

İstanbul Metrobüs Sisteminin Veri Zarflama Analizi ile Etkinlik Değerlendirmesi

Ruken Acar

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Mart 2018

Efficiency Evaluation of Istanbul Metrobus System by Data Envelopment Analysis

Ruken Acar

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Industrial Engineering

March 2018

İstanbul Metrobüs Sisteminin Veri Zarflama Analizi ile Etkinlik Değerlendirmesi

Ruken Acar

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Endüstri Mühendisliği Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Doç. Dr. Ezgi Aktar Demirtaş

Mart 2018

ONAY

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Ruken Acar'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “İstanbul Metrobüs Sisteminin Veri Zarflama Analizi ile Etkinlik Değerlendirmesi” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oy birliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Ezgi Aktar Demirtaş

İkinci Danışman : -

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Doç. Dr. Ezgi Aktar Demirtaş

Üye : Prof. Dr. Müjgan Sağır Özdemir

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Zehra Kamışlı Öztürk

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN
Enstitü Müdürü

ÖZET

Toplu taşıma sistemleri, kentlerin gelişim ve hareketliliğini etkileyen en önemli faktörlerdendir. Özellikle nüfus yoğunluğu fazla olan kentlerde ulaşım sistemleri daha da önem kazanmaktadır. Kent içi toplu taşıma sistemleri içinde; hız, konfor, yolcu kapasitesi ve güvenlik avantajları nedeniyle raylı sistemler ideal ulaşım türü olarak görülebilir. Ancak uzun süreli ve yüksek maliyetli altyapı çalışmaları nedeniyle raylı sistemler her zaman tercih edilememektedir. Ulaşım otoriteleri, bütçe ve zaman kısıtları nedeniyle raylı sistem hizmeti sunamadıkları alanlarda geleneksel lastik tekerlekli otobüs taşımacılığı ile hizmet sunarlar. Yolculuk konforu, seyahat süresi avantajı ve raylı sistemlere kıyasla düşük yatırım maliyetine sahip olmaları nedeniyle geleneksel otobüs taşımacılığının yanında son yıllarda BRT (Bus Rapid Transit) sistemleri popüler bir ulaşım türü haline gelmiştir. Dünyanın birçok yerinde etkin olarak kullanılan ve yolculuk talebi sürekli artış gösteren BRT sistemleri Türkiye’de şu an yalnızca İstanbul’da uygulanmaktadır.

Bu çalışma, İstanbul BRT sistemi olan metrobüsün dünyadaki diğer bazı BRT sistemleri ile kıyaslanması ve göreceli etkinliğinin değerlendirilmesini kapsamaktadır. Uygulama kapsamında dünyadaki birçok farklı şehirde hizmet vermekte olan BRT sistemleri incelenmiş, İstanbul metrobüsü ile ortak girdi ve çıktı değerlerine sahip olanlar Veri Zarflama Analizi (VZA) ile değerlendirilmiştir. Analiz sonucunda, İstanbul metrobüs sistemine göre daha etkin olan ve iyileştirme için örnek alınabilecek şehirlerdeki BRT sistemleri belirlenerek kıyaslama çalışmaları için altyapı oluşturulmuştur. Hem İstanbul’daki mevcut sistemin dünyadaki diğer BRT sistemleri ile kıyaslanarak iyileştirme önerileri sunulması hem de Türkiye’nin diğer şehirlerinde kurulması muhtemel BRT sistemleri için örnek bir uygulama teşkil etmesi açısından yapılan çalışma önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Veri Zarflama Analizi, Bus Rapid Transit, Metrobüs

SUMMARY

The public transport systems are most important factors that effecting development and mobility of cities. Especially transport system of the cities which have high population density is became even more important. Railway systems can be seen as the ideal type of transportation in urban public transport systems due to their speed, comfort, passenger capacity and security advantages. However, railway systems are not always preferred because of long-term and high- infrastructure cost. Transportation authorities provide services with traditional wheeled bus transport in areas where they cannot provide rail system services due to budget and time constraints. Besides the traditional bus transportation, BRT systems have become a popular type of transportation in recent years due to travel comfort, travel time advantages and low investment costs compare with railway systems. BRT systems are used effectively in many parts of the world and showing continuous increase in travel demand. BRT system in Turkey is currently applied only in İstanbul.

This study includes the comparison of Istanbul BRT system metro bus with some other BRT systems in the world and the evaluation of its relative efficiency in the scope of application, BRT systems which are serving in many different cities in the world have been examined and those which have common input and output values with Istanbul Metro bus have been evaluated by Data Envelopment Analysis (DEA). As a result of analysis, BRT systems in the cities which are more effective than Istanbul metro bus system and can be taken as an example for improvement were identified and infrastructure for benchmarking studies was established. Both the current BRT system in Istanbul comparison with other BRT systems in the world to offer improvement recommendations for both in terms of constitute a sample application for possible establishment of BRT systems in other cities of Turkey the study done is important.

Keywords: Data Envelopment Analysis, Bus Rapid Transit, Metrobus

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim süresince bana yol gösteren, tez çalışmamda yardımcı olan, bilgi tecrübe ve desteğini benden hiç bir zaman esirgemeyen değerli tez danışmanım Doç. Dr. Ezgi AKTAR DEMİRTAŞ’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Her konuda yanımda olan ve tez çalışmam boyunca önemli bilgi ve tecrübesiyle bana destek veren değerli eşim Mahmut ACAR’a çok teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. BRT SİSTEMLERİ VE İSTANBUL METROBÜS SİSTEMİ	4
2.1. BRT Sistemleri Tarihçesi	4
2.2. Dünyadan BRT Sistemleri Uygulamaları.....	6
2.3. İstanbul BRT Sistemi-Metrobüs ve Temel Bileşenleri	10
2.3.1. Seyir yolları	11
2.3.2. İstasyonlar	12
2.3.3. Araç çeşitleri ve özellikleri.....	16
2.3.4. Ücret toplama sistemi	16
2.3.5. Akıllı ulaşım sistemleri	18
2.3.6. Servis ve işletme planları	18
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	22
4. MATERYAL VE YÖNTEM	27
4.1. Materyal	27
4.2. Ele Alınan BRT Sistemlerinin Tanıtımı.....	27
4.3. Yöntem.....	34
4.4. Veri Zarflama Analizi (VZA)	35
4.5. VZA Modelleri.....	35
4.5.1. CCR (Charnes-Cooper-Rhodes) modeli.....	36
4.5.2. BCC (Banker-Charnes-Cooper) modeli	42
4.5.3. Toplamsal model	42
4.6. VZA'nın Uygulama Aşamaları	43

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.7. VZA'nın Güçlü ve Zayıf Yönleri.....	45
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	46
5.1. İstanbul Metrobüs Sisteminin VZA ile Etkinlik Analizi.....	46
5.2. Karar Verme Birimleri (KVB) Seçimi	47
5.3. Girdi ve Çıktıların Belirlenmesi.....	48
5.4. Analiz ve Bulgular	51
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	63
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	66
EK AÇIKLAMALAR.....	69
Ek Açıklama-A: Girdi Yönelimli Sabit Getiri Modeline Göre Win4Deap Analiz Raporu.....	69

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. BRT ve Raylı Sistemler Maliyet-Yolculuk Karşılaştırması (İETT, 2016).....	1
2.1. Metrobüs Güzergâhı ve İstasyonlar.....	12
2.2. Metrobüs Aktarma Noktaları	14
4.1. Brezilya-Move-Cristiano Machado BRT Haritası	28
4.2. Ekvador Metrobus-Corredor Sur Occidental BRT Haritası	29
4.3. İstanbul Metrobüs Haritası	31
4.4. Bogota-TransMilenio BRT Haritası.....	32
4.5. Meksika-Mexibus BRT Haritası	33
4.6. Guangzhou BRT Haritası.....	34
4.7. BRT VZA Modeli Grafiği.....	39
5.1. İstanbul Metrobüs 2007-2015 Arası Yıllık Yolculuk Dağılımı	47
5.2. Referans Kümeden Araç sayısı ve Koridor Uzunluğu Hedef Değerlerin Elde Edilme Formülasyonu.....	56

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Farklı Ülkelerden BRT Sistemi Uygulamaları ve Özellikleri (Yılmaz, 2012).....	6
2.2. Afrika Kıtası İçin Ülkeler Bazında BRT Verileri	7
2.3. Asya Kıtası İçin Ülkeler Bazında BRT Verileri.....	7
2.4. Avrupa Kıtası İçin Ülkeler Bazında BRT Verileri.....	8
2.5. Güney Amerika Kıtası İçin Ülkeler Bazında BRT Verileri	9
2.6. Kuzey Amerika Kıtası İçin Ülkeler Bazında BRT Verileri.....	9
2.7. Okyanusya Kıtası İçin Ülkeler Bazında BRT Verileri	10
2.8. Metrobüs Aktarma Noktaları	15
2.9. Metrobüs Araç Bilgileri	16
2.10. Değişken Tarife Türleri.....	17
2.11. Metrobüs Hat-Sefer Bilgileri.....	19
4.1. Örnek VZA Modeli Veri Seti.....	39
5.1. Kıtalarla Göre BRT Uygulamaları	46
5.2. Karar Verme Birimleri ve BRT Sistemleri.....	48
5.3. Veri Seti Tablosu.....	51
5.4. Girdi Yönelimli CRS Etkinlik Değerleri ve Referans Kümeleri Tablosu.....	53
5.5. Girdi Yönelimli CRS Tüm KVB'ler için Girdi Değişkenleri Hedef Değerleri.....	54
5.6. Türkiye İçin Girdi Hedef Değerleri ve Aylak Değişkenler Tablosu	55
5.7. Türkiye için Girdi Çıktı Değişken Ağırlıkları-Girdi Yönelimli Model.....	58
5.8. Türkiye için Girdi-Çıktı Değişken Ağırlıkları-Çıktı Yönelimli Model.....	59
5.9. Girdi Yönelimli VRS Etkinlik Değerleri ve Referans Kümeleri Tablosu.....	60
5.10. Girdi Yönelimli VRS Tüm KVB'ler için Girdi Değişkenleri Hedef Değerleri	61
5.11. Türkiye Özet VZA Model Sonuçları.....	61
5.12. Türkiye İçin Ayrıntılı Analiz Sonuç Tablosu.....	62

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

λ

Açıklama

Lamda

Kısaltmalar

VZA

Veri Zarflama Analizi

BRT

Bus Rapid Transit

İETT

İstanbul Elektrik Tramvay Tünel İşletmeleri

CCR

Charnes-Cooper-Rhodes

BCC

Banker-Charnes-Cooper

VRS

Variable Returns to Scale

CRS

Constant Returns to Scale

ITDP

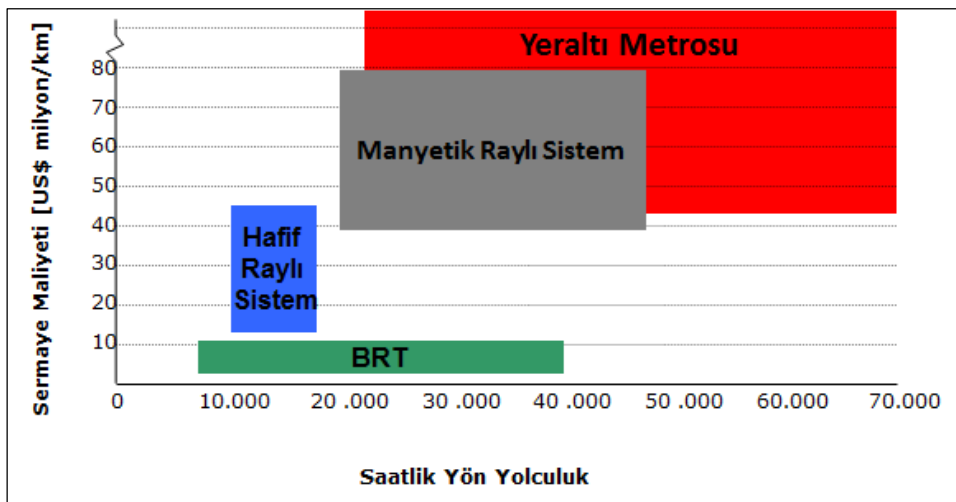
Institute for Transportation and Development Policy

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Toplu taşıma sistemleri, kentlerin gelişim ve hareketliliği etkileyen en önemli faktörlerdendir. Özellikle nüfus yoğunluğu fazla olan kentlerde ulaşım sistemleri daha da önem kazanmaktadır.

Kent içinde özel araç sayısının ve hareketlilik ihtiyacının artması ve bu ihtiyacın otobüsler ile karşılanmaya çalışılması trafik yoğunluğunun artmasına neden olmaktadır. Aynı zamanda, trafik sıkışıklığından kaynaklı gecikmeler, trafik ışıklarında durma, yaya geçitlerinde ve kavşaklarda beklemeler geleneksel otobüs hizmetlerinin işletme hızını olumsuz olarak etkilemektedir. Bu sebeple otobüs taşımacılığı güvenilirliği az, konforu düşük bir hizmet olarak görülmektedir (Yılmaz, 2012).

Ulaşım otoriteleri genellikle daha konforlu ve güvenilir bir hizmet sunan raylı ulaşım sistemlerini tercih etmektedirler. Ancak, hem yüksek altyapı maliyetleri hem de esnek olmayan bir sistem olmasına bağlı olarak raylı sistemler kentlerde ancak sınırlı yerlerde ve birkaç kilometrelik uzunlukta inşa edilebilmektedir. Şekil 1.1.'de, BRT (Bus Rapid Transit-Hızlı Otobüs Taşımacılığı) ve raylı sistem sermaye maliyetleri ve yolculuk verilerini karşılaştırma grafiği verilmiştir.



Şekil 1.1. BRT ve Raylı Sistemler Maliyet-Yolculuk Karşılaştırması (İETT, 2016)

Sınırlı yerlerde inşa edilen raylı sistemler de nüfusun hareketlilik ihtiyacının verimli bir şekilde karşılanamamasına sebep olmaktadır. Bunlara ek olarak, artan trafik sıkışıklığı ve yolculuk süreleri ulaşım otoritelerini ulaşım sisteminde geleneksel otobüs sistemlerinden farklı çözümler bulmaya yöneltmiştir (Yılmaz, 2012).

BRT sistemi, zaman, maliyet, kapasite ve hız ölçütleri ele alındığında alternatif bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır. BRT, ana arterlerdeki trafik yoğunluğunu azaltıp, yolcuların trafiğe takılmadan daha hızlı seyahat etmeleri amacıyla kurulan bir ulaşım sistemidir.

BRT'nin tasarımı ve uygulamasında birçok farklı uygulama görmek mümkün olduğu için literatürde tek bir BRT tanımı bulunmamaktadır. Sistemin bileşenleri göz önüne alındığında, BRT “özgün bir görünümü olan istasyon, taşıt, hizmet, yol ve akıllı ulaşım sistemleri öğelerini, güçlü ve olumlu bir kimlikle birleştiren lastik tekerlekli hızlı taşıma türü” olarak tanımlanmaktadır. Bir başka deyişle, BRT esnekliği ve daha düşük maliyeti ile lastik tekerlekli hafif raylı sistem olarak da adlandırılabilir. BRT, modern raylı taşıma sistemlerinin performans ve sunduğu kolaylıklarla daha düşük bir maliyetle rekabet edebilmektedir. Sistemin sunduğu hizmetin niteliği açısından ise BRT; hızlı, konforlu ve uygun maliyetli etkin kentsel hareketlilik sağlayan yüksek kaliteli ve kullanıcı odaklı taşıma türü olarak da tanımlanmaktadır (Yılmaz, 2012).

Özet olarak BRT;

- Raylı sistem konforu ve düzenliliği ile otobüslerin esnekliğini birleştiren,
- Yüksek sayıda yolcuya hitap edebilen,
- Hizmet düzeyi ile kullanıcılar üzerinde olumlu izlenimler bırakan,
- Yüksek yatırım gerektirmeyen ve kısa sürede kurulabilen,
- Raylı sistem gibi planlanıp, raylı sistem gibi işletilen, yolcu taşımacılığına yeni bir yaklaşım getiren bir toplu taşıma sistemidir.

Bugün BRT sistemleri dünyanın birçok yerinde etkin olarak uygulanmaktadır. Giderek yaygın hale gelen ve yolculuk talebi sürekli artış göstermekte olan BRT sistemleri, Türkiye’de şu an sadece İstanbul’da ve tek koridorda uygulanmaktadır. Yolculuk konforu, seyahat süresi avantajı ve raylı sistemlere kıyasla düşük yatırım maliyetine sahip olan bu sistemler hem İstanbul’da hem de Türkiye’nin diğer şehirlerinde talep görmeye başlamıştır. Bu nedenle, hem İstanbul’daki mevcut sistemin dünyadaki diğer BRT

sistemleri ile kıyaslanarak iyileştirme önerileri sunulması hem de Türkiye'nin diğer şehirlerinde kurulması muhtemel BRT sistemleri için örnek bir uygulama teşkil etmesi açısından yapılan çalışma önem taşımaktadır.



2. BRT SİSTEMLERİ VE İSTANBUL METROBÜS SİSTEMİ

Bu bölümde, BRT sistemlerinin tarihçesi ve dünyadan BRT sistemi uygulamaları ile İstanbul metrobüs sisteminin temel bileşenleri olan; seyir yolları, istasyonlar, araçlar, ücret toplama sistemi, akıllı ulaşım sistemleri, servis ve işletme planları konuları ayrı başlıklar altında detaylı olarak incelenmiştir.

2.1. BRT Sistemleri Tarihçesi

BRT sisteminin geçmişi 1937 yılında Chicago'daki üç adet raylı sistem hattının ekspres otobüs hattına dönüştürülmesi kararına dayanmaktadır. 1966 yılında ise, tramvay sistemlerinin otobüs sistemi kullanımına dönüştürülmesi sonucu Amerika ve Belçika'da ilk kez yolun ortasında yer alan ve ayrılmış otobüs yolları ortaya çıkmıştır.

Gelişmekte olan ülkeler arasında ilk otobüs yolu 1972'de "Via Expresa" adı ile Peru'da geliştirilmiştir. Via Expresa 7,5 km uzunluğunda olup, günümüzde hala etkin bir şekilde hizmet vermektedir. Curitiba (Brezilya)'daki yüzeysel metro adı verilen sistem geliştirilene kadar BRT'nin verebileceği hizmet düzeyinin tam olarak farkına varılamamıştır. Curitiba'nın ilk 20 km'lik kısmı 1974'te hizmete açılmıştır. Bu sistem, Curitiba'nın diğer gelişimleri (yaya bölgeleri, yeşil alan, sosyal programlar vb.) ile birleşince, kent, dünya çapında yenilikçi kentsel başarı örneği olmuştur. 1970'li yılların başında yaşanan petrol krizi, devletleri, toplu taşımayı geliştirmenin daha kolay yollarını bulmaya itmiştir. Curitiba'yı örnek alan birçok Brezilya kenti, sistemi temel öğeleri ile birlikte geliştirmeye başlamıştır (Akyazıcı, 2012).

1990'lı yılların sonunda, BRT karakteristik yapısı daha geniş çevrelerce bilinir hale gelmiş, Amerika ve Avrupa haricinde Asya'da da BRT sistemlerine ilgi artmaya başlamıştır. 1999'da Çin, yolun ortasında yer alan ilk otobüs yolunu geliştirilmiştir. 2001 yılında da Tayvan'da yolun ortasında yer alan otobüs yolu sistemi geliştirilmiştir.

1990'lı yıllara kadar BRT sistemleri tümüyle raylı sistem benzeri hizmet sunabilecek ciddi bir taşıma seçeneği olarak görülmemekteydi. BRT daha çok küçük ve

orta ölçekli kentlerde ya da fazla tercih edilmeyen akslarda bir çözüm olarak düşünülmüştür. BRT ile yön/saat/şeritte 12.000 yolcudan fazlasının konforlu bir şekilde taşınamayacağı düşünülürken, Bogota'daki Trans Milenio BRT sistemi, dünya çapında BRT anlayışını tamamen değiştirmiştir. 8 milyon civarındaki nüfusu ve 4.312 kişi/km²'lik yoğunluğu ile büyük ölçekli bir kent sayılan Bogota, BRT sistemlerinin, büyük kentlerin de yüksek kapasiteli taşıma yapabileceğinin kanıtı olmuştur.

Bogota ve Curitiba'daki başarılı BRT uygulamaları, bu sistemi uygulayan ve uygulamayı planlayan kentlerin sayısının artmasına neden olmuştur. Curitiba deneyimi, Seul (2004) ve Pekin (2005) gibi kentlerdeki BRT girişimlerini doğrudan etkilemiş, Bogota'daki deneyim de büyük ölçekli kentlerde BRT sisteminin uygulanmasını desteklemiştir (Öğüt ve Akyazıcı, 2012)

BRT'nin tarihsel süreci içerisinde, dünya üzerinde birçok farklı ülkede BRT sistemleri hayata geçirilmeye devam etmektedir. Çizelge 2.1.'de farklı ülkelere ait BRT sistemlerinden örnekler verilmiş olup; açılış yılı, durak sayısı, günlük yolcu taşıma kapasitesi, seyir hızı vb. özellikleri özetlenmiştir.

Çizelge 2.1. Farklı Ülkelerden BRT Sistemi Uygulamaları ve Özellikleri (Yılmaz, 2012)

UYGULAMA YERİ	Curitiba BREZİLYA	Bogota KOLOMBİYA	Sao Paulo BREZİLYA	Jakarta ENDONEZYA	Hangzhou ÇİN	Mexico City MEXİKA	Ahmedabad HİNDİSTAN	Seoul GÜNEY KORE	Metrovia EKVATOR	Nantes FRANSA	Paris FRANSA	Pittsburgh ABD	Amsterdam HOLLANDA	İstanbul TÜRKİYE
Sistemin Açılış yılı	1972	2000	2003	2004	2006	2005	2009	2002	2006	2006	1993	1983	2002	2007
Yol Özelliği	Tek Şerit	İki Şerit	Tek Şerit	Tek Şerit	Tek Şerit	Tek Şerit	Tek Şerit	Tek Şerit	Tek Şerit	Tek Şerit	Tek Şerit	Tek Şerit	Tek Şerit	Tek Şerit
Yol Uzunluğu (km)	72	84	129,5	119	18,8	66	38	86	29,1	7	18,5	14,7	44,5	52
Durak Sayısı	123	107	235	145	16	112	57	73	59	15	32	9	33	44
Ortalama Durak Mesafesi (m)	540	500	500	850	1100	600	700	750	620	500	600	1350	1750	1200
Günlük Yolcu Taşıma Kapasitesi (kişi)	2.000.000	1.500.000	2.780.000	330.000	40.000	600.000	115.000	*	300.000	25.000	45.000	26.000	32.000	1.080.000
Ortalama Seyir Hızı (km/saat)	19	27	22	17	24	19	18	17	22	20	23	40,1	38	33
Altyapı Maliyeti (milyon \$/km)	1,1-6	5	5	1	0,45	1,5	2,4	1,2	1,4	8	*	12,5	11	*
Araç Uzunluğu (m)	24	18,5	18,5	12	18	18,5	12	12	18,5	18	18	18,3	18	*
Araç Maliyeti (milyon \$)	0,4	0,2	0,4	*	0,25	0,24	*	15	0,24	0,6	0,6	0,36	*	*
Araçın Yolcu Kapasitesi (kişi)	>200	>200	>200	75	*	160	90	75	160	110	110	80	130	130
Bilet Ücreti (\$)	0,75	0,6	1	0,4	0,4	0,45	0,18	1	0,25	1,5	15	1,75	1,75	1,1

2.2. Dünyadan BRT Sistemleri Uygulamaları

Dünyanın birçok farklı bölgesinde onlarca farklı şehirde BRT ulaşım sistemleri kullanılmaktadır. Aynı zamanda BRT uygulamasına geçmeye hazırlanan birçok yeni şehir olup hala BRT sistemlerinin yayılımı devam etmektedir. Mevcut durumda (2017, Eylül) dünyada 164 şehirde BRT uygulaması bulunmakta ve toplam 4.811 km uzunluğundaki bu BRT hatlarında günlük ortalama 32 milyon 44 bin 915 yolcu (32.044.415) taşınmaktadır (Global BRT Data, 2017). Bu sayılar gün geçtikçe artmaktadır. Kıtalarla göre BRT kullanıcısı olan ülkeler, her ülkede BRT uygulamasını kullanan şehirlerin sayısı, hat uzunluğu ve günlük yolcu sayıları Çizelge 2.2. - 2.5.'te verilmiştir.

Çizelge 2.2.'de Afrika kıtasında BRT kullanan ülkelerin bilgileri verilmiştir. Çizelgede Nijerya, Güney Afrika ve Tanzanya ülkelerinde BRT sisteminin kullanıldığı ve 3 farklı ülkede toplam 4 şehirde BRT uygulamasının olduğu, günlük ortalama 468.178 yolcunun bu sistemle taşındığı görülmektedir. BRT koridor uzunluğunun da 4 şehir için toplam 117 km olduğu çizelgede görülmektedir (Veriler 2017 Eylül dönemine aittir).

Çizelge 2.2. Afrika Kıtası İçin Ülkeler Bazında BRT Verileri

468.178 GÜNLÜK YOLCULUK		4 ŞEHİR		117 km TOPLAM KORİDOR UZUNLUĞU	
ÜLKELER	GÜNLÜK YOLCULUK	ŞEHİR SAYISI	KORİDOR UZUNLUĞU (km)		
Nijerya	200.000	1	22		
Güney Afrika	108.178	2	74		
Tanzanya	160.000	1	21		

Çizelge 2.3.'te 11 farklı ülkede toplam 42 şehirde BRT uygulamasının olduğu ve günlük ortalama 9.293.372 yolcunun bu sistemle taşındığı görülmektedir. BRT koridor uzunluğunun da 42 şehir için toplam 1.579 km olduğu tabloda görülmektedir.

Çizelge 2.3. Asya Kıtası İçin Ülkeler Bazında BRT Verileri

9.293.372 GÜNLÜK YOLCULUK		42 ŞEHİR		1.579 km TOPLAM KORİDOR UZUNLUĞU	
ÜLKELER	GÜNLÜK YOLCULUK	ŞEHİR SAYISI	KORİDOR UZUNLUĞU (km)		
Çin	4.375.250	20	672		
Hindistan	340.122	7	174		
Endonezya	370.000	1	207		
iran	2.135.000	3	165		
İsrail	92.000	1	40		
Japonya	9.000	2	29		
Malezya	0	1	5		
Pakistan	305.000	2	50		
Kore Cumhuriyeti	400.000	1	115		
Tayvan	1.252.000	3	107		
Tayland	15.000	1	15		

Çizelge 2.4.'te 10 farklı ülkede toplam 44 şehirde BRT uygulamasının olduğu ve günlük ortalama 1.566.580 yolcunun bu sistemle taşındığı görülmektedir. BRT koridor uzunluğunun da 44 şehir için toplam 813 km olduğu tabloda görülmektedir.

Çizelge 2.4. Avrupa Kıtası İçin Ülkeler Bazında BRT Verileri

1.566.580 GÜNLÜK YOLCULUK 44 ŞEHİR 813 km TOPLAM KORİDOR UZUNLUĞU			
ÜLKELER	GÜNLÜK YOLCULUK	ŞEHİR SAYISI	KORİDOR UZUNLUĞU (km)
Belçika	0	1	6
finlandiya	30.000	1	28
Fransa	41.919	21	281
Almanya	42.000	2	31
Hollanda	110.568	5	161
İspanya	30.867	2	15
İsveç	100.000	3	96
İsviçre	14.000	1	11
Türkiye	750.000	1	52
Birleşik Krallık	78.226	7	134

Türkiye de bu tabloda yer alan önemli BRT kullanıcısı ülkelerdendir. Türkiye, tek bir şehirdeki BRT uygulaması yani İstanbul metrobüs sistemi ile 44 şehir arasında BRT ile yapılan yolculuklarda en yüksek paya sahip ülke olarak yer almaktadır. Ayrıca Avrupa kıtasının günlük ortalama 1.566.580 olan yolculuk sayısının 750.000’lik kısmı da Türkiye’ye ait olup sadece İstanbul’da, Avrupa’nın geriye kalan 43 şehrinin neredeyse toplamı kadar yolculuk yapılmaktadır. Bu da Türkiye’de metrobüs sistemine olan yolcu talebinin ne kadar yüksek olduğunu göstermektedir. İstanbul 52 km’lik tek koridoru ile Avrupa şehirlerinin ortalama koridor uzunluğunun üzerinde bir BRT koridor uzunluğuna sahiptir. İstanbul’da yolculuk talebi yüksek olan bu koridorların sayısının gelecek yıllarda artırılması yolcu memnuniyeti açısından yerinde bir uygulama olacaktır.

Çizelge 2.5.’te Güney Amerika kıtası için ülkeler bazında BRT verileri sunulmuştur. Güney Amerika’da 13 farklı ülkede toplam 54 şehirde BRT uygulamasının olduğu ve günlük ortalama 19.470.072 yolcunun bu sistemle taşındığı görülmektedir. BRT koridor uzunluğunun da 54 şehir için toplam 1.757 km olduğu tabloda görülmektedir. Bu verilerden Latin Amerika’nın BRT uygulamalarının en yaygın kullanıldığı kıta olduğu görülmektedir. Günlük ortalama 19.470.072 olan yolculuk sayısı ile da dünyadaki günlük toplam BRT yolculuk sayısı içinde %60’lık bir paya sahiptir.

Çizelge 2.5. Güney Amerika Kıtası İçin Ülkeler Bazında BRT Verileri

19.470.072 GÜNLÜK YOLCULUK		54 ŞEHİR		1.757 km TOPLAM KORİDOR UZUNLUĞU	
ÜLKELER	GÜNLÜK YOLCULUK	ŞEHİR SAYISI	KORİDOR UZUNLUĞU (km)		
Arjentina	927.000	2	54		
Brezilya	10.626.641	21	752		
Şili	476.800	2	105		
Kolombiya	3.067.597	7	216		
Ekvador	1.055.000	2	117		
El Salvador	27.000	1	6		
Guatemala	210.000	1	24		
Meksiko	2.512.204	11	379		
Panama	0	1	5		
Peru	350.000	1	26		
Trinidad Tobago	0	1	25		
Uruguay	25.000	1	6		
Venezuela	192.830	3	42		

Kuzey Amerika kıtasında BRT kullanan ülkelerin bilgileri Çizelge 2.6.'da verilmiştir. Çizelge 2 farklı ülkede toplam 16 şehirde BRT uygulamasının olduğu ve günlük ortalama 810.513 yolcunun bu sistemle taşındığı görülmektedir. BRT koridor uzunluğunun da 16 şehir için toplam 448 km olduğu tabloda görülmektedir.

Çizelge 2.6. Kuzey Amerika Kıtası İçin Ülkeler Bazında BRT Verileri

810.513 GÜNLÜK YOLCULUK		16 ŞEHİR		448 km TOPLAM KORİDOR UZUNLUĞU	
ÜLKELER	GÜNLÜK YOLCULUK	ŞEHİR SAYISI	KORİDOR UZUNLUĞU (km)		
Kanada	395.357	4	112		
Birleşik Devletler	415.156	12	336		

Çizelge 2.7.'de Kuzey Okyanusya kıtasında BRT kullanan ülkelerin haritası verilmiştir. Çizelgede, 2 farklı ülkede toplam 4 şehirde BRT uygulamasının olduğu ve günlük ortalama 436.200 yolcunun bu sistemle taşındığı görülmektedir. BRT koridor uzunluğunun da 4 şehir için toplam 96 km olduğu tabloda görülmektedir.

Çizelge 2.7. Okyanusya Kıtası İçin Ülkeler Bazında BRT Verileri

436.200 GÜNLÜK YOLCULUK		4 ŞEHİR		96 km TOPLAM KORİDOR UZUNLUĞU	
ÜLKELER	GÜNLÜK YOLCULUK	ŞEHİR SAYISI	KORİDOR UZUNLUĞU (km)		
Avustralya	413.300	3	90		
Yeni Zelanda	22.900	1	6		

2.3. İstanbul BRT Sistemi-Metrobüs ve Temel Bileşenleri

İstanbul şehir içi toplu taşıma sistemindeki otorite İETT (İstanbul Elektrik Tünel ve Tramvay) Genel Müdürlüğü'dür. İETT'nin, İstanbul'un ana arterlerindeki trafik yoğunluğunu azaltmak, hızlı ve konforlu ulaşım sağlamak amacıyla işletmeye aldığı İstanbul BRT sistemi (bundan sonra metrobüs olarak bahsedilecektir) ilk olarak Topkapı-Avcılar hattında hizmete başlamıştır. Yapımına 2007 yılında başlanan 18,3 kilometrelik hat, sekiz ay gibi kısa sürede tamamlanarak Eylül 2007'de açılmıştır. Metrobüs, yolcuların trafiğe takılmadan daha hızlı, daha konforlu, daha ekonomik seyahat etmeleri amacıyla kurulan, çevreye duyarlı bir ulaşım sistemidir. Metrobüsün ikinci etabı olan Zincirlikuyu ayağı Eylül 2008'de yeni eğitim-öğretim yılı başında hizmete alınmıştır. Hattın 77 gün gibi kısa sürede tamamlanmasıyla istasyon sayısı 25'e yükselmiştir.

Metrobüs hattının üçüncü etabı olan Söğütlüçeşme, Mart 2009 tarihinde hizmete alınarak, İstanbul'un iki yakası en kısa yoldan birbirine bağlanmıştır. Hattın Avcılar-Beylikdüzü güzergâhının temeli Mart 2011 günü törenle atılmış ve resmi açılışı Temmuz 2012 tarihinde gerçekleşmiştir. Toplam uzunluğu 52 kilometreyi bulan 44 istasyonlu Beylikdüzü-Söğütlüçeşme Metrobüs hattında yolculuk süresi 95 dakika ve günlük ortalama 875 bin yolcu taşınmaktadır (İETT, 2016).

BRT sistemlerinin temel bileşenleri; ayrılmış seyir yolları, istasyonlar, erişilebilir alçak taban araçlar, araç dışında ücret toplama sistemleri, akıllı ulaşım sistemi teknolojileri ve kesintisiz yüksek frekansta hizmet sunmalarıdır (Levinson vd., 2003). İstanbul metrobüs sisteminin de temel bileşenleri olan; seyir yolları, istasyonlar, araçlar, ücret toplama sistemi, akıllı ulaşım sistemleri, servis ve işletme planları konuları alt başlıklarda detaylı olarak anlatılmıştır.

2.3.1. Seyir yolları

Araçların hizmet verdikleri güzergâh, seyir halinde izledikleri yol, seyir yolu olarak tanımlanabilir. Metrobüs seyir yolu, otobüs hattının yolun kenarından mı yoksa orta refüjden mi geçeceğine, dış trafikle bağlantılı olup olmayacağına, normal trafik akışında mı yoksa tersinden mi olacağına ve trafik kontrol noktalarına bağlı olarak seçilmelidir. Ayrıca, metrobüs güzergâhlarının anayol platformu içinde seçilmesine öncelik gösterilmelidir. Böylece anayol ve caddelerdeki toplam yolcu taşıma kapasitesi artırılıp, diğer tüm ulaşım türlerindeki toplam net gecikme süresini en aza indirilebilir. Seyir yolu aynı zamanda, yolcuların güvenliğini sağlayarak ulaşabileceği en yüksek sefer hızında hizmet vermeli ve çevresel faktörler göz önüne alındığında tercih edilir olmalıdır (TÜBİTAK-TÜSSİDE, 2013).

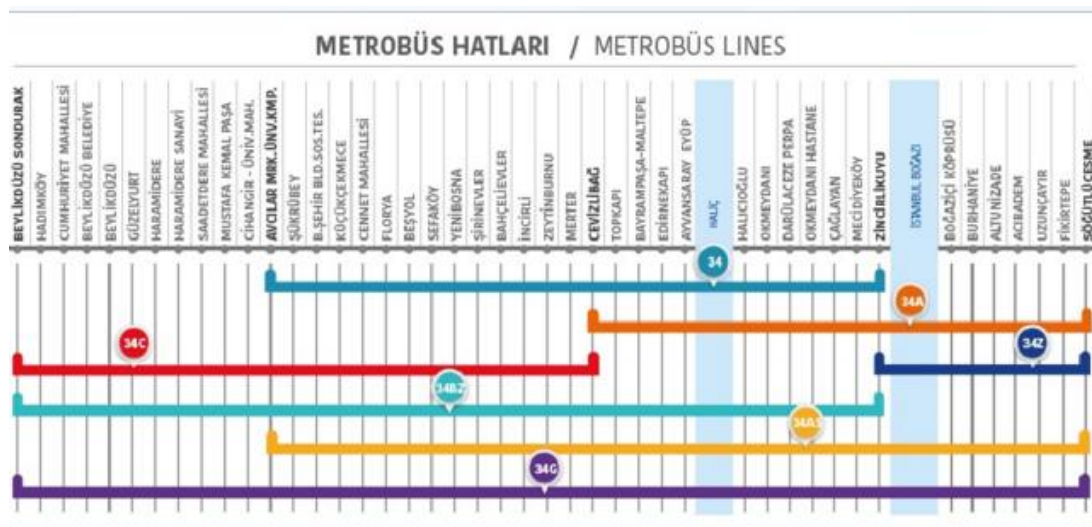
İstanbul Metrobüs hattının tamamı otoyol üzerinden gitmekte olup bariyerlerle trafikten tamamen ayrılmış şekilde (Boğaz Köprüsünde 2,7 km boyunca sivil trafikteki seyir hariç) araçlar seyir etmektedir. Yolcu indirme bindirme peronları hattın ortasında yer almakta olup metrobüs araçları trafiğin tersi yönünde (sol şeritte) hareket etmektedir. Hat üzerinde hemzemin kavşak veya yaya geçidi olmadığı için sefer hızı oldukça yüksektir.

Metrobüs seyir yolu toplam 52 km olup E-5 karayolunda 2 şeritli yol üzerinde Beylikdüzü - Söğütlüçeşme arasında çalışmaktadır. Hattın tamamı kademeli olarak dört etapta tamamlanmış olup 2012 yılında tamamlanan 9,7 km ile 52 km-44 istasyon olarak bugünkü halini almıştır.

Metrobüs araçları, hat üzerindeki belirli noktalardan hatta girebilmektedirler. Araçlar, Avcılar-Edirnekapı - Söğütlüçeşme olmak üzere üç noktadan hatta giriş yapabilmektedirler. Ayrıca, Beylikdüzü – Avcılar – Cevizlibağ – Edirnekapı - Zincirlikuyu - Söğütlüçeşme olmak üzere 6 farklı noktadan araçlar hat içinde dönebilmekte, yön değiştirebilmektedirler.

2.3.2. İstasyonlar

İstanbul'da Doğu'dan Batı'ya geçen E5 Karayolu üzerinde bulunan metrobüs hattı yaklaşık 52 km'lik bir uzunluğa sahiptir. Bu mesafe, dönüş yaparak yön değiştirdiği istasyonlardaki alınan yollar hariç tutularak, tüm hat üzerinde gidip gelişinde bir metrobüsün kilometre ölçerinden elde edilmiştir. İki yönlü olmak üzere sadece bu hatta çalışan araçlara özel olarak tahsis edilmiş bir yol olan metrobüs hattının üzerinde 44 istasyon mevcuttur. Doğu-Batı istikametinde gidildiğinde Söğütlüçeşme'den başlayan bu istasyonlar Fikirtepe, Acıbadem, Altunizade, Burhaniye, Boğaziçi Köprüsü, Zincirlikuyu, Mecidiyeköy, Çağlayan, Okmeydanı Hastane, Darülaceze, Okmeydanı, Halıcıoğlu, Ayvansaray, Edirnekapı, Bayrampaşa - Maltepe, Topkapı, Cevizlibağ, Merter, Zeytinburnu, İncirli, Bahçelievler, Şirinevler, Yenibosna, Sefaköy, Beşyol, Florya, Cennet Mahallesi, Küçükçekmece, İBB Sosyal Tesisler, İstanbul Üni.-Avcılar Kampüs, Cihangir-Üniversite Mahallesi, Mustafa Kemal Paşa, Saadetdere Mahallesi, Haramidere Sanayi, Haramidere, Güzelyurt, Beylikdüzü, Beylikdüzü Belediye, Cumhuriyet Mahallesi, Hadımköy'den geçerek TÜYAP - Beylikdüzü Son İstasyon'a ulaşılmaktadır. Bu istasyonlardan Vatan istasyonu, yolcu talebi çok düşük olması nedeniyle faal olarak kullanılmamaktadır. Bu nedenle istasyon sayısı 44 olarak kabul edilmekte olup tüm istasyonların hat üzerindeki konumları Şekil 2.7.'de verilmiştir (TÜBİTAK-TÜSSİDE, 2013).



Şekil 2.1. Metrobüs Güzergâhı ve İstasyonlar

İstasyonlar, metrobüs sisteminin görünen yüzüdür. Metrobüs sistemleri raylı sistemler gibi yüksek yolculuk talebi olan koridorlarda hizmet vermektedir. Bu yüzden sınırlı sayıda istasyon olmalıdır ve bu istasyonların her biri yüksek yolcu yoğunluğu olan yerlere uygun aralıklarla yerleştirilmelidir. Metrobüs sisteminde istasyon yeri seçimi yapılırken dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan biri istasyonların diğer ulaşım türleriyle entegre edilmesi gerektiğidir. Otobüs besleme hatları özellikle hafif raylı sistemler, metro veya metrobüs sistemleri açısından önemlidir. Otobüs besleme hatları ile yolcuların ana aktarma noktalarından bu sistemlere erişimi sağlanmaktadır. Dolayısıyla bu sistemlerin yine yolcu erişilebilirliği ve zaman kayıpları dikkate alınarak enküçüklenmesi, ana sistemdeki yolcuların gelişleri ile senkronize biçimde düzenlenmesi gerekmektedir. Diğer toplu ulaşım sistemleri ve ağlarıyla düzgün ve senkronize biçimde çalışan bir istasyon yeri seçimi hem sistemin erişilebilirliğini hem de talebe bağlı olarak kapasiteyi de yakından ilgilendirmektedir.

Metrobüs istasyonlarının yer seçiminde de önemli bir husus olarak belirtilen aktarma noktaları sistemin erişilebilirliğini artırmaktadır. Metrobüs hattı boyunca diğer ulaşım türlerine erişimi sağlayan 6 farklı aktarma noktası mevcut olup diğer ulaşım sistemleri ile entegrasyonun sağlandığı bu noktalar Şekil 2.8.'de harita üzerinde ve Çizelge 2.8.'de açıklamalarıyla birlikte verilmiştir.



Şekil 2.2. Metrobüs Aktarma Noktaları

ITDP (Ulaştırma ve Kalkınma Politikası Enstitüsü) BRT standartlarına göre, istasyon tasarımında dikkat edilecek hususlar; iki istasyon arası mesafenin çok fazla olmaması, istasyonların güvenli ve konforlu olması, istasyondaki yolcu indirme peron alanının birden fazla otobüsün aynı anda yolcu indirme-bindirmesine yetecek uzunlukta olması, istasyonlarda yolcu güvenliği için kayar kapı uygulamasının bulunmasıdır.

Çizelge 2.8. Metrobüs Aktarma Noktaları

Marmaray:	Faaliyete geçen Marmaray'ın Metrobüs sistemiyle entegrasyonu otobüs hatları ile gerçekleşmektedir. Cevizlibağ, Şirinevler, Topkapı, Yenibosna ve Zeytinburnu istasyonları ile Kazlıçeşme arasında otobüs hatları mevcuttur.
Aksaray-Havalimanı Metro Hattı:	Mevcut metrobüs güzergahında Şirinevler, Bahçelievler, Zeytinburnu ve Merter metrobüs istasyonlarından Aksaray - Havalimanı metro hattına aktarma yapabilmek mümkündür. Şirinevler, Bahçelievler, Zeytinburnu ve Merter metro istasyonlarının, söz konusu metrobüs istasyonlarına uzaklıkları yürüme mesafesi olarak sırasıyla yaklaşık 100m, 100m, 200m ve 100m'dir. Bunların dışında, Yenibosna ve İncirli metrobüs istasyonlarından Yenibosna ve İncirli metro istasyonlarına da aktarma yapmak yürüyüş mesafesindedir.
Bağcılar-Kabataş Tramvay Hattı:	Mevcut metrobüs güzergâhında, Zeytinburnu, Cevizlibağ ve Topkapı metrobüs istasyonlarından Bağcılar - Kabataş Tramvay hattına aktarma yapılabilmektedir. Zeytinburnu, Cevizlibağ ve Topkapı tramvay istasyonlarının, söz konusu metrobüs istasyonlarına uzaklıkları yürüme mesafesi olarak sırasıyla yaklaşık 200m, 120m ve 300m'dir.
Habipler-Topkapı Tramvay Hattı:	Mevcut metrobüs güzergâhında, Topkapı ve Edirnekapı metrobüs istasyonlarından Habipler - Topkapı Tramvay hattına aktarma yapılabilmektedir. Topkapı ve Edirnekapı tramvay istasyonlarının, söz konusu metrobüs istasyonlarına uzaklıkları yürüme mesafesi olarak sırasıyla yaklaşık 300m ve 200m'dir
Hacı Osman Bey -Yenikapı Metro Hattı:	Mevcut metrobüs güzergâhında Mecidiyeköy ve Zincirlikuyu metrobüs istasyonundan Osmanbey - Şişhane Metro hattına aktarma yapılabilmektedir. Mecidiyeköy ve Gayrettepe Metro istasyonlarının söz konusu metrobüs istasyonlarına uzaklıkları yürüme mesafesi olarak sırasıyla yaklaşık 150m ve 250m'dir
Kartal- Kadıköy Metro Hattı:	Mevcut metrobüs güzergâhında Uzunçayır metrobüs istasyonundan Kartal - Kadıköy Metro hattına aktarma yapılabilmektedir. Uzunçayır Metro istasyonu metrobüs istasyonuna yaklaşık 400m yürüme mesafesindedir.

2.3.3. Araç çeşitleri ve özellikleri

Metrobüs hattı araç kapasitesi 545 araç olup; işgünü, Cumartesi ve Pazar olmak üzere 3 farklı servis planına göre hatta verilen araç sayıları değişmektedir. Mevcut durumda metrobüs hattında kullanılan araçlar 2 farklı modele sahiptir. Hatta kullanılan araçların hepsi körüklü ya da çift körüklü olan yüksek yolcu kapasiteli araçlardır. Tüm araçlar, aynı zamanda alçak taban olup engelli erişimine uygundur. Çizelge 2.9.'da araç tiplerine göre araç sayıları, yolcu kapasiteleri ve araç özellikleri özetlenmiştir.

Çizelge 2.9. Metrobüs Araç Bilgileri

Araç Tipleri	Araç Sayısı	Alçak Taban Özelliği	Yolcu Kapasitesi
Capacity	250	Var	165
Conecto	295	Var	160
TOPLAM	545		

2.3.4. Ücret toplama sistemi

Ücret toplama sistemi, yolcu rahatlığını, hizmet güvenilirliğini, erişilebilirliği ve yolcu güvenliğini etkileyen bir unsurdur. Ücret toplama sisteminde amaç, araçların istasyonda bekleme süresini azaltarak sistemin işletme hızını ve verimini artırmak, ücret ödemedi kaçak olarak binmek isteyen yolcuları engellemektir. Teknolojik özelliklere sahip ücret toplama sisteminde yatırım ve işletme maliyetleri yükselmekte bununla birlikte işletme hızı ve verimi önemli ölçüde artmaktadır.

Metrobüs sisteminde ücret ödemesi istasyonlara girişte turnikeler aracılığı ile akıllı kartlar kullanılarak yapılmaktadır. Metrobüs hattında 45 istasyonda toplam 366 adet turnike, 54 adet engelli turnikesi (serbest geçiş) bulunmaktadır. İstanbul Kart olarak bilinen akıllı kartlar sadece metrobüs sisteminde değil, diğer tüm dış hatlar, metro, tramvay ve boğazda sefer yapan Şehir Hatları vapurlarında da kullanılmaktadır.

Metrobüste mesafe bazlı ücret tarifesi kullanılmaktadır. Sabit tarife ve değişken tarife olmak üzere iki temel ücret tarifesi bulunmaktadır. Sabit (mesafe tabansız) tarife,

mesafe veya hizmet kalitesi ne olursa olsun aynı ücret uygulanmaktadır. Bu politika ile potansiyel karışıklık ve tartışmalar azaltılmış, bu sayede de sürücülerin üzerindeki sorumluluk azaltılmış ve biniş hızı ile birlikte sistem performansı artırılmıştır. Değişken (mesafe, saat, kullanıcı çeşidine bağlı) tarifiede ise ücretler; mesafe tabanlı/bölgesel tarife, zaman tabanlı tarife ve servis tabanlı tarife olmak üzere 3 farklı şekilde belirlenebilmektedir. Çizelge 2.10'da değişken tarife türlerinin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.10. Değişken Tarife Türleri

Mesafe Tabanlı / Bölgesel Tarife	Ücret, gidilen mesafe ile doğrudan veya dolaylı olarak tahsil edilir. Araç şoförü yolcu araca bindiğinde veya araçtan indiğinde ücreti tahsil etmektedir.
Zaman Tabanlı Tarife	Ücret tarifesı, günün belli saatlerinde veya haftanın belirli günlerine bağlı olarak değişmektedir. Örneğin, yoğun olmayan saatlerde veya hafta sonları düşük ücret uygulanması gibi.
Servis Tabanlı Tarife	Ücret tarifesı, toplu taşıma sisteminin tipine ve kalitesine bağlı olarak değişmektedir. Örneğin, express servis ya da özelleştirilmiş metrobüs araçlarında yüksek ücret uygulaması gibi.

İstanbul metrobüs sisteminde değişken ücret tarifesı uygulanmakta olup hem mesafe bazlı (istasyon sayısına göre) hem de yolcu çeşidine göre (tam, öğrenci, sosyal vs.) ücret tarifesı değişmektedir. Mesafe bazlı ödeme için istasyonlarda iade makinaları bulunmaktadır. Yolcu türüne göre değişen ücretler ise akıllı kartlar ile uygulanmaktadır.

İstanbulkart ile yolculuk yapan bir yolcu, 120 dakika içerisinde başka bir karayolu toplu taşıma aracı (ÖHO, tramvay, metro, tünel vs.) kullandığında aktarma gerçekleşmekte olup indirimli aktarma tarifesı geçerli olmaktadır. Yolcular aktarma tarifesinden 5 aktarmaya kadar yararlanabilmekte olup yine tam, sosyal ve öğrenci Ancak bir metrobüs yolcusu, metrobüs kullanmadan önce başka bir ulaşım aracını kullanması durumu dâhil metrobüs için kart okutulduğunda aktarma gerçekleşmez. Metrobüs ile ulaşım sağlandıktan sonra kullanılacak ulaşım aracı içinse normal aktarım şartları geçerlidir. Metrobüs kademeli ücret tarifesı 00:00 ile 06:00 arasında geçerli değildir. 00:00 ile 06:00 arasında

metrobüsle yolculuk yapılan istasyon sayısı dikkate alınmadan 40 ve üzeri istasyon için geçerli olan tarife ile ulaşım sağlanır.

Metrobüs hattında bilet satışları (3Geç Bilet ve İstanbul Kart satışı) ve İstanbul Kart dolulukları yaygın olarak Otomatik Satış Makineleri (OSM) ile yapılmaktadır. Bu makinelerin kullanımıyla birlikte; gelişmiş teknolojiyle şehir hayatının kolaylaştırılması, anlık veri takibinin yapılabilmesi, uzaktan erişim ile arıza durumlarına müdahale edilmesi ve sahte para kullanımının engellenmesi kolaylaşmıştır. Gerçekleştirilen bütün işlemler raporlanır ve tutulan raporlar istatistikî amaçlar için kullanılabilir.

2.3.5. Akıllı ulaşım sistemleri

Dünyadaki akıllı ulaşım sistemlerine ilişkin gelişmeleri yakından takip eden ve bilişim sistemlerine adapte olmayı stratejik hedefleri arasına almış olan İETT, İstanbul halkına sunduğu hizmet kalitesini arttırmak ve zamanın daha da değerli olduğu İstanbul'da vatandaşlara daha iyi hizmet sunmak adına akıllı ulaşım sistemlerine yatırım yapmaktadır. İstanbul toplu ulaşımında, metrobüs hattında uygulamaya alınan akıllı ulaşım sistemi yatırımları ile kısa sürede çok fazla yolcuya hizmet sağlanmaktadır. Çünkü, M1 - M2 metro hatları, T1 tramvay hattı ve Marmaray ile kıyaslandığında bir günde en fazla yolcunun taşındığı sistem metrobüs hattıdır. Bu nedenle, İstanbul'daki toplu taşıma sisteminde en büyük paya sahip olan metrobüste akıllı ulaşım sistemi uygulamalarına büyük önem verilmektedir ve birçok teknolojik uygulama hayata geçirilmiştir.

Metrobüste kullanılan akıllı ulaşım sistemleri, Akıllı Kart Ulaşım Yönetim ve Yolcu Bilgilendirme Sistemi (Akyolbil) ile yönetilmekte olup Akyolbil kapsamında Saha Yönetim Uygulaması, Filo Yönetim Sistemi Uygulaması ve Araç içi Yolcu bilgilendirme sistemi uygulamaları aktif olarak kullanılmaktadır.

2.3.6. Servis ve işletme planları

Servis planı, metrobüs hattında kaç aracın çalışacağı, bu araçların hangi hatlarda çalışacağı ve servis türüne göre hangi saatlerde çalışacağını gösteren bir çalışma planıdır. Servis planları; yolcu talebini karşılama amacı için, araç sayısı ve işgücü kaynak kısıtları

altında oluşturulur. Metrobüste, yolculuk potansiyeline göre yaz ve kış olmak üzere iki temel servis (hat -zaman) planı yapılmaktadır. Metrobüste; *işgünü, cumartesi ve pazar* yolculukları olmak üzere üç farklı yolculuk karakteristiği görülmektedir. Planlama yapılırken her iki temel planda da, bu 3 karakteristiğe göre ayrı ayrı planlama yapılmaktadır. Planlama yapılırken dikkat edilen en önemli hususlar; lokasyon (istasyon) bazlı yolculuk talebi, garaj bazlı araç sayıları ve sürücü personel (şoför) işgücü kaynağıdır. Bu kısıtlar altında yolcu talebine optimum şekilde cevap verebilecek servis planlaması yapılmaktadır. Çizelge 2.11.'de metrobüs servis planları sonucu hatlara göre araç sayıları dağılımı ve sefer bilgileri verilmiştir.

Çizelge 2.11. Metrobüs Hat-Sefer Bilgileri

İETT METROBÜS HAT-SEFER BİLGİLERİ TABLOSU								
Hat	Güzergah	Araç Sayısı	Sefer Süreleri (Gidiş/Dönüş)	Hat Uzunluğu (Km)	Durak Sayısı	Ortalama Araç Hızı	Seferler Arası Ortalama Süre (Sn)	Günlük Hareket Sayısı
34	AVCILAR-ZİNCİRLİKUYU	92	125	30	27	34	82	1296
34A	CEVİZLİBAĞ-SÖĞÜTLÜÇEŞME	22	94	22	20	30	256	88
34 AS	AVCILAR-SÖĞÜTLÜÇEŞME	100	162	41,5	35	31	97	1188
34 BZ	BEYLİKDÜZÜ-ZİNCİRLİKUYU	128	154	40	39	31	72	1798
34 C	BEYLİKDÜZÜ-CEVİZLİBAĞ	70	115	29	26	35	99	872
34 G	BEYLİKDÜZÜ-SÖĞÜTLÜÇEŞME	15	180	52	44	35	720	75
34 U	ZİNCİRLİKUYU - UZUNÇAYIR	38	40	11	6	38	63	110
34 Z	ZİNCİRLİKUYU-SÖĞÜTLÜÇEŞME	30	52	11,5	8	31	104	1827
Metrobüs Genel		495	922	237	205	264	1494	7254

Metrobüsün ilk hizmete alındığı 2007 yılında, Avcılar –Topkapı 1. etabında toplam 15 istasyon olmak üzere 18,2 km’lik bir hatta 65 araç ile hizmet verilmiştir. Sistemin pilot uygulaması olan ilk etapta servis planlaması çok daha kolay ve manuel olarak yapılmıştır. Yapılan planlamada, sahadan gelen amir raporları ve gözlem sonuçlarına göre servis planları oluşturulmuştur. Metrobüste her sene giderek artan yolculuk talebi için, sisteme

her yıl yeni araçlar ilave edilmiş, ancak bu araçların sisteme ilave edilmesinde tamamen gözleme dayalı ve bir önceki yılın yolculuk talebine göre deneyimsel verilerle hareket edilmiştir. 2014 yılında metrobüs sistemi 44 istasyon ve 52 km'lik yüksek yolculuk talebi olan bir sisteme dönüşmüştür. Mevcut yöntemlerle servis planlamasının artık yetersiz olacağı anlaşılmış olup, daha sistematik ve bilimsel bir yöntemle planlama yapılmaya karar verilmiştir. Bu kapsamda Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) ile metrobüs kapasite artırımı projesi başlatılmıştır.

Proje kapsamında metrobüs hattındaki araçlar, istasyonlar, işgücü kaynağı vb. bileşenler incelenmiş ve yolculuk analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda istasyondan-istasyona yolculuk hareketlerini içeren OD (Origin-Destination) matrisleri oluşturulmuştur. OD matrisi, yolculuk hareketlerinin istasyondan istasyona göre belirleyebildiğimiz ve istasyondan istasyona yolcu taleplerinin yer aldığı 44*44'lük bir matristir. Matrisin 44*44'lük olması, hatta 44 istasyon olmasından kaynaklanmaktadır. Oluşturulan OD matrisleri kullanılarak, hat üzerindeki bir kesitten geçen araç içi yolcu yoğunluğunu dengelemeye yönelik bir yöntem geliştirilmiş ve hat-sefer planlarının oluşturulduğu excel-makro modellemesi yapılmıştır.

İşletme planlama süreci ise; servis, araç ve personel planlamasından sonra araçların garajdan çıkış ile başlar, saha faaliyetlerinin izlenmesi, denetlenmesi ile devam eder ve planlanan seferlerin tamamlanması ile sona erer. İşletme planlamada amaç, araçların yapılan planlamaya göre çalışmalarını sağlamak ve uygunsuz çalışmalarını denetlemektir. Servis planlamaya bağlı olarak; hafta içi, cumartesi ve pazar çalışma planlarına uygun olarak işletme planları oluşturulmaktadır. İşletme planlama süreci, daha çok servis planlarının kontrol ve denetimine yönelik faaliyetleri içerdiğinden, işletme planları da bu denetim faaliyetlerini yürütecek personelin görev-yetki alanlarını ve çalışma planlarını oluşturmaya dayanmaktadır. İşletme planlarının yönetimi, metrobüs filo komuta merkezinden gerçekleştirilmektedir. Metrobüs filo komuta merkezi, hat üzerinde çalışan araçların konum ve hareketlerinin takip edildiği, araçlar ile iletişime geçildiği, kriz anında yönetimin sağlandığı, gerektiğinde istasyonda bulunan yolculara bilgilendirme anonslarının yapıldığı bir merkezdir. Hattın tamamını görerek, stratejik kararların daha kolay uygulanmasını sağlamaktadır. Metrobüs filo komuta merkezinde, metrobüste bulunan 44 istasyon kameralarla 24 saat canlı olarak izlenmekte ve araçların FYS (Filo

Yönetim Sistemi) ile servis takibi yapılmaktadır. Metrobüs hattında meydana gelen tüm olaylara bu merkezden müdahale edilmekte gerekli ekipler hatta bu merkezden yönlendirilmektedir. Filo komuta merkezi üç vardiya olarak 24 saat esasına göre çalıştırılmakta olup her vardiyada filoyu kameralarla izleyen ve hattı yönlendiren 2 izleme personeli, araçların FYS üzerinden takibini yapan her 150 araca 1 personel olmak üzere toplam üç personel ile haber ve komuta işlemlerini yapan bir amir bulunmaktadır. Şekil 2.9.'da metrobüs filo komuta merkezinin bir fotoğrafı verilmiştir. Fotoğrafta, izleme kameraları ve FYS yazılımını kullanan operatörler görülmektedir.



Şekil 2.3. Metrobüs Filo Komuta Merkezi

Ayrıca filo komuta merkezi, sahada görev yapan tüm personelin koordinasyonundan ve denetiminden sorumludur. Sahada görev yapan personeller; saha denetim amiri, saha hat amiri, saha istasyon amiri, güvenlik personeli ve temizlik personeli.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde BRT sistemleri ile ilgili yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Dünya üzerinde geniş bir uygulama alanına sahip olan BRT sistemi ülkemizde sadece İstanbul'da kullanılmakta olduğu için yapılan yerli çalışmalar ise sadece İstanbul metrobüs sistemi incelemelerine aittir. Yapılan çalışmalarda BRT sistemlerinin uygulanabilirliği, çevresel ve sosyal etkileri, sistem performansı ve daha birçok açıdan incelemelerde bulunulmuştur.

Akyol (2016), tez çalışmasında ulaşım ile ilgili verilen kararlarda, kaynakların etkin ve verimli kullanılması için ekonomik analiz yapılması gerektiğini savunarak; İstanbul'daki örneklem hatlara dayandırılarak metro ve metrobüsün yatırım maliyeti, inşaat süreleri, işletme maliyetleri, yatırımların geri dönüş süresi ve emisyon hesaplamaları yapmıştır. Yapılan hesaplamalardan sonra metro ve metrobüsü karşılaştırmalı olarak analiz etmiştir.

Rodriguez vd. (2015), yaptıkları çalışmada Bogota ve Quito için BRT sistemlerinin arazi ve yol gelişimi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Her iki şehir için 10 yıla ait veriler ile yarı deneysel bir tasarım ile araştırma yapılmış, arazi gelişimine olan etkiler niceliksel olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmanın çıktılar aynı zamanda; yıllara göre yeni imar alanlarını, ilave birimleri, verilen inşaat ruhsatlarını, arazi kullanımındaki değişiklikler ve konut fiyatlarındaki değişiklikleriyle piyasa/pazar özelliklerini de içermektedir.

Lindau vd. (2014), dünyadaki bir çok BRT uygulamasının incelenmesi sonucunda kazanılan tecrübelerin ışığında, sürdürülebilir hareketliliği sağlamak için şehirlerin BRT sistemlerini kurmasında ya da geliştirmesi konusunda yol göstermek ve yardımcı olmak adına çalışmalarında; BRT sistemlerine geçiş sürecindeki engelleri, bu sistemlerin kullanıldığı şehirlerde plan, uygulama ve geliştirme sürecinde yazarların sahip oldukları deneyimlere dayalı olarak anlatmaktadır.

Akın (2014), İstanbul'da ulaşım sorunu ve metrobüs çözümü konulu yüksek lisans çalışmasında, İstanbul metrobüs sisteminin dünyadaki diğer metrobüs uygulamaları ile

birlikte değerlendirildiğinde sistem bileşenleri açısından Bogota, Curitiba, Jakarta ve Guangzhou gibi şehirlerin arkasında olduğunu ancak işletme hızı olarak dünyadaki en hızlı sistemlerden olduğunu belirtmektedir.

Deng ve Nelson (2013), Çin'deki ilk tam özellikli BRT sistemi olan Pekin hızlı otobüs taşımacılığının performans ve etkilerini incelemişlerdir. BRT'nin operasyonel verimlilik, teknik performans ve maliyet unsurlarında akıllı ulaşım sistemi teknolojilerinin rolüne vurgu yapılmıştır. BRT sisteminin; yolcu alışkanlıklarındaki değişiklik, trafik, sürdürülebilir hareketliliğin artırılması, çevre ve yeni yaşam alanları geliştirme konularındaki etkisine değinilmiştir. Çalışmanın sonucunda; tam özellikli bir BRT sisteminde diğer otobüs taşımacılığına göre daha yüksek kapasiteli, daha güvenilir, daha konforlu yolcu taşımacılığı sağlandığı ve BRT sistemlerinin kuruldukları alanların gelişmesine ve yolculuk alışkanlıklarının olumlu değişimine katkı sunduğu yargısına varılmıştır.

Yılmaz (2012), İstanbul metrobüs sistemini sahip olduğu özelliklere göre analiz etmiştir. Bu özellikler, istasyonlarda anons sistemi analizi, kamera sistemi analizi, otomatik satış makinesi sistemi analizi, asansör sahipliği analizi, engelli platformu sahipliği analizi, turnike analizi, iade validatörü analizi olarak sistem bileşenlerinin sahip olduğu özellikler ve kapasite tespiti şeklindedir. Aynı zamanda metrobüs SWOT analizi, sistemin trafiğe katkısı, sağladığı CO₂ emisyon tasarrufu ve metrobüs sisteminin işletmeye açılması ile sağlanan sosyal kazanımları değerlendirmiştir.

Alpkokin ve Ergun (2012), İstanbul metrobüs hattının yapımını inceledikleri çalışmalarında; hattın performansını, çevresel ve finansal sürdürülebilirliğini ve sistemin sosyal-politik boyutlarını tartışmışlardır.

BRT sistemlerinin arazi ve yol gelişimi üzerindeki etkilerini inceleyen bir diğer çalışma da Cervero ve Kang (2011), tarafından Kore-Seul örneği ile değerlendirilmiştir.

Vincent ve Jerram (2006), BRT sistemlerinin çevresel etkilerini inceledikleri çalışmalarında; BRT sistemlerinin tahmini CO₂ emisyonu azaltma potansiyelini, araç emisyon değerlerine göre CO₂ emisyonlarında azaltım sağlama miktarlarını

araştırmışlardır. Raylı sistemlere göre yatırım maliyeti çok daha düşük olan BRT sistemlerinin, bu maliyet avantajı sayesinde dünyada özellikle düşük bütçeli toplu taşıma kurumları için çok yaygın hale gelebileceği görüşünü savunmuşlardır.

Currie (2005), yolcu davranışlarının ulaşım moduna göre nasıl değiştiğine yönelik yaptığı çalışmada; yolcuların ulaşımında klasik otobüs taşımacılığı yerine raylı sistem ve BRT sistemlerini tercih ettiğini ve otobüsler yerine BRT sistemlerinin kullanılması durumunda raylı sistemler kadar başarılı olunabileceğini göstermektedir.

Menckhoff (2005), çalışmada Latin Amerika ülkelerindeki mevcut BRT sistemlerini incelemesi ve vaka çalışmaları ile inovatif kentsel ulaşım çözümleri için Latin Amerika'nın bir laboratuvar olarak incelenebileceği görüşünü sunmaktadır.

Levinson vd. (2003), çalışmalarında BRT sistemlerinin temel bileşenleri ve özelliklerinden, BRT sistemlerinde performans değerlendirme kriterlerinden ve sistemin sağladığı kazanımlardan söz etmektedir.

Bertini (2003), Bogota BRT sistemini incelediği çalışmada sistem öncesi-sonrası karşılaştırması yapmakta ve BRT sistemleri için ücret ve ileri kontrol sistemlerini değerlendirmektedir.

Bu çalışma, İstanbul BRT sistemi olan metrobüsün dünyadaki diğer bazı BRT sistemleri ile kıyaslanması ve göreceli etkinliğinin değerlendirilmesini kapsamaktadır. Uygulama kapsamında dünyadaki birçok farklı şehirde hizmet vermekte olan BRT sistemi incelenmiş, İstanbul metrobüsü ile ortak girdi ve çıktı değerlerine sahip olanlar veri zarflama analizi (VZA) ile değerlendirilmiştir. VZA etkinlik ölçümünde sıkça kullanılan bir yöntemdir. Literatürde; bankacılık, sağlık, belediyeçilik, hazır yemek (fastfood), eğitim, havacılık, ulaşım vb. bir çok farklı alanda VZA uygulamalarına ait çalışmalar mevcuttur. Çalışmanın kapsamı nedeniyle özellikle toplu ulaşım alanında VZA yöntemi kullanılarak yapılan çalışmalara ait literatür taramasına ağırlık verilmiştir.

Tran vd. (2016), çalışmalarında, akıllı kart tabanlı ücret toplama verilerinden yararlanarak toplu taşıma otobüslerinde hat bazlı performans değerlendirmesi yapmayı

hedeflemiştir. Akıllı kart verileri, ana otobüs güzergahı performans göstergelerini çıkarmak için kullanılmış ve VZA ile performans analizi yapılmıştır. Ölçeğe göre değişken getiri varsayımı ile 42 otobüs hattı için performans değerlendirmesi yapılmıştır. VZA modeli için hat uzunluğu, duraklar arası mesafe ve sefer sayısı gibi göstergeler girdi olarak seçilirken ortalama hız ve gerçekleşen km çıktı olarak kullanılmıştır.

Karlaftis ve Tsamboulas (2012), çalışmalarında farklı verimlilik değerlendirme yöntemlerinin benzer sonuçlar üretilip üretilmediğini araştırmış, ayrıca ulaşım performansının iki temel boyutu olan verimlilik ve etkililik arasındaki bağlantıyı incelemişlerdir. Sınır ağları, stokastik sınır analizi ve VZA kullanılan verimlilik değerlendirme yöntemleri olmuştur. Avrupa ülkelerine ait 15 farklı ulaşım sistemi için 10 yıllık bir döneme ait verilerle çalışma yapılmıştır.

Liu vd. (2015) son yıllarda hızla artan VZA ile ilişkili araştırma faaliyetlerinin neler olduğunu incelemişlerdir. VZA ile ilgili literatürün büyüklüğü yapılacak sınıflandırma çalışmasında geleneksel sınıflandırma yöntemlerinin kullanılmasını zorlaştırdığı için çalışmada bir ağ kümeleme yöntemi uygulanmıştır. VZA ile ilgili 2004-2014 yıllarına ait yapılmış çalışmaları gruplandırmak için bu yöntem kullanılmıştır. Çalışma sonucunda literatürde 10 yıla ait yapılan VZA çalışmalarının dört grup altında toplanabileceği ve bunların da; bootstrapping ve iki adımlı analiz, istenmeyen faktörler, çapraz verimlilik ve sıralama ile ağ VZA- dinamik VZA ve SBM (slacks-based measure) olduğu tespit edilmiştir.

Caulfield vd. (2013), çalışmalarının temel amacı Dublin için şehir merkezi-hava alanı güzergahı için en verimli ulaşım çözümlerini araştırmak ve belirlemektir. Farklı ulaşım modları için VZA yöntemi kullanılarak verimlilikleri değerlendirilmiştir. Metro, tramvay ve BRT gibi ulaşım modları için seçilen ortak girdiler; ortadan kaldırılan özel araç yolculukları, kazanılan seyahat süresi ve sadık yolcu sayıları; ortak çıktılar ise; altyapı maliyetleri, işletme maliyetleri ve bakım maliyetleridir.

Tajbakhsh ve Hassini (2014) ekonomik getirileri en üst düzeye çıkarmak, sosyal beklentileri karşılamak ve çevresel etkileri en aza indirmek için tercih edilen tedarik zinciri operasyonlarının değerlendirilmesine odaklanmıştır. Tedarik zincirindeki operasyonların

performansını ölçmek ve tedarik zinciri ağı içindeki iş ortaklarının sürdürülebilirliği için çok aşamalı bir VZA modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model hem tedarik zinciri ağının toplam etkinliğini ölçerken hem de bu zincirdeki her bir birimin bireysel performansını da ölçmektedir. Önerilen model, üretim ve bankacılık sektöründe iki vaka analizinde kullanılarak sunulmuştur.

Lao ve Liu (2009), VZA ve coğrafi bilgi sistemlerini (CBS) birlikte kullanarak hem operasyonları hem de operasyonel ortamı göz önünde bulundurarak otobüs hatlarının performansı değerlendirilmiştir. Çalışma, Kaliforniya'nın Monterey County bölgesinde toplu ulaşım hizmeti veren Monterey-Salinas Transit (MST) kurumuna ait verilerle yapılmış olup; otobüs durağı sayısı, operasyon süresi ve gidiş-dönüş süreleri girdi olarak seçilirken toplam yolculuk sayısı da çıktı olarak VZA analizinde kullanılmıştır.

Bhagavath (2006), 44 Hint eyalet karayolu taşımacılık teşebbüsünden alınan verilerle VZA ile teknik etkinlik ölçümü yapmıştır. Ölçeğe göre değişken getiri modeline göre yapılan analizlerde kullanılan girdi değişkenleri; filodaki araç sayısı, otobüs başına ortalama km, otobüs başına maliyet ve çıktı değişkeni de otobüs başına elde edilen gelirdir.

Karlaftis (2004), Performansın iki temel boyutu olan etkinlik ve etkililik arasındaki ilişkiyi ve ulaşım operasyonlarında performans ve ölçek ekonomisi arasındaki ilişkiyi araştırmak için çalışmada bulunmuştur. Birleşik Devletler'e ait 256 ulaşım otoritesine ait 5 yıllık verilerle VZA analizi yapılmıştır. Araç sayısı ve çalışan sayısı girdi olarak kullanılırken araçların yaptığı km de çıktı olarak kullanılmıştır.

BRT sistemleri ve VZA ile ilgili birçok çalışma olmasına karşın BRT sistemlerinin VZA ile değerlendirilmesine ait literatürde bir çalışmaya rastlanmamıştır. Yapılan çalışma ile ortak girdi ve çıktılarına sahip dünyadaki farklı BRT sistemleri ve İstanbul metrobüs sistemi analiz edilmiş olup, analiz sonucunda da İstanbul metrobüs sistemine göre daha etkin olan ve iyileştirme için örnek alınabilecek şehirlerdeki BRT sistemleri belirlenerek kıyaslama çalışmaları için altyapı oluşturulmuştur.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, çalışmada kullanılan ve karar verme birimi (KVB) olarak seçilen BRT sistemleri tanıtılmış, bunlara ait verilerin toplanma süreci anlatılmıştır. Etkinlik değerlendirme yöntemi olarak seçilen veri zarflama analizi (VZA) detaylı olarak ele alınmış ve yönteme ait teorik bilgiler sunulmuştur.

4.1. Materyal

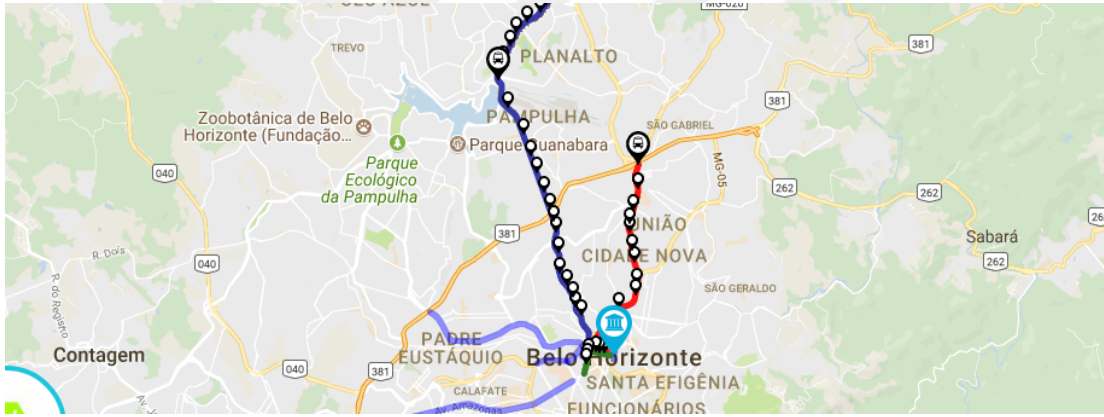
Çalışmanın esasını teşkil eden VZA ile etkinlik değerlendirmesi için bir toplu ulaşım sistemi olan BRT seçilmiştir. Ülkemizde sadece İstanbul’da uygulanmakta olan ve “metrobüs” olarak adlandırılmış olan bu sistemin dünyadaki benzer uygulamalar ile karşılaştırılarak göreceli performansının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, BRT sistemleri ile ilgili uluslararası veri paylaşım olanağı tanıyan “Global BRT Data” platformundan faydalanılarak 13 farklı BRT sistemine ait verilere erişilmiştir. Ayrıca, BRT sistemleri için uluslararası ortak bir tanım oluşturmak ve BRT sistemlerinin dünya standartlarında yolcu memnuniyeti, ekonomik fayda ve pozitif çevresel etki sağlamaları adına taşımaları gereken özellikleri belirleyen uluslararası bir kuruluş olan Ulaştırma ve Kalkınma Politikası Enstitüsü (ITDP-Institute for Transportation and Development Policy) tarafından oluşturulan “BRT Standart Puanlaması” da çalışmada kullanılan bir diğer önemli veri kaynağıdır. Etkinlik analizi için seçilen KVB’lere ait ortak girdi ve çıktı verilerine ihtiyaç vardır. Bu ortak girdi ve çıktı verilerine Global BRT Data ve ITDP platformlarının internet sitelerinden erişim sağlanmış olup seçilen KVB’lere ait diğer bilgiler 4.2. başlığında sunulmuştur.

4.2. Ele Alınan BRT Sistemlerinin Tanıtımı

Bu başlıkta VZA analizinde karar verme birimi olarak kullanılan BRT sistemleri ayrı ayrı ele alınmıştır. Karar verme birimlerinin ait oldukları kentin toplu ulaşım bilgileri, BRT sistem bilgileri ve BRT koridoru haritaları incelenmiştir.

❖ Brezilya-Move-Cristiano Machado

Brezilyanın Belo Horizonte kenti toplam 2.502.557 nüfusa sahiptir. Kentteki toplam yolculuk %28,1 oranında toplu taşıma ile yapılmaktadır. Yolculuklarda %35,2 oranında özel ulaşım araçları ve geri kalan %36,7 oranındaki yolculuklar ise motorsuz araçlar ile yapılmaktadır. Kentteki BRT sistemi 1975 yılında başlamış olup mevcut durumda 7 farklı koridorda toplam 39 km’lik bir güzergâhta hizmet vermeye devam etmektedir. BRT sistemlerinin genel adı MOVE olup bu uygulamada ele alınan koridor ise *Cristiano Machado* koridorudur. Cristiano Machado, 7 km’lik bir koridorda hizmet vermekte olup toplam 9 istasyona sahiptir. Şekil 4.1.’de Brezilya-Move-Cristiano Machado BRT Haritası verilmiştir. Haritada kırmızı ile çizilen hat incelenen koridoru göstermektedir.



Şekil 4.1. Brezilya-Move-Cristiano Machado BRT Haritası

❖ Çin-Xiamen BRT

Çin’in Xiamen kenti toplam 1.909.000 nüfusa sahiptir. Kentteki BRT sistemi 2008 yılında başlamış olup mevcut durumda 3 farklı koridorda toplam 51 km’lik bir güzergâhta hizmet vermeye devam etmektedir. KVB olarak sistemin tamamı ele alınmıştır. BRT koridorlarında günlük ortalama toplam 340.000 yolculuk yapılmaktadır.

❖ Ekvador-Metrobus-Corredor Sur Occidental

Ekvador'un Quito kenti toplam 1.619.791 nüfusa sahiptir. Kentteki toplam yolculuklar %62 oranında toplu taşıma ile yapılmaktadır. Kentteki BRT sistemi 1995 yılında başlamış olup mevcut durumda 3 farklı koridorda toplam 71 km'lik bir güzergâhta hizmet vermeye devam etmektedir. Yapılan çalışmada ele alınan Metrobus-Corredor sur occidental koridoru 28 km'lik bir koridorda hizmet vermektedir. Ancak VZA analizinde kullanılan BRT satandart puanının alındığı 2014 yılında koridor 14 km uzunluğa sahip olduğundan çalışmada 2014 yulına ait olan veriler kullanılmıştır. Şekil 4.2.'de Ekvador Metrobus-Corredor Sur Occidental BRT haritası verilmiştir.



Şekil 4.2. Ekvador Metrobus-Corredor Sur Occidental BRT Haritası

❖ Ekvador2-Metrobus-Corredor Sur Oriental

Ekvadorun Quito kentine ait 2 farklı koridor KVB olarak seçilmiştir. Quito'ya ait bilgiler Metrobus-Corredor sur occidental koridorunun açıklamalarında verilmiştir. Metrobus-Corredor Sur Oriental koridoru da 11 km'lik bir koridorda BRT hizmeti vermektedir.

❖ **Guatemala-Transmetro-Eje Sur**

Guatemala'nın Guatemala City kenti toplam 1.533.461 nüfusa sahiptir. Kentteki toplam yolculuk %23,1 oranında toplu taşıma ile yapılmaktadır. Yolculuklarda % 76 oranında özel ulaşım araçları tercih edilmektedir. Kentteki BRT sistemi 2007 yılında başlamış olup mevcut durumda 2 farklı koridorda toplam 25 km'lik bir güzergâhta hizmet vermeye devam etmektedir. Transmetro-Eje Sur, 13 km'lik bir koridorda hizmet vermekte olup toplam 14 istasyona sahiptir.

❖ **Guatemala2-Transmetro-Eje Central**

Guatemala City'nin her iki koridoru da KVB olarak seçilmiştir. Kente ait ulaşım bilgileri Guatemala-Transmetro-Eje Sur koridorunun açıklamalarında verilmiştir. Transmetro-Eje Central koridoru da 12 km'lik bir koridorda toplam 16 istasyon ile BRT hizmeti vermektedir. İki BRT koridorunda toplam günlük ortalama 210.000 yolculuk yapılmaktadır.

❖ **Hindistan-Ahmedabad- Janmarg**

Hindistan'ın Ahmedabad kenti toplam 5.726.000 nüfusa sahiptir. Kentteki toplam yolculuk %22 oranında toplu taşıma ile yapılmaktadır. Yolculuklarda % 42 oranında özel ulaşım araçları ve geri kalan %36 oranındaki yolculuklar ise motorsuz araçlar ile yapılmaktadır. Kentteki BRT sistemi (Janmarg) 2009 yılında başlamış olup mevcut durumda 82 km'lik tek koridor boyunca günlük ortalama 130.000 yolculuk yapılmaktadır.

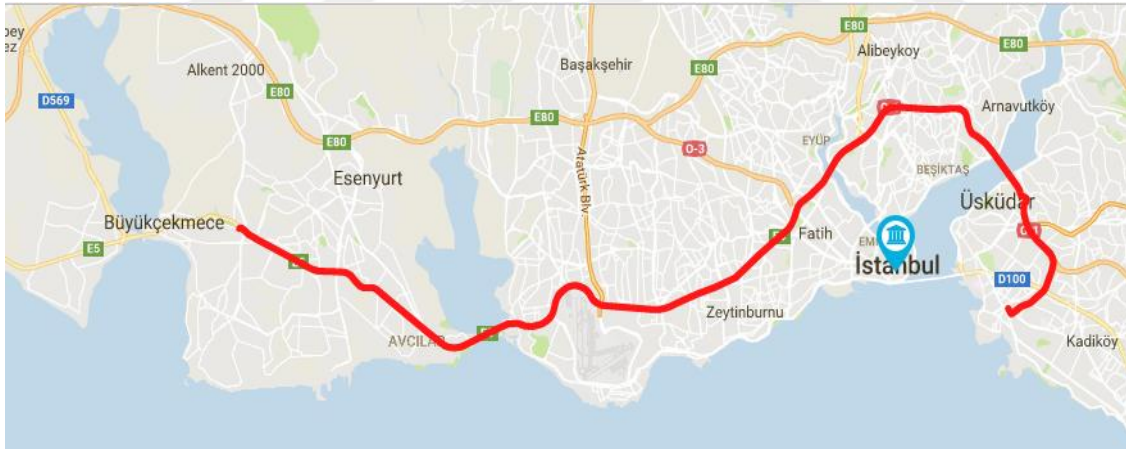
❖ **Endonezya-Transjakarta-Corridor 1**

Endonezya'nın Jakarta kenti toplam 9.607.787 nüfusa sahiptir. Kentteki toplam yolculuk %36 oranında toplu taşıma ile yapılmaktadır. Yolculuklarda % 41 oranında özel ulaşım araçları ve geri kalan %23 oranındaki yolculuklar ise motorsuz araçlar ile yapılmaktadır. Kentteki BRT sistemi Transjakarta ismi ile 2004 yılında başlamış olup mevcut durumda 12 farklı koridorda toplam 206 km boyunca hizmet vermektedir. KVB

olarak seçilmiş olan Corridor1 toplam 13 km'lik bir güzergâhta 20 istasyonda hizmet sunmaktadır.

❖ **Türkiye-İstanbul-Metrobüs**

Türkiye'nin İstanbul kenti toplam 14.160.467 nüfusa sahiptir. Kentteki toplam yolculuk %36 oranında toplu taşıma ile yapılmaktadır. İstanbul BRT sistemi Metrobüs ismi ile 2007 yılında başlamış olup zaman içinde koridor uzunluğu kademeli olarak artmış olup mevcut durumda 52 km boyunca tek koridorda hizmet vermektedir. Koridor üzerinde 44 istasyon bulunmakta olup İstanbul'un doğu-batı aksında E-5 üzerinde araçlar hizmet sunmaktadır. Hatta kullanılan tüm otobüsler yüksek yolcu kapasiteli çift körüklü araçlardır. Koridor, yol üzerinde orta şeritte trafikten bariyerlerle tamamen ayrılmış olup 35 km/sa ile yüksek işletme hızına sahiptir. İstanbul metrobüs sistemi Boğaz Köprüsü'nden geçerek kıtalar arası yolculuk sunan ilk BRT sistemi unvanına da sahiptir. Şekil 4.3.'te İstanbul Metrobüs haritası verilmiştir.

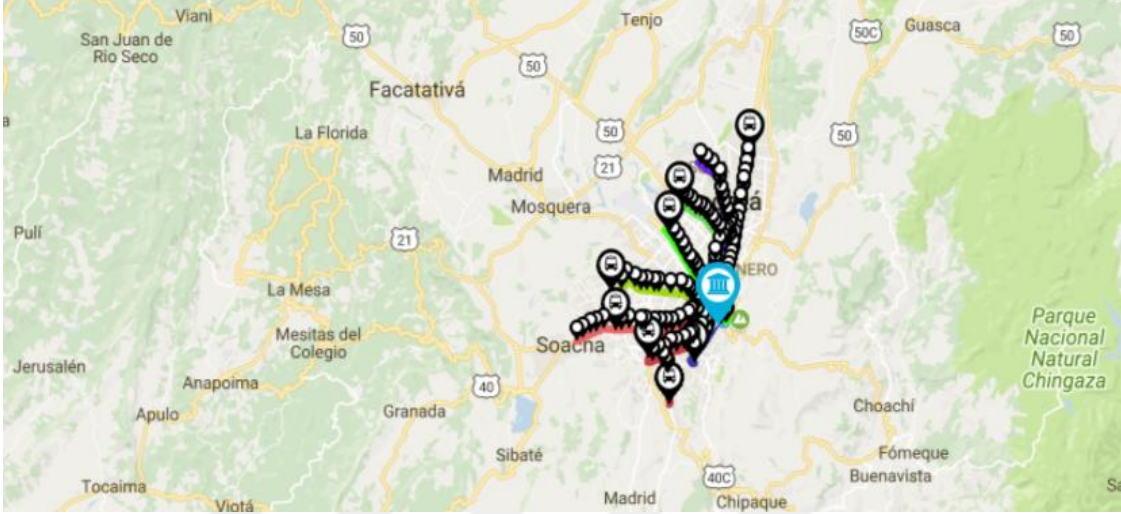


Şekil 4.3. İstanbul Metrobüs Haritası

❖ **Kolombiya-Bogota-TransMilenio Americas**

Kolombiya'nın Bogota kenti toplam 7.760.500 nüfusa sahiptir. Kentteki toplam yolculuk %59 oranında toplu taşıma ile yapılmaktadır. Bogota BRT sistemi TransMilenio ismi ile 2000 yılında başlamış olup mevcut durumda 11 farklı koridorda toplam 112 km'lik bir güzergâhta hizmet vermektedir. KVB olarak seçilen TransMilenio -Americas

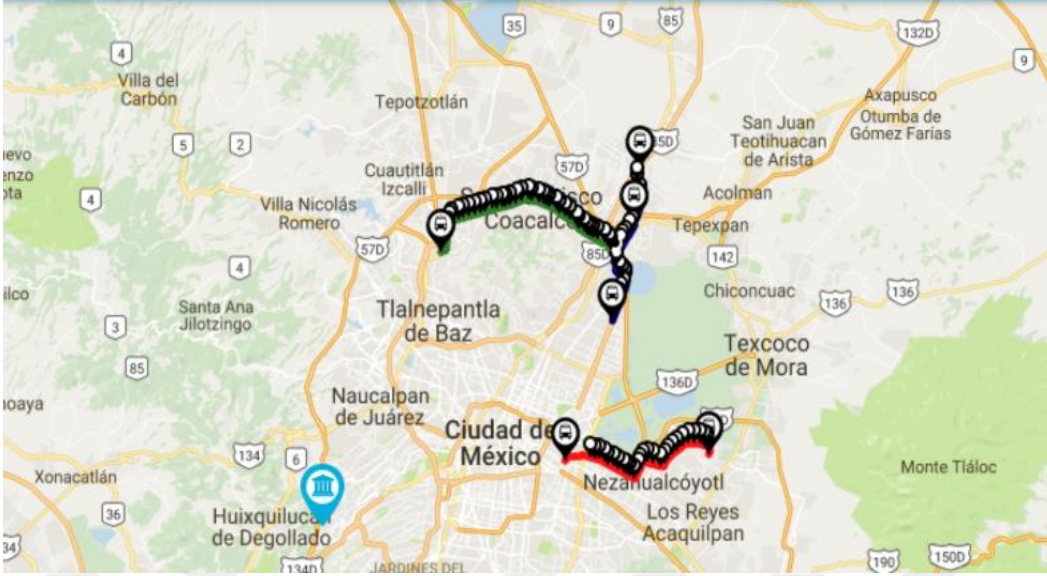
koridoru 13 km uzunluğa sahip olup günlük ortalama 282.051 yolcu taşımaktadır. Bogota’da 11 koridorun günlük taşıdığı toplam yolcu sayısı ise 2.213.236’dır. Şekil 4.4.’te Bogota-TransMilenio BRT haritası verilmiştir.



Şekil 4.4. Bogota-TransMilenio BRT Haritası

❖ **Meksika-Mexibus-Line1**

Meksika’nın Mexico City - Metropolitan Area alanı toplam 19.152.258 nüfusa sahiptir. Kentteki toplam yolculuk %78,3 oranında toplu taşıma ile yapılmaktadır. Mexico City BRT sistemi Mexibus ismi ile 2010 yılında başlamış olup mevcut durumda 3 farklı koridorda toplam 55 km’lik bir güzergâhta hizmet vermektedir. KVB olarak seçilen Mexibus-line1 koridoru 17 km uzunluğa sahip olup günlük ortalama 160.000 yolcu taşımaktadır. Şekil 4.5.’te Meksika-Mexibus BRT haritası verilmiştir. Mexico City’de 3 koridorun günlük taşıdığı toplam yolcu sayısı ise 380.000’dir



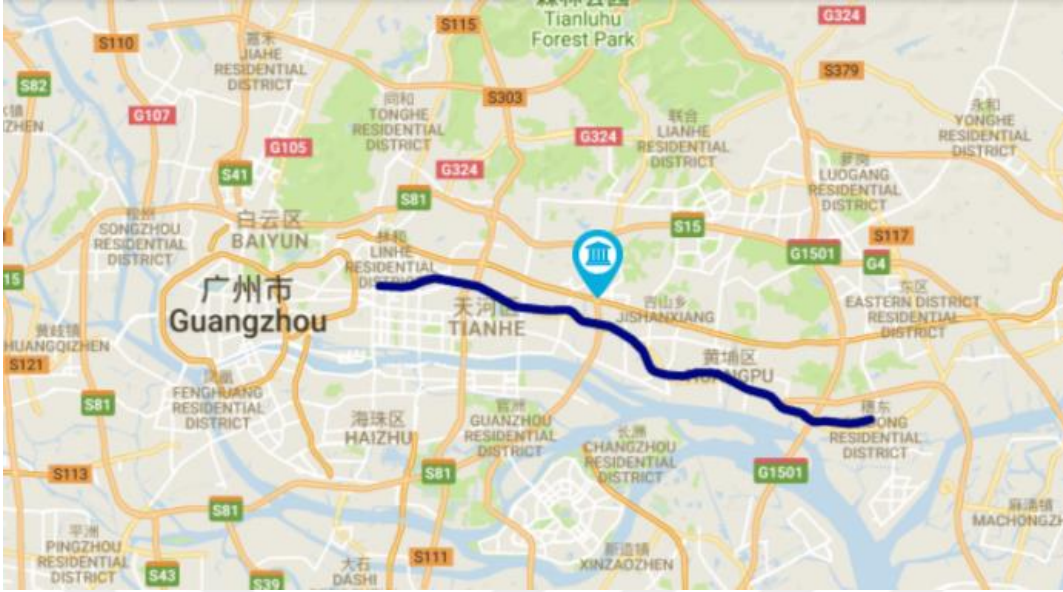
Şekil 4.5. Meksika-Mexibus BRT Haritası

❖ Brezilya2-Curitiba (All RIT corridors)

Brezilya'nın Curitiba kenti toplam 1.879.355 nüfusa sahiptir. Kentteki toplam yolculuk %46 oranında toplu taşıma ile yapılmaktadır. Curitiba BRT sistemi Rede Integrada de Transporte (RIT) ismi ile 1974 yılında başlamış olup mevcut durumda 7 farklı koridorda toplam 77 km'lik bir güzergâhta hizmet vermektedir. KVB olarak RIT sisteminin tamamı ele alınmıştır. Sistemde günlük ortalama 619.500 yolcu taşınmaktadır.

❖ Çin2-Guangzhou BRT

Çin'in Guangzhou kenti toplam 6.780.000 nüfusa sahiptir. Kentteki toplam yolculuk %32 oranında toplu taşıma ile yapılmaktadır. Guangzhou BRT sistemi 2010 yılında başlamış olup tek koridorda toplam 23 km'lik bir güzergâhta hizmet vermektedir. Sistemde günlük ortalama 850.000 yolcu taşınmaktadır. Şekil 4.6.'da Guangzhou BRT Haritası verilmiştir.



Şekil 4.6. Guangzhou BRT Haritası

4.3. Yöntem

Toplu taşıma hizmeti sunan bir grup otoritenin BRT sistemlerinin değerlendirmesinin yapıldığı bu çalışmada göreceli etkinlik ölçme yöntemlerinden veri zarflama analizi kullanılmıştır. Etkinlik ölçme yöntemleri ve VZA konusuna girmeden önce, etkinlikle ilgili temel kavramlardan bahsetmek konunun daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır.

Etkinlik, incelenen birimin girdileri ve çıktıları ile optimal değerlerin girdileri ve çıktıları arasındaki karşılaştırma olarak tanımlanabilir (Fried vd., 2008). Eldeki girdi bileşimi kullanılarak olabilecek maksimum çıktıyı üretme teknik etkinlik; uygun ölçeğe üretim yapma da ölçek etkinliği olarak tanımlanır (Oruç, 2008).

Sistemlerin etkinliklerinin ölçümünde kullanılan yöntemler; rasyo analizi, parametrik yöntemler ve parametrik olmayan yöntemlerdir. Rasyo analizi; tek bir çıktı değerinin, tek bir girdi değerine oranlanmasıyla uygulanan bir yöntemdir (Özden, 2008). Parametrik yöntemlerde, etkinlik ölçümünde genel olarak regresyon teknikleri ile tahmin yapılır. Üretim fonksiyonu çoğunlukla bir çıktı birçok girdi ile ilişkilendirilerek tanımlanır (Oruç, 2008). Parametrik olmayan yöntemler ise parametrik yöntemlere alternatif olarak

ortaya çıkmış olup çok sayıda girdi ve çıktının olduğu durumlarda kullanılabilir ve çözüm tekniği olarak matematiksel programlamayı kullanır (Baysal vd., 2005).

4.4. Veri Zarflama Analizi (VZA)

Parametrik olmayan yöntemler arasında en yaygın olarak kullanılan 1978 yılında Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından geliştirilen veri zarflama analizi yöntemidir (İnan, 2000). Veri zarflama analizi veri odaklı “karar verme birimi” olarak adlandırılan bir kümenin çoklu girdilerinin çoklu çıktılara dönüşümündeki performansın değerlendirilmesini sağlayan bir yaklaşımdır (Cooper vd., 2004).

Non-parametrik programlama tabanlı ve istatistiksel olmayan bir yöntem olan veri zarflama analizi, farklı birimlere sahip girdi ve çıktıların karşılaştırılmasının zor olduğu durumlarda karar birimlerinin göreceli performanslarını karşılaştırarak karar almada yardımcı olur. İstatistiksel olmamasının nedeni, veri zarflama analizinin etkinlik hata terimleri ile ilgili herhangi bir açık olasılık dağılımı yapmamasıdır (Dinçer, 2008).

VZA yöntemi, benzer oldukları varsayılan üretim birimlerini kendi aralarında kıyaslar. En iyi gözlemi etkinlik sınırı olarak kabul ettikten sonra, diğer gözlemler bu en etkin gözleme göre değerlendirilir. Veri zarflama analizinde unutulmamalıdır ki etkinlik; seçilen karar birimlerine ve faktörlere göre ölçülür (Atıkbay, 2001). Dolayısıyla, VZA yönteminde etkinlik sınırı, varsayılan bir durum değil; gerçekleşen bir gözlemdir ve etkinlik sınırı bu şekilde tespit edildiği için de, bu yöntemde rassal hata kullanılmaz. Ancak, gözlemler arasında çok uç değerleri temsil ettiği düşünülen gözlemleri ayıklamak mümkündür (İnan, 2000).

4.5. VZA Modelleri

Yıllar boyunca farklı ülkelerde farklı alanlarda veri zarflama analizi ile yapılan birçok çalışma bulunmaktadır ve bu çalışmalarda hastane, üniversite, adalet sistemi, şirketler gibi birçok farklı veri kümesi kullanılmıştır. Bunun sebebi ise veri zarflama analizinin çok az varsayıma dayandırılarak çalıştırılmasından kaynaklanmaktadır (Cooper vd., 2004).

Charnes, Cooper ve Rhodes'un geliştirdiği CCR modeli ile Banker, Charnes ve Cooper'ın geliştirdiği BCC modeli en çok kullanılan iki VZA modelleridir (Baysal vd., 2005).

Genel olarak hangi tür modelin kullanılması gerektiği, araştırmanın kapsamına ve kullanılacak varsayımlara göre değişir. KVB'lerin ölçeğe göre sabit getiriye sahip oldukları varsayılıyorsa ve birimlerin toplam etkinlikleri belirlenmek isteniyorsa, CCR veya yönelimsiz modeller kullanılabilir. Eğer, KVB'ler için ölçeğe göre değişken getiri varsayımı geçerli ise ve yalnızca birimlerin teknik etkinlikleri hesaplanmak isteniyorsa, BCC veya toplamsal modellerinin kullanılması yeterlidir. Ancak KVB'lerin etkinlikleriyle ilgili daha ayrıntılı bilgiler edinilmek isteniyorsa, yani toplam etkin olmayan KVB'lerin etkinsizliğinin teknik etkinlikten mi, yoksa ölçekten mi kaynaklandığı da belirlenmek isteniyorsa o zaman; toplam, teknik ve ölçek etkinliklerin hepsinin hesaplanması gerekmektedir (zden, 2008). Etkin olmayan birimlerin etkin üretim sınırına olan uzaklıklarına göre de girdiye ve çıktıya yönelik olarak VZA modelleri tanımlanmıştır:

- ✓ Girdiye yönelik VZA: ıktı seviyesini değiştirmeden, bu çıktı düzeyini en etkin şekilde elde etmek için girdi bileşiminin ne kadar azaltılması gerektiğini araştıran,
- ✓ çıktıya yönelik VZA: Girdi seviyesini değiştirmeden, bu girdi düzeyi ile işletmeyi etkin hale getirebilmek için çıktı bileşiminin ne kadar artırılması gerektiğini araştıran modeldir (Oruç, 2008).

4.5.1. CCR (Charnes-Cooper-Rhodes) modeli

Ölçeğe göre sabit getiri varsayımına dayanan, Charnes, Cooper ve Rhodes tarafından 1978 yılında geliştirilen CCR modeli VZA modelleri arasında en eski olanıdır. Bu alandaki ilk uygulamalar eğitim sektörü üzerine yapılmıştır (Baysal vd., 2004). Girdiler ile çıktılar aynı miktarda değişiyorsa ölçeğe göre sabit getiri var demektir (Baysal vd., 2005).

Model genel olarak veri zarflama analizinin temelini oluşturmaktadır. Amaç ıktıların girdilere oranını enbüyüklemek olup sanal ağırlıkların tespit edilmesidir (Dinçer, 2008).

1978 yılında önerilen bu model girdiye yönelik ve çıktıya yönelik olmak üzere iki yönlü olarak kullanılabilir. VZA'da en genel anlamda işletmelerin etkinliği tüm karar verici diğer işletmelere ya da firmalara göre ölçülür. Tüm karar verici üniteler ise etkin sınırdaki veya sınırın altında yer alırlar (Yıldız, 2006).

VZA Modeli:

$$Verim = \frac{\text{Ağırlıklı Toplam Çıktı}}{\text{Ağırlıklı Toplam Girdi}} \quad (4.1)$$

k : KVB sayısı $k=1,2,...,p,...,k$

i : girdi sayısı $i=1,2,...,N$

j : çıktı sayısı $j=1,2,...,M$

O_{jk} : k . KVB'nin j . çıktı miktarı

I_{ik} : k . KVB'nin i . girdi miktarı

U_j : j . çıktının ağırlığı

V_i : i . girdinin ağırlığı

Amaç: p . KVB'nin etkinliğini enbüyüklemek

$$Max \frac{\sum_{j=1}^m U_j \cdot O_{jp}}{\sum_{i=1}^n V_i \cdot I_{ip}} \quad (4.2)$$

$$\frac{\sum_{j=1}^m U_j \cdot O_{jp}}{\sum_{i=1}^n V_i \cdot I_{ip}} \leq 1 \quad \forall k \text{ için} \quad (4.3)$$

U_j ve $V_i \geq 0 \quad \forall i$ ve j için

VZA 'da n tane KVB varsa, n tane model oluşturulur ve her bir KVB'nin görece etkinliğinin ölçülebilmesi için n tane eniyileme modelinin çözülmesi gerekir. Modellerin amaç fonksiyonu, k karar verme birimi için toplam ağırlıklandırılmış çıktıların (sanal

çıktıların), toplam ağırlıklandırılmış girdilere (sanal girdilere) oranının en büyüklenmesidir (Cooper vd., 2004).

Denklem 4.2’de; amaç fonksiyonu ağırlıklı toplam çıktının ağırlıklı toplam girdiye oranının enbüyüklenmesi olarak ifade edilmiştir. Her bir KVB için sanal çıktının sanal girdiye oranının 1’i geçmemesi gerektiği kısıtı denklem 4.3’de gösterilmiştir.

Tanımlanan kesirli modelin doğrusal programlama yöntemleri ile çözülebilmesi için Charnes ve Cooper denklem 4.4 ve 4.5’te verilen dönüşümü yapmışlar ve modeli;

$$Max = \sum_{j=1}^m U_j.O_{jp} \quad (4.4)$$

$$\sum_{i=1}^n V_i.I_{ip} = 1 \quad (4.5)$$

$$\sum_{j=1}^m U_j.O_{jk} - \sum_{i=1}^n V_i.I_{ip} \leq 0 \quad \forall k \text{ için} \quad (4.6)$$

$U_j \text{ ve } V_i \geq 0 \quad \forall i \text{ ve } j \text{ için}$

şeklinde ifade ederek doğrusal programlama modelini geliştirmişlerdir. Girdi yönelimli CCR modeli denilen bu model; ölçeğe göre sabit getiri varsayımı altında, görece toplam etkinliği ölçmekte ve kesirli modellerle aynı en iyi çözümü vermektedir.

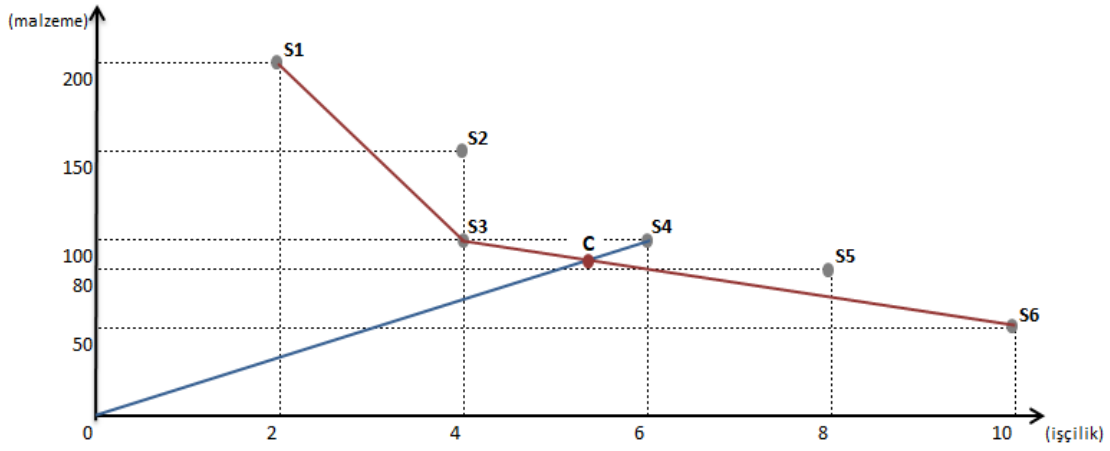
Örnek Uygulama: VZA yönteminin daha anlaşılır olması için örnek bir VZA modeli ve çözümünü inceleyelim;

Öncelikle Çizelge 4.1’de modele ait veriler gösterilmiştir. Satılan yemek; çıktı ve işçilik ile malzeme de girdi olarak verilmiş olup modelde 6 KVB bulunmaktadır. Çıktı ağırlığı U_1 ve girdi ağırlıkları $V_1 - V_2$ olarak görülmektedir.

Çizelge 4.1. Örnek VZA Modeli Veri Seti

KVB	Satılan Yemek	İşçilik (sa)	Malzeme (\$)
(U ₁)		(V ₁)	(V ₂)
1	100	2	200
2	100	4	150
3	100	4	100
4	100	6	100
5	100	8	80
6	100	10	50

Modelin iki boyutlu grafiksel gösterimi için satılan yemek miktarı tüm KVB'ler için eşit verilmiştir. Şekil 4.1.'de verilen grafikte KVB'lere ait işçilik ve malzeme girdileri görülmektedir. Kırmızı çizgi ile belirtilen etkinlik sınırı olup çizginin üzerindeki KVB'ler (S1, S3, S6) etkin olarak görülmektedir. Etkin olmayan S4'ün etkin hale gelmesi için mavi ve kırmızı çizginin kesişim noktası olan C noktasına yaklaşması gerekmektedir.



Şekil 4.7. BRT VZA Modeli Grafiği

S₁ için doğrusal model:

$$\text{Max } E(S_1) = 100 U_1$$

Kısıtlar;

$$100 U_1 - 2 V_1 - 200 V_2 \leq 0 \Rightarrow \text{KVB 1}$$

$$100 U_1 - 4 V_1 - 150 V_2 \leq 0 \Rightarrow \text{KVB 2}$$

$$100 U_1 - 4 V_1 - 100 V_2 \leq 0 \Rightarrow \text{KVB 3}$$

$$100 U_1 - 6 V_1 - 100 V_2 \leq 0 \Rightarrow \text{KVB 4} \quad (4.7)$$

$$100 U_1 - 8 V_1 - 80 V_2 \leq 0 \Rightarrow \text{KVB 5}$$

$$100 U_1 - 10 V_1 - 50 V_2 \leq 0 \Rightarrow \text{KVB 6}$$

$$2 V_1 + 200 V_2 = 1 \Rightarrow (\text{KVB 1 için})$$

$$U_1, V_1, V_2 \geq 0$$

Cözüm (S₁ İçin)

Değişken	Değeri	İndirgenmiş maliyet
U ₁	0,01	0
V ₁	0,1667	0
V ₂	0,0033	0
S ₁	0	1
S ₂	0,1667	0
S ₃	0	0
S ₄	0,3333	0
S ₅	0,6	0
S ₆	0,8333	0
A ₇	0	1

$$\text{Amaç fonksiyon değeri} = \text{Max } E(S_1) = 100 U_1 = 100(0,01) = 1$$

✓ S₁ 'nin verimi %100'dür

✓ V₁: İşçilik girdisinin göreceli değeri = 0,1667

(İşçilikteki bir birim azalışın verimde neden olacağı göreceli artış miktarı)

✓ V₂ : malzeme girdisinin göreceli değeri = 0,0033

(Malzemedeki bir birim azalışın verimde neden olacağı artış miktarı)

Verimli Olmayan S₄ için etkinlik hesabı

$$\text{Max } E(S_4) = 100 U_1$$

$$100 U_1 - 2 V_1 - 200 V_2 \leq 0$$

⋮
⋮
⋮

$$100 U_1 - 10 V_1 - 50 V_2 \leq 0$$

(4.8)

$$6 V_1 + 100 V_2 = 1$$

$$U_1, V_1, V_2 \geq 0$$

Çözüm:

Değişken	Değeri	İndirgenmiş maliyet(λ)
U ₁	0,00889	0
V ₁	0,055	0
V ₂	0,007	0
S ₁	0,55	0
S ₂	0,33	0
S ₃	0	0,778
S ₄	0,11	0
S ₅	0,0889	0
S ₆	0	0,222
A ₇	0	0,88

$$S_4' \text{ ün etkinliği } E(S_4) = 100 \cdot U_1 = 100 \cdot 0,00889 = 0,889$$

- İşçilikteki bir birim azalışa karşılık verimde 0,055'lik artış olmuştur.
- Malzemedeki bir birimlik azalışa karşılık verimde 0.007'lik bir artış olmuştur.
- S₄ 'ün %100 verimli olabilmesi için oranın 0,111 kadar artması gerekir (1-0,889)

Bu durumda;

- İşçilik $\Rightarrow 0,111/0,055 = 2$ saat azaltılmalı
- Malzeme $\Rightarrow 0,111/0,007 = 15.86$ \$ azaltılmalı
- S₄ 'ün verimliliği S₃ ve S₆ ' ya bağlı (referans kümesi)
- Sanal birimin (C noktası), yani S₄ ' ün etkin olması için gelmesi gereken noktanın ağırlıkları S₃ ve S₆ ' ya ait kısıtların indirgenmiş maliyetine eşittir.

S₄ için işçilik ve malzeme hedef değerlerinin referans küme ve indirgenmiş maliyet değerleri ile elde edilmesi:

- İşçilik= (4*0,778) + (10*0,222) =5,3
- Malzeme= (100*0,778) + (50*0,222) =88,9

4.5.2. BCC (Banker-Charnes-Cooper) modeli

Yaygın bir biçimde kullanılan bir diğer model Banker, Charnes ve Cooper tarafından 1984 yılında geliştirilen ve ölçeğe göre değişken getiri varsayımına dayanan BCC Modelidir (Baysal vd., 2004).

BCC modeli Banker, Charnes ve Cooper tarafından 1984 yılında CCR modeli varsayımlarında değişiklik yaparak geliştirilmiştir (Dinçer, 2008).

BCC modelinin CCR modelinden bir tek farkı vardır. O da, ölçeğe göre değişken getiri varsayımında karar verme birimleri için çözülecek doğrusal programlama sonucu elde edilecek etkin olmayan bir karar noktası için λ (olası etkin girdi çıktı bileşimini oluşturmak için gerekli bilgiyi sağlayan değer) değerlerinin toplamının 1'e eşit olmasıdır (Dinçer, 2008).

4.5.3. Toplamsal model

Ölçeğe göre değişken getiri varsayımına dayanan toplamsal model, 1985 yılında Charnes, Golany, Cooper, Stutz ve Seiford tarafından geliştirilmiştir. Girdi ve/veya çıktıya yönlendirilme yapılmadan sonuç elde edilmesi toplamsal modeli diğer modellerden ayıran en önemli farktır. Toplamsal modelde, girdi ve çıktıya yönelik birlikte değerlendirme yapılmaktadır. Burada amaç, girdi fazlası (s+) ile çıktı eksikliğinin (s-) aynı anda ele alınarak etkinlik sınırı üzerinde etkin olmayan karar verme birimine en uzaktaki noktaya ulaşmaktır. Bu modelde, CCR ve BCC modellerindeki gibi bir etkinlik değeri hesaplanmamaktadır. KVB'lerin etkin olup olmadıkları, aylak değişken değerlerine bakılarak belirlenmekte ve her iki aylak değişkenin değeri de sıfır ise, o KVB'nin etkin olduğu kabul edilmektedir (Yavuz ve İşçi, 2013).

4.6. VZA'nın Uygulama Aşamaları

Veri zarflama analizi, karar verme birimlerini göreceli etkin olan ve etkin olmayan birimler olmak üzere iki temel sınıfa ayırır. Göreceli olarak etkin bulunan karar verme birimleri etkinlik sınırını oluştururlar. Etkin olmayan karar verme birimleri ise; etkin olan karar verme birimlerine benzetilmeye çalışılır. Etkin olmayan karar verme birimlerinin her biri için, referans kümesi oluşturulur ve hedef değerler belirlenir. Bu sayede etkin hale gelmesi için KVB'lere iyileştirme politikaları geliştirilir (Yıldırım ve Önder, 2014).

Veri zarflama analizinin uygulama aşamalarını 8 adımda incelemek mümkündür. Her bir adımı kısaca anlatarak konunun daha iyi anlaşılmasını sağlanabilir.

1.Karar Verme Birimlerinin Seçimi: Veri zarflama analizi, girdi ve çıktı kümelerine bağlı olarak birimlerin verimlilik ölçümünü gerçekleştirmeye yarar. Değerlendirilmek istenen bu birimlere karar verme birimleri denir (Cooper vd., 2004).

KVB'lerin seçiminde dikkat edilmesi gerekenler; seçilen birimlerin aynı görevleri benzer amaçlarla yerine getiriyor olmaları, tüm birimlerin aynı pazar şartlarında çalışmaları ve birimlerin aynı girdi ve çıktılarla performansının ölçülebiliyor olmasıdır (Oruç, 2008).

KVB sayısı, girdi sayısı ile çıktı sayısının çarpımından daha büyük olmalıdır veya örnek büyüklüğü girdi sayısı ile çıktı sayısının toplamının en az 2 ya da 3 katı olmalıdır (Ramanathan, 2006: 1304).

2.Girdi ve Çıktı Seçimi: Veri zarflama analizinde KVB'lerin etkinlikleri, seçilen girdi ve çıktılara göre değerlendirilmektedir. Bu nedenle girdi ve çıktılarının seçimi son derece önemlidir. Bu girdi ve çıktılar birimlerin performansını yansıtan göstergeler olmalı ve tüm KVB'ler için ortak olmalıdır. Hatalı seçilen bir girdi çıktı kümesinde KVB'lerin etkinlikleri olması gerekenden farklı çıkabilir. Aynı şekilde olmaması gereken bir girdi ya da çıktının analize dâhil edilmesi de yanlış sonuçların elde edilmesine neden olabilir (Yıldırım ve Önder, 2014).

3.Verilerin Elde Edilebilirliği ve Güvenilirliği: Veri zarflama analizinde, KVB'ler için seçilen tüm girdi ve çıktı verileri erişilebilir olmalıdır. Aynı zamanda erişilen bu verilerin güvenilir olması da analizin güvenilir sonuçlar vermesi açısından çok önemlidir. Doğruluğundan emin olunmayan verilerle yapılan analiz, birimlerin etkinliği hakkında yanlış yorum yapılmasına neden olacaktır.

4.Görelî Etkinlik Ölçümü: Görelî etkinlik ölçme yöntemi olan VZA'da, seçilen KVB'lere ve girdi çıktı kümesine bağılı olarak uygun VZA modeli seçilmelidir. Seçilen modele göre analiz için kullanılabilecek birçok paket program bulunmaktadır. Bu çalışmada analiz için Win4Deap2 programı kullanılmıştır.

5.Etkinlik Değerleri: Veri zarflama analizinde birimlerin etkinlik değerleri 0 ile 1 arasındaki değerlerle ifade edilir. Etkin olan karar verme birimleri 1 değerini alırlar. Etkinlik değeri 1 olmayan birimler ise görelî olarak etkin değildir (Yıldırım ve Önder, 2014).

6.Referans Kümesi: VZA'da etkin olmayan karar verme birimleri de etkin hale getirilebilmektedir. Her bir etkin olmayan KVB için etkin olan KVB'lerden (etkinlik değeri 1'e eşit olan) "referans kümeleri" belirlenir ve bu referans kümelerine göre girdi ve çıktı değerlerinde yapılacak değişiklikler sonucunda etkin olmayan KVB'ler etkin hale getirilebilmektedir (Baysal vd., 2004).

7.Etkin Olmayan Karar Verme Birimleri için İyileştirme: Etkin sınır üzerinde yer almayan yani etkinlik skoru birden küçük olan karar birimleri ise etkinsiz olarak nitelendirilir. VZA kapsamında görelî olarak etkinsiz olarak değerlendirilen karar birimleri için referans kümesinde yer alan etkin karar birimlerine bakılarak, etkinsizliğin kaynağı hakkında yorumlar yürütmek mümkündür. Bu sayede VZA, etkin olmayan karar birimlerinin etkinliklerinin iyileştirilmesi için neler yapılması gerektiği noktasında yöneticilere ve karar vericilere yol göstererek yeni iyileştirmeler için politikalar sunar (Kaynar ve Bircan, 2007).

8.Sonuçların Değerlendirilmesi: VZA'nın sonuçları yönetsel açıdan önemli bilgiler içerir. Analiz sonucunda; etkin KVB'ler, etkin olmayan KVB'ler, etkin olmayan KVB'ler

tarafından kullanılan fazla kaynak miktarları, etkin olmayan KVB'lerin kullandıkları girdi miktarları ile üretmeleri gereken çıktı miktarları, etkin olmayan KVB'lerin referans kümesini oluşturan birimler belirlenerek değerlendirmeler yapılır (Oruç, 2008).

4.7. VZA'nın Güçlü ve Zayıf Yönleri

Veri zarflama analizinin sağladığı üstünlük ve kolaylıklar göz önüne alındığında güçlü yönleri aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Çok sayıda girdi ve çok sayıda çıktı değişkenleriyle, çok boyutlu analize olanak sağlamaktadır (İnan, 2000).
- Etkin olmayan KVB'nin referans gruplarında yer alan ve etkin olan KVB seviyesine çıkarılması için sadece tek bir çözüm değil, alternatif öneriler sunmaktadır (Oruç, 2008).
- Veri zarflama analizi farklı ölçü birimindeki girdi ve çıktıların kullanımına imkân sağlamaktadır (Yıldırım ve Önder, 2014).
- Etkinlik analizi, en iyi gözlemlerin oluşturduğu referans gruplarına göre yapıldığı için hedefler en iyi performans gösteren birimlere göre oluşturulmakta ve bu durum VZA ile yapılan etkinlik analizlerinin geçerlilik ve anlamlılığını arttırmaktadır (Oruç, 2008).

Ulaşım, eğitim, sağlık, bankacılık, havacılık ve daha birçok alanda geniş bir kullanım alanına sahip VZA yönteminin önemli üstünlüklerinin yanında bazı sakıncaları da vardır.

- VZA yöntemiyle yapılan en iyi araştırmada bile bulunan etkinlik değerleri görelidir. Mutlak bir etkinlik ölçütü yoktur. Bu nedenle veri setinin kapsayıcılığı özel bir önem kazanmaktadır.
- VZA parametrik olmayan bir yöntem olduğu için istatistiki hipotez testleri için çok uygun değildir. Bu nedenle modelin sonuçlarını test etmek parametrik yöntemlere göre daha sıkıntılıdır (İnan, 2000).

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. İstanbul Metrobüs Sisteminin VZA ile Etkinlik Analizi

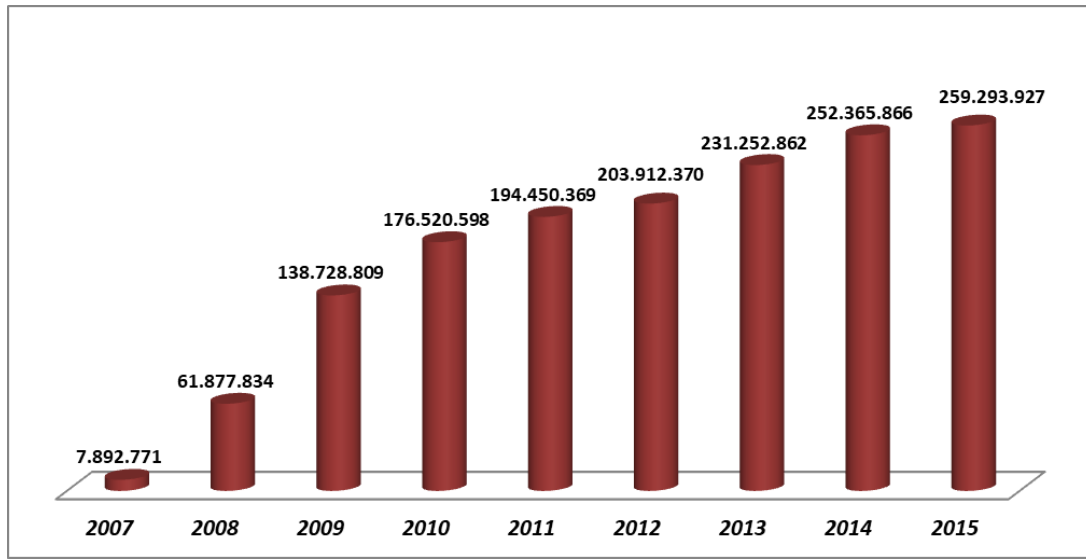
Yapılan çalışma, İstanbul BRT sistemi olan metrobüsün dünyadaki diğer bazı BRT sistemleri ile kıyaslanması ve göreceli etkinliğinin değerlendirilmesini kapsamaktadır. Uygulama kapsamında dünyadaki birçok farklı şehirde uygulanmakta olan BRT sistemi incelenmiş, İstanbul metrobüsü ile ortak girdi ve çıktı değerlerine sahip olanlar VZA ile değerlendirilmiştir. Analiz sonucunda, İstanbul metrobüs sistemine göre daha etkin olan ve iyileştirme için örnek alınabilecek şehirlerdeki BRT sistemleri belirlenerek kıyaslama çalışmaları için altyapı oluşturulmuştur.

Çizelge 5.1. Kıtalar Göre BRT Uygulamaları

32.044.915 GÜNLÜK YOLCULUK 164 ŞEHİR 4.811km TOPLAM KORİDOR UZUNLUĞU			
BÖLGELER	GÜNLÜK YOLCULUK	ŞEHİR SAYISI	KORİDOR UZUNLUĞU (km)
Afrika	468.178	4	117
Asya	9.293.372	42	1.579
Avrupa	1.566.580	44	813
Güney Amerika	19.470.072	54	1.757
Kuzey Amerika	810.513	16	448
Okyanusya	436.200	4	96

Dünya genelinde BRT sistemi uygulamalarının sayısı giderek artmaktadır. Dünyada 164 şehirde BRT uygulaması bulunmakta ve toplam 4.811 km uzunluğundaki BRT hatlarında günlük ortalama 32 milyon 44 bin 915 yolcu (32.044.915) taşınmaktadır (BRT Data, 2017) Çizelge 5.1.'de kıtalara göre BRT kullanıcısı olan şehir sayısı, hat uzunluğu ve günlük yolcu sayıları verilmiştir. Tabloya göre; BRT sistemi kullanan şehir sayısı, toplam BRT koridoru uzunluğu ve günlük ortalama taşınan yolcu sayısı açısından da toplam 54 şehir; 1.757 km koridor uzunluğu ve 19.470.072 yolcu ile Güney Amerika tüm kategorilerde birinci sıradadır.

Dünya genelinde giderek yaygın hale gelen ve yolculuk talebi sürekli artış göstermekte olan BRT sistemleri Türkiye’de şu an sadece İstanbul’da ve tek koridorda uygulanmaktadır. Yolculuk konforu, seyahat süresi avantajı ve raylı sistemlere kıyasla düşük yatırım maliyetine sahip olan bu sistemler hem İstanbul’da hem de Türkiye’nin diğer şehirlerinde talep görmeye başlamıştır. Şekil 5.1.’de İstanbul metrobüs sisteminin 2007-2015 yılları arasındaki yıllık yolculuk dağılımı verilmiş olup grafiğin sürekli artan bir eğilim gösterdiği görülmektedir.



Şekil 5.1. İstanbul Metrobüs 2007-2015 Arası Yıllık Yolculuk Dağılımı

Bu amaçla, hem İstanbul’daki mevcut sistemin dünyadaki diğer BRT sistemleri ile kıyaslanarak iyileştirme önerileri sunulması hem de Türkiye’nin diğer şehirlerinde kurulması muhtemel BRT sistemleri için örnek bir uygulama teşkil etmesi açısından yapılan uygulama önem taşımaktadır.

5.2. Karar Verme Birimleri (KVB) Seçimi

Çalışmanın amacı İstanbul metrobüs sisteminin dünyadaki diğer BRT sistemleri ile kıyaslanması olduğu için, KVB seçiminde öncelikle İstanbul metrobüs sistemi ile ortak verilere sahip birimler tercih edilmiştir. Bu sebeple, 2014 yılında İstanbul metrobüsü gibi BRT standart puanı almak için ITDP değerlendirmesine katılmış olan BRT sistemleri KVB seçiminde etkili olmuştur. BRT standart puanı, etkinlik analizinde kullanılan 3 önemli

çıktıdan biridir. Bu kapsamda İstanbul metrobüs sistemi ile birlikte toplamda 13 farklı BRT sistemi KVB olarak seçilmiştir. BRT sistemleri koridorlar özelinde değerlendirildiği için seçilen KVB'ler arasında aynı ülke ve şehre ait farklı BRT sistemleri olabilmektedir. Çizelge 5.2.'de seçilen karar verme birimlerinin bulundukları ülke ve şehirler ile BRT sistemlerinin adları verilmiştir.

Çizelge 5.2. Karar Verme Birimleri ve BRT Sistemleri

Sıra	Ülke	Şehir	BRT Sisteminin Adı
1	Brezilya	Belo Horizonte	Move-Cristiano Machado
2	Çin	Xiamen	Xiamen BRT
3	Ekvador	Quito	Metrobus-Corredor sur occidental
4	Ekvador2	Quito	Metrobus-Corredor sur oriental
5	Guatemala	Guatemala City	Transmetro-Eje Sur
6	Guatemala2	Guatemala City	Transmetro-Eje Central
7	Hindistan	Ahmedabad	Janmarg
8	Endonezya	Jakarta	Transjakarta-Corridor 1
9	Türkiye	İstanbul	Metrobüs
10	Kolombiya	Bogota	TransMilenio-Americas
11	Meksika	Mexico City	Mexibus-line 1
12	Brezilya2	Curitiba	(All RIT corridors)
13	Çin2	Guangzhou	Guangzhou BRT

5.3. Girdi ve Çıktıların Belirlenmesi

Girdi ve çıktı seçimi VZA analizinin en önemli adımlarından biridir. Çünkü etkinlik değerlendirmesi bu girdi ve çıktı verilerine göre yapılmaktadır ve yanlış seçilen, birimlerin gerçek verimliliği ya da performansı üzerinde etkisi olmayan girdi ve çıktı kümesi, KVB'lerin etkinliği hakkında yanlış yorumlamalara neden olabilir.

BRT sistemlerinin başarısını yansıtan teknik performans göstergeleri; yolculuk sayısı, işletme hızı, hizmet süresi, zaman planları güvenilirliği ve hizmet kalitesidir (Deng ve Nelson, 2013).

Bu konuda yapılan bir diğer çalışmada Levinson vd.'ne (2003) göre BRT sistemlerinin performansı; kazanılan yolcu sayısı, yolculuk sayıları, işletme hızı ve tasarruf edilen (zamandan kazanılan) seyahat süresidir.

Literatürde yer alan performans göstergeleri de incelenerek bu çalışma için seçilmiş olan 3 girdi ve 3 çıktı değişkeni şu şekildedir;

Araç sayısı (Girdi 1): Seçilen BRT sisteminde çalışan toplam araç filosunu ifade eder.

Koridor Uzunluğu (Girdi 2): Seçilen BRT sisteminin hizmet verdiği toplam koridor uzunluğudur ve km olarak ölçülmektedir.

Nüfus Yoğunluğu (Girdi 3): İncelenen BRT sisteminin bulunduğu şehrin nüfus yoğunluğunu ifade etmektedir.

BRT Standart Puanı (Çıktı 1): BRT sistemleri için uluslararası ortak bir tanım oluşturmak ve BRT sistemlerinin dünya standartlarında yolcu memnuniyeti, ekonomik fayda ve pozitif çevresel etki sağlamaları adına taşımaları gereken özellikleri belirlemek için uluslararası bir kuruluş olan Ulaştırma ve Kalkınma Politikası Enstitüsü (ITDP-Institute for Transportation and Development Policy) tarafından BRT standartları yayınlanmaktadır. Dünya çapındaki yüksek kaliteli BRT sistemlerini tanıma ve iyileştirmeye açık alanları tespit etmelerini sağlamak amacıyla, aynı kuruluş tarafından BRT standartları puanlama sistemi oluşturulmuştur. Değerlendirilen BRT sistemleri, aldıkları puana göre bronz, gümüş ya da altın olarak sertifikalandırılmaktadır. Sistem toplam 6 ana başlıkta BRT koridorlarını değerlendirmekte ve 100 puan üzerinden puanlama yapmaktadır. BRT standart puanlamasında sistemler 6 farklı kategoride değerlendirilmektedir, bu değerlendirme kategorileri ve inceledikleri alanlar aşağıda verilmiştir.

 **BRT Temel:** Bu başlıkta, sistemlerin BRT olarak adlandırılması için sahip olmaları gereken temel özellikler incelenmektedir. Değerlendirilen özellikler; otobüs yollarının ayrılmış olması, kavşaklardaki işleyiş (BRT'nin öncelikli olması), istasyon dışında ücret toplama ve otobüs tabanı-istasyon/peron alanı arasındaki yükseklik farkı (alçak taban otobüs) şeklindedir. Bu kategoriden alınabilecek toplam puan 38'dir ve değerlendirilen sistemlerin BRT sayılabilmesi için bu kategoriden en az 20 puan toplamaları gerekmektedir.

✚ **Servis Planlama:** Bu kategorinin toplam puanı 19'dur. Servis planlama kategorisinde değerlendirilen özellikler şunlardır; çoklu hat uygulamaları, filo kontrol merkezi, talep profili, hizmet saatleri, çoklu koridor ağı, yolculuk talebi yüksek koridorlar ve ekspres- yerel servisler.

✚ **Altyapı:** Altyapı kategorisinin toplam puanı 14'tür. Bu başlıkta incelenen özellikler; istasyonlarda sollama şeritleri olması, düşük emisyonlu otobüsler, merkez (hat başı) istasyonları, asfalt (yol kaplama) kalitesi, istasyonların kavşakların gerisinde (26-40 metre) konumlanması.

✚ **İstasyon Tasarımı:** İstasyon tasarımı kategorisinin toplam puanı 10'dur. Bu kategoride istasyonların incelenen özellikleri; istasyonlar arası mesafe (450 metre), istasyonların güvenli ve konforlu olması, otobüslerin kapı sayısı ve istasyonlarda kayar kapı bulunması.

✚ **İletişim ve Pazarlama:** Bu kategoride marka bilinirliği (isim-logo) ve istasyonlardaki yolcu bilgilendirme araçları değerlendirilmekte olup toplam alınması gereken puan 5'tir.

✚ **Entegrasyon ve Erişim:** Entegrasyon ve erişim kategorisinde değerlendirilen özellikler şunlardır; koridorun tüm yolcular için erişilebilir olması (görsel-işitsel-fiziksel), diğer toplu taşıma modlarıyla entegrasyon, yaya erişimi (alt-üst geçitler, köprüler, asansörler vs.), güvenli bisiklet park alanları, bisiklet yolları ve bisiklet paylaşım noktalarına entegrasyon. Bu kategoriden alınabilecek toplam puan 14'tür.

Değerlendirme sonucunda alınan puana göre verilen BRT sertifikaları şu şekildedir;

- ✓ 100-85 puan: Altın
- ✓ 84-70 puan: Gümüş
- ✓ 69-50 puan: Bronz
- ✓ 49-20 puan: Temel BRT

Günlük Yolculuk (Çıktı 2): Seçilen BRT sisteminde yapılan günlük ortalama yolculuk sayısıdır.

İşletme Hızı (Çıktı 3): BRT koridorunda çalışan tüm araçların ortalama hızlarını ifade etmektedir, km/sa cinsinden ölçülmektedir.

Seçilen girdi ve çıktılara ait verilerin toplanmasında 2014 yılında yapılan BRT Standart değerlendirme raporu ve dünyadaki tüm BRT sistemleriyle ilgili verileri toplayan <http://brtdata.org/> web adresinden faydalanılmıştır. Seçilen KVB'ler için belirlenmiş olan tüm girdi ve çıktı değerlerini içeren veri seti tablosu Çizelge 5.3.'te verilmiştir.

Çizelge 5.3. Veri Seti Tablosu

Ülke	Sistem-BRT Koridoru	GİRDİ			ÇIKTI		
		Araç sayısı (adet)	Koridor Uzunluğu (km)	Nüfus Yoğunluğu (kişi/km ²)	BRT Standart Puanı	Günlük Yolculuk (yolculuk/gün)	İşletme Hızı (km/sa)
Brezilya	Move-Cristiano Machado	70	7	525	86	185.000	18
Çin	Xiamen BRT	220	51	1.214	74	340.000	27
Ekvador	Metrobus-Corredor sur occidental	114	14	4.398	62	220.000	18
Ekvador2	Metrobus-Corredor sur oriental	98	11	4.398	66	79.940	18
Guatemala	Transmetro-Eje Sur	95	13	1.420	85	180.000	23
Guatemala2	Transmetro-Eje Central	35	12	1.420	73	30.000	30
Hindistan	Janmarg	136	82	4.060	65	130.000	24
Endonezya	Transjakarta-Corridor 1	47	13	3.830	71	25.000	19
Türkiye	Metrobüs	415	52	2.523	70	750.000	35
Kolombiya	TransMilenio-Americas	201	13	3.347	88	282.051	26
Meksika	Mexibus-line 1	88	17	2.451	83	160.000	25
Brezilya2	(All RIT corridors)	179	77	1.796	82	619.500	18
Çin2	Guangzhou BRT	859	23	1.764	91	850.000	25

5.4. Analiz ve Bulgular

Uygulama için VZA modelinin seçiminde, uygulama yapılacak karar verme biriminin yapısı ve bu birimin etkinliğini ölçmede kullanılan girdi ve çıktılar göz önünde bulundurulmalıdır. Eğer sistemin etkinliğini yönetme konusunda girdiler üzerinde bir kontrol sağlanması zor ise çıktı odaklı modeller; çıktılar üzerinde bir kontrol sağlanması zor ise girdi odaklı modeller kullanılması anlamlıdır. Aynı zamanda ölçeğe göre sabit ya da değişken getiri modelinin seçiminde de KVB'nin yapısı göz önünde bulundurulur. KVB'de ölçek büyüklüğü arttıkça getiri de sabit oranda artıyor ise, ölçeğe göre sabit getiri; ölçek büyüklüğü değiştikçe getiri de değişken oranlarda artıyor ise, ölçeğe göre değişken getiri modeli seçilmesi anlamlı olmaktadır.

Bu çalışmada KVB olarak seçilen BRT sistemlerinde ölçeğe göre sabit getiri olduğu varsayılmıştır. Sistemin etkinliğini ölçmek için kullanılan girdiler; araç sayısı,

koridor uzunluğu (km), ve nüfus yoğunluğu; çıktılar ise BRT standart puanı, günlük yolculuk ve işletme hızıdır. BRT sistemleri toplu taşıma hizmeti sağlayan kamu hizmetleri olması nedeniyle sistemi kullanan vatandaşlar üzerinde yolculuğu azaltma ya da artırma konusunda bir müdahale yapılması çok anlamlı olmayacaktır. Aynı şekilde işletme hızı çıktısı da sistemdeki araç sayısı, durakların fiziki yapısı ve yolcu yoğunluğundan etkilenmekte olan ve direkt olarak müdahalenin zor olduğu bir değişkendir. Buna karşın koridor uzunluğu ve araç sayısı girdileri müdahale edilmesi daha kolay olan değişkenlerdir ve bu nedenle uygulamada girdi yönelimli (çıktıyı enbüyükleyen) modele ait analiz sonuçlarını tartışmak daha anlamlı olacaktır. Ancak yine de etkinlik değerleri karşılaştırması için ölçeğe göre değişken getiri modeline göre de analiz yapılmıştır.

Çalışmada VZA için Win4Deap-2 paket programı kullanılmıştır. Program, girdi ve çıktı verilerinin sisteme girilmesi ve analiz için kullanılacak modelin seçilmesi ile kolay bir analiz imkânı sağlamaktadır. Girdi yönelimli CRS (Constant Returns to Scale) modeline göre yapılan analizin sonuçları Ek Açıklama-A'dadır. Analiz sonuçlarının özet raporu Çizelge 5.4.'te verilmiştir. Çizelge 5.4.'te etkinlik değerleri ve etkin olmayan KVB'ler için referans kümeleri görülmektedir. Analiz sonucunda 13 karar verme biriminden 4 tanesini etkin birim olarak belirlenmiştir. Brezilya, Guetamala2, Brezilya2, Çin2 etkin karar verme birimleridir. Tüm KVB'ler için ortalama etkinlik değeri de 0,807 olarak gerçekleşmiştir. Türkiye, 0,814 ile ortalama etkinlik değerinin biraz üzerinde bir skor sağlamıştır. Etkinlik değeri en düşük olan KVB ise 0,411 skor ile Hindistan olmuştur. Çizelge 5.4.'te ayrıca etkin olmayan KVB'ler için referans kümeleri de verilmiştir. Çin2, Brezilya ve Brezilya2; Türkiye için referans kümesini oluşturan KVB'lerdir.

Çizelge 5.4. Girdi Yönelimli CRS Etkinlik Değerleri ve Referans Kümeleri Tablosu

	ETKİNLİK DEĞERİ	REFERANS KÜMESİ
Brezilya	1.000	Brezilya
Çin	0.756	Çin 2 Brezilya2 Brezilya
Ekvador	0.715	Brezilya Brezilya2
Ekvador2	0.639	Guatemala2 Brezilya
Guatemala	0.765	Brezilya Brezilya2 Guatemala2
Guatemala2	1.000	Guatemala2
Hindistan	0.411	Brezilya2 Guatemala2
Endonezya	0.816	Guatemala2 Brezilya
Türkiye	0.814	Çin2 Brezilya Brezilya2
Kolombiya	0.803	Çin2 Brezilya
Meksika	0.772	Brezilya Brezilya2 Guatemala2
Brezilya2	1.000	Brezilya2
Çin2	1.000	Çin2
ORTALAMA	0.807	

Model girdi yönelimli olduğu için Çizelge 5.5.’te etkin olmayan KVB’ler için girdi değişkenleri hedef değerleri tablosu verilmiştir. Etkin olan KVB’ler için girdi hedef değerleri değişmezken, etkin olmayan KVB’lerin ise etkin hale gelmek için girdi değerlerinin farklı şekilde değiştiği tabloda görülmektedir. Örneğin; mevcut durumda Türkiye’nin araç sayısı 415 iken etkin hale gelmek için araç sayısı hedef değeri 337,991 olmalıdır. Koridor uzunluğu 52 km iken etkin olması için 42,351 km ve nüfus yoğunluğu 2.523 iken 2.054,823 olmalıdır. En kötü skora sahip olan Hindistan etkinlik sınırına ulaşmak için 136 olan mevcut araç sayısını 55,844’e indirmeli; 82 km olan mevcut koridor uzunluğunu 21,901’e indirmeli ve mevcut nüfus yoğunluğu 4.060 iken 1.302,357 olmalıdır. Etkin KVB’ler için gerçek değer ve hedef değerler aynı iken etkin olmayan diğer KVB’ler için etkinlik sınırına ulaşmak için girdi hedef değerleri tabloda görülmektedir.

Çizelge 5.5. Girdi Yönelimli CRS Tüm KVB'ler için Girdi Değişkenleri Hedef Değerleri

GİRDİ HEDEF DEĞERLERİ			
	Araç sayısı (adet)	Koridor Uzunluğu (km)	Nüfus Yoğunluğu (kişi/km ²)
Brezilya	70,000	7,000	525,000
Çin	166,384	14,435	918,136
Ekvador	81,501	10,009	625,518
Ekvador2	62,632	7,030	574,173
Guatemala	72,655	9,942	809,239
Guatemala2	35,000	12,000	1.420,000
Hindistan	55,844	21,901	1.302,357
Endonezya	38,340	10,605	1.209,558
Türkiye	337,991	42,351	2.054,823
Kolombiya	120,159	10,443	784,208
Meksika	67,917	13,120	1.017,740
Brezilya2	179,000	77,000	1.796,000
Çin2	859,000	23,000	1.764,000

Çizelge 5.6.'da Türkiye için girdi-çıktı gerçek değerleri, girdiler için radyal hareket (original movement), aylak hareket değerleri (slack movement) ve hedef değerler (projected value) verilmiştir. Tablonun alt kısmında ise Türkiye için referans kümeyi oluşturan KVB'ler ve bu KVB'lere ilişkin indirgenmiş maliyetler (λ) bulunmaktadır.

Çizelge 5.6. Türkiye İçin Girdi Hedef Değerleri ve Aylak Değişkenler Tablosu

Teknik Etkinlik = 0.814 ÖZET TABLO				
		Hareket Yönü		
Değişken	Gerçek değer	Radyal Hareket	Aylak Hareket	Hedef Değer
BRT puanı	70.000	0.000	180.772	250,772
Yolculuk	750.000.000	0.000	0.000	750.000,000
Hız	35.000	0.000	18.499	53,499
Araç say ısı	415.000	-77.009	0.000	337,991
Koridor uzunluğu	52.000	-9.649	0.000	42,351
Nüfus yoğunluğu	2.523.000	-468.177	0.000	2.054,823
Referanslar ve Lamda Ağırlıkları				
Referanslar	λ (indirgenmiş maliyet)			
Çin2	0.130			
Brezilya	2.508			
Brezilya2	0.283			

Referans kümedeki KVB'lerin λ ağırlıkları Türkiye için hedef değerlerin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Örneğin Türkiye için araç sayısı ve koridor uzunluğu hedef değerlerinin referans kümesindeki birimlerin λ ağırlıkları ile nasıl elde edildikleri Şekil 5.2.'de formüle edilmiştir. Formül incelendiğinde, araç sayısı ve koridor uzunluğu hedef değerleri belirlenirken referans kümede yer alan her bir KVB'nin ilgili girdi değeri ile λ ağırlıkları çarpılıp toplanarak Türkiye hedef değerinin elde edildiği görülmektedir. Aynı zamanda bulunan değer Çizelge 5.6.'da verilen hedef değerler ile aynı olduğu görülmektedir. Nüfus yoğunluğu hedef değeri için de aynı hesaplamalar yapılarak hedef değerleri elde etmek mümkün olabilecektir.

Türkiye için araç sayısı ve koridor uzunluğu hedef değerlerinin referans küme ile elde edilmesi:

Araç sayısı=AS

Koridor Uzunluğu=KU

Lamda Ağırlığı = λ

Araç Sayısı Hedef Değeri = $(AS_{\text{Çin2}} * \lambda_{\text{Çin2}}) + (AS_{\text{Brezilya}} * \lambda_{\text{Brezilya}}) + (AS_{\text{Brezilya2}} * \lambda_{\text{Brezilya2}})$

$$= (859 * 0,130) + (70 * 2,508) + (179 * 0,283)$$

$$= 111,67 + 175,56 + 50,657$$

$$= 337,887$$

Koridor Uzun. Hedef Değeri = $(KU_{\text{Çin2}} * \lambda_{\text{Çin2}}) + (KU_{\text{Brezilya}} * \lambda_{\text{Brezilya}}) + (KU_{\text{Brezilya2}} * \lambda_{\text{Brezilya2}})$

$$= (23 * 0,130) + (7 * 2,508) + (77 * 0,283)$$

$$= 2,99 + 17,56 + 21,791$$

$$= 42,337$$

Şekil 5.2. Referans Kümeden Araç sayısı ve Koridor Uzunluğu Hedef Değerlerin Elde Edilme Formülasyonu

Çizelge 5.6.'da Türkiye etkinlik değerinin 0,814 olduğu görülmektedir. Türkiye'nin etkinlik sınırına ulaşması için 0,186 (1-0,814) oranında bir etkinlik artışına ihtiyacı vardır. Çizelge 5.6.'da verilen hareket yönü değerleri, Türkiye'nin etkin sınıra ulaşması için girdilerde yapılması gereken azalış miktarını ifade etmektedir. Örneğin, Türkiye'nin etkinliğini 0,186 oranında artırarak etkin hale gelmesi için araç sayısı 77,009 azaltılmalı, koridor uzunluğu 9,649 km kısaltılmalıdır. Modellerin çözümünden elde edilen özet raporlar, etkinlik sınırına ulaşmak için girdilerde yapılması gereken toplam azalış miktarını vermekte ancak her girdideki birim azalışın etkinlikte sağlayacağı göreceli artış değerlerini göstermemektedir. Girdiler için göreceli değerlerin hesaplanması ve yorumlanması Türkiye örneği üzerinden incelenerek aşağıda adım adım gösterilmiştir;

Girdi Yönelimli Model

$$\text{MAX}=70*U_1+750000*U_2+35*U_3$$

$$415*V_1+52*V_2+2523*V_3=1$$

$$70*U_1+750000*U_2+35*U_3-415*V_1-52*V_2-2523*V_3\leq 0;$$

$$86*U_1+185000*U_2+18*U_3-70*V_1-7*V_2-525*V_3\leq 0;$$

$$74*U_1+340000*U_2+27*U_3-220*V_1-51*V_2-1214*V_3\leq 0;$$

$$62*U_1+220000*U_2+18*U_3-114*V_1-14*V_2-4398*V_3\leq 0;$$

$$66*U_1+79940*U_2+18*U_3-98*V_1-11*V_2-4398*V_3\leq 0;$$

$$85*U_1+180000*U_2+23*U_3-95*V_1-13*V_2-1420*V_3\leq 0; \quad (5.1)$$

$$73*U_1+30000*U_2+30*U_3-35*V_1-12*V_2-1420*V_3\leq 0;$$

$$65*U_1+130000*U_2+24*U_3-136*V_1-82*V_2-4060*V_3\leq 0;$$

$$71*U_1+25000*U_2+19*U_3-47*V_1-13*V_2-3830*V_3\leq 0;$$

$$88*U_1+282051*U_2+26*U_3-201*V_1-13*V_2-3347*V_3\leq 0;$$

$$83*U_1+160000*U_2+25*U_3-88*V_1-17*V_2-2451*V_3\leq 0;$$

$$82*U_1+619500*U_2+18*U_3-179*V_1-77*V_2-1796*V_3\leq 0;$$

$$91*U_1+850000*U_2+25*U_3-859*V_1-23*V_2-1764*V_3\leq 0;$$

Türkiye için, girdi değerlerinin etkinlik üzerindeki birim etkilerini görmek amacıyla kurulan girdi yönelimli VZA modeli (5.1) çözülerek girdilere ait ağırlıklar elde edilmiş ve Çizelge 5.7’de sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 5.7. Türkiye için Girdi Çıktı Değişken Ağırlıkları-Girdi Yönelimli Model

Değişken	Değeri	İndirgenmiş Maliyet
U1	0,00000001	180,7725
U2	0,00000108	0,000000
U3	0,00000002	18,49863
V1	0,000397	0,000000
V2	0,000179	0,000000
V3	0,000327	0,000000
S1	0,000000	2,508377
S2	0,1247059	0,000000
S3	1,248107	0,000000
S4	1,393298	0,000000
S5	0,3093201	0,000000
S6	0,4481629	0,000000
S7	1,256195	0,000000
S8	1,247166	0,000000
S9	0,1855637	0,000000
S10	0,8712324	0,000000
S11	0,666345	0,000000
S12	0,000000	0,2831242
S13	0,000000	0,1300646

Çizelge 5.7'ye göre en iyi çözümde U1 (BRT puanı) ve U3 (İşletme hızı) çıktı ağırlıkları çok küçük değerler almıştır, en büyük ağırlık U2 yani yolculuk çıktısına aittir. Amaç fonksiyonu; $70*U1+750000*U2+35*U3=0,814$ olarak elde edilmiştir.

- U1 ve U3'ün aldığı değerler etkinlik üzerinde çok küçük bir etkiye neden olurken ikinci çıktı olan (U2) günlük yolculuk çıktısının göreceli değeri: 0,00000108 olup yolculuktaki bir birim artışın verimde sağlayacağı göreceli artışı ifade etmektedir.

KVB'lere ait kısıtlar veri setindeki sırayla yazılmış olup S1, S12 ve S13 sırasıyla Brezilya, Brezilya2 ve Çin olup bunlar Türkiye için referans kümesini oluşturmaktadır. Referans kümesindeki KVB'lere ait indirgenmiş maliyet değerlerinin (λ) Çizelge 5.6'da verilen Türkiye için girdi hedef değerleri ve aylak değişkenler tablosundakiler ile aynı olduğu görülmektedir. Referans kümesindeki KVB'ler ve λ ağırlıkları ile hedef değerlerin nasıl elde edildiği Şekil 5.2'de verilmiştir.

Türkiye için girdi ağırlıklarının da belirlenmesi için çıktı yönelimli model sonuçları Çizelge 5.8'de verilmiştir.

Çizelge 5.8. Türkiye için Girdi-Çıktı Değişken Ağırlıkları-Çıktı Yönelimli Model

Değişken	Değeri	İndirgenmiş Maliyet
V1	0,000488	0,000000
V2	0,000220	0,000000
V3	0,000401	0,000000
U1	0,000000	221,9602
U2	0,0000013	0,000000
U3	0,000000	22,71342

- V1 araç sayısı girdisinin göreceli değeri: 0,000488 olup araç sayısındaki bir birim azalışın verimde sağlayacağı göreceli artışı ifade etmektedir.
- V2 koridor uzunluğu girdisinin göreceli değeri: 0,000220 olup koridor uzunluğundaki bir birim azalışın verimde sağlayacağı göreceli artışı ifade etmektedir.
- V3 nüfus yoğunluğu girdisinin göreceli değeri: 0,000401 olup nüfus yoğunluğundaki bir birim azalışın verimde sağlayacağı göreceli artışı ifade etmektedir.

Yukarıda yapılan analizler girdi yönelimli CRS modelinin çıktılarına aittir. Aynı şekilde girdi yönelimli VRS modeline göre de analiz yapılarak sonuçlar aşağıda verilmiştir. Çizelge 5.9.'da girdi yönelimli VRS etkinlik değerleri ve referans kümeleri verilmiştir. Çizelgeye göre 13 KVB'den 9 tanesi etkin çıkmıştır. CRS modeline göre etkinlik skoru 0,814 olan Türkiye VRS modeline göre 1.00 etkinlik skoruyla etkin KVB'ler arasına girmiştir. Yine CRS modeline göre 0,807 olan ortalama etkinlik değeri VRS modeline göre 0,953 olarak gerçekleşmiştir.

Çizelge 5.9. Girdi Yönelimli VRS Etkinlik Değerleri ve Referans Kümeleri Tablosu

	ETKİNLİK DEĞERİ	REFERANS KÜMESİ
Brezilya	1.000	Brezilya
Çin	1.000	Çin
Ekvador	0.863	Türkiye Brezilya2 Guatemala2
Ekvador2	0.784	Brezilya Kolombiya Guatemala2
Guatemala	1.000	Guatemala
Guatemala2	1.000	Guatemala2
Hindistan	0.829	Türkiye Kolombiya Guatemala2
Endonezya	0.917	Brezilya Guatemala2
Türkiye	1.000	Türkiye
Kolombiya	1.000	Kolombiya
Meksika	1.000	Meksika
Brezilya2	1.000	Brezilya2
Çin2	1.000	Çin2
ORTALAMA	0.953	

Çizelge 5.10.'da girdi yönelimli VRS için girdi değişkenleri hedef değerler verilmiştir. Etkin olan 9 KVB için girdi hedef değerlerinin değişmediği, etkin olmayan; Ekvador, Ekvador2, Hindistan ve Endonezya içinse etkinlik sınırına ulaşmak için sağlamaları gereken girdi hedef değerleri çizelgede verilmiştir.

Çizelge 5.10. Girdi Yönelimli VRS Tüm KVB'ler için Girdi Değişkenleri Hedef Değerleri

GİRDİ HEDEF DEĞERLERİ			
	Araç sayısı (adet)	Koridor Uzunluğu (km)	Nüfus Yoğunluğu (kişi/km ²)
Brezilya	70	7	525
Çin	220	51	1.214
Ekvador	87,267	10,717	641,798
Ekvador2	66,64	7,48	610,92
Guatemala	95	13	1.420
Guatemala2	35	12	1.420,00
Hindistan	58,144	13,125	1.038,317
Endonezya	40,529	11,21	1.278,616
Türkiye	415	52	2.523,00
Kolombiya	201	13	3347
Meksika	88	17	2.451,00
Brezilya2	179	77	1.796,00

Çizelge 5.11'de, Türkiye özet VZA model sonuçları verilmiştir. Yapılan analizler sonucunda ölçeğe göre değişken getiri durumunda Türkiye girdi yönelimli modelde etkinlik skorunu sağlamıştır. Ölçeğe göre sabit getiri kabulünde ise Türkiye girdi yönelimli modelde 0,814 skor ile etkin olmayan KVB sınıfında yer almıştır.

Çizelge 5.11. Türkiye Özet VZA Model Sonuçları

	ETKİNLİK	REFERANS KÜME
Girdi Yönelimli CRS	0.814	Çin2 Brezilya Brezilya2
Girdi Yönelimli VRS	1,000	Türkiye

Türkiye'nin girdi ve çıktılarındaki değişim ile etkinlik oranını ne kadar artırabileceğini görmek için 4 farklı senaryo ile ayrıntılı bir analiz yapılmıştır. Yapılan analizlere ait özet sonuçlar Çizelge 5.12'de verilmiştir.

Çizelge 5.12. Türkiye İçin Ayrıntılı Analiz Sonuç Tablosu

TÜRKİYE DETAYLI ANALİZİ							
	Araç sayısı	Koridor uzunluğu	Nüfus yoğunluğu	BRT puanı	Yolculuk	Hız	ETKİNLİK
Mevcut Durum	415.000	52.000	2.523.000	70.000	750.000	35.000	0,814
Senaryo1	350.000	52.000	2.523.000	70.000	750.000	35.000	0,836
Senaryo2	337.000	52.000	2.523.000	70.000	750.000	35.000	0,841
Senaryo3	415.000	52.000	2.523.000	80.000	750.000	35.000	0,814
Senaryo4	415.000	52.000	2.523.000	70.000	900.000	35.000	0,977

- ❖ Senaryo 1’de; diğer girdi ve çıktılar sabit kalmak koşuluyla 415 olan araç sayısı 350 araca düşürüldüğü zaman etkinlik skoru 0,814’ten 0,836’ya çıkmıştır.
- ❖ Senaryo 2’de; diğer girdi ve çıktılar sabit kalmak koşuluyla 415 olan araç sayısı 337 araca düşürüldüğü zaman etkinlik skoru 0,814’ten 0,841’e çıkmıştır.
- ❖ Senaryo 3’te; diğer girdi ve çıktılar sabit kalmak koşuluyla 70 olan BRT puanı 80 puana çıkarıldığı zaman etkinlik skoru yine 0,814 olarak gerçekleşmiş, herhangi bir değişiklik olmamıştır.
- ❖ Senaryo 4’te; diğer girdi ve çıktılar sabit kalmak koşuluyla 750.000 olan yolcu sayısı 900.000’e çıkarıldığında etkinlik skoru 0,814’ten 0,977’ye çıkarak etkinlik sınırına çok yaklaşmıştır.

Yapılan analizler sonucunda Türkiye’nin mevcut girdiler ile yolculuk çıktısını artırdığı takdirde bulunduğu KVB’ler arasında etkinlik sınırına girebileceği görülmüştür.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dünyanın birçok yerinde etkin olarak uygulanmakta olan BRT sistemleri giderek yaygın hale gelmekte ve yolculuk talebi sürekli artış göstermektedir. Türkiye’de de İstanbul’da 52 km’lik bir koridorda “metrobüs” adı ile BRT sistemi kullanılmaktadır. 2007 yılında İstanbul’un ana arterlerindeki trafik yoğunluğunu azaltmak, hızlı ve konforlu ulaşım sağlamak amacıyla İETT, metrobüs sistemini İstanbul halkının hizmetine sunmuştur. Yolculuk konforu, seyahat süresi avantajı ve raylı sistemlere kıyasla düşük yatırım maliyetine sahip olan bu sistemler İstanbul’da ve Türkiye’nin diğer şehirlerinde talep görmektedir. Bu nedenle; İstanbul’daki metrobüs sistemi ve dünyadaki diğer BRT sistemleri incelenerek metrobüs sistemi için iyileştirme önerileri sunulmuş ve Türkiye’nin diğer şehirlerinde kurulması planlanan BRT sistemleri için örnek bir uygulama teşkil etmesi amaçlanmıştır.

Çalışmanın esasını teşkil eden etkinlik değerlendirmesi için VZA yöntemi seçilmiştir. VZA yönteminde etkinlik değerlendirmesi için karar verme birimleri seçilmektedir. KVB seçiminde öncelikle İstanbul metrobüs sistemi ile ortak verilere sahip birimler tercih edilmiştir. Bu sebeple, 2014 yılında İstanbul metrobüsü gibi BRT standart puanı almak için ITDP değerlendirmesine katılmış olan BRT sistemleri KVB seçiminde etkili olmuştur. BRT standart puanı, etkinlik analizinde kullanılan 3 önemli çıktıdan biridir. Bu kapsamda İstanbul metrobüs sistemi ile birlikte toplamda 13 farklı BRT sistemi KVB olarak seçilmiştir. BRT sistemleri koridorlar özelinde değerlendirildiği için seçilen KVB’ler arasında aynı ülke ve şehre ait farklı BRT sistemleri olabilmektedir. Çin, Ekvador, Ekvador2, Guatemala, Guatemala2, Hindistan, Endonezya, Türkiye, Kolombiya, Meksika Brezilya2, Çin2 olmak üzere 9 farklı ülkeden 13 farklı BRT koridoru KVB olarak seçilmiştir.

VZA ile etkinlik değerlendirmesi için seçilen KVB’lere ait ortak girdi ve çıktı verilerine ihtiyaç vardır. BRT sistemlerinin değerlendirmesi için seçilen ortak girdiler; araç sayısı, koridor uzunluğu ile nüfus yoğunluğu ve ortak çıktılar ise; BRT standart puanı, günlük yolculuk ile işletme hızıdır. Seçilen girdi ve çıktılara ait verilerin toplanmasında

2014 yılında yapılan BRT Standart değerlendirme raporu ve dünyadaki tüm BRT sistemleriyle ilgili verileri toplayan <http://brtdata.org/> web adresinden faydalanılmıştır.

Çalışmada analiz için Win4Deap-2 programı kullanılmıştır. Girdi yönelimli ölçeğe göre sabit getiri modeline göre yapılan analizin (Input orientated Constant Returns to Scale - CRS) sonucunda 13 karar verme biriminden 4 tanesini etkin birim olarak belirlenmiştir. Brezilya, Guetamala2, Brezilya2, Çin2 etkin çıkan karar verme birimleri olmuştur. Tüm KVB'ler için ortalama etkinlik değeri de 0,807 olarak gerçekleşmiştir. Türkiye, 0,814 ile ortalama etkinlik değerinin biraz üzerinde bir skor sağlamıştır. Etkinlik değeri en düşük olan KVB ise 0,411 skor ile Hindistan olmuştur. Ayrıca etkin olmayan KVB'ler için referans kümeleri de belirlenmiş olup Çin2, Brezilya ve Brezilya2 Türkiye için referans kümeyi oluşturan KVB'ler olmuştur.

Aynı şekilde girdi odaklı VRS modeline göre de analiz yapılmış ve 13 KVB'den 9 tanesi etkin çıkmıştır. CRS modeline göre etkinlik skoru 0,814 olan Türkiye VRS modeline göre 1.00 etkinlik skoruyla etkin KVB'ler arasına girmiştir. Yine CRS modeline göre 0,807 olan ortalama etkinlik değeri VRS modeline göre 0,903 olarak gerçekleşmiştir.

Çalışmada, İstanbul metrobüsünün girdi ve çıktılarındaki değişim ile etkinlik oranını ne kadar artırabileceğini görmek için 4 farklı senaryo ile detaylı bir analiz de yapılmıştır. Yapılan analizlere göre ilk senaryoda; diğer girdi ve çıktılar sabit kalmak koşuluyla 415 olan araç sayısı 350 araca düşürüldüğü zaman etkinlik skoru 0,814'ten 0,836'ya çıkmıştır. İkinci senaryoda; diğer girdi ve çıktılar sabit kalmak koşuluyla 415 olan araç sayısı 337 araca düşürüldüğü zaman etkinlik skoru 0,814'ten 0,841'e çıkmıştır. Senaryo 3'te; diğer girdi ve çıktılar sabit kalmak koşuluyla 70 olan BRT puanı 80 puana çıkarıldığı zaman etkinlik skoru yine 0,814 olarak gerçekleşmiş, herhangi bir değişiklik olmamıştır. Senaryo 4'te ise diğer girdi ve çıktılar sabit kalmak koşuluyla 750.000 olan yolcu sayısı 900.000'e çıkarıldığında etkinlik skoru 0,814'ten 0,977'ye çıkarak etkinlik sınırına çok yaklaşmıştır.

Analiz için kullanılan Win4Deap2 programında, etkinlik sınırına ulaşmak için girdilerde yapılması gereken toplam azalış miktarları verilmekte ancak her girdideki birim azalışın etkinlikte sağlayacağı göreceli artış değerlerini analiz raporu göstermemektedir.

Bu sebeple girdi ve çıktılar için göreceli değerlerin nasıl elde edileceği Türkiye örneği üzerinden matematiksel model kurularak anlatılmış ve sonuçlar yorumlanmıştır.

Yapılan analizler sonucunda Türkiye'nin mevcut girdiler ile yolculuk çıktısını artırdığı takdirde bulunduğu KVB'ler arasında etkinlik sınırına girebileceği görülmüştür. İstanbul metrobüs sistemine göre daha etkin olan ve iyileştirme için örnek alınabilecek BRT sistemleri referans kümelerde belirlenmiş olup Çin2, Brezilya ve Brezilya2 olarak tespit edilmiştir. İstanbul metrobüs sistemi için yapılacak kıyaslama (benchmarking) çalışmalarında Çin'in Guangzhou BRT sistemi ve Brezilya'nın Move-Cristiano Machado ile All RIT corridors sistemlerinin incelenmesi fayda sağlayacaktır.

VZA, göreceli etkinliğin değerlendirildiği bir analiz yöntemi olması nedeniyle KVB sayısının artması etkinlik sonuçlarını daha anlamlı değerlerde olmasını sağlayacaktır. Ortak verilere erişim kısıtı nedeniyle bu çalışmada 13 KVB ile analiz yapılmıştır. Sonraki çalışmalarda; verilere erişim sağlanması durumunda daha büyük bir KVB kümesi ile etkinlik değerlendirmesi yapılabilir ya da seçilen KVB'ler arasında birbirine benzer özellikteki KVB'leri kümeleme analizi ile ayırarak gruplar bazında daha detaylı incelemeler sunulabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akyazıcı, M., 2010, Hızlı Otobüs Taşımacılığı ve İstanbul Örneği, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akın, O., 2014, İstanbul'da ulaşım sorunu ve metrobüs çözümü, İstanbul Aydın Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Akyol, H., 2016, İstanbul'da Metrobüs ve Raylı Sistemin Karşılaştırmalı Ekonomik Analizi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Alpkokin, P., Ergun, M., 2012, Istanbul Metrobus: First Intercontinental Bus Rapid Transit, Journal of Transport Geography.
- Atıkbay, T., 2001, Türk Kara Kuvvetlerinde Veri Zarflama Analizi ile Performans Değerlendirmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Baysal, M. E., Uygur, M., Toklu, B., 2004, Veri Zarflama Analizi İle TCDD Limanlarında Bir Etkinlik Ölçümü Çalışması, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 19, 4, 437-442.
- Baysal, M. E., Alçılar, B., Çerçioğlu, H., Toklu, B., 2005, Türkiye'deki Devlet Üniversitelerinin 2004 Yılı Performanslarının Veri Zarflama Analizi Yöntemiyle Belirlenip Buna Göre 2005 Yılı Bütçe Tahsislerinin Yapılması, SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9, 1.
- Bhagavath, V., 2006, Technical Efficiency Measurement by Data Envelopment Analysis: An Application in Transportation, Alliance Journal of Business Research, 60-72.
- Bertini, R. L., 2003, Bus Rapid Transit: An Alternative for Developing Countries, <http://www.researchgate.net/publication/228418187>.
- Caulfield, B., Bailey, D., Mullarkey, S., 2013, Using Data Envelopment Analysis As A Public Transport Project Appraisal Tool, Transport Policy, 29 (2013), 74–85.
- Cervero, R., Kang, C. D., 2011, Bus rapid transit impacts on land uses and land values in Seoul, Korea, TransportPolicy, 18, 102–116.
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., Zhu, J., 2004, Data Envelopment Analysis: History, Models and Interpretations, in Handbook on Data Envelopment Analysis, Kluwer Academic Publisher, New York, 1, p.8-21.
- Currie, G., 2005, The Demand Performance of Bus Rapid Transit, Journal of Public Transportation, 8, 1.
- Deng, T., Nelson, J. D., 2013, Bus Rapid Transit implementation in Beijing: An Evaluation of Performance and Impacts, Research in Transportation Economics, 39, 108–113.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Dinçer, S.E., 2008, Veri Zarflama Analizinde Malmquist Endeksiyle Toplam Faktör Verimliliği Değişiminin İncelenmesi ve İMKB Üzerine Bir Uygulama, Marmara Üniversitesi İİBF Dergisi, 25, 2.
- Fried, H.O., Lovel, C.A.K., Schmidt, S.S., 2008, Efficiency and Productivity, Oxford University Press.
- Global BRT Data, 2017, Key Indicators Per Region, <https://brtdata.org/>
- İETT, 2016, Metrobüs Tarihçe, <http://metrobus.iett.istanbul.tr/metrobus/pages/metrobus-tarihce/222>
- İETT, 2016, Metrobüs Yönetim Modeli, s. 10.
- İnan, E. A., 2000, Banka Etkinliğinin Ölçülmesi ve Düşük Enflasyon Sürecinde Bankacılıkta Etkinlik, Bankacılar Dergisi, 34.
- Karlaftis, M.G., 2004, DEA Approach for Evaluating the Efficiency and Effectiveness of Urban Transit Systems, European Journal of Operational Research, 152, 354–364.
- Karlaftis, M.G., Tsamboulas, D. (2012), Efficiency Measurement in Public Transport: Are Findings Specification Sensitive?, Transportation Research Part A, 46, 392-402.
- Kaynar, O., Bircan, H., 2007, OECD Ülkelerinin Telekomünikasyon Sektörlerinin Etkinliğinin Veri Zarflama Analizi İle Ölçülmesi-2, Cumhuriyet Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 21, 1.
- Lao, Y., Liu, L. 2009, Performance Evaluation of Bus Lines With Data Envelopment Analysis and Geographic Information Systems, Computers, Environment and Urban Systems, 33, 247–255.
- Levinson, H. S., Zimmerman, S., Clinger, J., 2003, Bus Rapid Transit Synthesis of Case Studies, 2003 Annual Meeting Transportation Research Board Washington, D.C..
- Lindau, L. A., Hidalgo, D., Lobo, A. A., 2014, Barriers to planning and implementing Bus Rapid Transit systems, Research in Transportation Economics, 48, 9-15.
- Liu, J. S., Lu, L.Y.Y., Lu, W. M., 2015, Research Fronts in Data Envelopment Analysis, Omega 58(2016), 33–45.
- Menckhoff, G., 2005, Latin American Experience with Bus Rapid Transit, Annual Meeting –Institute of Transportation Engineers, Melbourne, August 10, 2005.
- Oruç, K. O., 2008, Veri Zarflama Analizi ile Bulanık Ortamda Etkinlik Ölçümleri ve Üniversitelerde Bir Uygulama, Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Isparta.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Öğüt, K. S., Akyazıcı, M., 2012, Hızlı Otobüs Taşımacılığı, http://web.itu.edu.tr/oguts/64_k60_ius_akyazici_ogut.pdf
- Özden, Ü. H., 2008, Veri zarflama analizi (VZA) ile Türkiye’deki vakıf üniversitelerinin etkinliğinin ölçülmesi, İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi, 37, 2, 167-185.
- Rodriguez, D. A., Vergel-Tovar, E., Camargo, W. F., 2015, Land Development Impacts of BRT in a Sample of Stops in Quito and Bogotá, Transport Policy.
- Tajbakhsh, A., Hassini, E., 2014, A Data Envelopment Analysis Approach To Evaluate Sustainability İn Supply Chain Networks, Journal of Cleaner Production, 105 (2015), 74-85.
- Tran, K. D., Bhakar, A., Bunker, J., Lee, B., 2016, Data Envelopment Analysis (DEA) Based Transit Route Temporal Performance Assessment: A Pilot Study Australasian Transport Research Forum 2016 Proceedings, Melbourne.
- TÜBİTAK-TÜSSİDE, 2013, İETT Esnek Ulaşım Modülü Projesi- Metrobüs Kapasite Artırımı Sistem Analizi Raporu.
- Vincent, W., Jerram, L. C., 2006, The Potential for Bus Rapid Transit to Reduce Transportation-Related CO₂ Emissions, Journal of Public Transportation, 2006 BRT Special Edition.
- Yavuz, S., İşçi, Ö., 2013, Veri Zarflama Analizi İle Türkiye’de Gıda İmalatı Yapan Firmaların Etkinliklerinin Ölçülmesi, Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 36.
- Yıldırım, B. H., Önder, E., 2015, Operasyonel, Yönetmel ve Stratejik Problemlerin Çözümünde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri, Dora Yayınevi, s. 206-208.
- Yıldız, A., 2006, Yatırım Fonları Performanslarının Veri Zarflama Analizi Yöntemiyle Değerlendirilmesi, Ankara Üniversitesi SBF Dergisi, 61, 2.
- Yılmaz, Ş., 2012, Metrobüs Sisteminin İncelenmesi ve Sosyal, Çevresel, Ekonomik Etkileri, Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

EK AÇIKLAMALAR

Ek Açıklama-A: Girdi Yönelimli Sabit Getiri Modeline Göre Win4Deap Analiz Raporu

Results from DEAP Version 2.1

by Tim Coelli, CEPA

<http://www.uq.edu.au/economics/cepa>

Project: BRT VZA Model

Model 1: First model

Input orientated DEA

Scale assumption: CRS

Slacks calculated using multi-stage method

EFFICIENCY SUMMARY:

firm te

Brazil 1.000

China 0.756

Ecuador 0.715

Ecuador2 0.639

Guatemala 0.765

Guatemala2 1.000

India 0.411

Indonesia 0.816

Turkey 0.814

Colombia 0.803

Mexico 0.772

Brazil2 1.000

Ek Açıklama-A: Girdi Yönelimli Sabit Getiri Modeline Göre Win4Deap Analiz Raporu (devam)

China2 1.000

mean 0.807

SUMMARY OF OUTPUT SLACKS:

firm output:	BRT_puan	Yolculuk	hiz
Brazil	0.000	0.000	0.000
China	52.711	0.000	0.000
Ecuador	33.792	0.000	2.076
Ecuador2	13.654	79947.218	0.000
Guatemala	9.138	0.000	0.000
Guatemala2	0.000	0.000	0.000
India	0.132	0.000	0.000
Indonesi	0.000	26542.762	7.586
Turkey	180.772	0.000	18.499
Colombia	35.511	0.000	0.000
Mexico	6.651	0.000	0.000
Brazil2	0.000	0.000	0.000
China2	0.000	0.000	0.000
mean	25.566	8191.537	2.166

SUMMARY OF INPUT SLACKS:

firm input:	Arac_say	korid_uz	nufu_yog
Brazil	0.000	0.000	0.000
China	0.000	24.135	0.000
Ecuador	0.000	0.000	2518.691
Ecuador2	0.000	0.000	2236.579
Guatemala	0.000	0.000	276.767
Guatemala2	0.000	0.000	0.000

Ek Açıklama-A: Girdi Yönelimli Sabit Getiri Modeline Göre Win4Deap Analiz Raporu (devam)

India	0.000	11.770	364.742
Indonesi	0.000	0.000	1914.746
Turkey	0.000	0.000	0.000
Colombia	41.308	0.000	1904.491
Mexico	0.000	0.000	873.903
Brazil2	0.000	0.000	0.000
China2	0.000	0.000	0.000

mean 3.178 2.762 776.148

SUMMARY OF PEERS:

firm peers:

Brazil Brazil

China China2 Brazil2 Brazil

Ecuador Brazil Brazil2

Ecuador2 Guetema2 Brazil

Guetemal Brazil Brazil2 Guetema2

Guetema2 Guetema2

India Brazil2 Guetema2

Indonesi Guetema2 Brazil

Turkey China2 Brazil Brazil2

Colombia China2 Brazil

Mexico Brazil Brazil2 Guetema2

Brazil2 Brazil2

China2 China2

SUMMARY OF PEER WEIGHTS:

(in same order as above)

Ek Açıklama-A: Girdi Yönelimli Sabit Getiri Modeline Göre Win4Deap Analiz Raporu (devam)

firm peer weights:

Brazil	1.000
China	0.075 0.042 1.354
Ecuador	1.084 0.031
Ecuador2	0.090 0.850
Guatemala	0.893 0.013 0.223
Guatemala2	1.000
India	0.176 0.694
Indonesi	0.797 0.149
Turkey	0.130 2.508 0.283
Colombia	0.025 1.410
Mexico	0.641 0.047 0.421
Brazil2	1.000
China2	1.000

PEER COUNT SUMMARY:

(i.e., no. times each firm is a peer for another)

firm peer count:

Brazil	8
China	0
Ecuador	0
Ecuador2	0
Guatemala	0
Guatemala2	5
India	0
Indonesi	0
Turkey	0
Colombia	0

Ek Açıklama-A: Girdi Yönelimli Sabit Getiri Modeline Göre Win4Deap Analiz Raporu (devam)

Mexico 0
Brazil2 6
China2 3

SUMMARY OF OUTPUT TARGETS:

firm output:	BRT_puan	Yolculuk	hiz
Brazil	86.000	185000.000	18.000
China	126.711	340000.000	27.000
Ecuador	95.792	220000.000	20.076
Ecuador2	79.654	159887.218	18.000
Guatemala	94.138	180000.000	23.000
Guatemala2	73.000	30000.000	30.000
India	65.132	130000.000	24.000
Indonesi	71.000	51542.762	26.586
Turkey	250.772	750000.000	53.499
Colombia	123.511	282051.000	26.000
Mexico	89.651	160000.000	25.000
Brazil2	82.000	619500.000	18.000
China2	91.000	850000.000	25.000

SUMMARY OF INPUT TARGETS:

firm input:	Arac_say	korid_uz	nufu_yog
Brazil	70.000	7.000	525.000
China	166.384	14.435	918.136
Ecuador	81.501	10.009	625.518
Ecuador2	62.632	7.030	574.173
Guatemala	72.655	9.942	809.239
Guatemala2	35.000	12.000	1420.000
India	55.844	21.901	1302.357

Ek Açıklama-A: Girdi Yönelimli Sabit Getiri Modeline Göre Win4Deap Analiz Raporu (devam)

Indonesi	38.340	10.605	1209.558
Turkey	337.991	42.351	2054.823
Colombia	120.159	10.443	784.208
Mexico	67.917	13.120	1017.740
Brazil2	179.000	77.000	1796.000
China2	859.000	23.000	1764.000

FIRM BY FIRM RESULTS:

Results for Brazil:

Technical efficiency = 1.000

PROJECTION SUMMARY:

variable	original	radial	slack	projected
	value	movement	movement	value
output BRT_puan	86.000	0.000	0.000	86.000
output Yolculuk	185000.000	0.000	0.000	185000.000
output hiz	18.000	0.000	0.000	18.000
input Arac_say	70.000	0.000	0.000	70.000
input korid_uz	7.000	0.000	0.000	7.000
input nufu_yog	525.000	0.000	0.000	525.000

LISTING OF PEERS:

peer lambda weight

Brazil 1.000

Results for China:

Technical efficiency = 0.756

PROJECTION SUMMARY:

variable	original	radial	slack	projected
	value	movement	movement	value
output BRT_puan	74.000	0.000	52.711	126.711

Ek Açıklama-A: Girdi Yönelimli Sabit Getiri Modeline Göre Win4Deap Analiz Raporu (devam)

output Yolculuk 340000.000 0.000 0.000 340000.000

output hiz 27.000 0.000 0.000 27.000

input Arac_say 220.000 -53.616 0.000 166.384

input korid_uz 51.000 -12.429 -24.135 14.435

input nufu_yog 1214.000 -295.864 0.000 918.136

LISTING OF PEERS:

peer lambda weight

China2 0.075

Brazil2 0.042

Brazil 1.354

Results for Ecuador:

Technical efficiency = 0.715

PROJECTION SUMMARY:

variable	original	radial	slack	projected	
	value	movement	movement	value	
output BRT_puan	62.000	0.000	33.792	95.792	
output Yolculuk	220000.000	0.000	0.000	220000.000	
output hiz	18.000	0.000	2.076	20.076	
input Arac_say	114.000	-32.499	0.000	81.501	
input korid_uz	14.000	-3.991	0.000	10.009	
input nufu_yog	4398.000	-1253.790	-2518.691	625.518	

LISTING OF PEERS:

peer lambda weight

Brazil 1.084

Brazil2 0.031

Results for Ecuador2:

Technical efficiency = 0.639

Ek Açıklama-A: Girdi Yönelimli Sabit Getiri Modeline Göre Win4Deap Analiz Raporu (devam)

PROJECTION SUMMARY:

variable	original	radial	slack	projected
	value	movement	movement	value
output BRT_puan	66.000	0.000	13.654	79.654
output Yolculuk	79940.000	0.000	79947.218	159887.218
output hiz	18.000	0.000	0.000	18.000
input Arac_say	98.000	-35.368	0.000	62.632
input korid_uz	11.000	-3.970	0.000	7.030
input nufu_yog	4398.000	-1587.248	-2236.579	574.173

LISTING OF PEERS:

peer	lambda	weight
Guatemala2	0.090	
Brazil	0.850	

Results for Guetemal:

Technical efficiency = 0.765

PROJECTION SUMMARY:

variable	original	radial	slack	projected
	value	movement	movement	value
output BRT_puan	85.000	0.000	9.138	94.138
output Yolculuk	180000.000	0.000	0.000	180000.000
output hiz	23.000	0.000	0.000	23.000
input Arac_say	95.000	-22.345	0.000	72.655
input korid_uz	13.000	-3.058	0.000	9.942
input nufu_yog	1420.000	-333.994	-276.767	809.239

LISTING OF PEERS:

peer	lambda	weight
Brazil	0.893	
Brazil2	0.013	

Ek Açıklama-A: Girdi Yönelimli Sabit Getiri Modeline Göre Win4Deap Analiz Raporu (devam)

Guetema2 0.223

Results for Guetema2:

Technical efficiency = 1.000

PROJECTION SUMMARY:

variable	original	radial	slack	projected	
	value	movement	movement	value	
output BRT_puan	73.000	0.000	0.000	73.000	
output Yolculuk	30000.000	0.000	0.000	30000.000	
output hiz	30.000	0.000	0.000	30.000	
input Arac_say	35.000	0.000	0.000	35.000	
input korid_uz	12.000	0.000	0.000	12.000	
input nufu_yog	1420.000	0.000	0.000	1420.000	

LISTING OF PEERS:

peer lambda weight

Guetema2 1.000

Results for India:

Technical efficiency = 0.411

PROJECTION SUMMARY:

variable	original	radial	slack	projected	
	value	movement	movement	value	
output BRT_puan	65.000	0.000	0.132	65.132	
output Yolculuk	130000.000	0.000	0.000	130000.000	
output hiz	24.000	0.000	0.000	24.000	
input Arac_say	136.000	-80.156	0.000	55.844	
input korid_uz	82.000	-48.330	-11.770	21.901	
input nufu_yog	4060.000	-2392.901	-364.742	1302.357	

LISTING OF PEERS:

Ek Açıklama-A: Girdi Yönelimli Sabit Getiri Modeline Göre Win4Deap Analiz Raporu (devam)

peer lambda weight

Brazil2 0.176

Guatemala2 0.694

Results for Indonesi:

Technical efficiency = 0.816

PROJECTION SUMMARY:

variable	original	radial	slack	projected
	value	movement	movement	value
output BRT_puan	71.000	0.000	0.000	71.000
output Yolculuk	25000.000	0.000	26542.762	51542.762
output hiz	19.000	0.000	7.586	26.586
input Arac_say	47.000	-8.660	0.000	38.340
input korid_uz	13.000	-2.395	0.000	10.605
input nufu_yog	3830.000	-705.696	-1914.746	1209.558

LISTING OF PEERS:

peer lambda weight

Guatemala2 0.797

Brazil 0.149

Results for Turkey:

Technical efficiency = 0.814

PROJECTION SUMMARY:

variable	original	radial	slack	projected
	value	movement	movement	value
output BRT_puan	70.000	0.000	180.772	250.772
output Yolculuk	750000.000	0.000	0.000	750000.000
output hiz	35.000	0.000	18.499	53.499
input Arac_say	415.000	-77.009	0.000	337.991

Ek Açıklama-A: Girdi Yönelimli Sabit Getiri Modeline Göre Win4Deap Analiz Raporu (devam)

input korid_uz 52.000 -9.649 0.000 42.351

input nufu_yog 2523.000 -468.177 0.000 2054.823

LISTING OF PEERS:

peer lambda weight

China2 0.130

Brazil 2.508

Brazil2 0.283

Results for Colombia:

Technical efficiency = 0.803

PROJECTION SUMMARY:

variable	original	radial	slack	projected
	value	movement	movement	value
output BRT_puan	88.000	0.000	35.511	123.511
output Yolculuk	282051.000	0.000	0.000	282051.000
output hiz	26.000	0.000	0.000	26.000
input Arac_say	201.000	-39.533	-41.308	120.159
input korid_uz	13.000	-2.557	0.000	10.443
input nufu_yog	3347.000	-658.301	-1904.491	784.208

LISTING OF PEERS:

peer lambda weight

China2 0.025

Brazil 1.410

Results for Mexico:

Technical efficiency = 0.772

PROJECTION SUMMARY:

variable	original	radial	slack	projected
	value	movement	movement	value

Ek Açıklama-A: Girdi Yönelimli Sabit Getiri Modeline Göre Win4Deap Analiz Raporu (devam)

output BRT_puan	83.000	0.000	6.651	89.651
output Yolculuk	160000.000	0.000	0.000	160000.000
output hiz	25.000	0.000	0.000	25.000
input Arac_say	88.000	-20.083	0.000	67.917
input korid_uz	17.000	-3.880	0.000	13.120
input nufu_yog	2451.000	-559.357	-873.903	1017.740

LISTING OF PEERS:

peer lambda weight

Brazil 0.641

Brazil2 0.047

Guatemala2 0.421

Results for Brazil2:

Technical efficiency = 1.000

PROJECTION SUMMARY:

variable	original	radial	slack	projected
	value	movement	movement	value
output BRT_puan	82.000	0.000	0.000	82.000
output Yolculuk	619500.000	0.000	0.000	619500.000
output hiz	18.000	0.000	0.000	18.000
input Arac_say	179.000	0.000	0.000	179.000
input korid_uz	77.000	0.000	0.000	77.000
input nufu_yog	1796.000	0.000	0.000	1796.000

LISTING OF PEERS:

peer lambda weight

Brazil2 1.000

Results for China2:

Technical efficiency = 1.000

Ek Açıklama-A: Girdi Yönelimli Sabit Getiri Modeline Göre Win4Deap Analiz Raporu (devam)**PROJECTION SUMMARY:**

variable	original	radial	slack	projected	
	value	movement	movement	value	
output BRT_puan	91.000	0.000	0.000	91.000	
output Yolculuk	850000.000	0.000	0.000	850000.000	
output hiz	25.000	0.000	0.000	25.000	
input Arac_say	859.000	0.000	0.000	859.000	
input korid_uz	23.000	0.000	0.000	23.000	
input nufu_yog	1764.000	0.000	0.000	1764.000	

LISTING OF PEERS:

peer	lambda	weight
China2	1.000	