlık güzergahı ek sefer konulması durumunda Orer grafiği

Şekil 5.1.'deki Orer grafiğinde kırmızı ile görülen seferler, ek sefer olarak atanmıştır. Böylelikle doruk saatlerdeki hizmet düzeyi artırılmıştır. Ayrıca gün içindeki boş otobüs seferleri kaldırılarak, otobüslerin yıpranması, yakıt tasarrufu ve emisyon azaltılabilir.

## 5.2. Toplu Taşıma Sisteminde Araç Seçimi ve Değişikliği Etkisinin İncelenmesi

Gelecekte bölgeler arasında yolculukların artması durumunda bu talebi karşılayacak uygun otobüslerin alınması gerekmektedir. VISUM ortamında hazırlanmış olan mevcut planlama sistemini kullanarak güzergâhlara uygun otobüslerin belirlenmesi ve alternatiflerin yatırım yapılmadan önce değerlendirmesi mümkündür.

Sakarya Üniversitesi Esentepe Kampüsü'nde öğrenim gören öğrenci sayısının artması ile Kampüs önemli bir çekim merkezi haline gelmiştir. Son zamanlarda nüfusun şehir merkezi ve Serdivan bölgelerinde de yoğunlaşması, nüfusun diğer ilçelere yayılmasına yol açmıştır. İlerleyen yıllarda Yazlık bölgesinden daha fazla yolcunun Kampüs'e seyahat talebi olabileceği ön görülüp, ilgili güzergahın yolcu kapasitesini artırmak için bir senaryo oluşturulmuştur. Esentepe-Kampüs-Yazlık (12) güzergahı mevcut otobüs türü Otokar Doruk, yolcu kapasitesi daha fazla olan Mercedes Conecto ile değiştirilerek analiz yapılmıştır (Şekil 5.2.).



Şekil 5.2. 12 Esentepe-Kampüs-Yazlık güzergahı otobüsü Otokar Doruk'un Mercedes Conecto ile değiştirilmesi

İki otobüs türünün “12” güzergahında taşıyabilecekleri günlük yolcu sayıları Tablo 5.1.'de karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.1. Otokar Doruk ve Mercedes Conecto Esentepe-Kampüs-Yazlık (12) güzergahı günlük tek yön taşınabilecek yolcu sayıları

Otokar Doruk oturarak seyahat eden yolcu sayısı	Mercedes Conecto oturarak seyahat eden yolcu sayısı	Otokar Doruk toplam yolcu sayısı	Mercedes Conecto toplam yolcu sayısı
390	328	456	1184

Tablo 5.1.'de görüldüğü gibi gelecekte Yazlık bölgesinden Kampüs'e yolcu talebi artması durumunda Otokar Doruk yerine Mercedes Conecto otobüs türü seçilerek, taşınabilecek yolcu kapasitesi %39 artırılabilir.

### 5.3. Toplu Taşıma Sisteminde İşletmenin Düzenlenmesi

Mevcut durumda duraklarda bekleme süresini azaltarak seyahat süresini kısaltmak mümkündür. Bu amaçla, otobüs duraklarının geometrik yapısının uygun olması ve otobüs duraklarına özel araç park edilmesinin önüne geçilmesi gerekmektedir.

Duraklarda bekleme süresi azaltılarak bir senaryo oluşturulmuştur. Oluşturulan senaryoda örnek olarak 12 Esentepe-Kampüs-Yazlık güzergahı tek yön olarak incelenmiştir. Durak bekleme süresi 15 saniyeden 10 saniyeye düşürülmüş ve bir sefer için toplam seyahat süreleri Tablo 5.2.'de gösterildiği gibi karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.2. Duraklarda bekleme sürelerinin düşürülmesi durumunda 12 Esentepe-Kampüs-Yazlık güzergahı sefer süresi

Hat No	Güzergâh	Yön	Duraklarda bekleme sürelerini 15 sn. olması durumunda sefer seyahat süresi	Duraklarda bekleme sürelerini 10 sn. olması durumunda sefer seyahat süresi
12	Esentepe-Kampüs-Yazlık	<	45 dk. 25 sn.	42 dk. 15 sn.

Bir sefer için seyahat süresinin 3 dakika 10 saniye azaldığı saptanmıştır. Bu azalma, bir otobüsün yılda yaklaşık 154 saat daha az çalışması demektir. Görüldüğü üzere durak bekleme süresindeki küçük bir değişiklik ile uzun vadede otobüsler daha az yıpranır, yakıt tüketimi ve emisyon azalır. Toplu taşıma hizmeti sağlarken oluşan işletme maliyeti ve çevreye verilen zarar azaltılmış olur.

Duraklarda bekleme sürelerinin düşürülmesi duraklarda karışıklığa neden olabilir. Bu karışıklık, telefon uygulamaları ve duraklara yerleştirilen, gerçek zamanlı bilgilendirme sistemleriyle giderilip hizmet düzeyi artırılmış olur.

## **BÖLÜM 6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER**

Bu çalışmada, Sakarya Büyükşehir Belediyesi tarafından işletmesi gerçekleştirilen toplu taşıma sistemi VISUM yazılımında oluşturulmuştur. Otobüs güzergâhları, otobüs modelleri ve duraklar programa aktarılmıştır. Otobüslerin ortalama hızları belirlenmiş ve güzergâhlarda seyahat süreleri duraklar arası seyahat süreleri ile birlikte hesaplanmıştır.

Gün boyu otobüslerle taşınan toplam yolcu sayısı, servis yapan otobüs sayısı, güzergâhlarda en fazla ne kadar yolcu taşınabileceği belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucu Sakarya Büyükşehir Belediye otobüsleri ile günde yaklaşık 92.633 yolcu taşınabilir. En fazla yolcunun taşınabileceği güzergahın 24 Ofis Garaj-TOKİ-Korucuk güzergahı olduğu tespit edilmiştir. Korucuk'tan şehir merkezine günde 3.535 yolcu, şehir merkezinden Korucuk'a da 3.333 yolcu taşınabilmektedir. En fazla araç-km değeri 21A Kampüs-Karaman güzergahına aittir. Hesaplamalar sonucu Karaman'dan Kampüs'e günde 949,79 araç-km, Kampüs'ten Karaman'a ise günde 802,79 araç-km yapıldığı görülmüştür. İşletilmesinden Sakarya Büyükşehir Belediyesi'nin sorumlu olduğu güzergâhlarda günde toplam 19.828 araç-km yapıldığı bulunmuştur.

Güzergâhlarda taşınan yolcu sayılarına göre araç seçiminin önemi vurgulanmıştır. Öneriler bölümünde Sakarya'da toplu taşıma sisteminin performansının artırılmasına yönelik çözüm önerileri geliştirilmiş ve senaryolar oluşturularak farklı alternatifler değerlendirilmiştir.

İlk senaryoda; doruk saatlerde fazla olan seyahat talebini karşılayabilmek amacıyla el ile ek seferler eklenmiş ve hizmet düzeyi artırılmaya çalışılmıştır. İkinci senaryoda; 12 Esentepe-Kampüs-Yazlık güzergahının mevcut otobüs türü Otokar Doruk, yolcu

kapasitesi daha yüksek olan Mercedes Conecto ile değiştirilmiştir. Gelecek yıllarda bu güzergahta yoğunluğun artması durumunda Mercedes Conecto kullanılarak %39 daha fazla yolcu taşınabileceği hesaplanmıştır. Üçüncü ve son senaryoda; 12 Esentepe-Kampüs-Yazlık güzergahında durak bekleme süreleri 15 saniyeden 10 saniyeye düşürülmüştür. Bu durumda bu güzergahta çalışan bir otobüsün günde 3 dakika 10 saniye, yılda ise yaklaşık 154 saat daha az çalıştığı anlaşılmıştır. Yapılan bu değişiklik ile uzun vadede otobüslerin daha az yıpranacağı, yakıt tüketimi ve emisyonun azalacağı saptanmıştır.

Ayrıca oluşturulan toplu taşıma modeli ile; yakıt maliyeti, karbon emisyonu gibi parametreler de hesaplanıp, farklı otobüs modelleri, gelecekte oluşabilecek çekim merkezleri değişkenleri girilerek toplu taşıma ağını istenilen şekilde düzenlemek mümkündür. VISUM programında yolculuk dağılımı, türel dağılım ve yolculuk atama analizleri yapılabilir. Veriler üzerinde istatistik analizler yaparak değerlendirmeler yapıp, sonuçlar coğrafi bilgi sistemleri özelliği ile görselleştirilebilir.

Sakarya ili belediye araçları toplu taşıma sistemi için yapılan bu örnek çalışmada ulaşım planlama teknikleri ve bu teknikleri kullanan başarılı yazılımlarla toplu taşıma veriminin artırılmasına yönelik neler yapılabileceği gösterilmiştir.

Güçlü bir toplu taşıma sistemine sahip olmak, özel araç kullanımını azaltarak şehir yaşamı kalitesini artıracaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] Guler, H., Arslan O. 2016. Operational Planning and Optimization Systems in Public Transport Operators. Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences, 7 (1): 67-68.
- [2] www.britannica.com., Erişim Tarihi: 17.10.2017.
- [3] www.wikipedia.org., Erişim Tarihi: 13.11.2017.
- [4] www.sakarya.bel.tr., Erişim Tarihi: 05.12.2017.
- [5] www.yourfreetemplates.com., Erişim Tarihi: 14.12.2017.
- [6] T.C. Sakarya Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü 2013. 2012 Sakarya İl Çevre Durum Raporu. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Sakarya.
- [7] www.tuik.gov.tr., Erişim Tarihi: 19.12.2017.
- [8] www.sakarya.edu.tr., Erişim Tarihi: 05.12.2017.
- [9] Engin, T. 2005. Trafik Sayımlarından O-D Matrisi Elde Etme Yöntemleri. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Anabilim Dalı Ulaştırma Programı, Yüksek Lisans Tezi.
- [10] Karacasu, M. 2009. Eskişehir Kentiçi Ulaşımında Trafik Türlerine Göre Dağılımın Belirlenmesi ve Ulaşım Sorunlarına Çözüm Önerileri. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10 (3): 409-412.
- [11] Ayataç, H. 2016. Kentsel Ulaşım Planlaması ve İstanbul. İTÜ Vakfı Dergisi, 71: 31-35.
- [12] Kaplan, H. 1991. Kentsel Ulaşım Planlaması, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Ankara, 123-138.
- [13] Demir, O. 2011. Urban Public Transportation Systems Lecture Notes, ITU Urban And Regional Planning Department, İstanbul.
- [14] Karayolları Trafik Yönetmeliği 1997. İçişleri, Bayındırlık Ve İşkân Ve Ulaştırma Bakanlıklarını.

- [15] Öztürk, H. 2012. Trafik Talep Yönetimi ve Gürsu İlçesinde Sürdürülebilir Ulaşım Planlaması. Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi, Yüksek Lisans Tezi.
- [16] [www.drawingdatabase.com](http://www.drawingdatabase.com)., Erişim Tarihi: 14.12.2017.
- [17] Acar, İ. H. 2005. Kentlerimiz için Metrobüs Çözümleri. 6. Ulaştırma Kongresi, İstanbul, 89-98.
- [18] Baştürk, G. 2014. Kentiçi Raylı Toplu Taşıma Sistemleri İncelemesi ve Dünya Örnekleri İle Karşılaştırılması. T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Ulaştırma ve Haberleşme Uzmanlığı Tezi.
- [19] [www.iETT.istanbul/tr](http://www.iETT.istanbul/tr)., Erişim Tarihi: 07.12.2017.
- [20] Cirit, F. 2014. Sürdürülebilir Kentiçi Ulaşım Politikaları ve Toplu Taşıma Sistemlerinin Karşılaştırılması. T.C. Kalkınma Bakanlığı, İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Uzmanlık Tezi.
- [21] [www.raylisistem.net](http://www.raylisistem.net)., Erişim Tarihi: 17.12.2017.
- [22] Güler, H. 2013. Demiryolu Mühendisliği Ders Notları. Sakarya Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya.
- [23] [www.uitp.org](http://www.uitp.org)., Erişim Tarihi: 12.11.2017.
- [24] [www.metro.istanbul](http://www.metro.istanbul)., Erişim Tarihi: 14.12.2017.
- [25] [www.iETT.istanbul](http://www.iETT.istanbul)., Erişim Tarihi: 14.12.2017.
- [26] [www.statista.com](http://www.statista.com)., Erişim Tarihi: 14.12.2017.
- [27] [data.worldbank.org](http://data.worldbank.org)., Erişim Tarihi: 14.12.17.
- [28] [brtdata.org](http://brtdata.org)., Erişim Tarihi: 07.12.2017.
- [29] Akı, M. 2012. Kentsel Toplu Taşıma Kapsamında Metrobüs Sisteminin Yaya Erişilebilirliğinin Değerlendirilmesi: İstanbul Örneği. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı, Şehir Planlama Programı, Yüksek Lisans Tezi.
- [30] Gültaş, P., Yücel, M. 2015. Yeşil Lojistik: Yeşil Ulaşım Hizmetleri Malatya Büyükşehir Belediyesi Örneği. Akademik Yaklaşımlar Dergisi, 6(2): 70-83.
- [31] [malatya.bel.tr](http://malatya.bel.tr)., Erişim Tarihi: 17.12.2017.
- [32] [motas.com](http://motas.com)., Erişim Tarihi: 17.12.2017.

- [33] TBB Ulaşım Çalışma Komisyonu 2014. Ulaşım Planlama Çalışmaları ve Ulaşım Ana Planı Hazırlama Kılavuzu. Türkiye Belediyeler Birliği (TBB), Ankara.
- [34] Çubuk, M. K., Türkmen, M. 2003. Ankara'da Raylı Ulaşım. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 18(1): 125-144.
- [35] İzmir Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığı, 2017.
- [36] [atap.gov.au](http://atap.gov.au), Erişim Tarihi: 28.11.2017.
- [37] Üçer, F., Özdemir, T., Ceylan, H., Turabi, A. 2009. Ulaşım Ağlarında Seyahat Üretimi Belirlenmesi İçin Model Yaklaşımı ve Seyahat Dağılımı. BAÜ FBE Dergisi, 11(2): 3-16.
- [38] Aslan, H. 2013. Seyahat Talebinin Tahmini Ders Notları. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ulaştırma Anabilim Dalı, Sakarya.
- [39] Üçer, F. 2009. Ulusal Karayolu Sisteminin Ağ Güvenilirliği Yaklaşımı İle İncelenmesi. Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi.
- [40] Güler, H., Mert, N. 2012. Evaluation Of Internship Programs For Educational Improvements: A Case Study for Civil Engineering. International Journal of Engineering Education 28(3): 579–587
- [41] [ec.europa.eu](http://ec.europa.eu), Erişim Tarihi: 17.08.2017.
- [42] [sakus.sakarya.bel.tr](http://sakus.sakarya.bel.tr), Erişim Tarihi: 20.12.2017.
- [43] Sakarya Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Daire Başkanlığı, Sakarya, 2017.
- [44] PTV AG 2014. PTV VISUM 14 – Manual. Karlsruhe, Germany.
- [45] Selvi, M. 2011. İzmit Kentiçi Ulaşımının Makroskopik Simülasyon ile Değerlendirilmesi. Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi, Yüksek Lisans Tezi
- [46] Altıntaş, O. 2013. ODTÜ Yerleşkesinde Sürdürülebilir Ulaşım Senaryolarının Değerlendirilmesi. ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [47] Gülhan, G. 2014. Toplu Taşıma Planlaması ve Ağ Tasarımında Erişilebilirlik Ölçütlerinin Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ulaştırma Programı, Doktora Tezi.



## **ÖZGEÇMİŞ**

Serkan KARACA, 24.11.1988 tarihinde İstanbul ilinde doğdu. İlköğretim ve lise eğitimlerini İstanbul'da tamamladı. 2007 yılında Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde başladığı lisans eğitiminden 2013 yılında mezun oldu. Aynı yıl Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı-Ulaştırma Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2012-2017 yılları arasında özel sektörde inşaat mühendisi olarak çalıştı.