



## Toplu Taşımada Çok Amaçlı Karar Verme ve Metropolitan Bir Alanda Servis Araçlarının Modellemesi

*Multi Objective Decision Making on Mass Transport and Home-Work Trip Service Modelling in a Metropolitan Area*

Mehmet Fatih Altan<sup>1\*</sup>, Mehmet Çağrı Kızıltaş<sup>2</sup>, Süleyman Cem Divrik<sup>3</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup>İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

<sup>3</sup>FFK Mühendislik İnşaat Mühendislik Sanayi Ticaret Ltd. Şti., İstanbul, Türkiye

### Öz

Bu çalışmada; bir metropoliten alandaki ev-iş otobüs hizmetlerinin tasarımı için bir model geliştirilmiştir. Bu tarz hizmetler; verimlilik, etkinlik ve eşitlik gibi çelişen kriterler arasında bir dengeyi sağlamak durumundadır. Bu maksatla, diğer bütün aşamaları da kapsayacak şekilde çok amaçlı bir model geliştirilmeye çalışılmış olup eşitlik değeri, otobüsün durağa varış zamanının zaman çizelgeleriyle gösterilmesiyle dikkate alınmaya çalışılmıştır. Zaman çizelgeleri; örneğin bu hizmetin diğer ulaştırma türleriyle uyumunun garanti edilmesi gibi diğer kullanımları da ihtiva etmektedir. Bu; önerilen modelin kılavuz ilkelerinden birisi olup bir kerede birçok konunun eş zamanlı işleme alınması konseptine dayanmaktadır. Hat boyunca hem otobüs durak yerleri ve hem de kısıtlamalarla karşılaşıldığında geçişlerin olabileceği kentsel yol ağlarında bir güzergâh belirlenmesini içeren bir rotalar kümesi yaklaşımı modele tanımlanmıştır. Sonuç olarak; çok amaçlı güzergâh yerleşim modeli bir tabu araştırma algoritmasıyla çözülmüştür. İtalya'nın Roma kentindeki büyük bir araştırma merkezi için bir uygulama olarak ev-iş servisi analiz edilmiştir. Bu mevcut durum çalışması bir algoritma sonuçları için kıstas ortaya koymakta ve önerilen yönetime uygulanabilirlik göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Çok amaçlı karar verme, Metropolitan alan, Toplu taşıma, Ulaştırma modu

### Abstract

In this study, a model and algorithm has been tried to be execute for design of home-work trip services in a metropoliten area. These type services has to be provide a balance between challenging criterias like efficiency, effectiveness and equity. For this reason, a multi objective model has been tried to develop which includes all the other phases that equity criteria has been considered by showing of arrive time of the bus to the station with timetable. Timetables contain other usages for example guarantee of the adaptation of this service with other transportation modes. That is one of the guideline principles of the proposed model which bases on theconcept of simultaneous processing of various subejects at one time. A route cluster approach was identified to the model along the line that includes a routing which has accesses on the conditions of facing with either bus stop or other limitations in urban road networks. Consequently, multi objective routing model was solved by a basic research. Home-work bus service in Rome-Italy was analyzed for a central research center. This existing case study executes limitations for an algorithm results and shows applicability for the proposed methodology.

**Keywords:** Multi objective decision making, Metropolitan area, Mass transport, Transportation mode

### 1. Giriş

İstanbul'da ulaştırma verilerinden, toplu ulaşımın mevcut durumdan daha yüksek oranda kullanılabilceği ve

kullanılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bunun için de; ulaştırma türlerinin çeşitlendirilmesi ve türel dağılımın dengelenmesi, türler arası entegrasyonun sağlanması (toplu ulaşımın farklı türleri arası entegrasyon, ulaşımın farklı türleri arası entegrasyon, toplu ulaşım ile bireysel ulaşım arası entegrasyon vb.) gereklidir. İstanbul'da trafik tıkanıklığının katlanılabilir düzeylere çekilmesinde raylı sistem ve özellikle de metro yatırımları hayati bir öneme

\*Sorumlu yazarın e-posta adresi: [altanmf26@hotmail.com](mailto:altanmf26@hotmail.com)

Mehmet Fatih Altan [orcid.org/0000-0003-0961-0115](https://orcid.org/0000-0003-0961-0115)

Mehmet Çağrı Kızıltaş [orcid.org/0000-0001-9852-9428](https://orcid.org/0000-0001-9852-9428)

Süleyman Cem Divrik [orcid.org/0000-0002-1769-9300](https://orcid.org/0000-0002-1769-9300)

sahiptir. İstanbul'da 2004'ten günümüze önemli oranda metro ve hafif raylı sistem hattı inşası devam etmekte olup geçtiğimiz yıl itibariyle Kadıköy-Kartal Metro hattı işletmeye alınmıştır. 2010'da İstanbul'da verilen yolculuk değerlerinde türel dağılımda karayolu ulaştırma türünün %78,4'lük ağırlığı olup 2014'te %67,7'ye, 2018'de %50,7'ye, 2023'te %26,5'a düşmesi öngörülmektedir. 29 Ekim 2013 itibariyle kısmen açılışı yapılan Marmaray'ın 2014 itibariyle türel dağılımda %7,4; 2018'de %7,9; 2023'te ise %5,7'lik paya ulaşması öngörülmektedir. Çizelge 1'de yıllara göre İstanbul'da türel dağılım değerleri ve öngörülleri verilmiştir. İstanbul'daki trafik tıkanıklığı sorununun katlanılabilir noktaya geriletilmesinde bir diğer ana belirleyici de kentiçi raylı sistem hatlarının yaygınlaştırılmasıdır (10.Kalkınma Planı 2012). Kentiçi raylı sistem hatlarından ise yaygın yatırım alanı olarak metro hatlarının yapılması gerekliliği ve bu hatların birbiriyle entegre bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. İstanbul'da birkaç yıldır ilk ve tek örnek olarak işletilen metrobüs hattı (BRT), dünyada özellikle Latin Amerika'da başarılı örnekleri olan bir sistem olup, İstanbul'da da özellikle zamandan kazanç anlamında tercih edilen bir ulaştırma türü olup yoğun bir taleple karşılaşmıştır. Metrobüs hattı, İstanbul boğazını geçen bir hat olup doğu-batı ekseninde şehrin iki uzak noktasını ve yoğun yolculuk talepleri olan bölgeleri birbirine bağlamaktadır.

Tam kapasite olarak çalışan ve önemli bir zaman kazancı sağlayan bu hat, diğer taraftan da konfor ve güvenlik parametreleri itibariyle de tartışılmıştır, tartışılmaktadır. Metrobüs; işletme olarak yapılacak kısmi iyileştirmelerle daha iyi şartlarda hizmet verebilir. Ancak İstanbul'un trafik tıkanıklığı kaynaklı sorunlarının katlanılabilir bir noktaya çekilmesinde, yaygın olarak, şehri doğu-batı ve kuzey-güney ekseninde birbirine bağlayan metro hatlarının kurulumu zorunludur. Güncel değerlendirmelerden birisi de metrobüs hattına paralel bir metro hattının gerçekleştirilmesi hususudur. Metrobüs hattının bütünüyle iptal edilerek yerini metroya bırakması görüşünü ifade edenler de bulunmaktadır. Yine 15 Temmuz Şehitler Köprüsü ve Fatih Sultan Mehmet Köprüsü arasında, raylı sistem ve lastik tekerlekli taşımacılığı kapsayan 3 katlı bir tüp tünel projeksiyonu ortaya konmuştur. Bütün bunlar, hatların hizmet parametreleri (konfor, güvenlik, güvenilirlik, maliyet, dakiklik ve seyahat süresi) ve yatırım maliyetleri bağlamında detaylı bir karşılaştırma ve analiz yapılması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

## 2. Gereç ve Yöntem

### 2.1. Çok Kriterli Analiz

Çok amaçlı kriter analizleri (ÇAKA), bir dizi kriter temelli olarak farklı politika tercihlerinin karşılaştırmalı değerlendirilmesini desteklemektedir. Çok ölçekli biçimlerdeki kriter çeşitliliğini entegre edebilmeleri ve çok çeşitli durumlara adapte edilebilmeleri nedeniyle değerlendirme ve karar alma süreçlerinin desteklenmesinde oldukça etkindirler. Prosedürler ve sonuçlar ÇAKA'dan sağlanmakta olup paydaşlar arası etkileşimle geliştirilebilirler. ÇAKA sonuçlarının güvenilirliği; seçilen kritere, verilen kriterlerdeki önceliklere (seçili ağırlıklar önemlidir) ve bu ağırlıkların paydaşlarca ne kadar kabul edildiğine, dolayısıyla beslenen bilginin kesinliğine bağlıdır. Hassasiyet analizleri; hesaplar ve/veya ağırlıklarda değişimlerde sonuçların güvenilirliğinin kontrolü için kullanılabilir. Aynı zamanda; bir ya da birden fazla ÇAKA yöntemi kullanana birçok bilgisayar programı da hassasiyet analizlerinin kontrolünde kullanılabilir. ÇAKA'nın ana rolü entegre değerlendirmede (Faz 3) ortaya çıkmaktadır. Burada ÇAKA; politik tercihlerin karşılaştırılması, bu tercihlerin etkilerinin tanımlanması ve yapılacak dönüşümlerin tanımlanmasında kullanılabilir. Bununla birlikte ÇAKA Faz 2'de de (yani tercihlerin belirlenmesi) dikkate alınabilmekte olup en istenmeyen ya da en gerçekten uzak olanın elenmesi için bir dizi tercihin değerlendirilmesinde rol almaktadır. Bununla beraber; bu gibi uygulamalar sapmalardan ziyade yaklaşımlar için kullanılmaktadır. Faz 1 (problem analizi) ve Faz 4'te (entegre bir değerlendirmenin sonuçlandırılmasında) ÇAKA'nın belirli bir rolü söz konusu değildir. Bununla birlikte; entegre bir değerlendirmede ÇAKA'nın etkin bir şekilde uygulanması için, ilk olarak amaçların açık bir şekilde tanımlanması ve problemin belirli bir şekilde yapılandırılması gerekmektedir. Böylelikle entegre bir değerlendirmenin Faz 1'i, ÇAKA'nın dahil olduğu Faz 3'ün başarılı bir şekilde yürütülmesini sağlamış olacaktır (Kızıltaş 2013).

Bir karar kuralı, alternatif politikaların yürütülmesine izin veren bir prosedürdür. Alternatiflerin etrafı bir değerlendirmeyle; alternatiflerde ve karar alıcı tercihlerinde veri ve bilgi entegrasyonunu sağlamaktadır. Denkleştiricilik kavramı, bu karar kurallarının belirlenmesinde önemli bir faktördür. Denkleştiricilik; kriter oluşturmadaki kötü bir performansın dikkate alınarak denklenmesi kabiliyetidir. Daha kapsayıcı olarak; farklı kriterler diğer kriterlerce denkleştirilebilmekte, üç temel yöntem ÇAKA'da değerlendirilebilmektedir: denkleştirici yöntem, kısmi denkleştirici yöntem ve denkleştirici olmayan yöntem. Denkleştirici yöntemle, zayıf bir

**Çizelge 1.** 2010-2014-2018-2023 hareketlilik değerleri ve türel dağılım öngörülere (10. Kalkınma Planı 2012).

2010 Yılı Günlük Yolculuk Değerleri			2014 Yılı Günlük Yolculuk Değerleri		
Ulaşım Türü	Yolcu/Gün	Oran (%)	Ulaşım Türü	Yolcu/Gün	Oran (%)
<b>Lastik Tekerlekli</b>	5.541.466	%78,4	<b>Lastik Tekerlekli</b>	10.715.595	%67,7
			<b>Marmaray</b>	1.170.178	%7,4
<b>Raylı</b>	1.335.372	%18,9	<b>Raylı</b>	3.745.397	%23,7
<b>Deniz</b>	195.056	%2,8	<b>Deniz</b>	186.575	%1,2
<b>Toplam</b>	7.071.894	%100	<b>Toplam</b>	15.817.745	%100
2018 Yılı Günlük Yolculuk Değerleri			2023 Yılı Günlük Yolculuk Değerleri		
Ulaşım Türü	Yolcu/Gün	Oran (%)	Ulaşım Türü	Yolcu/Gün	Oran (%)
<b>Lastik Tekerlekli</b>	8.427.620	%50,7	<b>Lastik Tekerlekli</b>	7.739.228	%26,5
<b>Marmaray</b>	1.312.880	%7,9	<b>Marmaray</b>	1.673.092	%5,7
<b>Raylı</b>	6.722.825	%40,4	<b>Raylı</b>	19.530.944	%66,9
<b>Deniz</b>	170.071	%1,0	<b>Deniz</b>	240.034	%0,8
<b>Toplam</b>	16.633.396	%100	<b>Toplam</b>	29.183.298	%100

performans kriter oluşturması, bir diğer iyi performans kriter oluşturması ile tamamen denkleştirilebilir.

İlkesel olarak, politik alternatiflere etki eden her bir kriter, nitel ve nicel olarak ölçeklendirilebilir. Çeşitli ÇAKA yöntemleri kriterdeki sadece nicel bilgilerin (ağırlıklı toplam) süreci için tasarlanmıştır. Pratikte bu dezavantaj çok önemli değildir çünkü nitel değerlendirmede kullanılan artı ve eksi değerler çoğu zaman nicel değerlerin temel katsayılarıyla ilişkili olarak türetilmektedir. İyi seçilen bir standardizasyon yöntemiyle verili nicel değerler hesaplamaların ağırlıklı toplamında kullanılabilir. Diğer yöntemlerse (baskınlık yöntemi, rejim v.b.) nitel verilerin değerlendirilmesi için tasarlanmıştır. Sonuç olarak bir dizi ÇAKA yöntemi, ölçeklendirmelerine göre sağladıkları verilerle değerlendirilmektedir.

Verili bir işletmede çalışanların günlük yolculuk ihtiyaçlarını karşılamak üzere tasarlanan otobüs güzergâhlarını ihtiva eden Ev-İş Ulaştırma Problemi (HWTP) ortaya konmuştur. Otobüs hizmet planı genellikle işçi kurumlarıyla yönetim arasında görüşülmektedir. Bu otobüs servislerinin geniş bir nüfusa hitap eden kamu hizmetleri olmaması gerçeğine rağmen, karar süreci çeşitli kamu hizmetleriyle benzerlikler göstermektedir: otobüs planları çok sayıda kullanıcıya hizmet vermektedir, bütün kullanıcılar aynı haklara sahiptir (işçiler gibi), plan toplu sözleşmelere tabidir. Otobüs hizmet planı hem yönetim hem de kullanıcılar için kabul edilebilir olmalıdır: hedef; toplam maliyetin minimizasyonu ve eşitlik ilkesi dikkate alınmak kaydıyla yolcunun hizmet kalitesi algısının maksimizasyonudur.

## 2.2. Veri Türü

İlkesel olarak, politik alternatiflere etki eden her bir kriter, nitel ve nicel olarak ölçeklendirilebilir. Çeşitli ÇAKA yöntemleri kriterdeki sadece nicel bilgilerin (ağırlıklı toplam) süreci için tasarlanmıştır. Pratikte bu dezavantaj çok önemli değildir çünkü, nitel değerlendirmede kullanılan artı ve eksi değerler çoğu zaman nicel değerlerin temel katsayılarıyla ilişkili olarak türetilmektedir. İyi seçilen bir standardizasyon yöntemiyle verili nicel değerler hesaplamaların ağırlıklı toplamında kullanılabilir. Diğer yöntemlerse (baskınlık yöntemi, rejim v.b.) nitel verilerin değerlendirilmesi için tasarlanmıştır. Sonuç olarak bir dizi ÇAKA yöntemi, ölçeklendirmelerine göre sağladıkları verilerle değerlendirilmektedir. Dolayısı ile ulaştırma türünde ilgili hizmet parametreleri için talep, memnuniyet anketleri, ekonomik büyüme vb. veriler dâhilinde bir ağırlıklandırma yapılması da mümkündür.

## 2.3. NATA: Sürdürülebilir Bir Ulaştırma Sistemi İçin Değerlendirmeler (Sonuçlar)

- Bu süreçte, ulaştırma sübvansiyonları, ulaşım talep tahminleri ve taşımacılıktaki analiz yetersizlikleri çerçevesinde bir kılavuzluk oluşturma ihtiyacı ortaya çıkmıştır.
- Bu çerçevede Birleşik Krallık Hükümeti'ne bağlı İklim Değişikliği Komitesi ile özellikle 'ekonomik parametreler' bağlamında yoğun bir işbirliği çalışması yürütülmeye başlanmıştır.
- Yakıt tüketimindeki artış ve buna bağlı dolaylı vergi karlarındaki eğilimin hükümete olumsuz bir maliyet

yükü getirdiği görülmekte olup, bu konuda eş güdümlü bir çalışma yürütülmesi gerektiği görülmüştür.

Mevcut ulaştırma proje değerlendirmesi (örneğin: NATA, Birleşik Krallık) 5 kriterle dayalı daha detaylı bir yaklaşım geliştirse de, alternatif projeler hakkında belirlenen tercihlerin tanımlanması için gerekli bilginin karar alıcılara nasıl çoklu kriter tanımlaması olarak aktarılacağı konusunda eksiklikler bulunmaktadır. Bu da; alternatiflerin her tür etkilerinin detaylı değerlendirilmesine rağmen, açıklık, tutarlılık ve hesaplanabilir bağlamında eksikliklere yol açmaktadır. Bu nedenle, ağırlıklı toplam kullanılarak bilgilerin kombine değerlendirilmesini içeren bir yöntem önerilmesi gerekmektedir.

Ulaştırma yatırımlarının değerlendirilmesi yöntemlerindeki son gelişmeler, parasal olmayan kriterlere, standart fayda maliyet analizindeki geleneksel kriter oluşturmalar ölçeğinde önem verilmesini sağlamıştır. NATA'da (Değerlendirmede Yeni Yaklaşım) birçok kriter yeni yer almış olmasına karşın daha önceki raporlarda birçoğu tanımlanmış bulunmakta olup geçmişte 'değerlendirme prosesinde denklik faktörü' başlığı altında daha yoğun olarak tartışılmışlardır. Sorun; hangi etkinin dikkate alınacağı, ölçeklendirileceği ve değerlendirileceği olup bu daha detaylı bir tartışmanın konusudur fakat değerlendirme sürecinin bu fazının yanı sıra diğer bir önemli konu ise, değerlendirilen seçeneğin nasıl tanımlanacağı ve alternatif projelerdeki bütün ilgili etkilerin nasıl değerlendirileceğidir. Problem; tutarlılık ve esnekliğin çelişen gereksinimlerinin nitelendirilmesiyle ilgilidir. Değerlendirme süresince kriterler uyarlanması ve

seçeneklerin sıralanmasında en iyi yöntemin seçiminde dengenin sağlanmasından çok esas olarak tutarlılık ve esneklik arasındaki dengenin sağlanmasına ihtiyaç duyulmaktadır (Kızıldaş 2014).

Aşağıda; bir yerleşimdeki üç farklı ulaştırma seçeneğinin trafiğe bağlı değerlendirilmesi verilmiştir: (A) asgari iyileştirme, (B) güzergâhın kısaltılması, (C) mevcut güzergâhın altyapı iyileştirmesine tabi tutulması. Her bir seçenek, NATA kriterlerinin bir altkümüsi olarak değerlendirilmiştir. Çizelge 2; her bir seçeneğin 15 yıllık zaman periyodu için değerlendirmesini ortaya koymaktadır. Bu değerlendirmenin amaçları doğrultusunda zaman ölçüsüne temel bir yaklaşım şu şekilde geliştirilmiştir: Her bir seçeneğin maliyeti, toplam maliyet olup net şimdiki değere (NBD) indirgenmiş, diğer kriterler için ise performans ölçüsü, 15 yıllık süreçteki tahmini maliyetler olarak alınmıştır. Nicel ölçüler uygun oldukları yerlerde kullanılmıştır. Nitel veriler ise NATA ölçeklendirmesi paralelinde -3/+3 arasında değerlendirilmiştir.

#### 2.4. Optimizasyon Modeli

İlk olarak; belirlenen hedefler doğrultusunda, etkinlik ve verimlilik kriterlerinin modellemesi ortaya konulmuştur. Eşitlik kriter modeli de belirlenen kısıtlar dahilinde oluşturulmuştur. Eşitlik modelinin oluşturulmasındaki araçların çoklu ve birlikte kullanımı da ayrıca ele alınmıştır. Aslında; doğrulanmış konseptleri içeren hâlihazırdaki önerilen modelin kılavuz ilkelerinden birisi de, tek seferde birden fazla konuya eş güdümlü müdahaledir. Bu aynı zamanda, daha önce belirtilmiş olan dönüşüm

**Çizelge 2.** Mevcut duruma bağlı olarak üç ulaştırma yatırım seçeneğinin performansı (Kızıldaş 2014).

Kriter	Birim	A Seçeneğinin Performansı	B Seçeneğinin Performansı	C Seçeneğinin Performansı
<b>Gürültü Kirliliği</b>	Kabul edilemez gürültü düzeyiyle onlarca özellikte net düşüş	-0,5	7	2
<b>Hava Kalitesi</b>	Kabul edilemez hava kirliliğiyle onlarca özellikte net düşüş	-0,5	8	2
<b>Arazi Etkisi</b>	<b>-3/+3 aralığında nicel ölçü, '0' değişim olmadığını göstermektedir</b>	0	-2	-1
<b>Güvenlik</b>	<b>-3/+3 aralığında nicel ölçü, '0' değişim olmadığını göstermektedir</b>	-0,25	3	1
<b>Maliyet</b>	Şimdiki Değer Birimlerinde	-1	-30	-15
<b>Güvenilirlik</b>	<b>-3/+3 aralığında nicel ölçü, '0' değişim olmadığını göstermektedir</b>	0	2	1
<b>Seyahat Süresi</b>	Yıllık onbinlerce yolcu-saat zamandan kazanç	-0,5	10	1,5

karakteristikleri modelinin yapısı olup otobüs durak yerleşiminin belirlenmesinde de işe yaramaktadır. Bütün bir optimizasyon modeli ortaya konmuş ve çeşitli kısıtları ile zaman bağıntıları seyahat süre değişimleri analiz edilmiştir. HWTP’de hizmet verecek otobüs duraklarının sayısı ile onları potansiyel yerleşimlerinin verili olduğu ve buna bağlı olarak verimlilik kriterinin plan maliyetinin minimizasyonunun modellenebileceği kabul edilmiştir. Planın etkinliği; bütün yolcular için toplam ekstra zamandan ölçülebilmekte olup bu ekstra zaman, otobüs sefer süresi ile doğrudan seyahat süresi arasındaki farkı ifade etmektedir. Doğrudan seyahat süresi; otobüs durağı ile varış durağı arasındaki en kısa yoldur. Ekstra zaman (bekleme süresi); ulaşırmada kullanılan genel bir hizmet kalitesi parametresidir. Bütün otobüs durakları için ekstra zamanının gözlemlenmesi iki temel senaryo ile mümkün olabilmektedir: otobüs durak sayısı ile otobüs sayısı birbirine eşit olduğu ya da bir güzergâhın bütün otobüs durakları, kalkış ve varış noktaları arasındaki en kısa yol üzerinde olduğu ve durma esnalarında geçen sürelerin önemsiz olduğu durum gibi düşünülebilir. Taksi sistemi kısıtlayıcı olabilir ve pratik değildir, ikinci durum da herhangi bir pratik uygulamaya benzer değildir. Verimlilik amacı; güzergâh sayılarını azaltmayı (örneğin daha küçük filo kullanımıyla) empoze etmekte olup bu da güzergâhların uzaması ve ekstra zamanların artmasıyla sonuçlanmaktadır. Etkinlik ve verimlilik arasındaki denge; bu iki amacın Pareto etkinliğinin analizi ile hesaplanabilir. Etkinlikteki bazı gelişmelerin; herhangi bir maliyet değişimi kaydedilmeksizin farklı güzergâh seçimleriyle kat edilebildiği gözlemlenmiştir. Örneğin; A ve B olmak üzere iki otobüs durağından yolcu alan bir otobüs hattı düşünülmüş ve döngü seyahat süresinin toplam seyahat süresine, maliyetin hat maliyetlerine eşit olduğu, A durağının B durağından önce hizmet verdiği kabulü yapılmış olsun. Eğer A durağındaki yolcu sayısı B durağındaki yolcu sayısından fazlaysa, dönüş istikametinde otobüs B’ den sonra A’ ya uğradığında toplamda daha az ekstra bekleme süresi ortaya çıkmaktadır.

## 2.5. Bir Kısıt Olarak Modelleme Eşitliği

Bu çerçevede önerilen modelin eşitlik kısıtı da değerlendirilmiştir. Burada dikkate alınan ulaştırma hizmet türündeki yolcu memnuniyetsizliğinin ana kaynağı, ekstra zaman dağılımıyla ilgilidir. Bu bağlamda; toplam ekstra zamanın minimizasyonu için etkinlik amacı da ortaya konmuştur. Bununla beraber bazı yolcular diğer yolcuların masraflarını ağır ceza olarak bölüşmek durumunda kalmaktadır. Metropolitan alandaki taşıma otobüsü olarak EİUP bağlamında, güzergâhlar genelde dairesel olup hepsi

bir varış noktasında birleşmektedir. Bu yapısal karakteristik; varışa olan mesafe arttıkça ekstra zamanın da artacağını göstermektedir. Bundan dolayı, ekstra zaman dağılımının doğruluğu doğrudan bir ev-iş yolculuğundaki sürüş süresiyle mukayeseli değerlendirilmelidir. Bu gibi durumlar için ev iş yolculuklarında otobüs durağı ile varış noktası arasındaki doğrudan seyahat süresini ifade eden temsili bir değer kullanılmıştır. Burada ana görüş olarak; doğrudan seyahat süresinin  $(t)$  bir fonksiyonu olarak ekstra zamanda, indirgen bir değer olarak  $E(t)$ ’nin kullanılması benimsenmiştir.  $E(t)$  bir üst limit fonksiyonu olarak adlandırılmakta ve bu fonksiyon için özel koşullar tanımlamaya ihtiyaç duyulmamaktadır: bu fonksiyon, doğrudan seyahat süresine bağlı ekstra zamana, farklı hassasiyetleri yansıtabilmek için non-lineer (doğrusal olmayan) bir fonksiyon olabilir. Üst limit fonksiyonu fayda teorisine göre oluşturulabilir ya da yolcuların tercihlerini yansıtan saha çalışmasına göre hesaplanabilir. Birden fazla üst limit fonksiyonu kullanılarak diğer amaçlarda bu kısıtların etkileri değerlendirilebilir. Her bir anlatım farklı bir doğruluk derecesini ifade eder. Üst limit fonksiyonları; temel bir üst limit fonksiyonundan ( $E^0(t)$ ) türetilir.

Buradan; üst limit fonksiyonu:  $E^i(t) = \gamma^i(t)E^0(t)$  olup buradaki  $\gamma^i(t)$ , temel üst limit fonksiyonu olan  $E^0(t)$ ’den üst limit üretme hedef katsayısıdır (Perugia vd 2011).

Bunun; bütün yolcular için ekstra zamanın sabit bir değerle bağlandığı durumdaki klasik hizmet kalite kısıtlarının bir genellemesi olduğu not edilmelidir. Bu durumda üst limit fonksiyonu da sabit bir değer olmaktadır. Ayrıca buradaki üst limit fonksiyon kullanımı; paratransit hizmetlerdeki model eşitliğinin genel bir yöntemi olan, doğrudan seyahat süresinin sabit bir değerle çarpılmasıyla elde edilen, maksimum seyahat süresindeki bir kısıttan ziyade, daha genel bir yaklaşımı ifade etmektedir. Bu; önerilen yöntemin belirli bir durumunu teşkil eder: üst limit fonksiyonu lineer (doğrusal) bir fonksiyon da olabilir. Daha karmaşık üst limit fonksiyonları kullanılarak, eşitlik ve dengenin gerçek dışı olduğu türlerdeki bir mevcut durum probleminin ilgili etkileri bazında bir değerlendirme de yapılabilir.

## 2.6. Otobüs Durak Yerleşimi Modellemesi

Bir otobüs durağının; çift yönlü bir yolun iki tarafına ya da bir kavşağın her iki köşesine eşit bir biçimde dağılımının esnekliği, bir güzergâh kümesi modellemesi gerektirmektedir. Güzergâhın kümeli bir şekilde oluşumu; güzergâhı noktasal bir şekilde oluşumunun tersine, modele esneklik kazandırmaktadır, çünkü böylelikle çok sayıda yolcunun dengeli bir şekilde toplanmasını sağlayan çeşitli fiziksel

yerleşimlerin dikkate alınması mümkün olabilmektedir. Otobüs durakları yerleşim probleminin birçok aşaması güzergah kararlarıyla entegre edilebilmektedir. Bu bağlamda mevcut bir toplu taşıma ağının demiryolu hattı ya da otobüs güzergâhında istasyon yerleşimleri birçok çalışmada da tartışılmıştır. Bu çalışmayla diğer çalışmalar arasında yöntem bazındaki temel fark, EİUP'da eş zamanlı hat ve istasyon belirlemesinin söz konusu olmasıdır. EİUP'daki kabullerden birisi de otobüs duraklarının bir küme içerisinde köşelere eşit dağılımı olup uygulamada otobüs durak yerleşimlerinin yolcu talebi ve memnuniyetiyle doğrudan bağlantılı olduğu noktalarda her zaman sağlanması gerekmektedir.

### 2.7. Önerilen Modelin Kısıtları ve Zaman Bağıntılı Seyahat Süreleri

Modelin kısıtlarından birisi olan, hizmet verecek durak sayısı bir girdi değeri olarak dikkate alınmaktadır. Bu durum; ev-iş otobüs hizmeti kapsamında değerlendirilen mevcut durum çalışmasına uygun olup otobüs durak sayısı kararı uzun vadeli bir çalışmayı ifade etmektedir. Bununla beraber bu kabuller plan revizelerinde ya da hâlihazıra göre radikal değişiklikler gerektiren planlarda kalıcı veriler olarak değerlendirilmemelidir. Bu gibi durumlarda; önerilen hizmet, maliyet, kalite düzeyi gibi konularda bir ortak noktaya varılmış olması gerekmektedir. Bu modelin bir diğer kısıtı ise sabit seyahat süreleri kabulüdür. Bu çerçevede, bu kısıtın nasıl aşılabacağı da tartışılmıştır. Bu anlamda, seyahat sürelerindeki iki temel belirsizlik türü birbirinden ayrılmıştır. İlk türde belirsizlik uzun bir periyotta hava durumu, trafik kazası, altyapısal sorunlar gibi öngörülmesi zor nedenlerle ortaya çıkmaktadır. İkinci türde ise belirsizlik trafik tıkanıklığından kaynaklanmaktadır. İlk türdeki belirsizlik gerçek zamanlı düzey ya da günlük bazlıdır. Ve dolayısıyla EİUP bağlamında dikkate alınmamaktadır. İkinci türdeki belirsizlik; herhangi bir yol kesitinde, herhangi bir yönde, günün herhangi bir bölümünde, haftanın herhangi bir gününde (iş günü, tatil günü) seyahat süresi için uzun vadeli tahminlerle ele alınabilir. Birleşik Krallık'ta bir yol ağında yapılan on günlük bir çalışmada, seyahat sürelerinin yüksek oranda tahmin edilebilir olduğu (değişkenler %5 oranında) sonucuna ulaşılmıştır. EİUP'da trafik tıkanıklığına bağlı belirsizlik bu gibi uzun vadeli tahminler kullanılarak hesaplanabilir (Perugia vd 2011).

### 3. Bulgular ve Tartışma

İlk olarak; daha büyük mesafelerdeki durakların zaman çizelgelerindeki gözlemi, son durağa varış süresinden itibaren hattaki toplam sürede daha büyük bir artışı ve sabit

bir değeri göstermektedir. Hat süresi kısıtlarına genellikle uygulamada ihtiyaç duyulmaktadır. İkinci olarak; bazı otobüs duraklarında ekstra zamanlardaki büyük artışlar, bazı özel hedefler için belirlenen değerleri ifade etmektedir. Örneğin; yolcuların taşıtla ulaştığı ve ev-iş yolculuklarının son ayağı için otobüs bekledikleri bir noktada bir park et-devam et tesisi olarak kurulması varsayılabilir. Bu yolcular seyahatlerini taşıt ayağında düşük konforlu bir durum tecrübe etmekte ve bu da üst limit fonksiyonundan kaynaklı olarak otobüs durağındaki hesaplamaların hassasiyet katsayısının artırılması anlamına gelecektir. Bu önerilen modelin çatkısının amacının gerçekleştirilmesinde açık bir gerekliliktir. Ayrıca, bir otobüs durağında en erken varış süresi (ya da öğleden sonra hattı için en geç varış süresi) için özel bir değer de zaman cetvelinin mevcut güzergâh üzerindeki diğer ulaştırma türleriyle (örneğin tren istasyonu) eş zamanlı işletimi için yönlendirilmelidir. Bir otobüsün en erken varış süresiyle tren varış süresi arasındaki farklılık, tren gecikmelerini tolere edecek bir esneklik zamanlarını (zaman payı) ifade etmektedir. Bu konu hakkında da son dönemde yapılan çalışmalar artmaktadır. Özetle zaman cetveli konseptinin planın özelliklerine göre daha ince bir araştırma gerektirdiği bir gerçektir.

Bu model belirtildiği üzere yolcu talebine eğilmekte, bütünüyle yolcu memnuniyetini gerektirmektedir. Bu kabuller; bir mevcut durum çalışmasındaki bir hâlihazır planın kademeli yenilenmesinde dikkate alınması gereken noktalardır. Bununla beraber; plan özelliklerindeki önemli değişiklikler, yolculuk talebindeki önemli bir değişken olarak dikkate alınmalıdır. Örneğin bir otobüs hizmeti; yolcuların hizmet dışı refah maliyetini de kapsayan çeşitli hedef fonksiyonları kullanılarak bir seçenek olarak modellenebilir. Ayrıca bir otobüs durağında yolculuk talebi, bir öneri olarak, bir hizmet kalitesi fonksiyonu olarak da modellenebilir. Ayrıca hizmet verilen yolcu sayısı da bir değişken olup bütün bu parametreler, örneğin otobüs-özel araç türel dağılımının düzenlenmesinin çevresel etkileri gibi diğer kriterlerin değerlendirilmesini gerektirmektedir (Ilıcalı vd 2013).

### 4. Sonuç ve Öneriler

Sonuç olarak; metropoliten bir alandaki ev-iş otobüs yolculuk planlarının hesaplanması ve değerlendirilmesi için bir yöntem geliştirilmiştir. Metodoloji; çok amaçlı yersel güzergâh modeli bazlı olup etkin bir bulgusal algoritmaya dayanmaktadır. Model; bir karar kriteri olarak hem yönetim hem yolcu bileşenlerini dikkate almıştır. Bu bağlamda;

kentsel yol ağlarındaki otobüs duraklarının yerleşimi ve otobüs hatlarının eş zamanlı olarak belirlenmesi için bir güzergâh kümelenme yöntemi kullanılmıştır. Bu karmaşık model; büyük ölçekli gerçek zamanlı uygulamalardaki tabu araştırmasıyla çözümlenmiştir (Marsh vd 1994).

Mevcut durum analizleri; maliyet ve hizmet kalitesi arasındaki potansiyel geçişlerin belirlenmesine imkân vermekte olup yöntemin uygulama ile olan bağıntısını da açıklığa kavuşturmuştur. Örneğin bu çerçevede mevcut maliyet düzeyinin ekstra zamanda düşüşler dâhilinde uygulanabilir olduğu ve hâlihazır ile aynı eşitlik düzeyine sahip olduğu sonucu mevcut yöntem ile gözlemlenebilmiştir.

## 5. Teşekkür

Bu çalışmada, bugüne kadarki mesai hayatımızda desteklerini esirgemeyen, birlikte çalıştığımız mesai arkadaşlarımıza teşekkür ederiz.

## 6. Kaynaklar

- Ilıcalı, M., Çatbaş, N., Öngel, A., Kızıldaş, MÇ. 2013.** Multimodal Transportation Issues in Istanbul: A Case Study For Traffic Redistribution Due To Long Span Bridge Rehabilitation, Hong Kong. pp 413-417
- Kızıldaş, MÇ. 2014.** Şehircilik ve Ulaştırma-4. *Ulaştırma Dünyası*. <http://www.ulastirmadunyasi.com/index.php/2013/08/sehircilik-ve-ulastirma-4/> (24.04.2014)
- Kızıldaş, MÇ. 2014.** Yüksek Hızlı Demiryolu Politikaları-1. *Ulaştırma Dünyası*. <http://www.ulastirmadunyasi.com/?p=824>, (01.10.2014)
- Marsh, M., Shilling, D. 1994.** Equity Measurement In Facility Location Analysis: A Review and Framework. *European J. Oper. Res.* 74 (1): 1-17
- Perugia, A., Moccia, L., Cordeau, JF., Laporte, G. 2011.** Designing A Home-To-Work Bus Service In A Metropolitan Area. *Transport. Res.*, 63(2): 232-244
- T.C. 10.Kalkınma Planı Ulaştırma ve Trafik Güvenliği Ö.İ.K. Raporu. 2012.** Ankara