

**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TOPLU TAŞIMA PLANLAMASI ve AĞ TASARIMINDA  
ERİŞİLEBİLİRLİK ÖLÇÜTLERİNİN KULLANILABİLİRLİĞİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**DOKTORA TEZİ  
Görkem GÜLHAN**

**Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği**

**Programı : Ulaştırma**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Halim CEYLAN**

**OCAK, 2014**

## DOKTORA TEZ ONAY FORMU

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 081625002 nolu öğrencisi Görkem GÜLHAN tarafından hazırlanan "TOPLU TAŞIMA PLANLAMASI ve AĞ TASARIMINDA ERİŞİLEBİLİRLİK ÖLÇÜTLERİNİN KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI" başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Halim CEYLAN (PAÜ)

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Soner HALDENBİLEN (PAÜ)

Jüri Üyesi : Yrd.Doç.Dr. Yıldırım ORAL (DEÜ)  
(Jüri Başkanı)

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Kemal Mert ÇUBUKÇU (DEÜ)

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Serhan TANYEL (DEÜ)

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 26.01.2014 tarih ve ...04/11.... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü  
Prof. Dr. Nuri KOLSUZ

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

İmza



Öğrenci Adı Soyadı: Görkem GÜLHAN

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca destek, yardım ve görüşlerini benden esirgemeyen, her türlü çıkmazda benim önümü açan, tez danışmanım ve kıymetli hocam Prof.Dr.Halim CEYLAN'a en derin teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma boyunca her türlü yardım ve desteği yapan, değerli zamanını her istediğimde bana ayıran saygıdeğer hocam Prof.Dr.Soner HALDENBİLEN'e şükranlarımı sunarım.

Değerli tecrübelerini benimle paylaşan, lisans eğitimime başladığımdan bu yana her kapısını çaldığımda benimle ilgilenen, çok değer verdiği, kıymetli hocam Yrd. Doç.Dr. Yıldırım ORAL'a teşekkür ederim.

Tez süreci boyunca her türlü zorlukta yanımda olan, kıymetli vaktini bana ayıran, en değerli bilgi ve tecrübelerini bana günlerce süren çalışmalarla aktaran, çok değerli dostum Dr.Hüseyin CEYLAN'a en derin teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması sürecinde desteğini esirgemeyen ve manevi olarak her zaman yanımda olan dostum Dr. Özgür BAŞKAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma boyunca bana destek ve yardımcı olan, önemli vaktini bana ayıran değerli dostum Yrd.Doç.Dr. Mustafa ÖZUYSAL'a şükranlarımı sunarım.

Tezimi, 2010-FBE-060 nolu proje ile destekleyen Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederim.

Bütün hayatım boyunca her türlü zorlukta yanımda olan, bu yolda bana en büyük desteği veren, sevgili annem Mualla GÜLHAN'a ve babam Eraydın GÜLHAN'a en derin, en içten saygı ve sevgilerimi sunarım.

Ocak 2014

Görkem GÜLHAN

Yüksek Şehir ve Bölge Plancısı

*Annem ve babama...*

## ÖNSÖZ

Bu çalışmada, erişilebilirlik kavramının arazi kullanım ve ulaşım ile olan ilişkisi araştırılmış olup, erişilebilirliğin ulaşım ve toplu taşıma planlaması süreçlerine dâhil edilebilmesi ile ilgili teknik ve metotların geliştirilmesi amaçlanmıştır. Erişilebilirlik ölçütlerinin toplu taşıma planlaması içerisinde kullanım alanları araştırılmış ve bu ölçütlerden kentsel toplu taşımacılık planlaması ve ağ tasarımının karar verme aşamalarında faydalanılmıştır. Mevcut toplu taşıma sisteminin iyileştirilmesinin yanında yeni senaryolar geliştirilmiş ve bu senaryoların seçiminde erişilebilirlik ölçütlerinden verimlilik göstergesi olarak yararlanılmıştır. Aynı zamanda, toplu taşıma ağ tasarımının karar verme aşamalarında kullanılan amaç fonksiyonlarına erişilebilirlik ölçütü temelli amaç fonksiyonları dahil edilmiştir. Böylelikle toplu taşıma rotalarının ve rota setlerinin belirlenmesinde toplumsal faydanın rolü baskınlaştırılmış olup en verimli otobüs rotalarının belirlenmesi ve üretilmesi sağlanmıştır.

OCAK 2014

Görkem GÜLHAN  
(Şehir ve Bölge Plancısı)

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

Etik Belgesi	
Teşekkür	
Önsöz .....	iii
İçindekiler .....	xiv
Kısaltmalar Dizini .....	vi
Tablo Listesi.....	vii
Şekil Listesi.....	viii
Sembol Listesi.....	ix
<b>ÖZET.....</b>	<b>xi</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>xii</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Tezin Amacı .....	2
1.2 Problemin Tanımı.....	4
1.3 Yöntem .....	4
1.4 Sonuçlar.....	5
<b>2. LİTERATÜR ÖZETİ .....</b>	<b>6</b>
2.1 Arazi Kullanım ve Ulaşım Arasındaki İlişki.....	6
2.2 Erişilebilirlik .....	7
2.2.1 Erişilebilirlik bileşenleri	9
2.2.1.1 Arazi kullanım bileşeni	10
2.2.1.2 Ulaşım bileşeni	10
2.2.1.3 Geçici bileşen	10
2.2.1.4 Bireysel bileşen	10
2.2.2 Erişilebilirlik ölçütleri	11
2.2.2.1 Ulaşım altyapısı temelli ölçütler	11
2.2.2.2 Lokasyon temelli ölçütler	11
2.2.2.3 Kişi temelli ölçütler	16
2.2.2.4 Fayda temelli ölçütler	16
2.2.3 Erişilebilirlik temelleri	21
2.2.3.1 Kuramsal temel	21
2.2.3.2 Uygulamaya koyabilirlik	21
2.2.3.3 Yorumlanabilirlik ve iletişilebilirlik	21
2.2.3.4 Sosyal ve ekonomik hesaplarda kullanılabilirlik	21
2.3 Kentsel Toplu Taşımacılık .....	22
2.4 Toplu Taşıma ve Erişilebilirlik İlişkisi .....	25
2.5 Toplu Taşıma Ağı Tasarımı .....	27
2.5.1 Toplu taşıma ağı tasarımına yönelik literatür	27
2.5.2 Toplu taşıma ağı tasarımı yöntemleri	30
2.6 Toplu taşıma ataması prosedürleri ve literatürü .....	32
2.7 Sonuç.....	35

<b>3. TOPLU TAŞIMA PLANLAMASI ve AĞ TASARIMI MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ.....</b>	<b>36</b>
3.1 Giriş.....	36
3.2 PE Ölçütünün Verimlilik Göstergesi Olarak Kullanılması.....	36
3.3 FEE Ölçütünün Verimlilik Göstergesi Olarak Kullanılması .....	40
3.4 Toplu Taşıma Ağı Tasarımında PE ve FEE Ölçütlerinin Kullanılması.....	44
3.5 Sonuç.....	50
<b>4. PE ve FEE ÖLÇÜTLERİNİN VERİMLİLİK GÖSTERGESİ OLARAK KULLANILMASI.....</b>	<b>51</b>
4.1 Giriş.....	51
4.2 Çalışma Alanının Genel Özellikleri.....	51
4.3 VISUM Trafik Simülasyonu .....	53
4.4 PE Ölçütünün Verimlilik Göstergesi Olarak Kullanılması.....	54
4.4.1 Toplu taşıma tabanlı PE hesaplamasında yaklaşım	54
4.4.2 Mevcut duruma yönelik toplu taşıma ataması ve analiz	54
4.4.3 İyileştirme senaryoları	59
4.4.4 Toplu taşıma planlamasına yönelik PE yaklaşımı ve hesaplama	65
4.4.5 Karar aşaması ve sonuç	76
4.5 FEE Ölçütünün Verimlilik Göstergesi Olarak Kullanılması .....	78
4.5.1 Toplu taşıma planlamasına yönelik FEE yaklaşımı ve hesaplama	79
4.5.2 Karar aşaması ve sonuç	94
<b>5. TOPLU TAŞIMA AĞI TASARIMINDA PE ve FEE ÖLÇÜTLERİNİN KULLANILMASI.....</b>	<b>96</b>
5.1 Giriş.....	96
5.2 Örnek Toplu Taşıma Ağı .....	96
5.3 Olası Rotaların Hesaplanması .....	98
5.4 Z1 Fonksiyonu Değişkenlerinin Hesaplanması .....	99
5.5 Z2 Fonksiyonu Değişkenlerinin Hesaplanması .....	104
5.6 Z3 ve Z4 Fonksiyonlarının Hesaplanması .....	107
5.7 Sonuç.....	110
<b>6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....</b>	<b>115</b>
6.1 Sonuç.....	115
6.1 Geleceğe Yönelik Çalışmalar.....	117
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>119</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>134</b>
Ek A1. Hane halkı anketlerinden elde edilen demografik veriler ve değerleri.	135
Ek A2. Geleceğe Yönelik Çalışmalar .....	137
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>141</b>



## **KISALTMALAR DİZİNİ**

<b>UAP</b>	: Ulaşım Ana Planı
<b>PE</b>	: Potansiyel Erişilebilirlik
<b>FEE</b>	: Fayda Esaslı Erişilebilirlik
<b>TT</b>	: Toplu Taşıma
<b>MİA</b>	: Merkezi İş Alanı
<b>UP</b>	: Ulaşım Planlaması
<b>BV</b>	: Başlangıç-Variş
<b>ZÇD</b>	: Zaman Çizelgesi Düzenlemesi
<b>MGK</b>	: Merkeze Giriş Kısıtlaması
<b>TOH</b>	: Tercihli Otobüs Hattı
<b>SS</b>	: Seyahat Süresi
<b>AİS</b>	: Araç İçi Süre
<b>K</b>	: Konut
<b>T</b>	: Ticaret

## TABLO LİSTESİ

### Tablolar

2.1 : Erişilebilirlik ölçütleri ve bileşenleri ilişkisi.....	20
4.1 : Mevcut durum için elde edilen objektif göstergeler.....	57
4.2 : Denizli TT sistemi için geliştirilen senaryolar.....	59
4.3 : Senaryo 1'deki yoğun hatlar için belirlenen aralıklar (dak)ve araç tipleri...59	
4.4 : Senaryo 2'deki yoğun hatlar için belirlenen aralıklar (dak.) ve araç tipleri.62	
4.5 : Senaryo 3'deki yoğun hatlar için belirlenen aralıklar (dak.) ve araç tipleri.63	
4.6 : Senaryolarda hesaplanan objektif ölçütler.....	64
4.7 : Mevcut durum için zonal bazda PE değerleri [(m <sup>2</sup> /dk)/10.000].....	65
4.8 : Senaryo 1 için zonal bazda PE değerleri [(m <sup>2</sup> /dk)/10.000]..	67
4.9 : Senaryo 2 için zonal bazda PE değerleri [(m <sup>2</sup> /dk)/10.000]....	69
4.10 : Senaryo 3 için zonal bazda PE değerleri [(m <sup>2</sup> /dk)/10.000]....	71
4.11 : Mevcut durum ve senaryolar için PE sonuçları (m <sup>2</sup> /dak)/10000.....	73
4.12 : Klasik verimlilik göstergeleri....	79
4.13 : Lillieforts yöntemi ile duyarlılık analizi sonuçları....	79
4.14 : Mevcut durum için zonal bazda FEE değerleri (m <sup>2</sup> /dk)..	80
4.15 : Senaryo 1 için zonal bazda FEE değerleri (m <sup>2</sup> /dk).....	82
4.16 : Senaryo 2 için zonal bazda FEE değerleri (m <sup>2</sup> /dk).....	84
4.17 : Senaryo 3 için zonal bazda FEE değerleri (m <sup>2</sup> /dk).....	86
4.18 : Mevcut durum ve senaryolar için herkombinasyonda hesaplanan FEE değerleri (m <sup>2</sup> /dk)....	90
4.19 : FEE değerlerinin nüfus ile çarpılmasıyla elde edilen değerler [(m <sup>2</sup> /dk)xkişi)/1000]....	90
5.1 : Düşümler arasındaki yolculuk talebi (kişi)..	97
5.2 : Düşümler arasındaki ortalama seyahat süresi (dk).....	97
5.3 : İlgili kısıtlar dahilindeki bütün olası rotalar..	98
5.4 : Özel araç ile zonlar arasındaki seyahat süreleri.....	100
5.5 : Rota/düşüm belirleme matrisi..	101
5.6 : Rotalar için bulunmuş Z1 değerleri (yolcu-km)....	102
5.7 : Rota setleri arasındaki en küçük ilk 50 Z1 değeri (yolcu-km)..	103
5.8 : Rota setlerine ait en küçük ilk 50 filo boyutu.....	105
5.9 : Ağ genelindeki konut alanları.....	107
5.10 : En yüksek PE ve FEE değerlerini veren ilk 50 rota seti.....	108
5.11 : En verimli ilk 100 Z1 değerlerinin Z fonksiyonları açısından incelenmesi.....	110

## ŞEKİL LİSTESİ

2.1 : Arazi kullanım ve erişilebilirlik arasındaki ilişkinin şematik gösterimi.....	8
2.2 : Zon bazında erişilebilirlik sınırlandırma haritası örneği..	13
2.3 : Zon bazında erişilebilirlik sınır haritası örneği.....	13
3.1 : Önerilen TT planlama süreci için akış şeması.....	37
3.2 : FEE tabanlı TT planlaması modelinin akış şeması..	41
3.3 : TT ağ tasarımı akış şeması..	44
4.1 : Denizli merkez ilçe için zon durumu.....	52
4.2 : Denizli merkez ilçede minibüs ve otobüsler tarafından kullanılan yol ağı.	53
4.3 : Sabah zirve saati (07:00-09:00) için yapılan toplu taşıma ataması sonuçları ve bağ hacimleri.....	56
4.4 : Mevcut durumda servis kalite parametresi 1.80'den yüksek hatlar (#_u ve #_d gidiş ve dönüşü temsil etmektedir).....	58
4.5 : Mevcut durumda servis kalite parametresi 1.80'den yüksek hatlar için kapasite kullanım oranları (#_u, #_d gidiş ve dönüşü temsil etmektedir)..	58
4.6 : Mevcut durumda servis kalite parametresi 1.80'den yüksek hatların Senaryo 1 ile karşılaştırılması (#_u ve #_d gidiş ve dönüşü temsil etmektedir)..	60
4.7 : Mevcut durumda servis kalite parametresi 1.80'den yüksek hatlar için kapasite kullanım oranlarının Senaryo 1 ile karşılaştırılması (#_u ve #_d gidiş ve dönüşü temsil etmektedir).....	61
4.8 : Anayoldaki bir sinyalizasyon kavşaktan görünüm..	61
4.9 : Minibüsler için yasaklanmış alan..	62
4.10 : Tercihli Otobüs Hattı..	63
4.11 : Her kombinasyon için PE değerlerin zonal toplamları. $[(m^2/dk)/10000]$ ..	73
4.12 : Analiz 1 için hesaplanan PE değerleri zonal bazda gösterilmektedir. $(m^2/dk)$ .....	74
4.13 : Analiz 2 için hesaplanan PE değerleri zonal bazda gösterilmektedir. $(m^2/dk)$ .....	74
4.14 : Analiz 3 için hesaplanan PE değerleri zonal bazda gösterilmektedir. $(m^2/dk)$ .....	75
4.15 : Analiz 4 için hesaplanan PE değerleri zonal bazda gösterilmektedir. $(m^2/dk)$ .....	75
4.16 : Konut ve seyahat süresi ile hesaplanan PE değerlerinin mevcut duruma göre Senaryo 1-2-3 için zon bazında değişimi..	77
4.17 : Mevcut durumda her kombinasyon için FEE değerlerin zonal toplamları( $m^2/dk$ )..	88
4.18 : Hesaplanan FEE değerleri toplamları $(m^2/dk)$ .....	89
4.19 : Nüfus ve FEE değerleri çarpımının grafiksel olarak gösterimi..	92
4.20 : Konut ve seyahat süresi ile hesaplanan FEE değerlerinin mevcut duruma göre Senaryo 1-2-3 için zon bazında değişimi..	93
5.1 : Örnek TT ağı ve ortalama seyahat süreleri.....	97
5.2 : En iyi ilk 50 Z1 değerinin grafiksel gösterimi.....	112
5.3 : En iyi ilk 50 Z3 değerinin grafiksel gösterimi.....	113

## SEMBOL LİSTESİ

$A$	Erişilebilirlik
$D$	Olanaklar
$c_{ij}$	Maliyet
$d$	Direnim
$\beta$	Mesafe etki parametresi
$\alpha$	Mesafe etki parametresi
$F(c_{ij})$	Genelleştirilmiş maliyete bağlı direnim fonksiyonu
$c_{ijm}$	Toplam maliyet
$m$	Ulaşım türü
$U_{ij}$	Fayda
$E$	Beklenen değer
$V$	Faydanın deterministik olarak bilinen değeri
$\varepsilon$	Rastgele değişken
$\bar{\lambda}$	Ortalama yükleme faktörü
$f$	Kalkış sayısı
$s_i$	Koltuk sayısı
$\bar{\gamma}$	Ortalama kapasite kullanım oranı
$g_i$	Kat edilen toplam yolcu-km
$h_i$	Toplam kat edilen servis-km
$\bar{\delta}$	Seyahat başına ortalama hacim
$U$	Kapasite kullanım oranı
$Q$	Konfor parametresi
$P_{max}$	Analiz periyodunda gözlenen max. araç sayısı
$F$	Kalkış frekansı
$s$	Araçtaki koltuk sayısı
$pk$	Toplam yolculuk-km
$sk$	Toplam servis-km
$c$	Araçın kapasitesi
$t_{AP}$	Dakika cinsinden analiz periyodu
$a$	Bir saatlik ortalama gelirin, saatlik ortalama yolcu sayısına oranı
$PH$	Düğümeleri arasındaki yolcu-km
$DPH$	$PH$ ve toplam en kısa yoldan giderkenki yolcu-km cinsinden fark
$WT$	Düğümeleri arasındaki bekleme süresi
$EHr$	Rotadaki boş koltuk-saat
$FS$	Filo büyüklüğü
$wr$	Rotadaki yolcu bekleme süresi
$F_r$	Rota ile bağıntılı araç frekansı
$R$	Toplu taşıma rotaları grubu

$tr$	Transfer yolu üzerinde yer alan düğümlerin kümesi
$d_{ij}^r$	$i$ ve $j$ arasındaki yolcu talebi
$L_r$	$r$ rotasındaki maksimum yolcu yüklemesi
$F_{min}$	İhtiyaç duyulan minimum frekans
$d_o$	Her araçta arzulanan doluluk
$d_{ij}^{sp}$	En kısa yol boyunca $i$ ve $j$ arasındaki yolcu talebi
$t_{ij}^{sp}$	$i$ ve $j$ arasındaki en kısa rotanın ortalama seyahat süresi
$S$	Bütün en kısa yolların kümesi
$N_{sp}$	$sp$ en kısa yolu üzerinde yer alan düğümlerin kümesi
$d_{ij}^{tr}$	$tr$ transfer yolu boyunca $i$ ve $j$ arasındaki yolcu talebi
$t_{ij}^{tr}$	$r$ rotasında $tr$ transfer yolunda $i$ ve $j$ arasındaki ortalama seyahat süresi
$t_{ij}^r$	$r$ rotasında $i$ ve $j$ arasındaki ortalama seyahat süresi
$d_{ij}^r$	$r$ rotasında $i$ ve $j$ arasındaki yolcu talebi
$TR$	Bütün transfer yolları grubu

## ÖZET

### TOPLU TAŞIMA PLANLAMASI ve AĞ TASARIMINDA ERİŞİLEBİLİRLİK ÖLÇÜTLERİNİN KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Çalışmada arazi kullanım ve ulaşım arasındaki temel ilişkiyi erişilebilirlik ve toplu taşıma çerçevesinde ele alan teknikler oluşturulması öngörülmüştür. Erişilebilirlik ölçütleri arasından arazi kullanım ve ulaşım ile doğrudan bağlantısı olan ölçütler geliştirilen modellerde kullanılmıştır. Arazi kullanım ile ulaşım bileşenleri için lokasyon ve fayda temelli ölçütler başlıca yararlanılan erişilebilirlik ölçütleridir. Bu ölçütler kentsel toplu taşıma planlamasında analiz edilmiş ve çalışmanın kavramsal olarak erişilebilirlik ile ilişkisinin temelini oluşturmuşlardır.

Erişilebilirlik ölçütlerinden toplu taşıma planlamasının karar verme aşamalarında yararlanılmıştır. Bu hedef doğrultusunda üç adet yöntem geliştirilmiştir. Birinci ve ikinci yöntemlerde, oluşturulan toplu taşıma senaryolarının ağ genelinde nasıl bir erişilebilirlik farkı yarattığı hesaplanmış ve bu fark klasik verimlilik göstergeleri ile birlikte değerlendirme ölçütü olarak kullanılmıştır. Denizli genelinde yapılan toplu taşıma planlaması çalışmalarından faydalanılarak yürütülen çalışmada, oluşturulan senaryoların potansiyel erişilebilirlik açısından nasıl farklar gösterdiği birinci yöntemde, fayda esaslı erişilebilirlik ölçütü açısından nasıl farklar gösterdiği ikinci yöntemde incelenmiştir. Senaryolar arasındaki seçim süreci, erişilebilirlik ölçütlerinin değerlendirilmesi ile yürütülmüştür. Sonuçlar göstermiştir ki, karar verme aşamasında erişilebilirlik ölçütleri senaryoların daha etkin değerlendirilmesini sağlayan göstergeler olarak kullanılabilirler. Üçüncü yöntemde, erişilebilirlik ölçütlerinden toplu taşıma ağ tasarımının karar verme aşamasında yararlanılmıştır. Toplu taşıma rotalarının ve rota setlerinin belirlenmesinde kullanılan aynı zamanda verimliliği ölçen amaç fonksiyonlarına potansiyel ve fayda esaslı erişilebilirlik ölçütleri ayrı amaç fonksiyonları olarak eklenerek karar verme aşamasının etkinliği ve isabetliliği arttırılmıştır. Böylece toplu taşıma planlamasında verilen kararların erişilebilirliğe olan etkileri de süreç içerisine 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.

**Anahtar Kelimeler:** Erişilebilirlik, Toplu Taşımacılık, Rota Yönetimi, Erişilebilirlik İndeksi, Ağ Tasarımı

## SUMMARY

### RESEARCH STUDY ON USABILITY OF ACCESSIBILITY MEASURES IN TRANSIT PLANNING AND NETWORK DESIGN

This study tries to create techniques, which handle the relation between accessibility and transportation in the scope of urban transit. The accessibility measures, which have direct relation with land use and transportation, have been used in the created models. Location and utility-based measures are the most utilized accessibility measures. These measures have been analyzed in the urban transit planning process and provided the relation of this study between accessibility phenomenon.

Accessibility measures have been used in the decision making process of urban transit planning. In line with this purpose, three methods have been created. In first and second scenarios, the accessibility differences of transit scenarios have been calculated and this difference has been used as efficiency indicators with conventional efficiency indicators. Urban transit planning study of Denizli has been utilized. Potential and utility-based accessibility measures have been used in the first and second methods. Scenarios have been tested in the scope of accessibility measures. Selection process between scenarios has been sustained by measuring accessibility measures. Results showed that, accessibility measures can be used as indicators to make better evaluation in selection process. At third method, accessibility measures have been utilized in the decision making process of transit network design. Objection functions which are used to determine the route sets have been combined with accessibility based functions and by this way the decision making process of transit network design have been strengthened. Thus, the effects of decisions to accessibility in transit network design have been better represented. It has been found that, accessibility measures directly affect the results at design and determine process of routes.

**Key Words:** Accessibility, Urban public transport, Route management, accessibility index, Network Design

## 1. GİRİŞ

Arazi kullanım ve ulaşım arasındaki ilişki ile ilgili bir çok çalışma yapılmıştır. Erişilebilirlik ise bu kavramlara göre daha henüz gelişimini tam olarak tamamlamamış, literatür ve ortak dil eksikliğine sahip, gelişme sürecinde olan bir konudur. Konu hakkında çeşitli bilim adamlarının pek çok çalışması bulunsa da, ortak bir dil birliği ve literatür sağlayacak nitelikte değildir. Bu yüzden özellikle çalışmanın, erişilebilirlik ile ilgili bölümlerinde, özellikle erişilebilirlik ölçütlerinin, bileşenlerinin ve kriterlerinin gruplanması ile ilgili kabullerde, daha önce sıklıkla kabul görmüş ve çalışmanın formatına yatkın olan gruplamalar başlangıç noktası olarak kabul edilmiştir. Arazi kullanım, ulaşım ve toplu taşıma (TT) ile ilgili bölümlerde, gruplamalar ve literatür çalışmalarında ortak anlam birliği mevcut olduğu için klasik tanımlamalar ve kabuller aktarılmıştır.

Arazi kullanım kararlarının geri dönülmez etkileri, özellikle mekânsal etkileşim başladığında, kentsel ulaşımın en belirgin sorunlarından birisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Günümüzde kent içinde mekânsal etkileşimin zayıfladığı noktalarda plancuların duruma müdahale için elindeki tek araç ulaşım planlamasıdır (UP) çünkü ülkemizde arazi kullanıma müdahale gücü mevcut yapıların değiştirilmesi zor olduğu için zayıftır. Mekânsal etkileşime müdahalenin yolu ise ulaşım durumuna, erişilebilirlik farklılaştırmaları ile müdahalede bulunmaktır. Bu nedenle mekansal etkileşim tabanlı problemlere erişilebilirlik kavramı altında müdahale ederken detaylı ulaşım politikalarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Günümüzde ulaşım planlamasının en can alıcı kısımlarından birisi olan erişilebilirlik sıklıkla ve değerlendirme aşamaları öncelikli olmak üzere ihmal edilmektedir. Bu ihmalin sebeplerinden en önemlilerini, bu konuda veri eksikliği ve alınacak kararların sonuçlarını kestirmeyi sağlayacak rasyonel sistemlerin olmayışı olarak açıklamak mümkündür. Bu sistemlerin olmamasının sebebi, veri eksikliği ve deney-gözleme dayalı araştırmaların olmaması kadar, konu hakkında erişilebilirlik tahminine yönelik belirli bir rasyonel metot oluşturacak çalışmaların eksikliğidir. Çalışma erişilebilirlik, erişilebilirliğin tahmin edilebilirliği ve TT planlamasında



kullanımı alanlarındaki boşluğu doldurmaya yardımcı olmayı ve ilerideki çalışmalara yol gösterici olmayı amaçlamaktadır.

Erişilebilirlik kavramı, ulaşım planlaması ve ulaşım planlamasının alt aşamalarında faydalanılması gereken bir kavramdır. Bunun nedeni ulaşım sistemlerinin; gelişen teknoloji ve planlama teknikleri ile birlikte gün geçtikçe karmaşık bir hal alması ve klasik ulaşım planlama tekniklerinin özellikle ölçümlene süreçlerinde yetersiz kalması olarak açıklanabilir. Zaman, mesafe ve kentsel kullanışlar gibi pek çok kriterin günümüz ulaşım kurgularının başarısını ölçerken daha nitelikli değerlendirilmeleri gerekmektedir.

Sadece ulaşım planlamasının geleneksel ölçütlerinin kullanımı ile detaylı ve güçlü sonuçlar almak gün geçtikçe zorlaşmaktadır. Günümüzde ulaşım özelliklerini derinden etkileyen ulaşım araçları ya da çok yüksek çekim özelliklerine sahip arazi kullanışlarının varlığı nedeniyle bölgelerin erişilebilirlik değerleri dikkate alınması gereken iniş ve çıkışlar yaşayabilmektedir. Merkezden çok uzakta olmasına rağmen çeşitli yerleşmeler, kolay ulaşım nedeniyle fazlaca tercih edilebilmektedirler. Aynı şekilde merkezde yer alan bölgeler trafik problemleri nedeniyle ulaşım açısından daha az tercih edilebilir duruma düşebilmektedirler. Bu tarz farklılıkları da değerlendirebilmenin ve sağlıklı bir ulaşım sistemi kurabilmenin yolu erişilebilirlik olgusunu ulaşım planlaması ve TT planlaması içerisine sıklıkla dâhil etmekten geçmektedir.

Günümüzde ulaşım planlaması ve onun alt aşamaları, trafik temelli yaklaşımdan hareketlilik yaklaşımına geçiş sürecini tamamlamış olup erişilebilirlik yaklaşımına doğru eksen kayması yaşamaktadır. Bunun en büyük nedeni ise arazi kullanım kararları ile ulaşım arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi gerekliliğinin artık günümüzde daha iyi anlaşılmaya başlanmış olmasıdır. Böylelikle erişilebilirlik kavramı gün geçtikçe önem kazanmaktadır.

## **1.1 Tezin Amacı**

Erişilebilirliğin başarı ölçütü olarak TT planlaması içerisinde kullanılabilmesi için geliştirilmiş olan yöntemler tanımlanmıştır. TT planlaması içerisinde erişilebilirliğin bir başarı ölçütü olarak nasıl kullanılacağı ve hangi değerlerin hesaplanacağı belirtilmiştir. Genel amaç iki başlık altında sınıflandırılmıştır:

- 1) TT politikalarını belirleyicilere yardımcı olacak ve kestirimlerinin sonuçlarının isabet oranını arttırmaya olanak tanıyacak; fikirler, teoriler formüller istatistik modeller parametreler, ön-analitik sistemler, metodlar, paradigmlar kurgulamak ve bunları geliştirerek değerlendirme alternatiflerini güçlendirmek;
- 2) Plansız kentleşmenin sebep olduğu analitik-sayısal yöntemlerle oluşturulmuş projelerin gözlem ve deneylerine dayalı veri eksikliğinin, modeller ile olan uyuşmasını sağlayıcı değerlendirme sistemleri oluşturarak kararların kestirim gücünü arttırıcı paradigmlar oluşturmaktır.

Bu çalışmanın temel amacı, erişilebilirlik ölçütlerinden TT planlamasında nasıl yararlanılabileceğinin araştırılmasıdır. Çalışmanın özel amaçlarını sıralamak gerekir ise,

- Arazi kullanım, erişilebilirlik ve ulaşım arasındaki etkileşimi konut ve ticaret ölçeği başta olmak üzere seyahat süresi ve araç içi süre gibi ulaşım parametreleriyle sorgulamak;
- Potansiyel Erişilebilirlik (PE) ve Fayda Esaslı Erişilebilirlik (FEE) ölçütlerinden yararlanarak daha verimli bir TT planlaması yapmak;
- Elde edilen sonuçların yönlendirmesiyle başka başarı ölçütleri veya parametrelerle ölçümler yaparak sonuçlar hakkında genel çıkarımlar elde etmek;
- Temel arazi kullanım bileşenini konut olarak seçip ilgili ulaşım türleri (toplu ulaşım) vasıtasıyla PE ve FEE ile kent bazında çeşitli ölçümler yaparak ölçümleri değerlendirmek ve hipotezlere dönüştürmek ve
- Elde edilen sonuçların verimliliklerine göre kararlar ve uygulamalar geliştirmektir.

## 1.2 Problemin tanımı

Erişilebilirlik ölçütlerinin kullanımı günümüzde yaygınlaşmakta olup bu alanda literatürde önemli çalışmalar vardır (Song, 1996; Handy ve Niemer, 1997; Kwan, 1998; Koeing, 1980) . Bu çalışmalar Guers K.T ve Bert Van Wee (2004) tarafından gruplandırılmıştır. Erişilebilirlik ölçütleri günümüzde ulaşım planlaması ve TT planlaması alanlarında kullanılan bir kavramdır (Pitot ve diğ., 2006; Benenson ve diğ., 2010; Curtis, 2011; Mavoia ve diğ., 2012, Gülhan ve diğ., 2013).

Erişilebilirlik ölçütleri toplumsal faydayı ve kamu yararını temsil ettiği için özellikle TT planlaması içerisinde yer alması gereken bir kavramdır. Plancılar ve siyasetçilerin "karar verme" aşamalarında erişilebilirlik kavramlarının kullanılmasına yönelik çalışmalar eksiktir. TT planlamasına yönelik olarak geliştirilen senaryolar alışlagelen objektif göstergelerin değerlendirilmesi ile seçilmekte ve bu aşamada erişilebilirlik ölçütlerinden verimlilik göstergesi olarak yararlanılamamaktadır. Aynı problem ağ tasarım ve TT rota oluşturma süreçlerinde de benzer şekillerde karşımıza çıkmaktadır.

TT ağı tasarımında Ceder (2007)'deki çalışmasında en verimli rota setlerinin belirlenmesine yönelik çeşitli amaç fonksiyonları geliştirmiştir. Bu amaç fonksiyonları bekleme süreleri, boş koltuk ve en kısa yoldan farklılıklar gibi temeller üzerine kurulmuş amaç fonksiyonları olup işletme, kamu ve yolcu açısından değerlendirmelerde bulunan fonksiyonlardır. Bu amaç fonksiyonları içinde toplumsal faydayı gözeten zonal bazda erişilebilirlik değerlerinin eksikliği vardır. İlgili amaç fonksiyonları içerisinde toplumsal faydayı yani zonal erişilebilirliği temsil eden bir amaç fonksiyonu yoktur.

## 1.3 Yöntem

Erişilebilirlik, ulaşım planlaması ve TT planlaması içerisinde pek çok alanda başarı ölçütü olarak değerlendirilebilir bir kavramdır. TT ağının verimliliğinin artırılmasında ve TT senaryolarının verimliliğinin test edilmesi sürecinde erişilebilirlik ölçütlerinden bu eksenle yararlanılarak, rota ve rota seti belirlenmesine yönelik yöntem ve teknikler geliştirilmiştir.

Bu çalışmada başlıca iki yöntem kullanılmıştır. TT senaryolarının atamaları yapılırken, ulaşım sistemini analiz etmeye ve planlamaya yarayan bir ulaşım planlaması programı olan ve TT sistemlerinin kapsamlı analizine olanak tanıyan VISUM trafik programından yararlanılmıştır. Zaman çizelgeli yöntem eğer rotaların ve zaman çizelgesinin programa girilmesi mümkünse yapılabilen bir yöntemdir ve bu çalışmada "Dal ve Bağlı Araştırma Algoritması" kullanılmıştır. Çalışmanın son bölümünde, erişilebilirlik ölçütlerinin TT ağ tasarımında kullanılmasında, Ceder'in (2007) tanımlamış olduğu çeşitli amaç fonksiyonlarının optimize edilmesi ile karar verme sürecinin tamamlandığı TT ağ tasarımı veya rota tasarımı yöntemi geliştirilerek kullanılmıştır.

Bu şekilde TT planlaması sırasında alışlagelmiş göstergelerin verimliliği yansıtmakta yetersiz kaldığı noktalarda erişilebilirlik göstergelerinin bu açığı kapatacak göstergeler olarak kullanılabilirliğine vurgu yapılmış olup, en verimli rotaların bulunmasında erişilebilirlik ölçütlerinden yararlanılmıştır.

#### **1.4 Sonuçlar**

Bu çalışma, erişilebilirliğin TT ağ tasarımı ve planlamasında fonksiyonel olarak kullanımı hakkında yeterli miktarda olmayan yöntem ve tekniklere katkı sağlamak amacıyla yapılmıştır. Erişilebilirliğin tespiti, ölçülmesi ve uygulama konularında yer alan eksikliklerin giderilmesi ve bu şekilde ulaşım ve arazi kullanım arasındaki etkileşimin TT planlaması ekseninde güçlendirilmesi beklenmektedir.

Ulaşım planlaması ve TT planlamasının günümüze kadar süregelen yaklaşımındaki sistematik gelişirilmesi ve erişilebilirlik kavramının bu sistematik içinde daha fazla kullanım alanı bulması beklenmektedir. Özellikle dünyada erişilebilirlik kavramının ulaşım planlaması ve TT planlaması ile bütünleşme sürecinin bir yandan literatür ile tespit edilmesi ve bu entegrasyona çeşitli teknikler ilave edilmesi beklenen sonuçlar içerisinde. Erişilebilirlik sonuçlarının indeksleştirilmesi ve geliştirilen ölçütlerin TT planlaması sürecinde kullanılması çalışmanın beklenen sonuçlarındandır.

Elde edilen ölçütlerin kullanılması ve verimlilik sorgulamaları yoluyla rota belirlenmesi ve iyileştirilmesi aşamasında çeşitli yöntemlerin bulunması beklenmektedir.

## 2. LİTERATÜR ÖZETİ

Büyük şehirlerde yoğun örgütlenme ve uzmanlaşmanın getirdiği kentsel etkileşim alanları çok şiddetli ve çeşitlidir. Her geçen gün artan nüfusun ve seyahat taleplerin isteklerini ilave tesisler ile çözmeye çalışmak ulaşımın verimliliğini düşürmektedir. Geleneksel ulaşım planlaması, arazi kullanım verilerinden yola çıkarak buna hizmet edecek optimum ulaşım atamasına yöneliktir. Hâlbuki arazi kullanımı ve ulaşım sistemi karşılıklı birbirine bağımlı olup bu bağımlılığın her iki sistem üzerindeki etkisinin sıra ile göz önüne alınması gerekmektedir.

Ulaşım ile arazi kullanım arasındaki bu güçlü ilişkinin ölçümlenebileceği ve değerlendirilebileceği kavramsal alan erişilebilirliktir. Çünkü erişilebilirlik kentsel aktiviteleri ve bu aktivitelere ulaşımı altyapı, mesafe ve zaman olanakları açısından inceleyen bir olgudur.

Bu yaklaşım ile birlikte genel olarak literatür aşağıda belirtilen kavramların bir arada incelenmesi ile oluşturulmuştur:

- Arazi kullanım ve ulaşım arasındaki ilişki
- Erişilebilirlik
- Kentsel toplu taşımacılık
- Kentsel toplu taşımacılık ve erişilebilirlik ilişkisi
- Toplu taşıma ağı tasarımı
- Toplu taşıma ataması prosedürleri

### 2.1 Arazi kullanım ve ulaşım arasındaki ilişki

Arazi kullanımı ve ulaşım arasında doğrudan bir ilişkinin olduğu bilinmektedir. Arazi kullanım, yolculuk yaratımının temel nedeni olarak karşımıza çıkan bir olgudur. Ulaşım isteğini doğurmakta olan çekim özelliği, yolculukların oluşmasına

neden olmaktadır. Bu yolculuklara "mekânsal etkileşim" denmektedir. Mekânsal etkileşimin şiddeti erişilebilirlik olarak tanımlanabilir. Bir bölgenin çekiciliği arttıkça oraya olan talebin artması sonucu ulaşım bu durumdan etkilenmektedir. Aynı zamanda bir bölgeye olan erişilebilirliğin artması kendi başına tetikleyici bir unsur olmaktadır çünkü erişilebilirliğin artması bahsi geçen arazi kullanım özelliğinin aynı zamanda çekiciliğinin artması demektir. Erişilebilirlik ulaşım sistemleri ve arazi kullanım desenlerinin birleşiminden doğan bir sonuçtur. Erişilebilirlik ölçütlerinin ulaşım boyutu genellikle direnimsiz tanımlanmasıyla karşımıza çıkar ve ulaşım süresi veya fiziksel mesafe olarak kabul edilir. Arazi kullanım ölçütünün erişilebilirlik boyutu ise çekicilik, fırsat ve aktivite olarak kabul edilmektedir (Bath ve diğ. 2001). Yoğunluk, bağlantı, uyum ve yürüyebilirlik gibi çeşitli arazi kullanım faktörleri erişilebilirliği etkilemektedir. Erişilebilirliği yüksek bir arazi kullanım çeşidi aktivitelere ve hedeflere ulaşmada daha az ulaşım altyapısına ihtiyaç duymaktadır. Tipik bir hane halkı bireyinin seyahati ev, iş ve servis üçgeni olarak görülebilir. Bu hedeflere olan seyahat uzaklıkları ve seçenekleri genel erişilebilirliği etkilemektedir. Örneğin bir bölgede servis çeşitlerini geliştirmek (dükkanlar, okullar, restoranlar, parklar vs.) ve ulaşım seçenekleri geliştirmek erişilebilirliği arttırarak ulaşım yatırımlarına olan ihtiyacı azaltmaktadır (Litman, 2010). Günümüzde özellikle arazi kullanım kararlarının geri dönülmez etkileri erişilebilirlik kavramına sadece ulaşım yoluyla müdahale edebilmemizi sağlamaktır. Bu müdahale sürecinde özellikle ulaşım yatırımları ve planlaması, erişilebilirliğe en etkin müdahale yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu süreç Şekil 2.1' de verilmiştir. Erişilebilirliğin hangi bileşenler, temeller ve ölçütler ile kullanıldığı arazi kullanıma olan etki derecesinin şiddetini belirlemektedir. Bu nedenle erişilebilirlik kavramı hakkında detaylı bir literatür taraması yapılmıştır.

## **2.2 Erişilebilirlik**

Erişilebilirlik çeşitli şekillerde tanımlanarak kullanılabilen bir olgu olup pek çok tanıma sahiptir. Hansen (1959), erişilebilirliği "*etkileşim için fırsatların potansiyeli*" olarak, Dalvi ve Martin (1976) erişilebilirliği "*belli bir ulaşım sistemini kullanarak belli bir lokasyondan, bir arazi kullanım aktivitesine olan ulaşma kolaylığı*" olarak, Burns (1979) "*Bireylerin değişik aktivitelere yer alıp almama özgürlüğü*" olarak



konut alanlarının getireceği talebin arazi kullanım ve erişilebilirlik modelleri yoluyla hesaplanması ve kent ile gireceği etkileşimin belirlenmesi, başarılı bir entegrasyon süreci sağlayacaktır.

Pek çok yazar belirli perspektiflerden bakarak erişilebilirliği sorgulamıştır. Song (1996), Handy ve Niemmer (1997) erişilebilirlik kavramını *lokasyon erişilebilirliği* perspektifinde, Kwan (1998) erişilebilirlik kavramını *bireysel erişilebilirlik* perspektifinde ve Koeing (1980), Handy ve Niemmer (1997) erişilebilirlik kavramını *erişilebilirliğin ekonomik faydaları* perspektifinde incelenmiştir. Bu bakış açılarının temel hedefi erişilebilirlik ölçütlerinin kullanılabilirliğini hem arazi kullanım, hem de ulaşım değişimleri açısından değerlendirerek, sosyal ve ekonomik etkileri bulmaktır.

### **2.2.1 Erişilebilirlik bileşenleri**

Çalışmada erişilebilirlik, arazi kullanım ve ulaşım gelişmelerinin üstündeki etki ve toplumu etkileyen genel politik planların üzerindeki bir olgu olarak kabul edilmiştir. Diğer bir söyleyiş ile erişilebilirlik, toplumdaki ulaşım sistemleri ve arazi kullanımının kişi veya gruplara değişik yerlerde, değişik aktivitelere katılım imkânı sunmasıdır. Hansen'in 1959'da, "*etkileşim için fırsatların potansiyeli*" olarak yaptığı tanım ve Dalvi ve Martin'in 1976'da "*belli bir ulaşım sistemini kullanarak belli bir lokasyondan, bir arazi kullanım aktivitesine olan ulaşma kolaylığı*" olarak yaptığı tanım, erişilebilirliğin tez çalışmasındaki kullanımına en yakın tanım olarak kabul edilmiş olup erişilebilirlik tanımı olarak kabul edilmiştir.

Yolcu ulaşımı temelinde erişilebilirliği; kişilerin veya grupların çeşitli aktivitelere hangi ulaşım türleri kullanarak ulaştıkları ve yolcu miktarının hesaplanması olarak tanımlayabiliriz. Erişim ve erişilebilirlik literatürde aynı anlamda kullanılmaktadır. İnsan açısından bakarken erişim kavramı kullanılmakta, lokasyon açısından bakarken erişilebilirlik kavramı kullanılmaktadır. Erişilebilirliğin tanımlanmasında ve ölçümlerinin yapılmasında, günümüze kadar yapılan çalışmalarda kuramsal olarak temel bileşenler aşağıdaki sınıflama ile yapılmıştır:

- Arazi kullanım bileşeni
- Ulaşım bileşeni
- Geçici bileşen
- Bireysel bileşen



Erişilebilirlik ölçütleri bu bileşenleri içerip içermediklerine göre ayrışır.

### **2.2.1.1 Arazi kullanım bileşeni**

Arazi kullanım bileşeni mekânın kullanım sistematiğini yansıtmaktadır, bu sistemler;

- Her hedef için sağlanmış fırsatların miktarı, kalitesi ve mekânsal dağılımı (iş, dükkanlar, sağlık, sosyal ve rekreasyonel tesisler) ,
- Başlangıç lokasyonlarından fırsatlara olan talep,
- Fırsatlar için oluşan arz ve talebin karşılaştırılması, sınırlı olan iş, okul alımları ve boş hastaneler gibi aktivitelerin rekabete girmesi

Olarak belirtilebilir.

### **2.2.1.2 Ulaşım bileşeni**

Bir kullanıcının başlangıçtan hedefe belli bir ulaşım türünde olan faydasızlığı fark etmesiyle ifade edilmektedir. Yolculuk yapacak kişi yolculuk sırasında yolculuğa dair çeşitli olumsuzluklar fark eder ve bu nedenle kendince erişilebilirliği düşük olarak nitelendirir. Bu direnç düşük olarak tanımlandığı müddetçe erişilebilirlik kişi için yüksektir. Bu direnç yol uzunluğu, seyahat süresi, konfor gibi ulaşım bileşenlerinden oluşmaktadır. Bu dirençlerin içeriği zaman miktarı (seyahat, bekleme ve park etme), maliyetler (karmaşık ve değişken) ve efor (güvenilirlik, konfor derecesi, kaza riskini kapsar) olarak özetlenebilir. Bu faydasızlık arz ve talebin karşılaştırılması sonucu oluşur. Ulaşım altyapısı arzı, kendi lokasyon ve karakteristiğine sahiptir (maksimum seyahat hızı, şerit sayıları, toplumsal ulaşım tabelaları, seyahat maliyetleri). Talep ise hem yolcu hem yük seyahati ile ilgili olabilir.

### **2.2.1.3 Geçici bileşen**

Geçici kısıtları yansıtmakta olup, fırsatların günün değişik saatlerinde olabilirliği, ve bireylerin değişik aktivitelere katılabilmeleri için uygun olan iş ve rekreasyon zamanlarıdır.

### **2.2.1.4 Bireysel bileşen**

Bireylerin ihtiyaçlarını yaşa, gelire, eğitim seviyesine, hane halkı durumuna dayalı olarak, yeteneklerini insanların fiziksel kondisyonlarına, seyahat türlerinin

uygunluğuna dayalı olarak ve fırsatları ise insanların gelirine, seyahat bütçesine dayalı olarak yansıtmaktadır. Cevero (1997), Shen (1998), Geurs ve Ritsema van Eck (2003) yaptıkları çalışmalarda, bu karakteristiklerin insanların araba sürerek/TT ile ulaşım türlerine olan erişim derecesini etkileyerek, kendi konut bölgesine yakın bölgede işe gidebilecek kabiliyete sahip insanların toplam erişilebilirliği güçlü bir şekilde değiştirdiğini belirtmişlerdir.

Arazi kullanım bileşeni (aktivitelerin dağılımı), seyahat talebini (ulaşım bileşeni) belirleyen önemli bir faktördür. Ayrıca, zaman kısıtlarını (geçici bileşen) değerlendirerek insanların fırsatları bulmasında (bireysel bileşen) belirleyici olmaktadır. Bireysel bileşen diğer bütün bileşenlerle etkileşim içindedir. Bir insanın ihtiyaçları, maliyet ve eforu, ilgili aktiviteler. Şehirde yaşayanlar ve firmalar (arazi kullanım bileşeni ilişkisi) için bir lokasyon faktörü olan erişilebilirlik, ulaşım talebini, insanların sosyal ve ekonomik fırsatlarını (bireysel bileşen) ve aktivitelerini gerçekleştirmek (geçici bileşen) için gerekli olan zamanı da etkilemektedir.

### **2.2.2 Erişilebilirlik ölçütleri**

Günümüzde erişilebilirlik bileşenleri için çeşitli ölçütler geliştirilmiştir. Bu ölçütler tam bir dil birliği içermemekle birlikte genelde dört temel ölçütten oluşmaktadır.

#### **2.2.2.1 Ulaşım altyapısı temelli ölçütler**

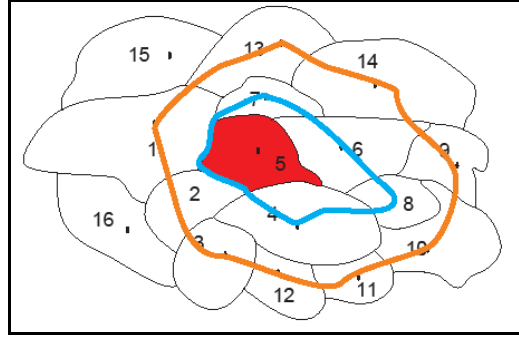
Ulaşım altyapısının gözlenmiş veya simule edilmiş başarı ve servis derecesini analiz etmektedir. Bu ölçüm çeşidi genellikle ulaşım planlamasında kullanılmaktadır.

#### **2.2.2.2 Lokasyon temelli ölçütler**

Ulaşım altyapısının gözlenmiş veya simule edilmiş başarı ve servis derecesini erişilebilirliği tipik olarak makro derecede olan lokasyonlarda analiz etmektedir. Ölçütler, erişilebilirliğin derecesinden, mekânsal dağılım aktivitelerine kadar tanımlama yapmaktadır, örnek olarak 30 dakikalık zaman diliminde ulaşılabilir işler diye gruplama yapabilmektedir. Daha karmaşık olan lokasyon temelli ölçümler, açık bir biçimde kapasite kısıtı olan aktivite karakterlerinin arzını, rekabet etkilerine dahil etmektedir. Lokasyon temelli ölçümler genel olarak şehir planlamada ve coğrafi çalışmalarda kullanılmaktadırlar. Lokasyon temelli ölçümler aynı zamanda aktivite esaslı erişilebilirlik olarak literatürde yer almaktadır. Aktivite esaslı erişilebilirlik

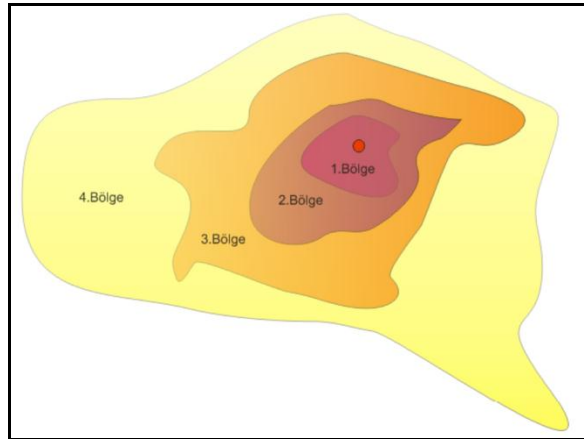
ölçütleri çeşitli türlere ayrılmaktadır (Özuysal,2010., Geurs ve van Eck, 2001). Bu türler aşağıdaki gibi başlıca sınıflara ayrılmaktadır:

- Mesafe Ölçütleri: Literatürde uygulanan en basit mesafe ölçütü Ingram'ın (1971) tanımladığı “göreceli erişilebilirliktir”. Göreceli erişilebilirlik, bölgeler arası uzaklıkların, erişilebilirlik kriteri olarak değerlendirilmesidir. Çalışma alanı üzerinde, iki nokta arasındaki bağlantı derecesi olarak ifade edilen göreceli erişilebilirlik, en basit haliyle iki nokta arasındaki düz çizginin uzunluğu olarak ele alınabildiği gibi, iki nokta arasındaki ortalama seyahat süresi ve/veya ortalama hıza dayanan bir ölçüt olarak da uygulanabilmektedir. Mesafe ölçütü erişilebilirlik ölçütleri içerisinde en basit olan ve daha çok erişilebilirlik kavramının gelişme aşamasında kullanılan bir yöntemdir. Zonların merkeze olan doğrusal uzaklığı ve yol bazında uzaklıkları mesafe ölçütü olarak değerlendirilmektedir. Mesafe ölçütleri günümüz trafik yapısı bu kadar karmaşık duruma gelmeden önce kullanılan ve pek çok trafik özelliğini göz ardı etse de hala önemli ve dikkate alınması gereken bir ölçüttür. Özellikle kent coğrafyası, yolların fiziksel durumu doğrusal uzaklığın temsil gücü dikkatle değerlendirilmesi gereken hususlardır.
- İzokronal ölçüt: Şehir planlama ve coğrafi alanlarda fazlaca kullanım alanı bulan bir ölçüttür. Bu ölçütte merkez ve zaman faktörü önemlidir. Teknik mesafe faktörünün çıkmazlarına nispeten cevap vermektedir. İki bölge arasındaki mesafe kısa ama zaman olarak ulaşmak zor olursa ya da mesafe uzun ama ulaşım sistemi özellikleri sebebi ile ulaşmak kolay olursa mesafe ölçütleri yanıltıcı olabilmektedir. İzokronal ölçüt bu durumu zaman odaklı yola çıkarak aşmaktadır. Belirli zaman aralıklarında zon merkezlerinden sınır çizgileri geçirilerek erişilebilirlik bölgeleri oluşturulması sağlanmaktadır. Şekil 2.2’de izokronal sınırlamaya örnek gösterilmiştir.



Şekil 2.2: Zon bazında erişilebilirlik sınırlandırma haritası örneği.

İzokronal ölçüt, olanakları mesafesine göre düşürmemekte ve sonuç olarak, başlangıç noktası için seçilen zaman veya uzaklık büyüdükçe, o nokta için erişilebilirlik artmaktadır. Şekil 2.2'de görülmektedir ki zonlar merkezleri baz alınarak erişilebilirlik zaman sıralamasına konulmaktadır. İlk kısıt olan 5 dk. küçük dairesel çizgi ile ikinci kısıt olan büyük dairesel çizgi 10 dk. ile anlamlandırılırsa ve merkezler arası bağlantı sağlanırsa 5 dakikada ve 10 dakikada ulaşılabilir bölgeler tespit edilebilmektedir. Bu şekilde bölge; merkez baz alınarak zaman dilimlerine bölünürse merkezi erişilebilirlik haritasına ulaşılmaktadır. Şekil 2.3'de merkez zonun zon merkezi baz alınarak erişilebilirlik haritası temsili olarak gösterilmektedir. Erişilebilirlik çeperele doğru azalmakta merkeze doğru artmaktadır. Çalışmanın detayına ve eldeki imkanlara göre bölgeleme detayları arttırılabilmektedir.



Şekil 2.3: Zon bazında erişilebilirlik sınır haritası örneği.

Aynı zamanda integral, kontursal, kümülatif olanaklar, yakınlık ölçütü gibi isimlerle de anılan izokronal ölçüt, şehir planlamada ve coğrafi çalışmalarda geniş uygulama alanı bulmaktadır (Özuysal, 2010., Geurs ve van Eck, 2001). Belirli bir yolculuk zamanı ve/veya uzunluğu içinde ulaşılacak

olanakların miktarını ifade etmektedir. Belirli bir zaman veya mesafe içindeki olanak miktarı arttıkça erişilebilirliğin arttığını göstermektedir. Bu artış bitiş noktalarına ulaşımındaki kolaylığın ve/veya arazi kullanımının değişiminden kaynaklanmaktadır.

- Potansiyel Erişilebilirlik (PE): Potansiyellik konsepti ilk olarak, ekonomide pazar potansiyellerinin konumsal analiz ile belirlenmesinde kullanılmıştır. Hansen (1959) yapmış olduğu çalışmada bu yaklaşımı erişilebilirlik üzerinde “olanakların etkileşim potansiyeli” şeklinde uygulamıştır. Ölçütün matematiksel gösterimi Denklem (2.1)’de verilmiştir.

$$A_i = \sum_j D_j d_{ij}^{-\alpha} \quad (2.1)$$

Burada “ $A_i$ ”, “ $i$ ” zonundan “ $j$ ” deki tüm “ $D$ ” olanaklarına erişilebilme ölçütünü, “ $d_{ij}$ ”, “ $i$ ” ve “ $j$ ” zonları arasındaki mesafeyi, “ $\alpha$ ” ise mesafeye bağımlılık parametresini göstermektedir. Böylece Hansen’in (1959) tanımladığı ölçüte göre, “ $i$ ” zonundan diğer tüm zonlara olan erişilebilirlik, olanakların “ $j$ ” zonuna olan uzaklığına göre azalan bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

PE, izokronal ölçüt ile benzer kullanım alanları bulmuştur (Geurs ve van Eck, 2001). Perakende servisleri, sağlık ve kamu hizmetleri gibi olanaklara erişilebilirliğin yanında, gelirin veya Gayri Safi Milli Hasıla’nın bitiş noktasındaki aktivite olarak seçildiği yaklaşımlar da mevcuttur (Geurs ve Van Eck, 2001).

Mesafenin azaltıcı faktörünün ele alınmasında farklı alternatifler geliştirilmiştir (Geurs ve van Eck, 2001). Hansen’in kullandığı ve temeli Newton’un çekim teorisine dayanan üssel fonksiyon yerine, negatif eksponansiyel, Gauss, ve lojistik fonksiyon gibi alternatif yaklaşımları Baht (2001) çalışmalarında uygulanmıştır. En temel PE ölçütü olarak anılan formül Denklem (2.2)’de verilmiştir.

$$A_i = \sum_j D_j F(c_{ij}) \quad (2.2)$$

Denklem (2.2)'de “ $c_{ij}$ ”, “ $i$ ” ve “ $j$ ” arasındaki genelleştirilmiş maliyeti “ $F(c_{ij})$ ” ise genelleştirilmiş maliyete bağlı direnim fonksiyonunu göstermektedir.

Erişilebilirlik ölçütleri çeşitli sınıflardan alansal ve demografik verilerle ilişkilendirilerek uyarlanmış veya değiştirilmiştir. Erişilebilirlik değerleri, başlangıç noktasındaki erişilebilirlik değeriyle, tüm çalışma alanında yaşayan insan sayısı veya tüm çalışma alanının ortalama erişilebilirliği ile ilişkilendirilebilmektedir (Handy, 1994). PE farklı ulaşım türleri veya farklı sosyo-ekonomik gruplar için de hesaplanmıştır (Geurs ve van Eck, 2001). Çoklu ulaşım türlü erişilebilirlik, türler arasındaki erişilebilirliğin gruplanması ile de elde edilebilmektedir. Bu yöntemle, yüksek maliyeti sebebiyle değerlendirilme dışı bırakılan bir ulaşım türü gibi türler hataya sebep olmamaktadır. Denklem (2.3)'de, logaritmik toplam maliyet gösterilmektedir.

$$\bar{C}_{ij} = \frac{1}{\beta} \ln \sum_m e^{-\beta \cdot c_{ijm}} \quad (2.3)$$

Burada “ $C_{ij}$ ” logaritmik toplam maliyeti, “ $c_{ijm}$ ” toplam maliyeti, “ $m$ ” ulaşım türü ile “ $i$ ” ve “ $j$ ” arasındaki yolculuğun genelleştirilmiş maliyetini, “ $\alpha$ ” ise yolculuk maliyetine duyarlılık parametresini göstermektedir.

Rietveld ve Bruinsma (1998), iş olanaklarına potansiyel erişilebilirliği 1970-1990 periyodu için arazi kullanım değişimini sabit tutarak incelemiştir. Erişilebilirliğin zaman içindeki değişiminin incelendiği durumlarda, arazi kullanımı ve yolculuk direnci sabit tutmuştur.

Koeing, (1980) PE, ulaşım sistemi ve arazi kullanımının sunduğu “seçim menzili”ni ifade etmiştir. Ancak, PE'nin yorumlanması izokronal ölçüte göre daha zordur. Çünkü olanaklar, orijine mesafelerine göre ağırlıklandırılmıştır. Veri ihtiyacı, tüm erişilebilirlik ölçütleri dikkate alındığında orta düzeydedir. Mevcut arazi kullanımı, ulaşım envanteri ve düşük düzeyli planlama modellerine ait veriler yeterli olabilmektedir.

- Ters Dengeleme Faktörleri: Konumsal etkileşim seviyesini açıklamaya yönelik olan çekim modellerinin teorik gelişiminde ilk olarak Wilson'un (1971)

çalışmaları önemli bir rol oynamıştır. Bu modelin en önemli özelliği rekabeti dikkate alıyor olmasıdır.

- Konum-zaman etkili ölçümler: Erişilebilirliğin zaman bileşeni, olanakların günün değişik zamanlarındaki ulaşılabilirliğini ve bireylerin belirli aktivitelere katılma zamanını kapsamaktadır. Konum-zaman yaklaşımında, erişilebilirliğin zaman ve arazi kullanımı bileşenleri eşit düzeyde önemli bileşenler olarak dikkate alınmaktadır. Bu yaklaşımda erişilebilirlik, bireysel bakış açısına göre analiz edilmektedir. Konum-zaman yaklaşımı, gözlenen veya kabul edilen birey veya hane aktivite programlarının, verilen zaman sınırlaması içinde nasıl şekillendiğini veya zaman sınırlamasının aktivite programına şekil verip vermediğini incelemektedir.

### **2.2.2.3 Kişi temelli ölçütler**

Erişilebilirliği, belirli bir zamanda olan aktivitelere bireyin katılma durumu gibi bireysel bazda analiz eder. Bu tarz ölçümler kişinin çevrede özgürce dolaşımının limitlerini ölçmektedir. Zorunlu aktivitelerin lokasyonu ve süresi, esnek aktiviteler için zaman ayarlamaları ve ulaşım sistemi tarafından izin verilen hız, temel bakış noktalarıdır.

### **2.2.2.4 Fayda temelli ölçütler**

İnsanların mekânsal olarak dağılmış aktivitelere olan erişiminden türemiş ekonomik faydaları analiz etmektedir. Bu tarz ölçümler ekonomi kaynaklı ölçümler olarak sıklıkla kullanılırlar.

Fayda esaslı erişilebilirlik (FEE) ölçütü, erişilebilirliği bir grup ulaşım alternatifinin çıktısı olarak kestirme temeline dayanmaktadır. Fayda teorisi, temel olarak aynı ihtiyacın karşılanmasına hizmet eden potansiyel alternatifler içinden bir tanesinin seçilmesiyle ilgili karar mekanizmasını tanımlamaya yönelik bir yaklaşım olup yolculuk davranışlarının ve aynı ulaşım sisteminin farklı kullanıcılara sağladığı faydaların modellenmesinde kullanılmaktadır. FEE yaklaşımı, erişilebilirliğin bireysel derecede ele alınması, ulaşım türü ve ulaşım altyapısını yanında, kullanıcı karakteristiklerinin de ele alınması zorunluluğunu getirmektedir (Banister ve Berechman, 2000). Fayda esaslı yaklaşımın başlıca kabullerini Koenig (1980) aşağıdaki gibi ortaya koymuştur:

- İnsanlar karşılaştıkları her alternatif ile belli başlı bir faydaya ortak olurlar ve bireysel bir davranış olarak, maksimum faydayı sağlayanı seçerler.
- Her bir bireyin sahip olduğu bütün alternatiflerin sağladığı faydaya etki eden faktörlerin tamamının değerlendirilebilmesi mümkün olmadığından, bu fayda deterministik ve stokastik bileşenlerin toplamı ile temsil edilebilir.

Bir “ $n$ ” bireyine ait alternatif set içindeki her bir “ $k$ ” alternatifinin bir “ $U_k$ ” toplam faydasına sahip olduğu ve birey tarafından toplam faydanın maksimize edileceği yaklaşımı ile, erişilebilirliğin en basit matematiksel tanımı Ben-Akiva ve Lerman (1979) tarafından Denklem (2.4)'deki gibi ortaya konmuştur:

$$A_n = E(MaxU_k) \quad (2.4)$$

Burada, “ $E$ ” beklenen değeri temsil etmektedir. Bir “ $n$ ” bireyi tarafından algılanan “ $U$ ” faydasının stokastik ifadesi ise Denklem (2.5)'deki gibi yapılabilir:

$$U_{ij} = V_{ij} - \beta c_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (2.5)$$

Burada,  $V_{ij}$ : “ $i$ ” noktasından “ $j$ ” noktasına yapılan yolculuğa ait faydanın, “ $n$ ” bireyi tarafından elde edilen ve deterministik olarak bilinen değerine,  $c_{ij}$ , “ $ij$ ” yolculuğunun maliyetine (seyahat süresi, parasal maliyet v.b.),  $\beta$ , maliyete duyarlılık parametresine,  $\varepsilon_{ij}$ , rastgele değişkene (stokastik kısım) karşılık gelmektedir.

İlgili fayda fonksiyonu, erişilebilirlik ölçütünde fayda teorisi temeline dayalı bir başlangıç noktası oluşturmuştur (Bröcker, 1989). Denklem ulaşım türü seçiminde kullanılan fayda fonksiyonuna olan mantıksal ve yapısal benzerliği dikkati çekmektedir. Bir bireyin sahip olduğu bir alternatifler kümesi içindeki her bir hedefe bir fayda atadığı ve kendi faydasını maksimize eden bir alternatifi seçtiği kabul edilirse; erişilebilirlik, çoklu logit modelin paydası olarak tanımlanabilir ki bu aynı zamanda “logaritmik toplam” olarak bilinir (Ben-Akiva ve Lerman, 1985). Logaritmik toplam, bütün alternatifler kümesinin çekiciliğini özet olarak ifade eden bir ölçüt olarak görülmektedir ve Denklem (2.6)'da verilmiştir.

$$A_n = \ln\left(\sum_k e^{V_k}\right) \quad (2.6)$$



Burada “ $A_n$ ” erişilebilirlik ölçütünü, “ $V_k$ ” ise “ $n$ ” bireyi için “ $k$ ” alternatifine ait stokastik fayda içindeki deterministik faydayı, ulaşım türü ve yolculuk bitiş noktası kombinasyonuna bağlı olarak ifade etmektedir. Bu şekli ile ifade, rastgele değişkenin Weibull dağılımına uyduğunu kabul etmektedir. Bu ifade aynı zamanda negatif ekşponansiyel bir uzaklığa bağlı azaltma fonksiyonu kullanılarak potansiyel bir erişilebilirlik ölçütü şeklinde yazılabilir. Dolayısıyla “ $n$ ” bireyine ait erişilebilirlik ( $A_n$ ), “ $i$ ” alanında yaşayan bireyin, “ $m$ ” ulaşım türünün “ $c_{ijm}$ ” maliyeti ile ulaşabileceği, “ $j$ ” noktasında bulunan “ $D$ ” olanaklarından elde edebileceği fayda olarak yorumlanabilmektedir ve Denklem (2.7)'de verilmiştir:

$$A_n = \frac{1}{\beta} \ln \sum_j D_j e^{-\beta \cdot c_{ijm}} \quad (2.7)$$

Burada tüm ifade, yolculuk maliyetine duyarlılık parametresine bölüldüğü için erişilebilirlik, yolculuk maliyeti biriminden ifade edilmiştir.

FEE kavramı, üzerine birçok teorik çalışma yapılmasına rağmen erişilebilirlik uygulamaları içinde pek fazla yer almamıştır. Az sayıda örneklerden bir tanesi Koenig (1980)'e ait olup logaritmik toplam değer şeklinde bir PE ölçütü kullanmakta; Fransa'nın Le Mans kentindeki yol yatırım alternatiflerinin erişilebilirliğe olan etkisini incelemektedir. Bu çalışmada fayda, parasal değerlere dönüştürülmüştür. Daha yakın bir tarihte Borgia ve Cappelli (1994), İtalya'daki yerleşimler için, türel erişilebilirliğin net faydaların logaritmik toplamı olarak tanımladıkları çoklu-türel bir erişilebilirlik ölçütü tanımlamıştır. Sweet (1997) ise yine logaritmik toplamlara dayanan erişilebilirliği, Londra'da özel taşıt ve TT ile iş erişilebilirliğini analiz etmek için kullanmıştır. Handy ve Niemeier (1997)'in çalışması ise Sweet'in çalışmasını ilginç bir yöne çekmekte, insanların iş erişilebilirliğine biçtikleri değeri elde etmeye çalışmaktadır. Konuyla ilgili diğer bir örneği gerçekleştiren Levine (1998), ev-işyeri arasındaki seyahat sürelerinin konutsal yerleşim kararı üzerindeki etkisini incelemiştir. Bunların yanı sıra, logit model esaslı ulaşım modelleri, logaritmik toplamlı erişilebilirliği türetmede kullanılabilir.

Fayda esaslı ölçütlerin en önemli avantajlarından biri, teorik yapısının oldukça sağlam oluşudur. Çünkü geleneksel mikro-ekonomik refah teoremi ile doğrudan bir ilişki sağlamaktadır. Ayrıca davranışsal içeriği, temel PE'den daha yüksektir. Yani fayda esaslı ölçüt, bir yerleşimdeki bireylerin erişilebilirliğini temsil ederken

potansiyel ölçüt, bütün bireyleri homojen kabul ederek bir yerleşimin erişilebilirliğini temsil eder. Ayrıca FEE'nin, bireylerin gruplaştırılması durumunda da gerçekçi olmayan sonuçlara sebep olmadığı öne sürülmektedir (Geurs ve van Eck, 2001). Fayda esaslı ölçütün eleştirisi aldığı noktalardan biri, yorumlanmasının zor olduğu ve formülasyonun karmaşık teorilere dayandırılmadan açıklanamadığıdır (Koenig, 1980). Ayrıca farklı düzeydeki analizlerin karşılaştırılmasının güç olduğu da söylenmektedir (Handy ve Neimeier, 1997).

Tablo 2.1 erişilebilirlik ölçütleri ve bileşenlerini birbirleri ile ilişkilendirerek göstermektedir. Tablo'da her ölçüt belli bir bileşene odaklanmakta ve erişilebilirliğin diğer ilgili elemanlarını görmezden gelmektedir. Ulaşım altyapı ölçümü arazi kullanım bileşenini içermemekte ve servis seviyesi sabitken, aktivitelerin mekansal dağılımındaki değişimlere karşı duyarlı olmamaktadır. Geçici bileşen açıkça kişi temelli ölçüm içerisinde ele alınmış ve genellikle başka perspektiflerde değerlendirilmez, yada üstü kapalı olarak ele alınırlar. Zirve ve zirve dışı saatlerin erişilebilirliğinin hesaplanması örnek olarak alınabilir. Kişi temelli ölçümler ve fayda temelli ölçümler genellikle bireysel bileşende yoğunlaşarak, erişilebilirliği bireysel seviyede analiz etmektedirler. Lokasyon temelli ölçümler genellikle erişilebilirliği makro seviyede analiz etmekte, ama aynı zamanda fırsatların arzının mekansal kısıtlara dahil edilmesiyle de ilgilenmektedir. Bu yaklaşım diğer yaklaşımlardan hariç tutulmuştur. Erişilebilirlik ölçütleri başarı ölçümü için kullanılacağı zaman çeşitli kriterleri sağlamak zorundadır. Diğer bir ifade ile başarısı ölçülecek olan olguların hangi ölçütlerle ölçülmesi gerektiği konusunda sağlanması gerekli kriterler mevcuttur. Bu kriterler literatürde farklı çalışmalarda, farklı şekillerde ele alınmışlar ve gruplandırılmışlardır. Geurs ve diğ.'nin(2004) kabul etmiş olduğu gruplama en sık kullanılan ve somut olarak kabul edilebilecek en sistematik gruplandırma değildir. Bu gruplama ve ilişki Tablo 2.1'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1: Erişilebilirlik ölçütleri ve bileşenleri ilişkisi.

Ölçümler	Bileşenler			
	Ulaşım bileşeni	Arazi kullanım bileşeni	Geçici bileşen	Bireysel bileşen
<b>Ulaşım altyapısı temelli ölçütler</b>	Seyahat hızı, trafikte kaybedilen saatler		Zirve saat periyodu, Yıllık ortalama günlük trafik	Seyahat tabanlı gruplandırma evden işe, işten eve seyahati gibi
<b>Lokasyon temelli ölçütler</b>	Seyahat süresi ve aktivitelerin yeri arasındaki maliyet farkı	Arz olunan fırsatlara karşı oluşan talebin mekânsal dağılımı ve miktarı	Gün içindeki saatlerde, hafta içindeki günlerde veya mevsimlerde seyahat süresi ve maliyeti değişebilir,	Nüfusun gruplandırılması ( gelire göre, eğitime göre)
<b>Kişi temelli ölçütler</b>	Aktivitelerin yerleri arasındaki seyahat süresi	Fırsat arzının mekânsal dağılımı ve miktarı	Aktiviteler için geçici kısıtlar ve aktiviteler için uygun olan zaman	Erişilebilirlik bireysel derecede analiz edilir
<b>Fayda temelli ölçütler</b>	Aktivitelerin yerleri arasındaki maliyet farkı	Fırsat arzının mekânsal dağılımı ve miktarı	Gün içindeki saatlerde, hafta içindeki günlerde veya mevsimlerde seyahat zamanı ve maliyeti değişebilir	Fayda bireysel veya homojen nüfus gruplarından türetilir

Handy ve Niemmer (1997) bu gruplandırma yapılırken erişilebilirlik için en iyi yaklaşım diye bir şey olmadığını çünkü değişik hedef ve durumların değişik koşullar yarattığını belirtmişlerdir. Değişik çalışma amaçlarına göre erişilebilirlik ölçümlerinin kullanılabilirliğinin ve limitlerinin hesaplanması için değişik kriterler türetilmektedir. Buna benzer bir kriter grubu Handy ve Niemier tarafından (1997) tanımlanmıştır.

### **2.2.3 Erişilebilirlik temelleri**

#### **2.2.3.1 Kuramsal temel**

Bir erişilebilirlik ölçütü ideal olarak bütün bileşenleri ve bu bileşenlerin içindeki elemanları hesaba katmaktadır. Böylece, bir erişilebilirlik ölçütü ilk olarak ulaşım sistemindeki değişimlere karşı duyarlıdır. Örnek olarak bireyin başlangıç ve hedef arasındaki belli bir türe olan seyahatinin faydasını keşfetmesi, aynı zamanda toplam zaman maliyet ve eforu da keşfetmesi verilebilir. Aynı zamanda erişilebilirlik, arazi kullanımında olan değişimlere karşı duyarlı olup arz edilmiş fırsatların miktarı, kalitesi, bunlara karşı oluşan talebin mekânsal dağılımı ve rekabet etkisini yaratan arz ile talebin karşılaştırılması gibi değişimlere karşı duyarlıdır. Shen (1998) rekabeti dikkate almayan bir erişilebilirlik ölçümünün hatalı olacağını belirtmiştir.

#### **2.2.3.2 Uygulamaya koyabilirlik**

Bir ölçütün pratikte kullanılabilme kolaylığıdır. Örnek olarak bilginin, modellerin, tekniklerin, zaman ve bütçenin olup olmadığını sorgulamak uygulama kolaylığını gösterir.

#### **2.2.3.3 Yorumlanabilirlik ve iletişebilirlik**

Araştırmacılar, plancılar, siyaset üreticiler ve politikacılar erişilebilirlik türünü anlar ve yorumlayabilir. Diğer türlü sonuçların arazi kullanım ve ulaşım hesaplamalarında kullanılması güç olmakta, böylece politika oluşturma sürecine etkisi olmamaktadır. Fakat Pirie (1981) erişilebilirlik araştırmalarından, politika araştırmalarına garantili ve kolay bir geçiş olmadığını belirtmektedir. Erişilebilirlik üzerindeki toplum politikasının ancak erişilebilirlik politikası oluşturulmuşsa olabileceğini ileri sürmektedir.

#### **2.2.3.4 Sosyal ve ekonomik hesaplarda kullanılabilirlik**

Genelde bireyler ve sosyal gruplar için arazi kullanım ve ulaşım değişimlerinin yatırımlardan dolayı sosyal etkileri çok çeşitli olabilmektedir. Görsel kalitede değişim, sağlık etkileri, sosyal uyum gibi özellikler değerlendirilmesi gereken özelliklerdir. Bu etkiler çeşitli metot ve tekniklerle çalıştırılabilmektedirler (Frockenbrock ve Weisbrod, 2001). Ekonomi literatürüne bakıldığında bu faydaları ölçmek için iki temel yaklaşım görülmektedir. Bunlar;

- Doğrudan ekonomik etkileri tespit etmek için mikro ekonomik modeller
- Daha geniş kapsamlı etkileri tespit etmek için makro ekonomik modellerdir.

Erişilebilirlik modelleri bahsedilen bileşen ve ölçütler ile ulaşım planlaması içerisinde sıklıkla kullanılmaktadır. Günümüzde ise erişilebilirlik kavramı ile ilişkilendirilerek çalışma konusu yapılan en önemli alanlardan birisi de kentsel toplu taşımacılıktır. Kentsel toplu taşımacılık özellikle günümüz dünyasında erişilebilirliği arttıran en önemli alanlardan birisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle tez kapsamında bu alana literatürde özellikle yer verilmiştir.

### **2.3 Kentsel Toplu Taşımacılık**

Günümüzde kentlerin sürekli büyümekte olması ve arazi kullanım kararlarına etkin müdahale edilerek ulaşım talebinin istenilen şekilde yönlendirilememesi nedeniyle "ulaşım" kavramı karşımıza bir sorun olarak çıkmaktadır. Ulaşımın özellikle ülkemizde erişilebilirlik odaklı olmak yerine otomobil odaklı olması ve TT faktöründen yeterince yararlanılamıyor olması sorunların en önemlisidir.

Günümüzde kent planlarının ve ulaşım planlarının insan odaklı olması gerekirken, özellikle karayolu ulaşımına hizmet eden otomobil odaklı planlar olarak tasarlanması dikkat çekicidir. Özellikle ülkemizde arazi kullanım kararları alınırken trafik etki değerlendirmelerinin dikkate alınmaması ve "yap-temin et" anlayışının sürdürülmesi kent trafiğinin gün geçtikçe daha sorunlu hale gelmesine neden olmaktadır. Günümüzde gelişmiş medeniyetlerin kent içi trafik sorunlarını TT'dan faydalanarak çözdükleri artık bilinen bir gerçektir. Etkinliği yüksek bir toplu taşıma planlaması ile birlikte taşıtların değil insanların taşınması, kaynakların etkin kullanımı, çevrenin korunması ve erişilebilirliğin artırılması sağlanabilmektedir.

TT'da hizmet belli bir amaca yönelik olarak yapılır. Bu amaçlar, sistem maliyetinin azaltılması, karın ve yolcu memnuniyetinin artırılması, duraklarda ve aktarmalardaki bekleme sürelerinin kısaltılması, taşınan yolcu miktarlarının artırılması, gibi daha özel ve alt alanlardan oluşmaktadır.

TT sistemleri başarı kriterleri; seyahat süresi, durakta bekleme süresi, kapasite, doluluk, durakların fiziksel özellikleri, ortalama hız, seyahat maliyeti, erişilebilirlik, enerji verimliliği, güvenilirlik ve konfor kriterlerinden oluşmaktadır.

Kent içi TT'da hizmet kalitesi değişik tür ve sistemlerin uygun zamanda, uygun hatlarda zaman ve ücret ayarlaması yapılarak arttırılabilir. Özellikle zirve saatlerde otomobillerle rekabet edebilecek türlerin/sistemlerin özendirilmesi ve araçların kapasitelerine uygun rotalarda kullanılmalari gereklidir. Kent içi ulaşımda özel araçla seyahati özendirici yatırımlardan kaçınılarak TT'yı öne çıkaran yatırım kararlarının alınması gerekmektedir. TT günümüzde kentsel taşımacılığın kilit noktasını oluşturmakta olup, erişilebilirlik odaklı yaklaşımın merkezinde yer almakta ve emniyet, arazi kullanım, çevre, ekonomi, enerji, sağlık ve gürültü alanlarında faydalar sağlamaktadır. TT'nın yararları aşağıdaki şekilde özetlenmiştir:

- Emniyet faktörü: Özel araçlarla yapılan seyahatlerde kaza olasılığı, TT ile yapılan seyahatlerden çok daha fazladır. Çünkü kullanıcı ve operatör sayısı artmakta ve kişisel hataların yapılma olasılığı yüksektir. Bu yüzden TT daha emniyetli bir tür olarak karşımıza çıkar. Ayrıca kent içerisinde etkin bir TT sisteminin olması ölümcül trafik kazalarında azalmaya neden olabilmektedir.
- Arazi Kullanım Verimliliği: Hayali bir doğrultu ve yönde, 50.000 kişinin taşınması için; özel araç ile 175 m genişliğinde karayolu; otobüs ile 35 m genişliğinde karayolu; ve metro ile 9 m genişliğinde raylı sistem kullanımı gerekmektedir (Akıllı Yeşil Çözüm, [www.uitp.org](http://www.uitp.org)). Kent toprağının korunumu ve minimum betonlaşmanın sağlanması, TT sistemlerinin yaygınlaştırılmasıyla sürdürülebilir hale getirilebilir.
- İklimsel etkiler: Bisiklet kullanımı ve yaya ulaşımı oranı %55'i aşan kentlerde TT'dan kaynaklanan CO<sub>2</sub> miktarı, özel araç kullanım oranı %75'i aşan kentlere nazaran kişi başına yılda 2,4 ton daha azdır (Akıllı Yeşil Çözüm, [www.uitp.org](http://www.uitp.org))
- Ekonomik etkiler: TT'nın yaygın olduğu kentlerde, ulaşımın topluma maliyeti TT'nın yaygın olmadığı şehirlere nazaran yarı yarıyadır. Tokyo ve Hong Kong gibi TT'nın yaygın olduğu kentlerde ulaşımın maliyeti GSMH'nin %6'sı iken; Houston ve Sydney gibi TT'nın daha az yaygın olduğu kentlerde bu oran %12'dir. Bu verimlilik oranı yılda kişi başına yaklaşık 2 € değerindedir. TT yatırımları, karayolu veya otoban yapımı için ayrılan aynı miktardaki yatırıma nazaran %25 daha fazla istihdam sağlamaktadır (Akıllı Yeşil Çözüm, [www.uitp.org](http://www.uitp.org))

- Enerji tasarrufu: Dünya çapında TT ile ilgili enerji talebi 1950'lerden bu yana beş kat artmıştır. Avrupa Birliği'nde toplam enerji tüketiminin %30'u ve sera gazı salınımlarının %19'u ulaşım kaynaklıdır. Ortalama olarak TT ile kat edilen her x km.de, yolcu başına otomobile nazaran 3,4 kat daha az enerji tüketilmektedir. Bu oran, yoğun saatlerde çok daha düşmektedir. TT, yaya ulaşımı ve bisiklet kullanımı gibi taşımacılık türlerinin kullanılması ile kentlerdeki her vatandaş, yılda 500 ila 600 litre petrol tasarruf etmektedir. (Akıllı Yeşil Çözüm, www.uitp.org)
- Gürültü kirliliği: Trafik içerisinde yer alan araç sayısının önemli ölçüde azalması, gürültü kirliliğini azaltarak daha huzurlu sakin bir kentsel çevre oluşumuna katkıda bulunmaktadır.

Ulaşım yatırımları kent formunun sadece alansal büyüklüğünü değil formun tamamını değiştirebilecek etkiye sahiptir. Kent içerisinde yer alan merkez sınırları ve banliyö sınırları, erişilebilirlik değişimlerinden sonra farklı özellikler göstermektedirler. Aynı şekilde tek merkezli kentler erişilebilirliğin değişiminden sonra mevcut kentsel formdan ayrılarak çok merkezli kent formuna dönüşebilir. Bir bölgede artan erişilebilirlik doğrudan arazi kullanıma etki edecek ve pek çok kentsel özelliği değiştirmeye başlayacaktır. Ulaşım türleri ve ortalama seyahat süreleri, arazi kullanım durumunu etkilerken pek çok toplumsal özellik erişilebilirlik değişiminden etkilenebilir. Bunlar;

- Nüfus
- Gelir Grupları
- Araç Sahipliği
- Ulaşım Seçimi,

olarak tanımlanabilmektedir.

Toplu taşıma çok daha fazla insanın çok daha az araçla taşınması nedeniyle kentsel trafiği rahatlatmaktadır. Zaman zaman yüksek hızlı ulaşım türlerinin kullanılması ile seyahat süreleri kısalmaktadır. Bu nedenle günümüzde erişilebilirlik kavramı toplu taşımacılık ile hızla entegre olan bir alandır. Diğer bölümde bu ilişki hakkındaki literatüre taraması verilmiştir.

## 2.4 Toplu Taşıma ve Erişilebilirlik İlişkisi

Geleneksel ulaşım anlayışının bir yansıması olan otomobil ve karayollarının öncelliği artık günümüzde erişilebilirlik kavramının önem kazanmasıyla birlikte yerini raylı sistemlere ve birbiri ile bütünleşebilen başka türlere bırakmıştır. Etkin ve verimli hareketlilik ile erişilebilirlik sağlanması bir zorunluluk olduğu için pek çok açıdan kullanışsız olan otomobil kullanımını arttırmaya yönelik yatırımlardan kaçınılması gerekmektedir. Otomobil kadar konforlu ve kapıdan kapıya hizmet sunabilen bir ulaşım sistemi oluşturma anlayışı günümüz kentlerinin ortak hedefi haline gelmiştir. Erişilebilirliğin artması zaman, maliyet ve konfor kavramları ile doğrudan ilgili bir durumdur. Seyahat eden kişinin minimum sürede, minimum maliyetle ve maksimum konforda yolculuğunun sağlanması, erişilebilirliğin diğer bir ifade ile ulaşılabilirliğin artması demektir. Toplu taşıma sisteminde pek çok farklı rota, farklı işletme ve farklı ulaşım türleri bir arada bulunmaktadır. Her biri bir bütünün farklı parçaları olan bu elemanlar beraberce ortak bir amaca hizmet edecek şekilde koordine edilmelidirler. İyi bir koordinasyon sağlanmadığı durumlarda fazla kaynak kullanımı, erişilebilirliğin düşmesi ve kentsel trafiğin artması gibi problemler doğmaktadır. Bu nedenle TT ile erişilebilirliğin artırılması ancak detaylı ve geniş kapsamlı bir bütünleşme sağlanması ile gerçekleşmektedir.

Kentsel toplu taşıma planlaması ulaşım planlamasının önemli bir bileşeni olup kentler için verimli gelişim sağlamaktadır. Bu nedenle toplu taşıma hizmetleri ulusal ve bölgesel planlarda yer almak zorundadırlar. Araştırmacılar ve planlılar şehirlerin sürdürülebilirliğinin artırılması amacıyla TT ile ilgili uzun çalışmalarda bulunmuşlardır (Curtis, 2007). Bu nedenle TT verimli bir hareketlilik sağlayarak sosyal ve çevresel gelişime yardımcı olmaktadır (Salicru et al., 2010). Doğru stratejileri geliştirmek, ulaşım davranışlarını doğru modellemek, toplu taşıma sistemlerine erişimin önemi nedeniyle dikkat çekici bir konudur. Bir insanın ulaşım davranışını başlangıçtan varışa modellemek için TT ataması yapılmaktadır. Yollardaki ve rotalardaki bağ hacimleri servis kalitesini gösterici bir unsur olarak görülebilir (Friedrich et al., 2001). Yolculuk zamanı, maliyet, transfer sayısı ve servis kalitesi gibi diğer göstergeler karar aşamasında değerlendirilebilir. Toplu taşıma planlamasına yönelik göstergeler artırılabilir ve çeşitlendirilebilir. Pek çok konu ulaşım bilimi geliştikçe TT ile ilişkilendirilmektedir. Bu konulardan birisi de



erişilebilirlik olup mallara, hizmetlere aktivitelere ve hedeflere ulaşma kolaylığı olarak tanımlanmaktadır (Hansen, 1959; Engwicht, 1993).

Mavoa et al. (2012) erişilebilirlik ölçütlerini duraklara olan ulaşım, yolculuk süresi, ve hedeflere olan erişim olarak üç başlıkta ele almıştır. Pek çok çalışma TT erişilebilirliğini duraklara olan fiziksel yakınlık olarak kabul etmiştir (Hsiao ve diğ., 1997; Lovett ve diğ., 2002; Zhao ve diğ., 2003; Furth ve diğ., 2007; Kimpel ve diğ., 2007; Gutierrez ve Garcia-Palomares, 2008; Biba ve diğ., 2010; Currie, 2010). TT'da durak ve hizmet aralıkları pek çok ölçme tekniğiyle belirlenebilmektedir (Zhao ve diğ., 2003). Bir durağa ulaşmak toplu taşıma hizmetine ulaşmanın en önemli adımıdır ve bu şekilde durağa erişim, bekleme zamanı, araç içi zaman, transfer zamanı ve ağdan çıkış zamanı olarak belirlenen süreç başlamaktadır.

Diğer yandan insanların TT hizmetiyle ulaşabilecekleri yerleri, başlangıç varış özelliklerini ve gereken seyahat sürelerini bilmeleri önemlidir (Lei ve Church, 2010). Toplam seyahat süresi geleneksel olarak erişilebilirlik ölçütü olarak kullanılmaktayken seyahat uzaklığı ve seyahat süresi çeşitli çalışmalarda erişilebilirlik ölçütü olarak kullanılmıştır (Mavoa ve diğ., 2012). Sadece seyahat süresi ve erişim zamanını değerlendirmek hizmet kalitesinin göz ardı edilmesine yol açmaktadır.

TT ve erişilebilirliğe dair çalışmalar erişilebilirliği verimlilik göstergesi yerine genelde metot ve perspektif olarak değerlendirmişlerdir (Pitot ve diğ., 2006; Benenson ve diğ., 2010; Curtis, 2011; Mavoa ve diğ., 2012). Ayrıca, sürdürülebilir gelişim erişilebilirliğin ulaşım çalışmalarında anahtar gösterge olarak kullanımının altını çizmektedir (Benenson ve diğ., 2010). Dahası erişilebilirlikte TT sisteminde gelen bir değişme yüzünden oluşan farklılık geleneksel göstergelerle her zaman tam olarak fark edilememektedir. Bu nedenle TT ve erişilebilirliğin beraber değerlendirilmesi uzun vadeli planlamalarda daha doğru kararlar alınmasını sağlamaktadır.

TT planlaması içerisinde yer alan pek çok teknik vardır. Bunların en önemlisi rota setlerinin belirlendiği ve araçların seyahatlerini sürdürecekleri güzergahların oluşturulduğu TT ağ tasarımı alanlarıdır. Aynı zamanda kentsel erişilebilirliğe doğrudan etkisi vardır. Çalışmanın bir sonraki bölümünde bu alan hakkında literatüre verilmiştir.

## 2.5 Toplu Taşıma Ağı Tasarımı

### 2.5.1 Toplu taşıma ağı tasarımı

Rota tasarımında, günümüze kadar yapılmış çalışmalar sıklıkla, aralıklar ve frekanslarla ilgili olmuştur. Özellikle 1960 ve 1970 yıllarındaki ağ tasarım algoritmaları ile ilgili çalışmalar Axhusen ve Smith (1984) tarafından detaylıca aktarılmıştır.

Hobeika ve Cho (1979) otobüs rotalarının belirlenmesine yönelik olarak bir metodoloji geliştirmişlerdir. Bu metodolojide sezgisel algoritma yardımı ile mevcut otobüs durakları ve şehirsal alan bölümlere ayrılmış olup duraklarla bağlantı oluşturmak için "arama" yapılmaktadır. Bu sırada da otobüs ile yapılan toplam seyahat süresi minimize edilmektedir. Optimizasyon sürecinde her araca kapasite ve uzaklık ile ilgili çeşitli kısıtlar uygulanmaktadır.

Marwah ve diğ. (1984) rotaların ve frekansların eş zamanlı tasarlanmasına yönelik olarak bir metodoloji geliştirmişlerdir. Metodolojinin ilk etabında, yolcu akımları yol ağına atanmaktadır. Daha sonra çeşitli kısıtlara göre otobüs rota setleri oluşturulmakta ve transfer sayısını minimize eden rotalar seçilmektedir. Elde edilen veriler yol ağındaki akımları bir araya getirmek için ve rotaların ilk etapta oluşturulabilmesi için kullanılmaktadırlar. En verimli rotaların seçilmesi ve frekansların atanması için Lineer Programlama tekniğinden yararlanılmıştır.

Van Nes ve diğ. (1988), transfer yapmadan, rota ve rotaları ayarlayarak seyahat sayısını maksimize eden bir formül geliştirmişlerdir. Bu formülasyonda kısıtlar filo büyüklüğünü ve bütçe limitlerini içermektedir. Aynı zamanda rota tasarımı problemini formüleştirmenin ve başka kısıtlar koymanın avantajları da çalışma içerisinde tartışılmıştır. Ek kısıtlamalar getirildiğinde ve rota sayısında limit olduğu zamanlarda model sistem içerisinde kullanılabilir.

List (1990), optimum servis planları hazırlamaya yönelik eskiz düzeyinde bir metot geliştirmiştir. Eskiz olması nedeniyle kesin rotalar belirlenememekte fakat ağdaki yolcu-akım değerlerine ve frekanslara karar verilmektedir. Bu metot talep doygunluğu, filo büyüklüğü, minimum frekans, yükleme faktörü, kesişim kapasitesi, tren uzunluğu ve personel ihtiyaçlarına yönelik kısıtlar içermektedir. Bu modelin enerji tüketimi gibi limitli kaynağı olan bölümlerini formüle etmek için bazı alt modeller geliştirilmiştir.

Baaj ve Mahmassani (1991, 1992, 1995) yapay zeka yardımıyla TT ağ tasarımı modeli geliştirmiştir. Metot minimum frekans, yükleme faktörü ve filo büyüklüğü kısıtlarını kullanarak tipik bir formülasyon oluşturmuştur. Öncelikle 1991 yılında üç aşamalı ağ tasarım sürecinin kantitatif açıklaması için bakış açısı geliştirerek geniş bir rota kümesi oluşturulmuştur. İkinci aşama ağ analizi ile frekans belirlemesini, üçüncü aşama ise ağ gelişimi aşamasını içermektedir. 1992'de çözüm prosedürünün verimliliğini arttırmak için, ulaşım ağını listelerle ve dizilerle temsil eden bir metot geliştirilmiştir. 1995'de şimdi veya daha sonra modifiye edilecek başlangıç rotalarıyla ilgili ayrı bir çalışma yapılmıştır. Bahsedilen başlangıç rotalarının oluşturulması için en kısa yollardan oluşan bir temel omurga sistemi oluşturulmuştur. Bu çalışmalarda en kısa yol dışında olan verimli alternatifleri değerlendirme olanağı olmamıştır.

Spasovic ve Schonfeld (1993) optimum rota uzunluklarını, rota aralıklarını ve durak aralıklarını merkezde belirleyen bir metot geliştirmiştir. Metotta maliyet fonksiyonları hem operatör hem de kullanıcı açısından minimize edilmekte ve eşitlikler optimum karar değişkenlerinden türetilmektedir. "*Çok yerden, bir yere doğru talep*" varsayılmış ve yolcu yoğunluğu merkezden uzaklaştıkça azaltılmıştır. Ek olarak, gerçekçi araç kapasite kısıtları olan bir de algoritma geliştirilmiştir.

Spasovic ve diğ. (1994)'nin geliştirdikleri versiyonda karar değişkenleri rota uzunluklarını, aralıkları ve ücretleri de içermektedir. İki tane ölçüt kriteri test edilmiştir: kullanıcı verimliliği ve sosyal fayda. Sosyal fayda kısıtsız bütçe ve amorti kısıtları ile optimize edilmiştir.

Ramirez ve Seneviratne (1996) Coğrafi Bilgi Sistemleri'ni kullanarak rota ağı tasarımını çoklu amaçlarla çözmek için iki tane metot geliştirmiştir. Her metot, her olası rotaya direnç faktörü atamakta ve sonra minimum direnç gösteren rotayı seçmektedir.

Patnaik ve diğ. (1998) rota düzenlemesi ve bağlantılı frekansların belirlenmesi için genetik algoritma tabanlı bir metot geliştirmişlerdir. Çözümler pek çok olasılık arasından iteratif bir süreç ile seçilmiştir. Metot yolcu-zaman maliyetleri ve kullanıcı zaman maliyetlerinin minimize edilmesi üzerine tipik bir formülasyon ile programlanmıştır.

Soehodo ve Koshi (1999) TT rota ve frekanslarının tasarımına yönelik bir program formüle etmişlerdir. Diğer modellere benzer olarak önce olası tüm rotaları çizmek ve sonrada en uygununu seçmek üzerine kurulmuştur.

Bielli ve diğ. (2002) otobüs ağı tasarımına yönelik genetik algoritma tabanlı bir metot geliştirmişlerdir. Diğer genetik algoritmalarda olduğu gibi, her çözüm popülasyonu yeni üretim yapmakta ve üstünden geçerek mutasyon manipülasyonu yapmaktadır.

Wan ve Lo (2002) içsel türleri ve iç transferleri dikkate alan bir ağ tasarım modeli geliştirmiştir. Modelin iki ayrı aşaması vardır. Birincisi; doğrudan bağlanacak noktalar sezgisel algoritma ile bulunmaktadır. Bu algoritma State Augmented Multi-Model (SAM) denilen ağ sunum yaklaşımını kullanmakta ve hayali bağları gerçek bağlara bağlamaktadır. Daha sonra gerçek bir otobüs rota sistemi oluşturmaktadır.

Yan ve Chen (2002) rota ve zaman çizelgesini tasarlamak için otobüs servis düzeyi ve yolcu talebi arasındaki ilişkiyi optimize eden bir metot geliştirmiştir. Metot filo, ağ akımı ve yolcu ağ akımı üzerine inşa edilmiştir. Her iki ağ çift boyutlu diyagramlarla tarif edilmiş olup yatay boyut otobüs duraklarını, dikey boyut ise zamanı temsil etmektedir. Filo akımı otobüs filosunun potansiyel aktivitelerini gösterirken, yolcu akımı yolcu talebini göstermektedir. Modelin amacı otobüs ve yolcuları minimum maliyette her ağda eş zamanlı olarak beslemektir.

Van Nes ve Bovy (2002) ve Van Nes (2003), TT ağı tasarımında verimli seçenekleri ayırt etmeyi sağlayan amaç fonksiyon tanımlarının, durak yerleri ile rota yerleri farklı grupların, tercihleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Van Nes ve Bovy (2002) amaç fonksiyonlarının yolcu, işletme ve yetkili kurumlara göre yapıldığı bir analitik model geliştirmiştir. Yolcular için iki ve yetkili kurum için altı amaç denenmiş olup etkileşim sonuçları karşılaştırılmıştır. Ek olarak talep esnekliği ile ilgili varsayımlar ve değişik şehir ölçeklerinde farklı sonuçlar analiz edilmiştir. Van Nes (2003) aynı modeli farklı bir ağırlıklandırma ile farklı yolcu grupları için de araştırmıştır. Van Nes (2003) optimum ağ rota sonuçlarının geleneksel tek kullanıcı yaklaşımına yakın olduğunu bulmuştur.

Tom ve Mohan (2003) ağ rota tasarımına yönelik genetik metotları geliştirmişlerdir. Mevcut modelde, frekans değişken olarak kabul edilmiştir, bu nedenle kod şeması

açısından eski modellerden daha farklıdır. Pek çok kodlama stili kullanılmıştır fakat bu modelde rota ve frekans kodlaması birleştirilmiştir.

Bu çalışmada özellikle Ceder'in (2007) önerdiği TT ağ tasarımı yöntemi üzerinde durulmuştur.

### **2.5.2 Toplu taşıma ağı tasarımı yöntemleri**

Bu tezin bir bölümünde Ceder'in (2007) TT ağ tasarımı modeli örnek ağ için uygulanmış ve geliştirilmiştir. Bu nedenle literatür kısmında ilgili yöntem detaylıca verilmiştir. Ceder TT rotalarının oluşturulmasında iki temel yaklaşım olduğunu belirtmiştir.

1) Küçük bir rota grubu için veya rota grubu için

2) Ağ düzeyinde

Birinci yaklaşım da Pratt ve Evans (2004), rotaları sadeleştirmeyi, yeni seyahat desenleri oluşturmayı, transferleri kolaylaştırmayı, rota döngüsünü küçültmeyi veya rota konfigürasyonunu değiştirmeyi önermiştir. Bu çalışmada ikinci yaklaşım yani ağ düzeyindeki yaklaşım ele alınmaktadır çünkü toplu taşıma ağ tasarımı hedeflenmektedir.

Uzun bir süre TT düzenlemesi yapmamış pek çok TT işletmesi için TT ağ tasarımı yapmak önemli bir zaman kaybı olabilmektedir. Bu durumlarda açık amaç fonksiyonları içeren rota tasarım metodunun kullanılması gerekmektedir. Tasarımda temel amaç belli bir talep oluşturmuş yolcu kümelerinin en verimli şekilde seyahat ettirilmesidir. Rota tasarım probleminin temel varsayımları:

1) Yolcu talebi ağ boyunca yayılmış ve ağ üzerindeki bağlarda gruplandırılmıştır;

2) Talep genellikle zirve saatlerde eş zamanlı seyahat ettirilmelidir ve

3) Belirli bir plan diliminde rota tasarlandıktan sonra bir daha değiştirilmez.

Daha önceki toplu taşıma ağ tasarım problemine yönelik yaklaşımlar genellikle yolcu akımı ve matematiksel programlamalardan oluşmaktadır. Simülasyon modelleri, Dial ve Bunyan (1968), Heathington ve diğ. (1968) ve Vandebona ve Richardson (1985) tarafından bulunmuştur. Bu modeller belli miktarda veriye ihtiyaç duymaktadırlar. İdeal ağ metotları pek çok tasarım parametresine ve kullanıcı ile işletme bilgilerini yansıtan amaç gruplarına dayanmaktadır. Kocur ve Hendrickson (1982), Tsao ve

Schonfeld (1984) ve Kuah ve Perl (1988) çeşitli metotlar geliştirmişlerdir. Bu metotlar gözlem ve politik analiz için uygun metotlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Yaklaşık bir tasarımdan ziyade bütünsel tasarımı tercih etmektedirler. Ağ tasarım modelleri, matematiksel programlama modelleri, ve genelleştirilmiş ağ tasarım modellerinden oluşmaktadır. Bilinen genelleştirilmiş ağ modelleri Kim ve Barnhart (1999) tarafından özetlenmiştir. Sezgisel olarak da Farvolden ve Powell (1994) tarafından incelenmiştir. TT'ya yönelik olan ağ tasarım modelleri sezgisel olup yüksek bir hesap yükü gerektirmektedir. Bu tür kısmi optimizasyon yaklaşımları Lampkin ve Saalmans (1967), Silman ve diğerleri. (1974), Dubois ve diğ. (1979), Mandl (1979) ve Keudel (1988)'ın çalışmalarında görülmektedir. Burada anlatılan metot erişilebilirlik bağlantılı verilerden oluşan pratik ve az karmaşık bir metottur. Bu metot ile birlikte işletmenin düzenlemeleri kabul etme olasılığı yükselmektedir. Metot TT rotalarını en kısa rotaya mümkün olduğu kadar yakın tutmak istemektedir. Bu doğrultuda çeşitli amaç fonksiyonlarından yararlanılmaktadır.

#### Amaç Fonksiyonları:

TT ağ tasarım problemine yönelik amaç fonksiyonu oluşturmakla ilgili temel çatı gösterilmektedir. Bu çatı, yolcuları, işletme ve toplum ilgisini hesaba katmaktadır. Israeli (1992), Israeli ve Ceder (1995), Ceder (2001), Ceder ve diğ. (2002), ve Yin ve diğ. (2005) çalışmalarındaki perspektif ve kriterleri temel almaktadır.

#### Perspektif ve Kriterler:

Yukarıda belirtilen literatürde görülmektedir ki rotaların tasarımında ve kararlaştırılmasında verimlilik ölçütleri zayıf kalmaktadır. Genel bir değerlendirme kriteri bulunmasa da rota ağ tasarımında eş zamanlı olarak çalışılmalıdır. Üç perspektif geçerlidir: Yolcu, işletme ve yetkili kurum (kamu) açısından olaylar ele alınmalıdır. Bu perspektifler toplu taşımacılığın geniş bir yelpazeye sahip olması nedeniyle doğmaktadır. Bir TT rotasının kalitesini ölçümlerken dört kriter değerlendirilmektedir. Bunlar;

- 1) Minimum yolcu bekleme süresi;
- 2) Minimum boş-koltuk/alan zamanı;
- 3) En kısa yoldan olan minimum zaman farkı ve
- 4) minimum filo büyüklüğü.

İlk üç kriter yolcu-kilometre cinsinden ölçülmektedir, son kriter ise araç sayısı ile ölçümlenmektedir. Birinci kriter yolcu perspektifini, ikinci ve dördüncü kriter işletme perspektifini ve üçüncü kriter hem yolcu hem toplum perspektifini temsil etmektedir.

Ölçümleme amacı rotaların veya türlerin karşılaştırılması olursa mali ağırlıklandırma dördüncü kriter olarak görülebilmektedir. Opsiyonel olarak üçüncü kriter eğer tüm yolcular en kısa yola atanmışlarsa mali ağırlıkla değiştirilebilmektedir. Örnek olarak, en kısa yolu kullanan otobüs rotalarını ve metro hatlarını karşılaştırırken üçüncü kriter otobüs yolcularının hepsi metroya geçtiğinde kazanılacak mali miktarı temsil etmektedir.

Yöntem içerisinde bütün yolcuların kalkış ve varış zamanları bildikleri varsayılmaktadır bu nedenle atama yaklaşımı deterministiktir. Model içerisinde rotaları kullanacağı varsayılan yolcu sayıları belirlendiği için TT ataması tekniğinden yararlanılmaktadır bu nedenle TT ataması ile ilgili literatüre bir sonraki bölümde aktarılmıştır.

## **2.6 Toplu taşıma ataması prosedürleri ve literatürü**

TT ataması problemi daha önceleri sadece sezgisel metotlarla ele alınmış bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. İlk zamanlarda hep veya hiç metodu tabanlı atama prosedürleri kullanılmıştır. 1980'li yılların ilk zamanlarında bilim adamları TT atama problemleri ile ilgilenmiştir. Önemli örnekleri Dial (1967), LeClercq (1972), Chriqui (1974), Chapleau 1974) Andreasson (1976) ve Rapp ve diğerleri (1976)'dir.

Florian (1977) ve Florian ve Spiess (1983) çok türlü ağ dengesi çalışırken Scheele (1977), Mandle (1980) ve Hasselstrom (1981) TT atama problemini ağ tasarım modelleri bazında ele almışlardır. Bu dönemlerdeki çalışmaların önemli bir eksikliği trafik sıkışıklığının TT sistemine etkisini göz ardı etmesidir. Bununla beraber bu modeller sadece dairesel ağlar için uygundur ve gerçek hayata uygulanması kolay olmamaktadır (De Cea ve Fernandez, 2002).

TT atamasına yönelik olarak ilk matematiksel formülasyon Spiess (1983) ve Spiess ve Florian (1989) tarafından strateji tabanlı, frekans tabanlı ve aralık tabanlı olmak üzere geliştirilmiştir. Yolcuların ortalama seyahat sürelerini minimize ettikleri varsayımına göre oluşturulmuşlardır. TT atama problemini çözmeye yönelik

doğrusal programlama modeli ve çözüm algoritması oluşturmuşlardır. Yolcuların gidecekleri yere varmak için stratejiler geliştirdiklerini ileri sürmüşlerdir. Daha sonra De Cea (1989) ve De Cea ve Fernandez (1989) ortak rotalar ve TT rotaları tabanlı, aynı zamanda Le Clercq (1972) ve Chriqui (1974)'nin çalışmalarını baz alan başka bir doğrusal programlama modeli geliştirmişlerdir.

Aralık belirlenerek atama yapılmış TT ağında, her rota sabit bir aralıkla işletilmekte olup bir bağdaki seyahate hacim/gecikme fonksiyonu ile karar verilmektedir. Bir hatta binerken yolcu bekleme süresi, duraktaki ve rota aralığındaki yolcu varış deseninin olasılık fonksiyonudur. Çünkü bir bağdan geçen çok sayıda rota mevcuttur. Frekans tabanlı atama kısaca en kısa yolu araştırarak ortalama transfer sürelerini kullanarak atama yapmaktadır. Transfer sürelerini ayrıca hesaplamamakta ve yeniden aralık ve zaman çizelgesine göre varsayımda bulunmaktadır. Strateji tabanlı yaklaşım optimum strateji kavramına dayanmaktadır. Temel yaklaşım yolcuların varacakları yere giden ilk otobüse bindikleri tezine dayanmaktadır. Temel hipotez, araçların duraklara rastgele geldikleri ama yolcuların duraklara uniform olarak geldikleridir. Strateji tabanlı matematiksel modeller ortak hatlar varken toplu taşıma talebinin yayılmasını sağlamaktadır. Analiz periyodu boyunca yolcu talebinin sabit olduğunu varsaymaktadır. Akım bağımlılığı ve bekleme süreleri hakkında varsayımda bulunmaktadır, bu nedenle sıklık etkilerini değerlendirmemektedir. Bu durum önemli bir kısıtlamadır çünkü özellikle çok fazla sıklık problemi görülen ağlarda sıklık etkisi önemlidir.

Daha sonraki atama prosedürleri sıklık etkilerini dikkate almakta ve TT atama kullanıcı dengesi problemini ele alınmaktadır. Spiess (1983) ve Spiess ve Forlan (1989) genelleştirilmiş maliyetlerin, yolcu akımlarının artış fonksiyonu olduğu doğrusal bir model önermiştir. Aynı yazarlara göre model önemli kısıtlamalara sahiptir ve bu kısıtlamaların en önemlisi duraklardaki bekleme sürelerinin TT hacimlerinden etkilenmemesidir. Bu modeller Ngyune ve Pallottino' nun (1988) 'de sunduğu modeller ile benzerdir.

Gendreau (1984) hem sıklık faktörünü hem de yolcular tarafından algılanan bekleme süresini dikkate almıştır. Ortak hatları dikkate almayan bir model tasarlamıştır. Çalışmanın ana teması yolcu akımlarının bekleme sürelerine bağımlı olmasıdır. TT araçlarının kapasite kısıtları nedeniyle duraklardaki bekleme süreleri



yolcu akımlarının artış fonksiyonu olarak değerlendirilmiştir. De Cea ve Fernandez (1993) gibi pek çok kişi tarafından bu modeller çalışılmıştır.

Başka bir atama problemi Wu ve diğerleri tarafından (1994) yılında sunulmuştur. TT rotalarına karşı hiperpati kavramını kullanmaktadır. Bu modeller bağımlı yolcu akım modelleri olarak tanımlanmakta olup genelleştirilmiş maliyet fonksiyonlarını kullanmaktadırlar.

Yolcuların potansiyel algılama farklılıkları anlaşıldıkça Nielsen (2000) ve Lam ve diğ. (1999) tarafından stokastik TT atama modelleri üretilmiştir. İlk modellerden birisi olan Dial (1971)'in logit tabanlı trafik atama modeli farklı rotaların bağımsız olacağını ve üst üste binen rotaların problem yaratacağını belirtmektedir (Sheffi, 1985). Daganzo ve Shefi (1977) bu problemleri aşmak için probit tabanlı modellerin kullanımını önermiştir. Sheffi ve Powell (1981) bu doğrultuda kullanıcıların algılanan yolculuk dirençlerini simule eden bir çözüm algoritması geliştirmişlerdir.

TT ataması problemini ve karmaşık yapısını çözmek için dinamik atama modellerinden de yararlanılmıştır. Hickman ve Bernstein (1997) sadece zamanı ve stokastik servis karakteristiklerini dikkate almayan bir rota seçim modeli geliştirmişlerdir. Aynı zamanda yolcular duraklarda beklerken kararlarını değiştirmektedirler ve bu nedenle dinamik atama gerçekleşmiş olmaktadır. Tong ve Wong (1999), Poon ve diğerleri (2004) çeşitli dinamik atama modelleri geliştirmişlerdir. Nuzzolo ve diğerleri (2003) zaman çizelgeli atama yöntemi çalışmıştır.

Zaman çizelgeli ağda araçlar saate dayalı olarak çalışmaktadır. Bir hatta yolcunun binmek için beklediği süre rota zamanlarının ve duraklardaki yolcuların varış desenlerinin deterministik fonksiyonudur. Bir BV (Başlangıç-Varış) çifti için minimum genelleştirilmiş maliyet ve başlangıç zamanı deterministiktir ve kullanılacak rota ile zamanı net olarak ortaya koymaktadır. Analiz periyodu bir saat olabilir veya tüm gün olabilir. Atama sonuçları çizelgeye göre kalkan her araçtaki yolcu sayılarıyla verilmektedir.

Bütün akımlar minimum genelleştirilmiş maliyet ile rotasına atandığı zaman hep veya hiç atamasının kullanımı olası olmaktadır. Alternatif olarak duyarlılık katsayıları, genelleştirilmiş maliyet fonksiyonlarına atandığı zaman stokastik kullanıcı dengesinden yararlanılabilir.

Nuzzolo ve diğ. (2003) zaman çizelgeli yaklaşım için TT hizmetini sağlayan her yolculuk için ve duraklara her varış için diyakronik bir grafik üretmiştir. Yüklemelerin ve hizmet sunma derecelerinin yani arz ve talebin zamanla gelişimini değerlendirmektedir. Bu nedenle dinamik olarak tanımlanmaktadır.

Değişik faktörleri bir araya getirmek için çeşitli çalışmalar yapılmış olsa da hala mevcut modelleri sorgulayan ve cevaplanması gereken sorular mevcuttur.

## **2.7 Sonuç**

Ulaşım ve arazi kullanım ilişkisi, erişilebilirlik, TT, TT'nın erişilebilirlik ile ilişkisi, toplu taşıma ağ tasarımı ve atama prosedürleri konuları ile ilgili yapılan literatür taramasında, bugüne kadar yapılmış çalışmalar araştırılmış ve bu taramanın sonucu olarak her konu için temel kabuller ve yaklaşımlar tespit edilmiştir.

İncelenen çalışmalar neticesinde ulaşım ve arazi kullanım ile ilgili planlama çalışmalarının geçmiş yıllarda sıklıkla irdelenmiş fakat erişilebilirlik ve erişilebilirliğin TT ile ilişkisini araştıran çalışmalara pek rastlanmamıştır.

Erişilebilirlik kavramının ulaşım ile ilişkisinde TT kavramının önemli bir yeri olduğu ve TT planlamasında erişilebilirlik ölçütlerinden yararlanılması gerektiği görülmektedir. TT planlaması aşamalarında erişilebilirlik ölçütleri/bileşenlerinin kullanımına dair teknik ve yöntemler gelişmeye açıktır. TT planlamasında erişilebilirliğin bir verimlilik ölçütü olarak kullanılması ve buna dair oluşturulması muhtemel yöntem ve tekniklerin erişilebilirlik kavramına ve uygulamalarına yeni bir bakış açısı getirecektir.

Zonların ve senaryoların etkilerini çeşitli amaç fonksiyonları ile ölçümleyen ağ tasarım yöntemleri genel olarak işletme açısından ve yolcular açısından değerlendirme yapan yöntemlerdir. Bu değerlendirmelerde toplumsal fayda ve kamu yararı erişilebilirlik perspektifini temsil etmektedir. Bu açıdan erişilebilirlik ölçütlerinin TT ağ tasarım yöntemleri ile birlikte kullanılmasının bu alanda var olan bir eksikliği tamamlayacaktır. Ulaştırma ve TT planlamasında karar verici organların karar vermelerini sağlayan klasik göstergelere ek olarak erişilebilirlik ölçütlerinin kullanılabilmesi önemlidir.

### **3. TOPLU TAŞIMA PLANLAMASI ve AĞ TASARIMI MODELLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ:**

#### **3.1 Giriş**

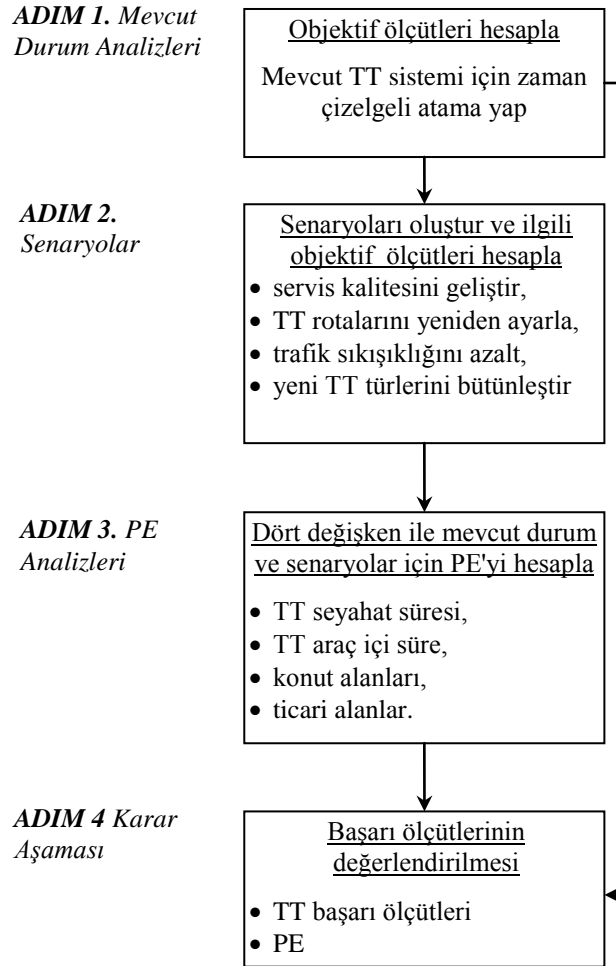
Bu bölümde erişilebilirlik ölçütlerinin TT planlaması ve ağ tasarım probleminde kullanılma yöntemlerinin teknik ve metodolojik anlatımları yapılmıştır. Tez kapsamında üç ayrı yöntem dahilinde erişilebilirlik ölçütleri TT planlamasına dahil edilmiştir. Bu yöntemlerin ilk ikisinde erişilebilirlik ölçütleri TT planlamasında verimlilik göstergeleri olarak değerlendirilmiştir. PE ve FEE ölçütleri TT planlamasında verimlilik göstergeleri olarak değerlendirilen erişilebilirlik ölçütleridir. Üçüncü yöntemde ise aynı erişilebilirlik ölçütlerinden TT ağ tasarımının karar verme aşamasında amaç fonksiyonu olarak yararlanılmıştır. Denizli için TT planlaması çalışmaları (2011) ilk iki yöntemde altlık ve çalışma alanı olarak kullanılmış olup VISUM trafik planlama programı kullanılmıştır. Üçüncü yöntem ise Ceder'in (2007) TT ağ tasarımında kullandığı örnek ağ geliştirilerek çalışılmıştır. Çalışma kapsamında oluşturulan üç yöntem aşağıda verilmiştir:

- PE ölçütünün TT planlamasında verimlilik göstergesi olarak kullanılması;
- FEE ölçütünün TT planlamasında verimlilik göstergesi olarak kullanılması ve
- TT ağ tasarımında PE ve FEE ölçütlerinin karar verme aşamalarında kullanılmasıdır.

#### **3.2 PE Ölçütünün Verimlilik Göstergesi Olarak Kullanılması**

PE ölçütünün TT planlamasında karar verme ölçütü olarak kullanılması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda PE'yi değerlendirme parametresi olarak gören dört aşamalı TT planlama prosedürü önerilmiştir. Bu prosedürün akış şeması Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

Çeşitli senaryolar altında geleneksel göstergeler ve PE ölçütleri değerlendirilmiştir. Önerilen yöntem Denizli için uygulanmıştır ve test edilmiştir. Aynı zamanda, karar verme aşamasında PE ve geleneksel göstergeler karşılaştırılarak değerlendirme süreci nitelik bakımından güçlendirilmiştir.



Şekil. 3.1: Önerilen TT planlama süreci için akış şeması.

**Adım 1:** Mevcut durum için VISUM trafik simülasyon programında zaman çizelgeli atama yapılmıştır (VISUM 11.52, Fundamentals). Bu adımda mevcut TT servisleri için seyahat talebi, rotalar, araç kapasiteleri ve zaman çizelge bilgileri irdelenmiştir. Sıradan bir otobüs sistemini değerlendirmek ve TT servis kalitesini ölçmek için servis kalite parametresi, kapasite kullanım oranı, seyahat başına ortalama hacim ve toplam kapasite olmak üzere dört adet objektif gösterge kullanılmıştır.

Yükleme faktörü olarak ifade edilen araç dolulukları objektif kalite göstergesi olarak seçilmiştir, bu doğrultuda Transit Cooperative Research Program'ın pek çok deney ve gözlemi mevcuttur (TRB,1999). Servis tipine göre araç yüklemenin önemi farklılaşmaktadır. Genel bir şehir içi TT servisinde yükleme faktörü 2.0 olabilmektedir fakat tipik olarak 1.5 olmaktadır (TRB,1999). Sıradan bir otobüs servisi için ortalama yükleme faktörü,  $\bar{\lambda}$ , Denklem (3.1)'deki gibi ifade edilmektedir. Servis yükleme faktörü araç içerisinde anlık olarak maksimuma ulaşmasına izin verilen yolcu sayısını temsil etmektedir.

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{P_{i,\max}}{f_i \cdot s_i}, \quad (i=1,2,\dots,m) \quad (3.1)$$

burada  $P_{i,\max}$  ve  $f$ , taşıyan maksimum yolcu sayısı ve  $i$ 'nci otobüs rotası için analiz periyodu süresince kalkış sayısıdır,  $s_i$ , TT ağındaki otobüs rotasındaki araç içi koltuk sayısıdır  $m$ , otobüs rotası sayısıdır. Yüklem faktörü yolcular açısından çok önemli bir faktör olup bu değerin yükselmesi araç içi ayakta yolcu sayısını arttırmakta olduğundan yolculuk kalitesini düşürmektedir. İkinci objektif ölçüt ise ortalama kapasite kullanım oranı,  $\bar{\gamma}$ , Denklem (3.2)'de verilmiştir.

$$\bar{\gamma} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{g_i}{h_i \cdot c_i}, \quad (i=1,2,\dots,m) \quad (3.2)$$

burada  $g_i$  toplam kat edilen yolcu-km,  $h_i$ , toplam kat edilen servis-km ve  $c_i$  analiz periyodundaki tüm seyahatlerdeki  $i$ 'nci rota için ayakta ve oturan tüm yolcuların toplamıdır.

Üçüncü ve dördüncü göstergeler olan, seyahat başına ortalama hacim,  $\bar{\delta}$ , ve toplam kapasite,  $C$ , sırasıyla Denklem (3.3) ve (3.4)'de verilmiştir.

$$\bar{\delta} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{g_i}{h_i}, \quad (i=1,2,\dots,m) \quad (3.3)$$

$$C = \sum_{i=1}^m c_i, \quad (i=1,2,\dots,m) \quad (3.4)$$

Denklem (3.4)'de,  $C$ , tüm araçlardaki toplam kapasiteyi temsil etmektedir.

**Adım 2:** TT araçlarındaki yüksek kapasite kullanım oranı, yetersiz servis frekansları ve TT araçlarından kaynaklı trafik sıkışıklıklarını gidermek için çeşitli TT senaryoları üretilmiştir.

Bu problemler ayrı zamanlarda ya da eş zamanlı olarak şehirsal alanlarda görülen problemlerdir. Bu problemlerin değişik kombinasyonlarını gidermek için alternatif senaryolar oluşturulmaktadır. TT araçlarına uygun kalkış frekansları sağlamak için,  $f_i$ , Ceder'in (2002) maksimum yükleme metodu ile hesaplanmıştır. Maksimum yükleme metodu Denklem (3.5)'de verilmiştir.

$$f_i = \frac{P_{i,\max}}{\lambda \times s_i}, (i = 1, 2, \dots, m) \quad (3.5)$$

burada  $P_{i,\max}$  analiz periyodunda taşınan maksimum yolcu sayısını temsil etmektedir ve  $s_i$ ,  $i$ 'nci otobüs rotasındaki koltuk sayısını göstermektedir. Yükleme faktörü  $\bar{\lambda}$ , Transportation Research Board standart çalışmaları doğrultusunda 1.80 olarak kabul edilmiştir (TRB, 1999b). Yani anlık olarak araçta maksimum bulunabilecek yolcu sayısı oranı belirlenmiştir. Senaryolar oluşturulduktan sonra ve gerekli servis frekansları belirlendikten sonra objektif göstergeler Denklem (3.1-3.4) yardımı ile hesaplanmıştır.

**Adım 3:** PE değerleri mevcut durum ve senaryolar için hesaplanmıştır. PE kavramı genellikle aktivitelerin zonlara göre erişilebilirliğini değerlendirmek için kullanılan bir kavramdır (Hansen, 1959). Toplam PE bütün zonların ayrı ayrı PE değerleri toplamı olarak ifade edilmekte olup Denklem (3.6)'daki gibi ifade edilebilmektedir.

$$PA = \sum_i A_i = \sum_i \sum_j D_j d_{ij}^{-\alpha} \quad (3.6)$$

burada  $A_i$  (he/dak)  $i$  zonunun zon  $j$ 'deki tüm  $D_j$  fırsatlarına erişebilme ölçütüdür,  $d_{ij}$ ,  $i$  ve  $j$  zonları arasındaki direnimsizlik faktörü ve  $\alpha$  ise uzaklık direnimsizliğini temsil eden duyarlılık parametresidir.

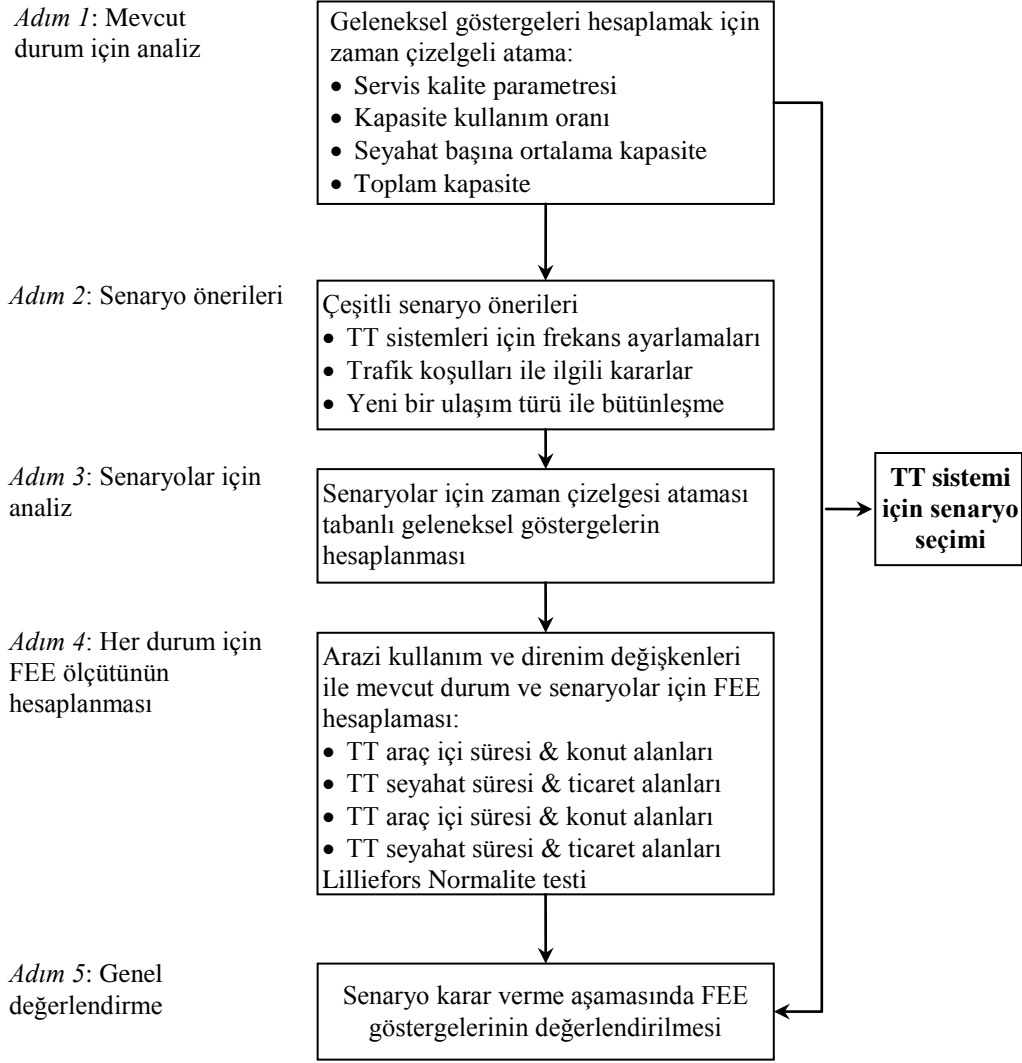
PE ölçütü bir zonun diğer bütün zonlara olan erişilebilirliğini tahmin etmekte ve azalan/artan fırsatlara eş zamanlı olarak artıp azalmaktadır (Geurs ve Ritsema Van Eck, 2001). Arazi kullanım ve ulaşım tarafından sunulan seçenek menzilin potansiyel hedefler toplamı cinsinden ifade etmektedir (Koeing, 1980). Yolculuk yaratımı ve çekimine sebep olan fırsatlar hedefte yer alan arazi kullanımın tipi ile ilgilidir. Genelde konut ve ticaret alanlarından oluşmaktadır. TT sisteminde direnim doğrudan ya da dolaylı uzaklık olarak kabul edilebilir veya araç içi süre ya da seyahat süresi olarak kabul edilebilir.

**Adım 4:** Mevcut durum ve senaryolar objektif ölçütler ve PE açısından değerlendirilmiştir. Bu aşama karar aşaması olarak değerlendirilebilecek olan aşama olup siyasetçiler ile plancılar tarafından yürütülmektedir.

### **3.3 FEE Ölçütünün Verimlilik Göstergesi Olarak Kullanılması**

Bu bölümde FEE ölçütünün TT planlama sürecinde verimlilik göstergesi olarak kullanılması hedeflenmiştir. Bu amaçla beş aşamalı bir TT planlama modeli oluşturulmuştur. İlk aşama mevcut durum için zaman çizelgesi atama yapılması, ikinci aşama ise TT problemlerini gidermek için çeşitli senaryolar oluşturulmasıdır. Üçüncü ve dördüncü aşamalarda geleneksel göstergeler ve FEE ölçütleri karşılaştırılmıştır. Beşinci adımda elde edilen sonuçlar hakkında genel değerlendirme yapılmıştır. Denizli TT planlaması (2011) bu bölümde de altlık olarak kullanılmıştır. TT talep matrisleri ve arazi kullanım bilgileri Denizli UAP (2010) çalışmalarından elde edilmiştir. Mevcut durum ve değiştirilmiş servis frekansları, araç kapasiteleri ve işletme özelliklerinden oluşturulmuş olan 3 senaryo, VISUM trafik simülasyonu kullanılarak analiz edilmiştir. Sonuçlar konut, seyahat süresi, FEE ve yolcu-km, servis-km, araç kapasitesi ve araçlarda gözlenen maksimum yolcu sayısı kombinasyonlarından oluşan dört geleneksel gösterge ile değerlendirilmiştir.

FEE, lokasyon temelli bir erişilebilirlik ölçütüdür ve erişilebilirliği zonal seviyede incelemektedir. Bu bölümde FEE ölçütleri ve bileşenlerinin TT planlamasının karar verme aşamasında kullanılmasına yönelik bir model geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu doğrultuda oluşturulan akış şeması Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2: FEE tabanlı TT planlaması modelinin akış şeması.

Şekil 2.2'de modelin 5 adımdan oluştuğu görülmektedir.

**Adım 1:** Objektif göstergeler VISUM trafik simülasyonundan faydalanarak zaman çizelgeli atama ile elde edilmiştir. İlgili objektif göstergelerin matematiksel ifadeleri Denklem (3.7- 3.10)'da gösterilmiştir.

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^m \frac{P_{i_{\max}}}{F_i \cdot S_i} + \sum_{j=1}^n \frac{P_{j_{\max}}}{F_j \cdot S_j}}{m+n}, \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$$

(3.7)



$$U = \frac{\sum_{i=1}^m \frac{pk_i}{sk_i \cdot F_i \cdot c_i} x100 + \sum_{j=1}^n \frac{pk_j}{sk_j \cdot F_j \cdot c_j} x100}{m+n}, \quad (i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n) \quad (3.8)$$

$$\bar{\delta} = \frac{\sum_{i=1}^m \frac{pk_i}{sk_i} + \sum_{j=1}^n \frac{pk_j}{sk_j}}{m+n}, \quad (i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n) \quad (3.9)$$

$$C = \sum_{i=1}^m c_i + \sum_{j=1}^n c_j, \quad (i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n) \quad (3.10)$$

burada  $m$  ve  $n$  otobüs ve minibüs rotalarının sayılarıdır.  $Q$  servis kalitesini,  $P_{\max}$  analiz periyodunda gözlenen maksimum yolcu sayısını,  $F$  otobüs veya minibüs kalkış frekanslarını ve  $s$  araçtaki koltuk sayını temsil etmektedir.  $U$  kapasite kullanım oranını (%),  $pk$ , ilgili rotadaki toplam yolcu-km'yi,  $sk$ , analiz periyodundaki toplam servis-km'yi ve  $c$ , analiz periyodundaki ilgili rotası ayakta ve oturan dahil toplam yolcu sayısını temsil etmektedir.

**Adım 2:** TT araçlarının aşırı kullanımı, servis frekans problemleri, minibüsler tarafından merkezi noktalarda yaratılan trafik problemleri ve ana akslardaki ulaşım türleri eksikliği sorunları çeşitli senaryolarla giderilmeye çalışılır. Bahsedilen problemleri aşmak için yeni bir zaman çizelgesi, giriş yasağı ve tercihli otobüs hattı gibi öneriler yapılır. Otobüs ve minibüs sistemlerinin frekanslarını belirlemek için Ceder'in (2002) maksimum yükleme metodu kullanılabilir ve Denklem (3.11) ve (3.12)'de verilmiştir.

$$F_i = \frac{P_{i_{\max}}}{\gamma_b \times s_i}, \quad (i=1,2,\dots,m) \quad (3.11)$$

$$F_j = \frac{P_{j_{\max}}}{\gamma_p \times s_j}, \quad (j=1,2,\dots,n) \quad (3.12)$$

burada  $\gamma_b$  ve  $\gamma_p$  otobüs ve minibüs sistemleri için yükleme faktörleridir. TT araçlarının zaman çizelgelerini elde etmek Denklem (3.13) ve (3.14)'deki dönüştürme ile yapılmıştır.

$$h_i = \frac{t_{AP}}{F_i}, (i = 1, 2, \dots, m) \quad (3.13)$$

$$h_j = \frac{t_{AP}}{F_j}, (j = 1, 2, \dots, n) \quad (3.14)$$

burada  $h$  ilgili servisin kalkış aralıklarını temsil etmekte ve  $t_{AP}$  dakika cinsinden analiz periyodudur. Servis kalite parametresi, Denklem (3.13) ve (3.14) kullanılarak hesaplanan kalkış aralıklarından sonra Denklem (3.7) kullanılarak bir daha hesaplanır.

**Adım 3:** Geleneksel göstergeleri hesaplamak amacı ile her senaryo için zaman çizelgesi tabanlı atama yapılmıştır. Atama sürecinde VISUM trafik simülasyon programından faydalanılarak TT bağlarının hacimleri tespit edilmiştir.

**Adım 4:** FEE mevcut durum ve Denklem (3.15)'den yararlanılarak senaryolar için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

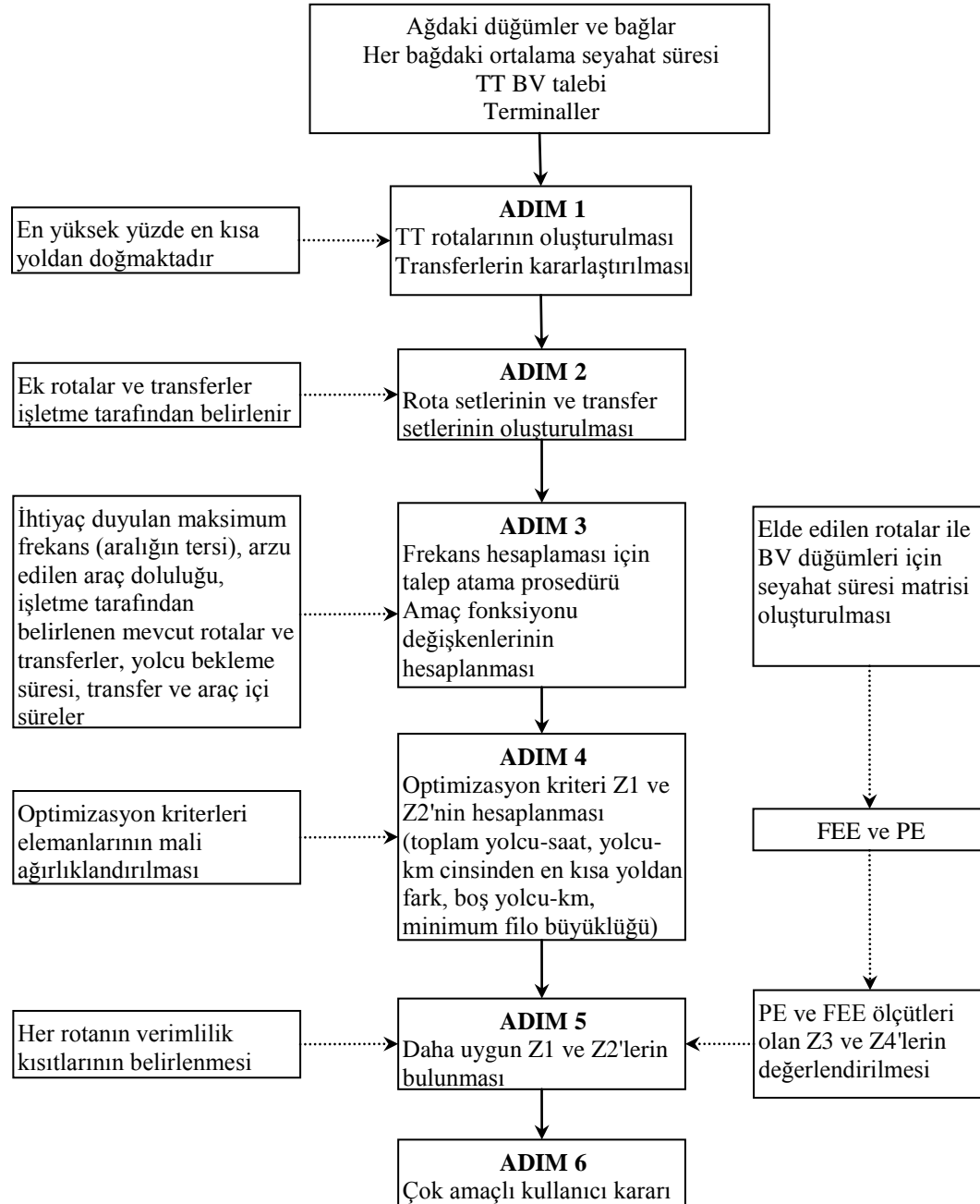
$$\sum_i A_i = \sum_i \frac{1}{\beta} \ln \sum_j D_j e^{-\beta \cdot c_{i,j,m}} \quad (3.15)$$

Burada, “ $n$ ” bireyine ait erişilebilirlik ( $A_i$ ), “ $i$ ” alanında yaşayan bireyin, “ $m$ ” ulaşım türünün “ $c_{ijm}$ ” maliyeti ile ulaşabileceği, “ $j$ ” noktasında bulunan “ $D$ ” olanaklarından elde edebileceği fayda olarak yorumlanmaktadır. Lilliefors testi duyarlılık analizi ile en uygun normal dağılımı sağlayan  $\beta$  değerini bulmak için yapılmıştır. En normal dağılımı veren  $\beta$  değeri duyarlılık parametresi olarak kabul edilebilir (Özuysal ve diğ., 2012) Lilliefors testi aynı averaj ve varyansa sahip deneysel örneklerle örnek dağılımı karşılaştırmaktadır. Eğer dağılım normale yaklaşırsa test istatistiği kritik değerden küçük olmak zorundadır ve bu fark olabilirliğin test değeri olarak açıklanır (Lilliefors, 1967; Lilliefors, 1969).

**Adım 5:** Geleneksel göstergeler ile FEE göstergeleri değerlendirilmiş ve TT planlamasının karar verme aşamasında yorumlanmıştır. FEE göstergeleri senaryo karar verme sürecine yerleştirilmiştir. FEE göstergelerinden yararlanılması geleneksel göstergeler ile gözden kaçan bazı önemli sonuçların göz ardı edilmemesini sağlayacaktır.

### 3.4 Toplu taşıma ağı tasarımında PE ve FEE ölçütlerinin kullanılması

Ceder'in (2007) TT ağı tasarımı yaklaşımının geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda erişilebilirlik ölçütlerinden yararlanılmıştır. TT ağı tasarımında erişilebilirlik ölçütleri 6 adımlı bir tasarım süreci sonunda bütünleştirilmiştir ve bu akış Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3: TT ağı tasarımı akış şeması.

**Adım 1:** Ağdaki düğümler, bağlar ve ortalama seyahat süreleri veri olarak başlangıç da elde edilir. Düğümler arası TT talebi ve terminaller ağ tasarım sürecinden önce tespit edilir.

Terminallerden başlayan, ağdaki bütün olası TT rotaları ve transferler tespit edilmektedir ve bu yapılırken en kısa yol ve rotaların seyahat süreleri de belirlenmektedir. TT ağının zirve saatlerindeki ortalama seyahat süresi ölçülmektedir. Böylelikle her BV çifti arasındaki en kısa yollar veri grubundan yararlanılarak hesaplanır. Elde edilen her rota çeşitli rota uzunluk kısıtları kullanılarak elenmektedir. Her BV çifti arasındaki rotanın seyahat süresinin bir limiti vardır. Yani belli bir zamanda, belli bir talep bir rotaya en kısa yol süresinin belli bir yüzdesi kadar yakın ise atama gerçekleşmektedir. Yolculukların başladığı terminaller tanımlanır ve rotaların başlangıç düğümünü oluşturur. Düşük talebe sahip bir düğüm için doğrudan ulaşım olan bir rota kullanmanın dezavantajı transferlerle giderilebilir. Olası rotaların her birinin bulunması ile birlikte en kısa rotanın bulunmasına gerek kalmaz, çünkü olası tüm rotalar içerisinde en düşük ortalama seyahat süresine sahip olan rota en kısa rotadır. Bu aşamada getirilen kısıtlar TT ağının karakterini belirleyen en önemli etkidir. En kısa yolun belli bir yüzdesi kadar seyahat süresine sahip olup olmaması veya rotaların sadece terminallerden başlayabilmesi gibi kısıtlarla olası rotaların miktarı azalmaktadır.

**Adım 2:** Yolculukları sağlayacak en az elemanlı rota setleri oluşturulmaktadır. Rota setleri en kısa yoldan minimum sapmayı ve her düğüme ulaşımı sağlayan setlerdir. Bu problem literatürde rota seti oluşturma problemi olarak tanımlanmaktadır. Rota seti oluşturma probleminin temel amacı olası bütün rota setleri içerisinde en uygun rota setinin diğer bir ifade ile en uygun senaryonun belirlenmesidir. Seçilecek olan rota setindeki rotalar ile bütün düğümlere ulaşımın sağlanması gerekmektedir. Bu rotalar arasındaki geçiş terminale dönüp rota değiştirmek veya transfer yapmak vasıtasıyla olabilir. Rota setlerinin içerisindeki rota sayılarının belirli bir limiti yoktur. Olası rota setlerinin oluşturulması transferlerin değerlendirilmediği tam sayılı programlama optimizasyonu ile, TT ağları için tam sayı değişkenli rahatlama metotlarını kullanan doğrusal olmayan programlama ile veya bütün olası setlerin enumerasyonu ile mümkün olabilmektedir.

**Adım 3:** TT ağındaki tüm talep ilgili BV düğümlerine atanmaktadır. Atama sürecinde temel amaç ilk gelen aracın tercih edilmesi veya daha çabuk gidenin tercih edilmesidir. Yolcu stratejisi duraklardaki, transferlerdeki ve araç içindeki toplam bekleme süresini minimize etmek üzerine kuruludur. Talebin ilgili rotalara atanması sonucunda rota üzerinde çalışacak olan araçların frekansları hesaplanmaktadır. Bu frekansların hesaplanması sonucunda elde edilen değerler amaç fonksiyonlarında kullanılmıştır (Ceder, 2007).

Aşağıdaki açıklamalar Ceder (2007)'den alınmıştır. Bağlantılı,  $G = \{N, A\}$  grafiğinde sonlu sayıda düğümlerden oluşan bir ağda; amaç fonksiyonları tanımlanmıştır. Birinci ve ikinci amaç fonksiyonu 5 tane ayrı amaç fonksiyonunu birleştirmektedir. İlk amaç fonksiyonu yolcuların bekleme sürelerini minimize etmek amaçlıdır. Bu tamamen kullanıcı perspektifine dahil edilen bir durumdur. Denklem (3.16)'deki şekilde ifade edilmektedir.

$$Mina_1 \sum_{i,j \in N} WT(i, j) \quad (3.16)$$

Burada  $a_1 =$  bir saatlik bekleme süresinin mali karşılığıdır.

İkinci amaç ise kullanılmayan koltuk sayısını minimize etmektir ve bu durum daha fazla seyahat olanağı sağlamaktadır. Bu durum kesinlikle işletme açısından bakılan bir durumdur çünkü daha fazla yer olanağı sunmaktadır. Amaç formülasyonu Denklem (3.17)'de verilmiştir:

$$W_r = \frac{1}{2F_r} \quad (3.17)$$

Burada,  $W_r$ ,  $r$  rotasındaki yolcu bekleme süresini,  $F_r$ ,  $r$  rotası ile bağıntılı araç frekansını temsil etmektedir. Fonksiyonun tam açılımı Denklem (3.18)'deki gibidir.

$$\sum_{i,j \in N} WT(i, j) = \sum_{r \in R} \frac{1}{2F_r} \left[ \sum_{i,j \in N_r} d_{ij}^r + \sum_{i,j \in N_{tr}} d_{ij}^{tr} a_{tr}^r \right] \quad (3.18)$$

Burada,  $R$ , TT rotaları grubunu,  $\{r\}$ , spesifik rotayı,  $N_{tr}$ ,  $tr$  transfer yolu üzerinde yer alan düğümlerin kümesini,  $N_r$ ,  $r$  rotasında yer alan düğümler kümesini,  $i, j, \in N$ ,  $r$  rotasında olduğu durumda,  $d_{ij}^r$ ,  $i$  ve  $j$  arasındaki yolcu talebini, temsil etmektedir.

Aynı zamanda  $a_{tr}^r = 1$  ise  $tr$  transferi  $r$  rotasında var, 0 ise yok anlamını taşımaktadır. Diğer amaç fonksiyonu Denklem (3.19)'da gösterilmiştir.

$$EH_r = \left[ \max(L_r, F_{min} \cdot d_o) \right] t_r - \sum_{i,j \in N} PH(i, j) \quad (3.19)$$

Burada  $L_r$ ,  $r$  rotasındaki maksimum yolcu yüklemesini,  $F_{min}$ , ihtiyaç duyulan minimum frekansı,  $d_o$ , her araçta arzulanan doluluğu (yükleme standardı) ve  $tr$ ,  $r$ , rotasının başlangıçtan sona kadar toplam seyahat süresini temsil etmektedir. Denklem (3.20) en kısa yoldan olan farkı temsil eden fonksiyondur.

$$\sum_{i,j \in N} DPH(i, j) = \sum_{i,j \in N} PH(i, j) - \sum_{sp \in S} \sum_{j \in N_{sp}} d_{ij}^{sp} t_{ij}^{sp} \quad (3.20)$$

Burada,  $d_{ij}^{sp}$ , en kısa yol boyunca  $i$  ve  $j$  arasındaki yolcu talebini,  $t_{ij}^{sp}$ ,  $i$  ve  $j$  arasındaki en kısa rotanın ortalama seyahat süresini,  $S$ , bütün en kısa yolların kümesini (minimum ortalama seyahat süreleri),  $N_{sp}$ ,  $sp$  en kısa yolu üzerinde yer alan düğümlerin kümesini göstermektedir. Denklem (3.21) alt fonksiyondur.

$$\sum_{i,j \in N} PH(i, j) = \sum_{r \in R} \sum_{i,j \in N_r} d_{ij}^r t_{ij}^r + \sum_{tr \in TR} \sum_{ij \in N_{tr}} d_{ij}^{tr} t_{ij}^{tr} \quad (3.21)$$

Burada,  $d_{ij}^{tr}$ ,  $tr$  transfer yolu boyunca  $i$  ve  $j$  arasındaki yolcu talebini,  $t_{ij}^{tr}$ ,  $r$  rotasında  $tr$  transfer yolunda  $i$  ve  $j$  arasındaki ortalama seyahat süresini (transfer penaltıları dahil),  $t_{ij}^r$ ,  $r$  rotasında  $i$  ve  $j$  arasındaki ortalama seyahat süresini,  $d_{ij}^r$ ,  $i, j, \in N$  durumunda  $r$  rotasında  $i$  ve  $j$  arasındaki yolcu talebini ve  $TR$ , bütün transfer yolları grubunu temsil etmektedir.

**Adım 4:** Yolcular, işletme ve kamu açılarından optimizasyon kriterleri temsil edilmektedir. Bu aşamada Z1 ve Z2 olmak üzere iki değişken değerlendirilmektedir. Z1 fonksiyonu bekleme süreleri, boş koltuk saat ve en kısa yol ile ilgili alt değişkenlerden oluşmaktadır. Toplu taşıma ağ tasarımı problemi değişik rota setleri için 2 temel amaç fonksiyonu üzerine kurulmuştur, bu amaç fonksiyonları minimum Z1 ve minimum Z2 olarak belirtilmektedir. Tek bir grup için kullanılan amaç fonksiyonu Denklem (3.22)'de gösterilmektedir;

$$Z_1 = a_1 \sum_{i,j \in N} WT(i, j) + a_2 \sum_r EH_r + a_4 \sum_{i,j \in N} DPH(i, j) \quad (3.22)$$

karşılaştırma için kullanılan amaç fonksiyonları Denklem (3.23) ve (3.24)'de gösterilmektedir;

$$Z_1 = a_1 \sum_{i,j \in N} WT(i, j) + a_2 \sum_r EH_r + \sum_{i,j \in N} \left[ a_3 PH(i, j) - a_4 DPH(i, j) \right] \quad (3.23)$$

$$Z_2 = FS \quad (3.24)$$

Burada  $PH_{(i,j)}$ ,  $i, j \in N$  olduğu zaman  $i$  ve  $j$  düğümleri arasındaki yolcu-km'yi temsil etmektedir (yolcuların saatlik bazda araçtaki seyahat süresi olarak tanımlanmakta; yolcular tarafından 2 düğüm arasında sarf edilen süreyi ölçmektedir).  $DPH_{(i,j)}$  ise  $i, j \in N$  olduğu zaman  $PH_{(i,j)}$  ve toplam  $i$  ve  $j$  arasında en kısa yoldan giderkenki yolcu-km cinsinden farkı göstermektedir.  $WT_{(i,j)}$ ,  $i, j \in N$  durumunda,  $i$  ve  $j$  düğümleri arasındaki bekleme süresini temsil etmektedir (2 düğüm arasında yolcuların otobüs durağında harcadığı zaman olarak tanımlanmaktadır).  $EH_r$ ,  $r$  rotasındaki boş koltuk-saati göstermektedir (saatlik bazda kullanılmayan koltuklar olarak tanımlanmaktadır, araçlardaki kullanılmayan kapasiteyi temsil eder).  $FS$  ise filo büyüklüğünü temsil etmektedir (ihtiyaç duyulan seyahatleri sağlayacak toplu taşıma araçları miktarı).  $a_k$  ise mali veya diğer ağırlıkları,  $k = 1, 2, 3, 4$  şeklinde temsil etmektedir.

Verilen ilk amaç fonksiyonu minimum bekleme süresi ve maksimum fayda olarak tanımlanabilmektedir. Yolcu-saat birimi, amaç fonksiyonunun birimi olarak tanımlanabilmektedir. İkinci fonksiyon ise ihtiyaç duyulan filo büyüklüğünü tanımlamaktadır.

**Adım 5:** Alternatif rota setlerinin en uygun  $Z1$  ve  $Z2$  değerleri bulunmaktadır. Bu arayış artan bir ivme ile sürdürülmektedir. İteratif olarak  $Z1$  değerini sağlayan en kötü rota setinin silinmesi ile ilerlenmektedir. Bu prosedür devam etmektedir. Ancak her zaman bir sonraki rota setinin daha iyi olacağının garantisi yoktur. Bu şekilde elde  $Z1$  açısından verimli rota setleri kalmakta ve verimsiz rotalar silinmektedir. Bu adımda rota setinin verimliliğini daha iyi yansıtması açısından  $Z3$  ve  $Z4$  değerleri değerlendirilmektedir.

Toplam PE bütün zonların erişilebilirlik değerleri toplamı olarak ifade edilmekte ve Denklem (3.25)'da verilmiştir.

$$PA = \sum_i A_i = \sum_i \sum_j D_j d_{ij}^{-\alpha} \quad (3.25)$$

burada  $A_i$  (he/dak)  $i$  zonunun zon  $j'$  deki tüm  $D_j$  fırsatlarına erişebilme ölçütüdür,  $d_{ij}$ ,  $i$  ve  $j$  zonları arasındaki direnim faktörüdür ve  $\alpha$  ise uzaklık direnimini temsil eden parametredir.

FEE mevcut durum ve Denklem (3.26)'dan yararlanılarak senaryolar için ayrı ayrı hesaplanır.

$$\sum_i A_i = \sum_i \frac{1}{\beta} \ln \sum_j D_j e^{-\beta \cdot c_{i,j,m}} \quad (3.26)$$

Burada, “ $n$ ” bireyine ait erişilebilirlik ( $A_i$ ), “ $i$ ” alanında yaşayan bireyin, “ $m$ ” ulaşım türünün “ $c_{ijm}$ ” maliyeti ile ulaşabileceği, “ $j$ ” noktasında bulunan “ $D$ ” olanaklarından elde edebileceği fayda olarak yorumlanmaktadır.

**Adım 6:** Çok amaçlı problemin minimum değerlerini sağlayan fonksiyonlarının değerlendirilmesi yapılmaktadır. Sonuçlar listelenir ve en uygun rota setini dolayısıyla senaryoyu gösterir. Böylelikle karar verici organ  $Z1$  ve  $Z2$  arasındaki ilişkiyi inceleyerek daha isabetli kararlar alabilir.

Aynı zamanda  $Z3$  ve  $Z4$  fonksiyonlarının eklenmesi ile birlikte toplumsal faydanın ve kamu yararının seçim sürecine daha iyi yansıtılması sağlanmış olur. Elde edilen rota setleri  $Z1$  ve  $Z2$  amaç fonksiyonlarının yanında  $Z3$  ve  $Z4$  amaç fonksiyonları ile birlikte sorgulanarak kararlaştırılır. Karar verme sürecinde değerlendirilen amaç fonksiyonlarının arttırılması ile verilen kararın etkinliği ve isabetliliği arttırılmaktadır.



### 3.5 Sonuç

Geliştirilen yöntem iki temel yaklaşımdan oluşmaktadır.

İlk yöntem TT planlamasının karar verme süreçlerinin geliştirilmesi üzerine kurulmuştur. Karar verme süreçleri içerisinde erişilebilirlik ölçütlerinin etkinliğinin arttırılması toplumsal faydanın karar içerisindeki temsil gücünü arttırmaktadır. Bu nedenle PE ve FEE ltleri her senaryo grubu için hesaplanılarak senaryo seçim süreci içerisinde değerlendirilmiştir. Senaryoların oluşturulmasında VISUM trafik planla programından faydalanılmıştır.

İkinci yaklaşımda Ceder (2007)'in TT ağ tasarımı yöntemi geliştirilmiştir. Kamu, işletme ve yolcu perspektiflerini temsil eden amaç fonksiyonlarının en iyi rotaların belirlenmesinde belirleyici fonksiyonu PE ve FEE tabanlı amaç fonksiyonlarının fonksiyonlar grubuna eklenmesi ile bu yöntem geliştirilmiştir.

## **4. PE ve FEE ÖLÇÜTLERİNİN VERİMLİLİK GÖSTERGESİ OLARAK KULLANILMASI**

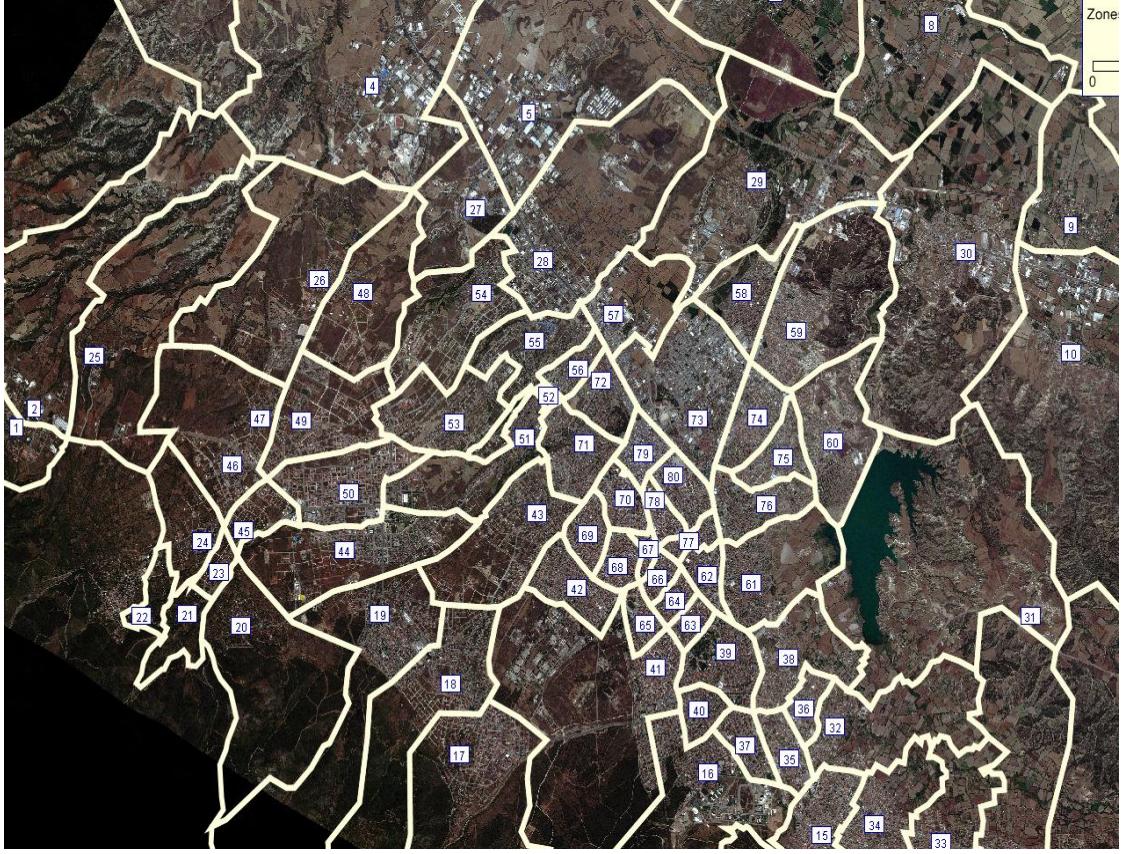
### **4.1 Giriş**

Mevcut durumun TT'ya yönelik PE değerleri Denizli için VISUM yazılımdan yararlanılarak zaman çizelgeli atama yöntemi ile bulunmuştur. Orta ölçekli bir kent olan Denizli çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Denizli TT Planlama Çalışması (2011) ve DUAP (2010), bu bölümde çalışmanın kaynağı olarak değerlendirilmiştir. Bu amaçla hane halkı anketleri, toplu taşıma talep matrisleri ve arazi kullanım envanterleri tez kapsamında değerlendirilmiştir.

### **4.2 Çalışma Alanının Genel Özellikleri**

Denizli, Türkiye'nin Ege Bölgesinde yer alan merkez nüfusu 500,000 civarında olan bir kenttir. Ünlü turizm bölgesi Pamukkale'nin hemen yanında yer alan bir turizm ve sanayi kenti olan Denizli merkezde 80 mahalleye (zon) sahiptir (DUAP, 2010). Merkezde yer alan zonlar alansal olarak küçülmekte ve çeperlere gidildikçe alansal olarak zonlar genişlemektedir. Şehrin zonal durumu Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Zonlar tek zon merkezlidir ve bu zon merkezleri konut yoğunluğuna göre belirlenmiş olan zon merkezleridir (DUAP, 2010).

Ulaşım ana planı çalışmaları kapsamında 4000 hane ile anket yapılmıştır ve kişilerin ulaşım alışkanlıkları tespit edilmiştir. Ulaşım talebi özel araç, otobüs, minibüs, servis ve taksiler ile sağlanmaktadır. Son yıllarda yoğun özel araç kullanımı ve düşük oranda TT sistemlerinin kullanımı nedeniyle çeşitli trafik problemleri doğmuştur (DUAP, 2010). TT'da en fazla yükü kentte otobüs ve minibüs türleri taşımaktadır. DUAP verilerine göre Denizli'de 2010 yılı itibari ile genel özel araç kullanımı %22'dir, TÜİK verilerine göre bu değer Türkiye ortalamasının yaklaşık iki katına tekabül etmektedir. Minibüsler 14 yolcu kapasiteli ve otobüsler 50,70 ve 100 yolcu kapasiteli araçlardan oluşmaktadır (DUAP,2010).



Şekil 4.1: Denizli merkez ilçe için zon durumu.

Ulaşım talep matrisleri hane halkı anketleriyle elde edilmiş ve hane halkı anketleri için örneklem büyüklüğü %2 olarak belirlenmiştir (DUAP, 2010). BV matrisleri 14000 kişiye, ortalama 4000 aileye yapılan anketlerle belirlenmiştir. Zirve saat trafik hacminin (07:00-09:00) genel trafik hacminin %30'u olduğu tespit edilmiştir. DUAP'ndan TT rotaları, akım yönleri, durak lokasyonları, yolculuk yoğunlukları, doluluk oranları ve kalkış zamanları gibi pek çok sosyo-ekonomik, mekansal ve işletmeye yönelik veri elde edilmiştir. Otobüs ve minibüs sistemleri tarafından kullanılan TT ağı Şekil 4.2'de gösterilmektedir.





Şekil 4.2: Denizli merkez ilçede minibüs ve otobüsler tarafından kullanılan yol ağı.

Araç içi anketleri 3000 otobüs ve 1500 minibüs kullanıcılarına yönelik olarak yapılmıştır. Bu oran günlük talebin yaklaşık %4'üne denk gelmektedir. Minibüs türü kent içerisinde otobüsten daha çok tercih edilmektedir. Minibüsler kalkış, taşıma ve durak yerleri açısından çok daha esnektir. Minibüsler kent içi trafiği olumsuz yönde etkilemektedirler (DUAP,2010). Özellikle aşırı kapasite kullanımı ve durak yerleri dışında kontrolsüz duruşlar en belirgin olumsuzluklardır. Minibüs araçlarının fazlalığı nedeniyle bu durumun kontrolü güçleşmektedir.

### 4.3 VISUM Trafik Simülasyon Modeli

VISUM bir ulaşım sistemini analiz etmeye ve planlamaya yarayan bir ulaşım planlaması programıdır ve TT sistemlerinin kapsamlı analizine olanak tanımaktadır. Zonlar arasındaki ulaşım talebi zaman çizelgeli, sistem tabanlı ve aralık tabanlı atama yöntemleri ile bağlara atanmaktadır.

Bütün TT sistemine ait rotaların kalkış sürelerinin ve varış zamanlarının hesaba katılarak yapıldığı atamaya zaman çizelgeli atama denilmektedir. Bu atama türü rota planı ve detaylı kalkış çizelgesi olduğu zaman uygun olmaktadır. Zaman çizelgesindeki koordinasyonu değerlendirerek kesin sayılabilecek atama sonuçlarını vermektedir. Bu yöntem bütün yolcuların kalkış sürelerini bildiğini ve buna göre hareket ettiğini varsaymaktadır. Bu süreçte yolcuların değişik yollar bularak direnimi düşürebilecekleri varsayılmaktadır. Bağlantı araştırmasında değişik alternatifler bulma açısından 2 değişken (dal ve bağlı ve en kısa yol araması) kullanılmaktadır. Zaman çizelgeli yöntem eğer rotaların ve zaman çizelgesinin programa girilmesi mümkünse yapılabilir ve bu çalışmada "Dal ve Bağlı Araştırma Algoritması" kullanılmıştır.

#### **4.4 PE Ölçütünün Verimlilik Göstergesi Olarak Kullanılması**

##### **4.4.1 Toplu taşıma tabanlı PE hesaplanmasında yaklaşım**

Denklem (2.1-2.4)'de belirtilen ve TT planlamasında verimlilik göstergesi olarak kullanılan değerler mevcut durum için hesaplanmıştır. Bu değerlerin elde edilmesinden sonra çeşitli senaryolar oluşturularak bu senaryolar için aynı değerler yeniden hesaplanarak karşılaştırma yapılmıştır. Sonra Denklem (2.6) yardımı ile bölgenin zonal bazda toplam PE değerleri hesaplanmış ve hangi senaryonun daha verimli olduğu konusunda yorumlamalar yapılmıştır (Gulhan ve diğ., 2013).

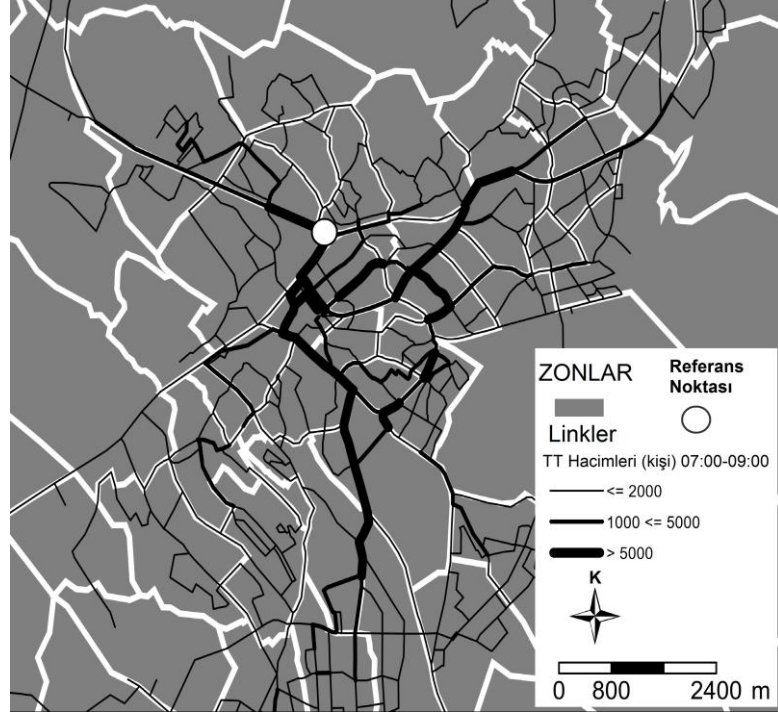
##### **4.4.2 Mevcut duruma yönelik toplu taşıma ataması ve analiz**

Şehirleşme sürecinde nüfus sanayileşme ve sosyo- ekonomik büyüme uzmanlaşma ve örgütlenme ile eş zamanlı hareket etmektedir. Bu süreçle birlikte özel araç kullanımı da artmıştır. Bu durum ile paralel olarak Denizli'de arazi kullanım yapısı trafik problemlerine neden olmaktadır. Özellikle merkez ve tarihi çekirdek zonlardaki dar arazi kullanım yapısı, düzensiz parklanma ve plansız kentleşme trafik akışı hızını olumsuz yönde etkilemektedir.

Hane halkı anketlerine göre insanlar 3 km üzerindeki yolculuklar için TT veya özel araç türünü kullanmaktadırlar. 5-12 km arasındaki yolculukların %67'si toplu taşıma araçları ile gerçekleştirilmektedir. Toplu taşıma araçları 19, 26 ve 36 koltuklu olmak üzere 3 çeşittir ve 50, 70 ve 100 maksimum kapasite ile servis vermektedir. Bu kapasite kullanım oranının çok yüksek olduğu ve düşürülmesi gerektiği açık olarak görülmektedir. Minibüsler ise 14 koltukludur ve ayakta yolcu taşınması yasaktır. Otobüs ve minibüs araçlarının ortalama hızları 25 ve 15 km/s' olarak bulunmuştur. (DUAP, 2010). Hane halkı anketleri göstermektedir ki TT kullanıcıları uzun seyahat süreleri, uzun kalkış frekansları ve aşırı kapasite kullanımından şikayetçidirler. Hane halkı anketlerinden elde edilen demografik veriler ve değerleri Ek A.1' de verilmiştir. Ek A.2'de arazi kullanım çeşitleri ve değerleri gösterilmiştir. TT ataması sırasında ve PE hesaplamalarında bu veri gruplarından yararlanılmıştır.

Hane halkı anketlerine göre günlük yolculuğun %30'u olan 86.500 yolcu 32 aktif otobüs hattında ve 15 minibüs hattında taşınmaktadır ve toplam 36,480 servis kilometre ile hizmet vermektedir. TT'ya yönelik geleneksel göstergeleri elde edebilmek için sabah zirve saati sayılan 07:00-09:00 aralığı için zaman çizelgeli TT ataması yapılmıştır. Bu amaçla bağlar, kesişme noktaları, duraklar, toplu taşıma rotaları ve 80 zon için ulaşım talep matrisleri VISUM programına girilmiştir. Aynı zamanda otobüs ve minibüs hatları için mevcut zaman çizelgeleri de programa tanıtılmıştır. Şekil 4.3 sabah zirve saati için yapılan TT ataması sonuçlarını göstermektedir. Mevcut duruma yönelik yapılan TT ataması ile toplam seyahat süresi ve araç içi seyahat süresi matrisleri elde edilmiş, PE ve FEE hesaplarında kullanılmıştır. Kentteki genel toplu taşıma servis kalite parametresi  $Q = 1.45$  olarak bulunmuştur. Genelde otobüs maksimum yükleme kapasiteleri koltuk sayısının %125 ve %150'si olarak kabul edilse de bu değer %180'e kadar kabul edilebilmektedir (TRB, 1999).

Mevcut TT sistemi için başarı hesaplanmasında gündüz zirve saatleri (07:00-09:00) için zaman çizelgeli atama yapılmıştır. Bu amaçla VISUM'a bağlar, kavşak kesişimleri, TT durakları, TT rotaları ve 80 zon için BV talep matrisleri girilmiştir. Otobüs ve minibüs sistemlerinin zaman çizelgeli atama sürecinde mevcut durumdaki zaman çizelgesi kullanılmıştır (Gulhan ve diğ., 2013).. Merkez bölgesinde gündüz zirve saat atama sonrası TT yolculuk hacimleri Şekil 4.3'de gösterilmektedir.



Şekil 4.3: Sabah zirve saati (07:00-09:00) için yapılan TT ataması sonuçları ve bağ hacimleri.

Şekil 4.3'de görüldüğü üzere kentin merkezindeki bağlar TT hacimleri çeperlerde olduğundan daha fazladır. Bu durumda TT türlerinin değerlendirilmesi ile birlikte ortalama yükleme faktörü Denklem (2.1)'in modifiye edilmesiyle Denklem (4.1)'deki gibi ifade edilmektedir.

$$\bar{\lambda} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{f_i} p_i^j + \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^{f_k} p_k^j}{m+n}, \quad (i=1,2,\dots,m; k=1,2,\dots,n) \quad (4.1)$$

burada  $m$  ve  $n$  sırasıyla otobüs ve minibüs rotaları sayısıdır. Ayakta yolcu taşınması yasağı olduğundan dolayı minibüs sistemleri için maksimum kabul edilebilir yükleme faktörü 1.00 olarak kabul edilmektedir. Benzer olarak ortalama kapasite kullanım oranı, yolculuk başına ortalama hacim ve toplam kapasite göstergeleri Denklem (4.2-4.4)'de ifade edilmiştir.

$$\bar{\gamma} = \frac{\sum_{i=1}^m \frac{g_i}{h_i \cdot c_i} + \sum_{j=1}^n \frac{g_j}{h_j \cdot c_j}}{m+n}, \quad (i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n) \quad (4.2)$$

$$\bar{\delta} = \frac{\sum_{i=1}^m \frac{g_i}{h_i} + \sum_{j=1}^n \frac{g_j}{h_j}}{m+n}, \quad (i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n) \quad (4.3)$$

$$C = \sum_{i=1}^m c_i + \sum_{j=1}^n c_j, \quad (i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n) \quad (4.4)$$

Mevcut durum için ortalama yükleme faktörü otobüs için "1.91" ve minibüs için "0.86" olarak bulunmuştur. Diğer bir ifade ile bazı otobüs ve minibüs hatlarının yükleme faktörleri "1.80" ve "1.00" in üzerindedir. Bu nedenle, servis frekansları bütün rotalar için yeniden ayarlanmak ve yüksek kapasite ile çalışan rotalar göreceli olarak daha sık çalışmalıdırlar. Mevcut durumda objektif göstergeler için elde edilen sonuçlar Tablo 4.1' de gösterilmektedir.

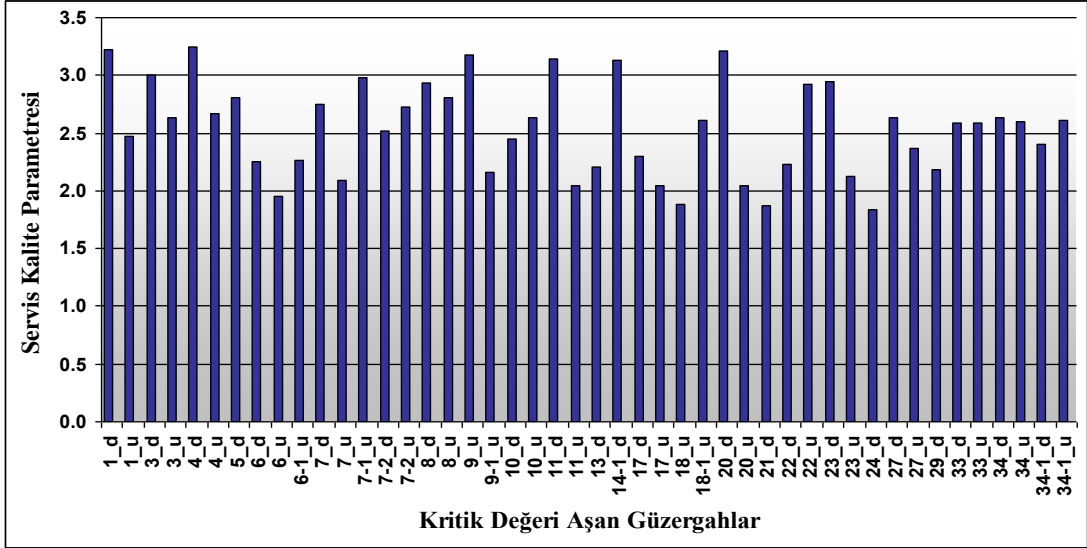
Tablo 4.1: Mevcut durum için elde edilen objektif göstergeler.

	$\bar{\lambda}$	$\bar{\gamma}$	$\bar{\delta}$	$C$
<b>Otobüs</b>	1.91	0.44	2675	40570
<b>Minibüs</b>	0.86	0.47	405	40642
<b>Genel</b>	1.45	0.45	3081	81212

Tablo 4.1'de görülmektedir ki, servis kalite parametresi, ortalama kapasite kullanım oranı, yolculuk başına ortalama hacim ve toplam kapasite sırasıyla 1.45, 0.45, 3081 ve 81212 olarak bulunmuştur. Senaryolar değerlendirilirken bu göstergeler eski durum ile karşılaştırılacak değerler olarak kullanılacaktır.

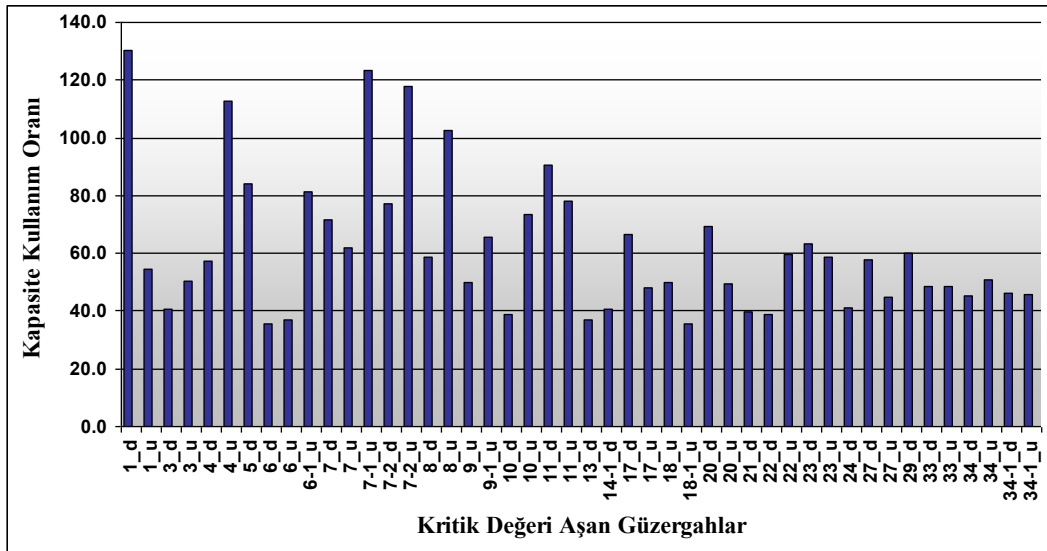
Şekil 4.4'de ortalama yükleme faktörü değerleri ( $\bar{\lambda}$ ) hat bazında otobüs hatları için gösterilmektedir. Böylelikle müdahale edilerek düzeltilmesi gereken hatlar net olarak görülmektedir.





Şekil 4.4: Mevcut durumda servis kalite parametresi 1.80'den yüksek hatlar (#\_u ve #\_d gidiş ve dönüşü temsil etmektedir).

Şekil 4.4'de görüldüğü üzere toplam 46 rota servis kalite parametresi sınırını aşmaktadır. Bu nedenle TT kullanıcılarının daha iyi koşullarda hizmet almaları için servis kalite parametresi düşürülmelidir. Temelde işletme açısından bir gösterge olan kapasite kullanım oranı 45% olarak tespit edilmiştir. Servis kalite parametresi yüksek olan hatların kapasite kullanım oranları Şekil 4.5'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5: Mevcut durumda servis kalite parametresi 1.80'den yüksek hatlar için kapasite kullanım oranları (#\_u ve #\_d gidiş ve dönüşü temsil etmektedir).

Şekil 4.4 ve 4.5'de görülmektedir ki bazı otobüs hatlarında yoğunluk vardır ve 100%'den fazla bir kapasite kullanımı vardır. Bu nedenle çeşitli senaryolarla mevcut durumun iyileştirilmesi bir zorunluluktur.

#### 4.4.3 İyileştirme senaryoları

Mevcut durumun irdelenmesi sonucunda anlaşılmıştır ki, yüksek kapasite kullanım oranları, yetersiz servis frekansları ve minibüs servisleri iyileştirilmelidir. Bu kapsamda yerel idarenin geçmiş kararları da gözetenmiş ve üç tane farklı senaryo geliştirilerek Tablo 4.2'de gösterilmiştir.

Tablo 4.2: Denizli TT sistemi için geliştirilen senaryolar.

Senaryolar
1. TT zaman çizelgesi düzenlemesi (ZÇD)
2. ZÇD + Merkeze giriş kısıtlaması (MGK)
3. ZÇD + MGK + Tercihli Otobüs Hattı (TOH) entegrasyonu

Tablo 4.2'den görüldüğü üzere, senaryolar eklenik olarak geliştirilmiştir. Geliştirilen senaryolar objektif göstergeler açısından değerlendirilmiştir.

##### Senaryo 1: ZÇD

Kentsel TT sisteminin fiziksel ve işletimsel tasarımı genellikle rotalama, frekanslar ve filo büyüklüğü yönünden ele alınır (Alonso, B. ve diğ., 2011). Bu kapsamda, otobüs ve minibüs sistemlerinin kalkış frekansları Denklem (2.5) baz alınarak yeniden düzenlenmiştir. Bu düzenleme sonucunda bazı otobüs hatlarının çok az talep görmesi nedeniyle maksimum kalkış periyodu 30 dakika olarak kabul edilmiştir (Ceder, 2007). Tablo 4.3. Mevcut durum ve Senaryo 1 için belirlenen kalkış aralıklarını ve araç tiplerini göstermektedir.

Tablo 4.3: Senaryo 1'deki yoğun hatlar için belirlenen kalkış aralıkları (dak.) ve araç tipleri.

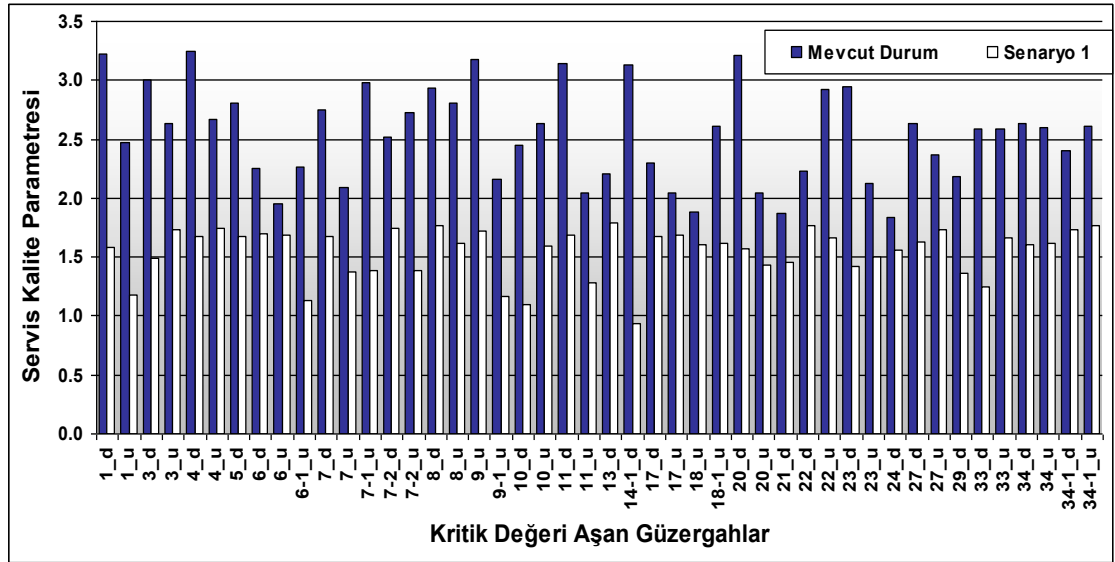
Otobüs Hattı*		1_d	1_u	3_d	3_u	4_d	4_u	5_d	6_d	6_u	6-1_u	7_d	7_u
Mevcut Durum	Frekans	11	30	20	30	8	30	15	13	15	60	13	30
	Tip**	I	I	II	II	III	III	II	III	III	III	II	II
Senaryo 1	Frekans	20	30	16	15	30	30	6	9	12	30	10	30
	Tip**	II	II	I	I	III	III	II	III	III	III	III	III
Otobüs Hattı*		7-1_u	7-2_d	7-2_u	8_d	8_u	9_u	9-1_u	10_d	10_u	11_d	11_u	13_d
Mevcut Durum	Frekans	60	14	60	10	30	10	45	60	5	20	30	30
	Tip**	III	III	III	III	III	II	III	I	I	III	III	II
Senaryo 1	Frekans	30	10	30	5	15	5	25	30	15	4	20	20
	Tip**	III	III	III	III	III	II	III	I	I	III	III	I
Otobüs Hattı*		14-1_d	17_d	17_u	18_u	18-1_u	20_d	20_u	21_d	22_d	22_u	23_d	23_u

<b>Mevcut Durum</b>	<i>Frekans</i>	120	60	40	20	15	12	20	30	16	30	15	15
	<i>Tip**</i>	III	II	II	II	I	II	II	III	II	II	III	III
<b>Senaryo 1</b>	<i>Frekans</i>	30	24	20	17	12	8	30	10	20	30	5	10
	<i>Tip**</i>	I	I	I	II	II	III	III	I	III	III	III	III
<b>Otobüs Hattı*</b>		<b>24_d</b>	<b>27_d</b>	<b>27_u</b>	<b>29_d</b>	<b>33_d</b>	<b>33_u</b>	<b>34_d</b>	<b>34_u</b>	<b>34-1_d</b>	<b>34-1_u</b>		
<b>Mevcut Durum</b>	<i>Frekans</i>	30	15	16	15	9	30	10	10	30	30		
	<i>Tip**</i>	III	II	II	II	III	III	III	III	III	III		
<b>Senaryo 1</b>	<i>Frekans</i>	12	15	13	6	4	10	6	6	20	18		
	<i>Tip**</i>	I	III	III	I	III	III	III	III	III	III		

\* #\_u ve #\_d gidiş ve dönüşü temsil etmektedir.

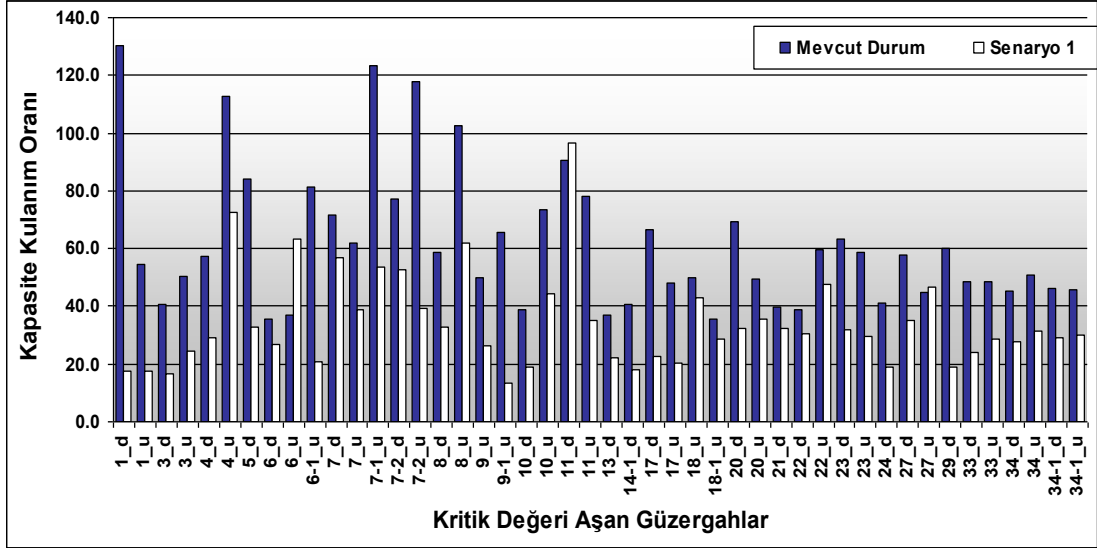
\*\* I, II ve III küçük, orta boy ve büyük boy araçları temsil etmektedir.

Şekil 4.6'da ortalama yükleme faktörü değerleri Mevcut durum ve Senaryo 1 için gösterilmektedir. Böylelikle müdahale edilerek düzenlenmiş hatlardaki iyileşme net olarak görülmektedir. Bazı hatlarda frekansların seyrekleştirildiği görülmektedir, bu durum o hatta gereksiz yere fazla araç servisi olduğunun göstergesidir. Bu nedenle frekanslar değiştirilmiştir.



Şekil 4.6: Mevcut durumda servis kalite parametresi 1.80'den yüksek hatların Senaryo 1 ile karşılaştırılması (#\_u ve #\_d gidiş ve dönüşü temsil etmektedir).

Şekil 4.6'da bütün rotaların servis kalite parametresi değerlerinin 1.80 değerinin altına indirildiği görülmektedir. Şekil 4.4'de görüldüğü üzere 46 rota servis kalite parametresi sınırını aşmaktadır. Servis kalite parametresi yüksek olan hatların kapasite kullanım oranları Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7: Mevcut durumda servis kalite parametresi 1.80'den yüksek hatlar için kapasite kullanım oranlarının Senaryo 1 ile karşılaştırılması (#\_u ve #\_d gidiş ve dönüşü temsil etmektedir).

Mevcut durumda servis kalite parametresi iyileştirilen hatların kapasite kullanım oranlarındaki değişimler otobüs hatlarının rahatladığını ve konfor seviyesinin arttığını göstermektedir.

#### Senaryo 2: ZÇD+MGK

Bayramyeri olarak bilinen kentsel çekirdek bölge Merkezi İş Alanı (MİA)'dır ve günlük seyahatlerin büyük oranını çekmektedir. Bayramyeri'ndeki temel problem minibüslerin sıklığı ve kuralsız davranışlarından doğan trafik sıkışıklığıdır ve bu durum özellikle zirve saatlerde trafik güvenliğini tehlikeye atmaktadır (DUAP, 2010). Şekil 4.8 minibüslerin bölge deki kavşaklarda trafiği nasıl etkilediğini göstermektedir.

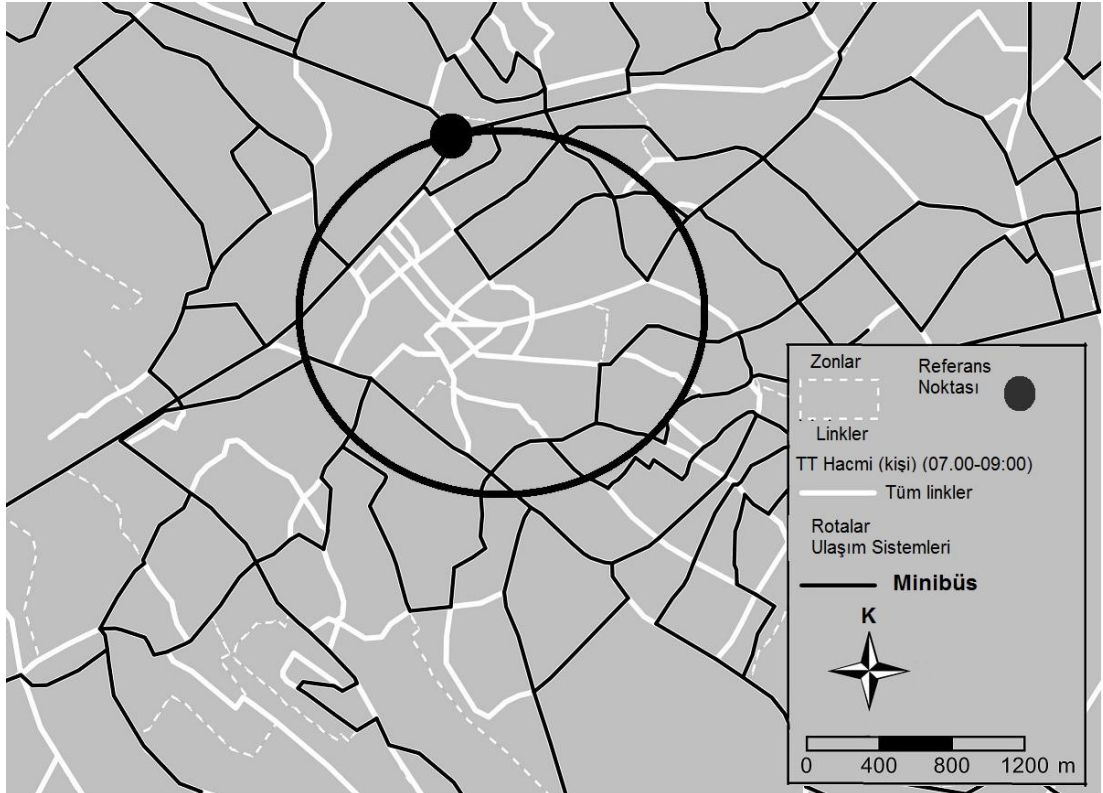


Şekil 4.8: Anayoldaki bir sinyalizasyon kavşağından görünüm.

İlgili zonun mekânsal hacmi yaya erişimi için uygun büyüklüktedir. Yaya bir zon içerisinde kuş uçuşu uzaklık olarak en fazla 400 m yürüyerek her noktaya ulaşabilmektedirler ve bu menzil TT hizmet kalitesi açısından yeterli bir yürüyüş menzildir (Murray, A.T. ve diğ., 1998). Bu nedenle minibüs araçlarının Bayramyeri Bölgesi'ne girişinin yasaklanması trafik sıkışıklığını düşürecek ve yaya ulaşımını teşvik edecektir. Minibüs türü için yasaklanmış bölge Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Servis kalite parametresi 1.80'den büyük olan otobüs hatları Tablo 4.4'deki gibi düzenlenmiştir.

Tablo 4.4: Senaryo 2'deki yoğun hatlar için belirlenen aralıklar (dak.) ve araç tipleri.

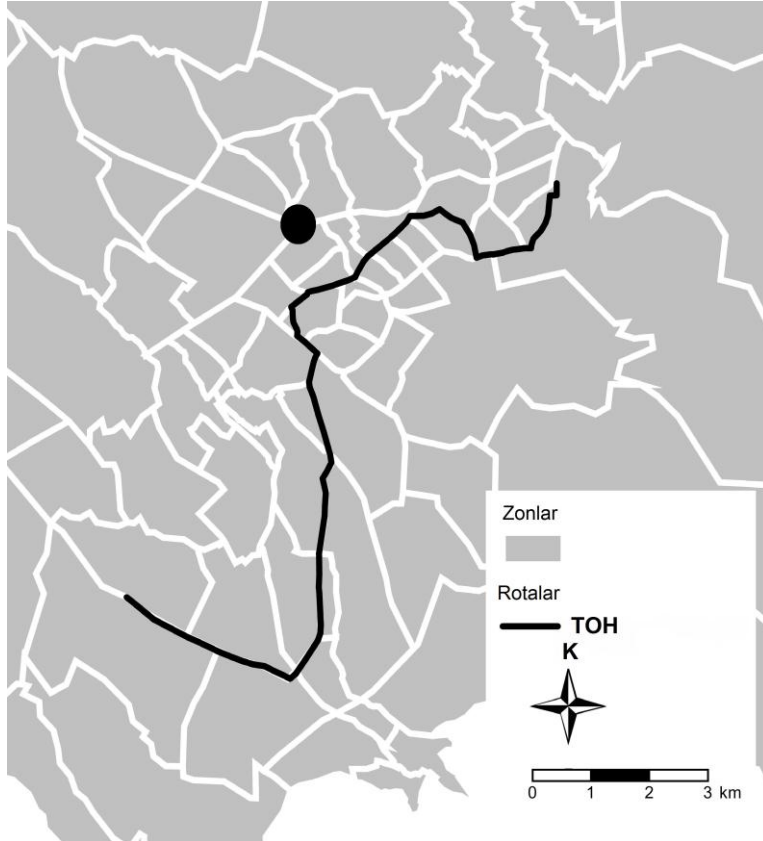
Otobüs Rotası		1_d	3_u	4_u	5_d	6_d	6_u	6-1_d	7_d	7-1_d	8_d	8_u	9_d
Senaryo 2	<i>h</i>	4	13	14	4	6	8	10	5	11	2	13	13
	Tip	III	I	III	II	III	III	III	III	II	III	III	II
Otobüs Rotası		9_u	9-1_d	10_u	13_d	14_d	18_u	22_d	24_u	25_d	30_u	33_u	34-1_d
Senaryo 2	<i>h</i>	4	12	12	5	4	14	3	20	10	9	9	16
	Tip	II	III	I	II	II	II	III	I	I	I	III	III



Şekil 4.9 : Minibüsler için yasaklanmış alan.

### Senaryo 3: ZÇD+MGK+TOH

TT talebinin önemli bir kısmının yaratımı MİA nedeniyle olmaktadır ve kentin gelişme alanları bu yaratımda önemli bir rol oynamaktadır. Ticari, konut, eğitim ve rekreasyon alanları değerlendirilerek oluşturulmuş olan TOH rotası Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10: Tercihli Otobüs Hattı.

Servis kalite parametresi 1.80'den büyük olan otobüs hatları Tablo 4.5'deki gibi düzenlenmiştir.

Tablo 4.5: Senaryo 3'deki yoğun hatlar için belirlenen aralıklar (dak.) ve araç tipleri.

Otobüs rotası	22_d	10_u	7-1_u	
Senaryo 3	<i>h</i>	2	11	16
Tip	III	I	II	

Üç senaryonun düzenlenmesinden sonra her senaryo için objektif göstergeler hesaplanmıştır ve tüm senaryolar için elde edilen değerler Tablo 4.6'da gösterilmiştir.

Tablo 4.6: Senaryolar için hesaplanan objektif ölçütler.

		Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
$\bar{\lambda}$	<b>Otobüs</b>	1.21	1.38	1.30
	<b>Minibüs</b>	0.66	0.71	0.65
	<b>TOH</b>	-	-	1.48
	<b>Genel</b>	1.00	1.09	1.03
$\bar{\gamma}$	<b>Otobüs</b>	0.27	0.28	0.25
	<b>Minibüs</b>	0.36	0.37	0.34
	<b>TOH</b>	-	-	0.21
	<b>Genel</b>	0.30	0.32	0.29
$\bar{\delta}$	<b>Otobüs</b>	1697	1802	1666
	<b>Minibüs</b>	309	325	299
	<b>TOH</b>	-	-	73
	<b>Genel</b>	2006	2127	2038
$C$	<b>Otobüs</b>	67820	84380	89090
	<b>Minibüs</b>	51156	29092	30268
	<b>TOH</b>	-	-	8750
	<b>Genel</b>	118976	113472	128108

Tablo 4.6'da görülmektedir ki en düşük yükleme faktörü 1.00 ile Senaryo 1'dir. Senaryo 3'deki ortalama kapasite oranı diğerlerinden düşüktür. Senaryo 2 yolculuk başına ortalama hacim oranı en yüksek senaryo olduğu için en verimli TT sistemini sağlayabilir yorumu yapılabilir. Ayrıca görülmektedir ki, mevcut duruma oranla bütün senaryolarda toplam kapasite artmaktadır ama Senaryo 3 en fazla kapasiteye sahiptir. Bu sonuçlarda görülmektedir ki, bütün senaryolar bazı objektif göstergeler açısından faydalı görülebiliyor. Bu durumda senaryoların kentsel erişilebilirliğe olan etkilerini incelemek ayırt edici bir faktördür.

#### 4.4.4 Toplu taşıma planlamasına yönelik olarak PE yaklaşımı ve hesaplama

PE ölçütünü TT planlamasında değerlendirme enstrmanı olarak kullanmak planlama sürecinde daha sağlıklı kararlar alınmasını sağlayacaktır. PE hesaplaması sürecinde karşımıza fırsat ve direnım olarak iki kavram çıkmaktadır. Fırsat kavramı mekânsal olan ve yolculuk talebi yaratan her türlü arazi kullanım hedefidir. Mesafe ise direnımı temsil etmektedir. Çalışmada mesafe yani direnım seyahat süresi cinsinden değerlendirilmiştir. Seyahat süresi ve araç içi süre mesafe olarak kabul edilmiştir. Zonlar arası ulaşım süreleri VISUM programında yapılan TT ataması ile elde edilmiştir. Arazi kullanımın en temel faaliyetleri olan konut alanları ve ticaret alanları fırsat faktörü olarak değerlendirilmiştir. Konut alanları ve ticaret alanları ise Denizli Belediyesi planlama çalışmalarından elde edilmiştir. Mesafe etki parametresi olarak Gulhan ve diğ. (2008)'nin çalışma alanında yapmış olduğu duyarlılık analizi sonucunda elde ettikleri 1.00 katsayısı kabul edilmiştir. PE ölçütü, TT planlaması sürecinde projeksiyonlar ve senaryo göstergeleri karar vermek için yeterli durumda değilse, verimlilik göstergesi olarak kullanılabilir. Bu yolla arazi kullanım ve ulaşım etkileşimi de TT planlamasına yansıtılmış olur.

PE değerleri konut alanları, ticari alanlar, toplam seyahat süresi ve araç içi seyahat süreleri kullanılarak dört farklı şekilde hesaplanmıştır. Ticaret olarak kabul edilen sınıflama yolculuk yaratımına neden olan resmi kurum, ticari kullanışlar, sanayi alanları ve pazaryerleri alanları toplanarak bulunmuş olup ticari alanlar adı altında değerlendirilmiştir. Tablo 4.7'de mevcut durumda bütün zonlar için her kombinasyonda PE değerleri gösterilmektedir.

Tablo 4.7 : Mevcut durum için zonal bazda PE değerleri [(m<sup>2</sup>/dk)/10.000].

	Analiz 1	Analiz 2	Analiz 3	Analiz 4
Zon	Konut alanı/Toplam seyahat süresi	Ticaret alanı /Toplam seyahat süresi	Ticaret alanı/Araç içindeki seyahat süresi	Konut alanı /Araç içindeki seyahat süresi
1	17.2	8.9	16.9	32.7
2	33.2	67.5	107.7	52.9
3	13.8	140.1	950.3	93.6
4	104.2	1209.0	1693.7	145.9
5	13.5	422.3	1459.5	46.8
6	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0
8	82.2	64.2	75.8	97.1
9	0.0	0.0	0.0	0.0
10	33.7	135.0	287.8	71.9



<b>Zon</b>	<b>Analiz 1 Konut alanı/Toplam seyahat süresi</b>	<b>Analiz 2 Ticaret alanı /Toplam seyahat süresi</b>	<b>Analiz 3 Ticaret alanı/Araç içindeki seyahat süresi</b>	<b>Analiz 4 Konut alanı /Araç içindeki seyahat süresi</b>
11	28.6	5.8	6.5	32.0
12	0.0	0.0	0.0	0.0
13	47.7	2.9	3.5	57.7
14	235.6	13.7	15.5	267.0
15	417.6	39.1	46.5	496.9
16	106.2	33.0	60.5	194.6
17	179.5	19.2	30.4	284.6
18	265.3	11.1	13.3	318.8
19	319.0	11.9	14.2	381.7
20	41.6	2.5	4.0	67.2
21	36.3	0.0	0.0	56.9
22	46.5	0.0	0.0	69.4
23	48.0	0.3	0.4	59.4
24	61.8	2.0	4.7	147.1
25	45.8	30.2	36.7	55.8
26	153.3	30.2	38.0	193.3
27	2.8	55.1	166.9	8.4
28	27.1	536.3	892.8	45.1
29	98.0	80.2	103.6	126.6
30	206.0	91.5	120.0	270.2
31	47.0	0.0	0.0	53.4
32	125.2	34.0	64.7	237.9
33	136.6	13.1	21.2	220.3
34	420.4	30.8	46.0	628.1
35	165.6	37.8	52.2	228.7
36	72.1	34.0	70.2	148.7
37	107.9	4.2	6.2	161.1
38	258.6	6.0	8.7	373.0
39	262.2	56.1	76.8	358.9
40	119.0	1.6	2.5	183.5
41	258.2	19.1	29.9	403.7
42	225.6	0.4	0.5	342.2
43	265.6	15.1	20.4	358.7
44	190.8	77.9	91.8	224.8
45	105.8	15.8	19.1	127.8
46	58.6	17.1	27.6	94.5
47	126.3	26.6	31.0	147.1
48	28.1	10.2	15.4	42.4
49	202.3	6.6	8.8	270.0
50	135.1	112.3	135.0	162.5
51	112.5	8.4	13.4	179.4
52	66.2	1.7	3.3	127.3
53	235.6	12.6	18.4	343.9
54	160.0	53.4	73.2	219.4
55	203.7	34.8	85.6	501.2
56	91.7	4.6	9.6	191.7
57	0.0	72.4	152.3	0.0
58	0.1	17.1	33.8	0.3
59	229.4	50.2	64.2	293.4
60	132.8	20.7	27.7	177.7
61	314.9	2.1	4.0	598.1

Zon	Analiz 1	Analiz 2	Analiz 3	Analiz 4
	Konut alanı/Toplam seyahat süresi	Ticaret alanı /Toplam seyahat süresi	Ticaret alanı/Araç içindeki seyahat süresi	Konut alanı /Araç içindeki seyahat süresi
62	91.6	25.1	47.8	174.4
63	90.2	4.9	11.1	206.6
64	82.4	10.0	24.0	198.2
65	93.4	3.7	7.2	180.6
66	54.6	17.9	39.2	119.5
67	1.4	65.3	114.5	2.5
68	134.0	3.1	5.5	233.8
69	188.7	0.0	0.0	283.6
70	38.8	98.9	326.4	128.1
71	225.9	8.9	22.3	567.3
72	81.8	39.9	83.7	171.6
73	97.7	45.6	120.6	258.4
74	207.6	8.8	19.6	464.4
75	156.3	2.7	5.9	346.4
76	199.2	13.2	28.1	423.1
77	45.6	63.0	151.8	109.9
78	38.8	37.8	99.3	101.8
79	0.0	128.3	364.4	0.1
80	48.7	89.3	190.9	104.0
<b>Toplam</b>	<b>9399.5</b>	<b>4475.2</b>	<b>9025.4</b>	<b>15147.6</b>

Tablo 4.7'de görüldüğü gibi toplam PE değeri mevcut durumda en yükseğe araç içindeki seyahat süresi ve konut kombinasyonu ile ulaşmaktadır. En düşük PE değeri ise ticaret ve seyahat süresi kombinasyonunda görülmektedir. Tablo 4.8'de Senaryo 1'de bütün zonlar için her kombinasyonda PE değerleri gösterilmektedir.

Tablo 4.8: Senaryo 1 için zonal bazda PE değerleri [(m<sup>2</sup>/dk)/10.000].

Zon	Analiz 1	Analiz 2	Analiz 3	Analiz 4
	Konut alanı/Toplam seyahat süresi	Ticaret alanı /Toplam seyahat süresi	Ticaret alanı/Araç içindeki seyahat süresi	Konut alanı /Araç içindeki seyahat süresi
1	17.34	8.97	17.00	32.84
2	33.46	68.11	108.34	53.22
3	13.94	141.50	952.77	93.84
4	105.73	1227.19	1710.91	147.41
5	13.50	421.39	1444.00	46.26
6	0.01	0.00	0.00	0.01
7	0.01	0.00	0.00	0.02
8	82.21	64.19	75.42	96.59
9	0.03	0.00	0.00	0.04
10	34.13	136.55	290.55	72.61
11	28.86	5.85	6.55	32.31
12	0.01	0.00	0.00	0.01
13	49.09	3.00	3.76	61.48
14	243.71	14.17	16.01	275.28
15	423.62	39.68	47.24	504.25
16	109.22	33.97	63.23	203.28

<b>Zon</b>	<b>Analiz 1 Konut alanı/Toplam seyahat süresi</b>	<b>Analiz 2 Ticaret alanı /Toplam seyahat süresi</b>	<b>Analiz 3 Ticaret alanı/Araç içindeki seyahat süresi</b>	<b>Analiz 4 Konut alanı /Araç içindeki seyahat süresi</b>
17	186.38	19.92	32.11	300.52
18	270.27	11.28	13.60	325.94
19	326.22	12.17	14.59	391.16
20	41.94	2.49	4.03	67.89
21	36.87	0.00	0.00	57.73
22	47.19	0.00	0.00	70.16
23	48.32	0.34	0.42	59.87
24	62.58	1.99	4.71	148.13
25	46.17	30.40	36.91	56.07
26	164.35	32.32	41.07	208.86
27	2.76	54.97	165.36	8.32
28	26.89	532.26	887.03	44.82
29	100.59	82.32	106.62	130.28
30	207.68	92.26	120.64	271.58
31	48.30	0.00	0.00	54.88
32	127.97	34.80	66.22	243.51
33	140.34	13.49	21.80	226.67
34	434.35	31.80	48.09	656.96
35	167.17	38.13	52.80	231.49
36	73.74	34.80	71.78	152.13
37	111.03	4.30	6.45	166.39
38	264.73	6.19	8.91	380.90
39	270.81	57.93	79.68	372.48
40	121.85	1.64	2.51	186.62
41	263.61	19.51	31.02	419.13
42	228.43	0.36	0.55	347.62
43	269.46	15.34	20.79	365.17
44	199.46	81.40	95.99	235.23
45	110.03	16.46	19.88	132.94
46	59.57	17.37	28.16	96.55
47	133.57	28.16	33.06	156.84
48	29.48	10.73	16.54	45.47
49	209.15	6.80	9.17	281.80
50	139.78	116.18	139.80	168.20
51	115.54	8.66	13.88	185.25
52	67.12	1.76	3.39	129.35
53	240.04	12.85	18.84	351.87
54	165.71	55.29	77.26	231.58
55	205.93	35.16	87.24	510.93
56	93.04	4.67	9.82	195.70
57	0.01	72.95	152.82	0.01
58	0.14	17.46	34.95	0.29
59	238.99	52.31	67.71	309.37
60	135.68	21.13	28.77	184.75
61	321.09	2.14	4.12	617.77
62	93.27	25.58	48.84	178.08
63	91.11	4.90	11.35	210.93
64	83.57	10.12	24.70	204.03
65	94.89	3.80	7.40	184.80
66	55.74	18.29	40.66	123.89
67	1.45	66.38	117.38	2.56

Zon	Analiz 1	Analiz 2	Analiz 3	Analiz 4
	Konut alanı/Toplam seyahat süresi	Ticaret alanı /Toplam seyahat süresi	Ticaret alanı/Araç içindeki seyahat süresi	Konut alanı /Araç içindeki seyahat süresi
68	136.29	3.19	5.59	238.71
69	195.36	0.00	0.00	300.80
70	39.21	99.88	332.48	130.53
71	226.88	8.93	22.67	575.80
72	82.57	40.26	82.85	169.93
73	98.76	46.10	123.08	263.70
74	210.84	8.90	20.02	474.10
75	157.62	2.69	6.02	352.79
76	200.58	13.33	29.01	436.46
77	45.81	63.26	153.05	110.83
78	39.17	38.21	101.79	104.36
79	0.05	129.86	374.01	0.13
80	49.20	90.30	195.53	106.55
<b>Toplam</b>	<b>9611.58</b>	<b>4531.05</b>	<b>9111.33</b>	<b>15567.55</b>

Tablo 4.8'de görüldüğü üzere toplam PE değeri Senaryo 1'de en yükseğe araç içindeki seyahat süresi ve konut kombinasyonu ile ulaşmaktadır ve mevcut durumdan yüksektir. En düşük PE değeri ise ticaret ve seyahat süresi kombinasyonunda görülmektedir. Tablo 4.9'da Senaryo 2'de bütün zonlar için her kombinasyonda PE değerleri gösterilmektedir.

Tablo 4.9: Senaryo 2 için zonal bazda PE değerleri [(m<sup>2</sup>/dk)/10.000].

Zon	Analiz 1	Analiz 2	Analiz 3	Analiz 4
	Konut alanı/Toplam seyahat süresi	Ticaret alanı /Toplam seyahat süresi	Ticaret alanı/Araç içindeki seyahat süresi	Konut alanı /Araç içindeki seyahat süresi
1	17.06	8.83	16.83	32.52
2	32.93	67.03	107.32	52.72
3	13.49	136.94	827.54	81.50
4	101.81	1181.64	1754.91	151.20
5	12.72	396.99	1293.25	41.43
6	0.01	0.00	0.00	0.01
7	0.01	0.00	0.00	0.02
8	78.82	61.55	72.94	93.42
9	0.03	0.00	0.00	0.04
10	32.74	130.99	277.23	69.28
11	25.01	5.07	5.62	27.74
12	0.01	0.00	0.00	0.01
13	44.90	2.74	3.62	59.22
14	220.80	12.84	14.36	247.00
15	375.95	35.22	41.23	440.13
16	108.18	33.65	63.04	202.69
17	183.58	19.62	31.70	296.59
18	263.11	10.98	13.33	319.65
19	318.48	11.88	14.34	384.45
20	41.48	2.46	4.05	68.11
21	36.35	0.00	0.00	57.17

<b>Zon</b>	<b>Analiz 1 Konut alanı/Toplam seyahat süresi</b>	<b>Analiz 2 Ticaret alanı /Toplam seyahat süresi</b>	<b>Analiz 3 Ticaret alanı/Araç içindeki seyahat süresi</b>	<b>Analiz 4 Konut alanı /Araç içindeki seyahat süresi</b>
22	46.82	0.00	0.00	69.82
23	47.73	0.34	0.42	59.35
24	61.81	1.96	4.69	147.40
25	45.45	29.92	36.51	55.46
26	160.29	31.52	39.96	203.22
27	2.59	51.52	148.46	7.47
28	24.65	487.83	801.38	40.49
29	94.28	77.16	100.03	122.22
30	194.44	86.38	114.48	257.70
31	46.00	0.00	0.00	52.16
32	118.79	32.30	61.53	226.29
33	130.91	12.59	20.08	208.80
34	399.67	29.26	44.60	609.19
35	147.10	33.55	46.37	203.28
36	67.90	32.04	62.29	132.01
37	108.34	4.20	6.27	161.76
38	235.57	5.51	8.64	369.47
39	249.25	53.32	72.89	340.73
40	116.98	1.57	2.43	180.66
41	258.26	19.12	30.25	408.64
42	224.27	0.36	0.55	343.45
43	260.04	14.81	20.19	354.59
44	193.01	78.76	92.89	227.64
45	107.48	16.08	19.48	130.23
46	58.35	17.02	27.71	95.02
47	133.47	28.14	33.06	156.82
48	28.80	10.48	16.05	44.11
49	202.37	6.58	8.84	271.90
50	135.59	112.70	136.74	164.51
51	108.87	8.16	12.90	172.10
52	61.28	1.61	3.04	116.12
53	223.38	11.96	17.26	322.45
54	153.35	51.16	70.06	210.00
55	192.22	32.82	79.58	466.02
56	85.47	4.29	8.78	174.91
57	0.00	65.26	131.17	0.01
58	0.13	16.45	33.65	0.27
59	220.84	48.33	65.12	297.53
60	121.03	18.85	26.17	168.08
61	293.60	1.96	3.68	551.56
62	85.20	23.37	43.79	159.67
63	89.50	4.82	11.53	214.39
64	81.37	9.85	24.79	204.77
65	94.36	3.78	7.95	198.37
66	53.98	17.72	40.90	124.63
67	1.39	63.77	113.50	2.47
68	129.72	3.04	5.73	244.43
69	181.23	0.00	0.00	273.10
70	38.23	97.37	400.84	157.37
71	221.09	8.71	30.16	765.81
72	80.90	39.44	85.92	176.23

Zon	Analiz 1	Analiz 2	Analiz 3	Analiz 4
	Konut alanı/Toplam seyahat süresi	Ticaret alanı /Toplam seyahat süresi	Ticaret alanı/Araç içindeki seyahat süresi	Konut alanı /Araç içindeki seyahat süresi
73	95.19	44.43	118.89	254.73
74	193.79	8.18	17.82	422.02
75	144.15	2.46	5.37	314.49
76	198.66	13.20	25.78	387.81
77	40.29	55.64	129.49	93.77
78	37.16	36.24	100.86	103.41
79	0.05	142.14	404.49	0.14
80	47.51	87.19	190.84	103.99
<b>Toplam</b>	<b>9081.60</b>	<b>4315.63</b>	<b>8708.13</b>	<b>14949.92</b>

Tablo 4.9'da toplam PE değeri Senaryo 2'de en yükseğe araç içindeki seyahat süresi ve konut kombinasyonu ile ulaşmaktadır. Fakat bu değerler mevcut durumdan düşüktür. En düşük PE değeri ise ticaret ve seyahat süresi kombinasyonunda görülmektedir. Tablo 4.10'da Senaryo 3'de bütün zonlar için her kombinasyonda PE değerleri gösterilmektedir.

Tablo 4.10: Senaryo 3 için zonal bazda PE değerleri [(m<sup>2</sup>/dk)/10.000].

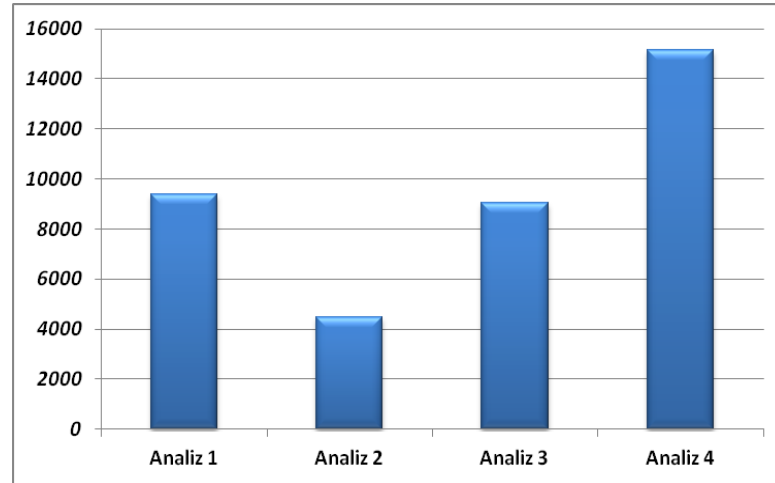
Zon	Analiz 1	Analiz 2	Analiz 3	Analiz 4
	Konut alanı/Toplam seyahat süresi	Ticaret alanı /Toplam seyahat süresi	Ticaret alanı/Araç içindeki seyahat süresi	Konut alanı /Araç içindeki seyahat süresi
1	16.86	8.73	16.63	32.13
2	32.41	65.98	105.70	51.92
3	13.33	135.31	815.14	80.28
4	98.17	1139.39	1702.78	146.71
5	12.44	388.21	1261.90	40.43
6	0.01	0.00	0.00	0.01
7	0.01	0.00	0.00	0.02
8	76.95	60.09	70.80	90.68
9	0.03	0.00	0.00	0.03
10	31.66	126.68	255.33	63.81
11	24.69	5.00	5.55	27.35
12	0.01	0.00	0.00	0.01
13	44.00	2.69	3.40	55.72
14	219.44	12.76	14.28	245.57
15	370.09	34.67	40.60	433.38
16	105.72	32.88	60.38	194.13
17	178.51	19.08	30.38	284.33
18	257.53	10.74	12.92	309.77
19	311.79	11.63	13.85	371.33
20	39.56	2.35	3.76	63.22
21	35.82	0.00	0.00	56.18
22	46.33	0.00	0.00	69.10
23	47.18	0.33	0.42	58.50
24	61.42	1.95	4.66	146.47
25	44.46	29.27	35.70	54.23
26	155.17	30.51	38.76	197.10

<b>Zon</b>	<b>Analiz 1 Konut alanı/Toplam seyahat süresi</b>	<b>Analiz 2 Ticaret alanı /Toplam seyahat süresi</b>	<b>Analiz 3 Ticaret alanı/Araç içindeki seyahat süresi</b>	<b>Analiz 4 Konut alanı /Araç içindeki seyahat süresi</b>
27	2.53	50.20	144.62	7.27
28	23.68	468.72	769.75	38.89
29	92.15	75.42	97.75	119.44
30	179.98	79.95	104.53	235.31
31	44.86	0.00	0.00	50.74
32	115.86	31.51	60.22	221.47
33	124.22	11.94	18.40	191.31
34	381.42	27.92	42.83	585.12
35	145.33	33.15	49.51	217.08
36	67.48	31.84	61.74	130.84
37	102.17	3.96	5.91	152.57
38	234.50	5.49	8.13	347.38
39	234.15	50.09	67.12	313.73
40	108.43	1.46	2.24	166.46
41	247.86	18.35	29.14	393.69
42	219.67	0.35	0.53	333.31
43	252.65	14.38	19.33	339.50
44	179.62	73.30	86.41	211.76
45	105.08	15.72	18.93	126.53
46	57.25	16.70	27.09	92.90
47	134.55	28.36	33.42	158.51
48	28.13	10.23	15.68	43.11
49	198.48	6.46	8.64	265.56
50	129.77	107.86	129.97	156.37
51	106.64	7.99	12.56	167.58
52	59.27	1.55	2.91	111.03
53	214.71	11.49	16.58	309.63
54	153.75	51.30	71.03	212.88
55	185.33	31.65	75.28	440.89
56	83.11	4.17	8.51	169.46
57	0.00	64.46	128.66	0.01
58	0.13	16.26	32.26	0.26
59	217.18	47.53	64.76	295.87
60	120.54	18.77	26.10	167.63
61	289.57	1.93	3.60	540.22
62	81.84	22.45	41.67	151.95
63	84.91	4.57	10.78	200.31
64	79.05	9.57	23.80	196.63
65	91.45	3.66	7.36	183.84
66	53.50	17.56	40.72	124.06
67	1.36	62.43	110.60	2.41
68	121.84	2.86	5.40	230.32
69	178.59	0.00	0.00	268.95
70	38.03	96.87	377.14	148.06
71	218.05	8.59	25.16	639.04
72	80.01	39.01	81.90	167.98
73	95.44	44.54	118.92	254.79
74	188.75	7.97	17.37	411.18
75	144.29	2.46	5.36	314.17
76	199.05	13.23	25.53	384.06
77	40.28	55.62	126.22	91.40

Zon	Analiz 1 Konut alanı/Toplam seyahat süresi	Analiz 2 Ticaret alanı /Toplam seyahat süresi	Analiz 3 Ticaret alanı/Araç içindeki seyahat süresi	Analiz 4 Konut alanı /Araç içindeki seyahat süresi
78	37.29	36.37	101.38	103.94
79	0.05	141.12	410.79	0.14
80	47.62	87.39	192.41	104.85
<b>Toplam</b>	<b>8845.04</b>	<b>4194.99</b>	<b>8459.55</b>	<b>14364.77</b>

Tablo 4.10'da toplam PE değeri Senaryo 3'de en yükseğe araç içindeki seyahat süresi ve konut kombinasyonu ile ulaşmaktadır. Fakat bu değerler mevcut durumdan ve Senaryo 2'den düşüktür. En düşük PE değeri ise ticaret ve seyahat süresi kombinasyonunda görülmektedir.

Şekil 4.11'de her kombinasyonda hesaplanan PE değerlerinin zonal toplamları karşılaştırılmaktadır. Toplamlar her analiz grubu için oluşturulmuş ve karşılaştırılma yapılmıştır.



Şekil 4.11: Her kombinasyon için PE değerlerin zonal toplamları.  $[(m^2/dk)/10000]$ .

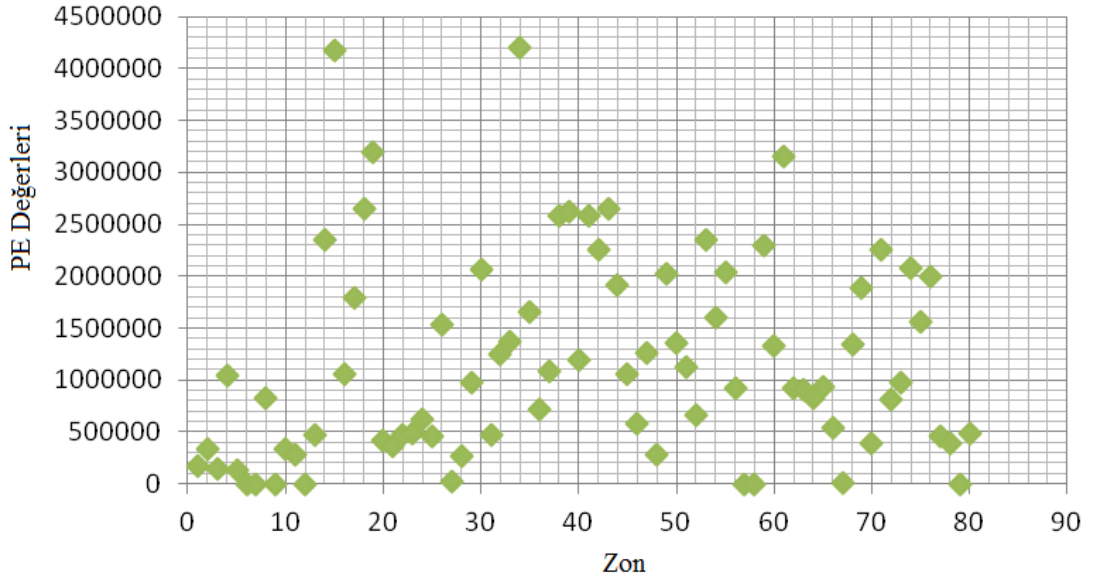
Şekil 4.11'de, zonal toplamların birbirleri ile karşılaştırılması yerine senaryolar oluşturulduktan sonra ilgili analiz grubu ile karşılaştırılmıştır. Tablo 4.11'de senaryoların PE sonuçları karşılaştırılmaktadır.

Tablo 4.11: Mevcut durum ve senaryolar için PE sonuçları  $(m^2/dak)/10000$ .

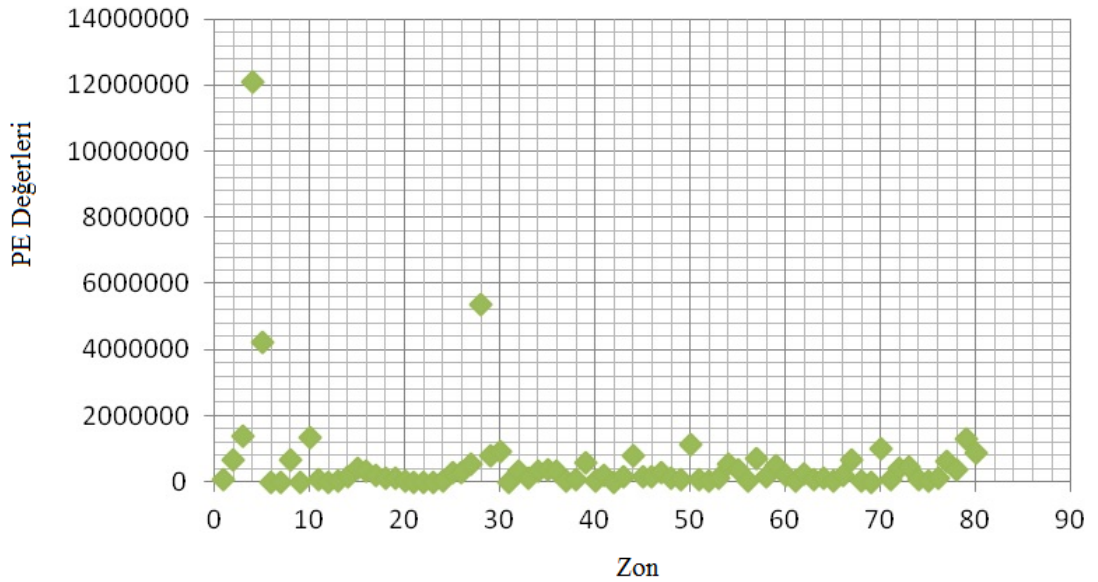
	Mevcut Durum	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo3
Seyahat süresi & Konut alanları	9399	9612	9082	8845
Araç içi süre & Konut alanları	15148	15568	14950	14365
Seyahat süresi & Ticaret Alanları	4475	4531	4316	4195
Araç içi süre & Ticaret alanları	9025	9111	8708	8460



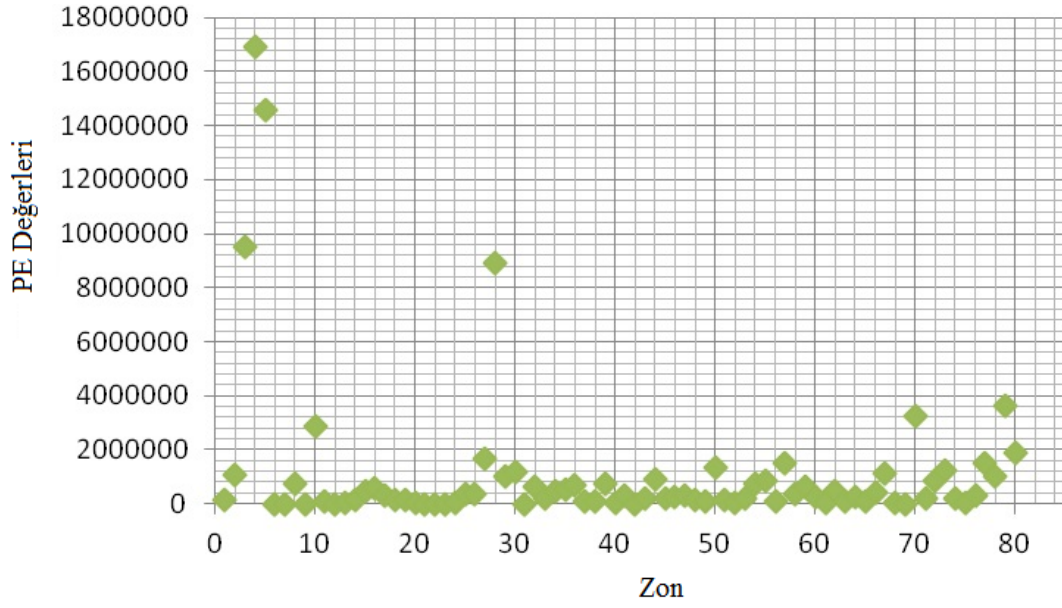
Tablo 4.11'de Senaryo 1 hem mevcut durumdan hem de diğer senaryolardan daha yüksek erişilebilirlik değerine sahiptir. Çünkü her analiz grubunda kullanılan arazi kullanım özelliği ve direnim birbirinden farklıdır. Şekil 4.12, 4.13, 4.14 ve 4.15'de Analiz 1,2,3 ve 4 için hesaplanan PE değerleri grafiksel olarak gösterilmektedir.



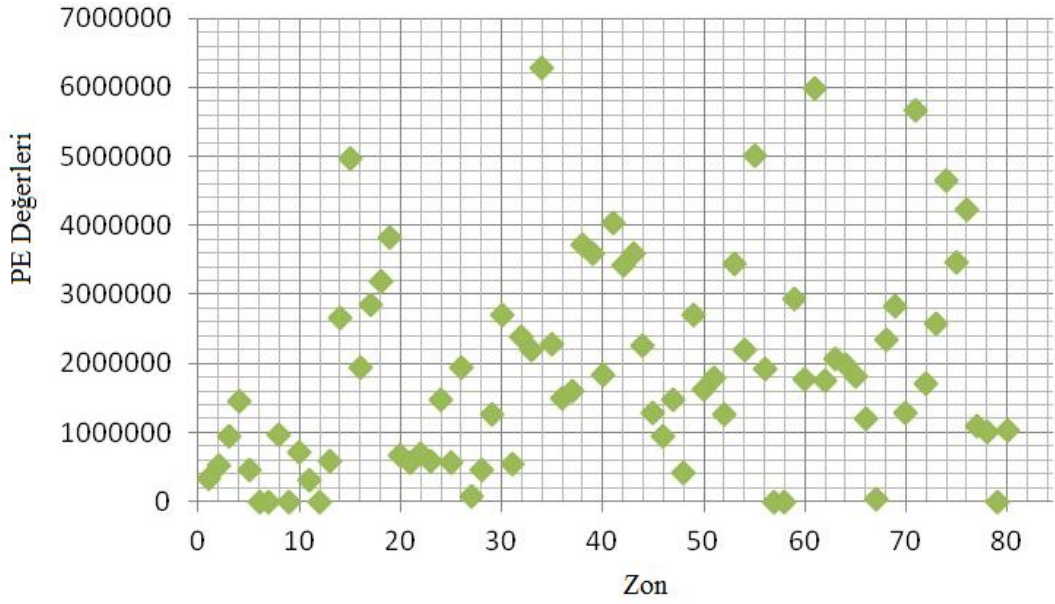
Şekil 4.12: Analiz 1 için hesaplanan PE değerleri zonal bazda gösterilmektedir.  
( $m^2/dk$ ).



Şekil 4.13: Analiz 2 için hesaplanan PE değerleri zonal bazda gösterilmektedir.  
( $m^2/dk$ ).



Şekil 4.14: Analiz 3 için hesaplanan PE değerleri zonal bazda gösterilmektedir. (m<sup>2</sup>/dk).



Şekil 4.15: Analiz 4 için hesaplanan PE değerleri zonal bazda gösterilmektedir. (m<sup>2</sup>/dk).

Grafiksel gösterim zonal iniş çıkışların görülebilmesi açısından önemlidir. Senaryolar ile birlikte mevcut durumun gösterilmesi zonal değişikliklerin fark edilebilmesini sağlamaktadır.

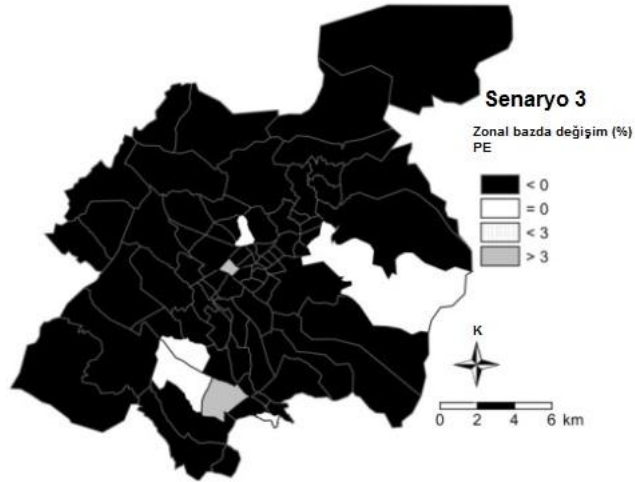
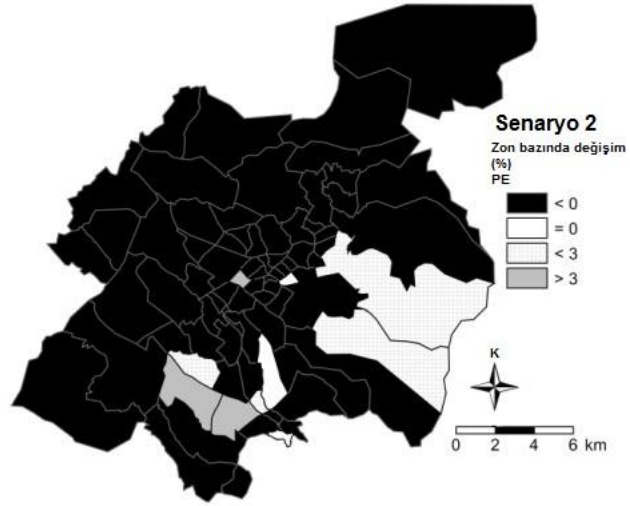
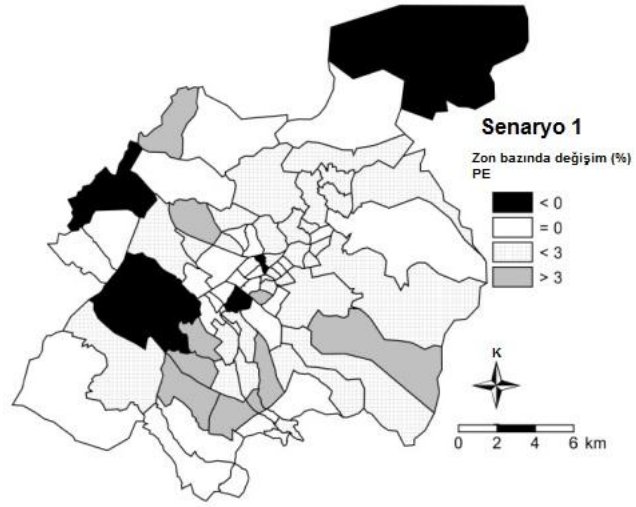
#### 4.4.5 Karar aşaması ve sonuç

Mevcut durum ve göstergeler incelendiğinde çalışma bölgesinde TT sisteminin iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda TT hizmetinin kalitesini arttırmak ve merkezi alanlardaki trafik sıkışıklığını gidermek için üç tane senaryo geliştirilmiştir. Birinci senaryo zaman çizelgesi iyileştirmesi, ikinci senaryo zaman çizelgesi iyileştirmesine ek olarak MIA'ya minibüs giriş yasağı ve üçüncü senaryo ise ikinci senaryoya ek olarak TOH'nın eklenmesidir.

Objektif verimlilik göstergeleri senaryolar arasında seçim yapmak için yeterli derecede ayırım göstermemektedir. Bu nedenle karar aşamasında PE ölçütünden yararlanmak karar vermeyi kolaylaştırmaktadır. PE değerinin en temel kabuller olan konut ve seyahat süresi ile hesaplanan halinin mevcut duruma göre her senaryoda nasıl farklılaştığı Şekil 4.16a-4.16c'de gösterilmiştir.

Mevcut durum ve Senaryo 1 arasındaki değişimler incelendiği zaman PE değerlerinin özellikle konut kullanımına duyarlı olduğu görülmektedir. Kombinasyonlarda konut türünü içeren PE değerleri mevcut duruma göre ticaret kombinasyonlarına oranla daha çok artış yaşamıştır. Bu artışlar 14, 15, 16, 17, 18, 19, 26, 34, 38, 41, 44 ve 59 numaralı zonlarda net olarak görülmektedir. Araç içi seyahat süresi kombinasyonlarında Senaryo 1 mevcut duruma göre konut kombinasyonu kadar bir artış sağlamamıştır. Senaryo 2'de mevcut duruma göre zonal bazda önemli bir düşüş göze çarpmaktadır. Mevcut duruma göre 3, 4, 5, 10, 15, 27, 28, 30, 32, 34, 35, 36, 38, 39, 53, 55, 74,75,76 ve 77 numaralı zonlar önemli oranda PE düşüşü yaşamışlardır. Bütün kombinasyonlarda mevcut duruma göre PE değerlerinde azalma olması dikkat çekmektedir. Senaryo 3 ise her kombinasyonda mevcut duruma göre en fazla PE kaybı yaşanan durumdur. Senaryo 3'de mevcut duruma göre 3, 5, 8, 10, 11, 14, 15, 28, 29, 30, 32, 33, 34, 35, 36,38, 39, 40, 41,43, 44, 52, 53, 55, 56, 74 ve 75 numaralı zonlar PE açısından düşüş yaşayan belirgin zonlardır.

Senaryoların seçim aşamasında araç içi süre ile tespit edilen erişilebilirlik değerleri de seçim parametresi olarak kullanılabilir. Tek zon merkezli yapı nedeniyle TT duraklarına olan yürüyüş mesafeleri genel seyahat süresini uzatmaktadır. Bu nedenle araç içi sürenin genel olarak seyahat süresi iyileşmesi farklarını daha iyi temsil edebileceği yorumu da yapılabilir.



Şekil 4.16a-c: Konut ve seyahat süresi ile hesaplanan PE değerlerinin mevcut duruma göre Senaryo 1-2-3 için zon bazında değişimi.

Şekil 4.16a-c'de görüldüğü gibi Senaryo 1 hem diğer senaryolara göre hem de mevcut duruma göre en fazla PE değerini sağlamaktadır. Senaryo 2 ve 3 PE'yi düşürmektedir. Bunun nedeni olarak insanların minibüslere ulaşmak için daha fazla yürümesi ve zaman kaybetmesi olarak değerlendirilebilir.

Bu durumda PE bir seçim veya tasarım enstrmanı ya da aracı olarak kullanılabilir. PE karar vericilere veya siyaset üreticilere yarayan önemli ve kullanılması gereken bir göstergedir yorumu yapılabilir. Arazi kullanım değişimleri bu sürece etkisi olan ve gelecekte araştırılması gereken bir konudur.

#### **4.5 FEE Ölçütünün Verimlilik Göstergesi Olarak Kullanılması**

FEE ölçütü, TT planlaması sürecinde projeksiyonlar ve senaryoların göstergeleri çeşitli kararlar almak için yeterli durumda değilse, verimlilik göstergesi olarak da kullanılabilir diğer bir ölçüttür. Bu şekilde ulaşım ve arazi kullanım etkileşimi TT planlama sürecine yansıtılmış olur.

FEE ölçütünün hesaplanması aşamasında PE'de olduğu gibi olanaklar ve direnimsiz olmak üzere yoruma açık iki kavram bulunmaktadır. Olanaklar her türlü mekânsal hedef türünü temsil etmektedir. Bu türün ne olacağı ise bakış açısına göre farklılaşmaktadır. Aynı şekilde uzaklık notasyonu direnimsizliği temsil etmektedir.

FEE hesaplamasında uzaklık, toplam seyahat süresi ve araçtaki seyahat süresi olarak kabul edilmiştir. Zonlar arası toplam seyahat süresi ve araç içi seyahat süreleri zaman çizelgeli atama yöntemi ile elde edilmiştir. Olanaklar ise konut alanları ve ticari alanlar olarak ele alınmıştır. FEE değerleri konut alanları, ticari alanlar, toplam seyahat süresi ve araç içi seyahat süreleri kullanılarak dört farklı şekilde elde edilmiştir. Ticaret olarak kabul edilen sınıflama yolculuk yaratımına neden olan resmi kurum, ticari kullanışlar, sanayi alanları ve pazaryerleri alanları toplanarak bulunmuş olup ticari alanlar adı altında değerlendirilmiştir. Bu şekilde gruplamanın PE hesaplaması aşamasında aynı kombinasyonlarda tutulmasına dikkat edilmiştir. Çalışma alanı PE değerleri hesaplanan alan ile aynı alandır ve aynı senaryolara göre çalışma yürütülmüştür. Bu nedenle bu bölümde sadece FEE değerlerinin hesaplanması ve değerlendirilmesi anlatılmıştır. Tablo 4.12'de FEE değerleri ile karşılaştırılacak olan klasik verimlilik göstergeleri verilmiştir.

Tablo 4.12: Klasik verimlilik göstergeleri .

	$Q$				$U$			
	Otobüs	Minibüs	TOH	Genel	Otobüs	Minibüs	TOH	Genel
<b>Mevcut Durum</b>	1.91	0.86	-	1.45	43.66	46.75	-	45.01
<b>Senaryo 1</b>	1.21	0.66	-	1	27.23	35.6	-	30.11
<b>Senaryo 2</b>	1.38	0.71	-	1.09	27.83	37.45	-	32.03
<b>Senaryo 3</b>	1.3	0.65	1.48	1.03	24.68	34.47	20.94	28.85
	$\bar{\delta}$				$C$			
<b>Mevcut Durum</b>	2675	405	-	3081	40570	40642	-	81212
<b>Senaryo 1</b>	1697	309	-	2006	67820	51156	-	118976
<b>Senaryo 2</b>	1802	325	-	2127	84380	29092	-	113472
<b>Senaryo 3</b>	1666	299	73	2038	89090	30268	8750	128108

#### 4.5.1 Toplu taşıma planlamasına yönelik olarak FEE yaklaşımı ve hesaplama

FEE ölçütleri alternatif fırsat ve direnimsiz çeşitleri ile hesaplanmıştır. Hesap sürecinde mesafe etki parametresi Lilliefors normalite testi ile belirlenmiştir. FEE hesabında mesafe etki parametresinin tespiti için duyarlılık analizi yapılmıştır ve bu aşamada Lilliefors yönteminden faydalanılmıştır ve bu şekilde uygun  $\beta$  değeri bulunmuştur.  $\beta$  yerine 0.01, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50, 1.75 ve 2.00 değerleri sırasıyla konularak bütün işlemler tekrarlanmış ve sonuçlar Lilliefors yöntemi ile sorgulanmıştır. Lilliefors yöntemi ile elde edilen sonuçlar Tablo 4.13'de gösterilmiştir.

Tablo 4.13: Lilliefors yöntemi ile yapılan duyarlılık analizi sonuçları.

Senaryolar	0*	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3
	SS**	AİS**		SS	AİS		SS	AİS		SS	AİS					
$\beta$	T***	K***	T	K	T	K	T	K	T	K	T	K	T	K	T	K
<b>0.01</b>	0.17	0.19	0.11	0.13	0.20	0.19	0.13	0.13	0.18	0.19	0.11	0.11	0.18	0.19	0.10	0.14
<b>0.05</b>	0.18	0.20	0.11	0.14	0.21	0.19	0.11	0.14	0.17	0.21	0.11	0.12	0.19	0.21	0.10	0.13
<b>0.10</b>	0.20	0.19	0.09	0.13	0.21	0.21	0.10	0.13	0.18	0.21	0.08	0.12	0.19	0.21	0.09	0.13
<b>0.15</b>	0.20	0.19	0.08	0.15	0.19	0.20	0.10	0.14	0.18	0.19	0.08	0.15	0.20	0.19	0.07	0.13
<b>0.20</b>	0.24	0.18	0.08	0.14	0.24	0.19	0.08	0.15	0.22	0.18	0.08	0.13	0.23	0.18	0.08	0.16
<b>0.25</b>	0.22	0.20	0.09	0.14	0.22	0.19	0.10	0.15	0.24	0.19	0.10	0.14	0.23	0.19	0.10	0.21
<b>k</b> <b>0.50</b>	0.20	0.18	0.13	0.21	0.21	0.17	0.14	0.21	0.21	0.17	0.15	0.19	0.20	0.16	0.15	0.24
<b>0.75</b>	0.20	0.16	0.14	0.23	0.20	0.16	0.16	0.23	0.20	0.16	0.15	0.23	0.20	0.16	0.16	0.27
<b>1.00</b>	0.19	0.18	0.15	0.25	0.20	0.16	0.15	0.23	0.19	0.16	0.14	0.23	0.19	0.16	0.17	0.25
<b>1.25</b>	0.20	0.18	0.17	0.24	0.20	0.17	0.15	0.24	0.18	0.18	0.16	0.23	0.18	0.18	0.19	0.25
<b>1.50</b>	0.20	0.21	0.16	0.25	0.20	0.20	0.16	0.25	0.20	0.21	0.16	0.23	0.20	0.20	0.20	0.24
<b>1.75</b>	0.20	0.21	0.18	0.26	0.19	0.20	0.18	0.25	0.20	0.21	0.18	0.23	0.20	0.21	0.21	0.24
<b>2.00</b>	0.20	0.21	0.19	0.26	0.19	0.20	0.19	0.25	0.20	0.21	0.19	0.24	0.20	0.20	0.21	0.23
<b>p</b> <b>0.01</b>	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.04	0.00
<b>0.05</b>	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00
<b>0.10</b>	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.22	0.01	0.00	0.00	0.14	0.00
<b>0.15</b>	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.45	0.00
<b>0.20</b>	0.00	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00	0.00	0.26	0.00	0.00	0.00	0.29	0.00
<b>0.25</b>	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00

Senaryolar	0*	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3
	SS**	AİS**	SS	AİS	SS	AİS	SS	AİS	SS	AİS	SS	AİS	SS	AİS	SS	AİS
$\beta$	T***	K***	T	K	T	K	T	K	T	K	T	K	T	K	T	K
0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.05	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.10	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00
0.15	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00
0.20	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00
0.25	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00	1.00	1.00	0.00	1.00
h 0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.75	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.75	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

\* 0 mevcut durumu temsil etmektedir.

\*\* SS, AİS seyahat süresi ve araç içi süreyi temsil etmektedir.

\*\*\* K ve T konut ve ticaret alanlarını temsil etmektedir.

Sonuçlarda  $\beta$  değeri 0.5 den sonra anlamlı olmaya başlamakta ve 2'ye doğru ilerledikçe anlamlılığını yitirmektedir. Bu nedenle  $\beta$  değeri "1.00" olarak kabul edilmiştir. FEE değerleri mevcut durumun dört kombinasyon için Tablo 4.14'de gösterilmiştir.

Tablo 4.14: Mevcut durum için zonal bazda FEE değerleri ( $m^2/dk$ ).

Zon	Analiz 1		Analiz 2		Analiz 3		Analiz 4	
	Konut alanı/Toplam seyahat süresi	Ticaret alanı /Toplam seyahat süresi	Ticaret alanı/Araç içindeki seyahat süresi	Konut alanı/Araç içindeki seyahat süresi	Ticaret alanı/Araç içindeki seyahat süresi	Konut alanı/Araç içindeki seyahat süresi	Ticaret alanı/Araç içindeki seyahat süresi	Konut alanı/Araç içindeki seyahat süresi
1	-2.66	-2.92	11.53	10.84				
2	3.75	4.16	9.66	10.29				
3	-37.25	-39.74	14.23	11.23				
4	7.30	6.89	12.32	9.94				
5	-2.07	-4.95	13.83	11.35				
6	3.61	0.69	4.21	1.27				
7	3.41	0.80	4.01	1.44				
8	2.87	3.68	3.39	4.15				
9	5.09	5.90	6.97	7.70				
10	-5.62	-4.80	10.10	10.91				
11	8.56	11.23	8.85	11.44				
12	-12.68	-10.96	-11.05	-9.28				
13	9.09	11.40	9.60	11.96				
14	8.42	10.81	8.45	10.84				

<b>Zon</b>	<b>Analiz 1 Konut alanı/Toplam seyahat süresi</b>	<b>Analiz 2 Ticaret alanı /Toplam seyahat süresi</b>	<b>Analiz 3 Ticaret alanı/Araç içindeki seyahat süresi</b>	<b>Analiz 4 Konut alanı /Araç içindeki seyahat süresi</b>
15	8.92	10.92	8.95	10.98
16	-1.17	0.74	6.39	8.99
17	-7.43	-4.25	2.59	5.83
18	5.59	8.85	6.25	9.20
19	7.13	9.22	7.18	9.26
20	-8.08	-4.79	3.72	7.01
21	3.95	7.89	7.52	11.22
22	4.45	8.23	8.36	11.85
23	8.24	10.24	8.32	10.88
24	-5.21	-0.23	6.38	11.20
25	5.04	4.39	9.16	8.55
26	8.58	6.67	9.31	9.79
27	2.14	-0.75	14.32	11.55
28	8.09	6.02	13.26	10.15
29	2.42	1.19	8.27	6.17
30	1.12	1.64	11.13	9.75
31	-0.47	1.18	2.47	3.80
32	4.95	7.79	11.06	12.26
33	8.22	10.83	10.31	12.89
34	7.93	10.24	10.30	12.39
35	8.82	11.19	9.86	12.42
36	4.96	7.85	10.99	12.59
37	6.06	7.73	8.88	10.71
38	6.83	7.94	9.96	11.44
39	7.51	8.93	9.09	11.14
40	7.22	8.84	9.48	11.28
41	5.62	6.73	8.87	10.95
42	3.46	7.21	7.47	10.01
43	7.47	9.38	10.12	10.95
44	7.52	10.71	7.58	10.72
45	8.66	10.16	9.30	10.74
46	5.20	6.11	9.73	10.69
47	5.24	5.96	6.95	8.56
48	4.92	6.48	9.82	11.38
49	4.01	4.97	7.00	7.98
50	7.60	9.23	8.47	9.91
51	2.54	5.04	8.22	11.18
52	5.80	6.60	11.09	12.95
53	0.15	2.85	7.62	9.51
54	-1.63	-3.09	3.44	4.46
55	1.54	4.31	8.95	11.94
56	3.64	3.09	10.40	11.37
57	5.71	2.77	12.46	9.86
58	3.72	3.93	10.01	11.02
59	4.61	5.54	7.15	8.40
60	3.15	4.82	7.45	10.81
61	3.83	5.86	9.48	10.96
62	6.82	7.80	10.33	12.03
63	5.74	7.18	10.85	12.49
64	6.66	7.42	11.24	12.64
65	5.65	6.01	10.19	11.73



Zon	Analiz 1	Analiz 2	Analiz 3	Analiz 4
	Konut alanı/Toplam seyahat süresi	Ticaret alanı /Toplam seyahat süresi	Ticaret alanı/Araç içindeki seyahat süresi	Konut alanı /Araç içindeki seyahat süresi
66	6.72	5.80	11.05	11.63
67	9.03	10.17	11.88	12.33
68	3.48	6.38	10.48	10.76
69	6.16	8.25	10.88	11.77
70	3.27	4.03	12.36	13.16
71	2.16	4.47	11.72	11.99
72	1.87	4.18	9.99	11.91
73	-1.20	-1.84	11.58	11.18
74	2.27	3.59	9.80	12.22
75	1.06	2.86	9.58	12.42
76	1.38	3.18	8.79	11.08
77	9.76	7.47	12.19	11.78
78	4.76	3.16	12.55	11.78
79	4.14	2.90	12.23	12.25
80	1.95	1.27	11.18	11.82
<b>Toplam</b>	<b>272.09</b>	<b>353.65</b>	<b>720.06</b>	<b>808.69</b>

Tablo 4.14'de toplam FEE değeri mevcut durumda en yükseğe araç içindeki seyahat süresi ve konut kombinasyonu ile ulaşmaktadır. En düşük FEE değeri ise konut ve seyahat süresi kombinasyonunda görülmektedir. Tablo 4.15'de Senaryo 1 için her kombinasyonda FEE değerleri gösterilmektedir.

Tablo 4.15: Senaryo 1 için zonal bazda FEE değerleri (m<sup>2</sup>/dk).

Zon	Analiz 1	Analiz 2	Analiz 3	Analiz 4
	Konut alanı/Toplam seyahat süresi	Ticaret alanı /Toplam seyahat süresi	Ticaret alanı/Araç içindeki seyahat süresi	Konut alanı /Araç içindeki seyahat süresi
1	-2.92	-2.66	11.53	10.84
2	4.19	3.77	9.67	10.29
3	-39.71	-37.21	14.24	11.25
4	6.82	7.31	12.31	9.93
5	-4.87	-2.01	13.84	11.36
6	0.70	3.61	4.21	1.28
7	0.98	3.42	4.02	1.60
8	4.16	3.33	3.53	4.44
9	5.90	5.09	6.98	7.70
10	-4.80	-5.62	10.10	10.91
11	11.23	8.51	8.81	11.44
12	-10.97	-12.68	-11.04	-9.26
13	11.45	9.09	9.80	12.20
14	10.94	8.54	8.60	11.00
15	10.92	8.92	8.96	11.00
16	1.18	-0.61	6.85	9.27
17	-3.02	-6.20	3.82	7.02
18	8.91	5.67	6.58	9.38
19	9.45	7.73	7.76	9.50
20	-4.17	-7.46	4.34	7.63

<b>Zon</b>	<b>Analiz 1 Konut alanı/Toplam seyahat süresi</b>	<b>Analiz 2 Ticaret alanı /Toplam seyahat süresi</b>	<b>Analiz 3 Ticaret alanı/Araç içindeki seyahat süresi</b>	<b>Analiz 4 Konut alanı /Araç içindeki seyahat süresi</b>
21	7.89	3.95	7.52	11.22
22	8.24	4.49	8.36	11.85
23	10.24	8.23	8.32	10.88
24	-0.23	-5.21	6.33	11.20
25	4.34	4.98	9.10	8.49
26	7.34	8.61	9.42	9.99
27	-0.67	2.19	14.32	11.56
28	6.17	8.34	13.29	10.18
29	1.52	2.49	8.29	6.32
30	2.28	1.34	11.10	9.74
31	1.18	-0.47	2.49	3.81
32	7.78	4.94	11.08	12.27
33	10.85	8.24	10.32	12.89
34	10.25	7.96	10.46	12.47
35	11.19	8.82	9.87	12.42
36	7.87	4.98	11.00	12.60
37	7.78	6.11	9.02	10.78
38	7.99	6.87	9.95	11.56
39	9.31	7.69	9.24	11.37
40	8.90	7.26	9.64	11.42
41	6.96	5.80	9.02	11.15
42	7.26	3.57	7.59	10.10
43	9.32	7.36	10.10	10.96
44	10.68	8.25	8.29	10.69
45	10.22	8.81	9.34	10.74
46	6.20	5.23	9.77	10.77
47	6.72	6.22	7.54	8.93
48	6.60	5.09	9.99	11.50
49	5.08	4.27	7.26	8.10
50	9.52	8.13	8.72	10.08
51	5.07	2.27	8.27	11.19
52	6.60	6.16	11.11	12.97
53	2.88	0.51	7.65	9.54
54	-0.87	2.04	6.84	4.72
55	4.31	1.77	8.98	11.96
56	3.13	3.66	10.48	11.41
57	2.70	5.64	12.39	9.84
58	3.95	3.74	10.07	11.14
59	6.63	5.53	8.02	8.63
60	5.06	3.58	7.74	11.14
61	5.88	4.07	9.64	10.95
62	7.81	6.81	10.37	12.06
63	7.17	5.73	10.88	12.53
64	7.41	6.70	11.32	12.67
65	6.01	5.71	10.32	11.72
66	5.95	6.78	11.16	11.70
67	10.17	9.00	12.01	12.39
68	6.75	3.46	10.55	10.92
69	8.76	6.23	11.03	12.03
70	4.06	3.34	12.42	13.21
71	4.44	2.14	11.76	12.04

Zon	Analiz 1	Analiz 2	Analiz 3	Analiz 4
	Konut alanı/Toplam seyahat süresi	Ticaret alanı /Toplam seyahat süresi	Ticaret alanı/Araç içindeki seyahat süresi	Konut alanı /Araç içindeki seyahat süresi
72	4.06	2.30	9.83	11.65
73	-1.79	-1.20	11.63	11.24
74	3.60	2.29	9.90	12.25
75	2.88	1.11	9.71	12.48
76	3.20	1.44	9.06	11.19
77	7.49	9.76	12.21	11.84
78	3.23	4.82	12.59	11.92
79	2.96	4.18	12.29	12.37
80	1.37	1.94	11.28	11.86
<b>Toplam</b>	<b>365.99</b>	<b>286.60</b>	<b>733.17</b>	<b>816.39</b>

Tablo 4.15'de toplam FEE değeri Senaryo 1'de en yükseğe araç içindeki seyahat süresi ve konut kombinasyonu ile ulaşmaktadır. En düşük FEE değeri ise konut ve seyahat süresi kombinasyonunda görülmektedir. Her kombinasyondaki erişilebilirlik değerleri mevcut durumdan daha yüksektir. Tablo 4.16'da Senaryo 2 için her kombinasyonda FEE değerleri gösterilmektedir.

Tablo 4.16: Senaryo 2 için zonal bazda FEE değerleri (m<sup>2</sup>/dk).

Zon	Analiz 1	Analiz 2	Analiz 3	Analiz 4
	Konut alanı/Toplam seyahat süresi	Ticaret alanı /Toplam seyahat süresi	Ticaret alanı/Araç içindeki seyahat süresi	Konut alanı /Araç içindeki seyahat süresi
1	-2.92	-2.66	11.53	10.84
2	4.22	3.80	9.67	10.29
3	-39.56	-37.10	14.15	11.25
4	6.84	7.48	12.88	10.52
5	-5.35	-2.51	13.66	11.20
6	0.74	3.61	4.21	1.30
7	1.21	3.44	4.04	1.84
8	3.29	2.48	3.27	3.80
9	5.85	5.04	7.03	7.66
10	-4.80	-5.62	10.10	10.91
11	10.77	8.01	8.22	10.90
12	-11.05	-12.71	-11.09	-9.37
13	11.11	8.87	9.94	12.34
14	10.81	8.41	8.43	10.83
15	10.77	8.71	8.73	10.80
16	0.78	-1.08	6.65	9.24
17	-3.00	-6.18	3.84	7.03
18	8.94	5.70	6.66	9.44
19	9.53	7.89	7.93	9.60
20	-3.39	-6.67	5.13	8.41
21	7.90	3.96	7.52	11.23
22	8.24	4.51	8.36	11.85
23	10.24	8.23	8.32	10.88
24	-0.23	-5.21	6.36	11.20
25	4.35	4.99	9.10	8.50

<b>Zon</b>	<b>Analiz 1 Konut alanı/Toplam seyahat süresi</b>	<b>Analiz 2 Ticaret alanı /Toplam seyahat süresi</b>	<b>Analiz 3 Ticaret alanı/Araç içindeki seyahat süresi</b>	<b>Analiz 4 Konut alanı /Araç içindeki seyahat süresi</b>
26	7.28	8.69	9.42	9.93
27	-1.12	1.71	14.21	11.44
28	5.90	8.16	13.06	9.93
29	1.24	2.45	8.28	6.11
30	1.92	1.12	11.13	9.77
31	1.12	-0.47	2.42	3.76
32	7.60	4.90	11.08	12.23
33	10.84	8.23	10.26	12.86
34	10.21	7.90	10.32	12.40
35	11.09	8.72	9.85	12.34
36	7.68	4.82	10.86	12.45
37	7.44	5.47	8.76	10.65
38	7.74	6.66	9.84	11.45
39	8.88	7.38	8.93	11.15
40	8.80	7.19	9.56	11.34
41	6.75	5.71	8.95	11.09
42	7.26	3.55	7.69	10.10
43	9.41	7.43	10.31	10.89
44	10.77	8.17	8.21	10.78
45	10.19	8.72	9.31	10.73
46	6.17	5.22	9.76	10.75
47	6.72	6.13	7.40	8.82
48	6.57	5.02	9.92	11.48
49	4.93	4.04	7.05	7.97
50	9.32	7.72	8.54	10.10
51	4.61	1.70	7.94	10.81
52	6.10	5.35	11.04	12.85
53	2.80	-0.01	7.58	9.46
54	-1.98	0.57	5.38	4.86
55	4.27	1.18	8.77	11.84
56	2.96	3.13	10.34	11.33
57	2.56	5.54	12.27	9.72
58	3.91	3.69	9.96	11.12
59	5.55	4.63	8.95	8.71
60	4.84	2.82	7.80	11.43
61	5.91	4.22	9.75	10.96
62	6.95	6.26	9.91	11.91
63	6.94	5.80	10.87	12.60
64	7.20	6.63	11.33	12.69
65	6.03	5.83	10.46	12.08
66	5.97	6.80	11.38	11.77
67	10.00	8.56	11.88	12.31
68	6.47	3.64	10.89	11.35
69	8.51	6.26	11.05	11.55
70	3.98	3.58	12.80	13.50
71	4.42	2.56	12.85	12.09
72	4.06	2.96	10.57	11.75
73	-1.99	-1.14	11.72	11.25
74	3.50	2.21	9.80	12.23
75	2.83	1.00	9.65	12.44

Zon	Analiz 1	Analiz 2	Analiz 3	Analiz 4
	Konut alanı/Toplam seyahat süresi	Ticaret alanı /Toplam seyahat süresi	Ticaret alanı/Araç içindeki seyahat süresi	Konut alanı /Araç içindeki seyahat süresi
76	4.15	2.39	8.86	10.75
77	7.29	9.75	11.72	11.39
78	2.88	5.03	12.65	12.00
79	6.19	4.84	12.32	13.02
80	0.78	2.09	11.39	11.88
<b>Toplam</b>	<b>357.65</b>	<b>277.92</b>	<b>731.63</b>	<b>814.63</b>

Tablo 4.16'da görülmektedir ki toplam FEE değeri Senaryo 2'de en yükseğe araç içindeki seyahat süresi ve konut kombinasyonu ile ulaşmaktadır. En düşük FEE değeri ise konut ve seyahat süresi kombinasyonunda görülmektedir. Her kombinasyondaki erişilebilirlik değerleri mevcut durumdan daha yüksektir. Tablo 4.17'de Senaryo 3 için her kombinasyonda FEE değerleri gösterilmektedir.

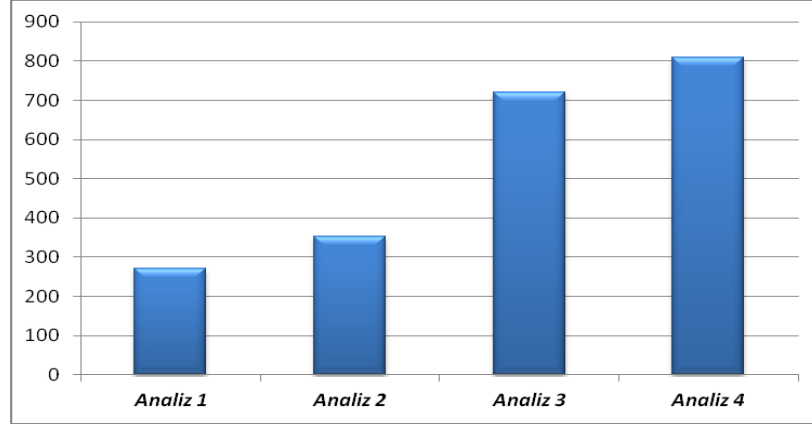
Tablo 4.17: Senaryo 3 için zonal bazda FEE değerleri (m<sup>2</sup>/dk).

Zon	Analiz 1	Analiz 2	Analiz 3	Analiz 4
	Konut alanı/Toplam seyahat süresi	Ticaret alanı /Toplam seyahat süresi	Ticaret alanı/Araç içindeki seyahat süresi	Konut alanı /Araç içindeki seyahat süresi
1	-2.92	-2.66	13.84	14.53
2	4.22	3.80	11.97	14.20
3	-39.56	-37.10	16.45	13.55
4	6.84	7.48	15.18	13.93
5	-5.35	-2.51	15.96	14.51
6	0.74	3.61	0.37	3.62
7	1.21	3.44	3.36	4.30
8	3.29	2.48	5.57	7.14
9	5.84	5.02	9.29	10.00
10	-4.80	-5.62	12.40	13.22
11	10.78	8.03	10.57	13.24
12	-11.03	-12.70	-8.78	-7.05
13	11.07	8.85	12.15	14.53
14	10.81	8.41	10.73	13.14
15	10.79	8.71	11.04	13.13
16	0.89	-0.99	9.05	11.61
17	-3.00	-6.18	6.14	9.59
18	8.93	5.70	9.03	11.89
19	9.49	7.90	10.24	12.42
20	-3.39	-6.67	7.43	10.89
21	7.90	3.96	9.77	13.85
22	8.24	4.56	10.64	14.73
23	10.24	8.23	10.57	13.26
24	-0.23	-5.21	6.85	13.51
25	4.35	4.99	11.40	12.18
26	9.04	8.92	11.85	14.56
27	-1.12	1.71	16.52	14.60

<b>Zon</b>	<b>Analiz 1 Konut alanı/Toplam seyahat süresi</b>	<b>Analiz 2 Ticaret alanı /Toplam seyahat süresi</b>	<b>Analiz 3 Ticaret alanı/Araç içindeki seyahat süresi</b>	<b>Analiz 4 Konut alanı /Araç içindeki seyahat süresi</b>
28	5.88	8.16	15.37	12.55
29	1.23	2.45	10.58	12.45
30	1.65	1.10	13.44	13.32
31	1.12	-0.47	4.72	6.06
32	7.59	4.87	13.18	14.24
33	10.84	8.23	12.56	15.15
34	10.21	7.90	12.62	14.70
35	11.14	8.77	12.19	14.67
36	7.68	4.82	13.16	14.75
37	7.40	5.43	11.06	12.96
38	7.75	6.67	12.09	13.70
39	8.88	7.35	11.22	13.45
40	8.81	7.20	11.87	13.65
41	6.75	5.70	11.25	13.39
42	7.25	3.51	10.03	12.50
43	9.44	7.42	12.54	13.25
44	11.08	8.29	10.63	13.60
45	10.20	8.73	11.62	13.46
46	6.17	5.21	12.05	13.42
47	6.72	6.14	9.70	11.68
48	6.57	5.02	12.23	14.77
49	4.93	4.04	9.35	10.90
50	9.31	7.65	10.81	12.81
51	4.52	1.75	10.27	13.12
52	6.10	5.94	13.40	15.18
53	2.81	0.11	9.91	11.79
54	-2.01	0.55	7.67	7.31
55	4.27	1.47	11.24	14.18
56	2.96	3.28	12.89	13.70
57	2.56	5.54	14.57	12.04
58	3.91	3.69	12.26	13.42
59	5.56	4.64	11.25	13.21
60	4.88	2.79	10.14	13.78
61	5.91	4.25	12.06	13.26
62	6.97	6.11	12.16	14.21
63	6.93	5.72	13.16	14.91
64	7.20	6.63	13.64	15.00
65	6.02	5.83	12.76	14.37
66	5.96	6.80	13.70	14.08
67	10.02	8.57	14.20	14.64
68	6.49	3.69	13.20	13.68
69	8.75	6.36	13.32	14.05
70	3.99	3.56	15.09	15.84
71	4.42	2.58	15.14	14.51
72	4.06	2.97	12.88	14.06
73	-1.99	-1.14	14.02	13.57
74	3.50	2.20	12.08	14.66
75	2.83	1.00	11.96	14.75
76	4.16	2.35	11.02	12.93
77	7.33	9.75	14.02	13.71
78	2.86	5.02	14.95	14.30

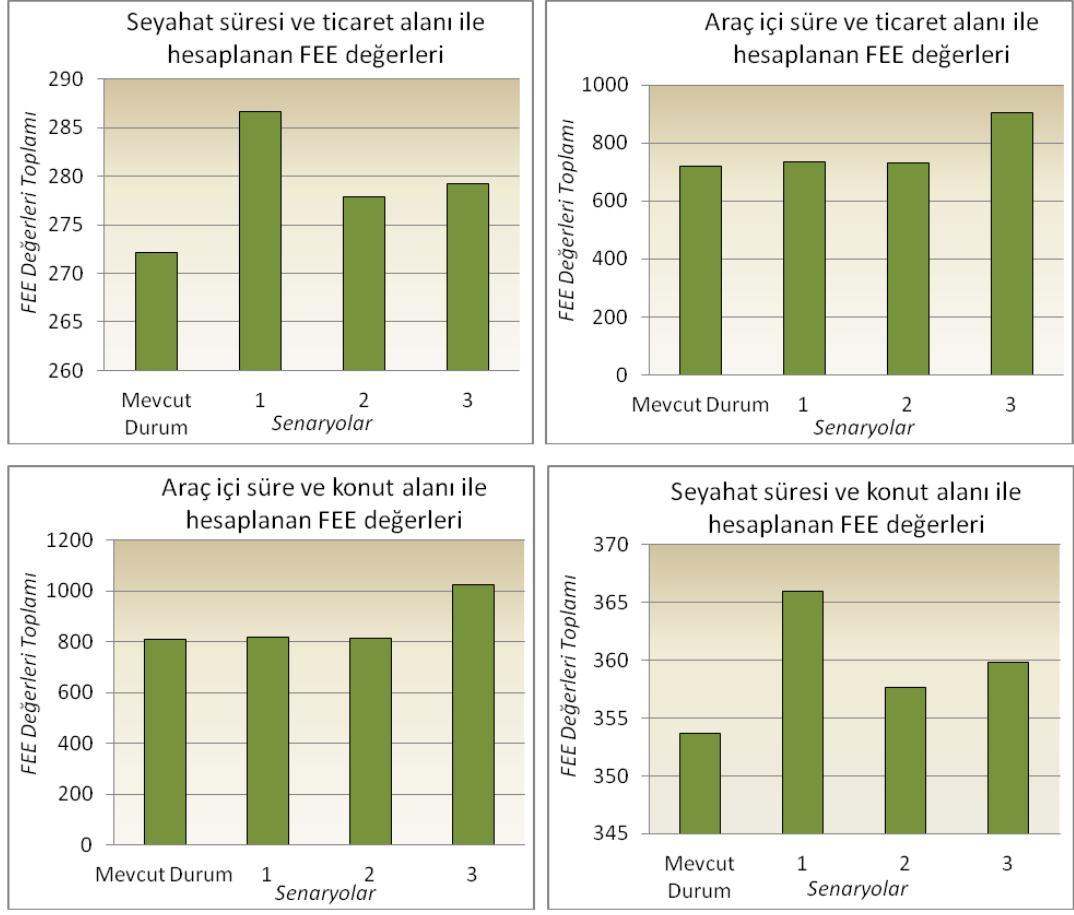
Zon	Analiz 1 Konut alanı/Toplam seyahat süresi	Analiz 2 Ticaret alanı /Toplam seyahat süresi	Analiz 3 Ticaret alanı/Araç içindeki seyahat süresi	Analiz 4 Konut alanı /Araç içindeki seyahat süresi
79	6.19	4.83	14.62	15.34
80	0.78	2.09	13.70	14.18
<b>Toplam</b>	<b>359.78</b>	<b>279.27</b>	<b>905.10</b>	<b>1024.23</b>

Tablo 4.17'de toplam FEE değeri Senaryo 3'de en yükseğe araç içindeki seyahat süresi ve konut kombinasyonu ile ulaşmaktadır. En düşük FEE değeri ise konut ve seyahat süresi kombinasyonunda görülmektedir. Her kombinasyondaki erişilebilirlik değerleri mevcut durumdan ve diğer senaryolardan daha yüksektir. Şekil 4.17'de mevcut durum için her kombinasyonda hesaplanan FEE değerlerinin zonal toplamaları karşılaştırılmaktadır.



Şekil 4.17: Mevcut durumda her kombinasyon için FEE değerlerin zonal toplamaları (m<sup>2</sup>/dk).

FEE için zonal toplamaların birbirleri ile karşılaştırılmasından daha önemli olarak her analiz grubu senaryolar oluşturulduktan sonra ilgili analiz grubu ile karşılaştırılmıştır. Çünkü her analiz grubunda kullanılan arazi kullanım özelliği ve direnim birbirinden farklıdır. Bu durum FEE değerlerinin aynı senaryo içinde karşılaştırılmasını engellemektedir. Şekil 4.18'de Her senaryo için ve her kombinasyon türü için FEE değerlerinin karşılaştırmaları yapılmıştır.



Şekil 4.18: Hesaplanan FEE değerleri toplamı ( $m^2/dk$ ).

Şekil 4.18'de seyahat süresi kombinasyonlarında Senaryo 1'de en fazla değere ulaşmaktadır. Ayrıca Senaryo 1'in FEE değeri mevcut durumun FEE değerinden daha yüksektir. Senaryo 3 araç içi seyahat süresi kombinasyonlarında en yüksek FEE değerini vermektedir. Senaryo 2 ve 3 seyahat süresi kombinasyonlarında mevcut durumdan daha yüksek ama Senaryo 1'den daha düşük FEE değerine sahiptir. Bunun nedeni Senaryo 2 ve 3 'de minibüse yürüyen kişilerin ortalama seyahat süresini arttırması olarak yorumlanabilir. Klasik göstergelerin senaryo seçimlerinde yorumlama için yetersiz kaldığı noktada FEE değerleri yorumlama ve değerlendirme olanağı sağlamıştır. Mevcut durum ve senaryolar için her kombinasyonda hesaplanan FEE değerleri Tablo 4.18'de gösterilmiştir.



Tablo 4.18: Mevcut durum ve senaryolar için her kombinasyonda hesaplanan FEE değerleri (m<sup>2</sup>/dk).

	Mevcut Durum	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo3
Seyahat süresi & Konut alanları	353	365	357	359
Araç içi süre & Konut alanları	808	816	814	1024
Seyahat süresi & Ticaret Alanları	272	286	277	279
Araç içi süre & Ticaret alanları	720	733	731	905

Erişilebilirlik değerinin zon bazında artması o faydadan yararlanacak kişi sayısının artması anlamına gelmemektedir. Bir zonun erişilebilirliği artsa da o zonda yaşayan insan sayısının az olması artan erişilebilirliğin anlamsızlaşmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle erişilebilirlik değerleri nüfus ile ağırlıklandırılarak çeşitli karşılaştırmalar yapılmıştır. Tablo 4.19'da Senaryo 1 için FEE değerlerinin nüfus ile çarpılmasıyla elde edilen değerler gösterilmiştir.

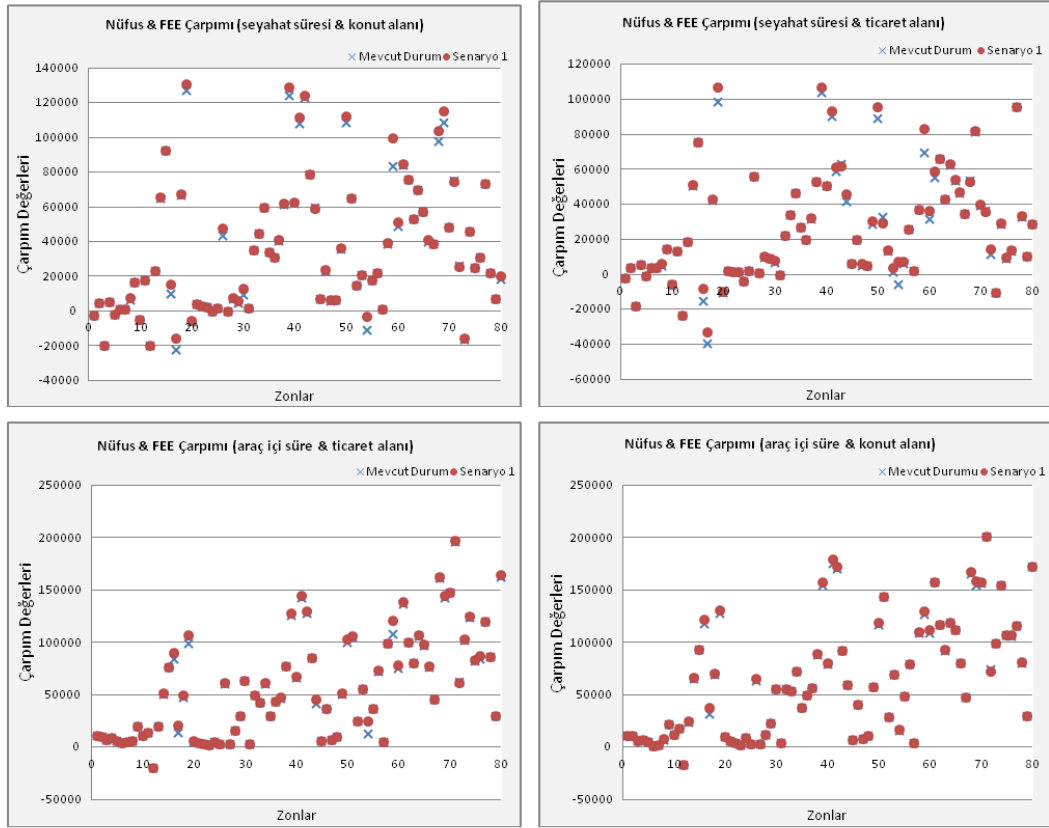
Tablo 4.19: FEE değerlerinin nüfus ile çarpılmasıyla elde edilen değerler  $[(m^2/dk) \times \text{kişi}]/1000$ .

	Analiz 1	Analiz 2	Analiz 3	Analiz 4
Zon	Konut alanı/Toplam seyahat süresi	Ticaret alanı /Toplam seyahat süresi	Ticaret alanı/Araç içindeki seyahat süresi	Konut alanı /Araç içindeki seyahat süresi
1	-2.53	-2.79	10.99	10.33
2	3.78	4.20	9.74	10.37
3	-18.62	-19.87	7.11	5.62
4	5.21	4.92	8.80	7.10
5	-0.89	-2.13	5.93	4.87
6	3.41	0.65	3.97	1.20
7	3.76	0.89	4.43	1.59
8	4.94	6.34	5.84	7.15
9	14.30	16.58	19.59	21.62
10	-5.82	-4.98	10.46	11.30
11	13.20	17.33	13.65	17.66
12	-23.43	-20.26	-20.43	-17.16
13	18.27	22.92	19.30	24.05
14	50.49	64.84	50.67	65.02
15	75.42	92.35	75.68	92.90
16	-15.42	9.79	84.03	118.18
17	-39.61	-22.64	13.78	31.04
18	42.05	66.61	47.04	69.18
19	98.32	127.21	99.03	127.77
20	-10.79	-6.40	4.96	9.35
21	2.06	4.11	3.92	5.85
22	1.35	2.49	2.53	3.59
23	1.42	1.76	1.43	1.87

<b>Zon</b>	<b>Analiz 1 Konut alanı/Toplam seyahat süresi</b>	<b>Analiz 2 Ticaret alanı /Toplam seyahat süresi</b>	<b>Analiz 3 Ticaret alanı/Araç içindeki seyahat süresi</b>	<b>Analiz 4 Konut alanı /Araç içindeki seyahat süresi</b>
24	-3.99	-0.18	4.88	8.57
25	1.61	1.40	2.92	2.73
26	55.62	43.27	60.37	63.48
27	0.44	-0.15	2.93	2.37
28	9.55	7.11	15.64	11.97
29	8.69	4.28	29.67	22.14
30	6.35	9.28	63.03	55.22
31	-0.46	1.15	2.42	3.72
32	22.23	35.01	49.73	55.09
33	33.79	44.52	42.38	52.97
34	46.13	59.55	59.90	72.02
35	26.52	33.66	29.65	37.36
36	19.41	30.71	42.96	49.21
37	31.71	40.44	46.45	56.03
38	52.64	61.21	76.75	88.17
39	103.98	123.66	125.91	154.22
40	50.44	61.71	66.22	78.73
41	90.04	107.90	142.14	175.59
42	58.97	122.85	127.27	170.51
43	62.79	78.81	85.08	92.03
44	41.51	59.19	41.87	59.23
45	5.76	6.76	6.18	7.14
46	19.53	22.95	36.58	40.16
47	4.78	5.43	6.33	7.79
48	4.66	6.14	9.30	10.78
49	28.61	35.44	49.93	56.88
50	89.23	108.37	99.42	116.38
51	32.46	64.55	105.20	143.13
52	12.92	14.71	24.74	28.87
53	1.07	20.55	55.01	68.69
54	-5.83	-11.08	12.32	15.98
55	6.22	17.38	36.12	48.21
56	25.33	21.49	72.42	79.21
57	1.99	0.97	4.35	3.44
58	36.67	38.73	98.55	108.52
59	69.33	83.30	107.55	126.32
60	31.65	48.46	74.82	108.63
61	55.08	84.19	136.25	157.47
62	65.90	75.39	99.81	116.26
63	42.51	53.12	80.26	92.44
64	62.54	69.73	105.59	118.72
65	53.68	57.05	96.78	111.42
66	46.29	39.95	76.07	80.05
67	34.40	38.74	45.26	46.99
68	53.42	97.92	160.83	165.12
69	80.98	108.36	142.92	154.69
70	38.92	47.91	147.14	156.60
71	36.16	74.71	196.04	200.61
72	11.56	25.92	61.90	73.84
73	-10.58	-16.23	102.27	98.70
74	28.73	45.38	123.75	154.34

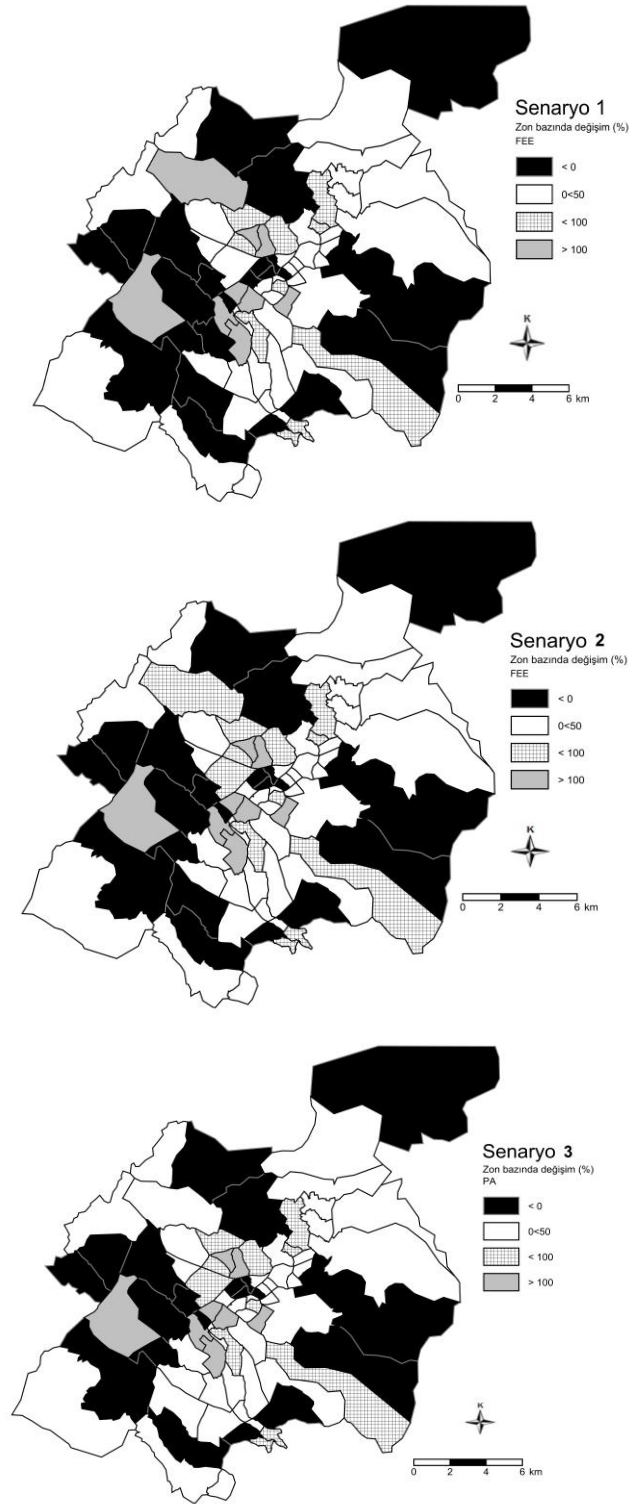
Zon	Analiz 1 Konut alanı/Toplam seyahat süresi	Analiz 2 Ticaret alanı /Toplam seyahat süresi	Analiz 3 Ticaret alanı/Araç içindeki seyahat süresi	Analiz 4 Konut alanı /Araç içindeki seyahat süresi
75	9.11	24.52	82.28	106.67
76	13.27	30.47	84.25	106.15
77	95.73	73.28	119.52	115.54
78	32.55	21.56	85.74	80.45
79	9.86	6.91	29.14	29.19
80	28.34	18.44	162.49	171.78
<b>Toplam</b>	<b>2091.67</b>	<b>2750.83</b>	<b>4537.78</b>	<b>5248.97</b>

Şekil 4.19'da Nüfus ve FEE değerleri çarpımının grafiksel gösterimi yapılmıştır.



Şekil 4.19: Nüfus ve FEE değerleri çarpımının grafiksel olarak gösterimi.

Şekil 4.20a-c'de senaryolardaki konut ve seyahat süresi kombinasyonundaki FEE değerlerinin mevcut duruma oranla değişimi gösterilmektedir.



Şekil 4.20a-c: Konut ve seyahat süresi ile hesaplanan FEE değerlerinin mevcut duruma göre Senaryo 1-2-3 için zon bazında değişimi.

Şekil 4.20a-c görüldüğü üzere bazı zonlarda değişiklikler olsa da senaryolar arasındaki etkisi azdır.

Şekil 4.19 seyahat süresi ile hesaplanan erişilebilirlik değerleri daha fazla zonun artış yaşadığını göstermektedir. Araç içi süre ile yapılan kombinasyonlarda seyahat süresi ile yapılan kombinasyonlara oranla daha az bir gelişme mevcuttur. Bunun sebebi Senaryo 1'in araç içi seyahat süreleri ile mevcut duruma göre çok farklılaşmaması olarak yorumlanabilir. Bu durum duraklarda bekleme sürelerinin azaldığının göstergesidir çünkü durağa erişim süresinde atama ile bir değişiklik olmamaktadır ve tüm senaryolarda aynı kalmaktadır.

#### **4.5.2 Karar aşaması ve sonuç**

Ulaşım planlamasında TT planlaması bölümünün verimliliği insanların aktivitelere ulaşabilme faydasına göre değil ulaşım sistemlerinin sorgulanması sonucu elde edilen verilere göre sorgulanmaktadır. Oysa, servis iyileştirmeleri ve kapasite artışı ihtiyaç duyulan aktivitelere olan ulaşım kolaylığını arttırmaktadır.

Ulaşım planlamasının temel amacı ulaşım altyapısı yapmak değil arazi kullanım aktivitelerine erişimi arttırmaktadır. Çalışmada, bütün senaryolar mevcut durumu iyileştirmekte ancak senaryoların hangisinin daha iyi olduğu konusunda net bir bilgi bulunamamıştır. PE ve FEE'nin farklı sonuçlar vermesinin sebebi birisinin potansiyeli, diğersinin ise faydayı ölçmesidir. Bu ölçümü matematiksel olarak ölçüte yansıtmaktadırlar.

Senaryo 3'de kapasite kullanım oranı ilk iki senaryodan daha düşüktür oysa ki en düşük servis kullanım parametresi Senaryo 1'dedir. Bu durumda FEE belirleyici bir faktör olarak kullanılmıştır. Senaryo 1 seyahat süresi kombinasyonlarında FEE değerinin en yüksek olduğu senaryo seçeneği olarak karşımıza çıkmaktadır. Diğer yandan Senaryo 3 araç içi seyahat süresi kombinasyonları ile en yüksek FEE değerleri vermektedir.

Gelecekte şehri arazi kullanım kararları bu şekilde sorgulanarak değerlendirilebilir veya optimum arazi kullanım miktarının bulunmasına yönelik teknik ve yaklaşımlar yapılabilir.

Zon bazında inceleme yapıldığında, Senaryo 1'de konut ve ticaret türlerinin seyahat süresi ile olan kombinasyonları diğer kombinasyonlara göre daha fazla değişiklik yaşamıştır. Araç içi süre ile oluşturulan kombinasyonlarda iniş ve çıkışlar nispeten daha az olmuştur. Konut ve seyahat süresi kombinasyonlarında genel olarak artış görülürken, ticaret ve seyahat süresi kombinasyonlarında azalmalar daha sık

görülmektedir. Senaryo 1'de mevcut duruma göre konut ve seyahat türü kombinasyonunda 11, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 32, 33, 34, 35, 36, 51, 55, 61, 68, 71 ve 72 numaralı zonlar diğer zonlara oranla daha fazla değişim yaşayan zonlardır. Aynı zamanda, 11, 13, 14, 17, 18, 20, 21, 22, 24, 32, 33, 34, 35, 36, 42,43, 44, 51, 53, 55, 68, 69 ve 71 numaralı zonlar Senaryo 1'de mevcut duruma göre yaşanan önemli azalmaları gösteren zonlardır. Senaryo 2 zon bazında incelendiğinde, konut ve ticaret türlerinin seyahat süresi ile olan kombinasyonlarının diğer kombinasyonlara göre daha fazla değişiklik yaşadığı görülmektedir. Araç içi süre ile oluşturulan kombinasyonlarda iniş ve çıkışlar nispeten daha az olmuştur. Konut ve seyahat süresi kombinasyonlarında genel olarak artış görülürken, ticaret ve seyahat süresi kombinasyonlarında azalmalar daha sık görülmektedir. Senaryo 2'de konut ve seyahat türü kombinasyonunda 11, 13, 14, 17, 18, 20, 21, 22, 24, 32, 33, 34, 35, 36, 44, 51, 53, 55, 61, 68, 69, 71, 72 ve 79 numaralı zonlar göreceli olarak yüksek artış yaşayan zonlardır. Aynı zamanda ticaret ve seyahat süresi kombinasyonunda 11, 13, 21, 22, 24, 32, 34, 35, 36, 37, 42, 44, 51, 53, 55 ve 68 numaralı zonlar göreceli olarak yüksek düşüş yaşayan zonlardır. Senaryo 3'de diğer iki senaryoya göre daha belirgin FEE değişimleri yaşanmıştır. Ticaret ve seyahat süresi kombinasyonunda 11, 13, 14, 15, 17, 21, 22, 23, 24, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 42, 44, 51, 53, 54, 55, 60 ve 68 numaralı zonlar büyük oranda düşüş yaşayan zonlardır. Konut ve toplam seyahat süresi kombinasyonunda 11, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 32, 33, 34, 35, 36, 42, 44, 53, 55, 61, 68, 69, 71, 72, 76 ve 79 numaralı zonlar yüksek artış yaşayan zonlardır. Senaryo 3 için araç içi kombinasyonu ile olan tüm kombinasyonlar yüksek artış yaşamıştır.

TT planlamasında erişebilirlik ölçütleri kullanımı daha çok senaryo seçim aşamasında kullanılmıştır. Senaryoların oluşturulması sırasında da kullanmak mümkündür. Özellikle rotaların oluşturulması, rota setleri arasında seçim yapma ve ağ tasarımı alanlarında da yararlanmak mümkündür.

## **5. TOPLU TAŞIMA AĞI TASARIMINDA PE ve FEE ÖLÇÜTLERİNİN KULLANILMASI**

### **5.1 Giriş**

TT ağı tasarımında kullanılan amaç fonksiyonlarının faydası sadece TT ağ tasarımının gerçekleştirilmesi ile sınırlı değildir. Amaç fonksiyonlarından oluşan bu çatı pek çok duruma uygulanabilir bir yapıya sahiptir. Mevcut bir TT ağının büyütülüp ya da küçültülmesinde, işletme açısından (filo büyüklüğü, boş koltuk saati, rotaların uzunluğu, transfer sayıları) ve yolculuk hizmet seviyesi (ortalama bekleme süresi, en kısa yoldan sapma, sıklık seviyesi) açısından mevcut TT ağının başarısının değerlendirilmesinde ve değişik filo büyüklükleri, değişik TT hizmet seviyeleri, yolcu talebindeki değişimler, frekanstaki değişimler ya da seyahat süresindeki değişimler gibi çeşitli sistem parametrelerinin duyarlılık analizinin yapılmasında kullanılabilirler. Bu bölümde yeni kurulan TT ağının üçüncü bölümde detaylandırılmış olan tasarım prosedürü ile tasarlanması örnek ağ bazında gösterilmiştir.

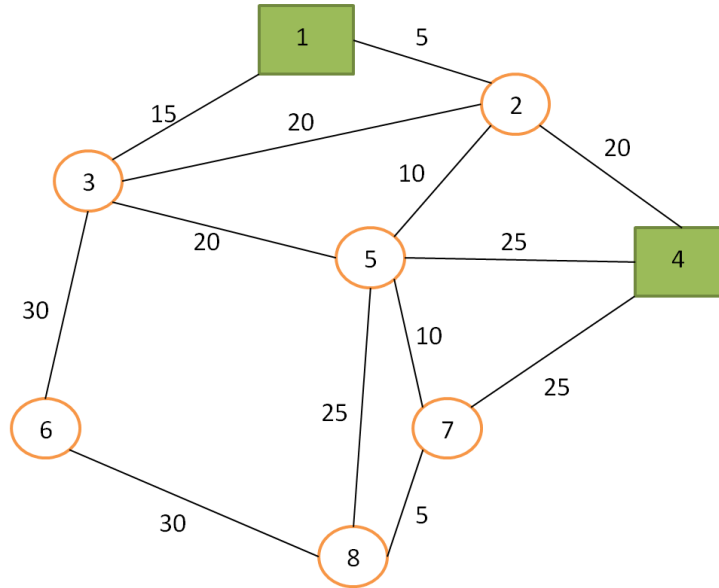
### **5.2 Örnek toplu taşıma ağı**

İlgili prosedürün işleyişini göstermek için iki terminal ve 8 düğümden oluşan Ceder'in (2007) TT ağı örnek alan olarak kullanılmıştır ve değişiklikler yapılarak çeşitli kısıtlar oluşturulmuştur. Modelin akış şeması Şekil 3.3'de verilmiştir. TT ağı üzerindeki en verimli otobüs rotaları belirlenen kısıtlar altında bulunmuştur. Ağ üzerinde yer alan düğümler aynı zamanda zon merkezleri olarak kabul edilmiştir bu nedenle TT talebi aynı zamanda zonlar arasındaki talebi de temsil etmektedir. İlgili örnek ağ Şekil 5.1'de gösterilmektedir. TT ağı üzerindeki yolculuk talebi Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1: Dügümler arasındaki yolculuk talebi (kişi) (Ceder, 2007).

Dügümler	1	2	3	4	5	6	7	8
1		80	70	160	50	200	120	60
2			120	90	100	70	250	70
3				180	150	120	30	250
4					80	210	170	230
5						250	40	130
6							130	120
7								70
8								

Tablo 5.1'de düğümler arasındaki yolculuk talebi verilmiştir. Altıncı ve sekizinci zonların diğer zonlara göre yüksek yolculuk talebi çektiği görülmektedir.



Şekil 5.1: Örnek TT ağı ve ortalama seyahat süreleri (Ceder, 2007).

Şekil 5.1'de birbiri ile yolculuk olanağı olan düğümler ortalama seyahat süreleri ve bağlar ile birlikte görülmektedir. Bir ve dört numaralı düğümler terminal olarak belirlenmişlerdir. Aynı zamanda düğümler diğer bir ifade ile zon merkezleri arasındaki ortalama seyahat süreleri Tablo 5.2'de gösterilmiştir.

Tablo 5.2: Dügümler arasındaki ortalama seyahat süresi (dk).

Dügümler	1	2	3	4	5	6	7	8
1		5	15					
2	5		20	20	10			
3	15	20			20	30		
4		20			25		25	
5		10	20	25		35	10	25
6			30		35			30



Düğüm	1	2	3	4	5	6	7	8
7				25	10			5
8					25	30	5	

### 5.3 Olası rotaların hesaplanması

**Adım 1;** akış şemasında vurgulanan ve Şekil 5.1'de verilen TT ağı için bulunan bütün olası rotalar Tablo 5.3'de gösterilmiştir. Bu aşamaya geçmeden önce çeşitli kabuller yapılmıştır. İlgili TT ağında tercih edilen araç kapasitesi yani  $d_0=50$  olarak kabul edilmiştir. Aynı zamanda 1. ve 4. düğümler terminal olarak kabul edilmiş olup rotalar sadece terminallerden başlayabilmektedirler. Olası rotalar tespit edilirken rotanın en kısa yol seyahat süresi farkı %40 olarak, yani  $\alpha=0,4$  olarak belirlenmiştir. En kısa rotanın %40'ından daha fazla seyahat süresine sahip rotalar bu doğrultuda elenmiştir. Tablo 5.3'de gösterilen rotalar ilgili kabuller ve kısıtlar ile eleme yapıldıktan sonraki tüm olası rotalardır. Her rotanın eriştiği düğümler ve rotaların seyahat süreleri verilmiştir.

Tablo 5.3: İlgili kısıtlar dahilinde hesaplanan bütün olası rotalar.

Rotalar	Düğüm								Seyahat süresi (dk)
1	1	2							5
2	1	3							15
3	1	2	4						25
4	1	2	5						15
5	1	3	6						45
6	1	2	3	6					55
7	1	2	5	6					50
8	1	2	5	7					25
9	1	2	5	7	8				30
10	1	2	5	8					40
11	4	2	1						25
12	4	2							20
13	4	5	2	1	3				55
14	4	5	3						45
15	4	2	3						40
16	4	7	5	3					55
17	4	5	2	3					55
18	4	2	1	3					40
19	4	2	5	3					50
20	4	5							25
21	4	2	5						30
22	4	5	6						60
23	4	5	7	8	6				70
24	4	2	1	3	6				70
25	4	7	8	6					60
26	4	2	5	6					65
27	4	2	3	6					70
28	4	5	8	6					80

Rotalar	Düğümler						Seyahat süresi (dk)
29	4	2	5	7	8	6	75
30	4	7	5	6			70
31	4	2	5	3	6		80
32	4	5	3	6			75
33	4	7					25
34	4	5	7	8			40
35	4	7	8				30

**Adım 2;** Çeşitli rota setleri oluşturulmuş olup bu rota setleri listelenmiştir.

Her rota seti bir zon merkezi olarak kabul edildiğinden her rota seti bir senaryo olarak değerlendirilmiştir. Olası her rota seti ağ üzerindeki 8 düğüme erişimi olanaklı kılmak zorundadır. Bir rota seti olası bütün rotaların toplamından da oluşabilir. Bu nedenle 8 düğümlü ağda bir rota setinde bulunabilecek en fazla rota sayısı "6" olarak sınırlandırılmıştır.

Rota setlerinin bulunması ile ilgili literatürde Ceder'in (2007) optimizasyon ve enumerasyon yöntemleri kullanılmıştır. Bu çalışmada örnek ağ küçük olarak nitelendirilen ağlardan olduğu için bütün olası rotaların bulunması ve listelenmesi yani enumerasyon tekniğinden yararlanılmıştır.

İkinci aşamada Denklem (3.23) ve (3.24)'de verilen  $Z1$  ve  $Z2$  fonksiyonlarının hesaplanması için alternatif rota setleri oluşturulmuştur. Rota setlerinin her 8 düğüme de ulaşım sağlaması zorunlu tutulmuştur çünkü her rota seti bir senaryodur ve her düğüme erişim olmak zorundadır. Dolayısıyla her düğüme ulaşım sağlayan rotaların oluşturduğu set varyasyonları bulunmuştur. Toplamda 19538 adet ve maksimum 6 rota içeren olası tüm rota setleri enumerasyon tekniği ile listelenmiştir.

Düğüm sayısı arttığı durumlarda rota seti sayısı çok büyük rakamlara ulaşmaktadır. Bu tarz durumlarda Ceder (2007) çeşitli optimizasyon tekniklerinin kullanılmasını önermiştir. Düğüm sayısının az olduğu durumlarda olası tüm rota setlerinin listelenebileceğini belirtmiştir. Örnek ağ 8 düğümlü ve listelenebilir sınırlar içinde olduğu için bu çalışmada rota setleri enumerasyon tekniği ile elde edilmiştir.

#### 5.4 $Z1$ fonksiyonu değişkenlerinin hesaplanması

**Adım 3;**  $Z1$  fonksiyonunu oluşturan değişkenleri hesaplayabilmek için BV talebinin seçilen rotalara atanması yapılmıştır. Atamada her bağı kullanan yolcu sayısının toplamı tespit edilmiş ve yolcu-km cinsinden ifade edilmiştir. Atamada seyahat süresi ve talep matrisinden yararlanılmıştır. Her rota için yolcu-yükleme profili

oluşturulmuş ve bu profilden araç frekansları elde edilmiştir. Örnek içerisinde amaç fonksiyonun alt değişkenlerinin katsayıları sabit kabul edilmiştir, yani  $a_k=1$  ve  $k=1,2,3,4$ 'dür. Her rotadaki yük talebi atama metodu ile belirlenmiştir.  $DPH_{(i,j)}$  (TT yolculuğu ile özel araç yolcuğu arasındaki fark) hesaplanmasında zonlar arasındaki özel araç cinsinden seyahat süreleri kullanılmıştır. İlgili seyahat süreleri Tablo 5.5'de gösterilmiştir.

Tablo 5.4: Özel araç ile zonlar arasındaki seyahat süreleri.

	1	2	3	4	5	6	7	8
1		3	10	15	11	20	20	18
2	3		15	15	7	31	18	10
3	10	15		30	11	22	22	11
4	15	15	30		20	30	21	18
5	11	7	11	20		30	9	14
6	20	31	22	30	30		20	20
7	20	18	22	21	9	20		4
8	18	10	11	18	14	20	4	

$ZI$  fonksiyonu değişkenlerinin hesaplanması ve atama sürecinde kullanılan, her rotanın başladığı ve ulaştığı düğüm setini gösteren rota belirleme matrisi, erişim varsa 1 ulaşım yoksa 0 notasyonu ile belirtilerek Tablo 5.4'de verilmiştir. Bu tablo olası rota setleri belirlenirken hangi rotaların hangi düğümlere erişim sağladığı bilgisini vermek üzere oluşturulmuştur.

Tablo 5.5: Rota/düğüm belirleme matrisi.

BV/Rota	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35		
1	2	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	3	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	5	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	6	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	7	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
2	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	
2	5	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0
2	6	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	
2	7	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
2	8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	
3	6	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
3	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0
4	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
4	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1
4	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	
5	6	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
5	7	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0
5	8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0
6	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
6	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
7	8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1

Kısıtlar ile elenmiş her olası rotanın değişkenleri toplanarak, Z1 amaç fonksiyonu sonucu, Tablo 5.6'da gösterilmiştir.

Tablo 5.6: Rotalar için bulunmuş Z1 değerleri (yolcu-km).

	$WT_{(i,j)}$	$EH_r$	$DPH_{(i,j)}$	Z1
1	3000	0	111	3111
2	3000	0	173	3173
3	3123	130	517	3770
4	4414	13	285	4712
5	3508	100	504	4112
6	3902	502	730	5134
7	4085	83	598	4766
8	4810	187	325	5322
9	4810	285	364	5459
10	4810	647	644	6101
11	4500	130	517	5147
12	3000	0	407	3407
13	4384	1593	953	6930
14	3394	1100	891	5385
15	3725	473	695	4894
16	4455	363	657	5475
17	3909	1237	957	6103
18	4586	830	691	6107
19	4107	980	977	6064
20	3000	0	495	3495
21	4107	233	581	4921
22	3414	1272	808	5494
23	3808	3017	854	7679
24	4586	2030	1021	7637
25	3909	893	538	5340
26	4107	887	894	5887
27	3725	1673	1026	6425
28	3505	3788	1134	8427
29	4389	2455	940	7784
30	4229	412	574	5214
31	4107	2180	1307	7594
32	3596	2830	1222	7648
33	3000	0	220	3220
34	3808	887	574	5269
35	3909	83	258	4250

**Adım 4;** her rota seti için bulunmuş olan  $PH_r$ ,  $DPH_r$ ,  $WH_r$ , ve  $EH_r$  kullanılarak Z1 amaç fonksiyonu bulunmuştur. Bu adımda, ilgili rotalar için Z2, yani minimum filo boyutu bulunmuştur. Maksimum yükleme, frekanslar ve boş-koltuk saat hesaplanmıştır.  $PH_r$  ve  $DPH_r$  ortalama seyahat süresine göre yapılan talep atamaları sonucunda bulunmuştur.

**Adım 5;** Z1 ve Z2 amaç fonksiyonlarının sıralaması yapılmış ve bu gruba Z3 ve Z4 fonksiyonları eklenmiştir. Rota setleri arasında 10402 yolcu-km ile en küçük Z1

fonksiyonu değerini 6 ve 34 numaralı rotalardan oluşan 5 numaralı rota seti, en yüksek *ZI* fonksiyonu değerini ise 45600 yolcu-km ile 23, 24, 27, 28, 29, 32 numaralı rotalardan oluşan 19427 numaralı rota seti vermektedir. Diğer bütün rota setleri bu rota setleri arasında bir sıralama içerisinde dizilmişlerdir. Her rota seti için *ZI* fonksiyonu hesaplanmıştır ve en küçük *ZI* değerini veren ilk 50 rota setinin değerleri Tablo 5.7'de gösterilmiştir.

Tablo 5.7: Rota setleri arasındaki en küçük ilk 50 *ZI* değeri (yolcu-km).

Rota Seti	Rotalar						Z1 (yolcu-km)						TOPLAM Z1
	1	2	3	4	5	6	Rota 1	Rota 2	Rota 3	Rota 4	Rota 5	Rota 6	
5	6	34					5133	5269	0	0	0	0	10402
1	2	29					3173	7784	0	0	0	0	10957
7	9	27					5459	6424	0	0	0	0	11883
2	5	29					4112	7784	0	0	0	0	11896
79	2	7	35				3173	4766	4251	0	0	0	12191
11	13	25					6930	5341	0	0	0	0	12271
22	1	5	34				3111	4112	5269	0	0	0	12491
303	5	12	34				4112	3407	5269	0	0	0	12787
287	5	9	33				4112	5459	3220	0	0	0	12791
3	6	23					5133	7679	0	0	0	0	12812
444	6	20	35				5133	3495	4251	0	0	0	12879
17	24	34					7637	5269	0	0	0	0	12906
4	6	29					5133	7784	0	0	0	0	12917
266	5	9	12				4112	5459	3407	0	0	0	12978
8	9	31					5459	7594	0	0	0	0	13053
274	5	9	20				4112	5459	3495	0	0	0	13066
199	4	5	35				4712	4112	4251	0	0	0	13075
6	9	24					5459	7637	0	0	0	0	13096
9	9	32					5459	7648	0	0	0	0	13107
258	5	7	35				4112	4766	4251	0	0	0	13129
150	3	5	34				3770	4112	5269	0	0	0	13151
78	2	7	34				3173	4766	5269	0	0	0	13209
69	2	4	25				3173	4712	5341	0	0	0	13226
76	2	7	25				3173	4766	5341	0	0	0	13281
332	5	21	35				4112	4921	4251	0	0	0	13283
135	2	26	35				3173	5887	4251	0	0	0	13311
147	3	5	9				3770	4112	5459	0	0	0	13341
295	5	10	33				4112	6101	3220	0	0	0	13433
120	2	21	25				3173	4921	5341	0	0	0	13435
25	1	6	34				3111	5133	5269	0	0	0	13512
74	2	6	34				3173	5133	5269	0	0	0	13575
498	6	33	34				5133	3220	5269	0	0	0	13622
264	5	8	35				4112	5322	4251	0	0	0	13685
13	18	23					6107	7679	0	0	0	0	13785
407	6	12	34				5133	3407	5269	0	0	0	13808
391	6	9	33				5133	5459	3220	0	0	0	13812
289	5	9	35				4112	5459	4251	0	0	0	13822

Rota Seti	Rotalar						Z1 (yolcu-km)						TOPLAM Z1
	1	2	3	4	5	6	Rota 1	Rota 2	Rota 3	Rota 4	Rota 5	Rota 6	
34	1	14	25				3111	5385	5341	0	0	0	13836
81	2	8	25				3173	5322	5341	0	0	0	13836
92	2	9	30				3173	5459	5214	0	0	0	13847
14	18	29					6107	7784	0	0	0	0	13891
443	6	20	34				5133	3495	5269	0	0	0	13897
526	7	15	35				4766	4894	4251	0	0	0	13911
39	1	16	25				3111	5475	5341	0	0	0	13926
18	1	2	23				3111	3173	7679	0	0	0	13963
441	6	20	25				5133	3495	5341	0	0	0	13969
87	2	9	25				3173	5459	5341	0	0	0	13973
370	6	9	12				5133	5459	3407	0	0	0	13999
19	1	2	29				3111	3173	7784	0	0	0	14068
378	6	9	20				5133	5459	3495	0	0	0	14087

Tablo 5.7'de en küçük 50 rota setinin Z1 fonksiyonu değeri 10000 yolcu-km ile 15000 yolcu-km arasındadır. İlk 10 rota seti 5, 1, 7, 2, 79, 11, 22, 303, 287 ve 3 numaralı rota setleridir.

### 5.5 Z2 fonksiyonunun hesaplanması

Z1 fonksiyonunun hesaplanmasından sonra maksimum talep yüklemelerinin araç kapasitelerine bölünmesi ile minimum frekanslar elde edilmiştir. Daha sonra seyahat sürelerinin minimum frekanslara oranlanmasıyla minimum filo boyutu yani Z2 fonksiyonu elde edilmiştir. Z2 fonksiyonları Adım 4'de bulunmuş olup bu adımda sıralaması yapılmaktadır. Minimum filo boyutundaki araç sayısı kesirli sayı olamayacağı için her rotadaki araç sayısı kendinden büyük ilk tam sayıya tamamlanmıştır. Bütün rota setleri içerisinde en fazla araç sayısı 12 olarak hesaplanmıştır. Rota setlerine ait en küçük ilk 50 filo boyutu yani Z2 fonksiyonu Tablo 5.8'de gösterilmiştir.

Tablo 5.8: Rota setlerine ait en küçük ilk 50 filo boyutu.

Rota Seti	Rotalar						Minimum Frekans (dk)						Minimum Filo Büyüklüğü (Z2) (adet)						Z2 için araç sayısı (Adet)							
	1	2	3	4	5	6	Rota 1	Rota 2	Rota 3	Rota 4	Rota 5	Rota 6	Rota 1	Rota 2	Rota 3	Rota 4	Rota 5	Rota 6	Toplam	Rota 1	Rota 2	Rota 3	Rota 4	Rota 5	Rota 6	Araç Sayısı
13	18	23					48.8	59.4	0	0	0	0	0.82	1.18					1.998	1.00	2.00					3
18	1	2	23				33.2	20.8	59.4	0	0	0	0.15	0.72	1.18				2.050	1.00	1.00	2.00				4
33	1	14	23				33.2	59.4	59.4	0	0	0	0.15	0.76	1.18				2.087	1.00	1.00	2.00				4
64	1	32	34				33.2	59.4	59.4	0	0	0	0.15	1.26	0.67				2.087	1.00	2.00	1.00				4
10	13	23					59.4	59.4	0	0	0	0	0.93	1.18					2.104	1.00	2.00					3
17	24	34					48.8	59.4	0	0	0	0	1.43	0.67					2.108	2.00	1.00					3
9	9	32					34.8	59.4	0	0	0	0	0.86	1.26					2.125	1.00	2.00					3
36	1	15	23				33.2	48.8	59.4	0	0	0	0.15	0.82	1.18				2.149	1.00	1.00	2.00				4
45	1	18	23				33.2	48.8	59.4	0	0	0	0.15	0.82	1.18				2.149	1.00	1.00	2.00				4
30	1	13	23				33.2	59.4	59.4	0	0	0	0.15	0.93	1.18				2.255	1.00	1.00	2.00				4
42	1	17	23				33.2	59.4	59.4	0	0	0	0.15	0.93	1.18				2.255	1.00	1.00	2.00				4
1	2	29					20.8	48.8	0	0	0	0	0.72	1.54					2.258	1.00	2.00					3
55	1	24	34				33.2	48.8	59.4	0	0	0	0.15	1.43	0.67				2.258	1.00	2.00	1.00				4
59	1	27	34				33.2	48.8	59.4	0	0	0	0.15	1.43	0.67				2.258	1.00	2.00	1.00				4
5	6	34					34.6	59.4	0	0	0	0	1.59	0.67					2.263	2.00	1.00					3
29	1	9	32				33.2	34.8	59.4	0	0	0	0.15	0.86	1.26				2.275	1.00	1.00	2.00				4
6	9	24					34.8	48.8	0	0	0	0	0.86	1.43					2.296	1.00	2.00					3
7	9	27					34.8	48.8	0	0	0	0	0.86	1.43					2.296	1.00	2.00					3
101	2	12	23				20.8	48.8	59.4	0	0	0	0.72	0.41	1.18				2.309	1.00	1.00	2.00				4
65	1	32	35				33.2	59.4	33	0	0	0	0.15	1.26	0.91				2.322	1.00	2.00	1.00				4
68	2	4	23				20.8	34.8	59.4	0	0	0	0.72	0.43	1.18				2.331	1.00	1.00	2.00				4
47	1	19	23				33.2	48.8	59.4	0	0	0	0.15	1.02	1.18				2.354	1.00	2.00	2.00				5
14	18	29					48.8	48.8	0	0	0	0	0.82	1.54					2.357	1.00	2.00					3
212	4	14	23				34.8	59.4	59.4	0	0	0	0.43	0.76	1.18				2.367	1.00	1.00	2.00				4
249	4	32	34				34.8	59.4	59.4	0	0	0	0.43	1.26	0.67				2.367	1.00	2.00	1.00				4
873	12	18	23				48.8	48.8	59.4	0	0	0	0.41	0.82	1.18				2.408	1.00	1.00	2.00				4



Rota Seti	Rotalar						Minimum Frekans (dk)						Minimum Filo Büyüklüğü (Z2) (adet)							Z2 için araç sayısı (Adet)						
	1	2	3	4	5	6	Rota 1	Rota 2	Rota 3	Rota 4	Rota 5	Rota 6	Rota 1	Rota 2	Rota 3	Rota 4	Rota 5	Rota 6	Toplam	Rota 1	Rota 2	Rota 3	Rota 4	Rota 5	Rota 6	Araç Sayısı
19	1	2	29				33.2	20.8	48.8	0	0	0	0.15	0.72	1.54				2.409	1.00	1.00	2.00				4
66	2	3	23				20.8	48.8	59.4	0	0	0	0.72	0.51	1.18				2.412	1.00	1.00	2.00				4
99	2	11	23				20.8	48.8	59.4	0	0	0	0.72	0.51	1.18				2.412	1.00	1.00	2.00				4
25	1	6	34				33.2	34.6	59.4	0	0	0	0.15	1.59	0.67				2.414	1.00	2.00	1.00				4
991	18	20	23				48.8	59.4	59.4	0	0	0	0.82	0.42	1.18				2.419	1.00	1.00	2.00				4
215	4	15	23				34.8	48.8	59.4	0	0	0	0.43	0.82	1.18				2.429	1.00	1.00	2.00				4
225	4	18	23				34.8	48.8	59.4	0	0	0	0.43	0.82	1.18				2.429	1.00	1.00	2.00				4
35	1	14	29				33.2	59.4	48.8	0	0	0	0.15	0.76	1.54				2.445	1.00	1.00	2.00				4
26	1	9	24				33.2	34.8	48.8	0	0	0	0.15	0.86	1.43				2.447	1.00	1.00	2.00				4
27	1	9	27				33.2	34.8	48.8	0	0	0	0.15	0.86	1.43				2.447	1.00	1.00	2.00				4
162	3	14	23				48.8	59.4	59.4	0	0	0	0.51	0.76	1.18				2.448	1.00	1.00	2.00				4
193	3	32	34				48.8	59.4	59.4	0	0	0	0.51	1.26	0.67				2.448	1.00	2.00	1.00				4
837	11	14	23				48.8	59.4	59.4	0	0	0	0.51	0.76	1.18				2.448	1.00	1.00	2.00				4
868	11	32	34				48.8	59.4	59.4	0	0	0	0.51	1.26	0.67				2.448	1.00	2.00	1.00				4
1144	1	2	12	23			33.2	20.8	48.8	59.4	0	0	0.15	0.72	0.41	1.18			2.460	1.00	1.00	1.00	2.00			5
12	13	29					59.4	48.8	0	0	0	0	0.93	1.54					2.463	1.00	2.00					3
62	1	31	34				33.2	48.8	59.4	0	0	0	0.15	1.64	0.67				2.463	1.00	2.00	1.00				4
1166	1	2	20	23			33.2	20.8	59.4	59.4	0	0	0.15	0.72	0.42	1.18			2.471	1.00	1.00	1.00	2.00			5
1109	1	2	4	23			33.2	20.8	34.8	59.4	0	0	0.15	0.72	0.43	1.18			2.481	1.00	1.00	1.00	2.00			5
8	9	31					34.8	48.8	0	0	0	0	0.86	1.64					2.501	1.00	2.00					3
1000	18	22	34				48.8	59.4	59.4	0	0	0	0.82	1.01	0.67				2.503	1.00	2.00	1.00				4
37	1	15	29				33.2	48.8	48.8	0	0	0	0.15	0.82	1.54				2.507	1.00	1.00	2.00				4
46	1	18	29				33.2	48.8	48.8	0	0	0	0.15	0.82	1.54				2.507	1.00	1.00	2.00				4

Tablo 5.8'de rota setlerine ait en küçük ilk 50 filo boyutu yani Z2 fonksiyonu ve rasyonel olarak bu fonksiyonu sağlayacak araç sayıları gösterilmiştir. Rota setleri arasında en küçük araç sayısı 18 ve 23 numaralı rotalardan oluşan 13 numaralı rota setine aittir ve 3 olarak hesaplanmıştır en fazla ise 6, 20 ve 34 numaralı rotalardan oluşan 443 numaralı rota setine aittir ve 5 numaralı rota olarak hesaplanmıştır. Rota setleri içerisindeki rotaların en düşük frekansı 20 ve en yüksek frekansı 60 dakika olarak hesaplanmıştır.

### 5.6 Z3 ve Z4 fonksiyonlarının hesaplanması

Z1 ve Z2 fonksiyonlarının elde edilmesinden sonra PE ve FEE değerleri ayrıştırıcı amaç fonksiyonları olarak kullanılması amacıyla hesaplanmış olup Z3 ve Z4 gösterimleri ile temsil edilmiştir. Her rota seti farklı rotalardan oluştuğu için her zona ulaşım bu rotalar üzerinden gerçekleşmektedir. Bu nedenle her rota seti ayrı bir TT senaryosu olarak kabul edilmiştir. Her senaryonun kendine ait seyahat süresi olduğu için her senaryonun farklı erişilebilirlik değerleri vardır. Bir zondan başka bir zona gidecek olan kişi hedefine doğrudan olarak ulaşım yoksa terminaller arası geçiş yapmakta ve rota değiştirmektedir. Bu nedenle örnek ağda TT dışında 1-4 arası otobüs sistemine dahil edilmeyen ve seyahat süresi 5 dk. olan erişim vardır. Her senaryo farklı seyahat sürelerine sahiptir. Bu nedenle PE ve FEE değerleri karar verme aşamasında kullanılmak üzere hesaplanmıştır. Erişilebilirlik değerleri hesaplanırken sabit değişken zonlardaki konut alanları olarak kabul edilmiştir. Ağ üzerindeki konut alanlarının zon bazında dağılımı Tablo 5.9'da gösterilmiştir.

En yüksek PE değerini veren rota seti 732 he/dk ile 6095 numaralı rota seti, en düşük PE değerini veren rota seti 370 he/dk ile 3479 numaralı rota setidir. Erişilebilirlik değerleri kendi seti içerisinde karşılaştırılmak üzere bulunmu değerlerdir. Bu değerler mutlak değerler olmadığı için pozitif veya negatif olmaları farketmez.

Tablo 5.9: Ağ genelindeki konut alanları.

Konut Alanları (he) (D)							
1	2	3	4	5	6	7	8
125	320	144	456	124	222	100	147

Tablo 5.9 incelendiğinde zon büyüklüklerinin 100 he ve 456 he arasında değiştiği görülmektedir. En yüksek erişilebilirlik değerlerini veren ilk 50 rota seti için elde edilen PE ve FEE değerleri Tablo 5.10'da gösterilmiştir.

Tablo 5.10: En yüksek PE ve FEE değerlerini veren ilk 50 rota seti.

Z3 (he/dk)										Z4 (he/dk)									
Rota seti	Zon 1	Zon 2	Zon 3	Zon 4	Zon 5	Zon 6	Zon 7	Zon 8	Toplam	Rota seti	Zon 1	Zon 2	Zon 3	Zon 4	Zon 5	Zon 6	Zon 7	Zon 8	Toplam
6095	187	106	64	84	94	35	91	71	732	13173	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113035
6419	187	106	64	84	94	35	91	71	732	6142	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113035
12414	187	106	64	84	94	35	91	71	732	12461	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113035
12743	187	106	64	84	94	35	91	71	732	13325	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113035
13104	187	106	64	84	94	35	91	71	732	13331	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113035
13283	187	106	64	84	94	35	91	71	732	13170	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113036
13626	187	106	64	84	94	35	91	71	732	13415	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113059
12933	186	106	66	84	96	34	90	70	731	13416	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113059
13232	186	106	64	84	94	35	91	70	730	13161	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113059
13259	186	106	64	84	94	35	91	70	730	13191	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113059
11587	186	106	64	83	94	34	91	71	730	13255	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113059
5923	186	106	64	84	94	35	90	70	728	13256	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113059
6194	186	106	64	84	94	35	90	70	728	6131	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113059
6217	186	106	64	84	94	35	90	70	728	6157	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113059
12080	186	106	64	84	94	35	90	70	728	6213	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113059
12513	186	106	64	84	94	35	90	70	728	6214	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113059
12536	186	106	64	84	94	35	90	70	728	12450	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113059
12696	186	106	64	84	94	35	90	70	728	12476	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113059
12899	186	106	64	84	94	35	90	70	728	12532	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113059
12907	186	106	64	84	94	35	90	70	728	12533	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113059
13385	186	106	64	84	94	35	90	70	728	13314	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113059
13394	186	106	64	84	94	35	90	70	728	13319	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113059
13414	186	106	64	84	94	35	90	70	728	13341	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113059
13419	186	106	64	84	94	35	90	70	728	13346	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113059
279	187	106	64	84	91	33	91	71	727	13410	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113059
1735	187	106	64	84	91	33	91	71	727	13411	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113059

Rota Seti	Z3 (he/dk)									Z4 (he/dk)									
	Zon 1	Zon 2	Zon 3	Zon 4	Zon 5	Zon 6	Zon 7	Zon 8	Toplam	Rota Seti	Zon 1	Zon 2	Zon 3	Zon 4	Zon 5	Zon 6	Zon 7	Zon 8	Toplam
1977	187	106	64	84	91	33	91	71	727	13158	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.4411306
2114	187	106	64	84	91	33	91	71	727	13188	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.4411306
2139	187	106	64	84	91	33	91	71	727	13219	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.4411306
5265	187	106	64	84	91	33	91	71	727	13220	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.4411306
5635	187	106	64	84	91	33	91	71	727	12933	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113092
5787	187	106	64	84	91	33	91	71	727	5944	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113092
5812	187	106	64	84	91	33	91	71	727	5945	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113092
6241	187	106	64	84	91	33	91	71	727	12101	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113092
6266	187	106	64	84	91	33	91	71	727	12102	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113092
6444	187	106	64	84	91	33	91	71	727	12717	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113092
6468	187	106	64	84	91	33	91	71	727	12718	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113092
11110	187	106	64	84	91	33	91	71	727	12925	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113092
11789	187	106	64	84	91	33	91	71	727	12926	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113092
11944	187	106	64	84	91	33	91	71	727	12930	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113092
11969	187	106	64	84	91	33	91	71	727	12931	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113092
12560	187	106	64	84	91	33	91	71	727	12932	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113092
12585	187	106	64	84	91	33	91	71	727	11375	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113105
12768	187	106	64	84	91	33	91	71	727	11376	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113105
12792	187	106	64	84	91	33	91	71	727	6139	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113126
13441	187	106	64	84	91	33	91	71	727	12458	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113126
13465	187	106	64	84	91	33	91	71	727	13322	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113126
13650	187	106	64	84	91	33	91	71	727	13328	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.44113126
13673	187	106	64	84	91	33	91	71	727	6129	1.654	-0.141	-10.124	-0.155	-3.955	-24.322	-0.004	-0.395	-37.4411315

Tablo 5.10'da ilk 50 rota seti için PE değerlerinin birbiri arasındaki farkı FEE değerlerine oranla daha fazladır. PE değerleri 732 ve 724 arasında değişirken, FEE değerleri daha küçük küsurat farklarına sahiptir. Burada dikkate alınması gereken nokta FEE değerlerinin sıfırın altında olmasının bir önemi olmadığıdır. Çünkü bir erişilebilirlik değer yanındaki diğer değerler ile anlamlıdır ve indeks özelliğinde bir göstergedir.

## 5.7 Sonuç

Altıncı aşama *Z1*, *Z2*, *Z3* ve *Z4* amaç fonksiyonlarının değerlendirilmesi aşamasıdır. En verimli sonucu veren rota setleri amaç fonksiyonları açısından değerlendirilmiştir. Ana amaç fonksiyonu olan *Z1* fonksiyonuna göre rota setleri sıralanmış ve en verimli rota setlerinin *Z2*, *Z3* ve *Z4* değerleri incelenmiştir. Tablo 5.11'de en iyi ilk 50 *Z1* değerlerinin diğer "Z" fonksiyonları ile karşılaştırılması yapılmıştır.

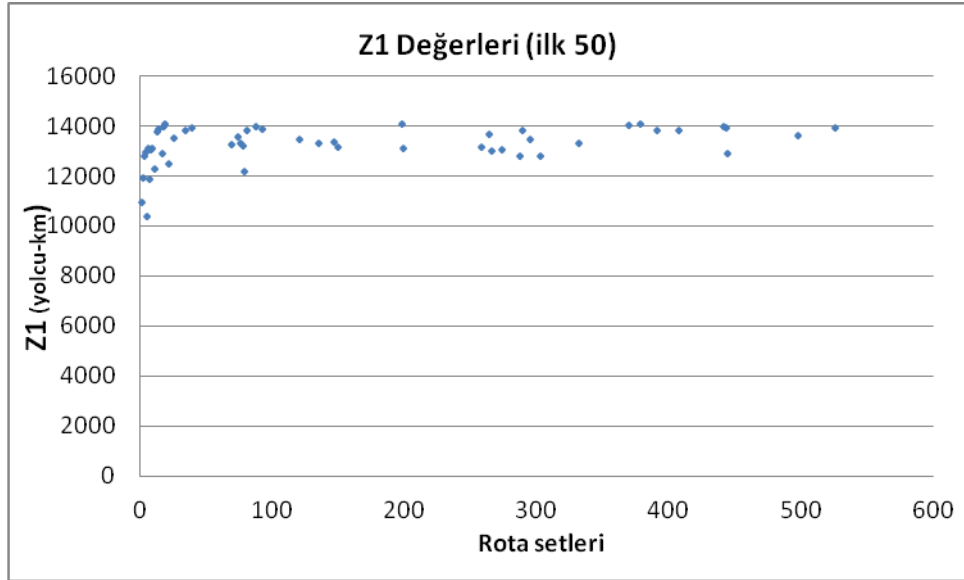
Tablo 5.11: En verimli ilk 50 *Z1* değerlerinin Z fonksiyonları açısından incelenmesi.

Rota Seti	<i>Z1</i>	<i>Z2</i>	<i>Z3</i>	<i>Z4</i>
	(yolcu-km)	(Adet)	(he/dk)	(he/dk)
	Toplam	Araç Sayısı	PE	FEE
5	10401.81	3	596.6987	-43.690621695652900
1	10957.34	3	540.6448	-43.737152074817700
7	11883.42	3	660.1165	-42.257173425376600
2	11896.08	4	556.8858	-43.056521252032700
79	12190.53	4	660.3875	-43.585008058514900
11	12270.93	3	449.2533	-58.773567651991800
22	12491.48	4	621.3438	-39.592365886437000
303	12787.48	4	490.574	-53.886074897164400
287	12791.08	4	712.113	-38.156224327688200
3	12811.81	4	614.7376	-42.984798831112200
444	12878.83	4	587.8064	-57.187003290827700
17	12906.15	3	450.9157	-54.598208792135600
4	12917.08	4	656.5646	-41.550712825703900
266	12977.74	4	708.4063	-38.156224335613000
8	13052.9	3	655.253	-43.205030779594900
274	13066.08	4	708.4063	-38.156224335613000
199	13074.62	4	664.1767	-38.435592996594600
6	13096.41	3	675.1565	-38.180100891495900
9	13106.64	3	648.911	-43.205147924285100
258	13129.26	5	669.5002	-38.429806973324300

Rota Seti	Z1	Z2	Z3	Z4
	(yolcu-km)	(Adet)	(he/dk)	(he/dk)
	Toplam	Araç Sayısı	PE	FEE
150	13151.1	4	621.3438	-39.592365886437000
78	13208.52	4	667.6134	-43.305640308023200
69	13225.88	4	659.9744	-38.410401342939000
76	13280.53	5	673.5213	-38.404758849922800
332	13283.38	4	508.5021	-44.042394743622500
135	13311.31	4	503.1433	-49.191810125653200
147	13341.36	4	529.5938	-53.164547778254600
295	13433.08	5	616.9213	-77.086426667564900
120	13434.65	4	507.3902	-44.017203094165700
25	13512.48	4	596.6987	-43.690621695652900
74	13575.15	4	616.3303	-39.592366158491800
498	13621.81	4	608.676	-43.690621687660800
264	13685.17	4	693.0834	-38.158631311867600
13	13785.48	3	452.2923	-54.573016887691200
407	13808.48	4	596.6987	-43.690621695652900
391	13812.08	4	684.6709	-42.254480428031800
289	13821.83	4	714.9844	-38.156224327609300
34	13836.36	4	568.4324	-54.245980096465400
81	13836.44	4	688.5744	-38.133439658212000
92	13846.73	4	698.2248	-43.305720247592600
14	13890.74	3	504.666	-53.141354843706000
443	13896.81	4	596.6987	-43.690621695652900
526	13910.94	4	623.8559	-47.685987850657600
39	13925.97	5	572.9125	-44.626005247196400
18	13962.75	4	618.8741	-39.567173975919100
441	13968.83	5	601.4182	-56.481180556336000
87	13973.1	4	710.168	-38.131032673953700
370	13998.75	4	680.9643	-42.254480435956700
19	14068.01	4	662.2448	-38.133087970480900
378	14087.08	4	680.9643	-42.254480435956700

Tablo 5.11'de 5 numaralı rota seti en verimli rota setidir ve erişilebilirlik değerlerinin bir alt alternatifi olan 1 numaralı rota setinden daha yüksek erişilebilirlik değerine sahiptir. Aynı zamanda iki rota setinde çalışacak olan araç sayısı da eşittir. Bu nedenle 5 numaralı rota setinin 1 numaralı rota setinden daha verimli olduğu doğrulanmıştır. Sonraki verimli rota seti olan 7 numaralı rota setinin erişilebilirlik değerleri 1 ve 5 numaralı rota setinin erişilebilirlik değerlerinden yüksektir. Aynı zamanda 79 numaralı rota seti beşinci en verimli rota seti olarak görünmektedir. Ama erişilebilirlik değerleri açısından daha verimli olan 4 rota setinden de verimlidir fakat

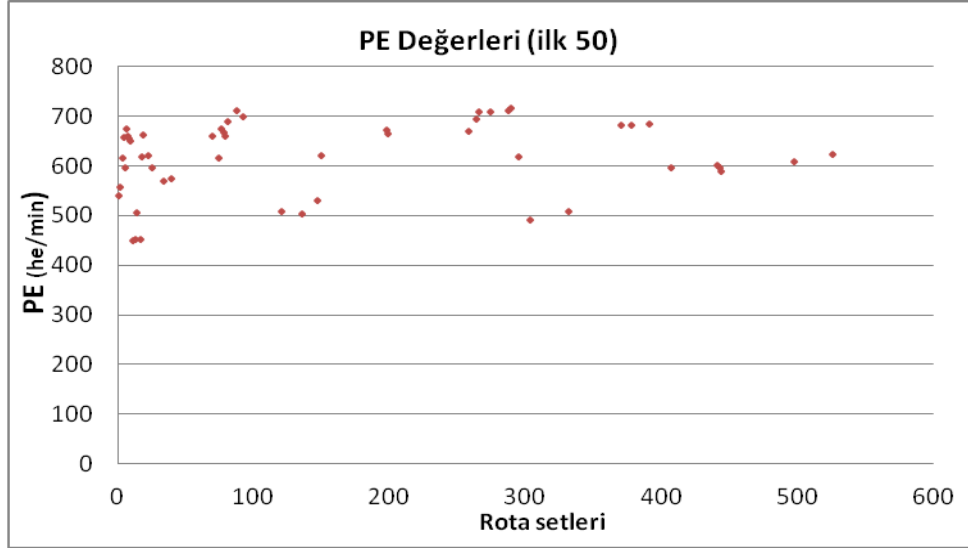
araç sayısı daha fazladır. Sonuçlar göstermektedir ki sadece *Z1* ve *Z2* kullanılarak yapılan değerlendirmede en verimli rota seti 5 veya 1 numaralı rota seti olarak karşımıza çıkmaktadır. Fakat erişilebilirlik açısından inceleme yapıldığında 7 numaralı rotanın erişilebilirlik açısından daha verimli olduğu görülmektedir. 266 ve 274 numaralı rota setlerinin PE değerlerinin 700 he/dk üzerine çıktığı görülmektedir fakat bununla paralel olarak *Z1* değeri 13000 yolcu-km sınırına gelmektedir. En iyi ilk 50 *Z1* değerlerinin grafiksel gösterimi Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2: En iyi ilk 50 *Z1* değerinin grafiksel gösterimi.

Şekil 5.2'de *Z1* değerinin en az olduğu zonların az olduğu, gruplaşma ve kümeleşmelerin 12000 yolcu-km civarında başladığı ve 14000 yolcu-km değerine kadar yükseldiği görülmektedir. Bu durumda en verimli rota setlerinin belirlenmesi kolaylaşmaktadır. Şekil 5.3'de en iyi ilk 50 PE değerleri gösterilmektedir.

Klasik amaç fonksiyonları ile elde edilen en verimli rota kararları erişilebilirlik temelli yeni amaç fonksiyonlarının da değerlendirilmesi ile değişmiştir. Bu durum erişilebilirlik kavramının TT ağ tasarımında kullanılabileceğini göstermektedir.



Şekil 5.3: En iyi ilk 50 Z3 değerinin grafiksel gösterimi.

Şekil 5.3'de görülmektedir ki, PE değerleri daha dağınık görülmektedir ve kümeleşmeye olan yatkınlığı ZI fonksiyonuna oranla daha azdır.





## 6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

### 6.1 Sonuçlar

Bu çalışmada ilk olarak erişilebilirlik ölçütlerinin TT planlamasının özellikle karar verme aşamalarında kullanılmasına yönelik literatürde yer alan çalışmalar incelenmiştir. İncelemeler sonucunda erişilebilirlik ölçütlerinin TT planlamasının karar verme aşamasında bir verimlilik göstergesinden ziyade işin planlama sürecinin içerisinde yer alan ve sıkça yararlanılamayan bir kavram olduğu anlaşılmıştır. Erişilebilirlik kavramı ile ilgili literatürde geniş kapsamlı çalışmalar bulunsa da, TT planlaması ile ilgili iki olgunun bir araya geldiği çalışmalar son derece kısıtlı sayıdadır. Mevcut geleneksel TT planlaması ve ağ tasarımı yaklaşımlarında mevcut ölçütlerin ayırıcı etkisi zaman zaman yetersiz kalmaktadır. Son yıllarda yapılan TT planlaması çalışmalarında, TT planlamasına yönelik verimlilik ölçütlerinden yararlanıldığı ve TT ağı tasarımında ise amaç fonksiyonlarının optimize edildiği sezgisel algoritmaların kullanıldığı görülmektedir.

Bu çalışmada TT planlamasının karar verme aşamalarının senaryo seçim bölümlerinde verimlilik göstergelerinin yetersizliği ve aynı zamanda TT ağ tasarımında toplumsal faydayı temsil eden amaç fonksiyonlarının azlığı eleştirilmekte olup bu problemlerin daha etkin çözümü ele alınmaktadır. Geliştirilen yaklaşımların doğrulanabilmesi amacıyla oluşturulan modeller Denizli TT planlamasının (2011) karar verme aşamalarına uygulanmış ve Ceder'in (2007) TT ağ tasarımı yaklaşımında kullandığı örnek ağ tasarımı probleminin çözümünde kullanılmıştır.

Klasik yaklaşımın temsil ettiği göstergeler ile elde edilen sonuçların etkin bir planlama için yeterli olmadığı görülmüştür. Bu aşamada kapasite kullanım oranı, yükleme kalite parametresi, seyahat başına ortalama hacim ve toplam kapasite olmak üzere dört adet verimlilik göstergesinden yararlanılmıştır. TT planlamasına yönelik üç adet senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryolar eklenik olarak gelişen, zaman çizelge ayarlaması, merkeze minibüs girişi yasaklaması ve tercihli otobüs hattı entegrasyonu

seçenekleridir. Mevcut verimlilik göstergelerinde servis kalite parametresi genel bazda mevcut durum için 1.45, Senaryo 1 için 1, Senaryo 2 için 1.09 ve Senaryo 3 için 1.03 olarak bulunmuştur. Kapasite kullanım oranı genel bazda mevcut durum için 45.01, Senaryo 1 için 30.11, Senaryo 2 için 32.03 ve senaryo 3 için 28.85 olarak bulunmuştur. Yolculuk başına ortalama hacim genel bazda mevcut durum için 3081, Senaryo 1 için 2006, Senaryo 2 için 2127 ve Senaryo 3 için 2038 olarak bulunmuştur. Toplam kapasite genel bazda, mevcut durum için 81212, Senaryo 1 için 118976, Senaryo 2 için 113472 ve Senaryo 3 için 128108 koltuk olarak tespit edilmiştir.

Mevcut durum ve senaryolar için elde edilen değerler kesin bir ayırım yapılması için yeterli olmadığı anlaşılmıştır. Senaryolar için elde edilen verimlilik göstergeleri birbirlerine çok yakın değerlerden oluşmaktadır. Bu nedenle FEE ve PE ölçütlerinden yararlanılarak her senaryonun erişilebilirlik değerleri açısından ne derece farklı oldukları incelenmiştir. Erişilebilirlik değerleri hesaplanırken değerler indeks değerlerler olarak değerlendirilmiş olup mutlak değer olarak bir anlam ifade etmemektedirler. Erişilebilirlik değerleri kendi içerisinde sıralama ve graplama amacı ile kullanılabilir değerlerdir. Değerlerin elde edilmesinde mesafe etki parametrelerinin belirlenmesi daha önceki alan çalışmalarından yararlanılması ile ve Lilliefors normalite testinden faydalanılmasıyla elde edilmiştir.

Mevcut durumda seyahat süresi ve konut alanı PE değeri 9399, araç içi süre ve konut alanı PE değeri 15148, seyahat süresi ve ticaret alanı PE değeri 4475 ve araç içi süre ve ticaret alanı PE değeri 9025 olarak hesaplanmıştır. Özellikle konut alanı ve seyahat süresi değişkenleri ile hesaplanan PE ve FEE değerlerinin Senaryo 1 için mevcut durumdan ve diğer senaryolardan yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumda elde edilen erişilebilirlik ltleri çok daha net bir değerlendirme mekanizması oluşturulmasını sağlamıştır. Mevcut durum ve Senaryo 1 arasındaki değişimler incelendiği zaman PE değerlerinin özellikle konut kullanımına duyarlı olduğu görülmektedir. Kombinasyonlarda konut türünü içeren PE değerleri mevcut duruma göre ticaret kombinasyonlarına oranla daha çok artış yaşamıştır. Zon bazında inceleme yapıldığında, Senaryo 1'de konut ve ticaret türlerinin seyahat süresi ile olan kombinasyonları diğer kombinasyonlara göre daha fazla değişiklik yaşamıştır. Araç içi süre ile oluşturulan kombinasyonlarda iniş ve ıkışlar nispeten daha az olmuştur. Konut ve seyahat süresi kombinasyonlarında genel olarak artış görülürken, ticaret ve

seyahat süresi kombinasyonlarında azalmalar daha sık görülmektedir. Senaryo 2 zon bazında incelendiğinde, konut ve ticaret türlerinin seyahat süresi ile olan kombinasyonlarının diğer kombinasyonlara göre daha fazla değişiklik yaşadığı görülmektedir. Araç içi süre ile oluşturulan kombinasyonlarda iniş ve çıkışlar nispeten daha az olmuştur. Konut ve seyahat süresi kombinasyonlarında genel olarak artış görülürken, ticaret ve seyahat süresi kombinasyonlarında azalmalar daha sık görülmektedir. Senaryo 3'de diğer iki senaryoya göre daha belirgin FEE değişimleri yaşanmıştır. Senaryo 3 için araç içi kombinasyonu ile olan tüm kombinasyonlar yüksek artış yaşamıştır.

TT planlamasında erişilebilirlik ölçütlerinin senaryo seçiminde gösterge olarak gösterildiği yöntem uzun vadede etkilidir. Çünkü arazi kullanım değerleri sabittir ve değişimi birden gerçekleşmemektedir.

Ceder (2007) tarafından geliştirilen TT ağ tasarımı yöntemi erişilebilirlik ölçütlerinin modele eklenmesi ile modifiye edilmiştir. Klasik amaç fonksiyonları ile elde edilen en verimli rota kararları erişilebilirlik temelli yeni amaç fonksiyonlarının da değerlendirilmesi ile değişmiştir. Bu durum erişilebilirlik kavramının TT ağ tasarımında kullanılabileceğini göstermektedir.

TT ağı tasarımında, 5, 1, 72, 79, 11, 22, 303, 287, 3, 444, 17, 4, 266, 8 ve 274 numaralı zonlar sırasıyla en verimli Z1 değerini sağlayan zonlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Erişilebilirlik değeri 500 he/dk altına düşen rota setleri 303, 17 ve 11 numaralı rota setleridir. Z1 ve Z2 fonksiyonlarının Z3 ve Z4 fonksiyonları ile sorgulanmasından sonra en iyi olduğu varsayılan rota setleri değişmiş ve erişilebilirliği daha iyi etkileyen rota setleri olduğu fark edilmiştir. Böylelikle rota setleri içerisinde toplumsal faydayı ve mekansal etkileşimi daha iyi temsil eden rota setlerinin fark edilerek değerlendirme sürecine sokulduğu görülmüştür.

## **6.2 Geleceğe yönelik çalışmalar**

TT planlamasının karar verme süreçlerine PE ve FEE dışında bireysel veya altyapı esaslı erişilebilirlik gibi erişilebilirlik türlerinde göstergeler dahil edilebilir. Erişilebilirlik ölçütlerinin kullanımında direnım matrislerinin seyahat süresi olarak belirlenmesi dışında doğrusal ve dolaylı mesafe matrisleri değerlendirilmesi daha

farklı sonuçlara ve yorumlamalara ulaşılmasını sağlayacaktır. Bu nedenle izokronal ölçütler ve mesafe ölçütlerinden de yararlanılabilir.

Erişilebilirlik ölçütlerinin gelecekteki çalışmalarda nüfus ile ağırlıklandırılarak kentsel yoğunluğun zon bazında temsil edilmesi sağlanabilir. Bunun nedeni konut alanlarının farklı fiziksel yüksekliklere sahip olmasıdır. Aynı alansal büyüklüklere sahip konut alanları farklı yükseklikler nedeni ile farklı kentse yoğunluklara sahip olabilmektedirler. Bu farkın erişilebilirliğe yansıtılması daha güçlü ve etkin bir değerlendirme yapılmasını sağlayacaktır.

Arazi kullanım ve ulaşım ilişkisi dinamik yapıya sahip bir ilişkidir dolayısıyla erişilebilirlik de dinamik bir yapıya sahiptir. Arttırılan erişilebilirlik kendi talebini yaratacaktır ve dolayısıyla TT talebi erişilebilirliği yüksek zonlara karşı duyarlı hale gelecektir. Bu nedenle talebin artması erişilebilirliği düşürebilecektir. Bu etkileşimi dikkate alan çalışmaların gelecekte yapılması daha tutarlı ve isabetli sonuçlar elde edilmesi açısından yararlı olacaktır. Aynı zamanda gelecekte arazi kullanım değişeceği için erişilebilirliğin değişimi çift taraflı değişken ile incelenebilir. Bu nedenle geleceğe yönelik çalışmalarda erişilebilirlik ölçütleri hesaplanırken arazi kullanım farklılıkları da değerlendirilebilir.

Durakların erişiminin güvenliği önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Durakların konforu ve beklemeye uygun olması erişilebilirliğin konfor özelliğini temsil etmektedir bu nedenle genel olarak erişilebilirlik üzerinde çok büyük bir etkiye sahiptir. Bu nedenle gelecekteki çalışmalarda erişilebilirlik ölçütleri hesaplamasında değerlendirilmesi gerekmektedir.

TT ağ tasarımına yönelik geliştirilen amaç fonksiyonlarının erişilebilirlik fonksiyonları ile beraber değerlendirilmesi yerine kentsel erişilebilirliğin hesaplanarak bir üst seviyede amaç fonksiyonuna alt değişken olarak eklenmesi sağlanabilir. Bu durumda erişilebilirlik değişkenleri optimizasyon süreçlerinde alt değişkenler olarak kullanılabilirler. Bu durum toplumsal faydayı temsil eden erişilebilirlik göstergelerinin TT ağ tasarım süreçlerine daha etkin dahil olmasını sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

**Akıllı Yeşil Çözüm.** (2013). [www.uitp.org](http://www.uitp.org).

**Alonso, B., Moura, J.L., Olio, L., Ibeas, A. (2011).** Bus Stop Location Under Different Levels of Network Congestion and Elastic Demand, *Transport*, 26(2), 141-148

**Andreasson, I. (1976).** "A method for the analysis of transit networks", in: M. Ruebens ed., 2nd European Congress on Operations Research. Amsterdam : North-Holland.

**Axhausen, K.W. ve Smith, R.L. (1984).** Evaluation of a Heuristic Network Optimization Algorithm, *Transportation Research Record*, 976, 720

**Baaj, M. H. ve Mahmassani, H. S. (1991).** An AI-based approach for transit route system planning and design. *Journal of Advanced Transportation*, 25, 187–210.

**Baaj, M. H. ve Mahmassani, H. S. (1992).** Artificial intelligence-based system representation and search procedures for transit route network design. *Transportation Research Record*, 1358, 67–70.

**Baaj, M. H. ve Mahmassani, H. S. (1995).** Hybrid route generation heuristic algorithm for the design of a transit network. *Transportation Research*, 3C, 31–50.

**Banister, D., & Berechman, J. (2000).** *Transport investment and economic development*. London: University College London Pres.

- Ben-Akiva, M., Lerman, S.R., 1979.** Disaggregate travel and mobility choice models and measures of accessibility. In: Hensher, D.A., Sopher, P.R. (Eds.), *Behavioural Travel Modelling*. Croom Helm, Andover, Hants, pp. 654–679
- Ben-Akiva, M., Lerman, S.R., 1985.** *Discrete Choice Analysis*. MIT Press, Cambridge, MA.
- Benenson, I., Martens, K., Rofe, Y., & Kwartler, A. (2010).** Public transport versus private car GIS-based estimation of accessibility applied to the Tel Aviv metropolitan area. *The Annals of Regional Science*, 47, 499–515.
- Bhat, C., Handy, S., Kockelman, K., Mahmassani, H., Chen, Q., Srour, I., & Weston, L. (2001).** *Assessment of accessibility measure (Research Report No. 7-4938)*. Texas: Texas Department of Transportation, Texas, U.S.A.
- Biba, S., Curtin, K. M., & Manca, G. (2010).** A new method for determining the population with walking access to transit. *International Journal of Geographical Information Science*, 24, 347–364.
- Bielli, M., Caramia, M. ve Carotenuto, P. (2002).** Genetic algorithms in bus network optimization. *Transportation Research*, 10C, 19–34.
- Borgia, E., ve A. Cappelli. (1994).** *Il ruolo dei trasporti nella programmazione del mezzogiorno*. Milano: Franco Angeli.
- Bröcker, J. (1989).** How to eliminate certain defects of the potential formula. *Environment and Planning Part A*, 21, 817-830.
- Burns, L. D. (1979).** *Transportation, temporal and spatial components of accessibility*. Toronto: Lexington Books.

- Ceder, A. ve Israeli, Y.** (1992). Scheduling consideration in designing transit routes at the network level. In *Computer-aided Transit Scheduling*. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, **386** (M. Desrochers and J. M. Rousseau, eds), pp. 113–136, Springer-Verlag.
- Ceder, A.** (2001). Operational objective functions in designing public transport routes. *Journal of Advanced Transportation*, **35**, 125–144.
- Ceder, A.** (2002). Urban transit scheduling: framework, review, and examples. *Journal of Urban Planning and Development* 128:4, 225–244.
- Ceder, A.** (2007). Public Transport Planning and Operation, Theory. modelling and practise **35**, 408–452.
- Ceder, A., Gonzalez, O. ve Gonzalez, H.** (2002). Design of bus routes: Methodology and the Santo Domingo case. *Transportation Research Record*, **1791**, 35–43.
- Cervero, R., Rood, T., ve Appleyard, B.** (1997). *Job accessibility as a performance indicator: An analysis of trends and their social policy implications in the San Francisco Bay Area (Working Paper 692)*. Berkeley: University of California.
- Chapleau, R.** (1974). "Reseaux de transport en commun: Structure informatique et affectation", Center of Transportation Research: University of Montrea. Publication No.13.
- Chriqui, C.** (1974). "Reseaux de transport en commun: Les problemes de cheminement et d'accès", Center of Transportation REsearch: University of Montrea, Publication No.11.
- Currie, G.** (2010). Quantifying spatial gaps in public transport supply based on social needs. *Journal of Transport Geography*, 18, 31–41.



- Curtis, C.** (2007). Planning for sustainable accessibility: the implementation challenge. *Transport Policy* 15, 104-112.
- Curtis, C.** (2011). Integrating land use with public transport: The use of a discursive accessibility tool to inform metropolitan spatial planning in Perth. *Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal*, 31(2), 179–197.
- Daganzo, C.F. ve Sheffi, Y.** (1977). On stochastic models of traffic assignment." *Transportation Science* 11(3):253-274.
- Dalvi, M. Q. ve Martin, K. M.** (1976). The measurement of accessibility: some preliminary results. *Transportation* 5, 17–42.
- Dial, R.B.** (1967)."Transit pathfinder algorithm", *Highway Research Record*, 205:67-85
- Dial, R. B. ve Bunyan, R. E.** (1968). Public transit planning system. *Socio-Economic Plan. Science*, 1, 345–362.
- Dial, R. B.** (1971). "A probabilistic multipath traffic assignment algorithm which obviates path enumeration." *Transportation Research* 5(2): 81-111
- DUAP.** (2010): Denizli Intracity and Immediate Surroundings Transportation Master Plan and Process Management, 1.Phase Final Report (in Turkish)
- De Cea, J. ve E. Fernandez** (1989). "Transit Assignment to minimal routes: An efficient new algorithm" *Traffic Engineering and Control*, 30 (10):491-494.

- De Cea, J. ve E. Fernandez** (2002). "Transit Assignment Models", Chapter 30 in: Handbook of Transport Modeling (ed. David A. Hensher and Kenneth J. Button): Pergamon
- Dubois, D., Bel, G. ve Libre, M.** (1979). A set of methods in transportation network synthesis and analysis. *Operations Research*, **30**, 797–808.
- Engwicht, D.** (1993). Reclaiming our cities and towns: Better living with less traffic. The concept of accessibility: A search for an operational form. *Regional Studies*, 5, 101–107 (New Society Publishers).
- Farvolden, J. M. ve Powell, W. B.** (1994). Subgradient methods for the service network design problem. *Transportation Science*, 28, 256–272.
- Florian, M.** (1977). "A traffic equilibrium model of travel by car and public transit modes", *Transportation Science*, 11(2):166-179
- Florian, M. ve H. Spiess** (1983). "On binary mode choice/assignment models", *Transportation Science*, 17(1):32-47
- Friedrich, M., Hofsäß, I., & Wekeck, S.** (2001). Timetable-based transit assignment using branch & bound. PTV Traffic Mobility Logistics, PTV AG.
- Forckenbrock, D.J., Weisbrod, G.E.** (2001). Guidebook for assessing the social and economic effects of transportation projects. National Cooperative Highway Research Program. University of Iowa, Iowa City.
- Furth, P. G., Mekuria, M. C., & San Clemente, J. L.** (2007). Parcel-level modeling to analyze transit stop location changes. *Journal of Public Transport*, 10, 73–92.

- Gendreau, M. (1984).** (1984). "Etude approfondie d'un modele d'equilibre pour l'affectation des passagers dans les reseaux de transport en cummun." Center of Transport Research, University of Montreal, Publication No.384.
- Geurs, K.T., Ritsema van Eck, J.R.,** 2001. Accessibility measures: review and applications. RIVM report 408505 006, National Institute of Public Health and the Environment, Bilthoven. Available from <[www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/408505006.html](http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/408505006.html)>.
- Geurs, K.T., Ritsema van Eck, J.R.,** 2003. Accessibility evaluation of land-use scenarios: the impact of job competition land-use and infrastructure developments for the Netherlands. *Environment and Planning B* 30 (1), 69–87.
- Geurs, K. T. ve Van Wee, B.** (2004). Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: Review and research directions. *Journal of Transport Geography*, 12, 127–140.
- Gutierrez, J., & Garcia-Palomares, J. C.** (2008). Distance-measure impacts on the calculation of transport service areas using GIS. *Environment and Planning B*, 35, 480–503.
- Gülgeç, İ.** (1998). Ulaşım Planlaması, Ankara, Türkiye.
- Gulhan, G., Ceylan, H., Haldenbilen, S. ve diğ.** (2009) Erişilebilirlik ve arazi kullanımı arasındaki ilişkinin kentiçi yerleşmelerde araştırılması. *8.Ulaştırma Kongresi*, Ekim, İstanbul.
- Gulhan, G., Ceylan, H., Ozuysal, M. ve diğ.** (2013) Impact of Utility-Based Accessibility Measures On Urban Public Transportation Planning: a case study of Denizli, Turkey. *Cities*, 10.1016/j.cities.2013.04.001

- Handy, S., 1994.** Regional versus local accessibility: implications for non-work travel. *Transportation Research Record* 1400, 58–66.
- Handy, S.L., Niemeier, D.A., 1997.** Measuring accessibility: an exploration of issues and alternatives. *Environment and Planning A* 29, 1175–1194.
- Hansen W.G. (1959)** How accessibility shapes land use. *Journal of the American Planning Association (JAPA)*, 25:2, 73-76 (<http://dx.doi.org/10.1080/01944365908978307>)
- Hasselstrom, D. (1981).** "Public transportation planning: A mathematical programming approach", PhD thesis, University of Goteburg
- Heathington, K. W., Miller, J., Knox, R. R., Hoff, G. C. ve Bruggman, J. (1968).** Computer simulation of a demand scheduled bus system offering door to door service. *Highway Research Record*, **91**, 26–40.
- Hickman, M. D. ve D. H. Bernstein. (1997).** "Transit Service and Path Choice Models in Stochastic and Time-Dependent Networks." *Transportation Science* 31:129-146.
- Hobeika, A. G. ve Cho, C. (1979).** Equilibration of supply and demand in designing bus routes for small urban areas. *Transportation Research Record*, 730, 7–13.
- Hsiao, S., Lu, J., Sterling, J., & Weatherford, M. (1997).** Use of geographic information system for analysis of transit pedestrian access. *Transportation Research Record*, 1604, 50–59.
- Ingram, D.R., 1971.** The concept of accessibility: a search for an operational form. *Regional Studies* 5, 101–107.

- Israeli, Y. ve Ceder, A.** (1995). Transit route design using scheduling and multi-objective programming techniques. In *Computer-aided Transit Scheduling*. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, **430** (J. R. Daduna, I. Branco and J. M. P. Paixao, eds), pp. 56–75, Springer-Verlag.
- Keudel, W.** (1988). Computer-aided line network design (DIANA) and minimization of transfer times in networks (FABIAN). In *Computer-aided Transit Scheduling*. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, **308** (J. R. Daduna and A. Wren, eds), pp. 315–326, Springer-Verlag.
- Kim, D. ve Barnhart, C.** (1999). Transportation service network design: Models ve algorithms. In *Computer-aided Scheduling of Public Transport*. Lectures Notes in Economics and Mathematical Systems, **471** (N. H. M. Wilson, ed.), pp. 259–283, Springer- Verlag.
- Kimpel, T. J., Duecker, K. J., & El-Geneidy, A. M.** (2007). Using GIS to measure the effects of service area and frequency on passenger boardings at bus stops. *URISA Journal*, 19, 5–11.
- Kocur, G. ve Hendrickson, C.** (1982). Design of local bus service with demand equilibration. *Transportation Science*, **16**, 149–170.
- Koenig, J.G.**, 1980. Indicators of urban accessibility: theory and applications. *Transportation* 9, 145–172.
- Kwan, M.-P.**, 1998. Space–time and integral measures of individual accessibility: a comparative analysis using a point-based framework. *Geographical Analysis* 30 (3), 191–216.
- Kuah, G. K. ve Perl, J.** (1988). Optimization of feeder bus routes and bus-stop spacing. *Journal of Transportation Engineering*, 114, 341–454.

- Lam, W.H.K., Z.Y. Gao, K.S. Chan ve H.Yang** (1999). " A stochastic user equilibrium assignment model for congested transit networks", *Transportation Research Part B*, 33:351-368.
- Lampkin, W. ve Saalmans, P. D.** (1967). The design of routes, service frequencies, and schedules for a municipal bus undertaking: A case study. *Operations Research*, 18, 375–397.
- Le Clercq, F.** (1972.) "A public transport assignment method", *Traffic Engineering and Control*, 14(2):91-96
- Lei, T. L. ve Church, R. L.** (2010). Mapping transit-based access: Integrating GIS, routes and schedules. *International Journal of Geographical Information Science*, 24, 283–304.
- Levine, J.** (1998). Rethinking accessibility and jobs-housing balance. *Journal of American Planning Association*, 64 (1), 12-25.
- List, G. F.** (1990). Towards optimal sketch level transit service plans. *Transportation Research*, 24B, 324–344.
- Lilliefors, H. W.** (1967). On the Kolmogorow–Smirnov test for normality with mean and variance unknown. *Journal of the American Statistical Association*, 62, 399–402.
- Lilliefors, H. W.** (1969). On the Kolmogorow–Smirnov test for the exponential distribution with mean unknown. *Journal of the American Statistical Association*, 64, 387–389.
- Litman, T.** (2010). Evaluating Accessibility for transportation planning. *VTPI* ([www.vtpi.org/access.pdf](http://www.vtpi.org/access.pdf))

- Lovett, A., Haynes, R., Sunnenberg, G., & Gale, S. (2002).** Car travel time and accessibility by bus to general practitioner services: A study using patient registers and GIS. *Social Science and Medicine*, 55, 97–111.
- Mandl, C. E. (1979).** Evaluation and optimization of urban public transportation networks. *European Journal of Operation Research*, 5, 396–404.
- Marwah, B. R., Umrigar, F. S. ve Patnaik, S. B. (1984).** Optimal design of bus routes and frequencies for Ahmedabad. *Transportation Research Record*, 994, 41–47.
- Mavoa, S., Witten, K., McCreanor, T., & O’Sullivan, D. (2012).** GIS based destination accessibility via public transit and walking in Auckland, New Zealand. *Journal of Transport Geography*, 20, 15–22.
- Mguyen, S. ve S.Pallottino. (2012).** "Equilibrium traffic assignment for large scale transit networks." *European Journal of Operational Research*, 37:176-189.
- Murray, A. T., Davis, R., Stimson, R., ve Ferreira, L. (1998).** Public transport access. *Transportation Research Part D*, 3, 319–328.
- Nielsen, O.A. (2000).** "A stochastic transit assignment model considering differences in passengers utility functions", *Transportation Research Part B*, 34:377-402
- Nuzzola, A., F.Russo ve U.Crisalli (2003).** "Transit Network Modelling: The schedule-based.", *Collana Trasnporit*, FrancoAngeli s.r.l, Milano, Italy.
- Özuyosal, M. (2010).** Şehirselle Yerleşimlerde Erişilebilirlik Ölçütünün Modellenmesi ve Kullanımı: Ulaşım Türü Seçimi Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi, Doktora Tezi. İzmir, Dokuz Eylül Üniversitesi.

- Özuysal, M., Tanyel, S. ve Oral, M.Y.** (2012). Fayda Esaslı Erişilebilirliğin Ulaşım Türü Seçimi Üzerindeki Etkisi. İMO Teknik Dergi, 2012 5987-6016, Yazı 381
- Patnaik, S. B., Mohan, S. ve Tom, V. M.** (1998). Urban bus transit route network design using genetic algorithm. *Journal of Transportation Engineering*, **124**, 368–375.
- Pirie, G.H.** (1981). The possibility and potential of public policy on accessibility. *Transportation Research A* 15 (5), 377–381.
- Pitot, M., Yigitcanlar, Tan, Sipe, Neil, Evans, R.** (2006). Land use and public transport accessibility index (LUPTAI) tool: The development and pilot application of LUPTAI for the Gold Coast. *Social Research in Transport (SORT) Clearinghouse* 123, 1–18.
- Poon, M.H., S.C.Wong ve C.O. Tong.** (2004). "A dynamic schedule-based model for congested transit networks", *Transportation Research Part B*, 38:343-368.
- Pratt, R. ve Evans, J.** (2004). Traveler response to transportation system changes: Bus routing and coverage. In *TCRP Report 95, Chapter 10*. Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Ramirez, A. I. ve Seneviratne, P. N.** (1996). Transit route design applications using geographic information systems. *Transportation Research Record*, **1557**, 10–14.
- Rapp, M.G., P. Mattenberger, S. Piguet ve A. Robert-Grandpierre.** (1976). Interactive graphics systems for transit route optimization", *Journal of Transportation Research Record*, 559:73-88.



- Rietveld, P., ve Bruinsma, F. R.** (1998). *Is transport infrastructure effective? transport infrastructure and accessibility: impacts on the space economy*. Berlin: Springer Verlag.
- Salicru, M., Fleurent, C., Armengol, J.M.** (2010). Timetable-based operation in urban transport: un-time optimization and improvements in the operating process. *Transportation Research Part A* 45, 721–740.
- Scheele, C.E.** (1977). "A mathematical programming algorithm for optimal bus frequencies", Institute of Technology, University of Linkoping
- Sheffi, Y.** ve W.B. Powell (1981). "A comparison of stochastic and deterministic traffic assignment over congested networks." *Transportation Research B*. 15(1):53-64.
- Sheffi, Y.** (1985). "Urban Transportation Networks." Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ
- Shen, Q.** (1998). Location characteristics of inner-city neighborhoods and employment accessibility of low-wage workers. *Environment and Planning B*, 25 (3), 345–365.
- Silman, L. A., Barzily, Z. ve Passy, U.** (1974). Planning the route system for urban buses. *Computers and Operations Research*, 1, 201–211.
- Soehodo, S. ve Koshi, M.** (1999). Design of public transit network in urban areas with elastic demand. *Journal of Advanced Transportation*, 33, 335–369.
- Song, S.,** 1996. Some tests of alternative accessibility measures: a population density approach. *Land Economics* 72 (4), 474–482.

- Spasovic, L. N. ve Schonfeld, P. M.** (1993). Method for optimizing transit service coverage. *Transportation Research Record*, 1402, 28–39.
- Spasovic, L. N., Boile, M. P. ve Bladikas, A. K.** (1994). Bus transit service coverage for maximum profit and social welfare. *Transportation Research Record*, 1451, 12–22.
- Spiess, H.** (1983). "On optimal route choice strategies in transit networks", Center of Transport Research, University of Montreal, Publication No. 286.
- Spiess, H. ve M. Florian** (1989). "Optimal strategies: A new assignment model for transit networks", *Transportation Research B*, 23(2):83-102
- Sweet, R. J.** (1997). An aggregate measure of travel utility. *Transportation Research Part B*, 31 (5), 403-416.
- Tong, C.O. ve S.C. Wong** (1999). "A stochastic transit assignment model using a dynamic schedule-based network", *Transportation Research Part B*, 33: 107-121
- Tom, V. M. ve Mohan, S.** (2003). Transit route network design using a frequency coded genetic algorithm. *Journal of Transportation Engineering*, 129, 186–195.
- TRB. TCRP.** (1999). Transit capacity and quality of service manual – Part 2. Texas Transportation Institute.
- Tsao, S. ve Schonfeld, P.** (1984). Branched transit services: An analysis. *Journal of Transportation Engineering*, **110**, 112–128.
- Vandebona, U. ve Richardson, A. J.** (1985). Simulation of transit route operations. *Transportation Research Record*, **1036**, 36–40.

- Van Nes, R. ve Bovy, P. H. L.** (2002). Importance of objectives in urban transit-network design. *Transportation Research Record*, 1735, 25–34.
- Van Nes, R., Hamerslag, R. ve Immers, B. H.** (1988). Design of public transport networks. *Transportation Research Record*, **1202**, 74–83.
- Van Nes, R.** (2003). Multiuser-class urban transit network design. *Transportation Research Record*, **1835**, 25–33.
- VISUM 11.52 – Fundamentals** (2011). VISUM PTV traffic mobility logistics. PTV AG.
- Wan, Q. K. ve Lo, H. K.** (2002). 2-Phase transit network design in an integrated transit system. *Advanced Modeling for Transit Operations and Service Planning – Work-shop Proceedings*. Crouser Advanced Study Institute.
- Wu, J.H., M. Florian ve P. Marcotte.** (1994). "Transit equilibrium assignment: a model and solution algorithms." *Transportation Science* 28:193-203
- Wilson, A. G.** (1971). A family of spatial interaction models, and associated developemts. *Environment and Planning*, 3 (1), 1-32.
- Yan, S. ve Chen, H. L.** (2002). A scheduling model and a solution algorithm for inter-city bus carriers. *Transportation Research*, 36A, 805–825.
- Yin, Y., Miller, M. ve Ceder, A.** (2005). Framework for deployment planning of bus rapid transit systems. *Transportation Research Record*, **1903**, 11–19.

**Zhao, F., Chow, L., Li, M., Ubaka, I., ve Gan, A.** (2003). Forecasting transit walk accessibility: Regression model alternative to buffer method. *Transportation Research Record*, 1835, 34–41.

## **EKLER**

**EK A.1** Hane halkı anketlerinden elde edilen demografik veriler ve değerleri.

ZON	NÜFUS	ARAÇ SAYISI	ÇALIŞAN SAYISI	ÖĞRENCİ SAYISI
1	953	286	314	219
2	1008	302	333	232
3	500	150	165	115
4	714	172	222	172
5	429	59	74	104
6	944	405	163	228
7	1105	474	191	267
8	1722	157	628	665
9	2809	513	1043	1141
10	1036	555	222	407
11	1543	827	331	606
12	1848	990	396	726
13	2011	629	709	773
14	5999	1748	2745	2023
15	8460	2314	3846	2908
16	13147	5477	6977	5519
17	5328	2220	2828	2237
18	7523	1267	2004	1428
19	13796	4581	6751	5216
20	1335	454	708	534
21	521	156	172	120
22	303	202	152	101
23	172	63	90	61
24	765	230	252	176
25	319	96	105	73
26	6486	988	856	493
27	205	68	37	27
28	1180	342	124	31
29	3588	939	1057	1051
30	5661	828	2278	2347
31	981	260	355	389
32	4495	1062	1798	1716
33	4109	1142	1822	1431
34	5815	1651	2872	1867
35	3007	1234	1454	1169
36	3910	1197	1695	1504
37	5232	3409	2731	2166
38	7708	2807	3298	2972
39	13848	5802	4306	3599
40	6982	3182	3036	2445
41	16029	6358	6848	5405
42	17030	6464	7276	5743
43	8403	192	1861	1521
44	5524	2061	3097	2092
45	665	363	393	181

ZON	NÜFUS	ARAÇ SAYISI	ÇALIŞAN SAYISI	ÖĞRENCİ SAYISI
46	3758	704	661	360
47	911	364	504	67
48	947	124	113	61
49	7128	750	750	375
50	11741	7890	3738	2335
51	12800	7377	5067	3282
52	2230	1050	769	514
53	7222	3636	2200	1386
54	3580	1056	692	403
55	4037	1520	1060	688
56	6965	1933	1750	1276
57	349	87	116	58
58	9847	3201	2634	2556
59	15039	3913	4701	4689
60	10046	3742	3398	3441
61	14371	6112	4469	3735
62	9662	4270	3005	2511
63	7400	296	296	148
64	9393	3484	1817	1464
65	9497	5285	1837	1480
66	6885	2933	1567	1235
67	3810	228	385	128
68	15347	6369	5272	4179
69	13138	4713	5059	4136
70	11900	2865	5877	5142
71	16728	4159	6489	4934
72	6198	2912	3286	2016
73	8832	3098	2266	2173
74	12633	5064	3687	3632
75	8586	5051	2682	2678
76	9583	4792	3650	3161
77	9805	4501	3085	2592
78	6832	2428	2943	2412
79	2383	88	118	74
80	14537	6276	7557	5828

**EK A.2 Arazi kullanım çeşitleri ve değerleri.**

ZON	NÜFUS (kişi)	ARAÇ SAYISI	ÇALIŞAN SAYISI (kişi)	ÖĞRENCİ SAYISI (kişi)	EĞİTİM ALANI (m <sup>2</sup> )	RESMİ KURUM (m <sup>2</sup> )	TİCARET ALANI (m <sup>2</sup> )	SANAYİ ALANI (m <sup>2</sup> )	PAZAR YERİ (m <sup>2</sup> )	SAĞLIK ALANI (m <sup>2</sup> )	SOSYO- KÜLTÜREL ALAN (m <sup>2</sup> )	YEŞİL ALAN (m <sup>2</sup> )	SPOR YURT ALANI (m <sup>2</sup> )	GELİŞME KONUT ALANI (m <sup>2</sup> )	MESKUN KONUT ALANI (m <sup>2</sup> )
1	953	325	531	506	56078	7617	21723	25008	4647	16152	0	100216	0	396416	114000
2	1008	302	333	232	50326	0	75592	287906	2951	17954	0	403104	0	532665	180000
3	500	150	165	115	13042	4492	774306	540049	23237	3521	0	969326	9058	280000	132180
4	714	172	222	172	5490	42425	188884	3287531	72853	11436	0	888189	21969	0	309457
5	429	59	74	104	53232	42006	39411	1752240	108075	10658	2553	1690423	3658	0	62206
6	944	405	674	405	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44
7	1105	474	789	474	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52
8	1722	157	1174	861	13550	2404	196794	0	7486	2191	1631	64999	2693	0	264699
9	2809	959	2633	1931	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	131
10	1036	555	222	407	10690	12433	7960	707272	12613	0	0	272698	0	459506	185000
11	1543	527	1029	1029	4524	0	3083	9001	1012	0	0	33620	0	0	64597
12	1848	1208	1137	782	0	0	0	0	0	0	0	0	0	863100	86
13	2011	1365	934	1149	6823	1510	4196	0	838	5617	0	63303	0	0	107139
14	5999	2048	3343	4173	33998	22141	3029	0	8313	10777	0	119633	16327	0	575763
15	8460	2889	4715	6898	40542	5287	28999	43829	5171	11385	0	159495	0	0	889048
16	13147	4489	5382	8382	1005688	791	106791	0	11765	0	0	361586	115136	0	383728
17	5328	1819	3655	3222	61122	1547	94439	0	0	4639	5486	363276	0	0	898206
18	7523	2569	6433	4361	87501	4732	14848	0	9198	11622	0	207519	60019	200000	689823
19	13796	605	495	330	51307	12485	9808	0	7529	997	0	435269	21837	150000	799618
20	1335	456	694	641	25921	0	11216	0	2451	9518	0	107926	14117	600989	230000
21	521	156	172	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	127615
22	303	202	152	101	0	0	0	0	0	0	0	6828	19546	0	151406
23	172	17	17	17	10094	0	0	0	963	0	0	15360	0	0	135736
24	765	230	252	176	18059	0	1805	0	8647	2217	0	140735	134886	300000	328833



ZON	NÜFUS (kişi)	ARAÇ SAYISI	ÇALIŞAN SAYISI (kişi)	ÖĞRENCİ SAYISI (kişi)	EĞİTİM ALANI (m <sup>2</sup> )	RESMİ KURUM (m <sup>2</sup> )	TİCARET ALANI (m <sup>2</sup> )	SANAYİ ALANI (m <sup>2</sup> )	PAZAR YERİ (m <sup>2</sup> )	SAĞLIK ALANI (m <sup>2</sup> )	SOSYO- KÜLTÜREL ALAN (m <sup>2</sup> )	YEŞİL ALAN (m <sup>2</sup> )	SPOR YURT ALANI (m <sup>2</sup> )	GELİŞME KONUT ALANI (m <sup>2</sup> )	MESKUN KONUT ALANI (m <sup>2</sup> )
25	319	96	105	73	61026	0	87423	0	34371	16266	0	1006275	38265	1330569	185000
26	6486	2215	4973	5297	213765	3565	17136	0	82530	5474	0	553589	44104	898502	525000
27	205	68	615	47	6667	20230	39836	79762	81239	0	0	474468	0	0	11120
28	1180	342	124	31	10843	25622	98728	1064012	28323	0	0	191528	97323	0	61471
29	3588	1225	2000	3262	10000	37577	5809	161813	29463	3393	19307	605032	60692	0	286731
30	5661	828	2278	2347	15577	108059	19690	131185	5054	1694	0	237155	25381	0	594263
31	981	335	858	368	5194	0	0	0	0	0	0	73001	0	0	181666
32	4495	1062	1798	1716	8010	0	79443	15373	0	0	0	66595	0	0	348680
33	4109	1403	2290	3486	10213	0	36289	0	0	0	0	61610	1351	0	377397
34	5815	1651	2872	1867	5000	3415	28056	37205	0	2565	0	76875	91398	0	938119
35	3007	1234	2467	2082	4618	0	5806	67422	1137	931	0	20956	3815	0	326033
36	3910	1335	3055	2688	11253	0	69356	19849	9261	800	0	21762	0	0	208668
37	5232	3409	3329	4043	18895	2783	3850	0	4338	637	0	37727	8847	0	283183
38	7708	2632	4296	5870	8060	4253	0	0	8734	909	1550	47290	7287	0	555166
39	13848	5802	7040	7968	30817	58303	4469	0	44858	1158	0	184736	20217	0	503108
40	6982	2384	3891	3515	5536	0	3725	0	0	0	3573	29459	2146	0	276751
41	16029	12641	9915	9006	31694	11425	30558	0	1461	0	0	62606	727	0	586968
42	17030	401	801	100	12014	0	885	0	0	0	0	55168	2477	0	557281
43	8403	92	831	369	51747	7604	12278	0	8599	10814	0	117657	3037	290000	500223
44	5524	1886	3097	2092	202490	44238	2423	104934	30746	52490	1904	632818	0	425000	446827
45	665	363	393	181	4418	0	31480	0	6383	29057	0	54703	2397	0	253132
46	3758	1283	2443	2161	20629	0	40720	0	15371	4877	0	146130	0	185000	192330
47	911	364	607	425	52571	41747	2980	0	46310	12186	0	271063	16790	300000	431857
48	947	323	631	477	25879	0	28454	0	19070	12362	0	385772	1132	1300000	130628
49	7128	750	750	375	38267	2146	11392	0	9215	133514	0	252672	0	220000	699455
50	11741	7890	8266	4696	128338	120463	125509	0	19110	13905	0	208593	31857	280000	318927

ZON	NÜFUS (kişi)	ARAÇ SAYISI	ÇALIŞAN SAYISI (kişi)	ÖĞRENCİ SAYISI (kişi)	EĞİTİM ALANI (m <sup>2</sup> )	RESMİ KURUM (m <sup>2</sup> )	TİCARET ALANI (m <sup>2</sup> )	SANAYİ ALANI (m <sup>2</sup> )	PAZAR YERİ (m <sup>2</sup> )	SAĞLIK ALANI (m <sup>2</sup> )	SOSYO- KÜLTÜREL ALAN (m <sup>2</sup> )	YEŞİL ALAN (m <sup>2</sup> )	SPOR YURT ALANI (m <sup>2</sup> )	GELİŞME KONUT ALANI (m <sup>2</sup> )	MESKUN KONUT ALANI (m <sup>2</sup> )
51	12800	4371	8055	9710	91162	7147	7667	0	9174	2308	0	221749	12875	247000	320070
52	2230	761	1274	1123	0	1317	1802	0	934	0	0	109259	1274	0	154641
53	7222	2466	4025	3635	108867	0	8763	0	30295	5992	0	349705	885	182500	729575
54	3580	1222	1995	1802	113342	126323	38135	0	68019	1273	0	453908	8924	400000	696792
55	4037	1378	3273	1746	20474	30245	3714	66661	2990	0	0	183947	0	0	606772
56	6965	1933	1750	1276	4250	0	4996	0	7867	746	0	7862	1124	0	256268
57	349	87	116	58	8550	54777	1550	158634	6317	0	0	78112	4227	0	16
58	9847	3362	5508	4172	19481	33101	3937	0	19207	6985	0	117561	23425	375884	459
59	15039	5135	8382	9886	55031	89124	4226	28496	8118	2000	0	176865	4890	0	593808
60	10046	3430	7146	7250	66735	35211	0	0	16518	0	0	435005	0	0	332208
61	14371	4907	11619	9275	14092	1958	0	0	3353	309	0	48215	0	0	796742
62	9662	3299	6468	5031	10759	17743	31485	0	5507	590	0	8969	15669	0	199572
63	7400	296	296	148	3110	4927	3334	0	2984	0	0	6382	0	0	209009
64	9393	3207	5235	8528	12032	1419	20879	0	0	0	0	2263	0	0	184210
65	9497	5285	5781	4542	40490	0	6762	0	1933	0	2338	4119	38614	0	217069
66	6885	2351	5473	3796	1277	1257	41666	0	0	0	4182	10596	0	0	130790
67	3810	228	385	128	0	3153	97256	0	805	0	0	5055	0	0	2206
68	15347	5240	12611	8923	8064	0	7240	0	138	0	0	11064	0	0	314847
69	13138	4713	7926	5855	17372	0	0	0	0	444	0	3456	0	0	383607
70	11900	2865	5877	5142	9640	13834	216187	0	14525	45979	4864	12093	0	0	96006
71	16728	4159	11275	9612	13548	0	13159	0	11133	6904	0	57933	0	0	616897
72	6198	2912	3286	2016	7917	0	89134	22913	0	0	315	223940	0	0	229817
73	8832	3098	2266	2173	40230	11384	97770	0	38575	5779	0	189939	3762	0	316524
74	12633	4314	11242	8692	18173	0	19336	0	4132	1853	0	48818	0	0	555666
75	8586	5051	7702	6818	28860	0	0	0	8058	0	0	28642	0	0	471914
76	9583	4792	7812	7500	26305	9244	29356	0	2373	333	0	38715	4209	0	616427

ZON	NÜFUS (kişi)	ARAÇ SAYISI	ÇALIŞAN SAYISI (kişi)	ÖĞRENCİ SAYISI (kişi)	EĞİTİM ALANI (m <sup>2</sup> )	RESMİ KURUM (m <sup>2</sup> )	TİCARET ALANI (m <sup>2</sup> )	SANAYİ ALANI (m <sup>2</sup> )	PAZAR YERİ (m <sup>2</sup> )	SAĞLIK ALANI (m <sup>2</sup> )	SOSYO- KÜLTÜREL ALAN (m <sup>2</sup> )	YEŞİL ALAN (m <sup>2</sup> )	SPOR YURT ALANI (m <sup>2</sup> )	GELİŞME KONUT ALANI (m <sup>2</sup> )	MESKUN KONUT ALANI (m <sup>2</sup> )
77	9805	3348	9205	7204	3481	0	110704	0	0	0	0	5968	0	0	80164
78	6832	2333	4073	3219	613	4337	88848	0	0	0	35945	17646	638	0	95540
79	2383	88	118	74	0	465	277819	38363	0	0	0	5322	0	0	111
80	14537	6276	7557	5828	28598	0	233753	0	6185	789	0	14787	0	0	130745

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad: Görkem GÜLHAN**

**Doğum Yeri ve Tarihi: İzmir - 27.01.1980**

**Adres: Pamukkale Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi Şehir ve Bölge Planlama Bölümü**

**Lisans Üniversite: Dokuz Eylül Üniversitesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü**

**Yayın Listesi:**

- Gülhan, G. ve Ceylan, H. (2013). Toplu Taşıma Ağı Tasarımında Erişebilirlik Ölçütlerinden Yararlanılması. TRANSIST 6. Ulaşım Sempozyumu. Aralık, 2013.
- Gulhan, G., Ceylan, H., Haldenbilen,S., (2013). Evaluation of Residential Area Proposals Using Spatial Interaction Measure: Case Study of Denizli, Turkey. *16<sup>th</sup> Meeting of the EURO Working Group on Transportation.*
- Gulhan, G., Ceylan,H., Baskan,O., Ceylan, H., (2013). Using Potential Accessibility Measure for Urban Public Transportation Planning: A Case Study of Denizli, TURKEY. Promet Traffic & Transportation, 2013
- Gulhan, G., Ozuysal, M., Ceylan, H., ve Ceylan,H., (2013). Impact Of Utility-Based Accessibility Measures On Urban Public Transportation Planning: a case study of Denizli, Turkey. Cities, 10.1016/j.cities.2013.04.001, 2013
- Oral, Y. ve Gülhan, G.. 2012. Yük Taşımacılığının Şehir İçi Karayolu Hacmine Etkilerini Kestirimi: İzmir Örneği. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi Cilt19, Sayı:6, 2013.
- Gülhan, G., Ceylan, H., Oral,Y. (2013) Ulaşım Talebinin Belirlenmesinde Erişilebilirlik ve Arazi Kullanım Modellerinden Yararlanılması. 10. Ulaştırma Kongresi, İzmir. , 2013
- Gulhan,G., Ozan, C., Ceylan, H., Baskan, O., Murat.Y.S., Haldenbilen, S., Ceylan,H. 2012. Improving the Performance of Urban Public Transport Systems: Case Study of Denizli, TURKEY.10th International Congress on Advances in Civil Engineering, 17-19 October 2012. , 2012
- Gülhan G., Torlak S.E., Atay Ç., “Doğal ve Kültürel Değerlere Sahip Yerleşmelerde Turizm



Potansiyellerinin Saptanması ve Değerlendirilmesi: Selçuk Örneği” Sosyal ve Beşeri Bilimler Dergisi (online), Cilt :4, No:2, 2012 (ISSN 1309-8012) .

- Ceylan H., Gulhan G., Ceylan H. " Armoni Araştırması Yöntemiyle Kentiçi Karayolu Ağlarında Trafik Yönlendirme Probleminin Çözümü" Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu, Trabzon, 3-4 Temmuz 2012
- Doğal ve Kültürel Değerlere Sahip Yerleşmelerde Turizm Potansiyellerinin Saptanması ve Değerlendirilmesi: Selçuk Örneği, Nisan 2012; SOBİAD, 2. Sosbilko, Ulusal Bildiri
- Doğal ve Kültürel Potansiyele Sahip Bölgelerin Katılımcı Projeler Yoluyla Dönüşümü: Pamukkale Kasabası Örneği, Kasım 2011; Dünya Şehircilik Günü, 7. Şehircilik Kongresi İstanbul, Ulusal Bildiri
- Kentsel Toplu Taşımacılık ve Aktarma Olgusu: Prag Örneği, Ekim 2011; 6.Kentsel Altyapı Sempozyumu-ANTALYA, Bildiri
- Otopark Sorununa Otopark Yönetimi Temelinde Yaklaşımlar: İzmir Örneği, Ocak 2010; DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi cilt:12 sayı:1 sh.63-73 / Ulusal Makale
- Otopark Sorununa Otopark Yönetimi Temelinde Yaklaşımlar: İzmir Örneği, Aralık 2009; İzmir Ulaşım Sempozyumu- İZMİR, Bildiri
- Erişilebilirlik ve Arazi Kullanımı Arasındaki İlişkinin Kentiçi Yerleşmelerde Araştırılması, Ekim 2009; 8.Ulaştırma Kongresi- İSTANBUL, Bildiri