

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**LASTİK VE ÇELİK ALAŞIM TEKERLEKLİ METRO
ARAÇLARININ TAŞIMA MALİYETLERİ ANALİZİ VE
KARŞILAŞTIRILMASI**

Makine Mühendisi Ömer ATİK

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Hasan Hüseyin ERDEM

İstanbul, 2010

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGE LİSTESİ.....	v
KISALTMA LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı.....	3
1.2. Literatür Özeti.....	3
2. KENTİÇİ TOPLU TAŞIMA SİSTEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI	5
2.1. Yol.....	5
2.1.1. Kategori C	5
2.1.2. Kategori B	5
2.1.3. Kategori A	5
2.2. Sistem Teknolojisi.....	5
2.2.1. Mesnet	6
2.2.2. Yönlendirme.....	6
2.2.3. İtici kuvvet.....	6
2.2.4. Kontrol	6
2.3. Servis Tipi.....	6
2.3.1. Yol ve seyahate göre sınıflandırma.....	7
2.3.2. İşletme tipine göre sınıflandırma.....	7
2.3.3. İşletme zamanına göre sınıflandırma	7
3. SİSTEM VE ARAÇ TASARIM ÖLÇÜTLERİ.....	8
3.1. Genel	8
3.2. Sistemlerin nitelendirilmesi	8
3.3. Araç Tasarım Parametreleri	10
4. GÜZERGAH TASARIM ÖLÇÜTLERİ	12
4.1. Kapsam.....	12
4.2. Standartlar	12

4.3.	Genel	13
4.4.	Yatay Düzeyde Geometrik Tasarım Ölçütleri	13
4.4.1.	Hatlar arası mesafe	13
4.4.2.	Alinyman	13
4.4.3.	Dairesel Kurplar	14
4.4.4.	Birleşik ve Ters Kurplar	14
4.4.5.	Dever	14
4.4.6.	Geçiş eğrisi (Klotoid)	15
4.4.7.	Eğimler	16
4.4.8.	İstasyon Bölgesi Eğimi	16
4.4.9.	İstasyon Dışındaki Hat (Geçki) Eğimi	17
4.4.10.	Düşey Kurplar (Dönemeçler)	17
4.4.11.	Yarıçap ve Uzunluk	17
4.4.12.	Kapasite	18
4.4.13.	Enerji Tüketimi	19
4.5.	Ekonomik Özellikler	20
4.5.1.	Yatırım maliyeti	20
4.5.2.	İşletme maliyeti	21
4.5.3.	Yolcu sayısı-maliyet ilişkisi	22
4.5.4.	Diğer ekonomik özellikler	24
4.6.	İşletme Özellikleri	25
4.6.1.	Sıklık (servis frekansı)	25
4.6.2.	Konfor	25
4.6.3.	Güvenilirlik	25
4.6.4.	Güvenlik	25
4.7.	Çevresel Özellikler	26
4.7.1.	Hava kirliliği	26
4.7.2.	Gürültü	27
4.7.3.	Çevreye uyum	27
5.	METROLEYBÜS SİSTEMİ	28
5.1.	Metroleybüs Sisteminin Elemanları	28
5.1.1.	Yol	29
5.1.2.	Yönlendirici (kılavuz) sistem	32

5.1.3.	İstasyonlar	36
5.1.4.	Araçlar	38
5.1.5.	Ücret Toplama Yöntemi	42
5.2.	Metroleybüs Sisteminin Özellikleri ve Diğer Sistemlerle Kıyaslanması.....	42
5.2.1.	Genel özellikler	42
5.2.2.	Esneklik	44
5.2.3.	İşletme hızı	44
5.2.4.	Kapasite	44
5.2.5.	Maliyetler	46
6.	SİSTEMLERİN TAŞIMA MALİYETLERİ ANALİZİ VE KARŞILAŞTIRILMASI	50
6.1.	METRO	51
6.1.1.	İnşaat Harcamaları	51
6.1.2.	Araç Alım Harcamaları	51
6.1.3.	İşletme-Bakım Harcamaları	52
6.1.4.	İşletme Gelirleri	53
6.1.5.	Geri ödeme oranı	54
6.1.6.	Maliyet Tablosu	55
6.2.	METROLEYBÜS	55
6.2.1.	İnşaat Harcamaları	55
6.2.2.	Araç Alım Harcamaları	56
6.2.3.	İşletme-Bakım Harcamaları	57
6.2.4.	İşletme Gelirleri	58
6.2.5.	Geri Ödeme Oranı	59
6.2.6.	Maliyet Tablosu	60
6.3.	KARŞILAŞTIRMALI ANALİZ ÇALIŞMASI	60
7.	SONUÇ	63
	KAYNAKLAR	65
	İNTERNET KAYNAKLARI	71
	EKLER	72
	Ek 1 : Kadıköy – Kartal Projesi Yönetici Özeti	73
	ÖZGEÇMİŞ	133

SİMGE LİSTESİ

\$

Amerikan Doları

KISALTMA LİSTESİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
cm	Santimetre
dB	Desibel (Ses Basıncı)
dB (A)	Hem ses basıncı hem de ses frekansı ağırlıklı
DM	Alman Markı
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
Galon	3,7853 litre (Amerikan ölçü birimine göre) 4,5418 litre (İngiliz ölçü birimine göre)
GAO	United States General Accounting Office
gr	Gram
HRS	Hafif Raylı Sistem
Kcal	Kilokalori
Kg	Kilogram
km	Kilometre
kWh	Kilo Watt Saat
m	Metre
mil	1,609 kilometre
MW	Milyon Watt
sa	Saat
vb.	Ve benzerleri
vd.	Ve diğerleri
ve ark.	Ve arkadaşları

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1:	Lastik Tekerlekli Metro Sistemi (Lozan Metrosu)	4
Şekil 3.1:	Toplu Taşıma Sistemleri Karşılaştırma Grafiği (Vuchic).....	9
Şekil 3.2:	Toplu Taşıma Sistemleri Karşılaştırma Grafiği (TRB)	10
Şekil 4.1:	Yatay Kurp ve Geçiş Eğrisi Geometrisi.....	16
Şekil 4.2:	Kentiçi Toplu Taşıma Sistemlerinde Yolcu Sayısı-Maliyet İlişkisi	23
Şekil 4.3:	Kentiçi Toplu Taşıma Sistemlerinin Ekonomik Karşılaştırması	24
Şekil 5.1:	Eugene, Oregon (ABD) Yol İzleriyle Ayrılmış Metroleybüs Hattı.....	30
Şekil 5.2:	Bogota Trans Milenio Fiziksel Engellerle Ayrılmış Metroleybüs Yolu.....	31
Şekil 5.3:	Quito Ecovia (Ekvator) Fiziksel Engellerle Ayrılmış Metroleybüs Yolu.....	31
Şekil 5.4:	East Busway Pittsburgh (ABD) Özel Otobüs Yolu	32
Şekil 5.5:a),b)	O-Bahn, Adelaide (Avustralya) Mekanik Yönlendiricili Sistem	34
Şekil 5.6:	Mannheim (Almanya) Ray Üstü Yerleştirilmiş Mekanik Yönlendiricili Sistem	34
Şekil 5.7:	Mekanik Yönlendirme Yanal Tekerleği	35
Şekil 5.8:	Padova (İtalya) Tek Raylı Metroleybüs Sistemi.....	35
Şekil 5.9:	Nancy (Fransa) Görsel Yönlendiricili Metroleybüs Sistemi	36
Şekil 5.10:	Curitiba (Brezilya) Metroleybüs Durağı.....	38
Şekil 5.11:	Bogota Trans Milenio 1. Aşama (Kolombiya) Metroleybüs Durağı	38
Şekil 5.12:	APTS-Phileas 80 Aracı	39
Şekil 5.13:	Translohr Aracı (STE ₄)	41
Şekil 5.14:	Elektrik tahrikli Metroleybüs aracının çalışma prensibi	41
Şekil 5.15:	Translohr Aracı Mekanik Yönlendirici Sistemi.....	41
Şekil 6.1:	km' ye Bağlı Olarak Maliyet Değişimi.....	62
Şekil 6.2:	Yolcu Sayısına Bağlı Olarak Maliyet Değişimi.....	63

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 4.1:	Kentiçi Ulaşım Sistemlerinin İşletme Hızları ve Kapasiteleri	19
Çizelge 4.2:	Ulaşım Sistemlerinin Yolcu-Km Başına Enerji Tüketimi (Tren=100).....	20
Çizelge 4.3:	Kentiçi Toplu Taşıma Sistemlerinin Yatırım Maliyetleri	20
Çizelge 4.4:	Kentiçi Toplu Taşıma Sistemlerinin Yolcu-Km Cinsinden Maliyetleri	21
Çizelge 4.5:	Kentiçi Toplu Taşıma Sistemlerinin Birim İşletme Maliyetleri (ABD Doları)	21
Çizelge 4.6:	Kentiçi Ulaşım Sistemlerinin Yolcu-Km Cinsinden İşletme Maliyetleri	22
Çizelge 4.7:	Kentiçi Ulaşım Türlerinin En Büyük Sıklık Değerleri	25
Çizelge 4.8:	Kentiçi Toplu Taşıma Sistemlerinin Kaza Riskine Göre Güvenlik Durumları	26
Çizelge 4.9:	Kentiçi Ulaşım Sistemlerinin Meydana Getirdiği Kirlilik Miktarları.....	26
Çizelge 5.1:	APTS-Phileas 80 Aracının Özellikleri	40
Çizelge 5.2:	Translohr STE5 Aracının Özellikleri	42
Çizelge 5.3:	Metroleybüs, Raylı Sistem, Otobüs Yolu Sistemlerinin Fark ve Benzerlikleri	43
Çizelge 5.4:	Bazı Metroleybüs ve raylı sistem projelerinde sağlanan yolcu kapasiteleri.....	45
Çizelge 5.5:	Metroleybüs Sistemleri İçin Pratik Kapasite Hesaplama Tablosu.....	45
Çizelge 5.6:	Ülkemizdeki Yapılmış ve Yapımı Devam Eden Bazı Raylı Sistem Projelerinin Toplam Yatırım Maliyetleri	46
Çizelge 5.7:	Bogota Trans Milenio 1.Aşama Sisteminin İşletme Maliyeti Bileşenleri	47
Çizelge 5.8:	New York City’de Test Edilen Farklı Motorlu Araçların Yakıt Maliyetleri ...	49
Çizelge 5.9:	King County’deki Farklı Sistemlerin Toplam Araç İşletme Maliyetleri	49
Çizelge 6.1:	İnşaat harcamalarının 2011 yılına getirilmiş değerleri	51
Çizelge 6.2:	Araç alımı için yapılan harcamaların 2011 yılına getirilmiş değerleri	51
Çizelge 6.3:	İşletme-bakım için yapılan harcamaların 2011 yılına getirilmiş değerleri	52
Çizelge 6.4:	İşletme gelirlerinin 2011 yılına getirilmiş değerleri	53
Çizelge 6.5:	Geri ödeme oranı tablosu	54
Çizelge 6.6:	Maliyet tablosu.....	55
Çizelge 6.7:	İnşaat harcamalarının 2011 yılına getirilmiş değerleri	55
Çizelge 6.8:	Araç alımı için yapılan harcamaların 2011 yılına getirilmiş değerleri	56
Çizelge 6.9:	İşletme-bakım için yapılan harcamaların 2011 yılına getirilmiş değerleri	56
Çizelge 6.10:	İşletme gelirlerinin 2011 yılına getirilmiş değerleri	57
Çizelge 6.11:	Geri ödeme oranı tablosu	58
Çizelge 6.12:	Maliyet tablosu.....	59
Çizelge 6.13:	Yolcu sayısındaki artış ve azalışlara göre maliyetlerin değişimi (Otobüs maliyet değerleri sabit alınmıştır)	60

LASTİK VE ÇELİK ALAŞIM TEKERLEKLİ METRO ARAÇLARININ TAŞIMA MALİYETLERİ ANALİZİ VE KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Ömer ATİK

Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi

Bu tez çalışmasının amacı, ülkemizde gelişmekte olan raylı sistemlere alternatif olarak düşünülebilecek olan lastik tekerlekli metro sistemlerinin metro sistemi ile karşılaştırılması yapılarak toplu taşıma sistemlerinde maliyet analizi açısından verimliliğinin araştırılmasıdır.

Ülkemizde yaygın olarak kullanılmakta olan otobüs sistemlerinin işletme ve ilk yatırım maliyetleri düşük olsa da özellikle Büyükşehirlerde gerekli konfor ve hizmet düzeyini sağlayamaması, mevcut işletme koşullarında yetersiz kalması ve artan yolculuk taleplerine cevap verememesi, kent yöneticilerini kentiçi toplu taşıma projelerinde raylı sistemlere yöneltmektedir. Raylı sistemler ise çok yüksek yatırım maliyetleri, uzun süren yapım süreleri ve sınırlı erişim alanları gibi problemlerle kısa ve orta vadede sorunlara çözüm olamamaktadır. Bu noktada otobüs ve raylı sistemlerin olumlu yönlerini alıp olumsuz yönlerini gideren lastik tekerlekli metro sistemleri, özellikle kaynak sıkıntısı çeken ve gelişen ülkelerde raylı sistemlere karşı alternatif çözüm yolu olmuştur.

Tez çalışmamda toplu taşıma sistemleri hakkında bilgiler verilmiş, ardından dünyada kullanılan lastik tekerlekli metro sistemleri tanıtılmış ve inşaat aşamasında olan Kadıköy-Kartal metro hattı örnek alınarak metro ve lastik tekerlekli metro sistemlerinin karşılıklı maliyet analizi yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Lastik tekerlekli metro, metroleybüs, toplu taşıma sistemleri, Kadıköy-Kartal metro hattı projesi

COMPARISSION AND CARRYING COST ANALYSISOF RUBBER TIRED AND STEEL ALLOY WHEEL METRO SYSTEMS

SUMMARY

Ömer ATİK

Mechanical Engineering, M.S. Thesis

The purpose of this thesis, devoloping alternatives to rail system could be thought of as a rubber tyred metro system to metro systems and the comparison made in the public transportation systems in terms of cost-effectiveness analysis is to investigate in our country.

In our country, widely used bus system operation and the initial investment cost low even if necessary, especially in metropolitan, comforts and services can not provide the level of current business conditions remain poor, and increased travel demand can not respond to the city administrators urban mass transit projects rail systams directs. Rail systems, can not be a short and medium term solutions to problems because of very high investment costs, construction time and long-lasting problems such as limited access areas. At this point, the positive aspects of bus and rail system to take the rubber-tyred subway system goes negative aspects, especially the shortage of resources in developing countries attract and against rail system has become an alternative solution.

In my thesis some informations has been given about public transportation using in the world and rubber tyred subway systems and conducted the construction phase Kadıköy-Kartal metro line example by taking subway and rubber tyred subway systems of mutual cost analyses.

Keywords : Rubber tyred metro, metroleybus, public transportation, Kadıkoy-Kartal metro line project

1. GİRİŞ

Ulaştırma hizmetleri, ülkelerin sosyolojisi ve kent imar planlarından ayrılamaz. Kentleşme ve kent düzenlemelerinde kent içi ve kent dışı ulaşım sistemleri, yerleşmelerin besleme kanallarıdır.

Ülkeler ve dünya ölçeğinde de ulaştırma, gelişmenin temelidir. Toplum kalkınmasının itici gücü olan bilgi ve kültür yönetiminin, sanat faaliyetlerinin, enerji üretiminin, sanayileşme ve turizm ihtiyaçlarının alt yapısını, ulaştırma sektörü oluşturur.

Ülkelerin gelişmişlik düzeyi ile ulaşım sistemlerinin etkileşimi doğrusaldır. Gelişmiş ülkeler, sadece karayollarını değil bütün taşımacılık sistemlerini, teknoloji ışığında düzene koymuşlardır. Elektrik, temiz su, pis su, yağmur suyu, ısıtma, çöp toplama ve değerlendirme gibi alt yapı ihtiyaçlarını ulaştırma sistemleriyle birlikte tasarlamışlardır.

Yaya ve hayvan sırtında erişimin egemen olduğu dönemde plansız oluşan ve karayolu taşıtlarının etkisi ile bir ölçüye kadar şekillenen kentlerimiz, bugün sürekli artan taşıt trafiği karşısında ulaşım ve dolaşım sorunları ile karşı karşıyadır.

Birçok metropolde olduğu gibi bugün İstanbul'da hala yavaş, hizmet düzeyi düşük, güvensiz, çevreyi kirletici, önemli işgücü ve akaryakıt kayıplarına yol açan, özel aracı olanı ve olmayanı bezdiren, çeşitli açılardan kargaşa içinde, kısaca çağdaş bir kente yakışmayacak bir ulaşımın ve trafiğin hüküm sürdüğünü söylemek yanlış olmayacaktır. Mevcut karayolu altyapısı hızla artan kentin ulaşım talebini karşılamakta yetersiz kalmaktadır. Diğer taraftan kentin coğrafik, tarihsel ve kültürel yapısı, kent merkezleri ve yakın çevresindeki yol ağında genişletme ve iyileştirme olanaklarını kısıtlamaktadır.

Özel aracı ile karayolu altyapısını kullanmak isteyen yolcuların yaşadığı trafik sıkışıklığı problemi, halen dünyanın birçok metropolünde devam eden problemlerden biridir. Bu problemin çözümü, kişilerin ulaşım alışkanlıklarını değiştirerek, toplu taşıma sistemlerinin kullanılmasıyla olacaktır. Dolayısıyla ulaşım talebinin yoğun olduğu koridorlardan başlayarak, yüksek kapasiteli ve yaygın toplu taşıma sistemlerine ağırlık verilmesi gerekmektedir.

Ülkemizde son yıllarda raylı sistemlere önem verilmeye başlanmış olmasına rağmen, henüz ülke geneli için gelinilen nokta yetersizdir. Çok iyi bir raylı sistem ağına sahip olan özellikle gelişmiş batı ülkeleri bu sorunla daha evvel karşılaşmanın da etkisi ile 1950'li yıllara kadar büyük oranda kent içi toplu taşıma sistemi altyapılarını kurmuşlardır. Öncelikle kentin

merkezinde ihtiyacı olan bölgelere yeraltı metro sistemi ve varoş bölgelerine de metro sistemi ile entegre olan banliyö sistemlerini kurmuşlardır. Bu şehirlere örnek olarak, Berlin, Londra ve Paris şehirleri verilebilir.

Mevcut ulaşım altyapılarının yetersiz kalmasının birçok sebebi vardır. Bunların en önemlisi, şehir yönetimleri için ulaşım altyapısı kurmanın, yüklü bir maliyeti olmasıdır. Bununla birlikte kentin nüfus ve alan olarak hızla büyümesi ve buna bağlı olarak özel taşıt sayısındaki artışa karşılık ulaşım altyapısının geliştirilememiş olması da bunlardan biridir. Özetle ülkemizdeki kent yönetimlerinin, konunun önemini çok geç kavramış olması, uzun yıllar köklü çözümler yerine, geçici sonuçlar veren yüzeysel ve ucuz çözümlerin tercih edilmesi, planlamaya önem verilmemesi ve halkçı davranışlar ile maddi yetersizlikler durumun başlıca sebepleridir.

Kentlerdeki nüfus yoğunluğu ve özel araç sayısının artması trafik tıkanıklığı, hava kirliliği, fazla enerji tüketimi, vb. olumsuzlukları da beraberinde getirmektedir. Bu gibi sorunların çözümü, ulaşım ihtiyacının karşılanması ve kentsel gelişimin sağlanması kentiçi ulaştırmanın temel amaçlarındandır. Kentiçi ulaşımın düzenlenmesi için en uygun çözüm yolu toplu taşıma sistemlerine öncelik vermektir.

Bu öncelik dahilinde mevcut toplu taşıma sistemlerine fiziksel, yönetsel ve ekonomik iyileştirmeler yapılmalı ve yeni toplu taşıma sistemleri uygulanmalıdır. Yeni yapılacak toplu taşıma sistemlerinde hangi sistemin olacağına karar vermek için etüt aşaması çok önemlidir. Etüt aşamasında ekonomik, fiziki, teknik ve mali özellikler göz önünde tutularak halkın ihtiyaçlarını karşılayabilecek nitelikte bir sistem tercih edilmelidir.

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

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

Bu çalışmada da, yukarıdaki yaklaşımlar doğrultusunda yeterli olduğu düzeye kadar raylı sistemlere alternatif olarak kullanılabilecek kaliteli, verimli, düşük maliyetli bir çözüm olan

Metroleybüs konusu ele alınmaktadır. Metroleybüs terimi, Bus Rapid Transit (BRT)-Otobüs İle Hızlı Toplu Taşıma karşılığı kullanılmıştır.

1.1. Tezin Amacı

Bu tezin amacı, ilk yapım maliyeti yüksekliği başlıca problemlerinden biri olan raylı toplu taşıma sistemi yatırımlarında, istasyonlarla ilgili fizibilite etüdü çalışmasına esas olacak daha efektif tasarım ve daha sağlıklı maliyet değerlerini elde etmektir. Bu çalışmada amaç; yeni raylı toplu taşıma sistem istasyonları için, yolculuk talep analizi ve diğer tasarım ölçütlerinden faydalanan bir optimizasyon modeli geliştirmektir. Böylece; sistem, hattın düşey profili ve istasyon tipi seçimleri için alternatifleriyle birlikte en uygun öneriyi yapmaktır.

1.2. Literatür Özeti

Bu çalışma kapsamında sistem seçimiyle ilgili dünyadaki toplu taşıma sistemi uygulamaları, işletmeci ve araç üreticisi firmaların internet sayfaları ve konuyla ilgili yazılan kitap ve makaleler takip edilmiştir. Bu çalışmalardan elde edilen ve mevcut tecrübeye dayanılarak denilebilir ki, özellikle ülkemizde mevcut hali hazırdaki sistem seçimleri büyük ölçüde karar verici kurumların yönlendirmesine bağlı olarak yapılmaktadır. Topografyanın farklılığından ve hedeflenen yolcu sayısından dolayı bu seçim parametrelerinin değişmesi gayet normal olmakla birlikte, benzer özellikteki sistemler için aynı parametreleri kullanarak yeni modeller oluşturmaya bu çalışmanın sonraki maddelerinde değinilecektir.

Sistemin türüne göre düşey geometri tasarımına yönelik parametrelerin istasyon tipi seçimine etkisi de bu çalışma kapsamındadır. Dünyada bir çok şehirde yüksek eğimli bölgelerde lastik tekerlekli metro ve tramvay sistemleri uygulanmaktadır. Ülkemizde uygulaması olmayan lastik tekerlekli metro sistemi alternatif sistemlere dâhil edilmiştir.

Bu model önerisinin, çalışmanın hedef yılı için yapılmış olan yolculuk talebini karşılamasıyla birlikte; raylı toplu taşıma sisteminin, maksimum güvenliğini, minimum yapım ve işletme maliyetini ve optimum konfor düzeyini de sağlanması amaçlanmaktadır.



Şekil 1.1: Lastik Tekerlekli Metro Sistemi (Lozan Metrosu)

Sonuç olarak çalışmada, model çalışmalar çerçevesinde, metropollerin ihtiyacı olan uygun raylı sistemlerin, minimum maliyetli ve maksimum verimli olması ve talebe yeterince cevap verebilmesi için uygun çözümler sunulmuştur.

2. KENTİÇİ TOPLU TAŞIMA SİSTEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Kentiçi toplu taşıma sistemlerini birkaç farklı şekilde sınıflandırmak mümkündür. En uygun olanı, sistemlerin önemli ve belirleyici özellikleri göz önüne alınarak yapılandırır. Bu şekilde sınıflandırma yol, sistem teknolojisi ve servis tipi olmak üzere üç temel özelliklerle mümkündür.

Türler, bu özelliklerin her birine göre değişik gruplara ayrılmaktadır. Genel düşüncenin aksine model karakteristiklerini teknoloji değil, performansı ve maliyeti daha güçlü olarak etkileyen yol özelliği belirlemektedir.

2.1. Yol

Toplu taşıma araçlarının üzerinde işletildiği yol şeridini diğer trafikten bağımsızlık derecesine göre sınıflandıran bu özellik Kategori C, Kategori B, Kategori A olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır.

2.1.1. Kategori C

Bu kategoride toplu taşıma araçlarının üzerinde gittiği yol şeridi, diğer trafikle tamamen karışık olabileceği gibi özel şeritler veya uyarı levhaları yardımıyla diğer trafikten ayrılmış da olabilmektedir (Vuchic, 1981).

2.1.2. Kategori B

Toplu taşıma araçlarının üzerinde gittiği yol şeridi fiziksel engellerle (kaldırım taşı, bariyer, demir parmaklık, vb.) boylamsal olarak diğer trafikten ayrılmıştır. Fakat araçların ve yayaların bu şerit üzerinden geçebilecekleri kavşak ve geçitler bulunmaktadır.

2.1.3. Kategori A

Toplu taşıma araçlarının üzerinde gittiği yol şeridi diğer trafikten tamamen ayrılmıştır. Bu ayrılma, tünellerle veya farklı kottaki yol şeritleri ile sağlanmıştır. Diğer taşıtlarla olan karşılaşma çok az ve hat performansını etkilemeyecek şekildedir. Bu kategorideki yollara; tam kontrollü yol, tamamen ayrılmış yol veya özel yol da denilmektedir.

2.2. Sistem Teknolojisi

Sistem teknolojisi, toplu taşıma araçlarının ve yollarının mekanik özelliklerini ifade etmektedir. Mesnet, yönlendirme, itici kuvvet ve kontrol olmak üzere dört önemli elemanı vardır.

2.2.1. Mesnet

Mesnet, araç ile aracın üzerinde gittiği yol şeridi arasındaki düşey temastır. En yaygın tipi; beton, asfalt ve diğer yüzeylerde lastik tekerlek, ray üzerinde ise çelik tekerlektir. Diğer mesnet tipleri; su üzerinde araç gövdesi (gemi, hidrofil), hava yastıkları ve manyetik yükselticilerdir.

2.2.2. Yönlendirme

Bu eleman, araçların ne tarafından yönlendirildiğini belirtmektedir (Vuchic,1981).

Karayolu araçları sürücüler tarafından direksiyonla yönlendirilmekte ve yanal dengesi tekerlek-yol ikilisi tarafından sağlanmaktadır. Raylı sistem araçlarında ise yönlendirme, üzerinde işlediği raylar tarafından yapılmaktadır. Raylı sistem teknolojilerinin diğer sistemlerden farklı bir özelliği, tekerlek-ray ikilisinin hem mesnet hem de yönlendirici özelliğinde olmasıdır.

2.2.3. İtici kuvvet

İtici kuvvet özelliği, toplu taşıma araçlarındaki itici kuvvet tipini ve itici kuvvet aktarma metodunu ifade etmektedir.

a) İtici kuvvet tipi: Dizel, benzinli, elektrikli, gaz türbinli, buhar tesirli, vb. motor tipleriyle ifade edilmektedir.

b) Kuvvet aktarma metodu: Dahili, sürtünme, yapışma, manyetik, tel kablo, vb. şekillerde olabilmektedir.

2.2.4. Kontrol

Sistemdeki bir veya tüm araçların kontrol edilmesini ifade etmektedir. Bu kontrol; elle-görsel, elle-sinyal, tam otomatik veya bunların değişik kombinasyonu şeklinde olabilmektedir. Geleneksel olarak toplu taşıma teknolojileri, mesnet ve yönlendirme özelliklerine göre tanımlanmıştır. Ancak böyle tanımlar otobüsü trolleybüsten, tramvayı metrodan yeteri kadar ayırt edememiştir. Bu iki teknolojik özelliğin yanında itici kuvvet ve kontrol özelliklerinin kullanılmasıyla bütün sistemler istenilen şekilde ve doğru biçimde tanımlanabilme özelliğine sahip olmuştur (Vuchic, 1981).

2.3. Servis Tipi

Toplu taşıma sistemlerinin birçok farklı servis tipleri vardır. Bu tipler; yol ve seyahat tipine, işletme tipine, işletme zamanına göre üç grupta sınıflandırılabilir.

2.3.1. Yol ve seyahate göre sınıflandırma

Yol ve seyahate göre yapılan sınıflandırma kendi arasında kısa mesafeli toplu taşıma, şehir toplu taşıması ve bölgesel toplu taşıma olmak üzere üçe ayrılmaktadır.

- a) Kısa mesafeli toplu taşıma: Merkezi iş alanları, kampüsler, havaalanları ve sergi alanları gibi yüksek yolculuk yoğunluğu olan küçük bölgelerde, düşük hız ile yapılan toplu taşıma türüdür.
- b) Şehir toplu taşıması: En yaygın olan tiptir. Bütün şehirde hizmet verebilmekte ve tüm yol kategorilerinde (Kategori A, Kategori B, Kategori C) işletilebilmektedir.
- c) Bölgesel toplu taşıma: Büyük kentlerde, yüksek hızlı, az istasyonlu uzun yolculuklardan oluşan toplu taşıma türüdür. Banliyö treni ve bazı ekspres otobüs seferleri bu tipe örnek olarak verilebilir.

2.3.2. İşletme tipine göre sınıflandırma

İşletme tipine göre yapılan sınıflandırma kendi arasında yerel servis, ivmelendirilmiş servis ve ekspres servis olarak üçe ayrılmaktadır.

- a) Yerel servis: Her türlü toplu taşıma aracı ile yolcu talebi olması halinde her istasyonda durarak yapılan klasik toplu taşıma servsidir (Vuchic, 1981).
- b) İvmelendirilmiş servis: Gelişmiş toplu taşıma araçları ile önceden belirlenmiş tarifeye göre bazı İstasyonları atlayarak yapılan toplu taşıma servsidir.
- c) Ekspres servis: Her tür toplu taşıma aracı ile sadece birbirine uzak mesafeli İstasyonlar arasında yapılan toplu taşıma servsidir.

2.3.3. İşletme zamanına göre sınıflandırma

İşletme zamanına göre yapılan sınıflandırma kendi arasında tüm gün servisi, pik saat servisi ve tarifesiz servis olarak üçe ayrılmaktadır.

- a) Tüm gün servisi:Günün hemen hemen her saatinde işletilen temel taşıma servsidir ve genelde bütün hatlarda uygulanmaktadır.
- b) Pik saat servisi: Sadece pik saatlerde işletilen toplu taşıma servsidir.
- c) Tarifesiz servis: Özel (spor karşılaşmaları, sergiler, törenler, vb.) veya acil durumlarda (kar fırtınası, sel, vb.) işletilen toplu taşıma servsidir (Vuchic, 1981).

3. SİSTEM VE ARAÇ TASARIM ÖLÇÜTLERİ

3.1. Genel

Bu bölümde dünyada kabul görmüş toplu taşıma sistem işletmelerinin türlerini ve sistemin türü farklılıklarının sebeplerine değinilecektir.

Dünyada yaygın olarak kullanılan karasal toplu taşıma sistemleri şunlardır.

- Metro Sistemleri
 - Çelik tekerlekli
 - Lastik tekerlekli
- Hafif raylı sistemler ve tramvaylar
 - Çelik tekerlekli
 - Lastik tekerlekli
- Otobüs sistemleri
 - Hızlı otobüs sistemleri (Şerit ayrılmış)
 - Otobüs sistemleri (Şerit ayrılmamış)

3.2. Sistemlerin nitelendirilmesi

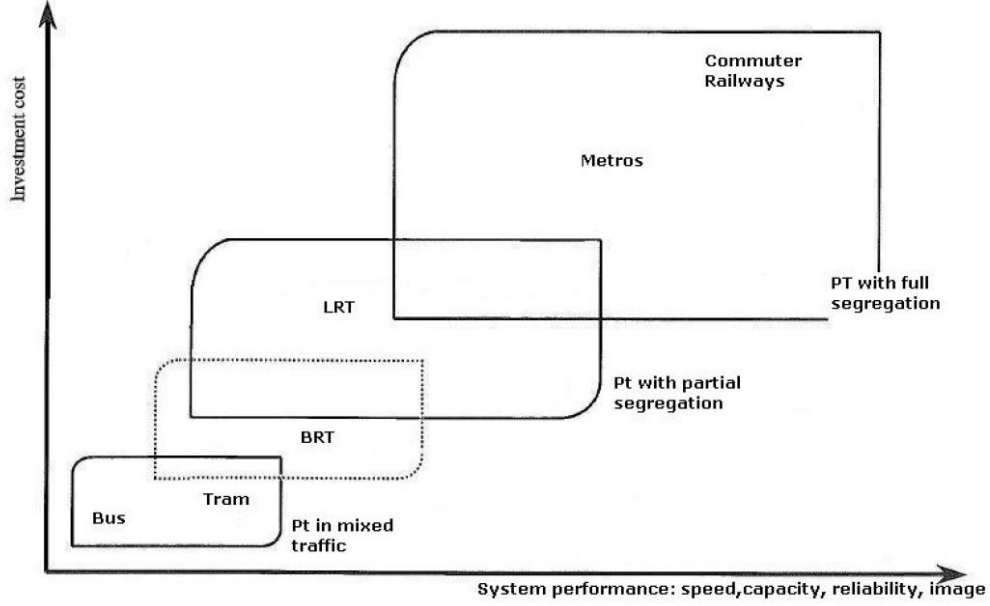
Toplu taşıma sistemlerin nitelendirilmesinde hali hazırda birçok ihtilaf bulunmaktadır. Bu nitelemeler ne yazık ki ülkeden ülkeye değişmektedir. Toplu taşıma sistemlerin yapım kararları, seçim ile yönetime gelen politikacılar tarafından alındığı için sistemin kapasitesi ne olursa olsun, yapılan raylı sistemi metro olarak nitelemek politik bir reklam aracı olmaktadır. Ayrıca ülkelerin kendi şartları da bu nitelemede önemli bir faktördür. Nüfusu az olan ile çok olan şehirler arasında bu tür farklılıklar mevcuttur. Bu sebeple dünyanın bir çok ülkesinde hafif raylı sistemler de metro olarak nitelendirilmektedir.

Toplu taşıma sistemlerinin nitelendirilmesinde ana etken, taşıyabileceği zirve saatte tek yöndeki bir saatlik en büyük yolcu kapasitesidir. Bu yolcu kapasitesine bağlı olarak sistemler nitelendirilmelidir.

Ayrıca şunu da belirtmek gerekir ki bu sistemleri birbirinden, yolcu kapasitesine bağlı olarak kesin ayırmak da pek mümkün değildir. Bunu Şekil 3.1'deki grafikte görebiliriz. Bu grafikte, sistemler birbirine geçen kümeler halinde gösterilmiştir.

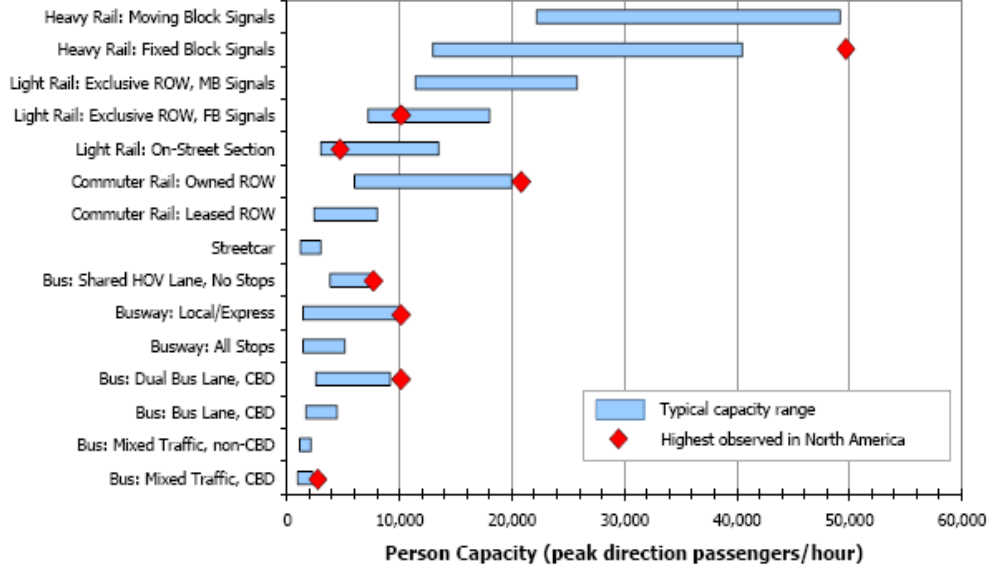
Sistemin inşaat yöntemi de, sistemleri birbirinden ayırmadaki ölçütlerden biri olarak kullanılmaktadır. Yolcu kapasitesi açısından hafif raylı sistem olabilecek bir sistem yer altı veya viyadük gibi yer üstü yapılardan oluşuyorsa bazı şehirlerde metro olarak nitelenmektedir.

Bununla beraber, toplu taşıma sistemlerinin çeşitli sinyalizasyon sistemleri ve trafik uygulamaları ile desteklenerek kapasite artırımı ve dolayısı ile sistem türü değiştirilebilir.



Şekil 3.1: Toplu Taşıma Sistemleri Karşılaştırma Grafiği (Vuchic)

Şekil 3,2’de de Amerikan Ulaşım Araştırmaları Kurumu’nun (TRB) hazırlamış olduğu bir raporda da mevcut sistemlerin yolculukları karşılaştırılmış olup, hafif raylı sistemlerin iyi ve kontrollü sinyalizasyon sistemi ile 10.000 ile 25.000 arasındaki yolcu kapasitesine sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 3.2: Toplu Taşıma Sistemleri Karşılaştırma Grafiği (TRB)

Bütün bu farklılıklara rağmen, tezde sadece yolcu kapasitesine bağlı olarak sistemler birbirinden ayrılacaktır. Yolcu kapasitesi için kabul ettiğimiz sınır değerler 10.000 ve 25.000 (yolcu/yön/saat) dir.

Bu sınır değerlerin üstünde yolcu kapasitesi bulunan sistemleri metro, altında bulunan sistemleri ise hafif raylı sistem olarak nitelendirilecektir. Ayrıca 10.000 (yolcu/yön/saat) altındaki sistemleri tramvay olarak niteleyeceğiz (Dundar, 2009).

3.3. Araç Tasarım Parametreleri

Toplu taşıma sisteminin türü belirlendikten sonra, o sistemde çalışabilecek araç parametreleri de belirlenir. Raylı sistemin kendine ait özelliklerine göre araç tasarımı yapılmalıdır. Bu özellikler aşağıda belirtilmiştir.

- İşletmenin türü
- Yolcu kapasitesi
- Maksimum araç genişliği
- Maksimum eğim
- Sistemin enerji türü (3. ray veya katener gibi)
- Sistemin enerji gücü (750 VDC veya 1500 VDC gibi)

Raylı sistemlerde özellikle araç satın alımı ve bakımının maliyeti yüksek olmaktadır. Günümüzde bir çok yerde, araçları birden çok sistemde kullanabilmek için sistemlerin araçlara dair özellikleri benzer olmaktadır. Özellikle gelişmiş ülkelerde yeni raylı sistemler kurulurken mevcut sistemlere ve araçlara uygun olması istenmiştir. Bu sistemlerde araç alımı yapılırken sistemin gelecek ihtiyacı da hesap edilerek, satın alımı uzun vadelere yayılmıştır. Yeni araç gereksiniminde mevcut araçların daha geliştirilmiş versiyonları temin edilmiştir. Böylelikle ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin ekonomik olması sağlanmıştır.

Raylı sistem araçları kendine benzer bir çok sistemde kullanılabildiği gibi farklı sistemlerde kullanılabilirler. Aynı araç hem metroda hem de tramvayda kullanılabilir. Buna örnek olarak İstanbul M1 metrosu ve T1 tramvayını verebiliriz. Bu sistemlerde aslında metro aracı olan araçlar zorunluluktan dolayı uzun süre tramvay hattında kullanılmıştır. Maddi zorunluluklar dışında bu tarz uygulamalardan kaçınmak gerekir. Bu farklı kullanım araç ömürlerinin daha erken bitmesine neden olmaktadır.

Raylı sistem araçlarına ait tasarım parametreleri belli olduktan sonra raylı sistem projesi uygulamasının diğer safhalarına geçilebilir (Dundar, 2009).

4. GÜZERGAH TASARIM ÖLÇÜTLERİ

4.1. Kapsam

Bu bölümde hat geometrisi tasarımında kullanılan yatay ve düşey olmak üzere geometrik tasarım ölçütleri genel olarak verilecektir.

Bu ölçütler aşağıda özellikleri belirtilen sistemler için kullanılabilir.

- Metro Sistemleri
 - Çelik tekerlekli
 - Lastik tekerlekli
- Hafif raylı sistemler ve tramvaylar
 - Çelik tekerlekli
 - Lastik tekerlekli

4.2. Standartlar

Raylı toplu taşıma sistemlerinin güzergah tasarımı ile ilgili uluslararası standartlar ve bu standartlardan faydalanılarak elde edilen ölçütler aşağıdadır.

Raylı sistemlerin güzergah tasarımında aşağıdaki kurumların standartları kullanılmalıdır.

- Türk Standartları Enstitüsü (TSE)
- TS-12127 Şehir içi yollar-Raylı Taşıma Sistemleri (Bölüm 1: Yeraltı İstasyon Tesisleri Tasarım Ölçütleri)
- T.C. Ulaştırma Bakanlığı Demiryolları Limanlar Havaalanları Yapım Genel Müdürlüğü (DLH)
- Hafif Raylı Sistem Kriterleri
- Diğer Uluslararası Standartlar
- UIC Standartları
- ENV 13803-1 Railway applications - Track - Track alignment design parameters - Track gauges 1435 mm and wider - Part 1 [7]
- Track Design Handbook for Light Rail Transit , TRB 57, Transportation Research Board, USA, 2000
- British Railway Track –Design, Construction And Maintenance Sixth Edition 1993

4.3. Genel

Hat tasarım ölçütleri oluşturulurken, fiziksel kısıtlardan doğan teknik gerekliliklerin yanı sıra yolcu konforu da dikkate alınmalıdır. Birbirini takip eden kurbular arasındaki alinyman boyları, en düşük kurb yarıçapları ve uygulanan dever miktarları yolcu konforunu mümkün olduğunca en az etkileyecek şekilde tasarlanmalıdır.

Burada verilen tasarım ölçütleri çelik tekerlekli metro sistemleri içindir. Aşağıdaki ölçütlere göre yapılan yatay ve düşey tasarım diğer sistemlerde de çalışır. Diğer sistemlerle ilgili farklar kısmen belirtilecektir (Dundar, 2009).

4.4. Yatay Düzeyde Geometrik Tasarım Ölçütleri

Bir demiryolu hattının yatay geometrisi alinyman ve buna bağlı dairesel kurb ve geçiş eğrilerinden oluşur. Metro sistemleri için genelde cari (ana) hatta maksimum hız 80 km/sa, depo alanında ise 25 km/h tir. Her ne kadar proje hızı 80 km/h alınsa da, dairesel kurlardaki kabul edilebilir maksimum hız maksimum dever miktarı olan 160 mm'ye göre hesaplanmalıdır. Hafif raylı sistemler için maksimum hız, ihtiyaca göre daha da az alınabilir. Ayrıca ihtiyaca göre metro sistemleri için daha yüksek hızlara göre de proje hazırlanabilir.

4.4.1. Hatlar arası mesafe

Raylı toplu taşıma sistemleri genelde çift hat olarak inşa edilir. Bu hatlar arası mesafe, eğer hatlar çift tüp tünel kavramına göre projelendirilecekse tünel yapı güvenliği sınır değerleri, tek tüp veya havai yapı veya hemzemin olarak çift hat tasarlanacaksa araç ölçülerine ve yapı temiz açıklıkları dikkate alınarak hesaplanmalıdır.

4.4.2. Alinyman

Metro sistemleri için hatların minimum alinyman uzunluklarının 4.1 formülünü kullanılarak hesaplanması gerekmektedir ve mümkün olan durumlarda alinyman uzunluğu 30 m'nin altına düşmemelidir.

$$L = 0,50 V \quad (4.1)$$

Yukarıdaki formülde;

L = Minimum alinyman uzunluğu (m).

V = Proje hızı (km/saat).

Metro sistemleri için istasyon peronlarının planlamasında, peronlardan önce ve sonra, kullanılan araç tipleri göz önüne alınarak bir araç modül uzunluğu kadar bir mesafenin alınıp bırakılması gerekmektedir (Dundar, 2009).

4.4.3. Dairesel Kurplar

Dairesel kurplar yarıçaplarına göre değerlendirilmektedir. Geniş yarıçaplı kurplar konforlu yolculuğu mümkün kılmaktadır. Küçük yarıçaplı kurplar ise proje hızı ve maksimum deyer yüksekliği dikkate alınarak belirlenmelidir ancak, bu değer metro sistemlerinin ana hattı için çok zor şartlar dışında 250 m den küçük olmamalıdır. Hafif raylı sistemlerde ise bu değer sistemine göre değişmekle birlikte 30 m den daha az olmamalıdır (Dundar, 2009).

Aynı zamanda depo sahasında kullanılacak en küçük kurb yarıçapı metro sistemleri için 50 m, hafif raylı sistemler için 25 m olacaktır.

Minimum dairesele kurb uzunluğu proje hızının yarısı kadar olmalıdır.

$$L = V/2$$

(4.2)

L= Min kurb uzunluğu (m)

V=Proje hızı (km/h)

4.4.4. Birleşik ve Ters Kurplar

Mümkün olduğunca birleşik kurlardan kaçınılması gerekmektedir. Ancak fiziksel ve işletme kısıtlarından dolayı mecbur kalınması durumunda aynı yöndeki iki veya daha fazla dairesele kurbun geçiş eğrileri ile bağlanması gerekir. Hat tasarımında ters kurb istenmeyen bir durumdur ancak yapılması zorunlu hallerde iki kurbun arasındaki en kısa mesafe 35 m veya; her iki dairesele kurb uzunluklarının toplamının yarısına eşit veya daha büyük olmalıdır.

4.4.5. Dever

Dever bir kurbda merkezkaç kuvveti yenebilmek için dış raya verilen yükseklik fazlası olarak tanımlanmaktadır. Merkez kaç kuvveti tamamen karşılamak için gerekli teorik dever aracın hızı ile orantılıdır. Dever, istasyon ve depo hatlarında gerekli değildir. Uygulanabilir en yüksek dever miktarı 160 mm geçmemelidir.

Hat kesimleri için hesaplanmış proje hızları ve 4.3 formülü kullanılarak teorik dever hesaplanabilir.

$$dt = 11,82 V^2 / R \quad (4.3)$$

Formülde,

dt = Teorik dever (mm)

V = Proje hızı (km/saat)

R = Kurb yarıçapı (m)

Zor şartlar söz konusu olduğu zaman ve taşıt hızı proje hızından fazla ise ya da teorik dever maksimum dever olan 160 mm'yi aşıyorsa, teorik dever formülü kullanılarak uygun bir yanal ivme ile azaltılabilir.

$$du = (11,8 V^2 / R) - 152 Y \quad (4.4)$$

Formülde,

du = Uygulanan dever (mm)

V = Proje hızı (km/saat)

R = Kurb yarıçapı (m)

Y = Uygulanan yanal ivme (m/sn^2)

Uygulanan yanal ivme'nin $0,85 (m/sn^2)$ 'yi geçmemesine özen gösterilir, ancak zorunlu hallerde maksimum yanal ivme $1,0 (m/sn^2)$ alınabilir (Dundar, 2009).

4.4.6. Geçiş eğrisi (Klotoid)

Alinymandan yarıçapı 1600 m den küçük dairesel bir kurba geçişte yolcu konforunu ve araç stabilitesini en az etkileyecek yumuşak bir geçiş için geçiş eğrisi uygulaması yapılmalıdır.

Hat kesimlerindeki dairesel kurbaların alinymanlara bağlanması amacıyla geçiş eğrileri kullanılmalıdır, minimum klotoid boyları 4.5 ve 4.6 formülleri kullanılarak hesaplanır (Dundar, 2009).

$$L G = 0,38 * d \quad (V < 50 \text{ km/saat}) \quad (4.5)$$

$$L G = 0,008 V * d \quad (V > 50 \text{ km/saat}) \quad (4.6)$$

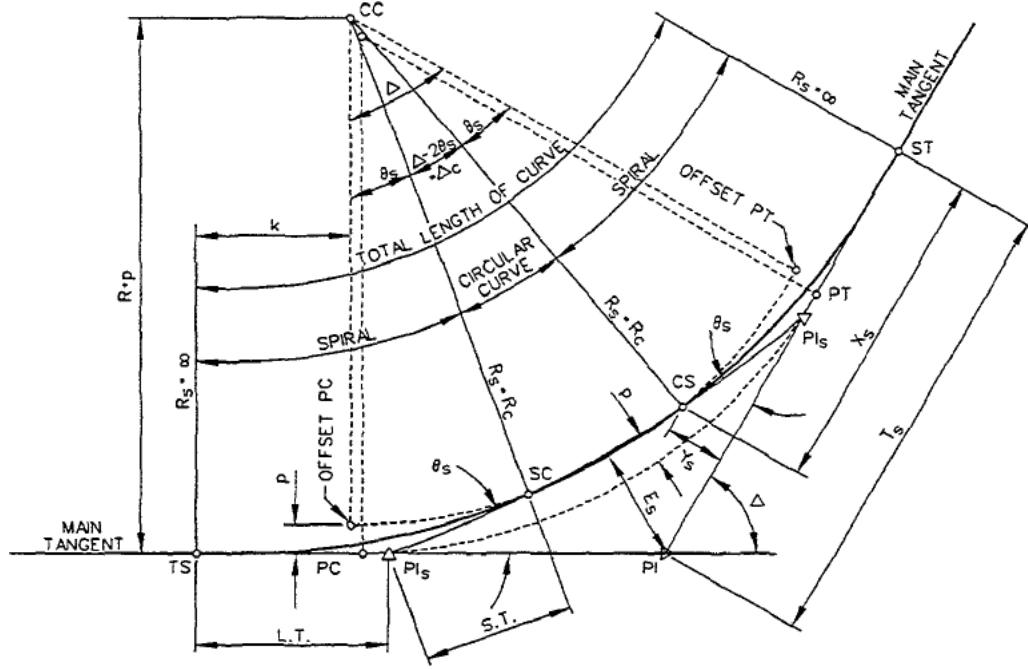
Formüllerde;

$L G$ = Minimum klotoid boyu (m).

d = Dairesel kurbda uygulanan dever (m).

V = Proje hızı (km/saat).

Geçiş eğrisi boyu hiç bir zaman 30 m'nin altına düşürülmemelidir.



Şekil 4.1: Yatay Kurp ve Geçiş Eğrisi Geometrisi

4.4.7. Eğimler

Raylı sistem hattının düşey profilinin tasarımında kullanılacak eğim ölçütleri hat ve istasyon bölgesinde farklılıklar göstermektedir. Tasarımda kullanılması gereken bu ölçütler aşağıda anlatılmıştır.

4.4.8. İstasyon Bölgesi Eğimi

İstasyon peronlarından bir araç boyu mesafeye kadar eğim değiştirilmemelidir. Tüm sistemler için tercih edilen eğim % 0.2 dir.

- Metro Sistemleri
 - Çelik tekerlekli sistemlerde istasyonlarda ise kabul edilebilir en büyük eğim %1 dir.
 - Lastik tekerlekli sistemlerde ise genellikle yüksek eğim yapılabilirliğinden dolayı tercih edildiği için % 6-8 'e kadar eğimler kullanılabilir.

- Hafif raylı sistemler ve tramvaylar
 - Çelik tekerlekli sistemlerde istasyonlarda kabul edilebilir en büyük eğim % 2-4 dür.
 - Lastik tekerlekli sistemlerde genellikle yüksek eğim yapılabilirliğinden dolayı tercih edilmekte ve burada % 6-8 ‘e kadar eğimler kullanılabilir (Dundar, 2009).

4.4.9. İstasyon Dışındaki Hat (Geçki) Eğimi

Raylı sistemlerin istasyon dışındaki hatlarının eğim ölçütlerinde, sistemlerin kabiliyetleri açısından büyük farklılıklar vardır. Mesela, hat düşey geometrisi arasında büyük eğim gerektiren bölgelerde lastik tekerlekli sistemler tercih edilmeye başlanmıştır (Dundar, 2009).

- Metro Sistemleri
 - Çelik tekerlekli sistemlerde en büyük eğim % 4,5 dur.
 - Lastik tekerlekli sistemlerde ise genellikle yüksek eğim yapılabilirliğinden dolayı tercih edilmekte ve % 12‘ye kadar eğimler kullanılabilir.
- Hafif raylı sistemler ve tramvaylar
 - Çelik tekerlekli sistemlerde ise kabul edilebilir en büyük eğim ise % 8.5 tur.
 - Lastik tekerlekli sistemlerde genellikle yüksek eğim yapılabilirliğinden dolayı tercih edilmekte ve % 15 ‘e kadar eğimler kullanılabilir.

4.4.10. Düşey Kurplar (Dönemeçler)

Burada verilen tasarım ölçütleri çelik tekerlekli metro sistemleri içindir. Aşağıdaki ölçütlere göre yapılan düşey tasarım diğer sistemlerde de çalışır. Diğer sistemlerle ilgili farklar kısmen belirtilecektir. Eğimde olabilecek bütün değişiklikler parabolik bir eğri ile yapılmalıdır (Dundar, 2009).

4.4.11. Yarıçap ve Uzunluk

Hat eğiminde değişiklikler olması halinde, mümkün olduğu kadar büyük dairesel düşey kurbplar kullanılmasına özen gösterilmelidir (Dundar, 2009). Zorunlu durumlarda $R \geq 1000$ m olmak kaydıyla, en küçük düşey kurb yarıçapı 4.7 formülü ile hesaplanabileceği gibi,

$$R = L_{cv} / (0,01 \times (g_1 - g_2)) \quad (4.7)$$

$$R = 0.175V^2 \quad (4.8)$$

Dubai Metrosu için hazırlanan ‘Design Criteria of Alignment ‘ çalışma kitabında geçen 4.8 formülü de kullanılabilir

R = Düşey kurb yarıçapı (m)

V = Proje hızı (km/saat)

Düşey kurb uzunlukları için istenen değer 4.9 formülü ile elde edilir.

$$L = 60 \times (g_1 - g_2) \quad (4.9)$$

$$L = 30 \times (g_1 - g_2) \quad (4.10)$$

Önerilen en küçük uzunluk için istenen değer 4.10 formülü ile elde edilir.

Minimum düşey kurb eğrisinin uzunluğu (developman boyu) 60 m alınmalıdır.

Mutlak minimum tepe ve dere düşey kurb uzunlukları ise 4.11 ve 4.12 formülleri ile elde edilir.

$$L_{cv} = V^2 \times (g_1 - g_2) / 215 \quad \text{Tepe düşey kurb} \quad (4.11)$$

$$L_{cv} = V^2 \times (g_1 - g_2) / 387 \quad \text{Dere düşey kurb} \quad (4.12)$$

Formülde,

L_{cv} = Düşey kurb uzunluğu (m)

$(g_1 - g_2)$ = Eğimler arasındaki farkın cebrik toplamı

4.4.12. Kapasite

Kentsel ulaşım türlerini en belirgin biçimde birbirinden ayıran özelliklerden birisi de sistemlerin saatlik yolcu taşıma kapasiteleridir. Bir saatte bir yönde taşınabilecek yolcu sayısı olarak tanımlanan kapasite, sistemdeki her bir taşıtın yolcu kapasitesinin, taşıtların doruk saatteki doluluk oranlarının, işletme hızının, iki taşıt arası sürenin ve bir izden bir saatte geçebilen taşıt sayısının işlevidir. Ancak karayolu altyapısını ortaklaşa kullanan sistemlerde (otobüs, minibüs) karşılıklı etkileşme nedeniyle kapasite kurumsal değerlere erişemeyebilir. Ayrıca sistemlerin işletildiği ülke veya kentin özgün koşulları da pratik kapasite de belirleyici olmaktadır. Bu nedenle verilen sistem kapasitelerine kesin değer gözüyle bakmamak gerekmektedir (Elker, 2002). Sistemlerin işletme hızları ve kapasiteleri

Çizelge 4.1’de verilmiştir (Öncü, 1978; Elker, 1981; Armstrong-Wright, 1986; Evren, 1996).

Çizelge 4.1: Kentiçi Ulaşım Sistemlerinin İşletme Hızları ve Kapasiteleri

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

4.4.13. Enerji Tüketimi

Enerji açısından dışa bağımlı ülkelerde, enerji tüketimi özelliği sistem seçiminde göz önüne alınması gereken birincil konulardandır. Sistemlerin farklı enerji türleriyle çalışmaları karşılaştırma yapmayı zorlaştırmaktadır. Bu zorluk birçok araştırmacı tarafından ortak birimler (kcal, vb.) kullanılmasıyla aşılmıştır (Elker, 1981).

Enerji tüketimi yerel koşullara göre farklılıklar göstermektedir. Ulaştırma Bakanlığı Ulaştırma Koordinasyon İdaresi (UKİ)’nin çalışmalarına göre Türkiye koşullarında kentsel ulaşımında yolcu-km başına kcal olarak enerji tüketimi yaklaşık olarak raylı sistemlerde 85, otobüslerde 105, dolmuşlarda 275, otomobillerde 550’dir. Buna göre raylı sistemlerde tüketilen enerji 1 olduğunda otobüste 1.24, dolmuşta 3.24, otomobilde 6.47 olmaktadır (Evren, 1996).

Çizelge 4.2’de verilen yolcu-km başına enerji tüketim miktarları dört uluslar arası araştırmanın ortalamalarını yansıtmaktadır. Otobüs, tren, metro, tramvay gibi toplu taşıma sistemlerinin az ve birbirine yakın düzeyde enerji tükettiği, otomobilin tüketiminin ise bu sistemlerin beş katından fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca tüketilen enerjinin yalnız niceliği değil, niteliği de önemli olmaktadır. Petrol üretmeyen ülkelerde, enerji tüketimi aynı olan sistemler arasından akaryakıtlı çalışmayanlarının tercih edilmesi doğaldır (Elker, 1981).

Çizelge 4.2: Ulaşım Sistemlerinin Yolcu-Km Başına Enerji Tüketimi (Tren=100)

Sistem Tipi	Enerji Tüketimi
Otomobil	515
Dolmuş	241
Minibüs	134
Otobüs	96
Tramvay	112
Metro	97
Tren	100

4.5. Ekonomik Özellikler

Ulaşım sistemlerinin ekonomik özellikleri denildiği zaman akla ilk gelen yatırım ve işletme maliyetleridir. Ancak zaman zaman bu maliyetler içindeki dış ödeme oranı ve istihdam edilen işçi sayısı da önem kazanan etmenler olabilmektedir. Ayrıca taşınacak yolcu sayısının da maliyetler üzerinde etkisi bulunmaktadır. Yolculuk talebinin az olduğu durumlarda düşük kapasiteli sistemler daha verimli olabilirken, yolcu sayısı arttıkça yüksek kapasiteli sistemler ekonomik olmaktadır. Türlerin kullanıcıya, işleticiye ve kamuya maliyeti de farklıdır.

4.5.1. Yatırım maliyeti

Yatırım maliyetleri; altyapı yapım giderleri, kamulaştırma giderleri, istasyon yada istasyon yapım giderleri, taşıt alım giderleri, depo ve tamirhane gibi sabit tesis giderleri, haberleşme ve sinyalizasyon sistemlerinin yapım giderleri, etüt ve mühendislik hizmetleri giderleri ve önceden tahmin edilemeyen diğer giderlerden oluşmaktadır.

Sistemlerin yatırım giderleri ülkeden ülkeye, kentten kente, hatta kentin bir bölgesinden diğerine değişme göstermektedir (Elker, 2002). Yatırım maliyetlerinin yaklaşık değerleri Çizelge 4.3'te verilmiştir (Levinson, ve ark., 2003; Wright, 2004).

Çizelge 4.3: Kentiçi Toplu Taşıma Sistemlerinin Yatırım Maliyetleri

Sistem Tipi	Maliyeti (Milyon ABD Doları / km)
Özel Otobüs Yolu	3-13
Hafif Raylı Sistem	13-40
Metro (Hemzemin-Viyadük)	30-100
Metro (Yeraltı)	45-320

Yolcu sayısının artması veya azalmasıyla ve taşıtların doluluk oranlarının değişmesiyle kişi başına düşen maliyetlerde önemli farklılıklar meydana gelmektedir (Elker, 2002).

Çizelge 4.4'teki değerler sistemler arası karşılaştırmada en anlamlı ölçüt olan “bir kişiyi bir kilometre taşımının maliyeti” bazında verilmiştir (Gümüsoğlu,1996).

Çizelge 4.4: Kentiçi Toplu Taşıma Sistemlerinin Yolcu-Km Cinsinden Maliyetleri

Sistem Tipi	Yolcu-Km Cinsinden Maliyet (ABD Doları)
Özel Otomobil	0,12-0,24
Minibüs	0,02-0,10
Otobüs (Karışık Trafik)	0,02-0,05
Otobüs (Özel Otobüs Şeritleri)	0,02-0,05
Otobüs (Tahsisli-Özel Otobüs Yolu)	0,05-0,08
Tramvay	0,03-0,15
Hafif Raylı Sistem	0,10-0,15
Metro	0,10-0,25

4.5.2. İşletme maliyeti

İşletme maliyetleri; enerji giderleri, personel giderleri, bakım-onarım giderleri ve diğer işletme giderlerinden (yönetici-yardımcı personel, bilet basım, büro, vb.) oluşmaktadır. İşletme maliyetleri temel olarak üç ana grupta toplanabilir:

1. Mesafeye bağlı işletme maliyetleri: Araçların enerji, bakım ve onarım masraflarını içeren maliyetlerdir. Araç filosu tarafından kat edilen toplam yol için hesaplanır. Birimi araç-km’dir.
2. Zamana bağlı işletme maliyetleri: Çalıştırılan personel giderleri gibi zamana bağlı maliyetlerdir. Araç filosunun toplam işletildiği zaman için hesaplanır Birimi araç-saat’tir. Mesafe ve zamana bağlı işletme maliyetlerine değişken maliyetler denir.
3. Yola bağlı işletme maliyetleri: İstasyonların, sinyalizasyon sisteminin, enerji iletim hatlarının ve yolların bakım, onarım giderlerini içeren işletme maliyetleridir. Kilometre başına günlük veya yıllık olarak hesaplanır. Birimi yol km-gün veya yol km-yıl’dır. Çizelge 4.5’te bazı toplu taşıma sistemlerinin işletme maliyetleri verilmiştir (Armstrong-Wright, 1986).

Çizelge 4.5: Kentiçi Toplu Taşıma Sistemlerinin Birim İşletme Maliyetleri (ABD Doları)

İşletme Maliyetleri	Otobüs	Hafif Raylı Sistem	Metro
Mesafeye Bağlı Maliyetler (Araç-Km)	0,30-0,50	1,00-1,50	0,90-1,40
Zamana Bağlı Maliyetler (Araç-Saat)	12-18	8-12	8-13
Yola Bağlı Maliyetler (Yol Km-Gün)	2-20	150-200	600-900

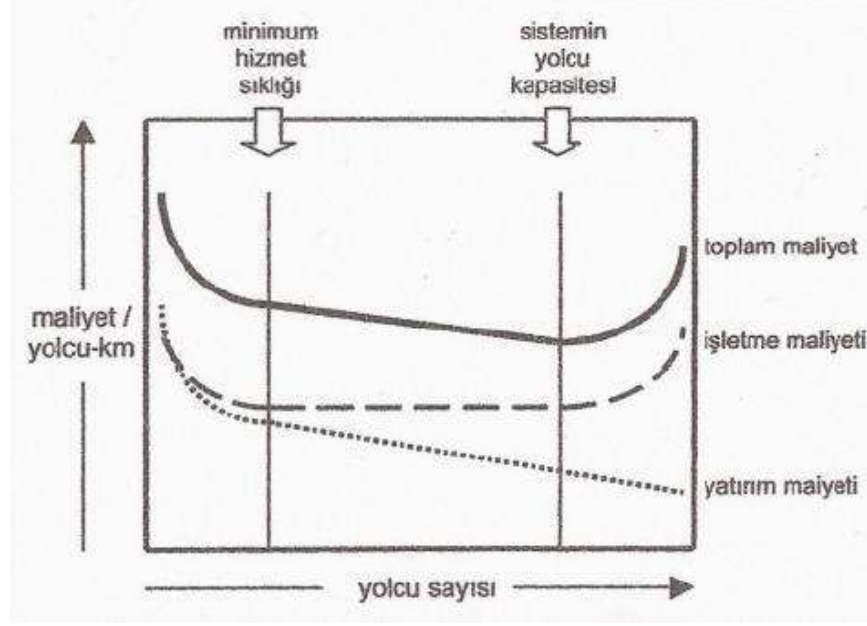
İşletme maliyetlerinde bir başka kriter olan yolcu-km cinsinden maliyetler Çizelge 4.6'da verilmiştir. Bu çizelgedeki değerler incelendiğinde otomobilin işletme maliyetinin toplu taşıma sistemlerine göre bir hayli fazla olduğu, tren ve metro sisteminin ise toplu taşıma sistemleri içerisinde en az işletme giderine sahip olduğu görülmektedir (Elker, 1997).

Çizelge 4.6: Kentiçi Ulaşım Sistemlerinin Yolcu-Km Cinsinden İşletme Maliyetleri

Tür (Otobüs = 100)	İşletme Giderleri
Otomobil	852
Minibüs	378
Otobüs	100
Tramvay	66
Metro	24
Tren	26

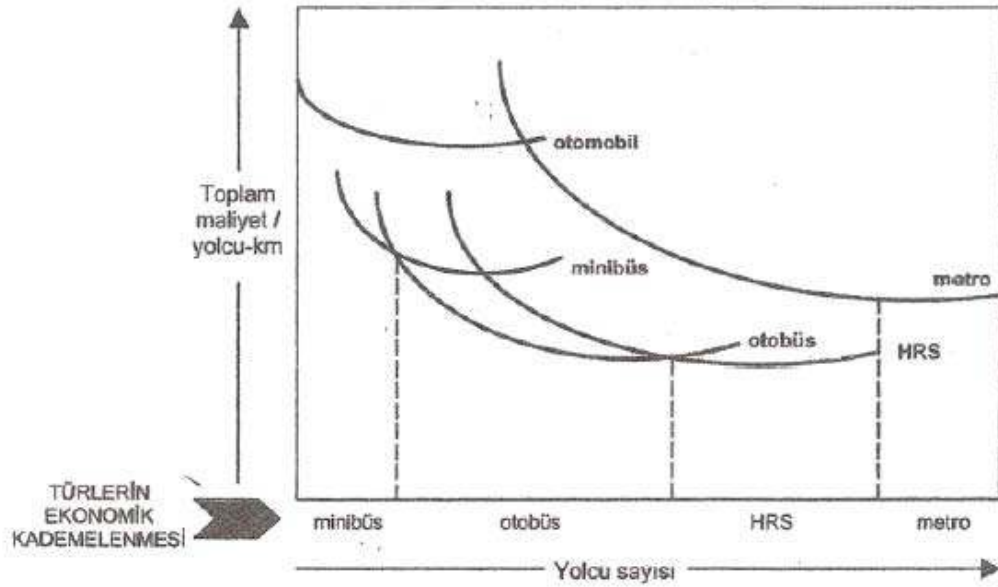
4.5.3. Yolcu sayısı-maliyet ilişkisi

Maliyetler için verilen sayısal değerler, yerel koşullara göre değişme göstermelerinin yanı sıra yolcu sayısına göre de farklılaşmaktadırlar. Bir önceki çizelgelerde verilen maliyetler sistemlerin en verimli çalıştıkları yolculuk koşullarındaki değerlerdir. Ancak, bilinmektedir ki bütün sistemlerde, yolcu-km başına maliyetler yolcu sayısı arttıkça düşmektedir. Sistemlerin, kapasitelerinin üstünde çalışma durumlarında ise ortaya çıkan verimsizlikler nedeniyle yolcu-km maliyetinde yeniden yükselme meydana gelmektedir. Şekil 4.2'de bu ilişki görülmektedir (Elker, 2002).



Şekil 4.2: Kentiçi Toplu Taşıma Sistemlerinde Yolcu Sayısı-Maliyet İlişkisi

Bütün sistemlerde biçimsel olarak benzerlik gösteren maliyet eğrileri sistemlerin özelliklerine göre farklı değerler almaktadır. Hatta bu değerler kentlere, kentlerin farklı bölgelerine ve işleticilere göre de değişiklik göstermektedir. Bu değişimler özellikle ortalama doluluk oranları, işletici örgüt yapısı ve işletme türündeki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, sistemleri yolcu-km başına düşen toplam maliyetleri (yatırım+işletme) açısından karşılaştıran Şekil 4.3'te maliyetler ve yolcu sayıları için ölçek vermekten özellikle kaçınılmıştır. Ancak, söz konusu şekil, ekonomik özellikleri açısından sistemler arasında bir kademelenme olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Taşınacak yolcu sayısı arttıkça sistemlerin maliyet eğrileri kesişmekte ve en düşük maliyet bir sistemden daha yüksek kapasiteli diğerine geçmektedir. Otomobil hiçbir toplu taşıma sisteminin kullanılmayacağı kadar düşük talep koşullarında ekonomik olmakta, yolculuk talebi arttıkça sırasıyla minibüs, otobüs ve HRS ekonomik taşıma yapabilmekte, metro ise yüksek yatırım maliyeti nedeniyle, diğer sistemlerin yetmediği durumlarda kullanılabilmektedir (Elker, 2002).



Şekil 4.3: Kentiçi Toplu Taşıma Sistemlerinin Ekonomik Karşılaştırması

4.5.4. Diğer ekonomik özellikler

Toplu taşıma sistemlerinin özellikleri arasında dış ödeme oranları önemli bir yer tutmaktadır. Yatırım ve işletme maliyetlerini oluşturan öğelerden her biri farklı oranlarda dış ödeme gerektirmektedir. Ülkemizin koşullarında dış ödeme oranı, yatırım maliyeti içinde daha çok yüksek teknoloji gerektiren sistemlerde, işletme maliyeti içinde ise petrol enerjisi kullanan türlerde fazladır.

Bir sistemin gereksinme duyduğu işgücü miktarı da kuşkusuz önemli bir ekonomik göstergedir. Taşıt ya da kilometre başına düşen personel sayısı aynı sistem için örgüt yapısı ve işletme biçimine bağlı olarak farklı ülke ve kentlerde büyük değişimler göstermektedir. Minibüs ve özel kesim otobüs taşıması gibi bireysel girişim ve küçük işletme ölçeğindeki sistemlerde taşıt başına işgücü sayısı çok düşükken, kamu toplu taşıma işletmelerinde örgütlenme gereksinimi arttığından bu sayı yükselmektedir (Elker, 2002). Metro ve HRS gibi otomasyonun kullanıldığı türlerde ise istihdamı azaltma olanağı vardır. Ülkelerin ekonomik koşullarına bağlı olarak, bazen istihdamın azlığı, bazen de çokluğu tercih edilmektedir (Elker, 2002).

4.6. İşletme Özellikleri

4.6.1. Sıklık (servis frekansı)

Sıklık, taşıtların bir noktadan geçiş aralıklarını ifade eder. Araçların geçiş sıklığı ne kadar yüksek olursa yolcuların istasyonda bekleme süresi de o kadar azalmaktadır. Bu yüzden sıklık, kullanıcılar açısından en çok aranan özelliklerden birisidir. Ancak büyük kapasiteli taşıtlar için sıklığın küçük alınması her zaman mümkün olmayabilir (Kutlu, 1975). Çizelge 4.7’de bazı türlerin taşıt/saat cinsinden en büyük sıklık değerleri verilmiştir (Evren, 1996).

Çizelge 4.7: Kentiçi Ulaşım Türlerinin En Büyük Sıklık Değerleri

Tür	En Büyük Sıklık (taşıt/saat)
Otomobil	1.500
Otobüs	120
Tramvay	120
Hafif Raylı Sistem	90
Metro	40
Tren	30

4.6.2. Konfor

Konfor, sistemlerin tercih edilmesini etkileyen önemli bir etkidir. Taşıtların sarsıntısız, gürültüsüz olması, oturma olasılığının yüksekliği, iniş-biniş ve bilet alma-ödeme düzeninin rahatlığı, aktarmaların zahmetsiz olması, istasyon aralıklarının sık, yürüme mesafelerinin az olması gibi özellikler sistemlerin konforunu artıran öğelerdir (Elker, 2002).

4.6.3. Güvenilirlik

Güvenilirlik, taşıtların arıza yapma, kaza yapma, tarife uymama vb. sebeplerden dolayı gecikmeye maruz kalmadan seferlerini zamanında tamamlayabilme özelliğidir. Ulaşım sistemi içindeki her aksama giderek artan bir oranda kentsel ulaşım ağına yayılmakta ve topluma yüksek maliyetler yükleyecek biçimde yolcuların ve ülkenin kayıplara uğramasına sebep olmaktadır. Bu yüzden güvenilirlik özelliği önemli bir etkidir (Evren, 1978).

4.6.4. Güvenlik

Ulaştırma sistemlerinin güvenliği, kaza riskinin ve diğer tehlikelerin olmamasını ifade etmektedir. Kaza olasılığı, toplu taşıma sistemlerinin fiziksel özerklikleriyle ters orantılıdır. Fiziksel özerkliği yüksek olan, yani diğer sistemlerden bağımsız işletilen türlerde kaza/yolcu-km oranı daha düşüktür. Fiziksel özerklik azaldıkça kaza olasılığı artmaktadır. Sistemleri kaza olasılığına göre en azdan en çoğa doğru, tren, metro, HRS, otobüs, minibüs ve otomobil

şeklinde sıralamak mümkündür (Elker, 1981).

Kentiçi toplu taşıma sistemlerinde kaza riskinin yanında güvenliği tehdit eden, yangın, teknik arızalar, kundaklama, sabotaj, doğal afetler gibi faktörler de vardır. Yeraltında işletilen metro sistemleri kaza riski bakımından güvenli olmalarının yanı sıra güvenliği etkileyen diğer faktörler bakımından tehlikeli sistemlerin başında gelmektedir (Mollamahmutoğlu ve Asiloğulları, 1999). Kentiçi toplu taşıma sistemlerinin kaza riskine göre güvenlik durumları Çizelge 4.8’de verilmiştir (Kaplan, 1997).

Çizelge 4.8: Kentiçi Toplu Taşıma Sistemlerinin Kaza Riskine Göre Güvenlik Durumları

Tür	Güvenlik Durumu
Otobüs (Karışık Trafik)	Orta
Otobüs (Tahsisli Şerit)	Orta
Otobüs (Özel Otobüs Yolu)	İyi
Tramvay	Orta
Hafif Raylı Sistem	İyi
Metro (Yüzeyde)	İyi
Metro (Viyadükte)	Çok İyi
Metro (Tünelde)	Çok İyi

4.7. Çevresel Özellikler

4.7.1. Hava kirliliği

Kentiçi ulaşım sistemlerinin çevresel etkilerinin başında hava kirliliği gelmektedir. Yakıt olarak petrol ürünlerini kullanan karayolu sistemleri kent içinde en büyük kirleticidirler. Raylı sistemler ise elektrik enerjisiyle çalıştıklarından işletilmesi sırasında pratik olarak hava kirliliği oluşturmazken elektrik enerjisinin elde edilmesi sırasında bir miktar hava kirliliği meydana getirirler. Ancak bu kirlilik karayolu taşıtlarına göre çok azdır.

Petrol ürünleri kullanan karayolu taşıtlarının meydana getirdikleri egzoz gazları, kentlerin hava kalitesinin düşmesine neden olan ana faktördür (Ergün vd., 1999). Bu taşıtlarda kullanılan temel maddenin hidrojen ve karbon olması nedeniyle, yakıtın yanması sonucunda Karbon monoksit (CO), Hidrokarbon (HC), Azot oksit (NOx) ve Partikül Madde (PM) gibi insan sağlığına ve çevreye zararlı maddeler oluşmaktadır. Karayolu sistemlerinin kullanımı ve raylı sistemlerin enerji üretimi sırasında oluşan hava kirlilik miktarları Çizelge 4.9’da verilmiştir (Ergün vd., 1999).

Çizelge 4.9: Kentiçi Ulaşım Sistemlerinin Meydana Getirdiği Kirlilik Miktarları

Tür	CO	HC	NO _x	PM
Otomobil (Benzin)	14,40	2,50	2,40	0,01
Otomobil (Dizel)	1,40	0,30	0,00	0,18
Otobüs	0,60	0,50	0,90	0,20
Raylı Sistem	0,06	0,03	0,43	0,08

4.7.2. Gürültü

Ulaşım sistemlerinin önemli çevresel etkilerinden biri olan gürültü, insan sağlığını ve algılamasını olumsuz yönde etkilemektedir. Gürültü kirliliği, birçok gelişmiş ülkede diğer kirlilik türlerine göre daha yaygın bir tür olarak, kişisel ve toplumsal yaşam kalitesinde genel bir düşüklüğün göstergesi olarak kabul edilmektedir.

Taşıtların oluşturduğu gürültü düzeyi; yoldan mesafe, taşıt hızı, trafik hacmi, yolun alçakta veya yüksekte olması, bitki örtüsü, eğimlerin dikliği, istinat duvarları, araç cinsi, gürültü perdeleri, araç motorunun büyüklüğü gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir (Can, 2001).

Gürültü düzeyi, otomobilde 72 dB(A), otobüs, tramvay ve trende 90 dB(A) dolaylarındadır. Raylı sistemlerde, titreşimler de gürültü kadar rahatsız edici olmaktadır. Titreşim ve gürültü düzeyini indirmek amacıyla, altyapı malzemelerinin, rayların, tekerleklerin ve vagonların yapımında yeni teknikler uygulanmaktadır (Keskin, 1992).

4.7.3. Çevreye uyum

Kentlerin özgün koşulları nedeniyle, bir kent için doğru ve geçerli olan toplu taşıma sistemi bir diğerinde uygun olmayabilir ya da en azından uygulamada zorluklar ile karşılaşılabilir. Örneğin, topografik koşullar ağır raylı sistemlerin yapılabilirliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Engebeli bir arazi üzerinde kurulu bir kentte raylı sistemler ve özellikle metro sistemi yapılması son derece pahalıya mal olmaktadır.

Tarihi özelliği olan kentlerde estetik ve çevreye uyum daha da önem kazanmaktadır. Bu tür kentlerde tarihsel çevrenin taşıtlar tarafından en az rahatsız edilmesi gerekmektedir. Metro, yüzeyde geniş yaya alanlarının oluşturulmasını kolaylaştırdığından iyi bir çözüm olmaktadır (Elker, 2002).

5. METROLEYBÜS SİSTEMİ

Metroleybüs, raylı sistemin konfor ve düzenlilik, otobüs sisteminin esneklik ve düşük maliyet gibi olumlu yönlerini birleştirip her iki sistemin olumsuz yönlerini gidererek yüksek sayıda yolcuya hitap edebilen lastik tekerlekli toplu taşıma sistemidir (Wright, 2002). Metroleybüs, özellikleri nedeniyle çeşitli yerlerde, Yüksek Kapasiteli Otobüs Sistemi, Yüksek Kaliteli Otobüs Sistemi, Ekspres Otobüs Sistemi, Lastik Tekerlekli Yüzeysel Metro ve Hızlı Otobüs Taşımacılığı (BRT) gibi isimlerle de anılmaktadır (Wright, 2004).

Klasik tahsisli otobüs yolu sisteminin otobüs teknolojileriyle modernize edilmesiyle ortaya çıkan Metroleybüs sistemleri, yeterli olduğu düzeye kadar raylı sistemlere alternatif olarak kullanılabilir kaliteli, verimli ve düşük maliyetli yeni bir yaklaşımdır (Wright ve Fjellstrom, 2002).

Getirdiği konfor ve hizmet düzeyi ile kullanıcılar üzerinde olumlu izler bırakan, raylı sistem gibi planlanıp raylı sistem gibi işletilen, yapımı kolay, kısa sürede gerçekleştirilen ve düşük yatırım gereksinmesi olan Metroleybüs, özellikle kaynak sıkıntısı çeken gelişmekte olan ülke kentleri için kitlesel ulaşım cevap verebilen pratik bir çözümdür.

Metroleybüs, mevcut güzergahta yapılan karayolu ve trafik düzenlemeleri ile karma taşıt trafiğinden ayrılarak raylı sistem kalitesine eşdeğer iyileştirmeler ile önemli adette yolcuyu üzerine çekebilmektedir. Dünyanın birçok ülkesinde uygulanmakta olan bu etkin sistem uygulandığı kentlerde olumlu sonuçlar vermektedir (Acar, 2005).

Ayrılmış yollar, sinyal ve kavşak öncelikleri, istasyon ve hat düzenlemeleri, sefer planlaması, ücret toplama sistemi, çevre dostu, konforlu ve güvenli özel üretim araçlar, akıllı ulaşım sistemleri ve diğer sistemlerle entegrasyon gibi kendine has özellikleri olan Metroleybüs sistemleriyle, kentlilere hızlı, etkin, ucuz, konforlu ve güvenli toplu taşımacılık hizmeti sunulmaktadır (Levinson, ve ark., 2003).

5.1. Metroleybüs Sisteminin Elemanları

Metroleybüs sistemi de diğer sistemler gibi değişik parçaların birleşmesinden oluşmaktadır. Sistemin özelliklerini oluşturan önemli elemanları şu şekilde sıralamak mümkündür:

- Yol
- Yönlendirici (Kılavuz) Sistem
- İstasyonlar
- Araçlar
- Ücret Toplama Sistemi

- Akıllı Ulaşım Sistemleri (ITS)
- Servis ve İşletme Planları

5.1.1. Yol

Metroleybüs araçlarının üzerinde işlediği yolu ifade eden ve sistemin hız, emniyet, güvenilirlik ve maliyet gibi özelliklerini doğrudan etkileyen önemli bir elemandır (Diaz, ve ark., 2004). Araç genişlikleri genelde 2,6 m olduğundan şerit genişlikleri de 3,5 m civarında inşa edilmektedir. Kavşaklarda araçların kesişmesini önleyen alt ve üst geçitler yapılabilmektedir (Wright, 2004).

Metroleybüs yollarının en belirgin özelliği diğer trafikten tamamen ayrılmış olmasıdır. Bu da sisteme hız, emniyet, güvenilirlik ve verimlilik özelliği kazandırmaktadır. Metroleybüs yollarını; yol izleriyle, fiziksel engellerle ve özel yollar yardımıyla olmak üzere üç farklı şekilde diğer trafikten ayırmak mümkündür (Diaz, ve ark., 2004).

5.1.1.1. Yol izleriyle ayrılma

Metroleybüs yolları şeritler ve renkli asfalt yardımıyla diğer trafikten ayrılmıştır. Ayrılan şeritler trafik akımı yönünde veya akıma ters olarak düzenlenebilmektedir. Diğer araçların bu şeridi kullanması trafik işaretleriyle ve polis zoruyla engellenmektedir. Ancak bu engellemelere rağmen akım yönünde düzenlenmiş izlerde bazı özel otomobiller bu şeritlere girerek performansı olumsuz etkilemektedirler. Akıma ters yöndeki uygulamalar ise bu sorunu büyük ölçüde azaltmaktadır (Diaz, ve ark., 2004). İzler yardımıyla diğer trafikten ayrılmış yol tipine örnek Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.1: Eugene, Oregon (ABD) Yol İzleriyle Ayrılmış Metroleybüs Hattı

5.1.1.2. Fiziksel engellerle ayrılma

Metroleybüs yolları kaldırım taşı, bariyer, yükseltilmiş kenar gibi fiziksel engellerle diğer trafikten ayrılmıştır. Diğer araçların ayrılmış yola girememesi ve düşük maliyetli olması sebebiyle en uygun yol tipidir (Diaz, ve ark., 2004). Fiziksel engeller yardımıyla diğer trafikten ayrılmış yol tipine örnek Şekil 5.3 ve Şekil 5.4’te verilmiştir.

Yol izleriyle ve fiziksel engellerle diğer trafikten ayrılan Metroleybüs yolları bulundukları cadde üzerinde farklı konumlarda olabilmektedir. Alternatif konumlar aşağıda sıralanmıştır.

- **Cadde ortasında çift yönlü yol:** En yaygın olarak kullanılan yol tipidir. Yollar tek veya iki şeritli olabilmektedir. Özel taşıtların kenardaki konut ve işyerlerine erişmesi, yan yollara sapması kolayca gerçekleşmektedir. İstasyon ve ayraçların cadde ortasında olmasından dolayı geniş bir yol kesitine ihtiyaç duyulmaktadır (Wright, 2004). Bu tip yol konumuna örnek Şekil 5.3 ve Şekil 5.4’te verilmiştir.



Şekil 5.2: Bogota Trans Milenio Fiziksel Engellerle Ayrılmış Metroleybüs Yolu



Şekil 5.3: Quito Ecovia (Ekvator) Fiziksel Engellerle Ayrılmış Metroleybüs Yolu

- **Cadde kenarında çift yönlü yol:** Yol en kesitin daha dar olduğu yerlerde kullanılan bu tip yollarda yolun olduğu kenardaki parsellere erişim ve yan yollara dönüş zor olmakta, yayaların geçitlerde alışık olmadıkları yönlerde dikkat etme zorunluluğu artmaktadır (Wright, 2004).

- **Cadde kenarında akıma paralel yol:** Bu tip yollar yol izleriyle ayrıldıklarından ve İstasyonlar kaldırım genişliğinden yararlanarak yapıldığından dolayı daha az yer kaplamakta, maliyeti düşük olmakta ve daha kısa sürede uygulanmaktadır. Ancak yollar fiziksel engellerle ayrılmadığından dolayı şerit ihlalleri gerçekleşmekte ve verim azalmaktadır (Levinson, ve ark., 2003). Bu tip yol konumuna örnek Şekil 5.1’de verilmiştir.

- **Cadde kenarında akıma ters yönlü yol:** Metroleybüs sistemlerinde zorunluluk olmadıkça kullanılması uygun olmayan yol konumlarından birisidir. Bu tip yollarda otobüslerin akıma ters yönde hareket etmesinden dolayı yayalara çarpma biçimindeki kaza riski artmaktadır.

Metroleybüs sistemlerinde tek tip yol konumu kullanılabileceği gibi uygun olan bir kaç tip yol konumu birleştirilerek de kullanılabilmektedir (Wright, 2004).

5.1.1.3. Özel yollarla ayrılma

Metroleybüs yolları tüneller veya farklı kottaki yollar ile diğer trafikten ayrılmıştır. Maliyeti diğer yol tiplerine göre çok yüksektir. Ayrıca yapım süreleri uzun zaman almaktadır. Bu yüzden zorunluluk olmadıkça yapılması uygun görülmemektedir (Diaz, ve ark., 2004). Özel yollarla diğer trafikten ayrılmış yol tipine örnek Şekil 5.4’te verilmiştir.



Şekil 5.4: East Busway Pittsburgh (ABD) Özel Otobüs Yolu

5.1.2. Yönlendirici (kılavuz) sistem

Metroleybüs araçlarının yollarda rahat kontrolü için sürücüye yardımcı olarak kullanılan sistemlerdir. Dar yollarda, düşük yarıçaplı zor dönüşlerde, istasyonlara yanaşma ve ayrılma esnasında sürücülere büyük kolaylık sağlamaktadır. Mekanik, görsel ve elektromanyetik olarak üç farklı uygulama şekli vardır (Diaz, ve ark., 2004).

5.1.2.1. Mekanik yönlendirici

Yol üzerinde uygulanan ve mekanik olarak kılavuzlandırma sağlayan sistemdir. İki farklı tip mekanik yönlendirme uygulaması mevcuttur. Bunlardan birincisinde, tekerleklerin üzerinde işlediği kısım beton L profil şeklinde diğer zeminden yükseltilmekte ve araçların yanlarında bulunan küçük çelik tekerlekler ile mekanik yönlendirme sağlanmaktadır. Aynı sistem beton L profiller yerine raylar üzerinde de uygulanabilmektedir. Sürücü direksiyonla kumanda yapmamakta sadece gaza ve frene basmaktadır (Wright, 2002). Çabuk ivme kazanması, daha fazla güvenlik, yol genişliklerinin dar olması gibi avantajlarının yanında, yapım maliyetlerinin fazla oluşu, esneklik özelliğinin kaybolması, sadece özel otobüslerin kullanılabilmesi ve belirlenen hız sınırlarının aşılammaması gibi dezavantajları mevcuttur (Wright, 2002). Mekanik yönlendiricili sistem örneği Şekil 5.5 ve Şekil 5.6’da, mekanik yönlendirme yanal tekerleği örneği Şekil 5.8’de verilmiştir.

a)



b)



Şekil 5.5: a),b) O-Bahn, Adelaide (Avustralya) Mekanik Yönlendiricili Sistem



Şekil 5.6: Mannheim (Almanya) Ray Üstü Yerleştirilmiş Mekanik Yönlendiricili Sistem



Şekil 5.7: Mekanik Yönlendirme Yanal Tekerleği

Diğer tip mekanik yönlendirme uygulamasında ise, yol ortasına tek ray döşenerek kılavuzlandırma sağlanmaktadır. Araçlar, hem lastik tekerlekli hem de tek ray üzerinde hareket edecek şekilde dizayn edilmiştir (Levinson, ve ark., 2003). Tek raylı sistemde de diğer mekanik yönlendirme sistemine benzer olarak kolay kullanım, sağlamlık, daha fazla güvenlik ve yol genişliklerinin dar olması gibi avantajlarının yanında yatırım maliyetlerinin yüksek olması ve esneklik özelliğinin kaybolması gibi dezavantajları bulunmaktadır (Levinson, ve ark., 2003). Tek ray ile mekanik yönlendirme sağlayan sistem örneği Şekil 5.9 ve Şekil 5.10’da verilmiştir.



Şekil 5.8: Padova (İtalya) Tek Raylı Metroleybüs Sistemi

5.1.2.2. Görsel yönlendirici

Görüntüye duyarlı işaret okuyucu özel sensörler araç üzerine yerleştirilmekte ve yol üzerindeki işaretlere duyarlı olarak çalışmaktadır. Araç, bu sensörler sayesinde belirlenen güzergahın dışına çıkmadan hareket etmektedir. Genelde kullanılan görsel yönlendirici tipi, yolun ortasına çizilen iki şeritli çizgi ve bu çizgileri takip eden sensör şeklindedir.

Araç başına görsel yönlendirici sensör maliyeti 11.500-134.000 Amerikan Doları arasında değişmektedir (Diaz, ve ark., 2004). Görsel yönlendiricili sistem örneği Şekil 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5.9: Nancy (Fransa) Görsel Yönlendiricili Metroleybüs Sistemi

5.1.2.3. Elektromanyetik yönlendirici

Bu tip yönlendirme sistemi yola yerleştirilen elektromanyetik tel veya mıknatıs ve araçlara monte edilen elektromanyetik algılayıcıdan oluşmaktadır. Bu sistem sayesinde araçlar belirlenen yön ve noktalarda hareket etmektedir. Yola yerleştirilen elektromanyetik sensör km başı 12.500 Amerikan Dolarına, araçlara monte edilen elektromanyetik algılayıcılar ise araç başı 50.000-95.000 Amerikan Dolarına mal olmaktadır (Diaz, ve ark., 2004).

5.1.3. İstasyonlar

İstasyonlar, Metroleybüs araçları, yolcular ve diğer sistemler arasında kritik bir bağlantı kurmakta ve farklı özellikleriyle sisteme yeni bir kimlik kazandırmaktadır. Metroleybüs

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.

İstasyonlar; kolay ve hızlı iniş binişi sağlayacak şekilde düzenlenmeli, konforlu olmalı, ara mesafeleri uygun ve yerinde olmalı, biniş öncesi ücret ödemeye uygun olarak dizayn edilmeli, yaya olarak ulaşanlar için yürüme mesafesi az olmalı, araç ile ulaşanlar için park et bin uygulamalarına imkan vermeli, yolcular için gerçek zamanlı bilgilendirme panosu bulundurulmalı ve gereken yerlerde aktarma yapmaya uygun olmalıdır. İstasyon tipi işlevsel özelliğinin yanında görüntü olarak da önem teşkil etmektedir. Modern ve güzel görünümlü İstasyonlar sistemin görsel güzelliğini artırmaktadır.

Normal yolcuların, sakat ve görme engelliler gibi toplumun bir kesimini kapsayan yolcuların, pazar arabası, sakat arabası ve çocuk arabası ile binen yolcuların rahat, kolay ve hızlı inip binmesi için araç basamaklarının platform yüzeyiyle aynı seviyede olması istenmektedir (Diaz, ve ark., 2004). Bu yüzden platform yüksekliği aracın düşük ya da yüksek döşemeli olma durumuna göre değişmektedir. Platform yüzeyi ile araç basamaklarının aynı seviyede olması iniş binişten kaynaklanan istasyonda bekleme süresini azaltarak sistemin işletme hızını ve verimliliğini önemli ölçüde artırmaktadır (Diaz, ve ark., 2004).

Metroleybüs sisteminde istasyonlar arası mesafe 300-1000 m, istasyon genişlikleri 2,5-5 m arasında olabilmektedir. Platform uzunluğu işletme şekline ve araç uzunluğuna bağlı olarak belirlenmektedir. İstasyondan geçen hat sayısına ve işletme şekline göre gerekiyorsa istasyonlarda ayrı bölüm, cep ve şerit fazlalaştırma yapılarak araçların birbirini geçmesine izin verilmektedir (Wright, 2004). Bazı Metroleybüs projelerinde kullanılan istasyon tipleri Şekil 5.10 ve Şekil 5.11’de verilmiştir.



Şekil 5.10: Curitiba (Brezilya) Metroleybüs Durağı



Şekil 5.11: Bogota Trans Milenio 1. Aşama (Kolombiya) Metroleybüs Durağı

5.1.4. Araçlar

Metroleybüs araçları, özel olarak tasarlanmış, yüksek kapasiteli, konforlu, çevre dostu, hızlı, düşük veya yüksek döşemeli, estetik özellikli ve güvenli araçlardır. Araçlar, geleneksel otobüs

görünümünde veya raylı sistem araçlarına benzeyen modern görünümde olabilmektedir. Araçlar yolcu sirkülasyonunun hızlı ve rahat olarak yapılacağı şekilde dizayn edilmiştir.

Dizel, doğalgaz (CNG), sıvılaştırılmış gaz (LPG), hibrit (dizel-elektrik, benzin - elektrik, LPG-elektrik veya CNG-elektrik), elektrik, hidrojen (hücreli yakıt) gibi farklı yakıt türleriyle çalışan motor seçenekleri mevcuttur.

Diğer toplu taşıma sistemlerinde olduğu gibi Metroleybüs sisteminde de araçlar, hız, kapasite, çevresel etkiler, konfor, güvenlik ve maliyetleri doğrudan etkilemektedir. Araçların, konforlu (rahat ve sarsıntısız), hızlı, yatırım ve işletme maliyetleri (yakıt, bakım vd.) düşük, çevresel etkileri (gürültü, hava kirliliği ve görüntü) olumlu ve güvenli olması istenen özelliklerdendir. İşleticiler, yolcular ve yolcu olmayanlar için araçlar ayrı özelliklerine göre önem teşkil etmektedir. İşleticiler tüm özelliklere göre değerlendirme yaparken, yolcular hız, konfor, güvenlik ve çevresel özelliklere göre, yolcu olmayanlar ise sadece çevresel özelliklere göre araçların iyi olmasını istemektedirler (Diaz, ve ark., 2004).

Metroleybüs uygulamaları kapsamında körüklü (iki parçalı) ve iki körüklü (üç parçalı) araçlar kullanılabilmektedir. Körüklü araçların boyları ortalama 18 metre, kapasiteleri 120-170 kişi, iki körüklü araçların boyları ise ortalama 24 metre, kapasiteleri 240-270 kişi arasındadır. Günümüzde daha yüksek kapasiteli 24-27 metre arasında uzunluğa sahip araçlar da mevcuttur (Wright, 2004).

Geleneksel otobüslerde ömür 12-15 yıl arasında iken özel olarak üretilmiş Metroleybüs araçlarının ömrü 18-25 yıl arasındadır (Levinson, ve ark., 2003). Metroleybüs projelerinde kullanılan bazı araçlar ve özellikleri maddeler halinde verilmiştir.

5.1.4.1. APTS-Phileas 80

APTS-Phileas 80 aracının resmi Şekil 5.12’de, özellikleri de Çizelge 5.1’de verilmiştir (Weststart-CALSTART, 2005).



Şekil 5.12: APTS-Phileas 80 Aracı

Çizelge 5.1: APTS-Phileas 80 Aracının Özellikleri

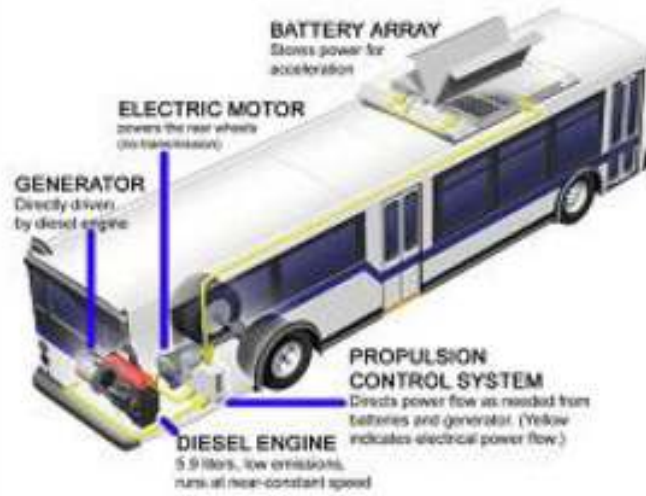
Uzunluk (m)	:	18,15
Genişlik (m)	:	2,55
Yükseklik (m)	:	3,1
Oturan Yolcu Kapasitesi	:	37
Ayakta Yolcu Kapasitesi (4 kişi/m ²)	:	67
Toplam Yolcu Kapasitesi	:	104
Motor Yakıt Türü	:	Hibrit (dizel-elektrik, LPG-elektrik, CNG-elektrik)
Döşeme Türü	:	Düşük
Mevcut Olan Akıllı Ulaşım	:	Araç takip sistemi
Teknolojileri	:	Otomatik yolcu sayacı
	:	Yolcu bilgilendirme sistemi
	:	Sinyal öncelik sistemi
	:	Elektromanyetik yönlendirme sistemi (80 km/sa hıza kadar)
	:	Durağa tamamen yanaşmayı sağlayan sistem
Diğer Özellikler	:	Daha fazla konfor ve rahatlık
	:	Hibrit yakıttan dolayı ekonomik tüketim, düşük gürültü, çevre dostu emisyon değerleri
Kullanıldığı Sistemler	:	Eindhoven, Hollanda
Fiyatı	:	1,1 - 1,3 milyon €

5.1.4.2. Translohr

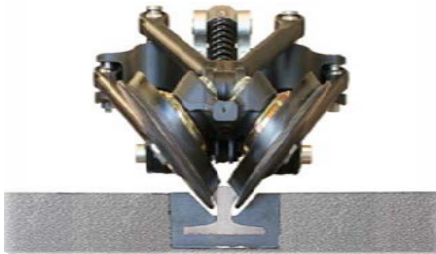
Lastik tekerlekli ve tek raylı mekanik yönlendiricili Translohr aracının resmi Şekil 5.28’de, özellikleri de Çizelge 5.13’te verilmiştir (http://www.lohr.fr/download/Translohr_GB.pdf, 05.01.2010).



Şekil 5.13: Translohr Aracı (STE₄)



Şekil 5.14: Elektrik tahrikli Metroleybüs aracının çalışma prensibi



Şekil 5.15: Translohr Aracı Mekanik Yönlendirici Sistemi

Çizelge 5.2: Translohr STE5 Aracının Özellikleri

Model	:	STE 4	STE 5
Uzunluk (m)	:	32	39
Genişlik (m)	:	2,2	
Yükseklik (m)	:	2,89	
Toplam Yolcu Kapasitesi	:	218	273
Motor Türü	:	Elektrik-Dizel	
Döşeme Türü	:	Düşük	
Fiyatı	:	1,1 - 1,3 Milyon €	
Kullanıldığı Sistemler	:	Clermant-Ferrand, Fransa, Padova, İtalya L'Aquila, İtalya, Venice, İtalya	

5.1.5. Ücret Toplama Yöntemi

Ücret toplama yönteminde amaç, araçların durakta bekleme süresini azaltarak sistemin işletme hızını ve verimini artırmak, ücret ödemedi kaçak olarak binmek isteyen yolcuları engellemektir. Metroleybüs sistemlerinde ücret toplama işlemi, biniş öncesi ödemeye göre dizayn edilmiş ve durağa girişte turnike yardımıyla sağlanmaktadır. Ancak bazı durumlarda araca binişte de ücret toplama işlemi yapılabilir. Bilet tipi, hızlı ödemeye ve aktarmaya imkan veren teknolojiye sahip manyetik tip kartlı bilet veya akıllı bilet şeklinde olabilmektedir. Ayrıca ücret toplama yöntemi hakkında yolcular kitle iletişim araçları yardımıyla bilgilendirilmektedir. Ücret toplama yöntemi, sistemin yatırım maliyetlerine (teçhizat, kitle iletişim araçları çeşidi, vb.) ve işletme maliyetlerine (işçi, bakım) etki etmektedir. Teknolojik özelliklere sahip ücret toplama sisteminde yatırım ve işletme maliyetleri yükselmekte bununla birlikte işletme hızı ve verimi önemli ölçüde artmaktadır (Diaz, ve ark., 2004).

5.2. Metroleybüs Sisteminin Özellikleri ve Diğer Sistemlerle Kıyaslanması

5.2.1. Genel özellikler

Metroleybüs, klasik tahsisli otobüs yolunda hizmet veren sistemin iyileştirilmesiyle raylı sistemlere eşdeğer kalitede bir sistem olmuştur. Söz konusu sistemler arasındaki fark ve benzerlikler genel özelliklere göre Çizelge 5.3'te özetlenmiştir (Acar, 2005).

Çizelge 5.3: Metroleybüs, Raylı Sistem, Otobüs Yolu Sistemlerinin Fark ve Benzerlikleri

ÖZELLİKLER	OTOBÜS	METROLEYBÜS	RAYLI SİSTEM
FİZİKİ ÖZELLİKLER			
Ayrılmış Koridor	Kısmen	Tamamen	
Yaya ve Diğer Taşıtlar İle Kesişmeler	Öncelik Kuralı	Sinyal ile Öncelik / Kesişmesiz Katlı Çözümler	
İstasyon / Durak Tasarımı	Standart	Biniş Öncesi Bilet Ödemeye / Kolay ve Hızlı Seyahat	
Yer altı / Yerüstü Seyir	Tamamen Yeryüzü	Tamamen / Kısmen Yeraltı	
FİLO ÖZELLİKLERİ			
Araçlar	Standart Solo / Körüklü Klasik Otobüsler	Özel Tasarımlar ve Çevre Dostu Teknolojiler	Raylı Sistem Araçları
İŞLETME ÖZELLİKLERİ			
İstasyon / Durak Sıklığı	Otobüs Standardı	Raylı Sistem Standardı	
İstasyon / Durak Kalitesi	Standart	Raylı Sistem Standardı	
Koridor, Hat Yapısı	Tüm Hatlara Açık	Sadece Ana Hatlara Açık	
Sefer Sıklığı	Tüm Hatlara Açık Olduğu İçin Seyrek	5-10 Dakikada Bir Hat	
Terminal Kalitesi	Standart	Aktarmayı Özendirici	
Bilet Teknolojisi	Standart	Aktarmaya İzin Veren Hızlı Ödeme Teknolojisi	
İstasyon / Duraktan Geçen Hat Sayısı	Serbest	Sadece 2-3 Hat	
Düzenlilik Takibi (Zaman Tarifesine Uyma)	Serbest	Gerçek Zamanlı Merkezi Kontrol	
Yolcu Bilgilendirme Sistemi	Gerekli Değil	Gerçek Zamanlı Merkezi Kontrol	
Müşteri Memnuniyeti	İşletme İyi İse Vasat	Yüksek	

5.2.2. Esneklik

Metroleybüs sistemleri raylı sistemlerden farklı olarak uygulama ve işletmede büyük esneklikler göstermektedir. Nüfustaki ve planlardaki değişmeye bağlı olarak mevcut sistemin geliştirilmesine, değiştirilmesine ve yeni güzergah yapılmasına imkan vermektedir. Ancak mekanik yönlendiricili Metroleybüs sistemlerinde esneklik raylı sistemlerdeki gibidir, bu yüzden mekanik yönlendiricili Metroleybüs sistemleri değişme ihtimali bulunmayan hatlarda uygulanmalıdır (Wright ve Fjellstrom, 2002).

5.2.3. İşletme hızı

Diğer trafikten ayrılan ve hız artırıcı özel önlemlerle (akıllı ulaşım sistemleri, durak ve araç düzenlemeleri, vb.) desteklenen Metroleybüs sistemlerinde işletme hızı 20-30 km/sa arasındadır (Wright ve Fjellstrom, 2002). İşletme hızına önemli ölçüde etki eden araçların durakta bekleme süresi, Metroleybüs sistemlerinde pik saatlerde 20-40 saniye, diğer saatlerde 17-30 saniyedir (Wright, 2004).

5.2.4. Kapasite

Metroleybüs sistemleri, güncel uygulamalarda da görüldüğü gibi hafif raylı sistemlerle başa baş giderek bir yönde bir saatte yaklaşık 36.000 yolcu taşıyabilmektedir. Metroleybüs sistemlerinde yüksek kapasite aşağıdaki özelliklerin bir işlevidir (Wright, 2004).

- Araçların yolcu kapasitesi
- Araç sayısı
- İki taşıt arası süre ve bir izden bir saatte geçebilen taşıt sayısı (sıklık)
- Taşıtların doluluk oranları
- İşletme hızını artırıcı teknik ve teknolojiler (Akıllı ulaşım sistemleri, hızlı bilet ödeme teknolojisi, platform yüzeyi, vb.)
- Durak yapısı (Aynı zamanda birkaç servise hizmet verebilme)
- Servis ve işletme yapısı
- Sistemin müşteri çekiciliğini artırıcı özellikler (güvenlik, konfor, ucuzluk)
- İşletilen ülke ve kentin özgün koşulları

Bazı Metroleybüs ve raylı sistem projelerinde sağlanan yolcu kapasiteleri Çizelge 5.4'te ve Metroleybüs sistemleri için pratik kapasite hesaplama tablosu çizelge 5.5'te verilmiştir. Düzeltme faktörü araçların doluluk durumuna göre pik saatlerde 0,80-0,90, diğer saatlerde 0,65-0,80 arasında alınmaktadır (Wright, 2004).

Çizelge 5.4: Bazı Metroleybüs ve raylı sistem projelerinde sağlanan yolcu kapasiteleri

Hat	Sistem	Sağlanan Yolcu Kapasitesi
East Line, Sao Paulo	Metro	60.000
BTS, Bangkok	Metro	50.000
Line B, Mexico	Metro	39.300
La Moneda, Santiago	Metro	36.000
Victoria Line, London	Metro	25.000
Sky Train, Bangkok	Metro	22.000
Line D, Buenos Aires	Metro	20.000
Line E, Buenos Aires	Metro	5.000
Putra, Kuala Lumpur	Hafif Raylı Sistem	30.000
İzmir	Hafif Raylı Sistem	24.000
Tunus	Tramvay	13.400
Trans Milenio, Bogota, Colombia	Metroleybüs	36.500
9 de Julho, Sao Paulo, Brazil	Metroleybüs	34.911
Recife Caxanga, Brazil	Metroleybüs	29.800
Assis, Port Alegre, Brazil	Metroleybüs	28.000
Farrapos, Port Alegre, Brazil	Metroleybüs	25.600
Belo Horizonte, Brazil	Metroleybüs	21.100
Eixo Sul, Curitiba, Brazil	Metroleybüs	15.100
Trolleybus, Quito, Ecuador	Metroleybüs	15.000
Goiania, Brazil	Metroleybüs	11.500
Transitway, Ottawa, Canada	Metroleybüs	10.000

Çizelge 5.5: Metroleybüs Sistemleri İçin Pratik Kapasite Hesaplama Tablosu

Araç	Düzeltilme	Servis	Saatte	İşletilen servis ve	Kapasite
160	0,85	1	60	1	8.160
270	0,85	1	60	1	13.770
160	0,85	1	60	2	16.320
270	0,85	1	60	2	27.540
160	0,85	1	60	3	24.480
270	0,85	1	60	3	41.310
160	0,85	1	60	4	32.640
270	0,85	1	60	4	55.080
160	0,85	1	60	5	40.800
270	0,85	1	60	5	68.850

5.2.5. Maliyetler

Maliyetler, yatırım ve işletme maliyetleri olarak iki ana başlık altında toplanabilmektedir.

5.2.5.1. Yatırım maliyeti

Yatırım maliyetlerini; etüt-proje ve mühendislik hizmetleri giderleri, inşaat yatırım giderleri (altyapı yapım giderleri, kamulaştırma giderleri, durak yapım giderleri, depo ve tamirhane gibi sabit tesis giderleri, haberleşme, sinyalizasyon ve akıllı ulaşım sistemlerinin yapım giderleri, alt-üstgeçit yapım giderleri ve önceden tahmin edilemeyen diğer giderler) ve taşıt alım giderleri olmaktadır. Sistemlerin yatırım giderleri ülkeden ülkeye, kentten kente, hatta kentin bir bölgesinden diğerine değişiklik göstermektedir.

Metroleybüs sistemlerinin inşaat başlamadan önce yapılan etüt, planlama, proje gibi mühendislik hizmetleri 12-24 ayda tamamlanmakta ve 400.000-5 milyon Amerikan Dolarına mal olmaktadır.

Metroleybüs sistemlerinin inşaat yatırım maliyetleri km başı 500.000-15 milyon Amerikan Doları arasında değişmektedir ve inşaat süresi 12-24 ay sürmektedir. İnşaat yatırım maliyetlerinde kamulaştırma giderleri önemli yer tutmaktadır. Örnek olarak Bogota Trans Milenio 1. Aşama inşaatının yatırım maliyeti 5,3 milyon \$/km iken, 2. Aşama inşaatının yatırım maliyetinin kamulaştırılacak alanların fazla olmasının etkisiyle 13,5 milyon \$ / km'a kadar yükseleceği tahmin edilmiştir. Ülkemizde yapılmış ve yapılmakta olan bazı raylı sistem projelerinin araçlar dahil toplam yatırım maliyetleri Çizelge 5.6'da verilmiştir (www.bursaray.com.tr, www.ego.gov.tr, www.istanbul-ulasim.com.tr, 12.03.2007).

Çizelge 5.6: Ülkemizdeki Yapılmış ve Yapımı Devam Eden Bazı Raylı Sistem Projelerinin Toplam Yatırım Maliyetleri

Sistem	Tür	Hat Uzunluğu (km)	Araç Sayısı	Toplam Maliyet
Taksim-4. Levent	Metro	8	32	630 milyon \$
Ankara Metrosu	Metro	14,66	108	660 milyon \$
Aksaray-Havalimanı	Hafif Raylı Sistem	20	76	550 milyon \$
Ankaray	Hafif Raylı Sistem	8,53	33	548,6 milyon DM
Bursaray	Hafif Raylı Sistem	17,03	48	546 milyon DM
Zeytinburnu-Kabataş	Tramvay	14	55	110 milyon \$

5.2.5.2. İşletme maliyeti

İşletme maliyeti hesabı sadece bilet ücretlerini belirlemek için değil aynı zamanda etken

faktörleri, kar veya zarar durumlarını ve sistemin verimliliğini tespit etmek için yapılmaktadır. Ayrıca devlet-özel sektör işbirliğiyle işletilen sistemlerde gelir paylaşımının doğru olarak yapılabilmesi için de işletme maliyeti hesabı gerekmektedir (Wright, 2002).

İşletme maliyetleri; yatırım ve araç maliyetindeki değer kaybı, personel maaşları, yakıt, yağ ve lastik masrafları, araç ve altyapı bakım onarım masrafları, sigorta masrafları gibi birçok sabit ve değişken maliyet kalemlerinin birleşmesinden oluşmaktadır. Çizelge 5.23'te Bogota Trans Milenio 1. Aşama sisteminin işletme maliyetleri bileşenleri verilmiştir. Örnek olarak verilen bu değerler farklı sistemlerde büyük değişiklikler gösterebilmektedir (Wright, 2004).

Çizelge 5.7: Bogota Trans Milenio 1.Aşama Sisteminin İşletme Maliyeti Bileşenleri

İÇERİK	BİRİM	HER ARAÇ İÇİN TÜKETİM
GERİ ÖDEME		
Araçlardaki Değer Kaybı	Araç/Yıl % 'si	10%
Yatırım Maliyeti	Yıllık Faiz Etki Oranı % 'si	15%
SABİT MALİYETLER		
Sürücü Maliyetleri	Araç Başı Sürücü Sayısı (İşçi / Araç)	1,62
Tamirci Maliyetleri	Araç Başı Tamirci Sayısı (İşçi / Araç)	0,38
Yönetici, Denetleyici,Danışman Personel Maliyetleri	Araç Başı Personel Sayısı (İşçi / Araç)	0,32
Diğer Yönetimsel Giderler	Çeşitli Maliyetler + Bakım + Personel % 'si	4%
Filo Sigorta Maliyetleri	Aracın Yıllık Değeri (Araç Değeri / Yıl) % 'si	1,80%
DEĞİŞKEN MALİYETLER		
Yakıt Maliyeti	Dizel (Galon/100 km)	18,6
	Doğalgaz (m3/100 km)	74
LASTİK MALİYETİ		
Yeni Lastik Maliyeti	Adet/100.000 km	10
Dış Lastiği Kaplama Maliyeti	Adet/100.000 km	27,6

YAĞ MALİYETİ		
Motor Yağı Maliyeti	0,25 Galon/10.000 km	78,9
Vites Yağı Maliyeti	0,25 Galon/10.000 km	4,5
Diferansiyel Yağı Maliyeti	0,25 Galon/10.000 km	5,8
Gres Yağı Maliyeti	Kg/10.000 km	3
Bakım Onarım Maliyeti	Aracın Yıllık Değeri (Araç Değeri / Yıl) % 'si	6%

Metroleybüs sistemlerinde işletme maliyetleri; sisteminin elemanlarından (yol, araç, durak, yönlendirme sistemi, ücret toplama sistemi, akıllı ulaşım sistemleri, servis ve işletme planları), sistemin özelliklerinden (işletme hızı, servis frekansı, yolcu sayısı), yerel koşullardan, sistemden beklenen istek ve taleplerin büyüklüğünden vb. birçok faktör tarafından etkilenmektedir (Diaz, ve ark., 2004).

İşletme maliyetleri içinde önemli bir yer tutan işçi maliyetleri, ülkeden ülkeye farklılıklar göstermektedir. Gelişmekte olan ülkelerde artan işsizlik oranının azaltılması ve parasal destek gibi sosyal düşüncelerle fazla işçi sayısı göz ardı edilmektedir. Gelişmiş ülkelerde ise işçi sayısı daha azdır. Durum böyle olduğu halde gelişmekte olan ülkelerdeki işçi maliyetleri, düşük maaşlardan dolayı toplam işletme maliyetinin %10-25'i kadardır. Gelişmiş ülkelerde ise işçi maliyetleri, toplam işletme maliyetlerinin %35-75'lik kısmını kapsamaktadır (Wright, 2004).

Raylı sistemlerde araçların yolcu kapasitesi fazla olduğundan diğer sistemlerle aynı kapasiteyi sağlamak için daha az sayıda araç gerekmektedir. Bununla birlikte sürücü ve bakım personeli sayısı düşecek ve bu iki kalemden doğan işletme maliyetleri azalacaktır. Ancak gelişmekte olan ülkelerdeki uygulamalarda çok düşük işçi maliyetleri bu avantajı büyük ölçüde ortadan kaldırmaktadır (Wright ve Fjellstrom, 2002).

Raylı sistem araçlarının satın alma maliyetleri Metroleybüs araçlarından çok yüksek olduğu için kullanım ömürleri ve yolcu kapasiteleri fazla olsa bile amortisman maliyetleri Metroleybüs araçlarından birkaç kat fazladır (Wright, 2004).

İşletme maliyetleri içinde önemli yer tutan diğer maliyet ise yakıt maliyetleridir. Yakıt maliyetleri araçların motor tiplerine (hibrit, dizel, doğalgaz, vb.) göre değişiklikler göstermektedir. Hibrit yakıtlı motorların yakıt maliyetleri diğerlerine göre daha düşüktür ancak ileride çıkabilecek batarya değiştirme maliyeti işletme maliyetlerini büyük ölçüde artıracaktır. Elektrikli motorlarda ise parçaların bakım onarım ihtiyacı diğerlerine göre daha az olmaktadır (Callaghan ve Lynch, 2005). Ayrıca yakıt maliyetleri karşılaştırılırken motor

tipinin yanında vites kullanımı, duruş kalkışlar, fren mesafeleri ve sürücü davranışları da işletme maliyetlerini etkilemektedir. New York City’de test edilen dizel, hibrit ve doğalgaz motorlu araçların yakıt maliyetleri Çizelge 5.8’de, King County’de kullanılan 3 farklı sistemdeki araçların yakıt, bakım ve onarımdan oluşan toplam araç işletme maliyetleri Çizelge 5.9’da verilmiştir (Callaghan ve Lynch, 2005).

Çizelge 5.8: New York City’de Test Edilen Farklı Motorlu Araçların Yakıt Maliyetleri

Motor Yakıt Türü	Yakıt Maliyeti (\$/km)
Dizel	0,6
Hibrit	0,43
Doğalgaz	0,44-0,55

Çizelge 5.9: King County’deki Farklı Sistemlerin Toplam Araç İşletme Maliyetleri

	Ryerson Base	Atlantic Base	South Base
Motor Yakıt Türü	Dizel	Hibrit	Hibrit
Ortalama İşletme Hızı (km/sa)	21,3	17,9	30,7
Yakıt Maliyetleri (\$/km)	0,384	0,291	0,248
Araç Bakım-Onarım Maliyetleri (\$/km)	0,271	0,285	0,248
Toplam Araç İşletme Maliyetleri (\$/km)	0,655	0,576	0,496

Metroleybüs ile raylı sistemler veya diğer sistemler arasında doğru bir işletme maliyeti değerlendirmesi yapmak için karşılaştırmada kullanılan kriterler şunlardır:

- Zamana bağlı işletme maliyeti (Araç-saat): Yıllık toplam işletme maliyetinin, araçların toplam işletildiği zamana paylaştırılmasıyla hesaplanmaktadır. Diğer bir ifadeyle aracın 1 saat çalışması için gerekli işletme maliyetidir.
- Mesafeye bağlı işletme maliyeti (Araç-mil): Yıllık toplam işletme maliyetinin, araçların toplam yaptığı mesafeye paylaştırılmasıyla hesaplanmaktadır. Diğer bir ifadeyle aracın 1 mil gitmesi için gerekli işletme maliyetidir.
- Yolcu sayısına bağlı işletme maliyeti (Yolcu-seyahat): Yıllık toplam işletme maliyetinin, toplam yolcu sayısına paylaştırılmasıyla hesaplanmaktadır. Diğer bir ifadeyle her bir yolcunun 1 seyahat yapması için gerekli işletme maliyetidir (GAO, 2001).

6. SİSTEMLERİN TAŞIMA MALİYETLERİ ANALİZİ VE KARŞILAŞTIRILMASI

Sistemlerin taşıma maliyetlerinin hesaplanması, sistemlerin inşası ve belirlenen aralıklardaki çalışma ömürleri boyunca yapılan masrafların bir tarihe getirilmiş toplamalarını, sistemlerin yine belirlenen tarih aralıkları içindeki işletme süreleri boyunca toplam yolcu sayısına bölünmesi suretiyle yapılmıştır. Bu hesaplama metoduna “ Bir Değere Getirilmiş Masraflar (Levelised Cost) Metodu “ adı verilir. Bu bölümdeki ekonomik model, Enerji Maliyeti (Aybers ve Şahin, 1995) kitabındaki mühendislik ekonomisi esas alınarak oluşturulmuştur. Yöntem olarak bir değere getirilmiş masraflar (Levelised Cost) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, ömür boyu yapılan tüm yatırım, işletme ve bakım masrafların ekonomik ömre eşit bir şekilde dağıtılmasını içermektedir. Böylece farklı toplu taşıma sistemleri için elde edilecek bir değere getirilmiş masraflar doğru bir şekilde karşılaştırarak en uygun çözüm elde edilebilir.

Bir değere getirilmiş masraflar metodu ile bulunan yolcu taşıma maliyeti değeri, referans olarak alınan 2011 tarihine getirilmiş toplam yolcu sayısına çarpıldığında bulunan meblağ, sistem için yapılan tüm masrafların aynı tarihe getirilmiş değerine eşit olur.

$$g = \frac{\sum_{t=0}^n [Ck(t) + Cm(t)](1+r)^{-t}}{\sum_{t=0}^n E(t)(1+r)^{-t}} \quad (6.1)$$

İşletme bakım ve yakıt masraflarındaki ileriye yönelik eskalasyonu hesaba katmak için (6.1) denkleminde;

$$C_f(t) = C_{f0}(1 + e_f)^t \quad (6.2)$$

$$C_m(t) = C_{m0}(1 + e_m)^t$$

değerleri yerine konur.

Yöntemde hesaplanacak harcamalar ve gelirler şu şekilde listelenebilir.

- 1- İnşaat masrafları
- 2- Araç alım masrafları
- 3- İşletme bakım harcamaları

4- İşletme ve araç hurda satış gelirleri

6.1. METRO

6.1.1. İnşaat Harcamaları

Yapılan inşaat harcamaları hazırlanan fizibilite etüdünden alınmıştır. Hat uzunluğu 22 km'dir.

Yapılan harcamalar hattın işletmeye geçiş tarihi olarak alınan 2011 tarihine getirilmiştir.

Çizelge 6.1: İnşaat harcamalarının 2011 yılına getirilmiş değerleri

İNŞAAT MASRAFLARI iskonto oranı: %10, faiz oranı:%10 (bin \$)	Yıl	Toplamda Yüzdesi (%)	Eskalasyonsuz Harcama Planı	Eskale Edilmiş Harcama	Eskalasyon Yükü	Eskale Edilmiş Harcama + Faiz	Faiz Yükü
	2006	5,783784	53500	58850	5350	94778,5135	35928,51
	2007	17,51351	162000	196020	34020	286992,882	90972,88
	2008	32,48649	300500	399965,5	99465,5	532354,0805	132388,6
	2009	31,83784	294500	474295,2	179795,2	573897,186	99601,99
	2010	12,37838	114500	202843,7	88343,735	223128,108	20284,37
	Toplam	100	925000	1331974	406974,43	1.711.150,77	379176,3

6.1.2. Araç Alım Harcamaları

Araç alımı için yapılan harcamalarda araç birim fiyatı 1.600.000 \$'dır. İhtiyaç duyulan araç sayısı fizibilite etüdüne göre tahmin edilen yolcu sayısına göre belirlenmiştir. Hatta ilk olarak trenler 4'lü diziler olarak çalıştırılacaktır. İleride alınacak araç sayısı yolcu sayısındaki tahmini artışlara göre hesaplanmıştır. Alınacak tüm araçların 2011 yılına getirilmiş değeri bir değere getirilmiş hesap metodu ile hesaplanmıştır.

Çizelge 6.2: Araç alımı için yapılan harcamaların 2011 yılına getirilmiş değerleri

ARAÇ ALIM HARCAMALARI (1600\$) (bin \$)	Yıl	Toplamda Araç Sayısı	Eskalasyonsuz Harcama Planı	Eskale Edilmiş Harcama	2011 Yılındaki Değeri
	2010	120	192.000	211.200	232.320
	2014	9	14.400	10.818,93	8.128,424

	2019	19	30.400	14.181,82	6.615,925
	2025	18	28.800	7.583,94	1.997,088
	2031	37	59.200	8.799,703	1.308,019
	2035	20	32.000	3.248,819	329,838
	Toplam	223	356.800	255.833,2	250.699,3

6.1.3. İşletme-Bakım Harcamaları

İşletme bakım masrafları hazırlanan yönetici özetinden alınmıştır. Hesaplarda kullanılan birim maliyet aşağıdaki tablodaki gibidir. Değerler bir değere getirilmiş

Gider Türü	Birim Maliyet
Cer Gücü Enerji (USD/Araç - Km)	0,52
Hat Bakımı (USD/Km)	10.275
Araç Bakım/Onarım Giderleri (USD/Araç-Km)	0,04
İdari Personel Giderleri (USD/Araç-Km)	0,096
Diğer Giderler(*) (USD/Km)	513.135

* Kiralar ve genel giderler.(Kaynak Ulaşım A.Ş., 2004)

Çizelge 6.3: İşletme-bakım için yapılan harcamaların 2011 yılına getirilmiş değerleri

	Yıl	Yapılan Harcamalar	2011 Yılındaki Değeri
İŞLETME-BAKIM HARCAMALARI (bin \$)	2011	44904,016	44904,016
	2012	45194,016	41085,46909
	2013	45256,058	37401,70083
	2014	45256,058	34001,54621
	2015	47099,181	32169,37436
	2016	47735,776	29640,16119
	2017	47960,218	27072,29274
	2018	48189,149	24728,65302
	2019	48500,668	22625,91957
	2020	52223,851	22148,01083
	2021	52667,812	20305,72149
	2022	53004,025	18577,58741
	2023	53256,783	16969,25232
	2024	53737,949	15565,96967
	2025	54101,96	14246,73699
	2026	57671,193	13806,02508
	2027	58394,416	12708,32629
	2028	58673,482	11608,23562

	2029	59355,547	10675,61686
	2030	59645,887	9752,579144
	2031	59942,034	8910,001405
	2032	67347,603	9100,720044
	2033	67655,714	8311,232054
	2034	67969,987	7590,762933
	2035	68290,546	6933,23852
	Toplam	1364033,929	500.839,15

6.1.4. İşletme Gelirleri

İşletme gelirlerini yolculardan elde edilen gelirlerden oluşmaktadır. Yolcu gelirleri için bilet fiyatı 0,75 \$ olarak alınmıştır. Yolcu sayısı fizibilite etüdünde de görülebileceği üzere işletilecek hattaki nüfus sayısındaki artışlar dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6.4: İşletme gelirlerinin 2011 yılına getirilmiş değerleri

İŞLETME-GELİRLERİ (bin \$)	Yıl	İşletme Gelirleri	2011'e Getirilmiş Değer
	2011	180105,600	180105,6
	2012	189148,332	171953,0291
	2013	198480,731	164033,662
	2014	208110,767	156356,6995
	2015	218046,612	148928,7699
	2016	228296,646	141754,2555
	2017	238869,464	134835,5851
	2018	249773,875	128173,4917
	2019	261018,915	121767,2502
	2020	272613,846	115614,8828
	2021	284568,168	109713,3476
	2022	296891,617	104058,7006
	2023	309594,177	98646,24578
	2024	322686,082	93470,66379
	2025	337405,000	88849,28186
	2026	352585,407	84406,14316
	2027	368237,168	80139,13664
	2028	384373,923	76046,33153
	2029	401008,875	72124,971
	2030	418155,475	68371,76157
	2031	435827,535	64782,986
	2032	453434,968	61272,92611
	2033	471753,741	57953,0476
	2034	490812,592	54813,0461

	2035	510641,420	51843,17553
	Toplam	8.082.440,94	2.630.014,99

6.1.5. Geri ödeme oranı

(6.1) denkleminde iskonto oranı ($r = 0,10$) olarak, sermaye piyasasında geçerli faiz oranı ($i = 0,10$) alınacak olursa bulunan maliyet, paranın referans tarihteki değeri cinsinden olur. Eğer iskonto oranı olarak enflasyonun etkisi de dikkate alınarak reel bir geri ödeme “Rate of Return” kullanılmış ise, bulunan maliyet reel değerler “Constant Money” cinsinden ifade edilmiş olur.

$$\sum_{t=0}^n [B(t) - C(t)](1 + r)^{-t} = 0 \quad (6.3)$$

Çizelge 6.5: Geri ödeme oranı tablosu

Yıl	Harcamalar	İşletme Gelirleri	Kalan	i = % 13	i = % 14
2006	53.500,00	0,00	53.500,00	-53.500,00	-53.500,00
2007	162.000,00	0,00	162.000,00	-143.362,83	-142.105,26
2008	300.500,00	0,00	300.500,00	-235.335,58	-231.224,99
2009	294.500,00	0,00	294.500,00	-204.103,27	-198.779,11
2010	306.500,00	0,00	306.500,00	-187.982,19	-181.472,61
2011	1.988.374,79	180.105,60	1.808.269,19	83.949,55	70.219,47
2012	1.849.354,66	189.148,33	1.660.206,32	69.143,93	65.583,65
2013	1.697.608,02	198.480,73	1.499.127,29	65.129,78	61.234,30
2014	1.541.257,26	208.110,77	1.333.146,50	55.842,70	52.042,14
2015	1.365.315,87	218.046,61	1.147.269,26	56.905,81	52.567,69
2016	1.176.909,42	228.296,65	948.612,77	69.614,03	48.705,18
2017	975.685,07	238.869,46	736.815,60	49.769,59	45.172,44
2018	761.544,26	249.773,88	511.770,38	46.506,78	41.840,74
2019	541.012,23	261.018,92	279.993,31	37.182,08	33.158,16
2020	302.141,32	272.613,85	29.527,48	39.819,30	35.198,48
2021	49.833,20	284.568,17	-234.734,97	55.515,10	32.488,42
2022	18.577,59	296.891,62	-278.314,03	34.509,18	29.971,75
2023	16.969,25	309.594,18	-292.624,93	32.098,03	27.633,09
2024	15.565,97	322.686,08	-307.120,11	29.802,76	25.432,04
2025	16.243,83	337.405,00	-321.161,18	24.957,58	21.110,61
2026	13.806,03	352.585,41	-338.779,38	43.837,12	21.458,47
2027	12.708,33	368.237,17	-355.528,84	23.795,46	19.776,05
2028	11.608,24	384.373,92	-372.765,69	22.135,67	18.235,25
2029	10.675,62	401.008,88	-390.333,26	20.548,56	16.779,31
2030	9.752,58	418.155,48	-408.402,90	19.081,75	15.444,87
2031	10.218,02	435.827,54	-425.609,51	29.228,80	11.967,60

2032	9.100,72	453.434,97	-444.334,25	16.093,34	12.798,51
2033	8.311,23	471.753,74	-463.442,51	14.906,26	11.750,48
2034	7.590,76	490.812,59	-483.221,83	13.803,28	10.785,57
2035	7.263,08	510.641,42	-503.378,34	11.854,43	9.181,52
Toplam	12.417.427,32	8.082.440,90	4.334.986,38	141.747,00	-16.546,18

r = % 14

6.1.6. Maliyet Tablosu

Maliyet oranları 3 ayrı kalemde ayrı ayrı hesaplanarak toplam yolcu başına birim maliyet hesaplanmıştır. İşletme (gm), araç alımı (gf) ve inşaat harcamaları (gk) için elde edilen yolcu başına birim maliyet (g); her kalem için yapılan toplam harcamaların toplam yolcu sayısına bölünmesiyle elde edilmiştir.

Çizelge 6.6: Maliyet tablosu

İnşaat	:	1.711.150.770,00	(\$)
Araç	:	250.699.300,00	(\$)
İşletme	:	500.839.100,00	(\$)
Toplam	:	2.462.689.170,00	(\$)
Yolcu Sayısı	:	8.487.182.210,00	Adet
gk	:	0,20162	\$/yolcu
gm	:	0,05901	\$/yolcu
gf	:	0,02954	\$/yolcu
g	:	0,2901	\$/yolcu

6.2. METROLEYBÜS

6.2.1. İnşaat Harcamaları

Yapılan inşaat harcamaları hazırlanan fizibilite etüdünden alınmıştır. Hat uzunluğu 22 km'dir. Yapılan harcamalar hattın işletmeye geçiş tarihi olarak alınan 2011 tarihine getirilmiştir. Bir km için yaklaşık maliyet 10 milyon dolar alınmıştır. Ayrıca sinyalizasyon ve atölye-depo yapım için toplam 80 milyon \$ harcanması planlanmaktadır.

Çizelge 6.7: İnşaat harcamalarının 2011 yılına getirilmiş değerleri

%10, faiz oranı:%10 (bin \$)	Yıl	Toplamda Yüzdesi	Eskalasyonsuz Harcama Planı	Eskale Edilmiş Harcama	Eskalasyon Yüğü	Eskale Edilmiş Harcama+Faiz	Faiz Yüğü
------------------------------------	-----	------------------	--------------------------------	---------------------------	-----------------	--------------------------------	-----------

	2010	100	80000	88000	8000	96800	8800
	Toplam	100	80000	88000	8000	96.800,00	8800

6.2.2. Araç Alım Harcamaları

Araç alımı için yapılan harcamalarda araç birim fiyatı 1.300.000 \$'dır. İhtiyaç duyulan araç sayısı fizibilite etüdüne göre tahmin edilen yolcu sayısına göre belirlenmiştir. Hatta ilk olarak trenler 4'lü diziler olarak çalıştırılacaktır. İleride alınacak araç sayısı yolcu sayısındaki tahmini artışlara göre hesaplanmıştır. Alınacak tüm araçların 2011 yılına getirilmiş değeri bir değere getirilmiş hesap metodu ile hesaplanmıştır. Yolcu kapasitesi 36.000 saat/yolcu olacak şekilde ihtiyaç duyulan araç sayısı belirlenmiştir. Translohr tipi araç kapasitesine göre hesaplamalar yapılmıştır.

Çizelge 6.8: Araç alımı için yapılan harcamaların 2011 yılına getirilmiş değerleri

ARAÇ ALIM HARCAMALARI (1700\$) (bin \$)	Yıl	Adet	Eskalasyonsuz Harcama Planı	Eskale Edilmiş Harcama	2011 Yılındaki Değeri
	2010	260	338000	371800	408.980,00
	2014	27	35100	26371,14951	19813,03494
	2019	57	74100	34568,19687	16126,31896
	2025	54	70200	18485,85405	4867,903135
	2031	260	338000	50241,54627	7468,085715
	2035	45	58500	5939,247483	602,9856523
	2039	54	70200	4867,903135	337,5567084
	Toplam	757	984100	512273,8973	458.195,89
	2035	-	1300	-6213,36659	-630,815759

6.2.3. İşletme-Bakım Harcamaları

İşletme bakım için yapılan harcamalar, yıllık elektrik tüketimi, mazot tüketimi, personel giderleri, hat bakım giderleri ve diğer harcamalar hesaba katılarak hesaplanmıştır. Bu değerler için alınan yaklaşık değerler beşinci bölümdeki tablolardan alınmıştır.

Çizelge 6.9: İşletme-bakım için yapılan harcamaların 2011 yılına getirilmiş değerleri

İM HAR CA	Yıl	Harcamalar	2011 Yılındaki Değeri
	2011	14982,36806	14982,36806

2012	15738,17671	14307,43337
2013	16518,42921	13651,59439
2014	17323,81662	13015,63984
2015	18155,02885	26580,77774
2016	19012,78191	11805,4417
2017	19897,81199	11231,79614
2018	20810,87567	10679,2698
2019	21752,73886	10147,81322
2020	22724,19482	9637,276904
2021	23726,05351	9147,420717
2022	24759,14904	8677,930696
2023	25824,33203	8228,428032
2024	26922,48273	7798,48426
2025	28156,91462	7414,595644
2026	29430,41801	7045,408082
2027	30743,85201	6690,757944
2028	32098,38887	6350,495119
2029	33495,14587	6024,396404
2030	38070,23374	6224,787429
2031	37029,05946	5504,13374
2032	38550,49486	5209,350379
2033	40132,65059	4930,134534
2034	41778,05741	4665,696488
2035	43489,33958	4415,281207
2036	45272,36798	5055,934654
2037	47128,49912	4784,749056
2038	49060,73017	5479,011966
2039	51072,18116	5185,133734
Toplam	873.656,57	254.871,54

6.2.4. İşletme Gelirleri

İşletme gelirlerini yolculardan elde edilen gelirlerden oluşmaktadır. Yolcu gelirleri için bilet fiyatı 0,75 \$ olarak alınmıştır. Yolcu sayısı fizibilite etüdünde de görülebileceği üzere işletilecek hattaki nüfus sayısındaki artışlar dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6.10: İşletme gelirlerinin 2011 yılına getirilmiş değerleri

İŞLETME GELİRLERİ İ (BİN \$)	Yıl	İşletme Geliri	2011'e getirilmiş değer
	2011	90052,800	90052,8
	2012	94574,166	85976,51455
	2013	99240,366	82016,8314

2014	104055,383	78178,34936
2015	109023,306	74464,38495
2016	114148,323	70877,12774
2017	119434,732	67417,79256
2018	124886,938	64086,7461
2019	130509,457	60883,62488
2020	136306,923	57807,44141
2021	142284,084	54856,67378
2022	148445,809	52029,35028
2023	154797,089	49323,12289
2024	161343,041	46735,3319
2025	168702,000	44424,50926
2026	176292,704	42203,07158
2027	184118,584	40069,56832
2028	192186,962	38023,16576
2029	200504,438	36062,4855
2030	209077,738	34185,88079
2031	217913,768	32391,493
2032	226717,484	30636,46305
2033	235876,871	28976,5238
2034	245406,296	27406,52305
2035	255320,710	25921,58776
2036	264978,465	24456,45192
2037	274700,385	23048,86019
2038	284422,305	21695,07479
2039	294144,224	20396,94574
Toplam	5159465,347	1404604,696

6.2.5. Geri Ödeme Oranı

(6.1) denkleminde ıskonto oranı ($r = 0,10$) olarak, sermaye piyasasında geçerli faiz oranı ($i = 0,10$) alınacak olursa bulunan maliyet, paranın referans tarihteki değeri cinsinden olur. Eğer ıskonto oranı olarak enflasyonun etkisi de dikkate alınarak reel bir geri ödeme “Rate of Return” kullanılmış ise, bulunan maliyet reel değerler “Constant Money” cinsinden ifade edilmiş olur.

$$\sum_{t=0}^n [B(t) - C(t)](1 + r)^{-t} = 0$$

Çizelge 6.11: Geri ödeme oranı tablosu

Yıl	Gelir	Harcamalar	Net Kar	i = % 11	i = % 10
2010	0	505.780,00	- 505.780,00	-505.780,00	-505780
2011	-415727,200	14982,36806	- 430.709,57	-391554,1528	-430709,5681
2012	-336135,402	14307,43337	- 350.442,84	-289622,178	-350442,8354
2013	-251202,469	13651,59439	- 264.854,06	-198988,7782	-264854,0638
2014	-160798,681	32828,67478	- 193.627,36	-132250,0892	-193627,3556
2015	-84604,050	26580,77774	- 111.184,83	-69037,0301	-111184,8273
2016	2963,496	11805,4417	- 8.841,95	-4991,048031	-8841,946042
2017	110592,786	11231,79614	99.360,99	50987,89856	99360,98982
2018	124886,938	10679,2698	114.207,67	53278,72009	114207,6682
2019	130509,457	26274,13218	104.235,32	44205,95301	104235,3248
2020	136306,923	9637,276904	126.669,65	48836,63203	126669,6461
2021	142284,084	9147,420717	133.136,66	46663,58828	133136,6633
2022	148445,809	8677,930696	139.767,88	44534,35319	139767,8778
2023	154797,089	8228,428032	146.568,66	42455,72012	146568,6605
2024	161343,041	7798,48426	153.544,56	40433,08072	153544,5567
2025	168702,000	12282,49878	156.419,50	37445,58496	156419,5012
2026	176292,704	7045,408082	169.247,30	36833,14264	169247,2954
2027	184118,584	6690,757944	177.427,83	35103,1495	177427,8261
2028	192186,962	6350,495119	185.836,47	33424,32196	185836,4664
2029	200504,438	6024,396404	194.480,04	31799,04078	194480,0411
2030	209077,738	6224,787429	202.852,95	30152,79845	202852,9501
2031	217913,768	12972,21946	204.941,55	27693,86839	204941,548
2032	226717,484	5209,350379	221.508,13	27211,38233	221508,1336
2033	235876,871	4930,135	230.946,74	25791,70602	230946,736
2034	245406,296	4665,696	240.740,60	24441,33333	240740,5995
2035	255951,525	5018,267	250.933,26	23160,13554	250933,2581
2036	264978,465	5055,935	259.922,53	21808,91762	259922,5303
2037	274700,385	4784,749	269.915,64	20588,53969	269915,6357
2038	284422,305	5479,012	278.943,29	19342,86222	278943,2925
2039	294144,224	5522,690	288.621,53	18194,53081	288621,5338
Toplam	5.159.465,35	809.867,43	2.484.788,14	-807836,0162	2484788,139

r = % 10,91

6.2.6. Maliyet Tablosu

Maliyet oranları 3 ayrı kalemde ayrı ayrı hesaplanarak toplam yolcu başına birim maliyet hesaplanmıştır. İşletme (gm), araç alımı (gf) ve inşaat harcamaları (gk) için elde edilen yolcu başına birim maliyet (g); her kalem için yapılan toplam harcamaların toplam yolcu sayısına bölünmesiyle elde edilmiştir.

Çizelge 6.12: Maliyet tablosu

İnşaat	:	96.800.000	\$
Araç	:	457.565.070	\$
İşletme Gider	:	254.871.540	\$
Yolcu Sayısı	:	51.910.920.700	adet
gk	:	0,018755718	\$/yolcu
gm	:	0,049383252	\$/yolcu
gf	:	0,088656627	\$/yolcu
g	:	0,156795597	\$/yolcu

6.3. KARŞILAŞTIRMALI ANALİZ ÇALIŞMASI

Bu çalışmada yolcu artış ve azalışına göre, sonra da hat uzunluğunun artış ve azalışına göre maliyetlerdeki değişimler grafik haline getirilmiştir. Elde edilen grafikler, yolcu sayısındaki artış ile metro sisteminin en ekonomik toplu taşıma aracı olduğunu, tespit edilen yolcu sayısının altında kalan bölgede en ekonomik toplu taşıma aracının taşıma limitleri içerisinde öncelikle otobüs, sonrasında metroleybüs sistemi olduğunu, hat kapasitesinin için yeterli olması durumunda ilk olarak otobüs sistemlerinin, sonra metroleybüs sisteminin en ekonomik toplu taşıma sistemi olduğu gerçeğini ortaya koymaktadır. Karşılaştırma yapmak için İETT'nin aşağıdaki mevcut güzergâhı alınmıştır:

Hat_Kodu	Hat_Adi	Araç Sayısı	Sefer Sayısı	Sefer Aralığı (Dk.)	Sefer Uzunluğu (Km)	Sefer Müddeti (Dk.)	Hat Yolculuk Sayısı	Hat Geliri (TL)	Çalışan Araç No.
89G	Altınşehir (Güvercintepe)- Zeytinburnu	8	45	11	24,2	90	83.160	103.726	178

Çizelge 6.13: Yolcu sayısındaki artış ve azalışlara göre maliyetlerin değişimi
(Otobüs maliyet değerleri sabit alınmıştır)

		Otobüs	Metroleybüs	Metro	Otobüs	Metroleybüs	Metro
Yolcu	140%	0,140779	0,153058	0,232561	30.353.400	173.662.839	347.325.167
	120%	0,140779	0,154615	0,256563	30.353.400	148.853.862	297.707.286
	100%	0,140779	0,156796	0,290166	30.353.400	124.044.885	248.089.405
	80%	0,140779	0,160065	0,340570	30.353.400	99.235.908	198.471.524
	60%	0,140779	0,165516	0,424576	30.353.400	74.426.931	148.853.643
Hat	180%	0,140779	0,282232	0,522298	39,6 km		
	140%	0,140779	0,219513	0,406232	30,8 km		

100%	0,140779	0,156795	0,290166	22 km
60%	0,140779	0,134891	0,174099	13,2 km
20%	0,140779	0,031359	0,058033	4,4 km

İlk olarak Grafik 6.1’de otobüs için hat uzunluğu değişmesine rağmen maliyet sabit alınmıştır. Metroleybüs ve metro sistemlerinin hat uzunluğu değişimine göre maliyetlerinin aldığı değer grafikte gözlemlenebilmektedir. Hat uzunluğu arttıkça ilk yatırım maliyetleri yüksek olan Metroleybüs ve metro sistemlerinin maliyetlerinin arttığı görülmektedir.



Şekil 6.1: km' ye Bağlı Olarak Maliyet Değişimi

Grafik 6.2’de ise yolcu sayısındaki artma ve azalmaya göre maliyetteki değişimi görebiliriz. Her sistemin belli bir kapasitesi olduğu kabulü ile yolcu sayısı sonsuza giderken en düşük maliyetli toplu taşıma sisteminin metro olduğu görülmektedir. Fakat metro ve Metroleybüs sistemlerinin kapasitesinin yeterli olduğu durumlarda metronun maliyetinin fazla olduğu grafikten anlaşılmaktadır. Bu konu ile ilgili yorumlar sonuç kısmında belirtilmiştir.



Grafik 6.2: Yolcu Sayısına Bağlı Olarak Maliyet Değişimi

7. SONUÇ

Metroleybüs sistemleri; planlama, işletme, güvenlik, düzenlilik, güvenilirlik, konfor, hız, verimlilik, arazi kullanımı ve tarihi dokuya uygunluk, çevresel etkiler, engelli vatandaşların kullanımı, işletme gelirleri, bilet ücretleri, duraklara ulaşma zaman ve mesafesi, gün içi toplam hizmet süresi ve aktarma imkanları gibi özellikleriyle raylı sistemlerle benzerlikler göstermektedir. Bu durumda sistem seçiminde kapasite ve ekonomik özellikler ön plana çıkmaktadır. Ayrıca Metroleybüs sistemi arazi şartlarına karşı daha elverişli bir sistemdir.

Metroleybüs sistemlerinin en önemli avantajı metro sisteminin kapasitesine çok daha düşük maliyetlerle ulaşmayı sağlamasıdır. Tramvay sistemleri yapılan düzenlemelerle en fazla 20.000 yolcu/saat/yön taşıma kapasitesine ulaşırken Metroleybüs sistemleri güncel uygulamalarda da görüldüğü gibi 36.000 yolcu/saat/yön değerini aşmıştır. Hatta daha yüksek kapasiteli araç kullanılması, durak ve hat düzenlemeleri gibi uygulamalarla, yolcu kapasitesini önemli ölçüde artırılabilme imkanı mevcuttur.

Yüksek yolcu taşıma kapasitesine sahip raylı sistemler ise, yüksek yapım maliyetleri, uzun süren inşaat süreleri ve sınırlı erişim alanları gibi dezavantajlarıyla sadece Metroleybüs sistemlerinin yetersiz kaldığı ve zorunlu olduğu durumlarda düşünülmelidir. Yeterli olduğu düzeye kadar Metroleybüs sistemleri tercih edilerek, raylı sistemlerle aynı kalitede toplu taşıma hizmetini daha düşük yatırım maliyetleriyle sunma imkanı mümkün olacaktır.

Metroleybüs sistemlerindeki daha düşük yatırım ve araç maliyetleri sebebiyle ülke kaynakları boşa harcanmamış olacaktır. Ayrıca Metroleybüs araçlarının ülkemizdeki otobüs fabrikalarında üretilmesi de mümkündür. Böylece araçlar daha ucuza mal edilecek, ülke ekonomisine katkı sağlanacak ve dışa bağımlılık azaltılacaktır.

Alternatiflerin servis frekansları karşılaştırıldığında Metroleybüs araçları raylı sistem araçlarına göre daha sık aralıklarla işletilmektedir. Böylece Metroleybüs sistemlerinde yolcuların durakta bekleme süreleri daha az olmaktadır. Bu da yolcuların tercih nedenini etkileyen önemli bir özelliktir. Metroleybüs sistemlerinin işletmeye açılış yılı raylı sisteme göre daha erkendir. Metroleybüs araçlarındaki gelişmiş motor seçenekleri sayesinde, geleneksel otobüslere göre daha az enerji tüketimi, daha az gürültü ve hava kirliliği meydana gelmektedir. Raylı sistem araçlarının ekonomik ömrü Metroleybüs araçlarına göre daha

fazladır.

Aynı kapasiteyi sağlamak için gereken Metroleybüs aracı ve bununla bağlantılı olarak şoför ve bakım onarım personeli sayısı raylı sistemlere göre fazladır. Böylece Metroleybüs sistemlerinde daha fazla istihdam imkanı sağlanmaktadır.

Raylı sisteme alternatif olarak düşünülen Metroleybüs sistemleri yolcu bilgilendirme, uydudan araç takibi, sinyal öncelik sistemi, otomatik ücret ödeme sistemi ve otomatik yolcu sayacı gibi akıllı ulaşım sistemlerine sahiptir.

Ülkemiz için bir genelleme yapmak gerekirse, kentiçi toplu taşıma projelerinde öncelikle, tramvay sistemine alternatif olarak Metroleybüs sistemlerinin yapılması uygun olacaktır. Bu sayede aynı kapasiteyi daha düşük maliyetle karşılamak mümkün olacak ve ülke kaynakları daha verimli kullanılacaktır. Diğer raylı sistemler ise ancak Metroleybüs sisteminin yetersiz kaldığı durumlarda tercih edilmelidir. Ülkemizde yapılmış ve işletilmekte olan raylı sistemlerin çoğunun hedeflenen kapasitelere ulaşamaması, verimli kullanılamaması ve yüksek yatırım maliyetleri sebebiyle zarar etmesi bu görüşün doğruluğunu ispat eder niteliktedir.

KAYNAKLAR

- Acar, İ.H., 2005, Kentlerimiz için “Metrobüs” çözümleri, 6. Ulaştırma Kongresi Bildiriler Kitabı, İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, 89-98.
- Alpöge, A., 1978, Kentsel raylı taşıma: metro, tramvay, hafif metro, 1. Toplu Taşıım Kongresi, Ankara Büyükşehir Belediyesi EGO Genel Müdürlüğü, 358-381.
- APTS, 2006, The Eindhoven project in the Netherlands and investments for the Phileas concept, Advanced Public Transport Systems BV, www.aps-phileas.com (03.12.2006).
- Armstrong-Wright, A., 1986, Urban transit systems guidelines for examining options, World Bank Technical Paper, 52, Washington, D.C., U.S.A., 77 p.
- Bouwman, R.R., 2007, Comparison public transport, Rbouwman@pdeautomotive.com, aps.info@pdeautomotive.com (06.04.2007).
- Callaghan, L. and Lynch, S., 2005, Analysis of electric drive technologies for transit applications: battery-electric, hybrid-electric, and fuel cells (final report), Federal Transit Administration (FTA), Washington D.C., U.S.A., FTA-MA-26-7100-05.1, 47p., www.gobrt.org/Electric_Drive_Bus_Analysis.pdf (13.05.2005).
- Can, H., Özdemir, T. ve Arık, A., 2001, İllerde gürültü haritaları ve Balıkesir örneği, 1. Kentiçi Ulaşım ve Trafik Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Makina Mühendisleri Odası, 268, 74-79.
- Candemir, I., ve Tanyel, S., 2005, Hızlı raylı sistemlerin yolcu taşıma kapasite hesaplamaları ve Türkiye’deki benzer sistemlerin birbirleriyle karşılaştırılması, 6. Ulaştırma Kongresi Bildiriler Kitabı, İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, 309-322.
- Demery, L.W., 2004, Bus rapid transit in Curitiba (Brazil) an information summary, CarquinezAssociates, 43p., ww.publictransit.us/ptlibrary/specialreports/sr1.curitibaBRT.pdf (25.05.2005).
- Diaz, R.B., Chang, M., Darido, G., Kim, E., Schneck, D., Hamilton, B.A., Hardy, M., Bunch, J., Baltes, M., Hinebaugh, D., Wnuk, L., Silver, F. and Zimmerman, S., 2004, haracteristics of bus rapid transit for decision-making, Federal Transit Administration (FTA) and United States Department of Transportation, Washington D.C., U.S.A., FTA-VA-26-7222-2004.1, 301p., www.calstart.org/programs/brt/Characteristics_of_Bus_Rapid_Transit_for_Decision_Making.pdf (21.01.2006).

- DİE, 2002, Ulaştırma İstatistikleri Özeti, Devlet İstatistik Enstitüsü, 2894, 33 s.
- DPT, 2001, Ulaştırma (Kentiçi Ulaşım), Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Devlet Planlama Teşkilatı, DPT: 2582-ÖİK:594, 28-29.
- DPT, 2006, Dokuzuncu Kalkınma Planı (2007-2013), Devlet Planlama Teşkilatı, 122 s., <http://ekutup.dpt.gov.tr/plan/ix/9kalkinmaplani20061208.pdf> (01.02.2007).
- EGO, 1995, Ankara Ulaşım Ana Planı Araştırma Raporu, Ankara Büyükşehir Belediyesi EGO Genel Müdürlüğü Ulaşım Planlama ve Raylı Sistem Daire Başkanlığı, 166 s.
- Elker, C., 1978, Kentsel ulaşım sistemlerinin özellikleri bir karşılaştırma, 1. Toplu Taşıım Kongresi, Ankara Büyükşehir Belediyesi EGO Genel Müdürlüğü, 383-399.
- Elker, C., 1981, Kentlerde ulaşım sistemi seçimi için bir yöntem, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, İmar ve İskan Bakanlığı Yayınları, Ankara, 101 s.
- Elker, C., 1997, Otobüsün kitle taşımasındaki yeri, Ulaşım-Trafik Kongresi Bildiriler Kitabı, Makina Mühendisleri Odası, 193, 60-71.
- Elker, C., 2002, Ulaşımda politika ve pratik, Gölge Ofset Matbaacılık, 158 s.
- Ergün, M., İyınam, A.F. ve İyınam, Ş., 1999, Daha temiz bir çevre için kentiçi ulaşımın planlanması, 2. Ulaşım ve Trafik Kongresi-Sergisi Bildiriler Kitabı, Makine Mühendisleri Odası, 242, 382-390.
- Evren, G., 1978, Kentsel ulaşım raylı sistemler, 1. Toplu Taşıım Kongresi, Ankara Büyükşehir Belediyesi EGO Genel Müdürlüğü, 272-297.
- Evren, G., 1996, Kentsel ulaşım raylı sistemler, Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, 384, 63-72.
- GAO, 2001, Bus rapid transit shows promise, Report to Congressional Requesters, United States General Accounting Office, Washington D.C., U.S.A., GAO-01-984, 54 p., www.gao.gov/new.items/d01984.pdf (13.05.2006).
- Gülgeç, İ., 1998, Ulaşım planlaması, Özsan Matbaacılık San. ve Tic. Ltd. Sti., 256 s.
- Gültekin, Z., Ergun, Z.H., Çinal, S. ve Öztürk, M.M., 2003, Kentiçi ulaşım monorail sistemi, 4. Ulaşım ve Trafik Kongresi-Sergisi Bildiriler Kitabı, Makine Mühendisleri Odası, 333, 125-133.
- Gümüsoğlu, M.Ç., 1996, Kentiçi raylı taşıım sistemleri ve İstanbul metrosu, Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, 384, 103-106.

- Hook, W., 2005, Institutional and regulatory options for bus rapid transit in developing countries, The Institute for Transportation and Development Policy (ITDP), New York, 16 p., www.itdp.org/read/BRT%20reform_TRB_05%20rev%20oct.pdf (23.03.2006).
- Kantor, D., Moscoe, G. and Henke, C., 2006, Issues and technologies in level boarding strategies for BRT, Journal of Public Transportation, Special Edition: Bus Rapid Transit, 9, 3, 89-101., Center for Urban Transportation Research University of South Florida, <http://www.nctr.usf.edu/jpt/pdf/JPT%209-3S%20Kantor.pdf> (20.09.2006).
- Kaplan, H., 1997, Kentsel ulaşıma ekolojik yaklaşım, Ulaşım-Trafik Kongresi Bildiriler Kitabı, Makina Mühendisleri Odası, 193, 93-101.
- Keskin, A., 1992, Toplu taşıma sistemleri, İTÜ Yayınları, 1487, 111 s.
- Kim, E.J., Darido, G. and Schneck, D., 2005, Las Vegas metropolitan area Express (MAX) BRT demonstration project evaluation, Federal Transit Administration (FTA), United States Department of Transportation, and Regional Transportation Commission, Washington D.C., U.S.A., FTA-VA-26-7222-2005.1, 52p., http://www.nbrti.org/media/evaluations/Las_vegas_final_report.pdf (20.09.2006).
- Kocabaş, N., 2007, Metrobüs Sistemlerinin Ülkemizde Uygulanabilirliğinin Araştırılması ve Antalya Örneği, Yüksek Lisans Tezi
- Kutlu, K., 1975, Trafik tekniği, İstanbul Teknik Üniversitesi, 1018, 371 s.
- Lambert, M.T. and Rubin, D., 2001, Ulaşım planlama süreci Bursaray hafif raylı ulaşım sistemi, 1. Kentiçi Ulaşım ve Trafik Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Makine Mühendisleri Odası, 268, 131-150.
- Levinson, H.S., 2003, Bus rapid transit on city streets how does it work, Second Urban Street Symposium, Anaheim, California, 25p., www.utrc2.org/research/assets/83/brtcitystreets1.pdf (29.01.2006).
- Levinson, H.S., Zimmerman, S., Clinger, J., Gast, J., Rutherford, S. and Bruhn, E., 2003, Bus rapid transit, Volume 2: Implementation Guidelines, TCRP (Transit Cooperative Research Program) Report 90, Transportation Research Board (TRB), Washington, D.C., U.S.A., 233 p., www.gobrt.org/CasestudiesV2.pdf (18.01.2006).
- Lombart, A., 1979, Hafif metro, 2. Toplu Taşıma Kongresi, Ankara Büyükşehir Belediyesi EGO Genel Müdürlüğü, 481-488.

- Menckhoff, G., 2005, Latin American experience with bus rapid transit, World Bank Annual Meeting-Institute of Transportation Engineers, Melbourne, Australia, 23p., www.gobrt.org/Latin_American_Experience_with_Bus_Rapid_Transit.pdf, www.gobrt.org/Latin_American_Experience_with_Bus_Rapid_Transit_Annex_Tables.pdf (19.02.2006).
- Mollamahmutoğlu, M. ve Asiloğulları, E., 1999, Raylı sistem işletmeciliği, 2. Ulaşım ve Trafik Kongresi-Sergisi Bildiriler Kitabı, Makina Mühendisleri Odası, 242, 401-406.
- Öncü, E., 1978, Kentsel ulaşımında raylı sistemler, 1. Toplu Taşıma Kongresi, Ankara Büyükşehir Belediyesi EGO Genel Müdürlüğü, 298-326.
- Öncü, E., 1979, Az gelişmiş ve gelişmiş ülkelerde ara toplu taşıma, 2. Toplu Taşıma Kongresi, Ankara Büyükşehir Belediyesi EGO Genel Müdürlüğü, 663-691.
- Öncü, E., 1990, Düünden yarına kentlerimizde banliyö demiryolu taşıması, 3. Toplu Taşıma Kongresi, Ankara Büyükşehir Belediyesi EGO Genel Müdürlüğü, 387-416.
- Özdirim, M., 1990, Ulaşım konusunda yerel yönetimlerin uygulamaları, 3. Toplu Taşıma Kongresi, Ankara Büyükşehir Belediyesi EGO Genel Müdürlüğü, 101-140.
- Paaswell, R., Goldman, T., Seaman, M., Thorson, E. and Gordon, C., 2005, Analysis of capital cost elements and their effect on operating costs (final report), Federal Transit Administration (FTA) and United States Department of Transportation, FTA-NY-26-7000, 117p., http://web.gc.cuny.edu/economics/SeminarPapers/spring_2006/Paaswell%20Paper%20utrc-2005-_03_14.pdf (13.05.2006).
- Resmî Gazete, 2004, Karayolu Taşıma Yönetmeliği, 25.02.2004 tarih 25384 sayılı, <http://rega.basbakanlik.gov.tr> (01.02.2007).
- Spek, S.V.D. and Splint, J., 2005, Bus rapid transit, Nova Terra Connected Cities Special Edition, December 2005, 30-34., http://connectedcities.eu/downloads/magazines/nt_2005_dec_sre.pdf (03.12.2006).
- SRE, 2005, Brt Phileas folder, Samenwerkingsverband Regio Eindhoven, 6 p., www.phasis.nl/phileas_testsite/img/media/pdf/project%20folder.pdf (17.05.2006).

- Swallow, D.C., 2005, MAX-The new trend in rubber-tire rapid transit, Institute of Transportation Engineers (ITE) Journal, Feb 2005, 75, 2, ABI/INFORM Global, 32-39., http://findarticles.com/p/articles/mi_qa3734/is_200502/ai_n9522012 (20.09.2006).
- Şahin, B. - Aybers, N., 1995, Enerji Maliyeti, 56 – 123.
- Toprak, R. ve Aktürk, N., 2001, Raylı toplu taşıma sistemleri ve raylı toplu taşıma sistemlerinde güvenliği tehdit eden tehlikeler, 3. Ulaşım ve Trafik Kongresi- Sergisi Bildiriler Kitabı, Makina Mühendisleri Odası, 280, 99-108.
- Tunç, A., 2003, Trafik mühendisliği ve uygulamaları, Asil Yayın Dağıtım Ltd. Şti., 790 s.
- Uyg-Ar (İTÜ Ulaştırma ve Ulaşım Araçları Merkezi), 1995, Kadıköy-Bostancı raylı sistemi teknik, mali ve ekonomik fizibilite etüdü, 301, 67 s.
- Vuchic, V.R., 1981, Urban public transportation systems and technology, Prentice Hall. Inc., 672 p.
- Weststart-CALSTART, 2003, A compendium of vehicles for bus rapid transit service, Vehicle Catalog, Federal Transit Administration (FTA) and United States Department of Transportation, 25 p., www.gobrt.org/vehiclecatalog.pdf (17.04.2006).
- Weststart-CALSTART, 2005, A compendium of vehicles and hybrid drive systems for bus rapid transit service, Vehicle Catalog 2005 Update, Federal Transit Administration (FTA) and United States Department of Transportation, 29p., www.calstart.org/programs/brt/archives/Vehicle_Catalog_02_02_05.pdf (17.04.2006).
- Weststart-CALSTART, 2006, A compendium of vehicles and powertrain systems for bus rapid transit service, Vehicle Catalog 2006 Update, Federal Transit Administration (FTA) and United States Department of Transportation, 34 p., www.calstart.org/programs/brt/archives/2006_brt_compendium.pdf (03.12.2006).
- Wright, L., 2002, Bus rapid transit (Module 3b), Sustainable Transport: A Sourcebook for Policy-makers in Developing Cities, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn, Germany, 41 p., www.gobrt.org/SourcebookBRT.pdf (30.03.2006).
- Wright, L. and Fjellstrom, K., 2002, Mass transit options (Module 3a), Sustainable Transport: A Sourcebook for Policy-makers in Developing Cities, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn, Germany, 31p., www.gobrt.org/SourcebookMassTransitOptions.pdf (30.03.2006)

Wright, L., 2004, Bus rapid transit planning guide , Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn, Germany, 225 p., www.sutp.org/docs/BRT/BRT-PG.pdf (30.03.2006).

Yüzügüllü, M., Özcan, C. ve Baş, İ., 1991, Raylı toplu taşıma sistemlerinin Türkiye 'de yapılması ve yerli imalat olanakları, 4. Toplu Taşıım Kongresi, Ankara Büyükşehir Belediyesi EGO Genel Müdürlüğü, 275-288.

İNTERNET KAYNAKLARI

www.bursaray.com.tr (12.03.2009), Burulaş (Bursa Ulaşım Toplu Taşıım İşletmeciliğı San. ve Tic. A.Ş.) Resmi Web Sitesi, Bursa Büyükşehir Belediyesi İştiraki.

www.bombardier.com (23.04.2009).

www.ego.gov.tr (12.03.2009), Ankara Büyükşehir Belediyesi EGO Genel Müdürlüğü Resmi Web Sitesi.

www.istanbul-ulasim.com.tr (12.03.2009), İstanbul Büyükşehir Belediyesi İstanbul Ulaşım San. ve Tic. A.Ş. Resmi Web Sitesi.

www.lohr.fr/transport-public.htm (25.04.2009).

www.mercedes-benz.de (20.06.2009).

www.vanhool.com (15.06.2009).

www.volvo.com (19.08.2009).

EKLER

Ek 1 : Kadıköy – Kartal Projesi Yönetici Özeti

Ek 1 : Kadıköy – Kartal Projesi Yönetici Özeti

YÖNETİCİ ÖZETİ

Proje

Kadıköy – Kartal Metro Projesi, İstanbul'un Anadolu Yakası'nda yer almaktadır. Çift hatlı ve 21,020 m uzunluğunda olan güzergah üzerinde 17 istasyon planlamıştır. Kadıköy vapur iskelesi önünden başlayan güzergah, D-100 karayolu koridorunu takip ederek Kartal Kavşağı'na kadar uzanmaktadır. Proje konusu hat, İbrahimağa istasyonunda planlanan transfer merkezinde Marmaray Boğaz Tüp Geçişi'ne aktarma olanağı sağlamakta, böylece, İstanbul'un Avrupa Yakası'ndaki metro sistemi ile de entegre olmaktadır.



Projenin Konumu

D-100 devlet karayolu İstanbul'un doğu yakasındaki en önemli ana arterlerden birisi olup, üzerinde günün hemen her saatinde yoğun bir trafik bulunmaktadır. Üzerinde bulunan kullanımların yanısıra doğrusal gelişme gösteren doğu yakasındaki Kartal, Pendik, Gebze gibi bölgeleri kent merkezine ve İstanbul'un batı yakasına bağlayan arter olan bu koridor İstanbul'un en çekici bölgelerinden biri durumuna gelmiştir. Hizmete giren iş ve alışveriş merkezlerinin çektiği trafiğin yanısıra, yolu kullanan transit trafik nedeniyle kapasite sınırına yaklaşmış ve yakın bir geçmişte yola bir şerit ilavesi ile kapasite artırımı sağlanmıştır.

D-100 karayolunda 224 İETT Otobüsü, 40 Özel Halk Otobüsü ile 920 minibüs, toplu taşıma hizmeti vermektedir

Gelecekte Öngörülen Yolculuk Talepleri

Yolculuk talep tahmininde, İTÜ tarafından İstanbul Büyükşehir Belediyesi için hazırlanmış olan "İstanbul Ulaşım Ana Planı" kapsamında 1996 yılı verileri ile kalibre edilen ulaşım modeli, 2002 ve 2003 yıllarında yapılan sondaj anketleri ile güncelleştirilerek, kullanılmıştır. Modelde 209 iç, 2 dış olmak üzere, toplam 211 bölge bulunmakta ve dört aşamalı bu model, proje konusu metro hattı üzerinde, gelecekte oluşması beklenen yolculuk taleplerinin, diğer ulaştırma sistemleri ile etkileşimlerini de göz önüne alan bir sistem yaklaşımı ile tahmin edilmesine olanak vermektedir.

Gelecek için oluşturulan toplu taşıma ağında, proje konusu Kadıköy – Kartal metro hattının 2010 yılında işletmeye açılacağı öngörülmüştür. Proje konusu metro hattına ek olarak, model ataması yapılan, 2010, 2023 ve 2030 yılları için, do-minimum senaryoları oluşturulmuştur. Söz konusu senaryolarda, aşağıda verilen raylı sistem hatlarının tamamlanarak hizmet vermeye başlayacakları kabul edilmiştir.

- Taksim – 4.Levent Metro Hattı'nın, Taksim – Yenikapı ve 4. Levent – Ayazağa bağlantılarının tamamlanması.
- Yenikapı – Söğütözü Boğaz Tüp Tüneli ile Sirkeci – Halkalı ve Haydarpaşa – Gebze banliyö hatlarının metroya dönüşümünün tamamlanması.
- Yenikapı – Yenibosna Hafif Raylı Sistem Hattı'nın, Aksaray – Yenikapı bağlantısının tamamlanması.
- Zeytinburnu – Bağcılar ve Edirnekapı – Sultançifliği tramvay hatlarının tamamlanması.
- Taksim – Kabataş finüküler hattının tamamlanması.
- Karayolu ağında İstanbul Ulaşım Ana Planında 2010 yılı için öngörülen projelerin tamamlanması.

2010, 2023 ve 2030 yılları için yapılan model atamalarında hareketlilik oranı ve otomobil sahipliği dışındaki değişkenlerin sabit kalacağı öngörülmüştür.

Bu çalışmada, geçmiş nüfus değerleri göz önüne alınarak İstanbul genelinde, 2030 yılına kadar uzanan bir nüfus projeksiyonu yapılmıştır. Bu nüfus projeksiyonuna göre, 2005 yılında 10.882.143 kişi olarak öngörülen çalışma alanı nüfusunun, 2010 yılında 12.140.742 kişiye, 2030 yılında ise 16.083.319 kişiye yükseleceği öngörülmektedir.

Benzer şekilde istihdam ve öğrenci sayılarını tahmin etmek üzere, gene 2030 yılına uzanan bir zaman dilimi için projeksiyonlar yapılmıştır. Gelecekte çalışma alanı için öngörülen nüfus, istihdam ve öğrenci sayıları, beşer yıllık dilimler halinde aşağıda verilmiştir.

Nüfus, istihdam ve öğrenci sayılarının kentin iki yakasına dağılımı incelendiğinde, 2003 yılında nüfusun % 35'inin, istihdamın ise % 28'inin, proje konusu raylı sistem hattının yer alacağı, kentin doğu yakasında bulunduğu görülmektedir.

1960'lı yıllarda İstanbul'daki nüfusun % 80'i batı yakasında ikamet ederken, özellikle 1970'lerden sonra, iki yakadaki ulaştırma olanaklarının gelişmesi ile birlikte, doğu yakası oranlarında artış gözlenmiştir. Bu artış günümüzde de sürmektedir. Bu nedenle, 2030 yılında nüfusun % 59.4'ünün batı, % 40.6'sının ise doğu yakasında olacağı öngörülmüştür. İstihdamın ise % 64.4'ünün batı, % 35.6'sının ise doğu yakasında olacağı öngörülmüştür.

Gelecekte Öngörülen Nüfus, İstihdam ve Öğrenci Sayıları

Yıllar	Nüfus	İstihdam	Öğrenci
2005	10.822.143	2.903.410	2.005.999
2010	12.140.742	3.457.875	2.248.137
2015	13.377.491	4.076.990	2.478.781
2020	14.614.240	4.696.106	2.709.424
2025	15.564.012	5.110.678	2.891.293
2030	16.083.319	5.218.433	3.000.000

Bilindiği gibi hareketlilik değeri, toplumların gelişmişlik düzeyi, otomobil sahipliği ve gelir düzeyi ile orantılı olarak artmaktadır. İstanbul'da yapılan gözlemlere göre, 1987 yılında 0.87 olan kişi başına motorlu araçlarla günlük yolculuk sayısı (hareketlilik değeri), 1996 yılında İstanbul Ulaşım Ana Planı kapsamında yapılan ev anketlerinde 1.00 olarak bulunmuştur. 2010, 2023 ve 2030 yıllarında bu değerlerin sırasıyla, 1.19, 1.40 ve 1.50'ye yükseleceği öngörülmüştür.

İstanbul'da otomobil sahipliği son yıllarda hızlı biçimde artmıştır. 1980 - 2005 yılları arasında, İstanbul'da nüfus 2.3 katına çıkarken , motorlu araç ve otomobil sayısı yaklaşık 7.5 katına çıkmıştır. 2005 yılı başı itibariyle, İstanbul'da 1000 kişi başına 132 otomobil düşmektedir ve bu değerin gelecekte artmaya devam ederek, gelişmiş ülkelerin kentlerindeki doygunluk değerlerine ulaşması beklenmelidir. Doygunluk değerinin 1000 kişi başına 550 otomobil olarak alınması durumunda, 2023 yılında İstanbul'da otomobil sahipliğinin 300 / 1000 kişi değerine ulaşması öngörülmektedir.

Gelecek için öngörülen planlama verileri ve ulaştırma ağı kullanılarak, 2010, 2023 ve 2030 yılları için model testleri yapılmış ve Kadıköy - Kartal metro hattı üzerinde gelecekte ortaya çıkması beklenen toplam yolcu sayıları ve maksimum kesit trafikleri tahmin edilmiştir.

Buna göre, Kadıköy – Kartal metro hattının yolculuk taleplerinin, 2010 yılında 679,697 yolcu/gün, 2023 yılında 941,382,697 yolcu/gün, 2030 yılında 1,106,876 yolcu/gün düzeyinde olacağı öngörülmektedir.

İşletme Planı ve Gerekli Araç Sayıları

The Kadıköy – Kartal metro hattı günde 19 saat işletilecektir ve doruk saatteki dizi aralıkları her yıl traffic arttıkça azalacaktır. Doruk saatteki dizi aralıkları 2010 yılında 5 dakika, 2023 yılında 4 dakika ve 2030 yılında 3.5 dakika olarak hesaplanmıştır. Hattın trafik öngörülerine bağlı olarak gerekli metro aracı sayıları öngörülmüştür. Gerkeli metro aracı sayısı (% 15 yedek araç dahil olmak üzere) 2010 yılında 129 araç, 2034 yılında ise 212 araç olarak hesaplanmıştır.

Proje Maliyetleri

Projenin yapım maliyeti, 5 yıllık bir yapım süresi için, 925,000,000 USD olarak öngörülmüştür.

Yapım Maliyetleri (USD)

	Yıl 1 2005	Yıl 2 2006	Yıl 3 2007	Yıl 4 2008	Yıl 5 2009	Toplam
İnşaat İşleri	50.000.000	150.000.000	150.000.000	110.000.000		460.000.000
E&M İşler			130.000.000	170.000.000	100.000.000	400.000.000
Danışmanlık	500.000	2.500.000	3.500.000	3.000.000	1.500.000	11.000.000
Diğer	500.000	2.000.000	2.500.000	1.500.000	500.000	7.000.000
Kamulaştırma						0
Toplam	51.000.000	154.500.000	286.000.000	284.500.000	102.000.000	878.000.000
Öngörülemeyen Giderler	2.500.000	7.500.000	14.500.000	10.000.000	12.500.000	47.000.000
Genel Toplam	53.500.000	162.000.000	300.500.000	294.500.000	114.500.000	925.000.000

Öngörülen trafiğe bağlı olarak gerekli metro aracı sayıları aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

Yıl	Gerekli Araç Sayısı
2009	129
2013	9
2018	19
2024	18
2030	37
Toplam	212

Bir metro aracının satın alma fiyatı 1,600,000 USD olup metro araçlarının ekonomik ömrü 25 yıl ve ekonomik ömrü sonundaki kalıcı değerleri ise satın alma fiyatının % 10'u olarak alınmıştır. 212 metro aracının toplam maliyeti 339,200,000 USD olarak hesaplanmıştır.

Ekonomik Fizibilite Etüdü Sonuçları

Ekonomik fizibilite etüdünde Kadıköy – Kartal Metro Projesi'nin ekonomik maliyetleri ve faydaları değerlendirilmiştir. % 12 güncelleştirme oranı kullanılarak projenin güncellenmiş maliyetleri ve faydaları hesaplanmıştır. Projenin ekonomik fizibilite göstergeleri aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

Net Bugünkü Değer (N.B.D.)	998,808,427 USD
Ekonomik İç Verimlilik Oranı (E.I.R.R.)	25.39 %
Fayda / Maliyet Oranı	2.25

Bu değerlerden görüldüğü gibi, Kadıköy – Kartal Metro Projesi ekonomik bakımdan yapılabilir bir projedir.

Projenin ekonomik faydalarının % 73'ünü yolculuk zamanının kısalmasından kaynaklanacak ekonomik faydalar oluşturmaktadır.

Bazı temel parametrelerin değişmesi durumunda ekonomik fizibilite etüdü sonuçlarının nasıl değiştiğini belirlemek amacıyla duyarlılık analizi yapılmıştır. Herbir duyarlılık sınaması için projenin ekonomik iç verimlilik oranı (E.I.R.R.) ve fayda / maliyet oranı hesaplanmıştır.

Kadıköy – Kartal Metro Projesi'nin ekonomik fayda ve maliyetlerine ilişkin duyarlılık analizinin sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

Ekonomik Duyarlılık Analizinin Sonuçları

Senaryolar	E.I.R.R. (%)	Fayda/Maliyet Oranı
İncelenen Durum	25.39	2.25
Metro Trafiği % 20 Fazla	34.19	3.27
Yapım Maliyeti % 20 Fazla	22.71	1.99
Metro İşletme ve Bakım Maliyetleri % 20 Fazla	25.06	2.16
Karayolu Araçları İşletme Maliyetleri % 20 Fazla	25.98	2.31
Zaman Değeri % 20 Az	22.46	1.92
Zaman Değeri % 40 Az	19.18	1.59
Çevresel Maliyetler % 20 Fazla	25.46	2.25
Karayolu Kazaları % 20 Fazla	25.46	2.25

Mali Fizibilite Etüdü Sonuçları

Proje konusu Kadıköy - Kartal metro hattının mali fizibilite etüdünde, 2005-2034 yılları arasındaki yapım ve işletme dönemi içinde, projenin gelir ve giderleri, yatırımcı / işletmeci kuruluş açısından değerlendirilmiştir.

Kadıköy – Kartal metro hattı inşaatının 2005 yılında başlayarak, 31 Aralık 2009 tarihinde tamamlanacağı ve hattın 1 Ocak 2010 tarihinde işletmeye açılacağı öngörülmüştür. 2005 ve 2034 yılları arasındaki 30 yıllık değerlendirme dönemi için projenin mali net bugünkü değeri (NBD) ve mali iç verimlilik oranı (FIRR) hesaplanmıştır.

Yatırım süresince tüm inşaat, mühendislik, danışmanlık, finansman (taahhüt komisyonu, yönetim komisyonu, kredi faizi) giderlerinin özkaynak ile karşılanacağı öngörülmüştür. İşletmenin ilk yılı için gerekli olan 129 metro aracının alımı ve elektro-mekanik işler için gerekli mali kaynakların ise kredi ile sağlanacağı öngörülmüştür. Böylece, inşaat süresince gereken yatırım ve finansman giderlerinin % 13.8'i özkaynak ile sağlanmış olacaktır.

Kredi koşullarının aşağıdaki gibi olacağı öngörülmüştür:

- LIBOR : % 4.23
- Kredi Faizi: LIBOR + % 1.0 = % 5.23
- Taahhüt Komisyonu : % 0.15
- Yönetim Komisyonu : % 0.50
- Kredi Kullanımı : İnşaat Süresi (5 yıl)
- Geri Ödemesiz Süre : İnşaatın Başlangıcından İtibaren 5 Yıl
- Geri Ödeme Süresi : 10 Yıl
- Ödeme Biçimi : 6 Aylık Eşit Ödemeler Halinde

Mali fizibilite etüdünün sonuçları aşağıda özetlenmiştir :

- Ortalama bilet ücretinin 0,75 \$ olması durumunda, projenin mali iç verimlilik oranı % 10.25, finansal net bugünkü değeri (NBD) ise – 118,256,223 USD olmaktadır.
- Kadıköy – Kartal Metro Projesi, öngörülen finansman koşullarına göre, 2005 ve 2009 yılları arasında 156,000,000 USD, 2010 ve 2011 yıllarında ise 21,000,000 USD tutarında bir özkaynak gerektirmektedir.
- Proje konusu metro hattı için 975,400,000 USD tutarında kredi kullanılması öngörülmüştür.
- Proje gelirleri ile, kredi anapara ve faizleri 2019 yılı sonunda geri ödenebilmektedir. Kredi için toplam geri ödeme miktarı, 1,376,772,242 USD olarak hesaplanmıştır.
- Metro trafiğinin değişmemesi ve ortalama bilet ücretinin 0.85 USD olması durumunda, mali iç verimlilik oranı % 11.98, finansal net bugünkü değeri (NBD) ise –1,682,153 USD olmaktadır.
- Metro trafiğinin öngörülenden % 20 daha fazla gerçekleşmesi ve ortalama bilet ücretinin 0.75 USD olması durumunda, mali iç verimlilik oranı % 11.55, finansal net bugünkü değeri (NBD) ise – 3,524,617 USD olmaktadır.
- Metro trafiğinin öngörülenden % 20 daha fazla gerçekleşmesi ve ortalama bilet ücretinin 0.85 USD olması durumunda ise mali iç verimlilik oranı % 13.80, finansal net bugünkü değeri (NBD) ise 136,364,268 USD olmaktadır.

Mali Fizibilite Duyarlılık Analizi Sonuçları

	Trafik Sabit		Trafik % 20 Fazla	
Ortalama Bilet Ücreti (2005, USD)	0,75	0,85	0,75	0,85
Net Bugünkü Değer (USD)	-118.256.223	-1.682.153	-3.524.617	136.364.268
Mali İç Verimlilik Oranı (%)	10,25	11,98	11,95	13,8

1. GİRİŞ

Bu rapor, Kadıköy – Kartal Metro Projesi'nin ulaşım etüdü ile mali ve ekonomik fizibilite etüdüleri sonuçlarını içermektedir. Ulaşım etüdünde, inşaatın tamamlanması öngörülen 2010 yılı ile 2034 yılı arasındaki dönemde proje konusu hat kesimleri üzerinde ortaya çıkması beklenen yolculuk talepleri tahmin edilmiştir. Toplam uzunluğu 20,915 m olması planlanan Kadıköy – Kartal metro hattı üzerinde 17 istasyon olacak şekilde tüm güzergah yer altında ve delme tünel olarak inşa edilecektir.

Ekonomik fizibilite etüdünde, proje konusu metro hattının yapılması durumunda ortaya çıkacak faydalar ve maliyetler genel ekonomi açısından değerlendirilmiştir. Bu amaçla, göz önüne alınan değerlendirme dönemi içinde, projenin yapılması (projeli) ve yapılmaması (projersiz) durumlarındaki ekonomik maliyetler göz önüne alınarak, projenin yapılmasıyla ekonomik maliyetlerde ortaya çıkacak azalmalar projenin net faydası olarak hesaplanmıştır.

Mali değerlendirmede, 2005-2034 yılları arasındaki yapım ve işletme dönemi içinde, projenin gelir ve giderleri, yatırımcı / işletmeci kuruluş açısından değerlendirilmiştir.

Rapor, beş bölümden oluşmaktadır. Raporun giriş bölümünü izleyen ikinci bölümünde, proje konusu metro hattının gelecekteki yolculuk taleplerini öngörmek amacıyla yapılan ulaşım etüdünün sonuçları verilmiştir. Kadıköy – Kartal metro hattının işletmeye açılacağı 2010 yılı ile 2034 yılı arasındaki değerlendirme dönemi içinde, proje konusu metro hattının kesimleri üzerinde gelecekte ortaya çıkması beklenen yolculuk talepleri 4 aşamalı bir ulaşım modeli kullanılarak tahmin edilmiştir. Ulaşım modelinin yapısı, modelde kullanılan katsayılar ile gelecek için öngörülen sosyo-ekonomik değişimler ve raylı sistem ağı raporun ikinci bölümünde açıklanmıştır.

Raporun üçüncü bölümünde ekonomik değerlendirme sonuçları verilmiştir. Ekonomik değerlendirmede, projenin ekonomik net güncelleştirilmiş değeri (NPV, economic net present value), ekonomik iç verimlilik oranı (EIRR, economic internal rate of return) ve fayda / maliyet oranı (B/C, benefit /cost ratio) hesaplanmıştır.

Raporun dördüncü bölümünde, mali değerlendirme sonuçları verilmiştir. Mali değerlendirmede, 2005-2034 yılları arasındaki değerlendirme dönemi boyunca her yıl için hesaplanan gelir ve giderler % 12 güncelleştirme (iskonto) oranı ile güncelleştirilerek, incelenen proje seçeneklerinin mali net bugünkü değeri (NBD) ve mali iç verimlilik oranı (FIRR) hesaplanmıştır.

Mali değerlendirmede, ayrıca, yatırım ve işletme dönemlerindeki tüm nakit giriş ve çıkışlarını gösteren projenin indirgenmiş nakit akışı tablosu, mali kaynaklar ve kaynakların kullanımını gösteren mali nakit akışı tablosu ile kredi geri ödeme planı tablosu hazırlanmıştır.

Çalışmanın sonuçları beşinci bölümde özetlenmiştir.

2. YOLCULUK ÖNGÖRÜLERİ VE İŞLETME PLANI

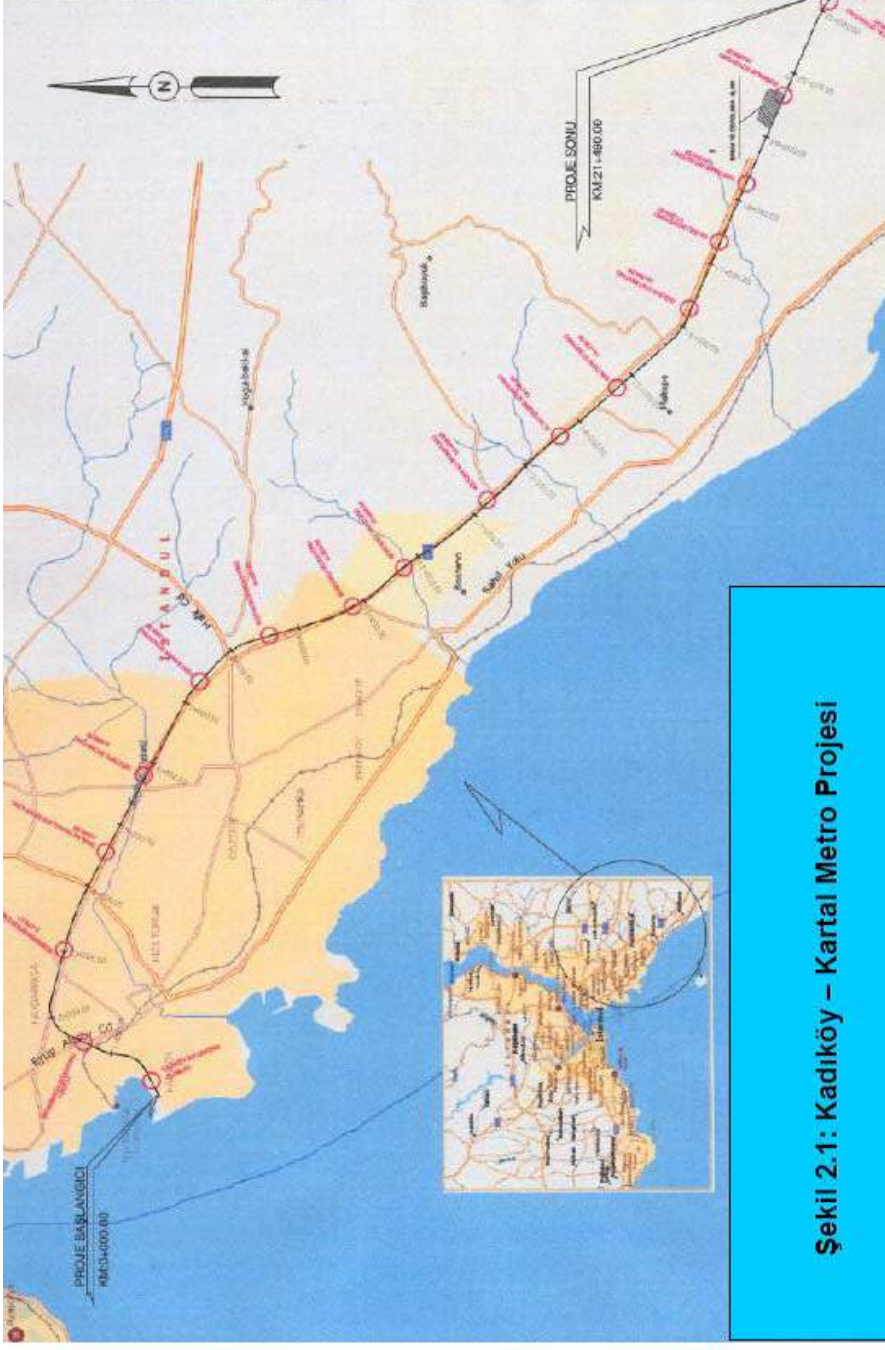
2.1. Kadıköy – Kartal Metro Projesi

Kadıköy – Kartal Metro Hattı, İstanbul'un Anadolu Yakası'nda yer almaktadır. Çift hatlı ve 21,020 m uzunluğunda olan güzergah üzerinde 17 istasyon planlanmıştır. (Tablo 2.1). Kadıköy vapur iskelesi önünden başlayan güzergah, D-100 karayolu koridorunu takip ederek Kartal Kavşağı'na kadar uzanmaktadır. Şekil 2.1'de proje konusu metro hattının, İstanbul'un Anadolu Yakası'ndaki konumu gösterilmiştir. Proje konusu hat, İbrahimağa istasyonunda planlanan transfer merkezinde Marmaray Boğaz Tüp Geçişi'ne aktarma olanağı sağlamakta, böylece, İstanbul'un Avrupa Yakası'ndaki metro sistemi ile de entegre olmaktadır.

Tablo 2.1: Metro Hattı Üzerinde Yer Alacak İstasyonlar

İstasyonlar	Metre	Mesafe (m.)
Kadıköy	0	
İbrahimağa	1.163	1.163
Acıbadem	2.725	1.562
Ünalan Mahallesi	4.345	1.620
Göztepe	5.250	905
Yeni Sahra	7.225	1.975
Kozyatağı	8.230	1.005
Bostancı	9.590	1.360
Bostancı Sanayi	10.560	970
Küçükyalı	12.120	1.560
Altayçeşme	13.170	1.050
Maltepe	14.430	1.260
Gülsuyu	15.365	935
Cevizli	16.795	1.430
Hastane	17.925	1.130
Soğanlık	19.375	1.450
Kartal	20.915	1.540

D-100 devlet karayolu İstanbul'un doğu yakasındaki en önemli ana arterlerden birisi olup, üzerinde günün hemen her saatinde yoğun bir trafik bulunmaktadır. Üzerinde bulunan kullanımların yanısıra, doğrusal gelişme gösteren doğu yakasındaki Kartal, Pendik, Gebze gibi bölgeleri kent merkezine ve İstanbul'un batı yakasına bağlayan arter olan bu koridor İstanbul'un en çekici bölgelerinden biri durumuna gelmiştir. Hizmete giren iş ve alışveriş merkezlerinin çektiği trafiğin yanısıra, yolu kullanan transit trafik nedeniyle kapasitesi sınırına yaklaşmış ve yakın bir geçmişte yola bir şerit ilavesi ile kapasite arttırımı sağlanmıştır.



İstanbul Metropolitan Alanındaki toplu taşıma sisteminin hizmet düzeyi, benzer büyüklükteki diğer Avrupa kentleri ile karşılaştırıldığında oldukça düşük kalmaktadır. Buna ek olarak, ayrıca, Anadolu Yakası'ndaki mevcut kentiçi raylı sistem hatlarının, Avrupa Yakası'na oranla oldukça kısıtlı olduğu açıkça görülmektedir. Toplu taşıma hatlarının geliştirilmesi yakalar arasındaki istihdam dengesine katkı sağlayabilecek bir araç olarak da değerlendirilmektedir.

İstanbul'un Anadolu Yakası'nda, halen kentiçi toplu taşımacılığında kullanılan en önemli raylı sistem hattı, Haydarpaşa - Gebze arasında işletilmekte olan banliyö hattıdır. TCDD tarafından işletilmekte olan bu hatta, 18 istasyon bulunmakta ve Haydarpaşa'dan başlayarak Marmara Denizi kıyısı boyunca Bostancı, Kartal ve Pendik'e, oradan da Gebze'ye ulaşmaktadır. Altyapı ve işletme sorunları bulunan bu hat üzerindeki kapasiteler oldukça düşüktür. Yakın bir gelecekte, Marmaray Projesi kapsamında, bu hattın kapasitesinin 75.000 yolcu/yön/saat düzeyine yükseltilmesi için inşaat çalışmalarına başlanacaktır.

Anadolu Yakası'nda yer alan ikinci raylı sistem hattı ise, Kadıköy ile Moda arasında, tek hatlı ring şeklinde ve düşük kapasite ile hizmet vermekte 2,6 km uzunluğundaki tramvay hattıdır.

2.2. Proje Koridorundaki Mevcut Trafik

D-100 devlet karayolu İstanbul'un doğu yakasındaki en önemli ana arterlerden birisi olup, üzerinde günün hemen her saatinde yoğun bir trafik bulunmaktadır. Bu koridorda toplu taşıma hizmeti otobüsler ve minibüsler tarafından sağlanmaktadır. D-100 karayolu üzerinde, 27 Nisan 2005 tarihinde sabah doruk saatte (07:30 – 08:30) yapılan trafik sayımları Tablo 2.2'de verilmiş olup, söz konusu sayım istasyonları Şekil 2.2'de gösterilmiştir.

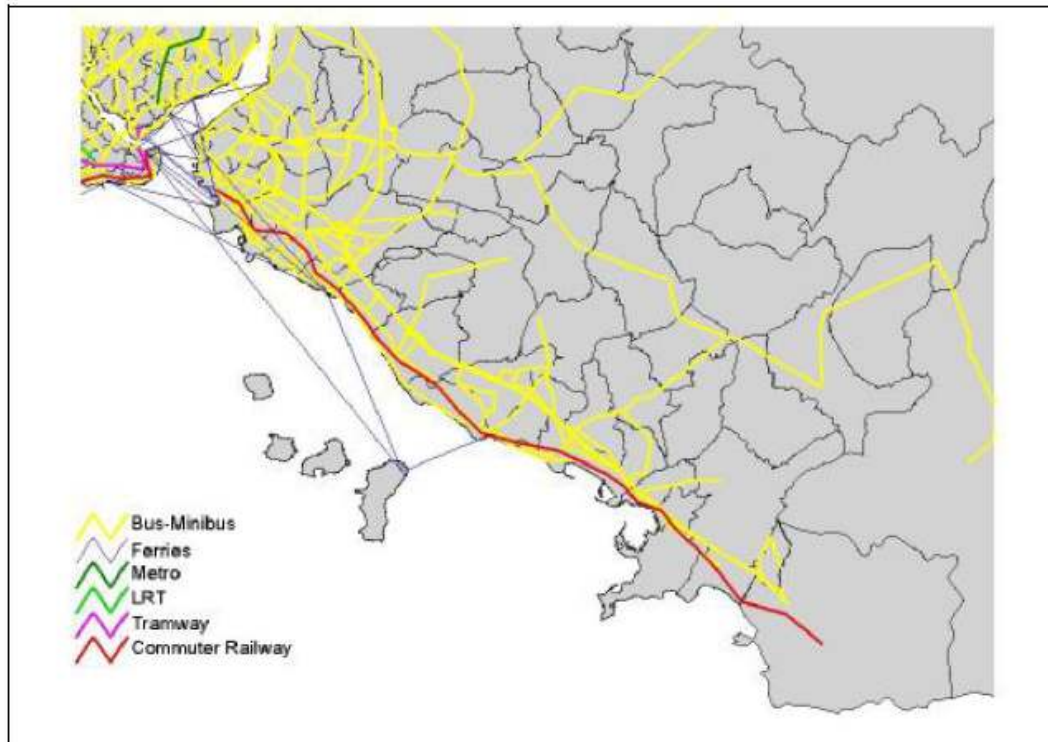


Tablo 2.2: D 100 Karayolunda Yapılan Trafik Sayımları (Araç/Sabah Doruk Saat)

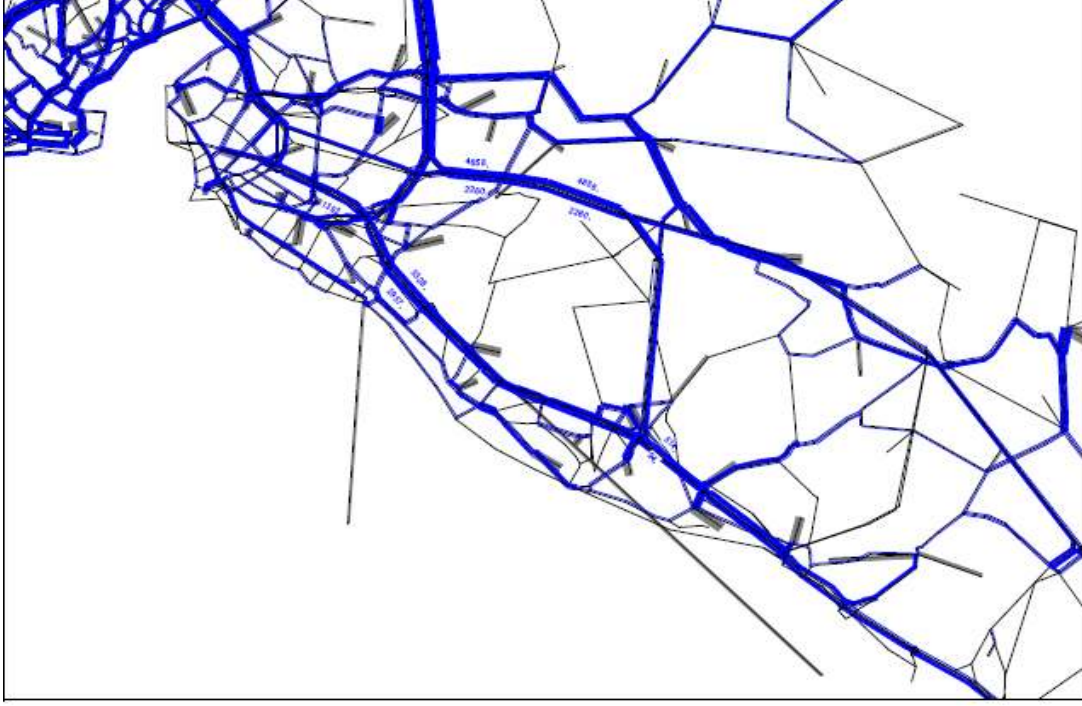
Kesim	Yön	Otomobil/ Taksi	Toplu Taşıma		Servis		Ticari Araçlar	TOPLAM
			Otobüs	Minibüs	Otobüs	Minibüs		
Acıbadem	Kadıköy Yönü	4.603	137	278	2	304	177	5.501
	Kartal Yönü	2.016	98	260	60	20	115	2.569
Göztepe	Kadıköy Yönü	5.183	141	354	38	592	746	7.054
	Kartal Yönü	4.206	121	322	34	704	377	5.764
Kartal	Kadıköy Yönü	2.092	42	78	38	314	561	3.125
	Kartal Yönü	1.507	54	53	21	259	410	2.304

Toplam üç sayım istasyonunda gözlenen araçların sabah doruk saatte yönlere dağılımı, Kadıköy yönü % 60, Kartal yönü % 40 olarak hesaplanmaktadır. Başka bir deyişle, koridordaki trafik akımlarının yönlere dağılımları, doruk saatlerde çok büyük farklılıklar göstermemektedir. Söz konusu karayolu üzerindeki trafik akımlarının yol kapasitesine ulaşması nedeniyle, özellikle sabah ve akşam saatlerinde önemli tıkanıklıklar ve sıkışıklıklar yaşanmaktadır.

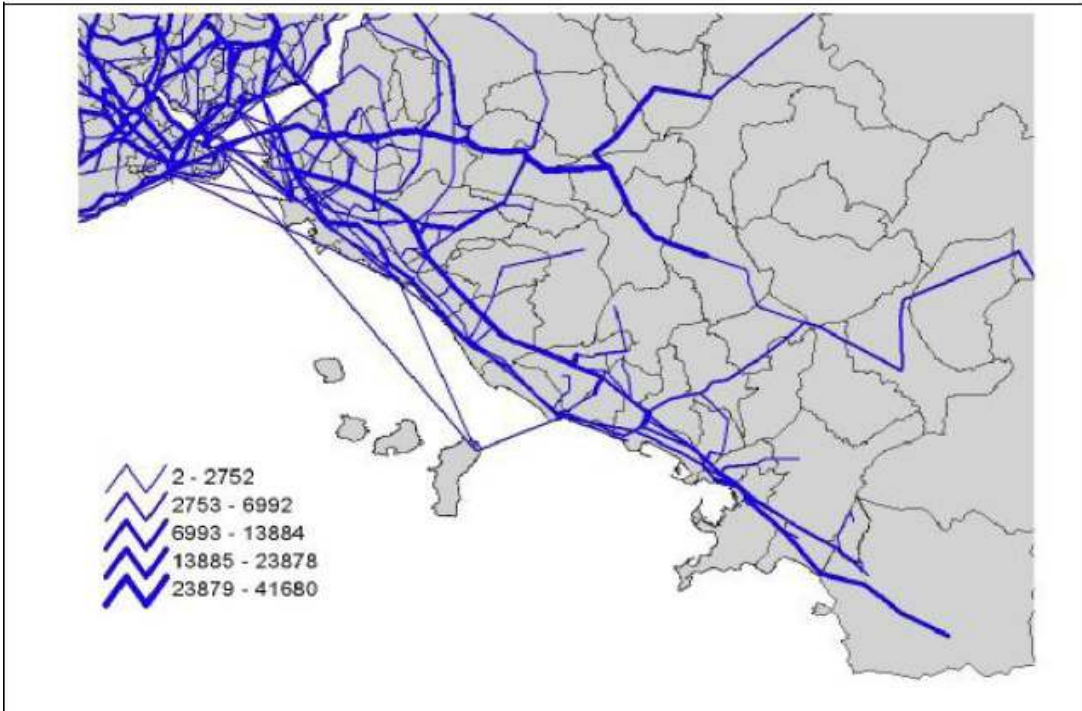
D-100 karayolunda 224 İETT Otobüsü, 40 Özel Halk Otobüsü ile 920 minibüs toplu taşıma hizmeti vermektedir (Şekil 2.3). Proje alanındaki mevcut sabah doruk saat özel ve toplu taşıma yolculukları, sırasıyla Şekil 2.4 and 2.5'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Metro Projesi ve Toplu Taşıma Sistemi



Şekil 2.4: Proje Alanındaki Sabah Doruk Saat Karayolu Trafik Akımları
(Birim Otomobil/Yön, 2005 Yılı)



Şekil 2.5: Proje Alanındaki Sabah Doruk Saat Toplu Taşıma Yolculukları
(Yolcu/Yön, 2005 Yılı)

2.3. Ulaşım Modeli

Yolculuk talep tahmininde, İTÜ tarafından İstanbul Büyükşehir Belediyesi için hazırlanmış olan "İstanbul Ulaşım Ana Planı" kapsamında 1996 yılı verileri ile kalibre edilen ulaşım modeli, 2002 ve 2003 yıllarında yapılan sondaj anketleri ile güncelleştirilerek kullanılmıştır. Modelde 209 iç, 2 dış olmak üzere, toplam 211 bölge bulunmakta ve dört aşamalı bu model, proje konusu metro hattı üzerinde, gelecekte oluşması beklenen yolculuk taleplerinin, diğer ulaştırma sistemleri ile etkileşimlerini de göz önüne alan bir sistem yaklaşımı ile tahmin edilmesine olanak vermektedir.

Ulaşım modeli dört alt modelden oluşmaktadır.

- a) Yolculuk yaratım / çekim modeli
- b) Yolculuk dağıtım modeli
- c) Türel dağılım modeli
- d) Yolculuk atama modeli

Ulaşım modelinin bu aşamaları arasındaki ilişkileri gösteren bir akış çizelgesi Şekil 2.6'da verilmiştir.

Ulaşım modeli değişik paket programların karışımından oluşmaktadır. Tranplan¹ ve Transport² ticari paketlerinin yanısıra, İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) tarafından geliştirilen programlar da model içerisinde yer almaktadır. 1996 yılında yapılan hanehalkı yolculuk anketleri³ ile kalibre edilen ulaşım modeli, 2002-2003 yılında gerçekleştirilen trafik sayımları ve toplu taşıma yolculuk değerleri ile yeniden sınanmıştır.

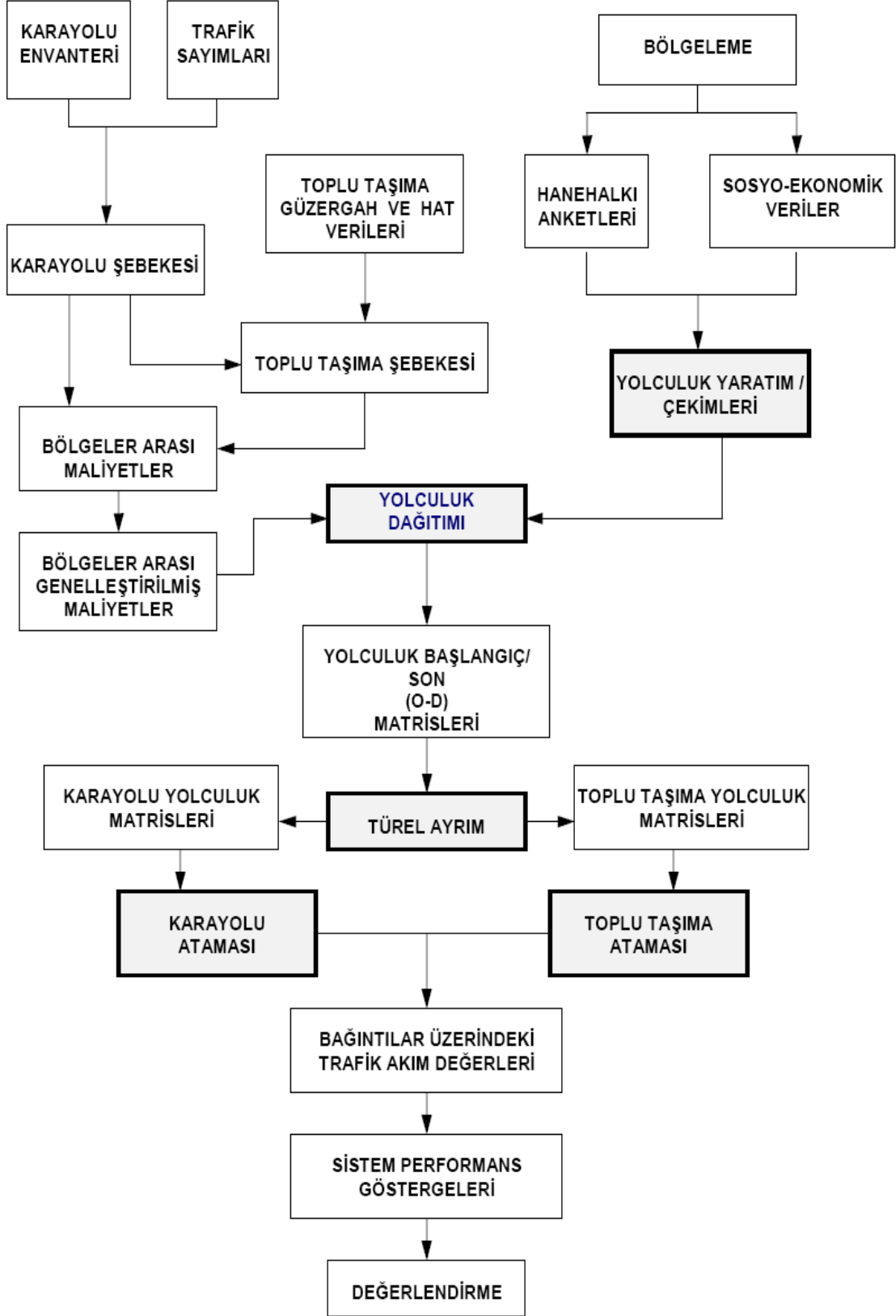
Ulaşım modeli aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır.

- a. Çalışma alanı, bölge (zon) adı verilen küçük, mümkün olduğunca aynı arazi kullanım özellikleri ve sosyo-ekonomik karakteristikler taşıyan 209 coğrafi planlama birimine bölünmüştür. Her bir bölge için nüfus, istihdam, öğrenci sayıları (ilköğretimden üniversiteye kadar), nüfusun gelir gruplarına (düşük, orta, yüksek) ve çalışma durumlarına (çalışan, çalışmayan) göre dağılımları belirlenmiştir.
- b. Karayolu ulaştırma ağı, İstanbul'un ana arterleri ile kavşaklarından oluşmaktadır. On değişik yol tipi tanımlanmış (bölünmüş refüjlü üçer şeritli, iki yönlü 2 şeritli v.b.) ve her bir yol tipi için değişik yolculuk zamanı/akım eğrileri belirlenmiştir.
- c. Toplu taşıma ulaştırma ağı, İstanbul'da işletilmekte olan tüm sistemleri (İETT otobüsü, özel halk otobüsü, minibüs, metro, hafif metro, tramvay, deniz otobüsü, dolmuş motoru, şehir hatları) kapsamakta olup tüm hatların güzergahları, sıklıkları, bilet ücretleri, durakları v.b. model formatında kodlanmıştır.

¹ Tranplan yazılımı Urban Analysis Group (ABD) tarafından üretilmiştir.

² Transport yazılımı Halcrow Fox (UK) tarafından üretilmiştir.

³ 11,795 evde 37,843 kişiyle yolculuk anketi yapılmıştır.



Şekil 2.6: Ulaşım Modeli Akış Şeması

- d. Yolculuk yaratım modelinde, 209 trafik bölgesinin herbirinden yaratılan yolculuklar, dört yolculuk amacı için (Ev-İş, Ev-Okul, Ev-Diğer ve Diğer) nüfusun gelir düzeyi ve çalışma durumuna bağlı olarak, kategori analizi ile belirlenmiştir. Yolculuk çekim modelinde ise gene her bir yolculuk amacı için, bölgelerin yolculuk çekimleri, istihdam ve öğrenci sayılarına bağlı olarak hesaplanmıştır.
- e. Yolculuk dağıtım modelinin işlevi, yolculuk yaratım/çekim modeliyle belirlenen yolculukları trafik bölgeleri arasında bölüştürmektir. Dağıtım modeli sonucunda kentin bütünü ve herbir yolculuk amacı için bölgeler arasındaki günlük yolculukları gösteren yolculuk matrisleri elde edilmektedir. Bölgeler arasındaki yolculukların tahmini için, aşağıda bağıntısı verilen, çift kısıtlı bir çekim modeli kullanılmıştır.

$$T_{ij}^p = a_i \cdot b_j \cdot G_i^p \cdot A_j^p \cdot f^p(t_{ij})$$

Burada,

T_{ij}^p : i-j bölgeleri arasında yapılan p amaçlı yolculukların sayısı

G_i^p : i bölgesinden yaratılan p amaçlı yolculuk sayısı

A_j^p : j bölgesine çekilen p amaçlı yolculuk sayısı

$f^p(\cdot)$: i-j bölgeleri arasındaki p amaçlı yolculuklar için direnimsizlik fonksiyonu

t_{ij} : i-j bölgeleri arasındaki ortalama yolculuk süresi

a_i, b_j : Yaratım ve çekim kısıtlarının sağlanması için kullanılan dengeleme katsayılarıdır.

$$\text{Yaratım kısıtı} \quad \sum_j T_{ij}^p = G_i^p$$

$$\text{Çekim kısıtı} \quad \sum_i T_{ij}^p = A_j^p$$

Bölgeler arasındaki $f(\cdot)$ direnimsizlik fonksiyonu olarak

$$f(c_{ij}) = \text{Exp}(-\beta \cdot t_{ij})$$

şeklinde eksponansiyel bir fonksiyon kullanılmıştır.

İki bölge arasındaki yolculuk süresi, özel araç ve toplu taşıma ile yapılan yolculukların oranları göz önünde tutularak ağırlıklı ortalama alınarak hesaplanmıştır. 1996 yılında, İstanbul'da yolculukların % 58'i toplu taşıma, % 42'i ise özel araçlar ve servis araçları ile yapıldığından ortalama yolculuk süresi aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$t_{ij} = 0.42t_{ij}(\text{şzel}) + 0.58t_{ij}(\text{toplu taşıma})$$

Model kalibrasyonu, her yolculuk amacı için, direnimsizlik fonksiyonunun β katsayısının ardışık yaklaşımla belirlenmesiyle yapılmıştır. Modelden elde edilen yolculuk matrisi anketlerle belirlenmiş olan gözlem matrisine yeteri kadar yakın olduğunda ardışık yaklaşım işlemine son verilmiştir.

- f. Türel ayırım modelinde, dağıtım modeli ile tahmin edilmiş olan bölgeler arası yolculukların ne kadarının özel araçlarla, ne kadarının toplu taşıma araçları ile yapılacağı belirlenmiştir. Özel otomobilden yararlanma olanağı olan kişilerin özel

ve toplu taşıma arasındaki tercihlerini belirlemek için ikili (binomial) bir logit türel ayırım modeli kalibre edilmiştir. Özel otomobilden yararlanma olanağı olmayan kişilerin yolculukları toplu taşıma ve taksi arasında bölünmüştür. Bunun için, 1996 yılında gerçekleştirilen ev halkı anketleri sonucunda sektörler arasında hesaplanmış olan taksi kullanma faktörleri kullanılmıştır.

- g. Karayolu ve toplu taşıma yolculukları için oluşturulan günlük başlangıç/varış matrisleri, 1996 yılı hanehalkı anketleri ve trafik sayımlarından hesaplanan oranlar ile İETT'den elde edilen 2003 yılına ilişkin doruk saat/günlük yolculuk oranlarından yararlanılarak, sabah doruk saat matrislerine dönüştürülmüştür.
- h. Yolculuk atama modelinde, karayolu ve toplu taşıma atamaları ayrı ayrı yapılmıştır. Özel araçlar ve servis araçları ile yapılan yolculuklar ile yük araçları matrisi otomobil birimine (pcu) dönüştürülerek karayolu ağına yüklenmiştir. Deterministik denge konumu atama yöntemi ile yapılan karayolu atamalarında, yol kesimlerinin kapasitelerine ve üzerindeki trafik hacimlerine bağlı olarak yolun tıkanma durumunu göz önüne almak amacıyla, karayolu ağını oluşturan tüm bağlantılar için değişik trafik hacmine bağlı olarak akım hızlarını veren hız / akım eğrileri tanımlanmıştır. Toplu taşıma atamalarında ise "ya hep ya hiç" (all or nothing) yöntemi kullanılarak, toplu taşıma hatları üzerindeki yolculuk değerleri belirlenmiştir.

2.4. Modelin Geçerlik Sınamaları

2003 yılı nüfus, istihdam ve öğrenci sayıları kullanılarak belirlenen sabah doruk saatte özel araçlar ve servis araçları ile yapılan yolculuklara ait başlangıç-son (O/D) matrisleri ile yük araçları matrisi otomobil birimine (pcu) dönüştürülerek "denge durumu ataması (equilibrium assignment)" yöntemi ile karayolu ağına yüklenmiştir. Benzer şekilde, sabah doruk saatteki toplu taşıma yolculukları ise toplu taşıma ağına yüklenerek toplu taşıma hatları üzerindeki doruk saat trafik hacimleri elde edilmiştir.

Çalışmada kullanılan ulaşım modeli, tüm İstanbul metropoliten alanını kapsadığı için, trafik analiz bölgeleri birkaç mahallenin birleşmesinden oluşmakta, bu nedenle herhangi bir raylı sistem hattının bir kaç durak ya da istasyonu aynı bölge içerisinde kalmaktadır. Model/gözlem karşılaştırması yapılırken aynı bölge içerisinde kalan istasyon/duraklar birlikte değerlendirilmiştir. 2003 yılı için, gözlenen ve modelden elde edilen raylı sistem hatları üzerindeki yolculuk değerleri Tablo 2.3 – Tablo 2.7'de verilmiştir.

Tablo 2.3: Metro Hattı Model/Gözlem Değerleri

Model Düğüm No.	İstasyon Adı	Gözlem (*) (Kişi/Gün)	Model (Kişi/Gün)	Model/Gözlem
8107	Taksim	26.476	19.270	0,73
8108	Osmanbey	19.959	24.815	1,24
8109	Şişli	27.250	46.399	1,27
8110	Gayrettepe	5.277	5.663	
8111	Levent	14.865	8.096	
8112	4. Levent	35.002	38.680	1,11
	TOPLAM	128.828	142.923	1,11

(*) Nisan 2003 Haftaiçi Günlük Ortalama (Kaynak: Ulaşım A.Ş.)

Tablo 2.4: Hafif Metro Hattı Model/Gözlem Değerleri

Model Düğüm No.	İstasyon Adı	Gözlem (*) (Kişi/Gün)	Model (Kişi/Gün)	Model/Gözlem
8070	Aksaray	28.589	12.380	0,43
8071	Emniyet	11.284	9.518	
8072	Ulubatlı	4.749	5.518	0,94
8073	Bayrampaşa	6.734	16.566	
8074	Sağmalcılar	11.501	23.048	2,49
8075	Kartaltepe	10.044	30.795	
8076	Otogar	14.615	12	
8077	Terazidere	6.256	5.494	0,78
8078	Davutpaşa	5.309	14.916	
8079	Merter	2.993	398	
8080	Zeytinburnu	13.388	19.018	1,19
8081	Bakırköy	6.594	19.807	3,00
8082	Bahçelievler	4.647	17.584	
8083	Ataköy	18.256	2.940	0,90
8084	Yenibosna	12.544	26.801	
8121	Dünya Ticaret Merkezi	953	0	
8122	Havaalanı	2.930	0	0,85
	Esenler	15.165	0	
	TOPLAM	176.551	204.795	1,16

(*) Nisan 2003 Haftaiçi Günlük Ortalama (Kaynak: Ulaşım A.Ş.)

Tablo 2.5: Tramvay Hattı Model/Gözlem Değerleri

Model Düğüm No.	İstasyon Adı	Gözlem (*) (Kişi/Gün)	Model (Kişi/Gün)	Model/Gözlem
8086	Eminönü	16.625	10.735	
8087	Sirkeci	13.030	13.860	0,83
8088	Gülhane	1.625	0	
8089	Sultanahmet	1.528	5.315	1,76
8090	Çemberlitaş	7.797	13.940	
8091	Beyazıt	11.882	12.440	
8092	Üniversite	5.388	0	0,54
8093	Laleli	5.809	0	
8094	Yusufpaşa	14.382	3.430	
8095	Haseki	2.774	2.380	0,88
8096	Fındıkzade	4.991	13.735	
8097	Çapa	7.590	4.845	
8098	Pazartekke	2.642	5.850	1,05
8099	Cevizlibağ	7.580	11.830	
8100	Atatürk Öğr. Yurdu	6.636	0	0,72
8101	Merkezefendi	2.281	0	
8102	Seyitnizam	7.519	18.620	
8103	Akşemsettin	3.823	0	1,28
8104	M.Paşa	3.175	0	
8123	Zeytinburnu	15.673	24.890	1,59
	TOPLAM	142.750	141.870	0,99

(*) Nisan 2003 Haftaiçi Günlük Ortalama (Kaynak: Ulaşım A.Ş.)

Tablo 2.6: Batı Banliyö Hattı Model/Gözlem Değerleri

Model Düğüm No.	İstasyon Adı	Gözlem (*) (Kişi/Gün)	Model (Kişi/Gün)	Model (Kişi/Gün)
8052	Sirkeci	12.504	13.835	1,11
8053	Cankurtaran	684	575	0,43
8054	Kumkapı	5.045	1.910	
8055	Yenikapı	3.431	4.255	0,89
8056	Kocamustafapaşa	2.929	430	
8057	Yedikule	1.818	2.555	2,56
8058	Kazlıçeşme	2.840	0	
8059	Zeytinburnu	5.226	20.640	0,68
8060	Yenimahalle	1.489	275	
8061	Bakırköy	9.741	7.350	0,74
8062	Yeşilyurt	1.619	4.475	
8063	Yeşilköy	2.651	0	1,39
8064	Florya	1.569	0	
8065	Menekşe	214	0	0,75
8066	Küçükçekmece	7.254	10.105	
8067	Soğuksu	1.583	0	1,08
8068	Kanarya	5.483	4.255	
8069	Halkalı	1.820	2.450	1,08
	TOPLAM	67.900	73.110	

(*) Nisan 2003 Haftaiçi Günlük Ortalama (Kaynak: TCDD)

Tablo 2.7: Doğu Banliyö Hattı Model/Gözlem Değerleri

Model Düğüm No.	İstasyon Adı	Gözlem (*) (Kişi/Gün)	Model (Kişi/Gün)	Model (Kişi/Gün)
3171	Haydarpaşa	5.676	7.975	1,41
3172	Söğütluçeşme	2.212	3.040	1,03
3173	Kızıltoprak	726	0	
3174	Feneryolu	1.520	725	0,78
3175	Göztepe	1.703	1.785	
3176	Erenköy	1.812	235	0,61
3177	Suadiye	1.050	1.220	
3178	Bostancı	1.487	1.200	0,65
3179	Küçükyalı	961	0	
3180	İdealtepe	539	1.675	0,68
3181	Süreyya Plajı	737	0	
3182	Maltepe	1.708	875	1,28
3183	Cevizli	1.562	0	
3184	Rahmanlar (Atalar)	1.177	1.860	1,45
3185	Kartal	3.191	40	
3186	Yunus	1.984	580	1,00
3187	Pendik	4.195	11.355	
3188	Kaynarca	2.078	3.005	1,17
3189	Tersane	580	580	
3190	Güzelyalı	1.652	1.925	1,23
3191	İçmeler	1.071	0	
3192	Aydintepe	1.712	0	0,44
3193	Tuzla	1.173	4.850	
3194	Çayirova	0	0	0,96
3195	Fatih	854	3.605	
3196	Osmangazi	2.669	0	0,96
3197	Gebze	4.629	0	
	TOPLAM	48.658	46.530	0,96

(*) Nisan 2003 Haftaiçi Günlük Ortalama (Kaynak: TCDD)

2.5. Gelecekte Öngörülen Ulaşım Ağı

Gelecek için oluşturulan toplu taşıma ağında, proje konusu Kadıköy – Kartal metro hattının 2010 yılında işletmeye açılacağı öngörülmüştür. Proje konusu metro hattına ek olarak, model ataması yapılan, 2010, 2023 ve 2030 yılları için, do-minimum senaryoları oluşturulmuştur. Söz konusu senaryolarda, aşağıda verilen raylı sistem hatlarının tamamlanarak hizmet vermeye başlayacakları kabul edilmiştir.

- Taksim – 4.Levent Metro Hattı'nın, Taksim – Yenikapı ve 4. Levent – Ayazağa bağlantılarının tamamlanması;
- Yenikapı – Söğütluçeşme Boğaz Tüp Tüneli ile Sirkeci – Halkalı ve Haydarpaşa – Gebze banliyö hatlarının metroya dönüşümünün tamamlanması tamamlanması;
- Yenikapı – Yenibosna Hafif Raylı Sistem Hattı'nın, Aksaray – Yenikapı bağlantısının tamamlanması;
- Zeytinburnu – Bağcılar and Edimekapı – Sultançifliği tramvay hatlarının tamamlanması;
- Taksim – Kabataş finüküler hattının tamamlanması;
- Karayolu ağında İstanbul Ulaşım Ana Planında 2010 yılı için öngörülen projelerin tamamlanması.

2010, 2023 ve 2030 yılları için yapılan model atamalarında hareketlilik oranı ve otomobil sahipliği dışındaki değişkenlerin sabit kalacağı öngörülmüştür.

2.6. Gelecek İçin Öngörülen Nüfus, İstihdam ve Öğrenci Sayıları

Bu çalışmada, geçmiş nüfus değerleri göz önüne alınarak İstanbul genelinde, 2030 yılına kadar uzanan bir nüfus projeksiyonu yapılmıştır. Bu nüfus projeksiyonuna göre, 2005 yılında 10.882.143 kişi olarak öngörülen çalışma alanı nüfusunun, 2010 yılında 12.140.742 kişiye, 2030 yılında ise 16.083.319 kişiye yükseleceği öngörülmektedir.

Benzer şekilde istihdam ve öğrenci sayılarını tahmin etmek üzere, gene 2030 yılına uzanan bir zaman dilimi için projeksiyonlar yapılmıştır. Gelecekte çalışma alanı için öngörülen nüfus, istihdam ve öğrenci sayıları, beşer yıllık dilimler halinde Tablo 2.8 ve Şekil 2.7'de verilmiştir.

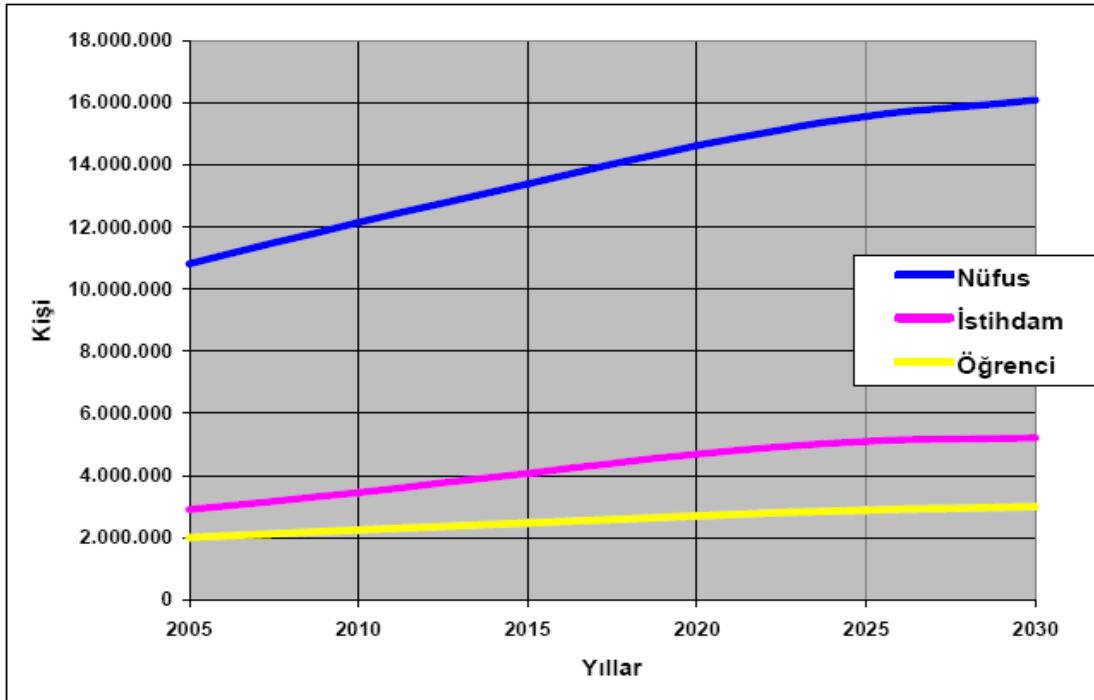
Nüfus, istihdam ve öğrenci sayılarının kentin iki yakasına dağılımı incelendiğinde, 2003 yılında nüfusun % 35'inin, istihdamın ise % 28'inin, proje konusu raylı sistem hattının yer alacağı, kentin doğu yakasında bulunduğu görülmektedir.

1960'lı yıllarda İstanbul'daki nüfusun % 80'i batı yakasında ikamet ederken, özellikle 1970 lerden sonra, iki yakasındaki ulaştırma olanaklarının gelişmesi ile birlikte, doğu yakası oranlarında artış gözlenmiştir. Bu artış günümüzde de sürmektedir. Bu nedenle, 2030 yılında nüfusun % 59.4'ünün batı yakasında, % 40.6'sının ise doğu yakasında olacağı öngörülmüştür. İstihdamın ise % 64.4'ünün batı yakasında, % 35.6'sının ise doğu yakasında olacağı öngörülmüştür (Tablo 2.9).

Öngörülen nüfus ve istihdam yoğunlukları, sırasıyla Şekil 2.8 ve 2.9'da gösterilmiştir.

Tablo 2.8: Gelecek İçin Öngörülen Nüfus, İstihdam ve Öğrenci Sayıları

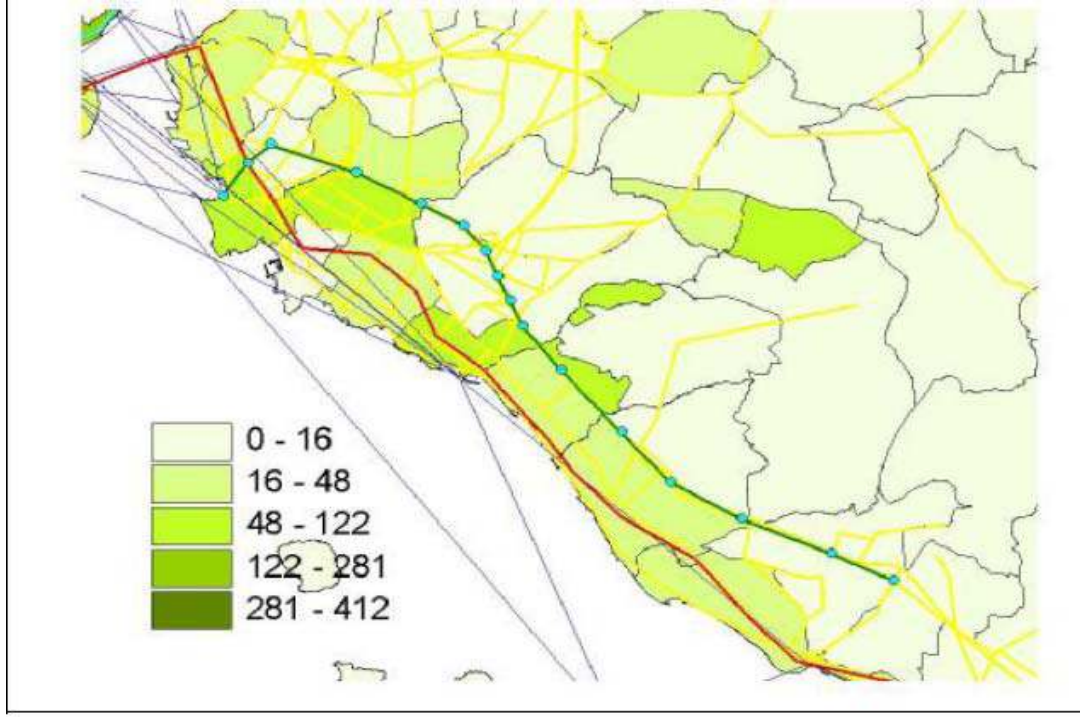
Yıllar	Nüfus	İstihdam	Öğrenci
2005	10.822.143	2.903.410	2.005.999
2010	12.140.742	3.457.875	2.248.137
2015	13.377.491	4.076.990	2.478.781
2020	14.614.240	4.696.106	2.709.424
2025	15.564.012	5.110.678	2.891.293
2030	16.083.319	5.218.433	3.000.000



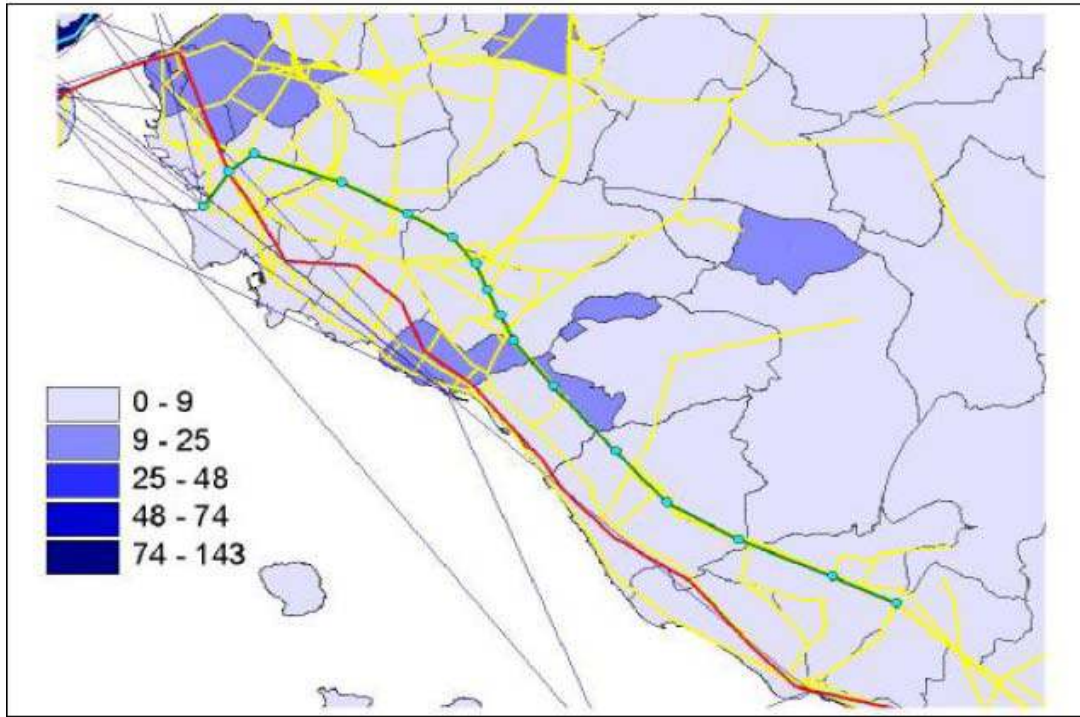
Şekil 2.7: Nüfus, İstihdam ve Öğrenci Projeksiyonları

Tablo 2.9: Batı Yakası İçin Öngörülen Nüfus ve İstihdam Dağılımı (%)

Yıllar	Batı Yakası (%)	
	Nüfus	İstihdam
2005	64,1	74,5
2010	63,0	71,8
2015	61,7	69,1
2020	60,5	66,9
2025	60,0	65,7
2030	59,4	64,4



Şekil 2.8: 2023 Yılı İçin Öngörülen Nüfus Yoğunlukları (Kişi/Ha)

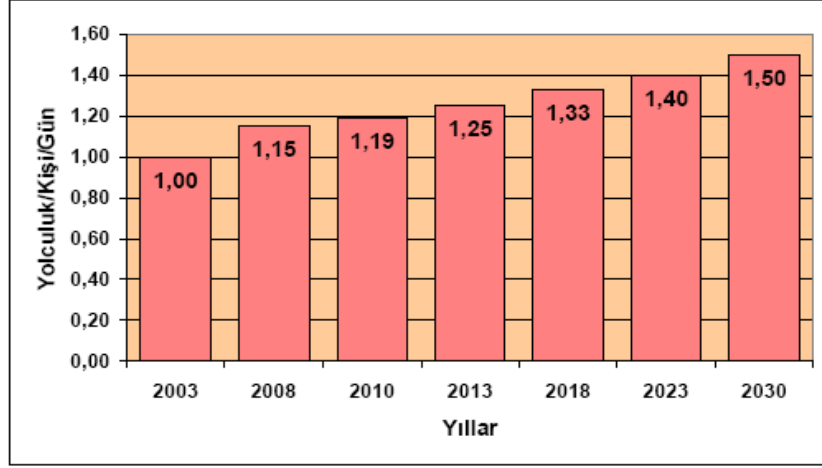


Şekil 2.9: 2023 Yılı İçin Öngörülen İstihdam Yoğunlukları (Kişi/Ha)

2.7. Gelecek İçin Öngörülen Hareketlilik Değerleri ve Otomobil Sahipliği

Bilindiği gibi hareketlilik değeri, toplumların gelişmişlik düzeyi, otomobil sahipliği ve gelir düzeyi ile orantılı olarak artmaktadır. İstanbul'da yapılan gözlemlere göre, 1987 yılında 0.87 olan kişi başına motorlu araçlarla günlük yolculuk sayısı (hareketlilik değeri), 1996 yılında İstanbul Ulaşım Ana Planı kapsamında yapılan ev anketlerinde 1.00 olarak bulunmuştur.

2010, 2023 ve 2030 yıllarında bu değerlerin sırasıyla, 1.19, 1.40 ve 1.50'ye yükseleceği öngörülmüştür. Gelecekte öngörülen hareketlilik değerleri Şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.10: Gelecekte Öngörülen Hareketlilik Oranları (Kişi/Yolculuk/Gün)

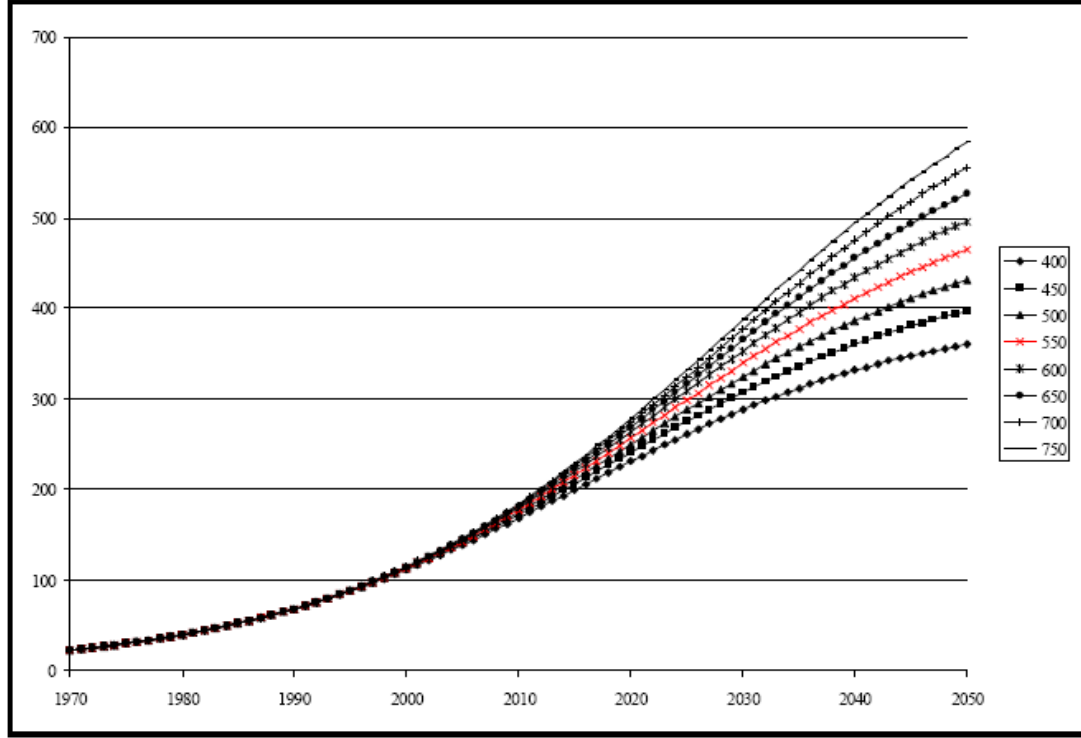
İstanbul'da otomobil sahipliği son yıllarda hızlı biçimde artmıştır. 1980 - 2005 yılları arasında, İstanbul'da nüfus 2.3 katına çıkarken , motorlu araç ve otomobil sayısı yaklaşık 7.5 katına çıkmıştır (Tablo 2.10). 2005 yılı başı itibariyle, İstanbul'da 1000 kişi başına 132 otomobil düşmektedir ve bu değer gelecekte artmaya devam ederek, gelişmiş ülkelerin kentlerindeki doygunluk değerlerine ulaşması beklenmelidir.

Tablo 2.10: Motorization in Istanbul

	1980	2005
Nüfus (000)	4.700	11.400
Özel Araç Sayısı (000)	201	1.510
Motorlu Araç Sayısı (000)	281	2.097
Özel Araç Sahipliği (Araç/1000 Kişi)	43	132

İstanbul'da değişik doygunluk değerleri için otomobil sahipliği projeksiyonları Şekil 2.11'de gösterilmiştir. Doygunluk değerinin 1000 kişi başına 550 otomobil olarak

alınması durumunda, 2023 yılında İstanbul'da otomobil sahipliğinin 300 / 1000 kişi değerine ulaşması öngörülmektedir.



Şekil 2.11: İstanbul'da Otomobil Sahipliği Öngörülleri (Otomobil / 1000 Kişi)

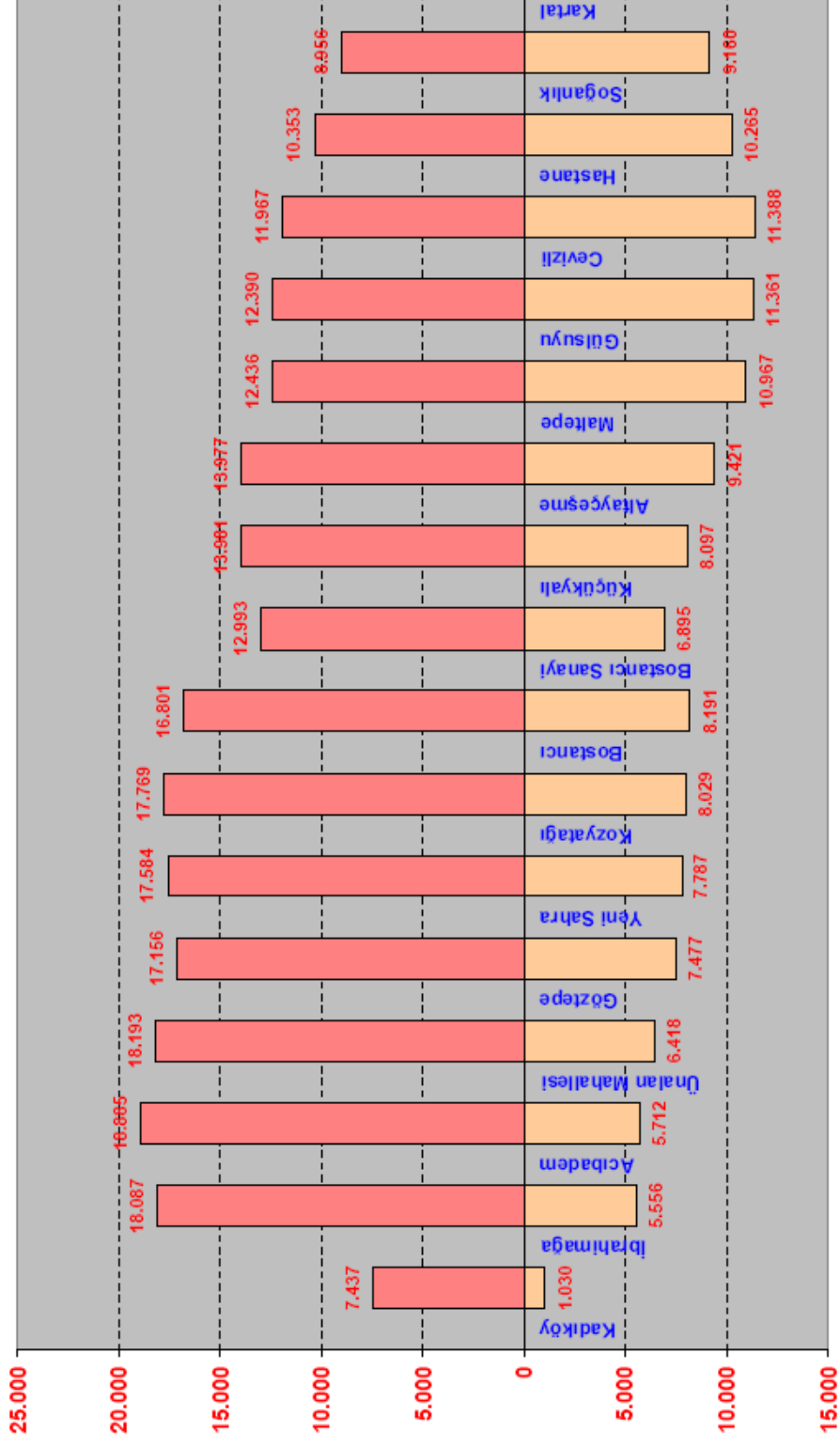
2.8. Gelecekteki Yolculuk Talepleri

Önceki bölümlerde açıklanan ulaşım ağı ve gelecek için öngörülen planlama verileri kullanılarak, 2010, 2023 ve 2030 yılları için model testleri yapılmış ve Kadıköy - Kartal metro hattı üzerinde gelecekte ortaya çıkması beklenen toplam yolcu sayıları ve maksimum kesit trafikleri tahmin edilmiştir.

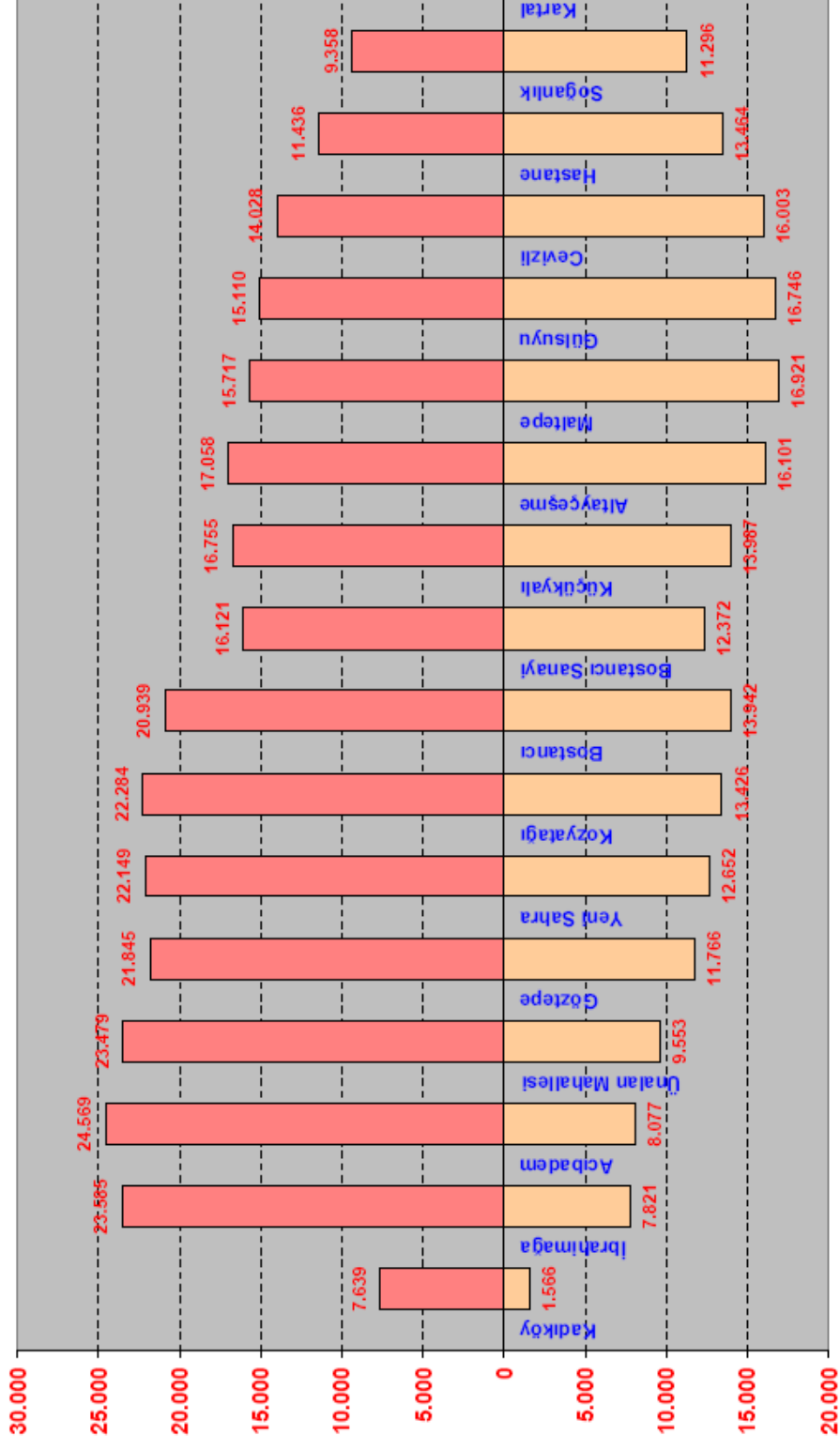
İstanbul'da, 2000 yılında yaklaşık 10 milyon yolculuk/gün düzeyinde olan motorlu araçlarla yapılan yolculuk değerinin 2010 yılında 14.5 milyon, 2023 yılında 21.5 milyon, 2030 yılında ise 24 milyon yolculuk/gün düzeyine yükseleceği öngörülmektedir. Kadıköy – Kartal metro hattı için gelecekte öngörülen yolculuk değerleri Tablo 2.11'de verilmiştir. Ulaşım A.Ş.'den elde edilen verilere göre, mevcut metro hattı üzerinde doruk saatte yapılan yolculukların günlük yolculuklara oranı, başka bir deyişle doruk saat katsayısı 0.089 olarak belirlenmiştir. Kadıköy – Kartal metro hattı üzerinde 2010, 2023 ve 2030 yıllarında sabah doruk saatte ortaya çıkması beklenen kesit trafikleri sırasıyla, Şekil 2.12 - 2.14'de gösterilmiştir. Benzer şekilde, 2010, 2023 ve 2030 yılları için öngörülen sabah doruk saat yolculuk talepleri, istasyonlardan inen/binen yolcu sayıları ile birlikte Şekil 2.15 – Şekil 2.17'de verilmiştir.

Tablo 2.11: Gelecekte Öngörülen Yolculuk Talepleri

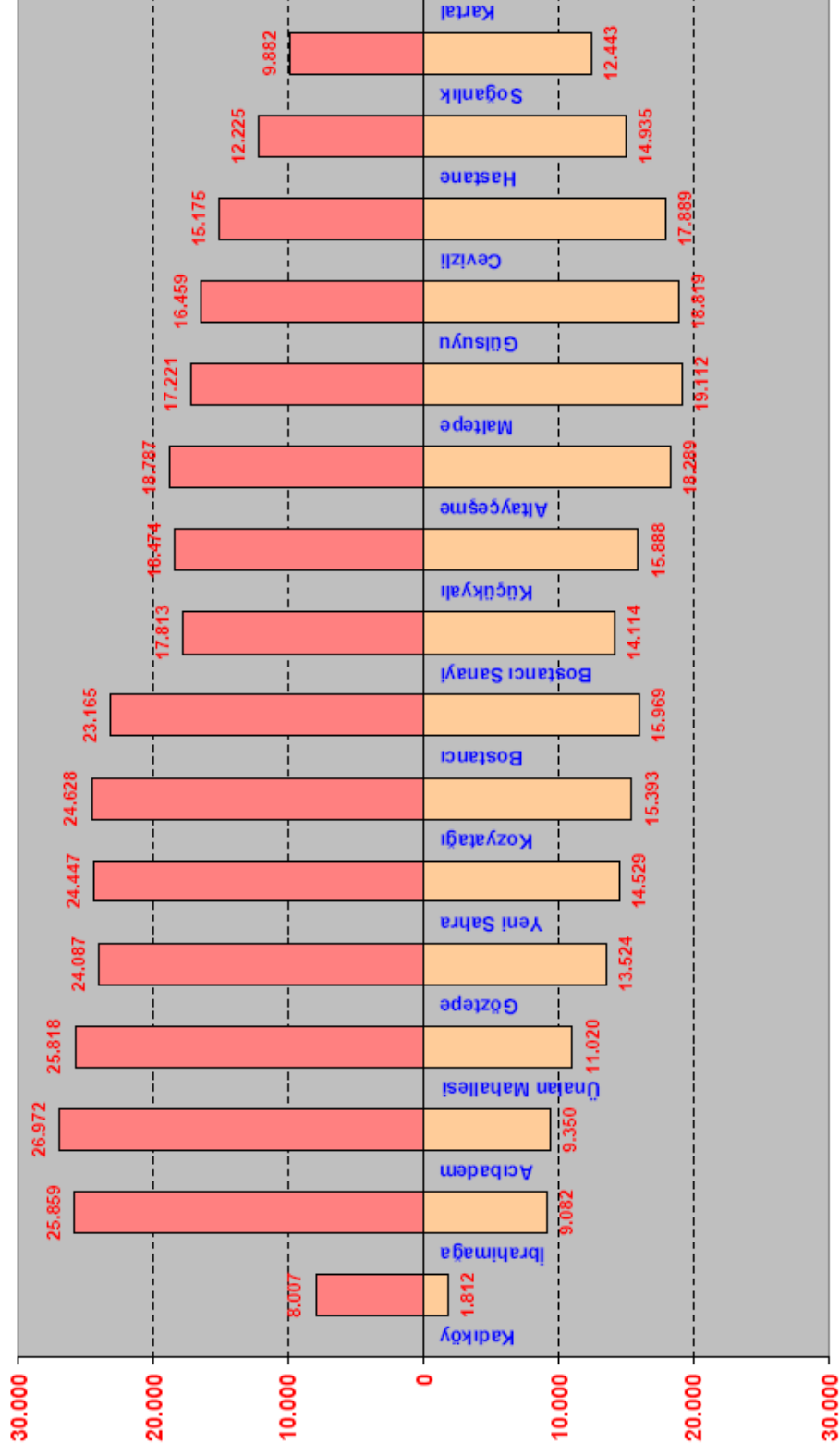
Yıllar	En Büyük Kesit Trafiği (Yolcu/Saat/Yön)	Binen Yolcu (Yolcu/Gün)
2010	18.885	679.697
2011	19.322	699.826
2012	19.759	719.956
2013	20.197	740.086
2014	20.634	760.215
2015	21.071	780.345
2016	21.508	800.475
2017	21.946	820.604
2018	22.383	840.734
2019	22.820	860.863
2020	23.257	880.993
2021	23.695	901.123
2022	24.132	921.252
2023	24.569	941.382
2024	25.119	965.024
2025	25.669	988.666
2026	26.219	1.012.308
2027	26.769	1.035.950
2028	27.319	1.059.592
2029	27.869	1.083.234
2030	28.419	1.106.876
2031	28.987	1.129.014
2032	29.567	1.151.594
2033	30.158	1.174.626
2034	30.761	1.198.119



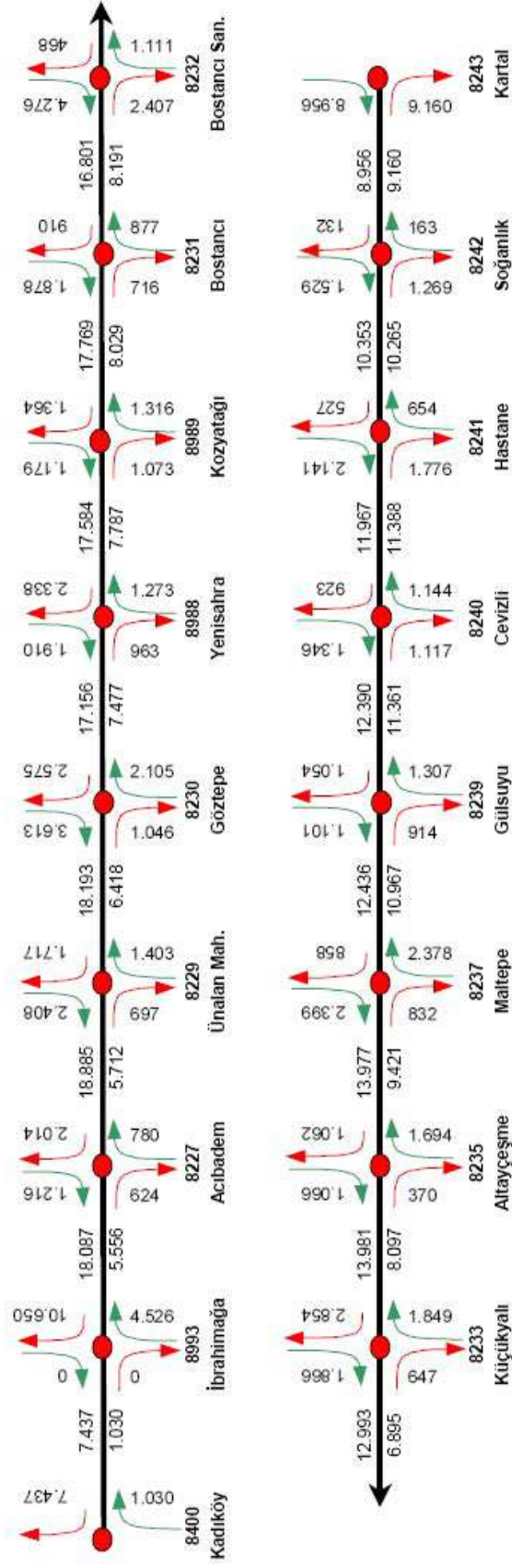
Şekil 2.12: Sabah Doruk Saat Kesit Trafikleri (2010 Yılı – Yolcu/Saat)

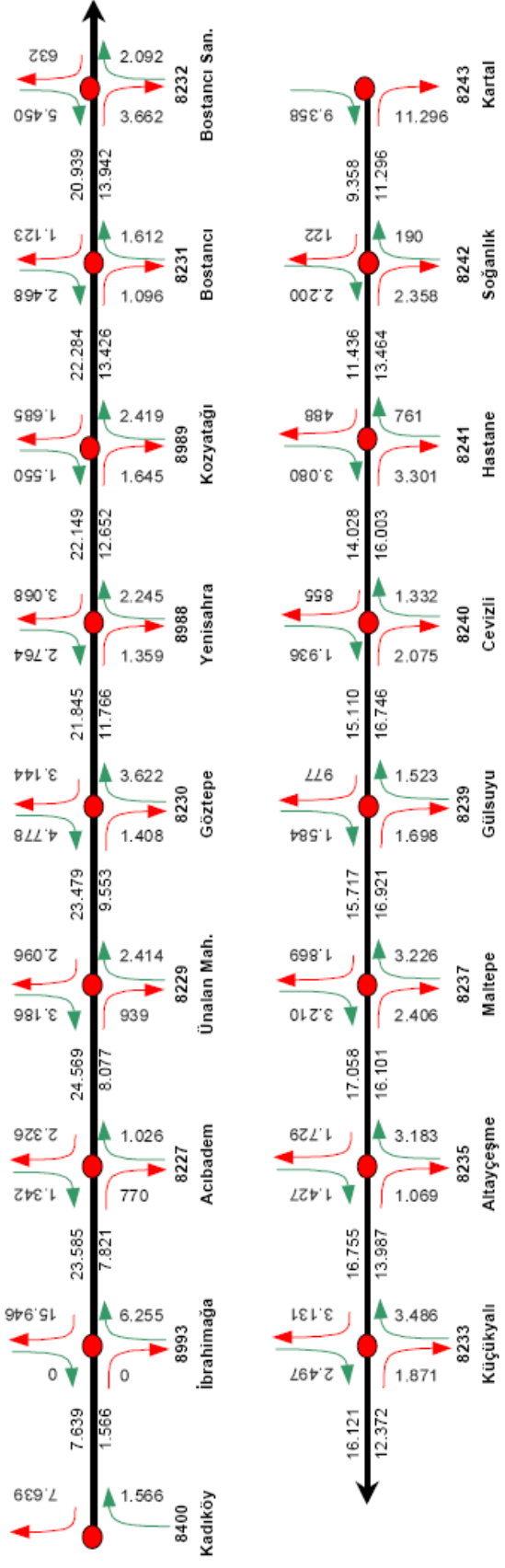


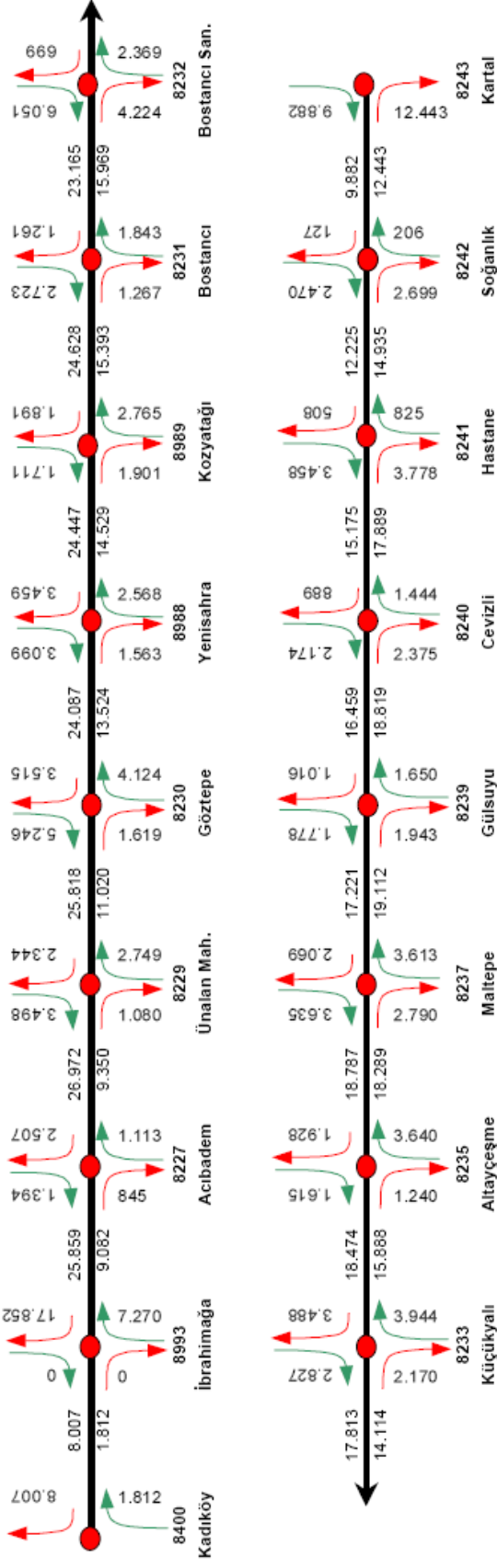
Şekil 2.13: Sabah Doruk Saat Kesit Trafikleri (2023 Yılı – Yolcu/Saat)



Şekil 2.14: Sabah Doruk Saat Kesit Trafikleri (2030 Yılı – Yolcu/Saat)







Şekil 2.17: Sabah Saat Doruk Yolculuk Talepleri (2030 Yılı – Yolcu/Saat)

2.9. İşletme Planı ve Gerekli Araç Sayıları

Bu bölümde, 2010 - 2034 yılları arasındaki değerlendirme dönemi için tahmin edilen yolculuk taleplerine göre, proje konusu Kadıköy – Kartal metro hattı üzerinde gelecekte ortaya çıkması beklenen trafiği taşımak için gerekli araç sayıları açıklanmıştır.

Kadıköy – Kartal metro hattının, mevcut metro hattına benzer şekilde, günde 19 saat işletileceği öngörülmüştür. Bunun 6 saati doruk zaman aralığında olacak ve sefer aralıkları, doruk saat yolculuk talebine göre, yıllar itibariyle değişecektir. 9 saat olarak öngörülen doruk dışı saatlerdeki sıklıklar ile 5 saat olarak öngörülen gece saatlerindeki sıklıklar ise Ulaşım A.Ş. tarafından işletilmekte olan metrodaki yolculukların saatlere dağılımlarına uygun olarak hesaplanmıştır (Tablo 2.12).

Tablo 2.12: Doruk ve Doruk Dışı Saatlerde Mevcut Metro Hattının Trafiği (*)

	Süre (Saat)	Günlük Trafik İçerisindeki Payı (%)
Zirve Saatler (7:00 - 10:00, 18:00 - 20:00)	5	44,8
Zirve Dışı Saatler (10:00 - 18:00, 20:00 - 21:00)	9	46,9
Gece Saatleri (21:00 - 01:00, 06:00 -07:00)	5	8,3
Toplam	19	100,0

(*) Kaynak: Ulaşım A.Ş., Ekim 2004.

Kadıköy – Kartal metro hattının işletilmesine ilişkin karakteristikler Tablo 2.13’de verilmiştir. Tablodan da görüleceği gibi, ortalama ticari hızın 40 km/saat olacağı kabul edilmiş ve terminal istasyonlarda 1.5 dakikalık bir dönme süresi hesaba katılmıştır.

Tablo 2.13: İşletme Karakteristikleri

Hat Uzunluğu (Km)	21,020
Ortalama Hız (Km/Saat)	40
Uçta Bekleme (Dk.)	1,5
Toplan Tur Süresi (Dk.)	66,1

Gelecek için öngörülen yolculuk taleplerini karşılamak üzere araç sayıları (% 15 yedek araç da göz önüne alınarak) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Proje konusu hatta işletilmesi öngörülen araçların toplam yolcu kapasitesi, 57 oturan ve 177 ayakta (6 kişi/m²) olmak üzere, 234 yolcu olarak alınmıştır. Böylece, 8 araçlık bir dizinin kapasitesi 1872 yolcu olarak hesaplanmaktadır. Doruk saatlerde ortalama doluluk oranı 0.90 olarak kabul edilmiştir.

Kadıköy – Kartal metro hattı için öngörülen dizi aralıkları, doruk, doruk dışı ve gece saatleri için Tablo 2.14’de verilmiştir. 2010 ve 2034 yılları arasındaki dönem için öngörülen günlük tur ve gerekli dizi/araç sayıları ise Tablo 2.15’de gösterilmiştir.

Yıllık yolculuk değerlerinin hesaplanmasında, hafta sonu günlerde azalan yolculuk talepleri göz önüne alınarak 320 gün/yıl oranı kullanılmıştır. Kadıköy – Kartal metro hattı için öngörülen yıllık yolcu sayıları Tablo 2.16'da verilmiştir.

Tablo 2.14: Dizi Aralıkları (Dakika)

Yıllar	Zirve Saatler	Zirve Dışı Saatler	Gece Saatleri
2010	5,0	12,0	19,0
2011	5,0	11,0	19,0
2012	5,0	11,0	18,0
2013	5,0	11,0	18,0
2014	4,5	11,0	18,0
2015	4,5	10,0	17,0
2016	4,5	10,0	17,0
2017	4,5	10,0	17,0
2018	4,5	10,0	16,0
2019	4,0	10,0	16,0
2020	4,0	9,5	16,0
2021	4,0	9,5	15,0
2022	4,0	9,5	15,0
2023	4,0	9,0	15,0
2024	4,0	9,0	14,0
2025	3,5	9,0	14,0
2026	3,5	8,5	14,0
2027	3,5	8,5	14,0
2028	3,5	8,0	13,0
2029	3,5	8,0	13,0
2030	3,5	8,0	13,0
2031	3,0	7,5	12,0
2032	3,0	7,5	12,0
2033	3,0	7,5	12,0
2034	3,0	7,5	12,0

Tablo 2.15: Günlük Tur ve Gerekli Dizi / Araç Sayıları

Yıllar	Günlük Tur Sayısı	Gerekli Dizi Sayısı	Gerekli Araç Sayısı
2010	121	14	129
2011	125	14	129
2012	126	14	129
2013	126	14	129
2014	132	15	138
2015	138	15	138
2016	138	15	138
2017	138	15	138
2018	139	15	138
2019	148	17	156
2020	151	17	156
2021	152	17	156
2022	152	17	156
2023	155	17	156
2024	156	17	156
2025	167	19	175
2026	171	19	175
2027	171	19	175
2028	176	19	175
2029	176	19	175
2030	176	19	175
2031	197	23	212
2032	197	23	212
2033	197	23	212
2034	197	23	212

Tablo 2.16: Yıllık Yolcu Sayıları

Yıllar	Yıllık Yolcu Sayısı (Yolcu/Yıl)
2010	217.502.921
2011	223.944.408
2012	230.385.895
2013	236.827.381
2014	243.268.868
2015	249.710.354
2016	256.151.841
2017	262.593.328
2018	269.034.814
2019	275.476.301
2020	281.917.787
2021	288.359.274
2022	294.800.761
2023	301.242.247
2024	308.807.705
2025	316.373.162
2026	323.938.620
2027	331.504.077
2028	339.069.535
2029	346.634.992
2030	354.200.449
2031	361.284.458
2032	368.510.148
2033	375.880.351
2034	383.397.958

3. EKONOMİK FİZİBİLİTE ETÜDÜ

3.1. Yöntem

Ekonomik fizibilite etüdünün amacı, Kadıköy – Kartal Metro Projesi'nin ulusal ekonomi açısından değerlendirilmesidir.

Ekonomik fizibilite etüdünde, metro projesinin ekonomik fayda ve maliyetleri belirlenmiştir.

Ekonomik fizibilite etüdünde, genel ekonomi açısından bir değerlendirme yapıldığından finansal maliyetler yerine ulusal kaynakların gerçek kullanımını yansıtan ekonomik maliyetler kullanılmıştır. Finansal yatırım ve işletme maliyetlerini ekonomik maliyetlere dönüştürmek için gölge fiyat katsayıları kullanılmış olup bunlar, sırasıyla, 0.80 ve 0.70 olarak kabul edilmiştir. Göz önüne alınan değerlendirme dönemi içinde, projenin yapılması (projeli) ve yapılmaması (projesiz) durumlarındaki ekonomik maliyetler ve faydalar hesaplanarak projenin ekonomik net güncelleştirilmiş değeri (ENPV, economic net present value), ekonomik iç verimlilik oranı (EIRR, economic internal rate of return) ve fayda / maliyet oranı (B/C, benefit /cost ratio) hesaplanmıştır.

Projenin ekonomik maliyetleri şunlardır:

- Yapım maliyetleri
- Metro araçlarının yatırım maliyetleri
- İşletme ve bakım maliyetleri

Projenin ekonomik faydaları şunlardır:

- Yolculuk zamanı kazançlarının ekonomik değeri;
- Karayolu araçlarının (özel otomobil, otobüs ve minibüs) işletme maliyetlerinde azalma;
- Otobüs ve minibus yatırım maliyetlerinde azalma;
- Çevresel etki maliyetlerinde azalma;
- Yol bakım maliyetlerinde azalma;
- Karayolu kaza maliyetlerinde azalma;

Projenin ekonomik yapılabilirliğini arttıran ancak parasal olarak ölçülemeyen ya da ölçülmesi güç olan diğer faydalar (örneğin, GSYİH'ya katkı gibi) hesaba katılmamıştır.

Değerlendirmede 2005 ve 2034 yılları arasındaki 30 yıllık bir değerlendirme dönemi esas alınmıştır. Değerlendirme dönemi olarak;

- 2005 yılında başlamak üzere 5 yıllık bir yapım dönemi,
- 2010 -2034 yılları arasındaki işletme dönemi

göz önüne alınmıştır. Projenin güncelleştirilmiş maliyet ve faydalarını hesaplamak için %12 güncelleştirme oranı kullanılmıştır.

3.2. Yapım Maliyetleri

Kadıköy – Kartal Metro Projesi'nin 5 yıllık bir yapım dönemi içindeki toplam yapım maliyeti 925,000,000 USD olarak öngörülmüştür. Bu maliyet inşaat, E&M işleri ve müşavirlik hizmetlerini kapsamaktadır.

Değerlendirme döneminin sonu olan 2034 yılında, yapım maliyetlerinin % 10'una eşit olan bir kalıcı değer kabul edilmiştir.

Yapım maliyetlerinin yıllara dağılımı Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1: Yapım Maliyetleri (USD)

	Yıl 1 2005	Yıl 2 2006	Yıl 3 2007	Yıl 4 2008	Yıl 5 2009	Toplam
İnşaat İşleri	50.000.000	150.000.000	150.000.000	110.000.000		460.000.000
E&M İşler			130.000.000	170.000.000	100.000.000	400.000.000
Danışmanlık	500.000	2.500.000	3.500.000	3.000.000	1.500.000	11.000.000
Diğer	500.000	2.000.000	2.500.000	1.500.000	500.000	7.000.000
Kamulaştırma						0
Toplam	51.000.000	154.500.000	286.000.000	284.500.000	102.000.000	878.000.000
Öngörülemeyen Giderler	2.500.000	7.500.000	14.500.000	10.000.000	12.500.000	47.000.000
Genel Toplam	53.500.000	162.000.000	300.500.000	294.500.000	114.500.000	925.000.000

3.3. Metro Araçlarının Yatırım Maliyetleri

Öngörülen trafiğe bağlı olarak gerekli metro aracı sayıları hesaplanarak Bölüm 2.6'da verilmiştir.

Yıl	Gerekli Araç Sayısı
2009	129
2013	9
2018	19
2024	18
2030	37
Toplam	212

Bir metro aracının satın alma fiyatı 1,600,000 USD olup metro araçlarının ekonomik ömrü 25 yıl ve ekonomik ömrü sonundaki kalıcı değerleri ise satın alma fiyatının % 10'u olarak alınmıştır. 212 metro aracının toplam maliyeti 339,200,000 USD olarak hesaplanmıştır.

3.4. Metronun İşletme ve Bakım Maliyetleri

Metro projesinin birim işletme ve bakım maliyetleri, Taksim – 4. Levent arasındaki mevcut metro hattını işletmekte olan Ulaşım A.Ş.'den alınmıştır. Finansal işletme ve bakım maliyetlerini ekonomik maliyetlere dönüştürmek için gölge fiyat katsayısı 0.70 olarak öngörülmüştür.

Tablo 3.2: Birim İşletme ve Bakım Maliyetleri

Cer Gücü Enerji (USD/Araç - Km)	0,52
Hat Bakımı (USD/Km)	10.275
Araç Bakım/Onarım Giderleri (USD/Araç-Km)	0,04
İdari Personel Giderleri (USD/Araç-Km)	0,096
Diğer Giderler(*) (USD/Km)	513.135

(*) Kiralar ve genel giderler.

Kaynak: Ulaşım A.Ş., 2004.

Tablo 3.2’de verilen yönetim personeline ek olarak, sürücüler, bilet satış personeli, bakım, temizleme ve güvenlik personeli sayıları tahmin edilmiş ve bu personel için ortalama yıllık ücret 15,240 USD/kışı olarak alınmıştır.

Yıllık araç-km ve araç-saat değerleri Tablo 2.15’de verilen tren sıklıklarına göre hesaplanarak Tablo 3.3’de gösterilmiştir. Yıllık yolcu-km ve yolcu-saat değerleri Tablo 3.4’de gösterilmiştir. Projenin işletme ve bakım maliyetleri Tablo 3.5’de gösterilmiştir. Değerlendirme dönemi boyunca, araç-km başına ortalama işletme ve bakım maliyeti 3.13 USD ile 3.45 USD arasında değişmektedir.

Tablo 3.3: Metronun Yıllık Araç-Km ve Araç-Saat Değerleri

Yıllar	Yıllık Araç-Kilometre	Yıllık Araç-Saat
2010	12.999.653	324.991
2011	13.439.927	335.998
2012	13.534.332	338.358
2013	13.534.332	338.358
2014	14.251.815	356.295
2015	14.885.655	372.141
2016	14.885.655	372.141
2017	14.885.655	372.141
2018	15.004.356	375.109
2019	15.901.210	397.530
2020	16.207.084	405.177
2021	16.341.612	408.540
2022	16.341.612	408.540
2023	16.681.472	417.037
2024	16.835.218	420.880
2025	17.988.315	449.708
2026	18.368.159	459.204
2027	18.368.159	459.204
2028	18.972.883	474.322
2029	18.972.883	474.322
2030	18.972.883	474.322
2031	21.201.613	530.040
2032	21.201.613	530.040
2033	21.201.613	530.040
2034	21.201.613	530.040

Tablo 3.4: Metronun Yıllık Yolcu-Km ve Yolcu-Saat Değerleri

Yıllar	Yıllık Yolcu-Kilometre	Yıllık Yolcu-Saat
2010	1.640.692.857	41.536.528
2011	1.683.250.549	42.618.334
2012	1.725.808.242	43.700.139
2013	1.768.365.934	44.781.945
2014	1.810.923.626	45.863.750
2015	1.853.481.319	46.945.556
2016	1.896.039.011	48.027.361
2017	1.938.596.703	49.109.167
2018	1.981.154.396	50.190.972
2019	2.023.712.088	51.272.778
2020	2.066.269.780	52.354.583
2021	2.108.827.473	53.436.389
2022	2.151.385.165	54.518.194
2023	2.193.942.857	55.600.000
2024	2.228.907.653	56.487.755
2025	2.263.872.449	57.375.510
2026	2.298.837.245	58.263.265
2027	2.333.802.041	59.151.020
2028	2.368.766.837	60.038.776
2029	2.403.731.633	60.926.531
2030	2.438.696.429	61.814.286
2031	2.474.169.824	62.714.976
2032	2.510.159.217	63.628.791
2033	2.546.672.114	64.555.920
2034	2.583.716.129	65.496.559

Tablo 3.5: Metronun İşletme ve Bakım Maliyetleri (USD)

Yıllar	Enerji	Hat Bakımı (*)	Personel	Araç Bakımı (*)	Diğer (*)	Toplam
2010	6.725.410	215.981	26.581.204	565.507	10.786.090	44.874.193
2011	6.953.187	215.981	26.623.618	584.660	10.786.090	45.163.536
2012	7.002.028	215.981	26.632.713	588.766	10.786.090	45.225.578
2013	7.002.028	215.981	26.632.713	588.766	10.786.090	45.225.578
2014	7.373.220	215.981	28.103.911	619.978	10.786.090	47.099.181
2015	7.701.139	220.301	28.164.973	647.551	11.001.812	47.735.776
2016	7.701.139	224.707	28.164.973	647.551	11.221.848	47.960.218
2017	7.701.139	229.201	28.164.973	647.551	11.446.285	48.189.149
2018	7.762.550	233.785	28.176.408	652.715	11.675.211	48.500.668
2019	8.226.539	238.461	31.066.966	691.730	11.908.715	52.132.411
2020	8.384.784	243.230	31.096.433	705.036	12.146.889	52.576.372
2021	8.454.383	248.095	31.109.392	710.888	12.389.827	52.912.585
2022	8.454.383	253.056	31.109.392	710.888	12.637.624	53.165.343
2023	8.630.211	258.118	31.142.133	725.672	12.890.376	53.646.509
2024	8.709.752	263.280	31.156.944	732.361	13.148.184	54.010.520
2025	9.306.310	268.545	34.072.188	782.522	13.411.147	57.840.713
2026	9.502.823	273.916	34.108.780	799.046	13.679.370	58.363.936
2027	9.502.823	279.395	34.108.780	799.046	13.952.958	58.643.002
2028	9.815.679	284.983	34.167.036	825.353	14.232.017	59.325.067
2029	9.815.679	290.682	34.167.036	825.353	14.516.657	59.615.407
2030	9.815.679	296.496	34.167.036	825.353	14.806.990	59.911.554
2031	10.968.719	302.426	39.990.062	922.306	15.103.130	67.286.643
2032	10.968.719	308.474	39.990.062	922.306	15.405.193	67.594.754
2033	10.968.719	314.644	39.990.062	922.306	15.713.296	67.909.027
2034	10.968.719	320.937	39.990.062	922.306	16.027.562	68.229.586

(*) 5 yıllık işletmeden sonrar yıllık %2 artış öngörülmüştür.

3.5. Karayolu Araçlarının İşletme Maliyetlerinde Azalma

Günümüzde, projenin yapılacağı D-100 karayolu üzerinde 224 İETT, 40 ÖHO (Özel Halk Otobüsü) ve 920 minibüs işletilmektedir. Metro hattının işletmeye açılmasından sonra bu koridorda halen işletilmekte olan bazı minibüs ve otobüs hatları kaldırılacaktır. Ulaşım modeline göre, 2010 yılında öngörülen metro ile taşınacak yolcu sayısının, projenin yapılmaması durumunda, özel otomobil, otobüs ve minibüs arasında aşağıdaki gibi dağılacağı hesaplanmıştır:

Otobüs	Minibüs	Otomobil	Toplam
48.5 %	48.5 %	3.0 %	100.0 %

Projenin yapılmaması durumunda, D-10 karayolunda işletilmekte olan minibüs hatlarının sayısı aynı kalacağından, diğer bir deyimle bu koridorda yeni minibüs hattı açılmasına İBB tarafından izin verilmeyeceğinden, gelecekte ortaya çıkacak toplu taşıma talebinin otobüsler tarafından taşınacağı kabul edilmiştir. Yine model sonuçlama göre, 2010 – 2034 yılları arasındaki işletme dönemi boyunca, metro trafiğinin % 3'ünün özel araç kullanıcıları olacağı öngörülmüştür. Bunların sonucu olarak, projenin yapılmaması durumunda, 2034 yılında, karayolu araçları tarafından taşınacak metro trafiği oranları aşağıdaki gibi öngörülmüştür:

Otobüs	Minibüs	Otomobil	Toplam
67.5 %	29.5 %	3.0 %	100.0 %

Projenin yapılmaması durumunda, karayolu araçları ile yapılacak yolculuklar için ortalama yolculuk uzunlukları (km) ulaşım modeli kullanılarak aşağıdaki gibi öngörülmüştür:

	2010	2023	2030
Otobüs	9,60	9,17	8,93
Minibüs	5,90	5,85	5,82
Özel Araç	16,40	15,90	15,70

Karayolu araçlarının sabah doruk saatteki ortalama hızları ise, model kullanılarak, aşağıdaki gibi öngörülmüştür:

Ortalama Hız (Km/sa)	2010	2023	2030
Otobüs ve Minibüs	18.0	17.2	16.8
Otomobil	30.0	28.6	27.9

Yakıt, yağ ve lastik tüketimi ile bakım ve amortisman giderleri de dahil olmak üzere otomobillerin ortalama işletme ve bakım maliyetleri 0.39 USD/Araç-Km olarak hesaplanmıştır.

Projenin yapılması ile, 2010 – 2034 yılları arasında, karayolu araçlarının yolcu-km, yolcu-saat ve araç-km değerlerindeki azalmalar Tablo 3.6 - 3.8'de gösterilmiştir. Otobüs ve minibüslerin işletme karakteristikleri ve birim işletme maliyetleri Tablo

3.9'da gösterilmiştir. Karayolu araçlarının işletme maliyetlerini ekonomik maliyetlere dönüştürmek için gölge fiyat katsayısı 0.70 olarak alınmıştır.

Tablo 3.6: Karayolu Yolcu- Km Değerlerinde Azalmalar

Yıllar	Otobüs	Minibüs	Özel Araç	Toplam
2010	1.012.693.602	622.384.609	107.011.437	1.742.089.649
2011	1.060.488.744	627.160.980	109.945.507	1.797.595.231
2012	1.109.154.492	631.170.956	112.866.050	1.853.191.498
2013	1.158.677.962	634.416.149	115.773.065	1.908.867.177
2014	1.209.046.273	636.898.168	118.666.554	1.964.610.995
2015	1.260.246.540	638.618.624	121.546.515	2.020.411.679
2016	1.312.265.881	639.579.128	124.412.949	2.076.257.958
2017	1.365.091.413	639.781.289	127.265.856	2.132.138.559
2018	1.418.710.253	639.226.718	130.105.236	2.188.042.208
2019	1.473.109.518	637.917.026	132.931.089	2.243.957.634
2020	1.528.276.325	635.853.823	135.743.415	2.299.873.563
2021	1.584.197.791	633.038.719	138.542.213	2.355.778.723
2022	1.640.861.033	629.473.324	141.327.485	2.411.661.842
2023	1.698.253.169	625.159.249	144.099.229	2.467.511.647
2024	1.749.957.115	630.563.108	147.393.917	2.527.914.141
2025	1.801.989.628	635.476.840	150.672.718	2.588.139.187
2026	1.854.342.454	639.901.478	153.935.632	2.648.179.564
2027	1.907.007.340	643.838.052	157.182.658	2.708.028.050
2028	1.959.976.032	647.287.594	160.413.797	2.767.677.423
2029	2.013.240.277	650.251.137	163.629.048	2.827.120.462
2030	2.066.791.823	652.729.712	166.828.412	2.886.349.946
2031	2.117.800.229	653.853.023	170.164.980	2.941.818.233
2032	2.169.888.252	654.776.926	173.568.280	2.998.233.458
2033	2.223.075.991	655.493.330	177.039.645	3.055.608.966
2034	2.277.383.868	655.993.905	180.580.438	3.113.958.211

Tablo 3.7: Karayolu Yolcu-Saat Değerlerinde Azalmalar

Yıllar	Otobüs	Minibüs	Özel Araç	Toplam
2010	56.260.756	34.576.923	3.567.048	94.404.726
2011	59.121.324	34.963.678	3.677.620	97.762.622
2012	62.050.601	35.310.263	3.788.511	101.149.375
2013	65.048.587	35.616.345	3.899.724	104.564.657
2014	68.115.283	35.881.587	4.011.264	108.008.134
2015	71.250.688	36.105.647	4.123.133	111.479.467
2016	74.454.802	36.288.177	4.235.334	114.978.314
2017	77.727.625	36.428.828	4.347.873	118.504.325
2018	81.069.157	36.527.241	4.460.751	122.057.149
2019	84.479.399	36.583.055	4.573.973	125.636.427
2020	87.958.350	36.595.903	4.687.542	129.241.796
2021	91.506.010	36.565.413	4.801.463	132.872.886
2022	95.122.379	36.491.207	4.915.739	136.529.325
2023	98.807.457	36.372.902	5.030.373	140.210.732
2024	102.187.277	36.821.203	5.164.166	144.172.647
2025	105.611.114	37.244.064	5.298.381	148.153.559
2026	109.078.968	37.641.263	5.433.022	152.153.254
2027	112.590.839	38.012.579	5.568.094	156.171.512
2028	116.146.728	38.357.783	5.703.602	160.208.113
2029	119.746.634	38.676.648	5.839.550	164.262.831
2030	123.390.557	38.968.938	5.975.943	168.335.438
2031	126.909.377	39.182.204	6.118.291	172.209.872
2032	130.519.594	39.385.078	6.264.118	176.168.791
2033	134.223.456	39.576.956	6.413.512	180.213.924
2034	138.023.265	39.757.206	6.566.561	184.347.032

Tablo 3.8: Karayolu Araç- Km Değerlerinde Azalmalar

Yıllar	Otobüs-Km	Minibüs-Km	Özel Araç-Km	Toplam
2010	21.876.684	63.490.493	62.947.904	148.317.092
2011	22.909.178	63.977.739	64.673.828	151.562.755
2012	23.960.478	64.386.803	66.391.794	154.741.087
2013	25.030.307	64.717.851	68.101.803	157.851.974
2014	26.118.387	64.971.046	69.803.855	160.895.302
2015	27.224.440	65.146.552	71.497.950	163.870.957
2016	28.348.186	65.244.535	73.184.088	166.778.825
2017	29.489.348	65.265.158	74.862.268	169.618.791
2018	30.647.648	65.208.585	76.532.492	172.390.743
2019	31.822.806	65.074.981	78.194.758	175.094.565
2020	33.014.545	64.864.510	79.849.067	177.730.143
2021	34.222.587	64.577.337	81.495.420	180.297.365
2022	35.446.653	64.213.625	83.133.814	182.796.115
2023	36.686.465	63.773.539	84.764.252	185.226.280
2024	37.803.398	64.324.796	86.702.304	188.832.523
2025	38.927.429	64.826.054	88.631.011	192.386.519
2026	40.058.380	65.277.418	90.550.372	195.888.196
2027	41.196.071	65.678.995	92.460.387	199.337.480
2028	42.340.326	66.030.889	94.361.057	202.734.300
2029	43.490.965	66.333.205	96.252.381	206.078.580
2030	44.647.811	66.586.048	98.134.360	209.370.249
2031	45.749.719	66.700.639	100.097.047	212.549.436
2032	46.874.949	66.794.888	102.098.988	215.770.857
2033	48.023.935	66.867.969	104.140.968	219.034.905
2034	49.197.120	66.919.034	106.223.787	222.341.975

Tablo 3.9: Otobüs ve Minibüslerin İşletme Karakteristikleri

	OTOBÜS	MINİBÜS
Kapasite (Kişi/Araç)	70	14
Doluluk Katsayısı (Zirve Saatler)	1,00	1,00
Doluluk Katsayısı (Zirve Dışı Saatler)	0,60	0,60
Servisteki Araç Oranı	0,85	0,90
Günlük Ortalama Km/Araç	180	180
Ekonomik Ömür (Yıl)	15	15
Araç İşletme Maliyeti (USD/Araç-Km)	1,16	0,29
Otobüs/Minibüs Türel Dağılım (%)	48,50	51,50
Fiyat (USD)	200.000	63.000

3.6. Otobüs ve Minibüslerin Yatırım Maliyetlerinde Azalma

Metro Projesi, doruk saatteki yolculuk taleplerini karşılamak için gerekli olan otobüs ve minibüs sayılarında ve ekonomik ömrünü tamamlayacak araçların yerine alınacak yeni araç sayılarında önemli bir azalma sağlayacaktır. Normal koşullarda, bir otobüs ve minibüsün bir günde taşıyacağı ortalama yolcu sayısı, sırasıyla, 780 yolcu/otobüs ve 400 yolcu/minibüs olarak kabul edilmiştir. Otobüs ve minibüslerin serviste kalma oranları, sırasıyla, 0.85 ve 0.90 olarak alınmıştır (Tablo 3.9).

Araçların ekonomik ömürleri 15 yıl olarak alınmış ve ekonomik ömürlerinin sonunda satın alma fiyatlarının % 10'u oranında bir kalıcı değere sahip olacakları kabul edilmiştir.

3.7. Karayolu Bakım Maliyetlerinde Azalma

Karayolu araçlarından (otobüs, minibüs ve özel otomobil) metroya geçecek yolculuklar nedeniye, projenin karayolu bakım ve onarım giderlerinde de azalma sağlanması beklenmektedir. Otobüs ve kamyon gibi ağır taşıtlar, otomobil gibi hafif taşıtlara göre karayolunda çok daha fazla bozulmaya neden olurlar. Bozulmanın, karayolu aracının dingil ağırlığının doğrusal olmayan bir fonksiyonu olduğu kabul edilir. Ortalama bir otomobille karşılaştırıldığında, minibüsün 16 kez, otobüsün ise 4000 kez daha fazla bozulmaya neden olduğu hesaplanmıştır.

Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan istatistikler esas alınarak, 1 milyon araç-km başına yol bakım ve onarım maliyeti, otomobiller için 16.16 USD, minibüsler için 258.49 USD ve otobüsler için 64.622 USD olarak hesaplanmıştır.

3.8. Karayolu Kaza Maliyetlerinde Azalma

Karayolu kazalarının ekonomik maliyetlerinin kestirilmesi oldukça güçtür. Kent yolları üzerindeki kazaların önemli bir bölümü rapor edilmemektedir. Karayolu kaza maliyetleri maddi hasarlar, hastane ve polis giderleri ile ölüm ve yaralanmalardan kaynaklanan ekonomik kayıpları içerir.

Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından İstanbul için yayınlanan kaza istatistikleri esas alınarak, 1 milyon araç-km başına kaza maliyeti 36,207.75 USD olarak hesaplanmıştır. Ölümlerden kaynaklanan ekonomik kayıplar, ölen kişinin 15 yıllık GSYİH kaybı esas alınarak tahmin edilmiştir. Yaralıların % 10'unun ayakta tedavi göreceği, % 20'sinin bir gün ve geri kalan % 70'inin ise 10 gün hastanede kalacağı ve ameliyat olacağı öngörülmüştür.

3.9. Yolculuk Zaman Maliyetlerinde Azalma

Yolcuların zaman maliyetlerinde azalma, ulaşım modeli kullanılarak, projenin yapılmaması ve yapılması durumlarında, toplam yolcu-saatler arasındaki fark olarak hesaplanmıştır (Bakınız Tablo 3.4 ve 3.7). Projenin yapılması ile yolculuk başına kazanılacak ortalama yolculuk süresi 2010 yılında 14.4 dakika, 2030 yılında ise 18.0 dakika olarak hesaplanmıştır.

Yolculuk zamanının ekonomik değerinin hesaplanmasında, Devlet İstatistik Enstitüsü'nün "Hanehalkı Gelir Dağılımı" verileri kullanılmıştır (Tablo 3.10).

Tablo 3.10: Ortalama Zaman Değeri (*)

	Ozel Araç Kullanıcısı (**)	Toplu Taşıma Kullanıcısı (***)	Ortalama
Kişi Başına GSYİH (USD)	7.066	4.162	6.065
Çalışan Kişi Başına GSYİH (USD)	23.553	13.874	20.217
Çalışma Saati Başına Zaman Değeri (USD/Saat)	11,06	6,51	9,49
Çalışma Saati Dışında Zaman Değeri (USD/Saa)	2,76	1,63	2,37
Ortalama Zaman Değeri (USD/Kişi/Saat)	6,91	4,07	5,93

(*) 2004 yılı ortalaması, 1 \$ = 1,432,144 TL.

(**) En düşük %20 lik gelir grubu dahil edilmemiştir.

(***) En yüksek % 20 lik gelir grubu dahil edilmemiştir..

Yıllık çalışma günü sayısı şu şekilde hesaplanmıştır:

$$365 - 52 \text{ (Pazar günleri)} - 30 \text{ (Yıllık izin)} - 17 \text{ (Tatiller ve diğer izinler)}$$

Yıllık ortalama çalışma günü sayısı 266 ve çalışma saati toplamı ise 2130 olarak hesaplanmıştır. Çalışan nüfus oranı 0.30 ve iş yolculuklarının toplam yolculuklardaki payı ise 0.50'dir.

Bazı ekonomistler iş amaçlı yolculuklar dışındaki yolculuklar için bir zaman değerinin göz önüne alınmamasını savunmuşlardır. Dünya Bankası gibi bazı analizciler ise bu yolculukların zaman değerinin iş yolculukları için hesaplanan değer % 25-30'u kadar olduğunu öngörmüştür. Bu çalışmada çalışma dışındaki zaman değeri çalışma zamanının % 25'i olarak alınmıştır. Projenin yapılmasıyla ortaya çıkacak zaman kazançlarının ekonomik değeri Tablo 3.11'de gösterilmiştir.

Tablo 3.11: Zaman Maliyetlerinde Azalma (USD)

Yıllar	Projeli Durum	Projesiz Durum	Zaman Kazancının Ekonomik Değeri
2010	169.095.609	394.453.211	225.357.603
2011	173.499.649	408.437.268	234.937.618
2012	177.903.690	422.539.711	244.636.020
2013	182.307.731	436.759.210	254.451.479
2014	186.711.772	451.094.417	264.382.646
2015	191.115.813	465.543.964	274.428.152
2016	195.519.854	480.106.463	284.586.610
2017	199.923.894	494.780.508	294.856.613
2018	204.327.935	509.564.670	305.236.735
2019	208.731.976	524.457.503	315.725.527
2020	213.136.017	539.457.537	326.321.520
2021	217.540.058	554.563.284	337.023.226
2022	221.944.099	569.773.231	347.829.132
2023	226.348.139	585.085.846	358.737.706
2024	229.962.199	601.594.821	371.632.622
2025	233.576.259	618.182.333	384.606.074
2026	237.190.318	634.847.518	397.657.200
2027	240.804.378	651.589.501	410.785.123
2028	244.418.437	668.407.392	423.988.954
2029	248.032.497	685.300.289	437.267.792
2030	251.646.557	702.267.278	450.620.721
2031	255.313.277	718.444.417	463.131.140
2032	259.033.424	734.975.371	475.941.947
2033	262.807.777	751.867.433	489.059.656
2034	266.637.126	769.128.031	502.490.905

3.10. Çevresel Maliyetlerde Azalma

Kaza maliyetlerinde olduğu gibi, motorlu araçlardan kaynaklanan emisyonlar ve gürültü gibi çevresel etkilerin ekonomik değerlerinin hesaplanması da oldukça güçtür.

Karayolu araçlarından kaynaklanan çevresel etki maliyetlerinin öngörülmesinde Victoria Transport Policy Institute⁴ tarafından yayınlanan ve "Transportation Costs & Benefits, Resources for Measuring Transportation Costs & Benefits, Environmental Costs, TDM Encyclopedia"da verilen tablolardan yararlanılmıştır. İstanbul'da ve A.B.D.'deki kişi başına GSYİH değerleri göz önüne alınarak, bu tablolarda verilen ortalama çevresel etki maliyetleri 0.25 katsayısı ile küçültülmüştür. Kentiçi ulaşımında karayolu araçlarından kaynaklanan km başına çevresel etki maliyetleri otomobiller için 0.014 USD, minibüsler için 0.022 USD ve otobüsler için 0.053 USD olarak öngörülmüştür.

⁴ www.vtpi.org

3.11. Ekonomik Fizibilite Etüdü Sonuçları

Ekonomik fizibilite etüdünde Kadıköy – Kartal Metro Projesi'nin ekonomik maliyetleri ve faydaları değerlendirilmiştir. % 12 güncelleştirme oranı kullanılarak projenin güncellenmiş maliyetleri ve faydaları Tablo 3.12 ve 3.13'de özetlenmiştir. Projenin ekonomik fizibilite göstergeleri aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

Net Bugünkü Değer (N.B.D.)	998,808,427 USD
Ekonomik İç Verimlilik Oranı (E.I.R.R.)	25.39 %
Fayda / Maliyet Oranı	2.25

Bu değerlerden görüldüğü gibi, Kadıköy – Kartal Metro Projesi ekonomik bakımdan yapılabilir bir projedir.

Projenin ekonomik faydalarının dağılımı Tablo 3.14'de verilmiştir. Görüldüğü gibi, projenin faydalarının % 73'ünü yolculuk zamanının kısalmasından kaynaklanacak ekonomik faydalar oluşturmaktadır.

3.12. Ekonomik Maliyet ve Faydaların Duyarlılık Analizi

Bazı temel parametrelerin değişmesi durumunda ekonomik fizibilite etüdü sonuçlarının nasıl değiştiğini belirlemek amacıyla duyarlılık analizi yapılmıştır. Herbir duyarlılık sınaması için projenin ekonomik iç verimlilik oranı (E.I.R.R.) ve fayda / maliyet oranı hesaplanmıştır.

Kadıköy – Kartal Metro Projesi'nin ekonomik fayda ve maliyetlerine ilişkin duyarlılık analizinin sonuçları Tablo 3.15'de özetlenmiştir.

Tablo 3.12: Metro Projesini Ekonomik Maliyetleri (USD)

Yıllar	Yatırım Maliyetleri	Metro Araçları Yatırım Maliyetleri	Metro İşletme ve Bakım Maliyetleri	Toplam Maliyet
2005	42.800.000	0	0	42.800.000
2006	129.600.000	0	0	129.600.000
2007	240.400.000	0	0	240.400.000
2008	235.600.000	0	0	235.600.000
2009	91.600.000	206.400.000	0	298.000.000
2010	0	0	31.433.271	31.433.271
2011	0	0	31.635.811	31.635.811
2012	0	0	31.679.241	31.679.241
2013	0	14.400.000	31.679.241	46.079.241
2014	0	0	32.969.427	32.969.427
2015	0	0	33.415.043	33.415.043
2016	0	0	33.572.153	33.572.153
2017	0	0	33.732.404	33.732.404
2018	0	30.400.000	33.950.468	64.350.468
2019	0	0	36.556.696	36.556.696
2020	0	0	36.867.468	36.867.468
2021	0	0	37.102.817	37.102.817
2022	0	0	37.279.748	37.279.748
2023	0	0	37.616.565	37.616.565
2024	0	28.800.000	37.871.372	66.671.372
2025	0	0	40.509.835	40.509.835
2026	0	0	40.876.091	40.876.091
2027	0	0	41.071.437	41.071.437
2028	0	0	41.548.883	41.548.883
2029	0	0	41.752.121	41.752.121
2030	0	59.200.000	41.959.424	101.159.424
2031	0	0	47.143.322	47.143.322
2032	0	0	47.359.000	47.359.000
2033	0	0	47.578.991	47.578.991
2034	-74.000.000	-33.920.000	47.803.382	-60.116.618
NBD	511.876.977	133.492.785	154.331.062	799.700.824

Tablo 3.13: Metro Projesinin Ekonomik Faydaları (USD)

Yıl	Otyobüs & Minibüs Yatırım Maliyetlerinde Azalma	Otyobüs & Minibüs İşletme Maliyetlerinde Azalma	Karayolu Bakım Maliyetlerinde Azalma	Ozel Araç İşletme Maliyetlerinde Azalma	Karayolu Kaza Maliyetlerinde Azalma	Zaman Kazancının Ekonomik Değeri	Çevresel Maliyetlerde Azalma	Toplam Fayda	Net Fayda
2005	0	0	0	0	0	0	0	0	-42.800,000
2006	0	0	0	0	0	0	0	0	-129.600,000
2007	0	0	0	0	0	0	0	0	-240.400,000
2008	0	0	0	0	0	0	0	0	-235.600,000
2009	0	0	0	0	0	0	0	0	-298.000,000
2010	125.846,400	47.691,856	1.001,810	17.203,177	3.759,108	225,357,603	3,388,629	424,248,583	392,815,313
2011	4.403,200	49,097,347	1,048,624	17,674,858	3,841,371	234,937,618	3,477,260	314,480,278	282,844,467
2012	4.462,400	50,500,147	1,096,274	18,144,365	3,921,927	244,636,020	3,565,084	326,326,217	294,646,976
2013	4.462,400	51,900,064	1,144,748	18,611,698	4,000,774	254,451,479	3,652,089	338,223,251	292,144,011
2014	4.521,600	53,296,907	1,194,033	19,076,855	4,077,908	264,382,646	3,738,284	350,288,213	317,318,787
2015	4.631,200	54,690,483	1,244,117	19,539,838	4,153,328	274,428,152	3,823,598	362,510,716	329,095,673
2016	4,791,200	56,080,600	1,294,987	20,000,647	4,227,029	284,586,610	3,908,080	374,889,153	341,317,000
2017	4,480,000	57,467,066	1,346,632	20,459,281	4,299,009	294,856,613	3,991,698	386,900,299	353,167,894
2018	4,800,000	58,849,689	1,399,037	20,915,740	4,369,255	305,236,735	4,074,442	399,644,907	335,294,440
2019	4,749,600	60,228,275	1,452,191	21,370,025	4,437,795	315,725,527	4,156,300	412,119,712	375,563,016
2020	4,859,200	61,602,634	1,506,081	21,822,134	4,504,594	326,321,520	4,237,261	424,853,426	387,985,957
2021	4,758,400	62,972,573	1,560,694	22,272,070	4,569,682	337,023,226	4,317,315	437,473,940	400,371,123
2022	4,918,400	64,337,900	1,616,019	22,719,831	4,632,993	347,829,132	4,396,449	450,450,724	413,170,976
2023	4,977,600	65,698,423	1,672,041	23,165,417	4,694,587	358,737,706	4,474,653	463,420,427	425,803,862
2024	5,203,200	67,243,119	1,722,688	23,695,071	4,785,989	371,632,622	4,572,021	478,854,711	412,183,339
2025	118,464,960	68,780,942	1,773,647	24,222,172	4,876,066	384,606,074	4,668,554	607,392,416	566,882,581
2026	9,326,080	70,311,768	1,824,910	24,746,718	4,964,818	397,657,200	4,764,245	513,595,739	472,719,647
2027	9,278,560	71,835,473	1,876,469	25,268,711	5,052,241	410,785,123	4,859,086	528,955,663	487,884,226
2028	9,278,560	73,351,934	1,928,316	25,788,149	5,138,335	423,988,954	4,953,071	544,427,320	502,878,436
2029	9,441,440	74,861,029	1,980,442	26,305,034	5,223,087	437,267,792	5,046,193	560,125,027	518,372,905
2030	9,540,080	76,362,634	2,032,840	26,819,364	5,306,526	450,620,721	5,138,443	575,820,608	474,661,184
2031	9,372,880	77,813,997	2,082,728	27,355,751	5,387,104	463,131,140	5,225,889	590,369,489	543,226,167
2032	9,252,800	79,290,870	2,133,669	27,902,866	5,468,752	475,941,947	5,314,661	605,305,565	557,946,565
2033	9,700,800	80,793,653	2,185,681	28,460,924	5,551,481	489,059,656	5,404,775	621,156,968	573,577,977
2034	-11,548,219	82,322,751	2,238,783	29,030,142	5,635,300	502,490,905	5,496,247	615,665,909	675,782,527
NBD	94,189,436	254,622,389	5,975,184	90,711,080	19,030,954	1,316,304,165	17,676,044	1,798,509,251	998,808,427

Economic Internal Rate of Return (E.I.R.R.) : 25.39 %

Benefit / Cost Ratio : 2.25

Tablo 3.14: Ekonomik Faydaların Dağılımı

Faydalar	NBD (USD)	(%)
Otobüs ve Minibüs Yatırım Maliyetlerinde Azalma	94,189,436	5.2
Otobüs ve Minibüs İşletme Maliyetlerinde Azalma	254,622,389	14.2
Yol Bakım Maliyetlerinde Azalma	5,975,184	0.3
Özel Araç İşletme Maliyetlerinde Azalma	90,711,080	5.0
Karayolu Kaza Maliyetlerinde Azalma	19,030,954	1.1
Yolculuk Zamanı Maliyetlerinde Azalma	1,316,304,165	73.2
Çevresel Maliyetlerde Azalma	17,676,044	1.0
Toplam Fayda	1,798,509,251	100.0

Tablo 3.15: Ekonomik Duyarlılık Analizinin Sonuçları

Senaryolar	E.I.R.R. (%)	Fayda/Maliyet Oranı
İncelenen Durum	25.39	2.25
Metro Trafiği % 20 Fazla	34.19	3.27
Yapım Maliyeti % 20 Fazla	22.71	1.99
Metro İşletme ve Bakım Maliyetleri % 20 Fazla	25.06	2.16
Karayolu Araçları İşletme Maliyetleri % 20 Fazla	25.98	2.31
Zaman Değeri % 20 Az	22.46	1.92
Zaman Değeri % 40 Az	19.18	1.59
Çevresel Maliyetler % 20 Fazla	25.46	2.25
Karayolu Kazaları % 20 Fazla	25.46	2.25

4. MALİ FİZİBİLİTE

4.1. Yöntem

Proje konusu Kadıköy - Kartal metro hattının mali fizibilite etüdünde, 2005-2034 yılları arasındaki yapım ve işletme dönemi içinde, projenin gelir ve giderleri, yatırımcı / işletmeci kuruluş açısından değerlendirilmiştir. Bu bölümde, değerlendirmede kullanılan yöntem ve temel varsayımlar açıklanmıştır.

Kadıköy – Kartal metro hattı inşaatının 2005 yılında başlayarak, 31 Aralık 2009 tarihinde tamamlanacağı ve hattın 1 Ocak 2010 tarihinde işletmeye açılacağı öngörülmüştür.

2005 ve 2034 yılları arasındaki 30 yıllık değerlendirme dönemi için incelenen projenin mali net bugünkü değeri (NBD) ve mali iç verimlilik oranı (FIRR) hesaplanmıştır. 2005 yılı sabit fiyatları ile değerlendirme dönemi boyunca her yıl için hesaplanan gelir ve giderler % 12 güncelleştirme (iskonto) oranı ile güncelleştirilmiştir.

Mali değerlendirmede, ayrıca, yatırım ve işletme dönemlerindeki tüm nakit giriş ve çıkışlarını gösteren projenin indirgenmiş nakit akışı tablosu, mali kaynaklar ve kaynakların kullanımını gösteren mali nakit akışı tabloları ile öngörülen kredi koşullarına bağlı olarak bir kredi geri ödeme planı tablosu hazırlanmıştır.

Mali değerlendirmede hesaba katılan gelir ve giderler şunlardır:

- Hat ve sabit tesislerin yatırım giderleri,
- Araçların yatırım giderleri,
- İşletme ve bakım giderleri,
- Finansman giderleri (Taahhüt ve Yönetim Komisyonları, Sigorta Bedelleri)
- İşletme gelirleri.

Kadıköy – Kartal metro hattının yatırım, işletme ve bakım giderleri bir önceki bölümde açıklanmıştır. Bakım ve işletme giderleri için yıllık % 2 oranında enflasyon artışı öngörülmüştür.

4.2. Ücretlendirme Yapısı ve Yolcu Gelirleri

4.2.1. Ücretlendirme Yapısı

İstanbul Büyükşehir Belediyesi, toplu taşıma araçlarında ortak bilet kullanımı uygulamasını yaygınlaştırmaktadır. Günümüzde, otobüslerde ve raylı sistem hatlarında, yolculuk uzunluğuna bağlı olmaksızın, sabit ücret uygulanmaktadır. Tam ücret 1.10 YTL (0.81 \$) olup belirli yolcu grupları için indirimli ücret uygulanmaktadır. Mali değerlendirmede, Kadıköy - Kartal metro hattı için ortalama ücret, indirimli ücretle yolculuk yapanları da hesaba katmak üzere, 0.75 \$ olarak alınmıştır.

4.2.2. Yolcu Gelirleri

Kadıköy – Kartal metro hattı için gelecekte öngörülen yolculuk değerleri Tablo 2.11’de verilmiştir. Hattın işletmeye açılma yılı olarak kabul edilen 2010 yılında 679,697 yolcu/gün olarak tahmin edilen yolculuk taleplerinin 2023 yılında 941,382 yolcu/gün, 2030 yılında ise 1,106,876 yolcu/gün düzeyine yükseleceği öngörülmektedir. Proje konusu metro hattının bilet gelirleri, her yıl taşınacak toplam yolcu sayılarına göre ve ortalama bilet ücreti 0.75 \$ alınarak hesaplanmıştır (Tablo 4.1). Bilet gelirleri için yıllık % 2 oranında enflasyon artışı öngörülmüştür.

Bilet ücreti dışındaki ticari faaliyetlerden elde edilecek (reklam, kira) gelirleri projenin yapılabilirliğini etkileyecek düzeyde olamayacağı için mali değerlendirmede göz önüne alınmamıştır.

Tablo 4.1: Yıllık Yolcu Gelirleri (USD)

Years	Revenues (USD)
2010	180.105.600
2011	185.439.541
2012	190.773.483
2013	196.107.424
2014	201.441.365
2015	206.775.306
2016	212.109.248
2017	217.443.189
2018	222.777.130
2019	228.111.072
2020	233.445.013
2021	238.778.954
2022	244.112.895
2023	249.446.837
2024	255.711.494
2025	261.976.151
2026	268.240.808
2027	274.505.466
2028	280.770.123
2029	287.034.780
2030	293.299.438
2031	299.165.426
2032	305.148.735
2033	311.251.710
2034	317.476.744

4.3. Projenin Finansmanı ve Kredi Koşulları

Kadıköy - Kartal Metro Projesi'nin finansmanının özkaynak ve dış kredi ile sağlanacağı öngörülmüştür. Böylece, düşük faiz ve uzun vade, geri ödemesiz süre gibi uygun koşulları bulunan kredi kullanılarak projenin mali yapılabilirliğinin artacağı

öngörülmüştür. Bu koşullar ile kredi verebilecek bazı kuruluşlar aşağıda sıralanmıştır.

- Uluslararası Finans Kuruluşlarından Uzun Vadeli Kredi (Avrupa Yatırım Bankası, Dünya Bankası, İslami Kalkınma Bankası ve/veya Japon Finans Kuruluşları).
- İhracat Kredisi Veren Kuruluşlar.

Yatırım süresince tüm inşaat, mühendislik, danışmanlık, finansman (taahhüt komisyonu, yönetim komisyonu, kredi faizi) giderlerinin özkaynak ile karşılanacağı öngörülmüştür. İşletmenin ilk yılı için gerekli olan 129 metro aracının alımı ve elektro-mekanik işler için gerekli kaynakların ise kredi ile sağlanacağı öngörülmüştür (Tablo 4.2). Böylece, inşaat süresince gereken yatırım ve finansman giderlerinin % 13.8'i özkaynak ile sağlanmış olacaktır.

Kredi koşullarının aşağıdaki gibi olacağı öngörülmüştür.:

- LIBOR : % 4.23
- Kredi Faizi: LIBOR + % 1.0 = % 5.23
- Taahhüt Komisyonu : % 0.15
- Yönetim Komisyonu : % 0.50
- Kredi Kullanımı : İnşaat Süresi (5 yıl)
- Geri Ödemesiz Süre : İnşaatın Başlangıcından İtibaren 5 Yıl
- Geri Ödeme Süresi : 10 Yıl
- Ödeme Biçimi : 6 Aylık Eşit Ödemeler Halinde

Kredi koşullarına bağlı olarak, incelenen metro projesi için öngörülen kredi geri ödeme planı, Tablo 4.3'de verilmiştir.

Tablo 4.2: Proje Finansmanı, Kredi/Özkaynak Oranı (USD)

		Yıl 1 2005	Yıl2 2006	Yıl 3 2007	Yıl 4 2008	Yıl 5 2009	Toplam
Hat ve Sabit Tesisler	Özkaynak	15.000.000	45.000.000	45.000.000	33.000.000	0	138.000.000
	Kredi	35.000.000	105.000.000	105.000.000	77.000.000	0	322.000.000
Elektro-Mekanik İşler	Özkaynak	0	0	0	0	0	0
	Kredi	0	0	130.000.000	170.000.000	100.000.000	400.000.000
Mühendislik - Danışmanlık	Özkaynak	500.000	2.500.000	3.500.000	3.000.000	1.500.000	11.000.000
	Kredi	0	0	0	0	0	0
Diğer	Özkaynak	500.000	2.000.000	2.500.000	1.500.000	500.000	7.000.000
	Kredi	2.500.000	7.500.000	14.500.000	10.000.000	12.500.000	47.000.000
Finansman Giderleri	Özkaynak	19.367.375	13.646.625	11.445.375	7.674.750	3.587.625	55.721.750
	Kredi	0	0	0	0	0	0
Kredi Faizi Ödemeleri	Özkaynak	490.372	3.432.601	11.108.550	24.257.047	38.509.206	77.797.775
	Kredi	0	0	0	0	0	0
Metro Aracı Yatırım Harcamaları	Özkaynak	0	0	0	0	0	0
	Kredi	0	0	0	0	206.400.000	206.400.000
Genek Toplam	Özkaynak	35.857.747	66.579.226	73.553.925	69.431.797	44.096.831	289.519.525
	Kredi	37.500.000	112.500.000	249.500.000	257.000.000	318.900.000	975.400.000

4.4. Mali Fizibilite Sonuçları

Proje konusu metro hattının yıllık gelir ve giderleri, 2005 yılı sabit fiyatlarıyla, Tablo 4.4'de verilmiştir. % 12 güncelleştirme oranı ile gelir ve giderlerin güncelleştirilmiş değerleri hesaplanmıştır. Mali nakit akışları Tablo 4.5'de gösterilmiştir. Projenin yolculuk talepleri ile bilet gelirlerinin değişmesi durumunda projenin mali değerlendirme sonuçlarının nasıl değiştiğini belirlemek amacıyla duyarlılık analizleri yapılmıştır (Tablo 4.6).

Mali değerlendirmenin sonuçları aşağıda özetlenmiştir :

- Ortalama bilet ücretinin 0.75 \$ olması durumunda, incelenen metro projesinin mali iç verimlilik oranı, % 10.25, finansal net bugünkü Değeri (NBD) ise – 118,256,223 USD olmaktadır.
- Kadıköy – Kartal metro projesi, öngörülen finansman koşullarına göre, 2005 ve 2009 yılları arasında 156,000,000 USD, 2010 ve 2011 yıllarında ise 21,000,000 USD tutarında bir özkaynak gerektirmektedir.
- Proje konusu metro hattı için 975,400,000 USD tutarında kredi kullanılması öngörülmüştür.
- Proje, gelirleri ile, kredi anapara ve faizleri 2019 yılı sonunda geri ödenebilmektedir. Kredi için toplam geri ödeme miktarı, 1,376,772,242 USD olarak hesaplanmıştır.
- Metro trafiğinin değişmemesi ve ortalama bilet ücretinin 0.85 USD olması durumunda, mali iç verimlilik oranı, % 11.98, finansal net bugünkü değeri (NBD) ise –1,682,153 USD olmaktadır.
- Metro trafiğinin öngörülenden % 20 daha fazla gerçekleşmesi ve ortalama bilet ücretinin 0.75 USD olması durumunda, mali iç verimlilik oranı, % 11.55, finansal net bugünkü değeri (NBD) ise – 3,524,617 USD olmaktadır.
- Metro trafiğinin öngörülenden % 20 daha fazla gerçekleşmesi ve ortalama bilet ücretinin 0.85 USD olması durumunda ise mali iç verimlilik oranı, % 13.80, finansal net Bugünkü değeri (NBD) ise 136,364,268 USD olmaktadır.

Tablo 4.3: Kredi Geri Ödeme Planı (USD)

	2005 I. Yarıyıl	2005 II. Yarıyıl	2006 I. Yarıyıl	2006 II. Yarıyıl	2007 I. Yarıyıl	2007 II. Yarıyıl	2008 I. Yarıyıl	2008 II. Yarıyıl	2009 I. Yarıyıl	2009 II. Yarıyıl
Kullanılan Kredi	18.750.000	18.750.000	56.250.000	56.250.000	124.750.000	124.750.000	128.500.000	128.500.000	159.450.000	159.450.000
Anapara Geri Ödemesi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kalan Ödeme	18.750.000	37.500.000	93.750.000	150.000.000	274.750.000	399.500.000	528.000.000	656.500.000	815.950.000	975.400.000
Faiz Ödemeleri	0	490.372	980.743	2.451.858	3.922.973	7.185.578	10.448.183	13.808.863	17.169.543	21.339.663
Taahhüt Komisyonu	7.315.500	7.174.875	7.034.250	6.612.375	6.190.500	5.254.875	4.319.250	3.355.500	2.391.750	1.195.875
Yönetim Komisyonu	4.877.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Toplam Geri Ödeme	12.192.500	7.665.247	8.014.993	9.064.233	10.113.473	12.440.453	14.767.433	17.164.363	19.561.293	22.535.538

	2010 I. Yarıyıl	2010 II. Yarıyıl	2011 I. Yarıyıl	2011 II. Yarıyıl	2012 I. Yarıyıl	2012 II. Yarıyıl	2013 I. Yarıyıl	2013 II. Yarıyıl	2014 I. Yarıyıl	2014 II. Yarıyıl
Kullanılan Kredi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Anapara Geri Ödemesi	48.770.000	48.770.000	48.770.000	48.770.000	48.770.000	48.770.000	48.770.000	48.770.000	48.770.000	48.770.000
Kalan Ödeme	926.630.000	877.860.000	829.090.000	780.320.000	731.550.000	682.780.000	634.010.000	585.240.000	536.470.000	487.700.000
Faiz Ödemeleri	25.509.783	24.234.293	22.958.804	21.683.315	20.407.826	19.132.337	17.856.848	16.581.359	15.305.870	14.030.380
Taahhüt Komisyonu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Yönetim Komisyonu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Toplam Geri Ödeme	74.279.783	73.004.293	71.728.804	70.453.315	69.177.826	67.902.337	66.626.848	65.351.359	64.075.870	62.800.380

	2015 I. Yarıyıl	2015 II. Yarıyıl	2016 I. Yarıyıl	2016 II. Yarıyıl	2017 I. Yarıyıl	2017 II. Yarıyıl	2018 I. Yarıyıl	2018 II. Yarıyıl	2019 I. Yarıyıl	2019 II. Yarıyıl	Total
Kullanılan Kredi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	975.400.000
Anapara Geri Ödemesi	48.770.000	48.770.000	48.770.000	48.770.000	48.770.000	48.770.000	48.770.000	48.770.000	48.770.000	48.770.000	975.400.000
Kalan Ödeme	438.930.000	390.160.000	341.390.000	292.620.000	243.850.000	195.080.000	146.310.000	97.540.000	48.770.000	0	0
Faiz Ödemeleri	12.754.891	11.479.402	10.203.913	8.928.424	7.652.935	6.377.446	5.101.957	3.826.467	2.550.978	1.275.489	345.650.492
Taahhüt Komisyonu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50.844.750
Yönetim Komisyonu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4.877.000
Toplam Geri Ödeme	61.524.891	0	58.973.913	57.698.424	56.422.935	55.147.446	53.871.957	52.596.467	51.320.978	50.045.489	1.376.772.242

Tablo 4.4: Nakit Akımları (USD)

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Nakit Girişleri										
Ozkaynak	16.000.000	49.500.000	51.000.000	37.500.000	2.000.000	0	0	0	0	0
Ek Özkaynak	0	0	0	0	0	17.000.000	4.000.000	0	0	0
Kullanılan Kredi	37.500.000	112.500.000	249.500.000	257.000.000	318.900.000	0	0	0	0	0
İşleme Gelirleri	0	0	0	0	0	180.105.600	189.148.332	198.480.731	208.110.767	218.046.612
Toplam	53.500.000	162.000.000	300.500.000	294.500.000	320.900.000	197.105.600	193.148.332	198.480.731	208.110.767	218.046.612
Nakit Çıkışları										
Yatırım Harcamaları	53.500.000	162.000.000	300.500.000	294.500.000	320.900.000	0	0	0	14.400.000	0
İşletme ve Bakım Giderleri	0	0	0	0	0	49.578.387	50.896.802	51.984.986	53.024.885	56.287.881
Finansman Giderleri	19.857.747	17.079.226	22.553.925	31.931.797	42.096.831	49.744.076	44.642.119	39.540.163	34.438.206	29.336.250
Anapara Geri Ödemeleri	0	0	0	0	0	97.540.000	97.540.000	97.540.000	97.540.000	97.540.000
Vergi ve Stopajlar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Toplam	73.357.747	179.079.226	323.053.925	326.431.797	362.996.831	196.862.463	193.077.922	189.065.148	199.402.892	183.164.131
Net Nakit Akımı	-19.857.747	-17.079.226	-22.553.925	-31.931.797	-42.096.831	243.137	70.410	9.415.583	8.707.875	34.882.481
Birlikli Nakit Dengesi	-19.857.747	-36.936.973	-59.490.898	-91.422.695	-133.519.525	-133.276.388	-133.205.978	-123.790.395	-115.082.519	-80.200.038

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Nakit Girişleri										
Ozkaynak	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ek Özkaynak	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kullanılan Kredi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
İşleme Gelirleri	228.296.646	238.869.464	249.773.875	261.018.915	272.613.846	284.568.168	296.891.617	309.594.177	322.686.082	337.405.886
Toplam	228.296.646	238.869.464	249.773.875	261.018.915	272.613.846	284.568.168	296.891.617	309.594.177	322.686.082	337.405.886
Nakit Çıkışları										
Yatırım Harcamaları	0	0	0	30.400.000	0	0	0	0	0	28.800.000
İşletme ve Bakım Giderleri	58.189.644	59.632.503	61.115.493	62.740.786	68.908.262	70.883.940	72.763.167	74.572.354	76.751.025	78.816.339
Finansman Giderleri	24.234.293	19.132.337	14.030.380	8.928.424	3.826.467	0	0	0	0	0
Anapara Geri Ödemeleri	97.540.000	97.540.000	97.540.000	97.540.000	97.540.000	97.540.000	97.540.000	97.540.000	97.540.000	97.540.000
Vergi ve Stopajlar	0	0	1.982.400	0	7.022.841	10.363.975	12.192.410	14.054.792	15.824.263	4.943.231
Toplam	179.963.938	176.304.840	174.668.273	199.609.210	177.297.570	81.247.915	84.955.577	88.627.146	92.575.287	112.559.571
Net Nakit Akımı	48.332.709	62.564.624	75.105.602	61.409.705	95.316.276	203.320.253	211.936.040	220.967.031	230.110.795	224.846.315
Birlikli Nakit Dengesi	-31.867.329	30.697.295	105.802.897	167.212.602	262.528.878	465.849.130	677.785.170	898.752.201	1.128.862.996	1.353.709.311

Tablo 4.4: Nakit Akımları (USD) (Devam)

	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	Total
Nakit Girişleri											
Özkaynak	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	166.000.000
Ek Özkaynak	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21.000.000
Kullanılan Kredi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	975.400.000
İşletme Gelirleri	352.586.407	388.237.147	384.373.923	401.008.875	418.155.475	436.827.635	453.434.968	471.763.741	480.812.592	510.641.420	8.082.441.801
Toplam	352.586.407	388.237.147	384.373.923	401.008.875	418.155.475	436.827.635	453.434.968	471.763.741	480.812.592	510.641.420	9.234.841.801
Nakit Çıkışları											
Yatırım Harcamaları	0	0	0	0	0	59.200.000	-92.500.000	0	0	-33.920.000	1.137.780.000
İşletme ve Bakım Giderleri	85.983.548	88.506.451	90.708.010	93.597.719	95.936.667	98.341.281	112.700.698	115.480.623	118.337.393	121.273.404	1.987.021.030
Finansman Giderleri	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	401.372.242
Anapara Geri Ödemeleri	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	975.400.000
Vergi ve Stopajlar	17.433.344	19.528.813	21.723.200	23.763.856	25.943.857	1.324.862	82.182.126	28.634.121	28.754.817	48.277.404	339.940.110
Toplam	103.426.892	108.035.064	112.431.211	117.351.575	121.880.624	156.868.123	82.392.824	142.114.744	147.092.210	133.630.808	4.821.613.381
Net Nakit Akımı	249.159.515	280.202.083	271.942.712	283.657.300	296.274.851	276.961.413	371.052.144	329.638.997	343.720.381	377.010.612	
Birikimli Nakit Dengesi	1.602.867.829	1.883.089.909	2.135.012.622	2.418.669.921	2.714.944.872	2.991.906.285	3.392.969.429	3.321.545.282	3.665.265.663	4.042.276.276	

Tablo 4.5: Mali Nakit Akışları (USD)

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
İşletme Gelirleri	0	0	0	0	0	163.127.191	167.958.306	172.789.421	177.620.536	182.451.651
İnşaat Yatırım Giderleri	53.500.000	162.000.000	300.500.000	294.500.000	114.500.000	0	0	0	0	0
Metro Araçları Yatırım Harcamaları	0	0	0	0	206.400.000	0	0	0	14.400.000	0
İşletme ve Bakım Giderleri	0	0	0	0	0	44.904.673	45.194.016	45.256.058	45.256.058	47.099.181
Toplam Gider	53.500.000	162.000.000	300.500.000	294.500.000	320.900.000	44.904.673	45.194.016	45.256.058	59.656.058	47.099.181
Vergi Öncesi Net Nakit Girişi	-53.500.000	-162.000.000	-300.500.000	-294.500.000	-320.900.000	118.222.518	122.764.290	127.533.363	117.964.478	135.352.470
Amortisman	0	0	0	0	23.358.209	128.222.425	128.222.425	128.222.425	129.852.067	129.852.067
Kredi Faizi Ödemeleri	490.372	3.432.601	11.108.550	24.257.047	38.509.206	49.744.076	44.642.119	39.540.163	34.438.206	29.336.250
Finansal Maliyetler	19.367.375	13.646.625	11.445.375	7.674.750	3.587.625	0	0	0	0	0
Vergi Öncesi Kar	-73.357.747	-179.079.226	-323.053.925	-326.431.797	-386.355.040	-59.743.982	-50.100.254	-40.229.225	-46.325.796	-23.835.847
Vergi ve Stopajlar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kar	-73.357.747	-179.079.226	-323.053.925	-326.431.797	-386.355.040	-59.743.982	-50.100.254	-40.229.225	-46.325.796	-23.835.847
Net Nakit Akımı	-73.357.747	-179.079.226	-323.053.925	-326.431.797	-362.996.831	68.478.442	78.122.171	87.993.200	83.526.271	106.016.220

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
İşletme Gelirleri	187.282.766	192.113.881	196.944.996	201.776.111	206.607.226	211.438.341	216.269.455	221.100.570	225.931.685	231.605.778
İnşaat Yatırım Giderleri	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Metro Araçları Yatırım Harcamaları	0	0	0	30.400.000	0	0	0	0	0	28.800.000
İşletme ve Bakım Giderleri	47.735.776	47.960.218	48.189.149	48.500.668	52.223.851	52.667.812	53.004.025	53.256.783	53.737.949	54.101.960
Toplam Gider	47.735.776	47.960.218	48.189.149	78.900.668	52.223.851	52.667.812	53.004.025	53.256.783	53.737.949	82.901.960
Vergi Öncesi Net Nakit Girişi	139.546.990	144.153.663	148.755.847	122.875.443	154.383.375	158.770.529	163.265.431	167.843.787	172.193.736	148.703.819
Amortisman	129.852.067	129.852.067	129.852.067	133.292.424	133.292.424	133.292.424	133.292.424	133.292.424	133.292.424	136.551.709
Kredi Faizi Ödemeleri	24.234.293	19.132.337	14.030.380	8.928.424	3.826.467	0	0	0	0	0
Finansal Maliyetler	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vergi Öncesi Kar	-14.539.370	-4.830.741	4.873.399	-19.345.405	17.264.484	25.478.105	29.973.007	34.551.364	38.901.312	12.152.110
Vergi ve Stopajlar	0	0	1.982.400	0	7.022.841	10.363.975	12.192.410	14.054.792	15.824.263	4.943.231
Kar	-14.539.370	-4.830.741	2.890.999	-19.345.405	10.241.643	15.114.130	17.780.598	20.496.572	23.077.050	7.208.879
Net Nakit Akımı	115.312.697	125.021.326	132.743.067	113.947.019	143.534.066	148.406.554	151.073.021	153.788.995	156.369.473	143.760.587

Tablo 4.5: Mali Nakit Akışları (USD) (Devam)

	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	NPV
İşletme Gelirleri	237.279.872	242.953.965	248.628.058	254.302.151	259.976.244	265.650.337	270.963.344	276.382.611	281.910.263	287.548.468	874.305.530
İnşaat Yatırım Giderleri	0	0	0	0	0	0	-92.500.000	0	0	0	638.596.023
Metro Araçları Yatırım Harcamaları	0	0	0	0	0	59.200.000	0	0	0	-33.920.000	133.492.785
İşletme ve Bakım Giderleri	57.871.193	58.394.416	58.673.482	59.355.547	59.645.887	59.942.034	67.347.603	67.655.714	67.969.987	68.290.546	220.472.945
Toplam Gider	57.871.193	58.394.416	58.673.482	59.355.547	59.645.887	119.142.034	-25.152.397	67.655.714	67.969.987	34.370.546	992.561.753
Vergi Öncesi Net Nakit Girişi	179.408.679	184.559.548	189.954.576	194.946.603	200.330.357	146.508.303	296.115.741	208.726.897	213.940.276	253.177.922	-118.256.223
Amortisman	136.551.709	136.551.709	136.551.709	136.551.709	136.551.709	143.251.350	143.251.350	143.251.350	143.251.350	139.412.637	598.080.621
Kredi Faizi Ödemeleri	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	149.196.649
Finansal Maliyetler	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43.231.054
Vergi Öncesi Kar	42.856.970	48.007.840	53.402.867	58.394.895	63.778.648	3.256.953	152.864.391	65.475.547	70.688.926	113.765.286	-908.764.547
Vergi ve Stopajlar	17.433.344	19.528.613	21.723.200	23.753.856	25.943.857	1.324.862	62.182.125	26.634.121	28.754.817	46.277.404	24.022.893
Kar	25.423.626	28.479.227	31.679.667	34.641.039	37.834.791	1.932.091	90.682.266	38.841.426	41.934.108	67.487.881	-932.787.440
Net Nakit Akımı	161.975.335	165.030.936	168.231.376	171.192.748	174.396.500	145.183.441	233.933.616	182.092.776	185.185.458	206.900.518	-334.706.818

NBD = -118,256,223 USD

Mali İç Verimlilik Oranı: (F.I.R.R.) : 10.25 %

Tablo 4.6: Mali Fizibilite Duyarlılık Analizi Sonuçları

	Trafik Sabit		Trafik % 20 Fazla	
Ortalama Bilet Ücreti (2005, USD)	0,75	0,85	0,75	0,85
Net Bugünkü Değer (USD)	-118.256.223	-1.682.153	-3.524.617	136.364.268
Mali İç Verimlilik Oranı (%)	10,25	11,98	11,95	13,8

5. SONUÇLAR

Ekonomik fizibilite etüdünde Kadıköy – Kartal Metro Projesi'nin ekonomik maliyetleri ve faydaları değerlendirilmiştir. % 12 güncelleştirme oranı kullanılarak projenin güncelleştirilmiş maliyetleri ve faydaları hesaplanmıştır. Projenin ekonomik fizibilite göstergeleri aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

Net Bugünkü Değer (N.B.D.)	998,808,427 USD
Ekonomik İç Verimlilik Oranı (E.I.R.R.)	25.39 %
Fayda / Maliyet Oranı	2.25

Bu değerlerden görüldüğü gibi, Kadıköy – Kartal Metro Projesi ekonomik bakımdan yapılabilir bir projedir. Projenin faydalarının % 73'ünü yolculuk zamanının kısalmasından kaynaklanacak ekonomik faydalar oluşturmaktadır. Ortalama zaman değeri 5.93 USD/saat/kişi olarak hesaplanmıştır.

Bazı temel parametrelerin değişmesi durumunda ekonomik fizibilite etüdü sonuçlarının nasıl değiştiğini belirlemek amacıyla duyarlılık analizi yapılmıştır. Herbir duyarlılık sınaması için projenin ekonomik iç verimlilik oranı (E.I.R.R.) ve fayda / maliyet oranı hesaplanmıştır. Ortalama zaman değerinin %20 ve % 40 daha az alınması durumunda projenin ekonomik iç verimlilik oranı, sırasıyla, % 22.46 ve % 19.18 olarak hesaplanmıştır.

Proje konusu Kadıköy - Kartal metro hattının mali fizibilite etüdünde, 2005-2034 yılları arasındaki yapım ve işletme dönemi içinde, projenin gelir ve giderleri, yatırımcı / işletmecisi kuruluş açısından değerlendirilmiştir.

Yatırım süresince tüm inşaat, mühendislik, danışmanlık, finansman (taahhüt komisyonu, yönetim komisyonu, kredi faizi) giderlerinin özkaynak ile karşılanacağı öngörülmüştür. İşletmenin ilk yılı için gerekli olan 129 metro aracının alımı ve elektromekanik işler için gerekli kaynakların ise kredi ile sağlanacağı öngörülmüştür. Böylece, inşaat süresince gereken yatırım ve finansman giderlerinin % 13.8'i özkaynak ile sağlanmış olacaktır.

Kredi koşullarının aşağıdaki gibi olacağı öngörülmüştür.:

- LIBOR : % 4.23
- Kredi Faizi: LIBOR + % 1.0 = % 5.23
- Taahhüt Komisyonu : % 0.15
- Yönetim Komisyonu : % 0.50
- Kredi Kullanımı : İnşaat Süresi (5 yıl)
- Geri Ödemesiz Süre : İnşaatın Başlangıcından İtibaren 5 Yıl
- Geri Ödeme Süresi : 10 Yıl
- Ödeme Biçimi : 6 Aylık Eşit Ödemeler Halinde

Mali değerlendirme sonucunda Kadıköy – Kartal Metro Projesi'nin iç verimlilik oranı % 10.25 olarak hesaplanmış olup bu değer özel kesim yatırımcıları için çekici bir değer olarak düşünülebilir. Mali fizibilite etüdünden elde edilen başlıca sonuçlar

şöyledir:

	Trafik Sabit		Trafik % 20 Fazla	
Ortalama Bilet Ucreti (2005, USD)	0,75	0,85	0,75	0,85
Net Bugünkü Değer (USD)	-118.256.223	-1.682.153	-3.524.617	136.364.268
Mali İç Verimlilik Oranı (%)	10,25	11,98	11,95	13,8

Kadıköy – Kartal metro projesi, öngörülen finansman koşullarına göre, 2005 ve 2009 yılları arasında 156,000,000 USD, 2010 ve 2011 yıllarında ise 21,000,000 USD tutarında bir özkaynak gerektirmektedir.

Proje konusu metro hattı için 975,400,000 USD tutarında kredi kullanılması öngörülmüştür. Proje, gelirleri ile, kredi anapara ve faizleri 2019 yılı sonunda geri ödenebilmektedir. Kredi için toplam geri ödeme miktarı 1,376,772,242 USD olarak hesaplanmıştır.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi : 02.03.1981

Doğum Yeri : Sakarya

Lise : 1998-1999 Özel Sakarya Işık Erkek Lisesi

Lisans : 1999-2006 Yıldız Teknik Üniversitesi Makine
Mühendisliği Fakültesi Makine Mühendisliği
Bölümü

Yüksek Lisans : 2007-2010 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri
Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Enerji Programı

Çalıştığı Kurumlar

2005-2006	Baykan Holding - ARGE Mühendisi
2006-2007	İ.B.B. Ruhsat ve Denetim Müdürlüğü-Kontrol Mühendisi
2007-Devam Ediyor	İstanbul Ulaşım A.Ş. - Proje & Metro Ağır Bakım Mühendisi