İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METRO PROJELERİNDE BOYUNA EĞİMİN YATIRIM VE İŞLETME MALİYETLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yunus Emre AYÖZEN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Mühendisliği Progamı

OCAK 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METRO PROJELERİNDE BOYUNA EĞİMİN YATIRIM VE İŞLETME MALİYETLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Yunus Emre AYÖZEN
(501081425)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Zübeyde ÖZTÜRK

OCAK 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501081425 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Yunus Emre AYÖZEN** ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"METRO PROJELERİNDE BOYUNA EĞİMİN YATIRIM VE İŞLETME MALİYETLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmustur.

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Zübeyde ÖZTÜRK.....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Şükriye İYİNAM.....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Mustafa GÜRSOY.....
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 19 Aralık 2011
Savunma Tarihi : 26 Ocak 2012

ÖNSÖZ

Tezin hazırlanması için yaptığım çalışmalara katkılarından dolayı çok değerli danışman hocam Prof. Dr. Zübeyde ÖZTÜRK'e teşekkür ederim. Ayrıca, aileme ve mesai arkadaşlarıma desteklerinden dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Aralık 2011

Yunus Emre AYÖZEN
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xi**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xiii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xv**
ÖZET ..... **xvii**
SUMMARY ..... **xixx**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Tezin Amacı 3
1.2 Literatür Özeti 5
2. ULAŞIM PROJELERİNİN UYGULAMA AŞAMALARI **7**
2.1 Ulaşım Planlaması 7
2.2 Raylı Sistem Projeleri Planlama Aşamaları 8
2.2.1 Ulaşım etüdü 8
2.2.2 Ulaşım modelini oluşturan dört alt model 13
2.2.2.1 Yoculuk üretim ve çekim modeli 14
2.2.2.2 Yolculuk dağıtım modeli 15
2.2.2.3 Türel dağılım 16
2.2.2.4 Yolculuk atama modeli 17
2.3 Raylı Sistem Projeleri Fizibilitelerinin Oluşturulması 17
3. ULAŞIM TÜRLERİNİN BELİRLENMESİNDE ÖNEMLİ KRİTERLER **19**
4. RAYLI SİSTEM ARAÇLARI VE ÖZELLİKLERİ **23**
4.1 Çelik Tekerlekli Metro Araçları 25
4.2 Lastik Tekerlekli Metro Araçları 26
4.2.1 Lastik tekerlekli metro araçlarının teknik özellikleri 27
4.3 Lastik tekerlekli metro araçlarının Avantaj ve Dezavantajları 29
5. METRO GÜZERGÂHI TASARIM KRİTERLERİ **31**
5.1 Standartlar 33
5.2 Yatay Geometrik Tasarım Kriterleri 33
5.2.1 Hatlar arası mesafe 33
5.2.2 Alinyman 33
5.2.3 Dairesel kurblar 33
5.2.4 Birleşik ve ters kurblar 34
5.2.5 Dever 34
5.2.6 Geçiş eğrisi (Klotoid) 35
5.2.7 Düşey Geometrik Tasarım Kriterleri 33
5.3.1 Eğimler 36
5.3.1.1 İstasyon bölgesi eğimi 36
5.3.1.2 İstasyon dışındaki hat (geçki) eğimi 36
5.3.1.3 Düşey kurblar (dönemeçler) 37
5.3.1.4 Yarıçap ve uzunluk 37

6. İSTASYON YERİ SEÇİMİ VE TASARIM ÖLÇÜTLERİ 39
6.1 Standartlar 33
6.2 İstasyon Yer Seçim Ölçütleri 33
6.3 İstasyon Tasarım Ölçütleri 33
7. RAYLI SİSTEM HAT VE İSTASYON İNŞAATI VE İNŞA TİPLERİ 43
7.1 Başlıca Kullanılan Tünel Tipleri 44
7.1.1 Delme tünel yöntemi (Tünel açma makinesi ile - TBM) 44
7.1.2 Delme tünel yöntemi (Yeni Avusturya Tünel Metodu) (YATM) 46
7.2 İstasyon İşletme Yapıları İnşaatı 48
7.2.1 Aç - kapa yöntemi (zemin destekli) 48
7.2.2 Yukarıdan Aşağı (Top - Down) inşaat yöntemi 49
8. ALTERNATİF METRO PROJELERİNDE EĞİMİN MALİYETLERE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI 53
8.1 Güzergâh Alternatifleri 53
8.2 Güzergâh Alternatiflerinin Karşılaştırılması 55
8.3 İstasyon Maliyetlernin Karşılaştırılması 58
8.4 Raylı Toplu Taşıma Araç Maliyetlerinin Karşılaştırılması 59
8.5 Hat Maliyetlerinin Karşılaştırılması 61
8.6 Metro Sistemlerinin Bakım ve İşletme Maliyetlerinin Karşılaştırılması 61
8.7 Çelik Tekerlekli Metro ve Lastik Tekerlekli Metro Araçları Kullanılarak Projelendirilen Güzergâhların Tüm Maliyetlerinin Karşılaştırılması 65
9. SONUÇ 69
KAYNAKLAR 73

KISALTMALAR

ATO : Otomatik Tren İşletmesi
BRT : Bus Rapid Transit-Metrobüs
ÇTM : Çelik Tekerlekli Metro
DLH : Demiryolları, Limanlar ve Hava Meydanları
LIM : Lineer İndüksiyon Motoru
LTM : Lastik Tekerlekli Metro
LRT : Light Rail Train
LRRT : Light Rail Rapid Train
HRS : Hafif Raylı Sistem
NATM : New Austrian Tunnellig Method
YATM : Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu
TAM : Tünel Açma Makinesi
TBM : Tunnel Boring Machine
TSE : Türk Standartları Enstitüsü

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Farklı mod kategorilerinin özellikleri..... 20
Çizelge 4.1 : Raylı sistemlerde kullanılan araç türleri ve özellikleri..... 24
Çizelge 5.1 : Metro güzergâh tasarım kriteleri. 32
Çizelge 7.1 : Tünel tipleri ve kesit alanları..... 44
Çizelge 8.1 : Raylı sistem güzergâh alternatiflerinin karşılaştırılması..... 58
Çizelge 8.2 : İstasyon maliyetlerinin karşılaştırılması..... 59
Çizelge 8.3 : Raylı toplu taşıma araç maliyetlerinin karşılaştırılması..... 60
Çizelge 8.4 : İşletme birim maliyetleri 61
Çizelge 8.5 : İşletme giderleri (Çelik Tekerlekli Alternatif) 62
Çizelge 8.6 : Raylı sistemlerde enerji tüketimini etkileyen kriterler 63
Çizelge 8.7 : Ulaşım modlarının işletme giderleri..... 64
Çizelge 8.8 : Ulaşım modlarının işletme maliyetleri..... 64
Çizelge 8.9 : Alternatiflerin ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin karşılaştırılması.. 67

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Raylı sistemler proje planlama aşamaları…..... 8
Şekil 2.2 : Ulaşım modeli akış şeması..... 12
Şekil 2.3 : Dört aşamalı klasik ulaştırma modeli..... 13
Şekil 2.4 : Yolculukların amaçlarına göre üretim ve çekim bölgeleri..... 16
Şekil 2.5 : Raylı sistemler projelerinin fizibilitelerinin hazırlanması..... 18
Şekil 3.1 : Toplu taşıma türlerinin kapasite ve maliyetlerinin şematik gösterimi..... 20
Şekil 4.1 : Çelik tekerlekli metro aracı – İstanbul… 25
Şekil 4.2 : Lastik tekerlekli metro aracı - Lozan.. 26
Şekil 4.3 : Lastik tekerlekli metro aracı - Mexico City.. 27
Şekil 4.4 : Lastik tekerlekli metro aracı boji. 27
Şekil 4.5 : Lastik tekerlekli metro aracı ray bağlantısı.. 28
Şekil 6.1 : İstasyon yeri seçim örnekleri..... 40
Şekil 7.1 : Tünel açma makinesi (TAM).. 46
Şekil 7.2 : YATM ile tünel açılması..... 47
Şekil 7.3 : Kirazlı ve İkitelli istasyonları aç-kapa tünel çalışması..... 49
Şekil 7.4 : Aç-Kapa istasyon tipi perspektif görünümler.. 49
Şekil 7.5 : Otogar - Bağcılar - İkitelli metro hattından Top-Down İstasyon..... 50
Şekil 8.1 : İstanbul geneli raylı sistem hatları ile proje çalışması yapılan alternatif.. 54
Şekil 8.2 : Proje çalışması yapılan raylı sistem hattı.. 57
Şekil 8.3 : Raylı sistemlerde optimum enerji tüketimi sürüşü..... 64

Şekil A.1 : Alternatiflere ait plan-profil haritası …..... 75

METRO PROJELERİNDE BOYUNA EĞİMİN YATIRIM VE İŞLETME MALİYETLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Bu çalışmada, İstanbul Ulaşım Ana Planı öngörüleri doğrultusunda hayata geçirilmesi planlanan Kazlıçeşme - Söğütlüçeşme Metro Hattı'nın güzergâh alternatifleri yapım ve işletme maliyetlerine göre karşılaştırılarak; en uygun alternatif belirlenmiştir. Sözkonusu Metro Proje'sinde yapım şekline göre tüm istasyon tipleri bulunmakta olup; yaklaşık 40 km uzunluğundaki hat, çelik tekerlekli ve lastik tekerlekli araçlar ile işletilme senaryolarına göre projelendirilerek, uygulanan eğimlerin maliyetlere etkisi araştırılmıştır.

Alternatifler iki aracın da sağladığı sistem özellikleri açısından farklı boyuna eğimler için projelendirilmiş, buna göre istasyon derinliklerindeki değişimler tespit edilmiştir. Çelik tekerlekli metro araçlarında kullanılan kısıtlı boyuna eğim kriterinden dolayı istasyon yapılamayan merkezi noktalara, lastik tekerlekli metro araçları ile istasyon yapılıp yapılamayacağı irdelenmiştir. İstasyonların derinlik ve tiplerinin değişmesi nedeniyle lastik tekerlekli metro alternatifinin toplam istasyon maliyetlerinin çelik tekerlekli metro alternatifinin toplam istasyon maliyetinden yaklaşık 100 miyon € daha az olduğu hesaplanmıştır.

Çelik tekerlekli araçlarların ve lastik tekerlekli araçların teknik özellikleri incelenerek, projelendirilen iki farklı hattın ilk yatırım maliyet farkları (araç, hat, inşaa maliyetleri) ortaya konmuştur. Çelik tekerlekli raylı sistem araçları ile lastik tekerlekli raylı sistem araçlarından hattın ilk işletmeye alındığı tarihte 120 adet gerekli olacağı, daha sonraki yıllarda yolcu sayılarına göre araç sayılarının arttırılabileceği öngörüsü doğrultusunda lastik tekerlekli araçlar için 36 milyon € daha fazla ödeneceği belirlenmiştir.

Ayrıca, işletme-bakım maliyetleri detaylı bir şekilde incelenmiş ve hattın yıllık işletme-bakım maliyeti yaklaşık 29 milyon € olarak hesaplanmıştır. Hattın inşaasının yapılıp işletmeye açıldığı ilk 10 yıllık işletme - bakım maliyetleri de eklenerek iki sistem arasında ayrıntılı bir analiz ve karşılaştırmaya dayanan değerlendirme yapılmıştır.

Sonuç olarak, 10. yıl sonunda, ilk yatırım maliyeti daha yüksek olan çelik tekerlekli metro alternatifinin işletme-bakım giderlerinin lastik tekerlekli metroya göre % 20 daha az olması nedeniyle kümülatif toplam yatırım maliyetinin aynı değere ulaştığı tespit edilmiştir.

INVESTIGATION OF IMPACTS OF LONGITUDINAL SLOPE EFFECTS ON METRO PROJECT'S INVESTMENT AND OPERATING COSTS

SUMMARY

To provide a rational and productive usage of the sources, the opinion which indicates that system definition and routeing of permanent and long dated projects requiring sizable investment such as light transit systems shall be attributed to comprehensive and projection studies is an attitude shared and accepted by all authorities.Determinating the routeing according to the results of travelling etudes, grand etudes, system definition, feasibility etude and railed transit systems including projects studies are being presented pursuant to foreseen corridors in Transportation Master Plan studies.

On account of the light transit systems are highly costed sizable investments affecting the land usage and transportation structure of the city, the system routes and priority are decided and projected pursuant to the feasibility etudes and system properties required measures in accordance with the macro transportation plans which are prepared in subway city scale compatible with the land usage plans.

In this study, projected costs of the slopes of about 40km long Kazlıcesme-Sogutlucesme metro line including all station types with metro line routes alternative projects prepared for steel wheel and rubber-tyred metro systems was researched according to the predictions of Istanbul Transportation Master Plan which possibly planned for future.

It is specified that the transportation investments place and other base inputs needed to be gained with the present and future demographic, economic, topographic, geologic structure and land usage decisions of the area where the transport system project study will be done, in consideration with the informations obtained, the necessity of the transportation etude for the allowed routeing alternatives being done and according to that the feasibility report being presented.

In transportation etudes, route options must be presented with its all technical aspects, the calculation of the traveler demand together with the changes in transportation types must be done for a 50 years future, when determining the route and system type it must be abided to the verse zoning plans made in higher scale, the data came up in consequence of the transportation etude must contain rational, comprehensible and definite results.

The most important measures in classifying the intracity transport systems: passenger capacity of the systems, commercial speed, the number of the carriage in one list, momentum of the vehicle, the geometrical properties of the route, the existence of the intersecting points with the main road or the rate of protection from the main road, the length of the station, the distance between the stations, the importance of the parameters such as running list density in pike hours have been underlined.

It is presented that after stating the type of the transit system, as the vehicle parameters will be working in that system also will be stated, vehicle projections according to the railed system's features will be done and technical properties belonging to these vehicles.

Nowadays in most places, the properties of the systems relative to the vehicles are similar to be able to use them in more than one system. Especially in developed countries when constituting new railed systems it is wanted that they be suitable for the present systems and vehicles. In these systems the buying of new vehicle is circulated in long terms calculating the future needs of the system. In new vehicle necessity more developed versions of the present vehicles have been procured. Thus first costs of management and investment are provided as economically.

Track geometry used in the design of metros, including horizontal and vertical geometric design criteria are discussed in general, the main factors determining system performance and investment-operating costs are discussed.

Rail station design of public transport systems, obtained by making use of international standards and criteria of these standards is presented in a detailed way. According to a floor made of many methods of construction of the line of railway systems, particularly in underground systems costs, construction of underground construction methods are summarized briefly.

The rubber-tyred metro vehicle with a high inclination to come on the platform to use the alternative access for passengers to quickly and easily positioned as a partner and underground stations on the same nine points 0 m - 20 m to a depth of seven of 20 m - 40 m to a depth of to a depth of 40 m over two of the planned total of 28 stations. Steel wheel with four of the other alternatives on the 0 m - 20 m to a depth of eight of 20 m - 40 m depth between the three of them over at a depth of 40 m for a total of 25 stations are planned.

Steel wheel for alternative stations ensured the safety of the station and the station can not be too deep to be 40 m above the central station 3 was used as a model for calculation method. Line construction costs will be the same for both vehicles has been accepted and taken into account.

Unit costs will make an annual vehicle-miles underground using the values of the means of operating and maintenance costs were calculated according to years. The annual inflation rate is calculated taking into account the operating expenses until 2030.

Alternatives, both in terms of system characteristics of the two vehicle type's provided by the different longitudinal slopes have been designed. Acorrdingly, changes in elevations of stations have been identified. Probablity of, building central points for stations for rubber-tyred metro becasue of the maximum longitudinal slope criterion are provided by means of steel wheels for the metro was discussedInitial investment costs (vehicle, line, construction costs) of betweeen steel wheels rail line and rubber-tyred rail line was investigated.

Initial investment costs (vehicle, line, construction costs) of betweeen steel wheels rail line and rubber-tyred rail line was investigated.

Total cost of the alternatives of rubber-tyred metro line has been estimated less than about 100 million € from steel-wheeled system due to the changes of depth and types.

120 unites of steel wheel and rubber-tyred vehicles would be required at the date of initial operation of the line. In the following years it's been calculated that 36 million € would be paid to rubber-tyred systems because of increasing numbers of passengers and vehicles.

Operation and maintenance costs are also examined in detail, and the annual operation and maintenance cost of route approximately 29 million € was calculated. A detailed analysis comparasion between two systems with construction of route and following 10 years operaiton-maintenance added was evaluated.

As a result, at the end of the 10th year, higher first investment cost alternative to the steel wheel metro operation and maintenance costs 20% less then rubber-tyred metro reached to the same amount because of the cumulative total investment cost was determined.

1. GİRİŞ

Ulaştırma; gereksinimin ve olanakların, daha yaygın deyimiyle talep ve arzın karşılıklı etkileşimi bağlamında gelişmiştir, gelişmektedir. Giderek ekonomisi büyüyen ve zenginleşen dünyada, daha fazla taşıma, daha güvenli, daha kısa sürede, daha konforlu ve güvenilir ulaşım isteği öne çıkmaktadır. Bilim ve teknolojinin gelişimi sayesinde, bu gereksinim ve istekler doğrultusunda ulaştırma sistemi oluşmakta ve varlığını sürdürmektedir (http://www.ubak.gov.tr).

Kentlerde sanayileşme çalışmalarının yüksek bir ivmeyle artması, kentleri de planlı/ plansız büyütmeye başlamıştır. Şehirlerin planlı büyümesinde bile önceden öngörülmeyen birçok problem çıktığı gibi, plansız büyümeler sonucunda ise kent altyapıları yetersiz hale gelmiştir. Bu altyapı problemlerinin en büyüğü, bugün de olduğu gibi ulaşım altyapılarının yetersizliği olmuştur. Özellikle ülkemizde ve yakın çevremizde, önemi artmaya başlayan ulaşım sorunu, son otuz yılda gerçekleştirilmiş olan çeşitli projelere ve uygulamalara rağmen henüz istenilen çözüme kavuşamamıştır.

Ulaşım dokusu, kentin, kent planının omurgasını, arazi kullanım kararlarını birbirine bağlayan ağını oluşturmaktadır. Genel anlamda insan ve metaların bir yerden başka bir yere aktarılmasına ulaşım, bunu sağlayan araçlara da ulaşım sistemi denmektedir. Ancak, insan ve meta olarak tanımlamanın yapılmasına karşın, kent planlarında ya da ulusal, bölgesel ulaşım planlamalarında, sanki asıl taşınması gerekenin (özellikle karayolu ulaşımında) araçlar olduğu izlenimi uyanmaktadır. Kentsel ulaşım sistemlerinde, asıl vurgulanması gereken insan olmalıdır.

Ulaşımın araçlar için değil insanlar için olduğu ne yazık ki planlama erkini elinde tutan birçok insan ve kurum tarafından bilerek veya bilmeyerek algılanmamaktadır. 1950'li yıllardan bu yana uygulanan ulaşım politikaları, karayoluna göre daha ekonomik olan ulaşım sistemlerini (demiryolu, denizyolu) geri planda bırakmıştır. Bu herkes tarafından bilinen ve kabul edilen bir gerçektir. Ancak, bir başka gerçek,

tüm ulaşım sistemlerinde baş aktörünün yaya olduğu gerçeğinin gözden kaçırılmasıdır.

Kentlerde özel otomobil sahipliğinin ve kullanımının hızlı gelişimi kaçınılmaz bir olgudur. Ancak bu olgu ulaştırma problemlerinin araç öncelikli bir yaklaşımla çözümünü gerektirmemektedir. Çünkü insanların ulaşım gereksinimlerini karşılamak asıl amaç olup, bu amaçla toplu taşımaya öncelik ve ağırlık veren bir yaklaşımdan başka bir geçerli yol bulunmamaktadır. Kentlerin kısıtlı yol olanaklarını etkin biçimde kullanabilmesinin gereği de budur (Kentiçi Ulaşım Ve Gelişmiş Büyükşehirlerde Ulaşım Yönetimi Sempozyumu, 2010).

Ulaştırma hizmetleri, ülkelerin sosyolojisi ve kent imar planlarından ayrılamaz. Kentleşme ve kent düzenlemelerinde kent içi ve kent dışı ulaşım sistemleri, yerleşkelerin 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 kentler, bugün sürekli artan taşıt trafiği karşısında ulaşım ve dolaşım sorunları ile karşı karşıyadır.

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 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.

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 maddi yetersizlikler durumun başlıca sebepleridir.

Bu doğrultuda, kaynakların akılcı ve verimli kullanımının sağlanabilmesi için raylı toplutaşıma sistemleri gibi büyük yatırım gerektiren, kalıcı ve uzun vadeli projelerin güzergâh ve sistem tanımlarının kapsamlı etüt ve planlama çalışmalarına dayandırılması gerektiği konusundaki görüş tüm otoriteler tarafından kabul edilen ve paylaşılan bir yaklaşımdır. Yolculuk etütleri sonuçlarına göre güzergâhın belirlenmesi, zemin etütleri, sistem tanımı, fizibilite etüdü ve proje çalışmalarını kapsayan raylı sistem projeleri Ulaşım Ana Planı çalışmalarında öngörülen koridorlar çerçevesinde ortaya konmaktadır.

Raylı toplu taşıma sistemleri tüm kentin arazi kullanım ve ulaşım yapısını etkileyen, yüksek maliyetli, büyük yatırımlar olduğundan bahisle, gerçekleştirilecek raylı sistem hatlarına ve önceliklerine metropoliten kent ölçeğinde hazırlanan, arazi kullanım planları ile uyumlu makro ulaşım planları doğrultusunda karar verilmekte ve fizibilite etütleri ve sistem özelliklerinin gerektirdiği kriterlere göre projelendirilmektedir.

Çalışmanın amacı olan İstanbul'da Ulaşım Ana Planı öngörüleri doğrultusunda gelecekte hayata geçirilmesi planlanan; içerisinde tüm istasyon tiplerini barından yaklaşık 40 km'lik Kazlıçeşme–Söğütlüçeşme metro hattının güzergâh alternatifleri çelik tekerlekli metro sistemine ve lastik tekerlekli metro sistemine göre dizayn edilerek, çelik tekerlekli raylı sistem araçları ile lastik tekerlekli raylı sistem araçları arasındaki ilk yatırım maliyetleri (araç, hat, inşaa maliyetleri) karşılaştırılmış, çelik tekerlekli raylı sistem hattı ile lastik tekerlekli raylı sistem hattı işletme-bakım maliyetleri detaylı bir şekilde incelenmiştir.

İkinci bölümde, raylı toplu taşıma sistemi proje çalışması yapılacak bölgenin mevcut ve gelecek demografik, ekonomik, topoğrafik, jeolojik yapısı, arazi kullanım kararları, ulaşım yatırımlarının yeri ve vb diğer altyapı verileri temin edilmesi gerektiği, elde edilen bilgiler ışığında, uygun görülen güzergâh alternatifleri için ulaşım etüdünün yapılması gerektiği, buna göre eknomik ve mali fizibilite raporunun ortaya konması gerektiği belirtilmiştir.

Üçüncü bölümde, kentiçi raylı sistemlerin sınıflandırılmasında en önemli kriterin sistemin yolcu kapasitesi olduğu; ticari hız, bir dizideki vagon sayısı, aracın ivmesi, yolun geometrik özellikleri, sinyal sistemi,karayolu ile kesişme noktalarının varlığı veya karayolundan korunma oranı, istasyon uzunlukları, istasyonlar arasındaki mesafe, zirve saatte dizi çalıştırma sıklığı gibi parametrelerin önemi vurgulanmıştır.

Dördüncü bölümde, toplu taşıma sisteminin türü belirlendikten sonra, o sistemde çalışabilecek araç parameterleri de belirleneceği, raylı sistemin kendine ait özelliklerine göre araç tasarımlarının yapıldığı ve bu araçlara ait teknik özellikler ortaya konmuştur.

Beşinci bölümde, metroların hat geometrisi tasarımında kullanılanan yatay ve düşey olmak üzere geometrik tasarım kriterleri genel olarak ele alınmış, sistem performansı ve yatırım-işletme maliyetlerinde belirleyici ana etmenler irdelenmiştir.

Altıncı bölümde, raylı toplu taşıma sistemlerinde istasyon tasarımı ile ilgili uluslararası standartlar ve bu standartlardan faydalanılarak elde edilen ölçütler detaylı bir şekilde sunulmuştur.

Yedinci bölümde, raylı sistemlerin hat inşaatının zemin yapısına göre birçok metotla yapılabileceği, özellikle yeraltında yapılan sistemlerin maliyetleri, yeraltında yapılan inşaat yapım yöntemleri kısaca özetlenmiştir.

Sekizinci bölümde, tüm verilen bilgiler çerçevesinde, İstanbul'da Ulaşım Ana Planı öngörüleri doğrultusunda gelecekte hayata geçirilmesi planlanan; içerisinde tüm istasyon tiplerini barından (tünelde istasyon ve aç-kapa istasyon tipleri) yaklaşık 40km'lik metro hattının farklı boyuna eğimlerle, farklı araç tiplerinin (lastik tekerlekli metro aracı ve çelik tekerlekli metro aracı) kullanılma alternatifleri göz önünde bulundurularak güzergâhlar projelendirilmiş; detaylı sonuç ve öneriler kısmı ortaya konmuştur.

1.1 Tezin Amacı

Bu tezin amacı, ilk yapım maliyeti yüksekliği başlıca problemlerinden biri olan raylı toplu taşıma sistemi yatırımlarında yapılacak güzergâh çalışmalarında; tüm tasarım kriterlerini dikkate almak kaydıyla özellikle "boyuna eğimde" yapılacak değişikliklerin raylı sistemlerin ilk yatırım ve işletme maliyetlerinde ne gibi farklılıklar doğuracağını incelemektir.

İstanbul gibi arazi koşulları bakımından engebeli bir yapıya sahip şehirlerde metro yapım çalışmaları oldukça zordur. Bu tip arazi şartlarına uygun tasarımların ortaya konması ve işletmede kullanılacak özel olarak tasarlanmış araçlara olan ihtiyaç oldukça yüksektir.

İstanbul'da Ulaşım Ana Planı öngörüleri doğrultusunda gelecekte uygulanması planlanan; içerisinde tüm istasyon tiplerini barından (tünelde istasyon ve aç-kapa istasyon tipleri) yaklaşık 40km'lik metro hattının farklı eğimlerle, farklı araç tipi (lastik tekerlekli metro aracı ve çelik tekerlekli metro aracı) alternatifleri göz önünde bulundurularak güzergâhlar projelendirilecektir.

Buna göre, İstasyonlardaki kot değişimleri tespit edilecektir. Metronun eğim probleminden dolayı istasyon yapılamayan merkezi noktalara istasyon yapılıp yapılamayacağı irdelenmekte, söz konusu hususlardan doğacak istasyon maliyetlerindeki değişim hesaplanmakatdır. Çelik tekerlekli raylı sistem araçları ile lastik tekerlekli raylı sistem araçları arasındaki ilk yatırım maliyet farkları belirtilip, çelik tekerlekli raylı sistem hattı ile lastik tekerlekli raylı sistem hattı işletme - bakım maliyetleri incelenerek, maliyet farkı belirlenecektir.

1.2 Literatür Özeti

Bu çalışma kapsamında raylı sistemler tasarım ölçütleriyle ilgili olarak dünya genelinde yapılan çalışmalar ve düzenlenen konferanslar takip edilmiştir. Raylı sistem projelerinin imalat aşamaları incelenerek, hazırlanan fizibilite çalışmaları değerlendirilmiştir. Bu çalışmalardan elde edilen bilgiler ve ülkemizdeki mevcut raylı sistemler ışığında önemli veriler elde edilmiştir.

Buna göre, farklı eğimlerde dizayn edilmiş metro güzergâhlarında, ilk yatırım maliyetlerini etkileyecek önemli unsurlardan; lastik tekerlekli metro araçlarının

maliyetleri ve çelik tekerlekli metro araçlarının maliyetleri, istasyon inşaa maliyetleri, işletme ve bakım maliyetleri sistemin türüne göre seçilen hat maliyetleri gelişmiş ülkelerdeki uygulamalardan, çeşitli kaynaklardan yerli ve yabancı örnekler araştırılmıştır.

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. Bu sistemler de alternatif sistemlere dâhil edilerek çalışma kapsamına alınmıştır.

Lastik tekerlekli metro alternatifi için işletme maliyet verileri raylı sistem araçları üreticisi ALSTOM Transport A.Ş. ve Fransız işletmeci firma RATP'den alınmış ve alınan bu veriler çelik tekerlekli metro işletme maliyetleri ile kıyaslanmıştır.

2. ULAŞIM PROJELERİNİN UYGULAMA AŞAMALARI

Ulaştırma yatırımları uzun dönemli etkileri olan yüksek maliyetli yatırımlardır. Bu nedenle, bu tür büyük altyapı projelerine ilişkin önceliklerin doğru belirlenmesi ve kısıtlı ekonomik kaynakların en fazla yarar getirecek biçimde kullanılması çok önemlidir. Dolayısıyla yanlış kararlarla oluşturulan herhangi bir ulaştırma projesinin daha sonra yapılacak ulaştırma yatırımlarının yerini ve biçimini bağlayıcı etkileri vardır. Kent yönetimleri ulaşım altyapısı yapım kararı alırken, sistemin ekonomik olmasına da gereken önemi göstererek, özenle karar vermek zorundadır.

Öncelikle ulaştırmanın, kenti bir bütün olarak, arazi kullanımıyla etkileşimleri de göz önünde tutularak bir ulaşım ağı kurma yaklaşımıyla planlanması zorunludur.

2.1 Ulaşım Planlaması

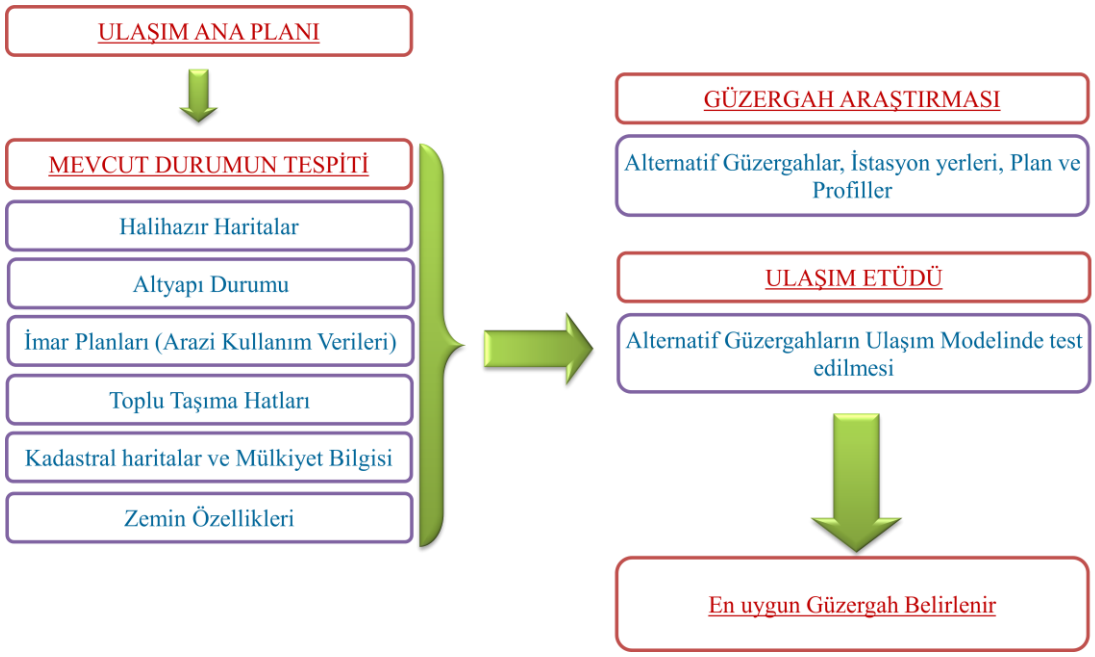
Artan nüfus, şehirlere göç, artan gelir, artan otomobil sahipliği şehirlerimizin ulaşım planlamasını çok kapsamlı çalışma ve önemli hale getirmektedir. Ulaşım planları kapsamında değerlendirilmesi gereken en önemli nokta belki de "Ulaşım Ana Planı" yapılış amacının tam olarak tanımlanmasıdır. Bu amaçlar şehirden şehire farklılıklar gösterse de, arazi kullanımı ve ulaşım planlamasının birbiriyle uyumunun sağlanması temel hedef olmalıdır.

Bunun yanı sıra toplu taşımaya öncelik verilmesi, verilen toplu taşıma hizmetinin kalitesinin arttırılması, çevresel faktörler, önceliğin araçlarda değil yayalarda olması gibi temel hedeflerden söz edilebilir. Hazırlanan ulaşım ana planı ile hedeflerin gerçekleşmesine yönelik araçlar tanımlanmalı, plan, uygulama stratejilerini ve yıllara göre uygulama programını kapsamalıdır.

Öncelikle kentin bütününü kapsayan bir ulaşım planı yapılmalıdır. Kentin nazım imar planı doğrultusunda, merkezi iş alanı (MİA) vb. diğer alan fonksiyonları da düşünülerek tüm ulaşım altyapı sistemlerinin gelecek planlaması yapılmalıdır.

2.2 Raylı Sistem Projeleri Planlama Aşamaları

Plan aşamasından sonra raylı sistem projelerinin planlama aşamaları şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Raylı sistemler proje planlama aşamaları.

Raylı toplu taşıma sistemi proje çalışması yapılacak bölgenin mevcut ve gelecek demografik, ekonomik, topoğrafik, jeolojik yapısı, arazi kullanım kararları, ulaşım yatırımlarının yeri vb diğer altyapı verileri temin edilmelidir. Bu bilgiler belediyelerden diğer kamu kuruşlarından elde edilebilir. Çalışmanın detayına göre altyapı ve zemin bilgilerini öğrenmek için çeşitli röleve ve sondajlar yapılabilir. Elde edilen bilgiler ışığında, istenen güzergâh alternatifleri için ulaşım etüdü yapılmalıdır.

2.2.1 Ulaşım etüdü

Ulaşım etüdü uygulanacak bölgede gelecekte oluşacak yolculuk talepleri, önerilen raylı sistem hattının hizmet edeceği bölgenin ve kentin diğer bölgelerinin gelecekteki arazi kullanım yapılarına, öneri hattın mevcut ve planlanan projelerden oluşan tüm ulaştırma sistemi ile etkileşimlerine ve hizmet düzeyi karakteristiklerine bağlıdır.

Ulaşım etütlerinde; geçki seçenekleri teknik olarak tüm yönleriyle ortaya konmalı, yolculuk talep öngörüleri ulaşım türlerine göre değişmekle birlikte 50 yıllık bir gelecek için yapılmalı, geçki ve sistem tipi belirlenirken daha üst ölçekte yapılan

nazım imar planlarına bağlı kalınmalı, ulaşım etüdü sonucunda ortaya çıkan veriler akılcı, anlaşılır ve kesin sonuçlar içermelidir.

Ulaşım modelinin aşamaları arasındaki ilişkileri gösteren bir akış şeması Şekil 2.2'de verilmiştir. Modelde Çalışma alanı, bölge (zon) adı verilen küçük, mümkün olduğunca aynı arazi kullanım özellikleri ve sosyo-ekonomik karakteristikler taşıyan coğrafi planlama birimlerine bölünür. Her bir bölge için nüfus, istihdam, öğrenci sayıları (ilköğretimden üniversiteye kadar), nüfusun gelir gruplarına (düşük, orta, yüksek) ve çalışma durumlarına (çalışan, çalışmayan) göre dağılımları belirlenir.

Karayolu ulaştırma ağı, çalışma yapılacak alanın ana arterleri ile kavşaklarından oluşmaktadır. Bir çok değişik yol tipi tanımlanarak, her bir yol tipi için değişik yolculuk zamanı/akım eğrileri belirlenir. Bu karayolu ağından gelen veriler modelde kullanılır.

Her trafik analiz bölgesinin üreteceği ve çekeceği toplam yolculuk sayısının saptanmasından sonra, cevaplanması gereken ikinci önemli konu, bu yolculukların zonlar arasında nasıl dağılacağının belirlenmesidir. Bir diğer deyişle, kare yolculuk matrisinin üretilmesi gereklidir. Böylelikle, her bir zondan tüm diğer zonlara yapılacak toplam yolculuk sayısı, zon çiftleri arasında gerçekleşecek yolculuk sayılarını verecektir. Bunu belirlemek üzere değişik modeller geliştirilmiştir: Bunlar Gelişme Faktörü Modeli (Growth Factor Model), Fratar Modeli, Karşılaşılan Fırsatlar Modeli (Intervening Opportunities Model) ve Çekim Modelidir (Gravity Model). Bununla birlikte Çekim Modeli türevleri, dağılım modellemesinde en yaygın kullanılan modellerdir. Çekim modeli, Newton'un geleneksel çekim modelinin doğrudan, mekânsal etkileşim modellemesine uyarlanmasıdır. Buna göre iki analiz zonu arasında gerçekleşecek yolculuk, başlangıç zonunun toplam seyahat üretimi, bitiş zonunun toplam seyahat çekimi ve zon çifti arasındaki ulaşım mesafesinin (süresi ya da maliyeti) bir fonksiyonudur. Bu fonksiyondaki ilişki üretim ve çekimlerle doğru orantılı, ulaşım mesafesi ile ters orantılıdır. Ayrıca, sistemdeki toplam yolculuk miktarının korunması amacıyla, dengeleme faktörleri ilave edilmektedir. Bu şekilde model, üretim kısıtlı (her zonda üretilen toplam yolcuğun sabit kalmasını garanti eder), çekim kısıtlı (her zona çekilen toplam yolculuğun sabit kalmasını garanti eder), ve çift kısıtlı (hem zonal üretimlerin hem de zonal çekimlerin sabit kalmasını garanti eder) olabilmektedir. Bu modellerin hangisinin kullanılacağı eldeki verinin güvenilirliğine bağlı olarak modelci tarafından

belirlenmektedir. Örneğin modelci, zonal üretim miktarından emin, zonal çekim miktarlarının güvenirliği konusunda çok emin değilse, üretim kısıtlı modeli kullanması daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Yine, bu modellerde aradaki mesafenin karesi doğrudan alınmaz. Bunun için de üç farklı fonksiyonel form kullanmak mümkündür: exponansiyel, üstel ve gamma fonksiyonları en yaygın kullanılan formlardır. Karesi yerine hangi üstün ve hangi fonksiyonel formun daha uygun olduğu kalibrasyon sürecinde belirlenmektedir. Dağılım modellemesinde her yolculuk amacı için ayrı ayrı olmak üzere çok farklı kombinasyonlar denemek mümkündür. Hangi kombinasyonun daha yüksek performans göstereceğini önceden söylemek mümkün değildir. O nedenle, modelci yargısına bağlı olarak sınama yanılma yoluyla bulunmalıdır.

Dağılım modeli kalibrasyonu sonucu üretilen yolculuk matrisinin, alternatif ulaşım türlerine nasıl dağılacağına dair modelleme ise üçüncü ve türel seçim aşamasıdır. Geçmiş yıllarda, sabit gözlem oranlarını ve miktar belirlemeye yönelik regresyon modelleri türel seçim için yaygın olarak kullanılmıştır. Ancak, 1970'li yılların sonlarına doğru, Bütünsel Seçim Modellerinin (Discrete Choice Model) gelişimi ile birlikte, türel seçim için bu modellerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu modeller logit ve probit modeller olarak da isimlendirilen modellerdir. Probit modeller, ikiden fazla seçim alternatifinin olduğu yerlerde, hesaplama algoritmasındaki zorluklar nedeniyle en azından, yakın zamana değin kullanılamamıştır. Onun yerine çok alternatifli logit modeller tercih edilmektedir. Bu modellerde bağımsız değişkenler, modelin birey ya da zon bazlı olup olmamasına bağlı olarak, kullanıcı sosyo-ekonomik nitelikleri ve alternatiflerin konfor karakteristiklerinden oluşur. Bağımlı değişken ise, bu niteliklere bağlı olarak, bireyin ya da zonun söz konusu alternatifi seçip seçmeme olasılığıdır.

Bu modellerin dört ayrı şekilde kurulması mümkündür: Bireysel (disagrage) ve başlangıç/bitiş (O/D) bazlı, bireysel ancak O/D bazlı olmayan, zonal ve O/D bazlı ve zonal ancak OD bazlı olmayan. Bu model türlerinden hangisinin kullanılacağı, kurulacak modellerin kaç alternatif içereceği ve performans değerlendirmesinin nasıl olacağı konusunda önceden bir şey söylemek yine mümkün değildir, modellemesi yapılan kente ve modelci tercihine bağlı olarak değişecektir.

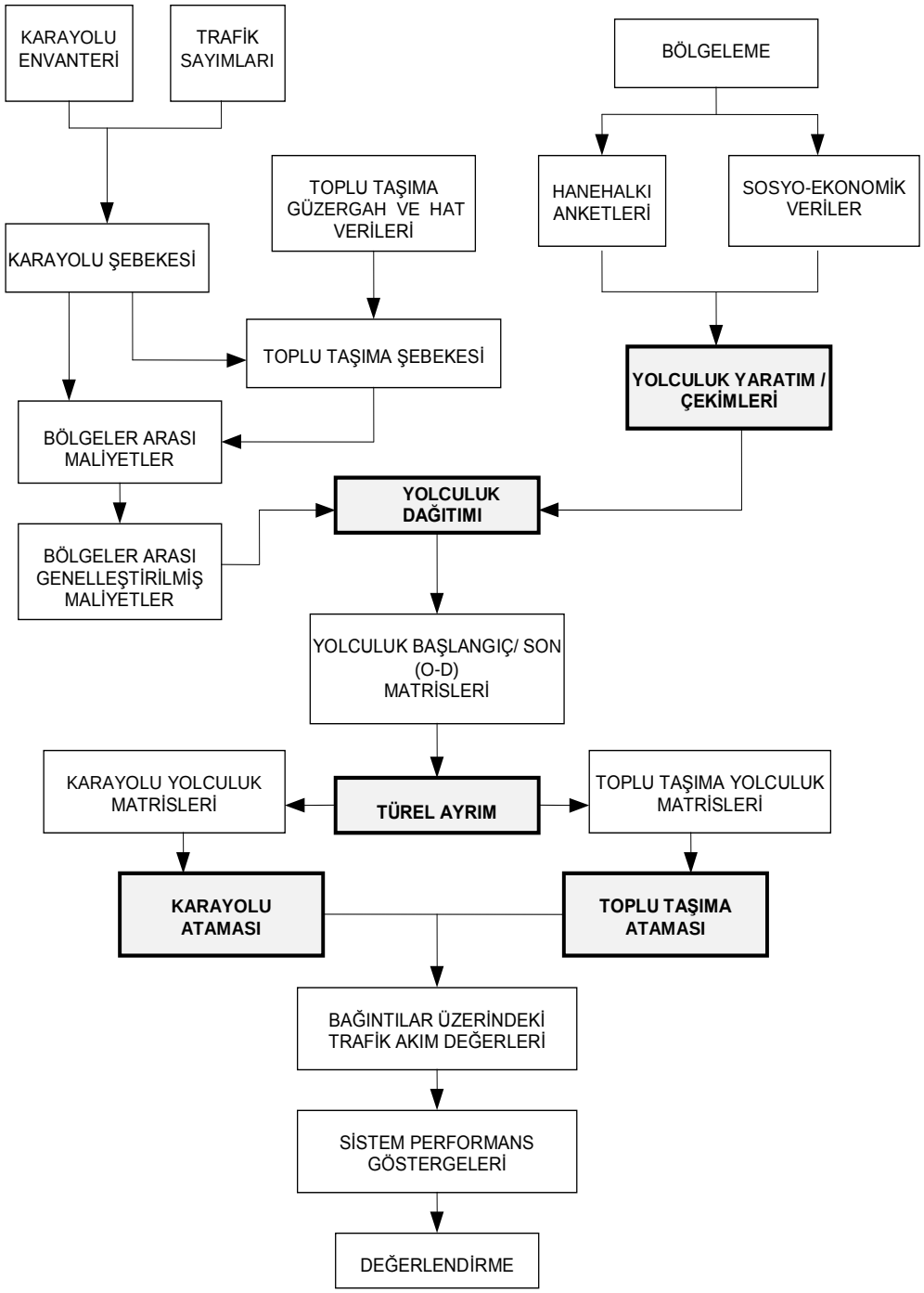
Ulaştırma türlerine de ayrıştırılmış yolculuk matrisleri, son aşamada 24 saatlik dilimlere göre akım matrislerine dönüştürülerek ilgili ulaştırma şebekesine atanır. Bu atama sonucu şebeke üzerinde yer alan akımların, sahada yapılan araç sayımları ile, ya da en azından kordon ve perde sayımı toplamları ile tutarlılık göstermesi gereklidir. Bu tutarlılık sağlanıncaya kadar atamalar, değişik atama algoritmaları ve farklı şebeke ayarları kullanılarak iteratif olarak devam etmelidir. En bilinen karayolu atama algoritmaları; "ya hep ya hiç" (All or Nothing); "deterministik kullanıcı dengesi" (Deterministic User Equilibrium) ve "stokastik kullanıcı dengesi" (Stochastic User Equilibrium) algoritmalarıdır.

Ancak, bunlardan genellikle deterministik kullanıcı dengesi en iyi sonucu veren algoritmadır. Tüm çabalara karşın, saha gözlem ve sayımlarını kabul edilebilir bir doğrulukla üretemeyen bir modelin spesifikasyonunda herhangi bir hata olmadığından emin olmak üzere ilk aşamaya dönülerek yeniden gözden geçirilmesi gerekir. Bu gözden geçirmeler, söz konusu hata kabul edilebilir düzeye indirilinceye kadar devam etmelidir.

Toplu taşıma şebekesi ataması, karayolu şebekesi atamasına oranla genellikle daha sorunludur. Bunun en önemli nedenlerinden bir tanesi toplu taşıma şebeke atama algoritmaları, karayolu şebeke atamaları kadar etkin ve verimli değildir. Çünkü toplu taşıma şebeke kullanıcılarını etkileyen daha fazla faktör olduğu söylenebilir ve bu faktörlerin tümünü model algoritması içinde göz önüne almak mümkün olamamaktadır. Bir diğer önemli sorun da, toplu taşıma şebekesinin kodlanması ve bilgisayar ortamında doğruya yakın bir şekilde temsil edilmesi, şebeke büyüyüp karmaşıklaştıkça zorlaşmasıdır. Bunun da ötesinde, büyük kentlerdeki karmaşık şebekelerin gerçekte planlandığı şekilde bile çalıştırılamadığı düşünüldüğünde, toplu taşıma şebekesi atama algoritmasının eksik bilgi altında çalıştırılması çok zaman kaçınılmaz olmaktadır.

Tüm aşamalarında gözlem ve sayım değerlerini en az hata ile üreten model parametrelerinin hesaplanması sonucu "kalibrasyonu" tamamlanmış "ulaştırma talep modeli" planlama ve senaryo testlerinde kullanılabilecektir. En temel kullanım alanlarından bir tanesi, gelecek için öngörülen arazi kullanım kararlarının yaratacağı muhtemel yolculuk talebinin ne olacağının belirlenmesi ve bu talebi karşılamak için hangi kapasitelerdeki ulaşım yatırımlarının yapılmasına yönelik tahminlerdir. Bir

diğer alternatif kullanım alanı, mevcutta sıkışık şebekeleri rahatlatmaya yönelik ulaşım altyapısı yatırımlarının, şebekenin geriye kalanı üzerindeki etkilerinin tahmin edilmesi ve bu yatırımların fizibilitelerinin etüt edilmesidir. Mikro ölçekli planlama ve modelleme çalışmaları için önemli oranda girdi sağlayacak yapıda olması nedeniyle, günlük operasyonel ulaştırma politikalarının sonuçlarının tahmin edilmesinde de verimli bir araç olarak kullanılabilmektedir.



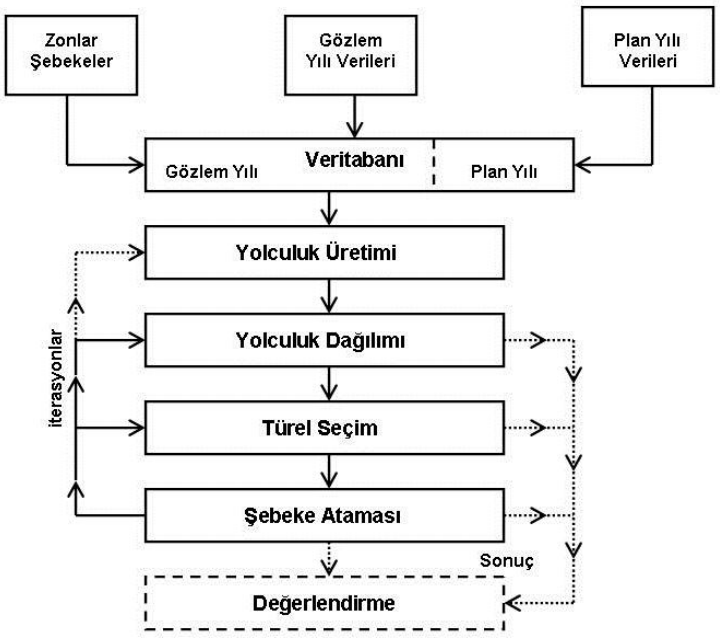
Şekil 2.2 : Ulaşım modeli akış şeması (İstanbul Ulaşım Ana Planı Raporu, 2011).

Toplu taşıma ağı, çalışma yapılacak alanda (il veya ilçe) işletilmekte olan tüm toplu taşıma hatlarını (otobüsü, minibüs, metro, hafif raylı sistem, tramvay, deniz otobüsü, dolmuş motoru, şehir hatları) kapsamakta olup tüm hatların güzergâhları, sıklıkları, bilet ücretleri, v.b. veriler modele eklenir.

2.2.2 Ulaşım modelini oluşturan dört alt model

Kente ilişkin nüfus, istihdam ve öğrenci sayıları gibi arazi kullanım verileri ile motorlu araçlarla hareketlilik, gelir grupları ve özel otomobil sahipliği gibi planlama verilerinin bir bölümünden faydalanarak ulaşım modeli oluşturulur.

Analitik Etüd ve Model Kalibrasyon Çalışmasında kullanılan ulaşım modeli, ardışık dört alt modelden oluşur: Yolculuk üretim ve çekim modelleri, yolculuk dağılım modelleri, türel seçim modelleri, karayolu ve toplu taşıma şebekesi atamaları Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Her bir model aşamasında gözlem değerlerini en az hata ile üreten matematiksel bağıntıların bulunması ve bu bağıntılardaki parametrelerin hesaplanmasına "model kalibrasyonu" denilir. Bir anlamda ulaştırma planlamasında yapılan şey, sistem mühendisliği yaklaşımı ile sistem davranışlarını karakterize eden faktör duyarlılıklarını belirlemek ve gelecekte farklı senaryolar altında sistem davranışının nasıl olacağını tahmin etmektir.



Şekil 2.3: Dört aşamalı klasik ulaştırma modeli (İstanbul Ulaşım Ana Planı Raporu, 2011).

Yolculuk üretim ve çekim modellerinin temel amacı, yolculuk amaçlarına göre her trafik analiz zonu tarafından günlük olarak üretilen ve çekilen toplam yolculuk sayısının belirlenmesidir. Modellemenin ilk aşamasında yolculuklar amaçlarına göre ayrılır ve yolculuk tipleri modelci yargısına göre, çok çeşitli olabilir. Ancak, genellikle üç ya da dört ayrı tip olarak sınıflandırılır: Ev bazlı iş, ev bazlı okul, ev bazlı diğer ve ev bazlı olmayan yolculuklardır. Bu aşamada hesaplanan temel parametrelerden bir tanesi yolculuk oranıdır. Brüt yolculuk oranı, o zonda üretilen toplam yolculuk sayısının o zondaki toplam nüfusa oranıdır. Net yolculuk oranı ise toplam yolculuğun, yolculuk yapan insan sayısına oranıdır. Yolculuk oranı genellikle, hanehalkı geliri, hanehalkındaki otomobil sayısı, bireyin yaşı, cinsiyeti ve eğitim durumu gibi değişkenlerin fonksiyonu olup, bu türden değişkenlerle doğru orantılıdır.

2.2.2.1 Yolculuk üretim ve çekim modeli

Yolculuk üretim modellemesi, yukarıda belirtilen değişkenler kullanılarak üretilen çapraz sınıflama tabloları ya da regresyon denklemleri aracılığı ile yapılır. Modeller, birey/hane bazlı (disagrage) ya da zon bazlı (agrage) yapılabilir. Ancak, disagrage modelleme yapıldığında, her zonda yer alan birey ya da hanelerin ilgili değişkenler açısından yapısının ayırt edici şekilde biliniyor olması, daha sonra zonal büyütme yapılabilmesi açısından önemlidir. Bir zonun günlük ne kadar trafik çekeceği ise o zondaki, istihdam, eğitim, sağlık, spor, rekreasyon, eğlence ve alış-veriş gibi aktivitelerin fonksiyonudur. Çekim miktarları yine bu aktivelerin ölçülebilen birimi başına (istihdam ve m^2 başına gb.) düşen ortalama çekimlerinden, ya da zon bazlı hesaplanacak regresyon modelleri aracılığı ile yaygın olarak hesaplanmaktadır. Bu şekilde gözlem yılı değerlerinden hesaplanan modeller, plan yılı kararlarına bağlı olarak oluşacak zon bazlı toplam üretim ve çekimlerin belirlenmesinde kullanılır. (İstanbul Ulaşım Ana Planı Ana Raporu, 2011)

Yolculuk üretim ve çekim modellerinde amaç yolculukların hangi zonlarda üretilip hangi zonlarda çekildiğinin hesaplanmasıdır. Seyahat üretim ve çekimlerini hesaplarken yolculukları öncelikle amaçlarına göre ayırmak gerekmektedir. Seyahat amaçları ise çalışma alanına göre çeşitlendirilebilir. Genel olarak kullanılan yolculuk amaçları sırasıyla,

- Ev uçlu iş yolculukları
- Ev uçlu okul yolculukları
- Ev uçlu diğer yolculuklar
- Ev uçlu olmayan yolculuklardır.

Yolculuklar en temelde ev uçlu olup olmadığına göre sınıflandırılabilir. Ev uçlu yolculuklar için yolculukların üretimleri her zaman ev ucunun olduğu zon çekimleri ise diğer zon olarak değerlendirilir. Ancak ev uçlu olmayan yolculuklar için yolculukların başladığı zon üretim zonu, çektiği zon ise yolculuğun çekim zonudur. Şekil 2.4 de de yolculuk üretim ve çekimlerinin yolculuk amaçlarına göre nasıl sınırlandırıldığı görülmektedir.

Yolculuk üretimini etkileyen farklı faktörler aşağıdaki gibidir; Bireysel Özellikler;

- Cinsiyet
- Yaş
- Gelir
- Meslek

Hane Halkı Özellikleri;

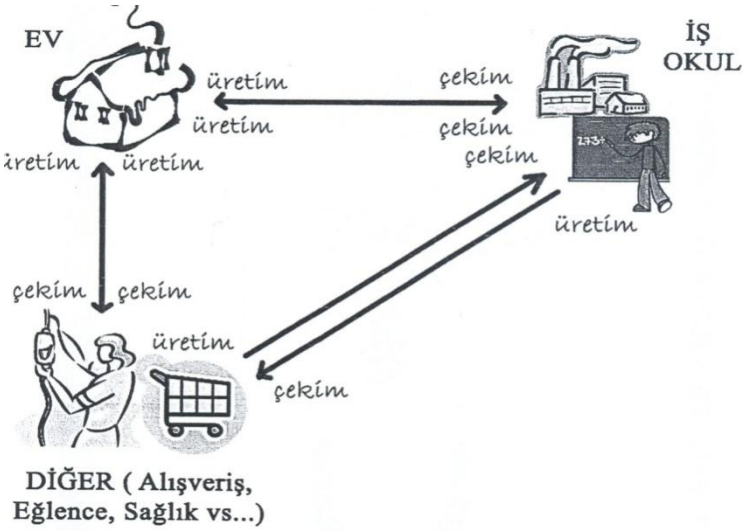
- Hanehalkı büyüklüğü
- Otomobil sahipliği
- Hanedeki çocuk sayısı ve yaşları
- Hane geliri

Zon Özellikleri;

- Arazi kullanımı
- Konut yoğunluğu
- Erişilebilirlik

Ulaşım Ağı Özellikleri;

- Hizmet düzeyi gibi



Şekil 2.4 : Yolculukların amaçlarına göre üretim ve çekim bölgeleri (İstanbul Ulaşım Ana Planı Raporu, 2011).

Seyahat üretim modelleri için kullanılan en yaygın veriler ayrık veya toplulaştırılmış düzeylerde hanehalkı özellikleri ve bireysel özelliklerdir. Ulaşım ağı özellikleri ve arazi kullanım dokusu genellikle kullanılmamakta olup, ulaşım hizmet düzeyinin de seyahat oranlarını etkileyen önemli bir etken olmadığı varsayılmaktadır. Bu nedenle birçok seyahat üretim modeli geleceğe yönelik erişilebilirlik ve arazi kullanımındaki değişimleri tahmin edememektedir. Yolculuk üretim ve çekim modellerinin hesaplanması için kullanılan birçok yöntem vardır.

2.2.2.2 Yolculuk dağıtım modeli

Yolculuk dağıtım modelleri üretim ve çekim değerlerinin hangi zon çiftleri arasında gerçekleştiğini bulmakta kullanılır. Başka bir deyişle yolculuk yapanların yolculuk seçimlerinin hangi noktalarda olacağının tahmininde kullanılır. Bunu yaparken genellikle zon çiftleri arasında bir direnç faktörü kullanarak kişilerin direnç katsayısı karşısında direncini modelleyecek parametreler hesaplanır. Bu modelde bir çok yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan ikisi büyüme faktörü ve yolculuk çekim modelidir.

2.2.2.3 Türel dağılım modeli

Türel dağılım modelleri bireylerin veya birey gruplarının farklı seyahat amaçları için ulaşım türleri arasında yaptıkları seçimin analiz ve tahmin edilmesinde kullanılmaktadır. Bu analizin amacı türlere göre paylaşım ve toplam seyahat sayısının tahmin edilmesidir.

Bu modeldeki en önemli amaçlar, toplu taşımada çekilen seyahat paylaşımının tahmin edilmesi ve trafik ataması için kullanılacak araç seyahat matrisinin oluşturulmasıdır. Türel dağılım modelinde en fazla uygulanan metod logit modeldir. Aynı zamanda regrasyon ve çapraz sınıflandırma metodları da kullanılabilmektedir.

2.2.2.4 Yolculuk atama modeli

Yolculuk atama modeli bir ağdaki trafik akımını tahmin etmede kullanılmaktadır. Bu modeller başlangıç ve son (O-D) çiftleri arasındaki trafik hacmini belirten akım matrisi verisini girdi olarak almaktadır. Her başlangıç-son çifti için akımlar seyahat süresi veya bu trafiği taşıayabilecek alternatif güzergâhların empedansı temel alan ağa yüklenmektedir.

Ulaşım planlamasında kullanılan bazı trafik atama metodları aşağıdadır.

- Ya hep ya hiç ataması
- Stokastik atama
- Artımlı atama
- Kapasite kısıtlaması
- Sistem optimum ataması vb.

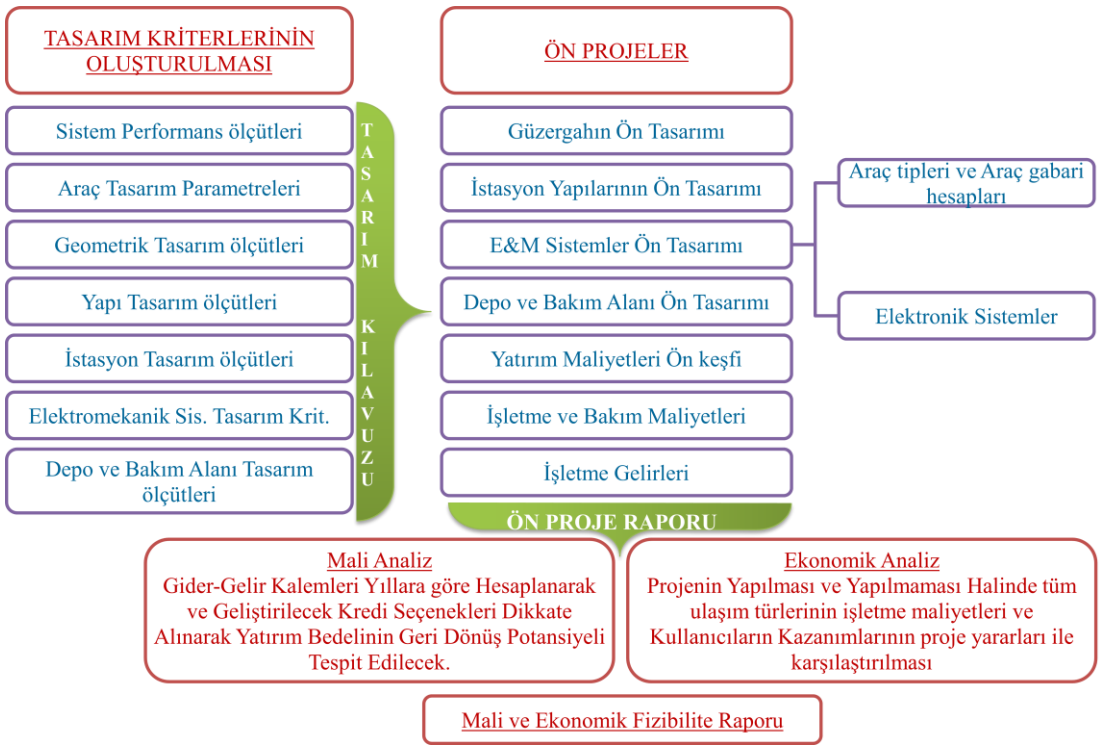
Yukarıda açıklanan dört aşamalı ulaşım modeli ile, çalışma alanındaki yolculukların sayısı, nereden nereye hangi ulaşım türü ile ve hangi yol geçkisini izleyerek yapılacağı belirlenmektedir.

2.3 Raylı Sistem Projeleri Fizibilitelerinin Oluşturulması

Bilindiği üzere hem kamu yatımları hem de özel sektör yatırımları bir ülkenin ekonomik büyüme ve kalkınmasında kilit taşı niteliğindedir. Bu noktadan hareketle yatırım projeleri ulusal açıdan büyüme ve kalkınma hedeflerine sağladıkları net katkı yönü ile de değerlendirilirler. Ancak kabul edilmelidir ki ekonomik büyüme her zaman gelir dağılımın da otomatik olarak iyileştirilmesi anlamını taşımaz. Yani ekonomik büyüme kalkınma için gerekli ama yeterli olmayan bir nüvedir. Bu gerçekten hareketle, ekonomik büyümenin yanı sıra gelir dağılımının iyileştirilmesi de kalkınmanın temel amaçlarından biri olarak değerlendirilmeye başlanmıştır. Yatırım projelerinin kabul edilebilirliği artık sosyal boyutu ile de önem kazanmıştır.

Gerek ekonomik gerekse sosyal analizlerde, kamu yatırım projelerinin yarattığı fayda ve maliyetlerin parasal değerlerle ifade edilmesi gerekmektedir. Ancak çoğu kamu yatırım projesinin fayda ve maliyetlerinin tümüyle parasal değerlerle ifade edilebilmesi olanaklı olmamaktadır. Bunun en önemli nedeni ise kamu yatırım projelerinin büyük ölçüde sosyal içerikli yatırımlardan oluşmasından kaynaklanmaktadır. Bu tür projelerin analizi için geliştirilen tekniğe ise maliyet-etkinlik analizi adı verilmektedir. Bu teknik, daha çok temel toplumsal ihtiyaçları karşılamaya yönelik kamu yatırım projelerinin değerlendirilmesinde kullanılır. Bu teknik de, sosyal tercihleri yansıtan hedef düzeylere erişmek amacıyla hazırlanan alternatif projeler arasından indirgenmiş toplam maliyeti en düşük olanı belirleme amacı güdülmektedir (ekutup.dpt.gov.tr/yatirim/ oik573.pdf).

Raylı sistem projelerinin özellikle metro sistemlerinin uygulamasında öncelikle avan proje ve fizibilite etüdü çalışmaları yapılır. Önerilen sistemin o bölge için fizibil çıkması durumunda ise, öncelikle kesin projeleri hazırlanır ve daha sonra yapım ihalesi gerçekleştirilir.



Şekil 2.5 : Raylı sistemler projelerinin fizibilitelerinin hazırlanması.

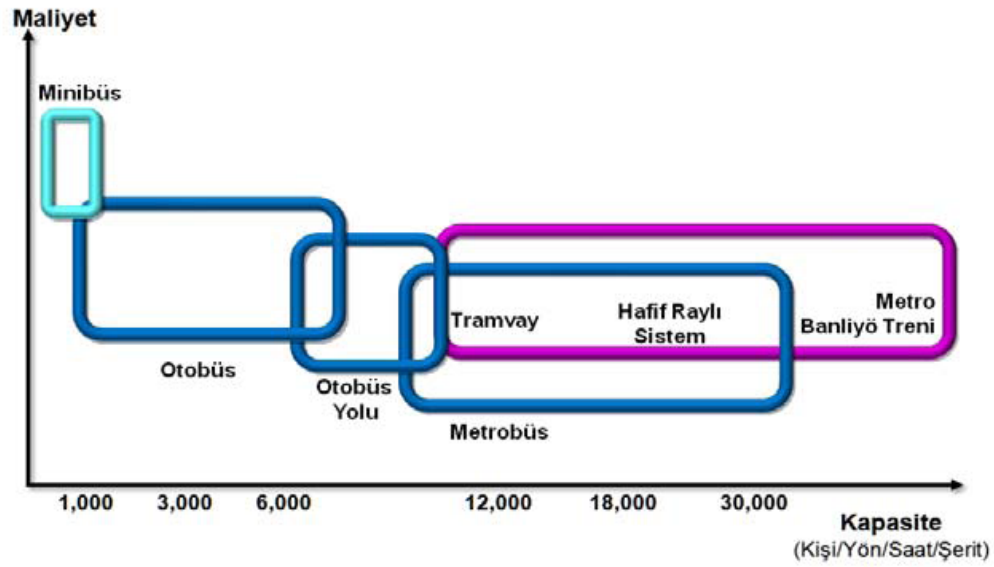
3. ULAŞIM TÜRLERİNİN BELİRLENMESİNDE ÖNEMLİ KRİTERLER

Kentsel ulaşım sorunun ağırlığı sabah ve akşamın belirli saatlerinde yoğunlaşan işyeri ile konut arasındaki yolculuk istemlerinden kaynaklanmaktadır. İş amaçlı bu istem, kent merkezi ile çevre arasındaki bağlantılarla ve oransal olarak kısa uzunluklarla ilgilidir. Çalışma saatlerinin zaman içinde yayılması önlemine karşın, zamanlama esnekliği çok az olan bir istemdir. En önemlisi de belirtilen nedenlerle büyük hacimli olmasıdır. Yolculuk hacmi çevreden merkeze doğru büyümektedir ve trafiğin kent merkezinde vardığı yoğunluk daha yüksek kapasiteli ulaştırma türleri ve belli aşamadan sonra da raylı sistemler gerektirmektedir.

Ana kriter sistem kapasitesi olarak kalmaktadır. Sistem kapasitesini etkileyen yolculuk süresiyle ilgili olarak ikinci önemli kriter ise hızdır. Toplu ulaşım türlerinin kapasite ve maliyetlerinin şematik olarak gösterildiği Şekil 3.1'de, herhangi bir koridorda bir yöndeki en yüksek saatlik yolculuk talep düzeyi 10-12 bin kişiye ulaşana kadar otobüs sistemlerinin "en uygun" ulaşım türleri olduğu anlaşılmaktadır.

Klasik öğretide raylı sistemler, saatte bir yönde 10–12 bin yolcu düzeylerinde tramvaylar etkin olarak uygulanabilmekte, talep düzeyleri 18–20 bin düzeylerine ulaştığında hafif raylı sistemler öne çıkmakta, talepler 30 bin yolcu düzeylerini aştığında söz konusu koridorun özelliklerine göre metro veya banliyö demiryolu kaçınılmaz seçenekler olmaktadır.

Dünyada son yıllarda hızla gelişen ve yaygınlaşan, ülkemizde ve Avrupa ülkelerinde Metrobüs olarak adlandırılan (BRT) uygulamalarda lastik tekerlekli taşımacılıkta bir yönde saatte 48 bin yolcu taşıma düzeylerine ulaşılmış olması yüksek talep düzeylerinde raylı sistemlere kıyasla daha düşük maliyetli bir seçeneği ortaya çıkarmış bulunmaktadır.



Şekil 3.1 : Toplu taşıma türlerinin kapasite ve maliyetlerinin şematik gösterimi.

Hızlı Toplu Ulaşım teknolojileri daha yüksek hızlarda yüksek kapasiteyi taşımak üzere geliştirilmiştir. 1800'lü yılların sonlarından bu yana; New York, Londra ve Paris gibi büyük şehirlerde, daha hızlı ve daha verimli bir toplu ulaşım için gittikçe artan talebi karşılamak üzere çeşitli hızlı toplu ulaşım teknolojileri geliştirilmiştir. Son yirmi yılda, durmadan artan nüfus taleplerini karşılamak amacıyla mevcut alternatif teknolojilerin sayısı önemli ölçüde artmıştır (Candemir, I.; Tanyel, S. "Hızlı Raylı Sistemlerin Yolcu Taşıma Kapasite Hesaplamaları ve Türkiye'deki Benzer Sistemlerin Birbirleriyle Karşılaştırılması", 6.Ulaştırma Kongresi ; 23-25 Mayıs 2005, İstanbul).

Çizelge 3.1 : Farklı mod kategorilerinin özellikleri (Arlı, V., Kentiçi Raylı Sistemler, İstanbul, 2011).

Mod Katagorisi	Mod	Araç Kontrol	Araç Sayısı	Araç Kapasitesi	Hat Kapasitesi (x bin yolcu/sa)
Cadde	Troleybüs	Sürücü/görsel	1	80-125	3-6
	Tramvay	Sürücü/görsel	1-3	100-300	10-20
Yarı Hızlı Ulaşım	Metrobüs	Sürücü/görsel	1	80-180	6-24
	LRT	Sürücü/sinyal	1-4	100-720	10-24
Hızlı Ulaşım	LRRT	Sinyal/ATO	1-4	100-600	10-28
	Metro	Sinyal/ATO	4-10	720-2500	40-70
	Banliyö	Sinyal/ATO	1-10	150-1800	25-50

Kentiçi raylı sistemler sınıflandırılırken en önemli kriter sistemin yolcu kapasitesidir. Ticari hız, bir dizideki vagon sayısı, aracın ivmesi, yolun geometrik özellikleri, sinyal sistemi,karayolu ile kesişme noktalarının varlığı veya karayolundan korunma oranı, istasyon uzunlukları, istasyonlar arasındaki mesafe, zirve saatte dizi çalıştırma sıklığı gibi parametreler kapasite ile ilişkili olan faktörlerdir.

Servis tipi, güzergâh tipine göre kısa mesafeli, şehir ve bölgesel olmak üzere üçe ayrılır. İşletme zamanına göre ise düzenli, pik saat ve düzensiz (özel olaylarda veya acil durumda yapılan) servis olmak üzere üçe ayrılır.

Metro sistemlerinin ilk yatırım maliyetleri yüksek görünse de yolcu başına düşen yatırım ve işletme maliyetleri açısından en uygun sistemlerdir. Ayrıca ilave yolcunun marjinal maliyeti daha düşüktür. Genelde 2.5 – 3.2 m genişliğinde, 16-23 m boyunda 1-10 araçlıdır. Araç kapasitesi 120-250 kişi arasında ve bu yolcunun %25-60'ı oturan yolcudur. İşletme hızı 25-60 km/sa arasındadır ve pik saatlerde bir saatte geçen tren sayısı 20-40 arasındadır.

Metro sistemlerinin yapılmasının en önemli amaçları şunlardır:

- Toplu taşıma kullanımını ve nüfusun hareketliliğini arttırmak
- Kenti kapsayan bir ağda yüksek seviyeli toplu taşımayı sağlamak
- Özel otomobilden yolcuyu çekmek
- Toplu ve özel taşıma arasında daha iyi denge sağlamak
- Sürekli bir ulaşım hizmeti sunmak
- Kent gelişiminin kalitesini arttırmak, efektif ve yaşanabilir kent formlarını oluşturmak
- Daha güvenilir, güvenli, konforlu toplu taşımayı sağlamak
- Tramvay ve otobüse göre işletme maliyetini azaltmak (Arlı, V., Kentiçi Raylı Sistemler, İstanbul, 2011).

4. RAYLI SİSTEM ARAÇLARI VE ÖZELLİKLERİ

Toplu taşıma sisteminin türü belirlendikten sonra, o sistemde çalışabilecek araç parameterleri 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 sistem teknolojisi aks yapısı, gövde tipi, ebatlar ve dinamik performans açısından çok farklı araçların kullanımına izin vermektedir. Araçlar arasındaki önemli farklar Çizelge 4'te gösterilmiştir. Tramvay ve LRT caddede çalıştığı için araç genişliği sınırlıdır ve bojiler arası mesafe dar kurplara göre belirlenir. Karma trafik işletmesinden dolayı güçlü manyetik frenlere sahiptirler.

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.

Konfor, hız, kapasite açısından bojili araçlar kullanılmaktadır. Boji iki aks, motor, fren sistemi ve diğer mekanik ve elektrik sistemlerini içerir. 3. Ray besleme ekipmanı da bojidedir. Dingil sayısının artmasını sağlayan bojiler ile herbir dingile düşen yük azalmakta, böylece hat bakım maliyetleri düşmektedir.

Dünyada yaygın olarak kullanılan raylı toplu taşıma araçları Çizelge 4.1'de özellikleriyle birlikte gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 : Raylı sistemlerde kullanılan araç türleri ve özellikleri (Arlı, V., Kentiçi Raylı Sistemler, İstanbul, 2011) (www.istanbul-ulaşım.com.tr; www.tcdd.com.tr).

Raylı Sistem Türü/ Özelliği	**Tramvay**	**Hafif Metro**	**Banliyö**	**Çelik Tekerlekli Metro**	**Lastik Tekerlekli Metro**
Ray açıklığı	1435 mm	1.435 mm	1.435 mm	1.435 mm	1.435 mm
Ağırlık (ton)	38.5 ton	30 ton	118 ton 1MC+1T+1TC	32 ton	27.5 ton
Platform Yüksekliği	310 mm	910 mm	N.A	1.030 mm	1.130 mm
Araç Uzunluğu	29.650 m	23.200m	22.000m	21.600 m	30.600m
Araç Genişliği (m)	2.2-2.7	2.2-3.0	2.6-.3.2	2.5-3.2	2.45
Araç Yüksekliği (m)	3.7	3.36	-	3.52	3.47
Boji adedi	3	3	2	2	4
Maksimum Hız (Km/h)	70	80	120	80	80
İvmelenme (m/s2)	1.1	0.7	-	1.03	1.3
Vagon Başına Yolcu Sayısı (6 yol/m2)	68+272	32+225	147+226+172	60+180	56+268
Çekiş Sistemi	750 V DC/ Katener	750 V DC/ Katener	25 kV AC 50 Hz/Katener	750 V DC/ 3'üncü ray	750 V DC/ 3'üncü ray
Maksimum Eğim	%12	%6	%2	%6	%10
Toplam Araç gücü	440 KW Araç başı	330 KW Araç başı	1029 KW Birim başı	1824 KW Tren Başı	314 KW Araç başı

4.1 Çelik Tekerlekli Metro Araçları

Metro, 4 akslı, elektrikli, 10'lu setlere kadar çalıştırılabilen tam sinyalli ve tam korumalı olan sistemlerdir. Yüksek hız, kapasite, hızlı inme-binme ve sürücü hatasına izin vermeyen kontrol sistemleri ile güvenli sistemlerdir. 90 saniyeye düşen sefer aralıkları ve 2000 kişiye varan kapasite ile diğer raylı sistemlerden çok daha yüksek performansa sahiptir.

Yüksek kapasiteli optimal bir raylı sistem türüdür. Hatalara karşı tam emniyetli kontrol sistemleri, elektrik çekimi ile maksimum hıza imkân vermektedir. Yolcu binme-inme kapasitesi LRT'ye göre 3-5 kat ve otobüse göre 10-20 kat daha fazladır.

Son zamanlarda inşa edilen metrolarda ATO (otomatik tren işletme) sistemleri kullanılmaktadır. Sürücüsüz olarak tüm şebekenin kontrolü merkezden sağlanmaktadır. İşletme maliyetleri daha düşük ve işletme elverişliliği daha yüksektir. Buna karşın yatırım maliyeti daha fazla ve sistem daha karmaşıktır. Bir sistemin elverişliliği (reliability) yol kullanım hakkına, tren varış kontrolüne ve servisteki araç yüzdesine bağlıdır. İyi araç ve hat bakımı yapılan sistemlerde servisteki araç %92-95 arasındadır. %5-8 oranda araç, peryodik bakım, tamir, kaza nedeniyle servis dışı kalmaktadır.



Şekil 4.1 : Çelik tekerlekli metro aracı – İstanbul.

4.2 Lastik Tekerlekli Metro Araçları

1951-1956 yıllarında Paris metrosunda ilk defa lastik tekerlekli metrolar geliştirilmiş daha sonra Montreal, Mexico, Santiago, Lyon ve Marsilya şehirlerinde de kullanılmaya başlanmıştır.

Lastik tekerleğin adhezyonu çelik tekerleğe göre daha fazla olduğu için frenleme ve ivmelenme için işletme hızını arttırmak, yüksek eğim çıkabilme özelliği sayesinde merkezi noktalara ulaşma imkanı, gürültüyü azaltmak ve maliyeti azaltmak için bu araçlar benimsenmiştir. Ancak geçen süreçte raylı sistem teknolojisi aynı performansları sağladığı ve lastik tekerlekli araçların dezavantajları olduğu için kabul gören bir ulaşım aracı olmamıştır. Lastik tekerlekli araçların sürtünme direnci yaklaşık 10 kat ve temas yüzeyi daha fazla olduğu için yatırım ve bakım maliyetleri (yaklaşık %20 kadar) daha fazladır. Lastiklerin yanıcı olması ve yangın çıkabilme ihtimali gibi hususlar önmeli dezavantajlardır (Arlı, V., Kentiçi Raylı Sistemler, İstanbul, 2011).



Şekil 4.2 : Lastik tekerlekli metro aracı - Lozan
(http://en.wikipedia.org/wiki/Rubber-tyred_metro).



Şekil 4.3 : Lastik tekerlekli metro aracı - Mexico City (http://en.wikipedia.org/wiki/Rubber-tyred_metro).

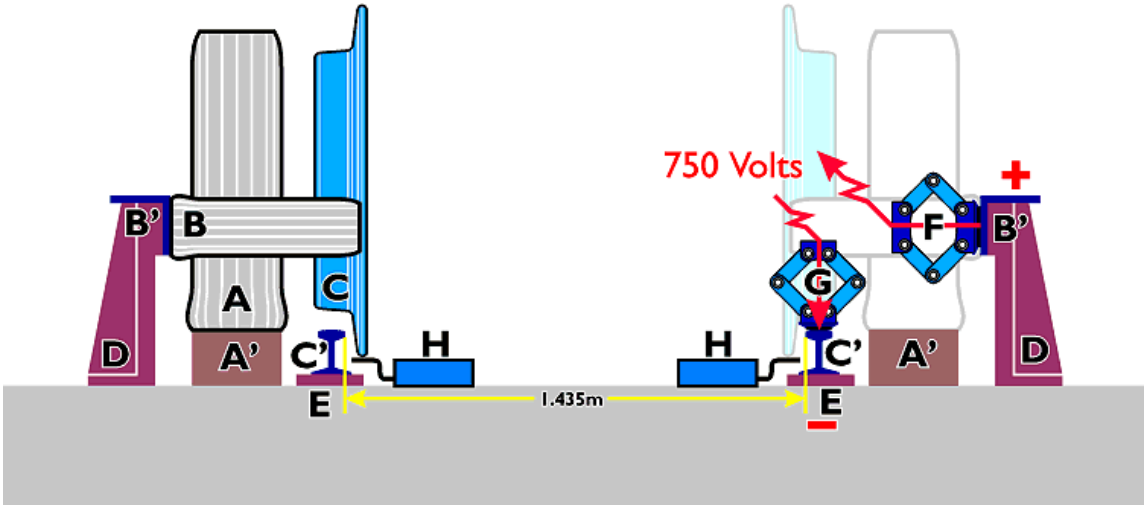
4.2.1 Lastik tekerlekli metro araçlarının teknik özellikleri

Lastik tekerlekli araçlarda 8 tanesi mesnet ve 8 tanesi kılavuzlama olmak üzere 16 lastik tekerlek ve ayrıca 8 çelik tekerlek vardır. Çelik tekerlekler makasta çelik ray boyunca kılavuzlamayı sağlamak ve lastik tekerleğin patlaması durumunda aracın aşırı yana yatmasını önlemek için gereklidir. Lastik tekerlekli metro araçlarına ait boji sistemi Şekil 4.4'te detaylı bir şekilde gösterilmektedir.



Şekil 4.4 : Lastik tekerlekli metro aracı boji

Ayrıca, Şekil 4.5'te lastik tekerlekli sistemlerde kullanılan ray bağlantı elemanlarının detaylı gösterimi verilmiştir.



Şekil 4.5 : Lastik tekerlekli metro aracı ray bağlantısı (http://en.wikipedia.org/wiki/Rubber-tyred_metro).

A - Ana lastik: Arabanın dolu ağırlığı yanı sıra tüm çekiş gücü normalde ana lastikleri tarafından karşılanır. Yangın dayanımı ve korozyonu önlemek için nitrojen ile şişirilir.

A' - Beton ana lastik yolu: Yolda işletilen ana lastikleri, tünel zeminine doğrudan bağlar. Geçiş noktaları ve kurbalara metal olarak uygulanır.

B - Kılavuzlu teker: Küçük lastikler yatay olarak monte edilir ve kılavuzlu barlar ile yolda araca rehberlik eder.

B'- Kılavuzlu bar: Çekiş gücünü sağlar. Üçüncü raydan elektriği alır.

C - Güvenlik tekeri: Metal ray ile birlikte çalışarak aracın makaslardan geçerken raydan çıkmasını engeller.

C'- Güvenlik rayı

D - Klavuz teker izolatörü: Elektrik yalıtımı sağlar.

E - Ray izolatörü: Elektrik yalıtımı sağlar.

F - Yanal titreşimi sönümleme pabuçları

G - Enerji geri dönüşüm pabucu

H - Ray dedektörü

4.3 Çelik Tekerlekli ile Lastik Tekerlekli Metro Araçlarının Birbirlerine Göre Avantaj ve Dezavantajları

Çelik tekerlekli metro aracı ile lastik tekerlekli metro aracı karşılaştırıldığında:

- Lastik tekerlekli metro pürüzsüz bir sürüş sağlamaktadır.
- Lastik tekerlekli metro daha büyük ivmelenme sağlar.
- Lastik tekerlekli metro daha kısa fren mesafesi sağlar.
- Lastik tekerlekli metro daha dik yamaçlara tırmanabilmektir.
- Lastik tekerlekli metro sessiz sürüş sağlar.

Ancak,

- Lastik tekerlekli metro yüksek sürtünmeden dolayı daha yüksek enerji tüketimine yol açar.
- Lastik tekerlekli metro kötü hava koşullarında çekiş avantajını kaybeder.
- Lastik tekerlekli metroda lastik değiştirme maliyeti ek maliyet göstergesidir.

Farklı özelliklerin getirdiği avantaj ve dezavatajlar her iki sistem için de konfor, güvenlik, erişilebilirlik, maliyet, estetik gibi hizmet düzeyi bileşenlerini değiştirebilmektedir.

5. METRO GÜZERGÂHI TASARIM KRİTERLERİ

Bu bmlümde, metroların hat geometrisi tasarımında kullanılanan yatay ve düşey olmak üzere geometrik tasarım kriterleri genel olarak ele alınacak olup, sistem performansı ve yatırım-işletme maliyetlerinde belirleyici ana etmenler irdelenecektir.

5.1 Standartlar

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

- Türk Standartları Enstitüsü (TSE)
- TS-12127 Şehir içi yollar - Raylı Taşıma Sistemleri (Yeraltı İstasyon Tesisleri Tasarım Ölçütleri)
- T.C. Ulaştırma Bakanlığı Demiryolları Limanlar Havaalanları Yapım Genel Müdürlüğü (DLH)
- Daha önce inşaa edilen Raylı Sistemlerden edinilen tecrübeler.
- NFBA (Amerikan Yangın Yönetmeliği)
- "Union International Des Chemins De Fer" (Uluslararası Demiryolları Birliği) (UIC) ilgili standartları.
- ENV 13803-1 Railway applications - Track - Track alignment design parameters - Track gauges 1435 mm and wider - Part 1
- Track Design Handbook for Light Rail Transit , TRB 57, Transportation Research Board, USA, 2000
- British Railway Track – Design, Construction And Maintenance Sixth Edition 1993
- AREA El Kitabı ("Manual Railway Engineering of the American Railway Engineering Association")

Çizelge 5.1 : Metro güzergâh tasarım kriteleri.

Tasarım Elemanları	Birim	Tercih	Zorunlu Durumda
Yatay Güzergâh			
Minimum Kurp Yarıçapı i) Cari (ana) yolda ii) İstasyonlarda	m m	300 Teğet	250 1500
Minimum geçiş eğrisi (parabol) boyu (V>50 km/sa)	m	0,01xVxd	0,06xVxd
Minimum geçiş eğrisi (parabol) boyu (V<50 km/sa)	m	400d	300d
Geçiş eğrileri (parabol) arasında minimum aliyman	m	0,6xV	30
Makas sonrası minimum düz mesafe – cari hat	m	10	5
Düşey Güzergâh			
En yüksek Eğim i) Cari (ana) yolda ii) İstasyonlarda	% %	3.5 Düz	4.0 0.50
Düşey kurp minimum yarıçapı	m	0,5 V^2	0,25V^2, 2000
Minimum düşey kurp boyu	m	120	60
Maksimum düşey kurp boyu	m	-	200
Düşey kurp ile makas arasında minimum mesafe	m	10	5
Dever			
Cari (ana) yolda maksimum dever	mm	130	150
Maksimum Eksik Dever i) Ana yolda ii) Makaslarda	mm mm	130 -	150 110

V: proje hızı (km/sa); d:dever (mm)

5.2 Yatay Geometrik Tasarım Kriterleri

Bir metro 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/sa tir. Her ne kadar proje hızı 80 km/sa alınsa da, dairesel kurblardaki 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.

5.2.1 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 gabarisi ve yapı temiz açıklıkları dikkate alınarak hesaplanmalıdır.

5.2.2 Alinyman

Metro sistemleri için hatların minimum alinyman uzunluklarının 5.1 formülü kullanılarak hesaplanması gerekmektedir ve mümkün olan durumlarda alinyman uzunluğu 30 m'nin altına düşmemelidir.

$$L_{min} = 0{,}50\ V \qquad \textbf{(5.1)}$$

Yukarıdaki formülde;

L_{min} = 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 alinyinman olarak bırakılması gerekmektedir.

5.2.3 Dairesel kurblar

Dairesel kurblar yarıçaplarına göre değerlendirilmektedir. Geniş yarıçaplı kurblar konforlu yolculuğu mümkün kılmaktadır. Küçük yarıçaplı kurblar ise proje hızı ve maksimum dever 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 30m den daha az olmamalıdır.

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

Minimum dairesel kurb uzunluğu proje hızının yarısı kadar olmalıdır.

$$L_{min} = V/2 \quad \textbf{(5.2)}$$

L_{min}= Minimum kurb uzunluğu (m)

V=Proje hızı (km/sa)

5.2.4 Birleşik ve ters kurblar

Mümkün olduğunca birleşik kublardan kaçınılması gerekmektedir. Ancak fiziksel ve işletme kısıtlarından dolayı mecbur kalınması durumunda aynı yöndeki iki veya daha fazla dairesel 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 daresel kurb uzunluklarının toplamının yarısına eşit veya daha büyük olmalıdır.

5.2.5 Dever

Dever bir kurbda merkezkaç kuvvet etkisini azaltabilmek için dış raya verilen yükseklik fazlası olarak tanımlanmaktadır. Merkezkaç 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'yi geçmemelidir.

Hat kesimleri için hesaplanmış proje hızları ve 5.3 formülü kullanılarak teorik dever hesaplanabilir.

$$d_t = 11{,}82\ V^2 / R \quad \textbf{(5.3)}$$

Formülde,

d_t = 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.

$$d_u = (11{,}8\ V^2 / R) - 152\ (Y)_x \qquad \textbf{(5.4)}$$

Formülde,

d_u = 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.

5.2.6 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 kurbların aliynmanlara bağlanması amacıyla geçiş eğrileri kullanılmalıdır, minimum klotoid boyları 5.5 ve 5.6 formülleri kullanılarak hesaplanır.

$$LG = 0{,}38*d \qquad (V < 50\ km/saat) \qquad \textbf{(5.5)}$$

$$LG = 0{,}008\ V*d \qquad (V > 50\ km/saat) \qquad \textbf{(5.6)}$$

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.

5.3 Düşey Geometrik Tasarım Kriterleri

5.3.1 Eğimler

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

5.3.1.1 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 kabul edilebilir en büyük eğim %0.5 tir.
    - Lastik tekerlekli sistemlerde ise genellikle yüksek eğim yapılabilirliğinden dolayı tercih edildiği için %1‘e kadar eğimler kullanılabilir.
- Hafif raylı sistemler ve tramvaylar
    - Çelik tekerlekli sistemlerde istasyonlarda kabul edilebilir en büyük eğim % 0.5 tir.
    - Lastik tekerlekli sistemlerde genellikle yüksek eğim yapılabilirliğinden dolayı tercih edilmekte ve burada % 1‘e kadar eğimler kullanılabilir.

5.3.1.2 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.

- Metro Sistemleri
    - Çelik tekerlekli sistemlerde en büyük eğim % 4,5 tir.

- Lastik tekerlekli sistemlerde % 8‘e kadar eğimler kullanılabilmektedir.

- Hafif raylı sistemler ve tramvaylar
  - Çelik tekerlekli sistemlerde kabul edilebilir en büyük eğim % 6 dır. Ekstrem durumlarda tramvaylarda %12, hafif metrolarda % 6.5 eğim kullanılmıştır.
  - Lastik tekerlekli sistemlerde % 10 ‘a kadar eğimler kullanılabilir.

5.3.1.3 Düşey kurblar (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.

5.3.1.4 Yarıçap ve uzunluk

Hat eğiminde değişiklikler olması halinde, mümkün olduğu kadar büyük dairesel düşey kurblar kullanılmasına özen gösterilmelidir.

Zorunlu durumlarda R≥1000 m olmak kaydıyla, en küçük düşey kurb yarıçapı

5.7 formülü ile hesaplanabilir,

$$R = L_{cv} / (0{,}01 \times (g_1 - g_2)) \quad \textbf{(5.7)}$$

$$R = 0.175V^2 \quad \textbf{(5.8)}$$

R = Düşey kurb yarıçapı (m)

V = Proje hızı (km/saat)

Düşey kurb uzunlukları için istenen değer 5.9 formülü ile elde edilir.

$$L = 60 \times (g_1 - g_2) \quad \textbf{(5.9)}$$

$$L = 30 \times (g_1 - g_2) \quad \textbf{(5.10)}$$

Önerilen en küçük uzunluk için istenen değer 5.10 formülü ile elde edilir.

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

Mutlak minimum tepe ve dere düşey kurb uzunlukları ise 5.11 ve 5.12 formülleri ile elde edilir.

$$L_{cv}=V^2x(g_1 – g_2) / 215 \quad \text{Tepe düşey kurb} \qquad \textbf{(5.11)}$$

$$L_{cv} = V^2x(g_1 – g_2) / 387 \quad \text{Dere düşey kurb} \qquad \textbf{(5.12)}$$

Formülde,

L_{cv} = Düşey kurb uzunluğu (m)

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

6. İSTASYON YERİ SEÇİMİ VE TASARIM ÖLÇÜTLERİ

6.1 Standartlar

Metro istasyonlarının mimari tasarımında ilgili belediyenin, imar yönetmelikleri ve aşağıdaki kurumların standartları kullanılmalıdır.

- Türk Standartları Enstitüsü - TS-12127; TS-12186 Raylı Taşıma Sistemleri (Yeraltı İstasyon Tesisleri Tasarım Ölçütleri)
- T.C. Ulaştırma Bakanlığı Demiryolları Limanlar Havaalanları Yapım Genel Müdürlüğü - Hafif Raylı Sistem Kriterleri
- National Fire Protect Agency - Yangından Korunma Milli Kurumu (ABD) - NFPA 130 Standart for Fixed Guideway Transit Passenger Rail Systems
- Gerekli diğer Türk Yapım Standartları

Raylı toplu taşıma sistemlerinde istasyon tasarımı ile ilgili uluslararası standartlar ve bu standartlardan faydalanılarak elde edilen ölçütler aşağıdadır. Bu ölçütler, genel olarak ülkemizde kabul görmüş değerler olması nedeniyle her birinin kaynağı belirtilmemiştir.

6.2 İstasyon Yeri Seçim Ölçütleri

İstasyonların yerlerinin seçiminde birçok etken göz önüne alınmalıdır. Bunlar aşağıda sıralanmıştır:

- İstasyonlar, güzergâh üzerindeki en yoğun yerleşim, iş, eğitim, sağlık merkezlerinde planlanmalıdır.
- Demografik ve ekonomik yapı; Çalışma yapılacak bölgenin ekonomik durumu ve bu bölge için alınmış arazi kullanım kararları ve bunlara bağlı olarak öngörülen nüfus yoğunlukları istasyonun bir çekim merkezinde olup olmadığının belirlenmesinde bize yardımcı olacaktır.

- Diğer toplu taşıma sistemleriyle (tren, tramvay, otobüs, minibüs) entegrasyon planlanmalıdır.
- İstasyon ara mesafeleri, metro sistemleri için 0.8 - 1.2 km, hafif raylı sistemler için ise 0.40 - 0.75 km arasında tutulmalıdır.



Şekil 6.1 : İstasyon yeri seçim örnekleri (İstanbul Geneli Raylı Sistem Projeleri İşi, Ulaşım A.Ş., 2011).

Yeraltı istasyonlarının inşaasında, istasyon derinliği, istasyonun konumu veya diğer bazı fiziksel kısıtlar göz önüne alınarak inşa metodu aç kapa ve/veya delme tünel olabilir. Yapım ve işletme maliyetini azaltan seçenek tercih edilmelidir.

6.3 İstasyon Tasarım Ölçütleri

İstasyonların mimari tasarımında; en yüksek düzeyde güvenliğin, en az yapım ve işletme maliyetinin ve en uygun konfor düzeyinin sağlanması amaçlanmalıdır. Estetik açıdan tatmin edici ve bu alanların istasyon olarak kolayca belirlenmesini sağlayacak nitelikte olmalıdır.

İstasyonların tasarım kriteleri hakkında birçok etken göz önüne alınmalıdır. Bunlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır:

- Yolcuların platforma erişimini kolay ve hızlıca sağlamak ve maliyeti düşürmek amacıyla yeraltı istasyonlarının derinliği azaltılmalıdır.

- İstasyonların inşa yapım metodunun belirlemesinde, o bölgenin zemin yapısı (Jeolojik) da göz önüne alınmalıdır.

- Bulunduğu çevre, yakındaki kalıcı yapılar veya planlanan geliştirmeler ve içinde bulunduğu semt ile uyum halinde olmalıdır. Renk, doku ve malzeme seçiminde bu ilişkilerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Kullanışlı oldukları sürece, özel ve kalıcı topoğrafik unsurlar ile çevrenin kültürel ve tarihi özellikleri tasarıma dâhil edilmelidir.

İstasyon kompleksinin belli başlı unsurları şunlardır:

- İstasyon girişi
- İstasyon işletme yapısı
- Yatay ve düşey dolaşım tesisleri
- Peronlar
- Yardımcı mekânlar (idari+teknik+ticari)

Peron katında tavan yüksekliği en az 3.5 m olmalı ve ekipman (kamera, vs) yüksekliği en az 2.5 m olmalıdır. Yan peron genişliği en az 4 m ve orta peron genişliği en az 6 m olmalıdır. Bir yolcuya yer üstü istasyonlarda 0.35-0.5 m^2 ve yer altı istasyonlarda 0.5-0.75 m^2 düşecek şekilde net peron alanı hesaplanmalı ve buna 50 cm güvenlik bandı eklenerek peron alanı bulunmalıdır. Platformdaki yolcunun tahliyesi 4 dakkika altında olacak şekilde çıkışlar ayarlanmalıdır. Platformdan en yakın çıkışa mesafe en fazla 60 m olmalıdır.

Hesaplamalarda yolcu şerit genişliği 60 cm kabul edilir. Yatay yürüme hızı 64m/dak, düşey hızı ise çıkış yönünde 15m/dk ve iniş yönünde 18.3m/dk kabul edilir. Merdivelerde çıkış yönünde 35 kişi/dk. ve iniş yönünde 40 kişi/dk., koridorda (1m genişlikte) 80 kişi/dk geçtiği kabul edilir.

0-3.5 m kot farkı için bir sabit merdiven, 3.5-12 m kot farkı için bir sabit merdiven ve bir yürüyen merdiven ve 12 m'den yüksek kotlar için bir sabit merdiven ve 2 yürüyen merdiven gereklidir.

Tüm bunların yanı sıra, istasyon yangın güvenliği en önemli konulardan biridir. NFBA standartlarına göre projelendirilir. Özürlü ve yaşlılara yönelik tesisler için de tasarım kuralları belirlenmiştir (TS-12127, Raylı Taşıma Sistemleri (Yeraltı İstasyon Tesisleri Tasarım Ölçütleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara).

7. RAYLI SİSTEM HAT VE İSTASYON İNŞAATI VE İNŞA TİPLERİ

En eski tüneller günümüzden 3000 yıl kadar önce değerli metallerin araştırılması amacıyla Babilliler ve Aztekler tarafından Hindistan, Mısır ve Mezopotamya'da inşa edilmiştir. 19. Yüzyıla gelininceye değin sert kayadaki tüneller arında ateş yakılarak kaya ısıtıldıktan sonra oluşan sıcak yüzeye su ve sirke püskürtülmesi esasına dayanılarak kazılmaktaydı. Bu yolla elde edilen ilerleme miktarı yaklaşık olarak haftada 1 metreydi. Teknolojinin gelişmesi ile günümüzde tünel kazısı ilerlemesi günlük ortalama 10 metredir.

Yeryüzünde ilk tünelin M.Ö. 4000 yıllarında Babil şehri yakınlarında, Fırat nehrinin altında açıldığı söylenmektedir. İnşa edilen bu tünel 3.5x4.5 çapında ve 1 km. uzunluktadır.

Sonraki dönemlerde galeri açmanın bir savaş tekniği olarak da kullanıldığı görülmektedir. Surların aşılabilmesi için altlarında galerilerin kazma ve kürek vasıtasıyla açıldığı bilinmektedir. Mısırlılar ve Romalılar da ağırlıklı olarak su nakletmek amacıyla tüneller açmışlardır. Barutun icat edilmesiyle beraber birçok alanlarda gelişmeler olmasına rağmen tünelciliğe uzun süre bir yararı olmamıştır.

Tünel işlerinde önem arz eden bir gelişme 1823 – 1843 yılları arasında Thames nehri altında açılan tünel sebebiyle olmuştur. Bu tünelin önemi Fransız mühendis Brunel'in patentini aldığı Bukliye (kalkan) metodunu ilk kez burada uygulamasından kaynaklanmaktadır. Bu 4.20 m ve 4.80 m çaplarında ikiz tünel olup halen kullanılmaktadır. 1830 yılında Lord Cohrane 'da sulu zeminlerde kuyu ve galeri açmada kullanılabilecek, basınçlı havadan istifade ederek uygulanabilecek yöntemine ait patenti almıştır. Büyük tünellerin artışının gözlenmesi demiryollarının gelişimine paralel olarak gerçekleşmiştir.

İlk demiryolu tüneli Fransa'da St. Etienne–Terre Noire hattında 1826 yılında inşa edilmiştir.1868 yılında New York metrosu Amerika kıtasının ilk yeraltı demiryolu ulaşım sistemi olarak hizmete açılmıştır. İlk yeraltı demiryolu ise Türkiye 'de 1874 yılında Galata–Pera arasında hizmete açılmıştır. Avrupa'nın gerçekleştirdiği büyük

projelerden birisi de Manş tünelinin altından tünel inşasıyla geçilmesidir. Raylı sistemlerin hat inşaatı, sistemin zemin konumuna göre birçok metotla yapılabilir. Özellikle yeraltında yapılan sistemlerin maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı, yeraltında yapılan inşaat yapım yöntemleri kısaca özetlenecektir.

Yeraltındaki raylı sistemler için hat yapıları genellikle delme tünel veya aç-kapa olarak yapılmaktadır. Son zamanlarda tünel açma makinesi (TAM) ile hat tünellerinin açılması daha yaygın bir uygulamadır. Genellikle YATM metodu ile istasyon, yolcu geçiş ve makas tünelleri açılmaktadır (Bulutlar, E., "Tünel Güzergâh Seçimi ve Tünel İnşaatına Kadar Yapılan Araştırmalar", E.i.E., Ankara, 1994).

7.1 Başlıca kullanılan tünel tipleri

A (Ana Hat Tünelleri), P (Peron Tünelleri), T (Makas Tünelleri) ve B Tipi (Bağlantı Tünelleri) tünellerdir. Bu tünellerin ortalama kesit alanları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 7.1 : Tünel tipleri ve kesit alanları.

TÜNEL TİPİ		KESİT ALANI (m^2)
A		37
P		65
T		100
B	B1	43
	B2	22
	B3	45

7.1.1 Delme tünel yöntemi (Tünel açma makinesi ile - TBM)

Madencilik ve inşaat sektöründe yeraltı yapılarının önemi teknolojik gelişmelere paralel olarak gün geçtikçe artmaktadır. Özellikle yerleşim merkezleri ve büyük şehirlerde elektrik, su, kanalizasyon, telefon, doğalgaz ve metro tünelleri gibi yapıların açılması sırasında, çevreye ve yer üstünde yapılara zarar vermemesi için kullanılacak kazı yönteminin seçimi son derece önemlidir.

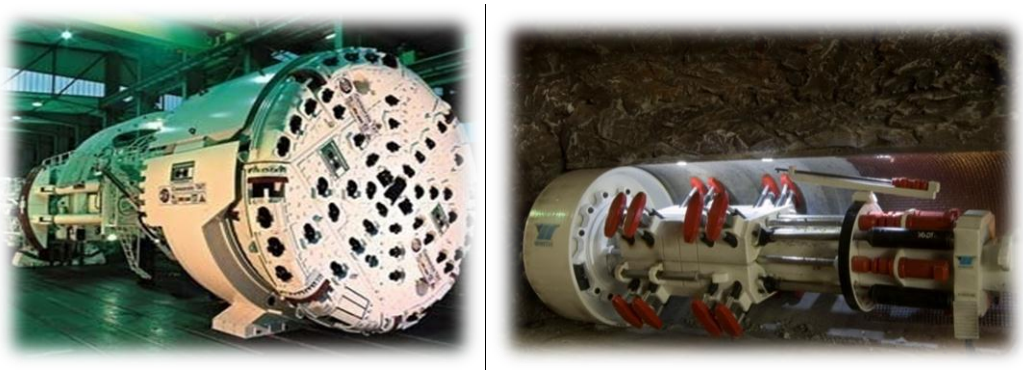
Her ne kadar ilk yatırım maliyeti yüksek olsa da tam cepheli Şekil 7.1'de gösterilen tünel açma makineleri (TAM) tasman gibi istenilmeyen yeraltı hareketlerini önleme kabiliyeti, daha sessiz, titreşimsiz ve hızlı çalışması nedeniyle günümüzde tercih edilen kazı makineleri haline gelmiştir.

Sert, orta sert, yumuşak ve akıcı formasyonlar için kullanılacak kafa dizaynları ve keski tipleri, makineyi dengeleme sistemleri, tahkimat sistemleri, çıkarılan pasayı taşıma sistemleri çeşitli yönlerden farklılıklar göstermektedir. Açılacak yeraltı boşluğu boyunca geçilecek formasyonların önceden tespiti, kullanılacak makinenin seçiminde en önemli faktörlerden biri olmaktadır.

Son 40 sene içinde büyük gelişim gösteren bu makineler gittikçe artan bir sayıda kullanılmaya başlanmış ve günümüzde de yalnızca madencilikte değil inşaat mühendisliği alanında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu makineler düşük dayanımlı kayaçlardan orta sert dayanıma kadar olan formasyonlarda kullanılmaktadır. Kanalizasyon, ulaşım ve benzeri amaçlarla tünel ve kanal açılması ihtiyacı, bu işlerle uğraşan müteahhit firmalarını, bugüne kadar sadece madenciliğe mahsus olan "yumuşak ve sert taşlarda tünel açma problemi" ile karşı karşıya bırakmıştır. Bunun sonucu olarak çok yakın zamanlarda da, özellikle inşaat mühendisliği açısından, gene en sert taşları bile delip geçmek için "sert kayaç makinelerinin gelişimi kaçınılmaz bir zorunluluk olarak ortaya çıkmış bulunmaktadır.

Ayrıca bu makinelerle galeri ilerleme randımanı artmış, tünel açma maliyeti de azalmıştır. Yine direkt makineye bağlı olmamakla birlikte bir diğer üstünlüğü de nakliye, havalandırma, su atımı vs. gibi çeşitli donanımların bir yeni kullanma alanı için daha çabuk serbest kalmaları, dolayısıyla onlara yatırılan sermayeden çok daha iyi yararlanabilme olanağının doğmuş olmasıdır.

Ekonomik üstünlüklerinin yanı sıra tünel açılması işlerinde, patlayıcı madde ile yapılacak bir çalışmanın mümkün olmadığı yerler ile meskun mahallerin altına isabet eden az derin kısımlarda, tünel ve kanal açma işlerinde tünel açma makinelerinin kullanılması adeta bir zorunluluk haline gelmektedir. Dolayısıyla patlayıcı madde kullanılmasındaki bütün emniyet tedbirlerine de gerek kalmamaktadır. Bunun yanında galeri duvarlarını düzgün açması da önemli bir üstünlüktür. Ayrıca tünel açma makinelerinin bir diğer önemli avantajı da dinamitleme yöntemindeki kaçınılmaz olan arazi çatlatılmasının meydana gelmeyişi ve galeri yüzeyinin çok daha düzgün bir şekilde açılabilmesidir. Bunların sonucunda tahkimat işi hafifler ve yapımı da kolaylaşır.



Şekil 7.1 : Tünel açma makinesi (TAM).

Tüneli kazdıktan sonra, hemen prekast beton kaplamayı yerleştirmesi başka bir avantajıdır. Özellikle metro tünellerinde, tünel kazısı bittikten sonra ray döşenmeye başlanabilir ve hemen elektro-mekanik sitemin parçaları tünele yerleştirilebilir.

Bu alanda kullanılan makinelerin çok özel yapıda olması ve ülke genelinde az sayıda bulunması vb. nedenlerle mesleğin uygulanması için özel eğitim gerekmektedir. Bu meslekte kullanılan makine ve ekipmanların üretimi ülkemizde gerçekleştirilmemektedir.

7.1.2 Delme tünel yöntemi (Yeni Avusturya Tünel Metodu) (YATM)

YATM, İlk önce Avusturya, Fransa, Almanya, İsviçre ve İtalya'da uygulanmaya başlanmıştır. Bu yöntemin dünyaya yayılımı hızlı olmuştur. İlk uygulamalardan biri olan Frankfurt Metrosunda tünel açımına 1969 yılında iç içe tabakalı kil, marn, tebeşir ve kum taşında başlanmıştır. Bu yöntem Japonya'daki Seikan Tüneli'nde de başarı ile uygulanmıştır. Bir başka başarılı uygulama Mexiko City'deki Emisor Central kanalizasyon tünelinde olmuştur. İstanbul metrosu tünelleri yapımında da bu metot halen kullanılmaktadır.

Bu tünel açma yönteminde ana ilke; en uygun kazı ve sağlamlaştırma yöntemlerinin seçilerek kazı sonrasında oluşan ikincil gerilme ve deformasyonların, kaya yapısının stabilitesini bozmayacak şekilde denetlenmesi, yönlendirilmesi ve kayaçların ilk sağlamlığını olabildiğince koruyarak boşluğu çevreleyen bölgenin kendi kendisini tutan ve taşıyan bir statik sistem oluşturmasını sağlamaktır.

Yöntemin amacı, kazı sonrasında oluşan dağ basıncına, mutlak rijit sistemlerin tepkime kuvvetleri ile karşı koymak değildir. Bu nedenle, rijit tahkimat elemanları ve kalın kaplamalar kullanmak gerekmez.

Bunlar ancak yöntemin yeterli hız ve titizlikle uygulanamadığı ve dolayısıyla, kayanın taşıma niteliklerinin tümüyle yitirildiği veya aşırı derinliklerde, ya da yüksek tektonik gerilmelerin etkili olduğu plastik ortamlarda zorunlu olarak devreye girer. Açım sırasında ikincil deformasyon ve gerilmelerin yeterli ölçüm ve gözlemlerle izlenerek, açım çalışmalarının denetlenmesi ve yönlendirilmesi gerekmektedir.



Şekil 7.2 : YATM ile tünel açılması.

YATM, tünel zeminine uygun oranlarda donatı ve kaplama malzemesi kullanılır. Etkileşme ve kaplama basınçlarının yakından izlenmesi YATM'nin önemli bir kısmını oluşturur. Uygulama yavaş olmasına rağmen tünel zemini deplasmanları ve iksa miktarları minimum seviyeye indirilerek, sonuçta ekonomik bir uygulama gerçekleştirilmiş olur.

YATM'de kullanılan desteğin esnek olmasının iki anlamı vardır. Mekanik olarak esnektir ve uygun bir membran rolü oynayarak kaya sıkışması esnasında deforme olur. Bu tip iksa, çok yönlü olup, lokasyondan lokasyona değişecek iksa gereksinimlerine göre ayarlanması yapılabilir. Tek sistem alternatifi basittir ve daha az beceri, kontrol, araştırma, izleme ve test etme gerektirir. Tünel zemini koşullarının üniform ve iyi bilindiği durumlarda küçük çaplı kısa tünellerde, bu sistem iyi sonuç vermektedir (British Railway Track – Design, Construction and Maintenance Sixth Edition, 1993).

7.2 İstasyon İşletme Yapısı İnşaatı

Raylı sistemlerin işletme yapıları inşaatı, sistemin zemine nazaran konumuna bağlı olarak birçok metotla yapılabilir. Özellikle yeraltında yapılan sistemlerin maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı, yeraltında yapılan inşaatların yapım yöntemleri kısaca özetlenecektir.

İstasyon olacak bölge peron boyunca veya kısmi olarak da kazılabilir. Genelde aç-kapa yöntemi kullanılmakta olup, özel durumlarda yukarıdan aşağıya yöntemi de kullanılmaktadır.

7.2.1 Aç - kapa yöntemi (zemin destekli)

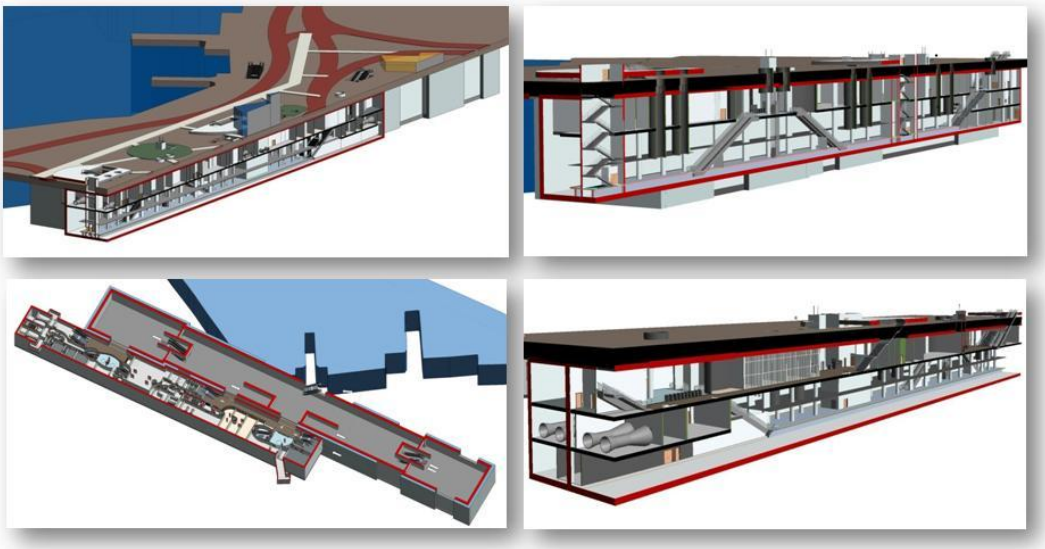
Bu yöntemle raylı sistemlerin işletme yapısı yapıldığı gibi, genellikle metro tünellerinin güzergâh itibariyle ana yolların altından geçirilebildiği yüzeye yakın kısımlarında, yer altı geçitlerinin inşası gibi yerlerde de kullanılır. Önce yapı yapılacak bölgede kazı yapılır. Bu arada toprak zemin farklı yöntemlerle desteklenir. Yapının inşasından sonra üzerinin örtülmesi basit ve ekonomik bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu yöntemde önce kazı boşluğunun yanları betonarme kazık veya beton duvar perdesi ile desteklendikten sonra, yüzeyden hendek şeklinde kazılarak açılır.



Şekil 7.3 : Kirazlı ve İkitelli istasyonları aç-kapa tünel çalışması.

Kenar ayakların örülmesinde hiçbir özellik yoktur. Tamamen açık havadaki duvar örme usullerine göre yapılır. Tavanın oluşturulmasında eğer yeryüzünden yeteri kadar derinlik varsa bir kemer oluşturulur. Bu kemer de açık havada oluşturulduğundan fazla güçlükle karşılaşılmaz. Eğer yer yeryüzünden yeteri kadar derinlik yoksa betonarme bir tavan oluşturulabilir.



Şekil 7.4 : Aç-Kapa istasyon tipi perspektif görünümleri (İstanbul Geneli Raylı Sistem Projeleri İşi, Ulaşım A.Ş., 2011).

Aç-Kapa tünel açma yönteminin diğer yöntemlerden farkı tavanda tasman oluşmamasıdır. Bu nedenle çevredeki yapılara zarar vermeden geçilmesi mümkündür. Ayrıca diğer yöntemlerle yeteri kadar yapılamayan izolasyon işlemi bu yöntemle kolaylıkla yapılabilir.

7.2.2 Yukarıdan Aşağı (Top - Down) inşaat yöntemi

İstasyon yapılacak bölgenin yaya ve araç trafiğinin oldukça yoğun olan, dolayısı ile kısa zamanda yol, kavşak vb. üstyapıların bir an evvel hizmete açılması gereken koşullarda ve kazı nedeniyle çevreye olan etkisini minimuma indirmek amacıyla, "Top-Down" yani yukarıdan aşağıya doğru inşaat yöntemi uygulanabilir.

Türkiye'deki ilk uygulamalarda Otogar-Bağcılar-İkitelli Metrosu istasyonlarında yukarıdan aşağıya doğru inşa yöntemi tercih edilmiştir. İnşaat süresince oldukça zorlanacak olan kent içi ulaşımı ve araç trafiğinin, tünel kazıları esnasında daha büyük problemlerle karşılaşılmasını önlemek amacıyla trafik akışının en kısa sürede sağlanmasına gerek duyulması yukarıdan aşağıya yönteminin tercih edilmesinde en büyük etkenlerden biri olmuştur.

Yukarıdan aşağıya yönteminde, klasik uygulamaların tersine yapı yukarıdan aşağıya doğru inşa edilmekte, bu nedenle analiz ve tasarım hesapları da klasik yöntemlere kıyasla oldukça farklı olmaktadır. Şekil 7.5'te görüldüğü gibi yapıya ait tüm düşey elemanların (duvar ve kolonların) yerlerini belirleyen kılavuz duvarlar hazırlanmaktadır.

Daha sonra bu kılavuz duvarlar esas alınarak düşey elemanlar için dikdörtgen en kesitli modüllerden oluşan düşey elemanların kazıları yapılmakta, donatıları yerleştirmekte ve beton dökülmektedir.



Şekil 7.5 : Otogar - Bağcılar - İkitelli metro hattından Top-Down İstasyon.

Bir yandan zemin üst döşeme betonunun döküleceği seviyeye kadar kazılarak düzeltilirken aynı anda yapının duvarları ve kolonları için gerekli donatılar hazırlanır. Bu şekilde yatayda eni sabit, boyu farklı modüllerden inşa edilecek olan kolon ve diyafram duvarlar (yapının düşey elemanları) oluşturur.

Duvarı oluşturan modüllerin birbirlerine bağlantısı yalnızca döşeme plakları vasıtasıyla sağlanabilmekte, yatay donatıları süreksiz olmaktadır. Bu modüllerin, birbirlerine temas ettikleri yüzeylerindeki dişlerden oluşan kayma kamasının dışında bağımsız çalışacağı söylenebilir.

Daha sonra açığa çıkartılacak olan filizlerin arasına beton girmemelidir. Diyafram duvarlar dış toprak itkisinin yanı sıra, istasyon yapısının düşey yüklerini üstlenecek taşıyıcı elemanlar olarak düşünülebilir. Kolon ve diyafram yapılacak yapının alt kotuna kadar inilmelidir.

İstasyon binasının, üzerindeki yolun trafiğe açılabilmesi için öncelikle yapılması gereken işlemler özetle şu şekildedir:

Her bir modülün inşaatı, toprağın üst döşeme betonunun dökületeği seviyeye kadar kazılması, düşey elemanların (kolon ve diyafram duvarların) düzeltilmiş zeminin üzerine oturan kılavuz duvarlar yardımıyla hizalanarak kazılarının yapılması, daha sonra donatı indirilerek beton dökülmesi aşamalarından oluşmaktadır.

Birden fazla modülden oluşan diyafram duvarların oluşturulabilmesi için komşu modüllerin betonlarının priz alması ve yeterli mukavemete erişmesi gerekmektedir.

Oldukça büyük hacimlerde betonun dökületeği üst döşemede kesit tesirlerinin minimum olduğu bölgeler belirlenerek beton döküm safhaları ve sınırları belirlenmeli ve özel detaylar düşünülmelidir. Üst döşeme betonu döküldükten ve beton gerekli mukavemeti aldıktan sonra üzeri kapatılıp asfaltlanarak trafiğe açılabilir.

Üst döşemenin altında kalan toprak kazılmakta ve sistem döşemenin zati ağırlığı ile birlikte döşeme üzerindeki yükleri bir anda karşılamak durumunda kalmaktadır.

Bu safha sistemin en önemli ve tasarımı etkileyen yüklere maruz kaldığı safhalardan biridir. Kirişsiz olarak yapılan üst döşeme kendi ağırlığının yanı sıra tüm trafik yükünün ve toprak yükünün oluşturduğu tesirlere maruz kalır.

Kirişsiz mantar döşeme plağı, yükleri yapının düşey komponentlerine aktarmakta ve düşey elemanlar da bu yükü sürtünme vasıtasıyla ve birbirlerinden hemen hemen bağımsız çalışarak zemine aktarmaktadır.

Kazı derinleştikçe sürtünme kuvveti azalmakta buna karşı kazının tek taraflı yapılması nedeniyle düşey bileşenler yatay yüklere maruz kalmaktadır. Bu yatay yükler döşeme plağında düzlemsel gerilmeler oluşturmaktadır (Arlı, V., Kentiçi Raylı Sistemler, İstanbul, 2011)

8. ALTERNATİF METRO PROJELERİNDE EĞİMİN MALİYETLERE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

İstanbul'da Ulaşım Ana Planı öngörüleri doğrultusunda gelecekte hayata geçirilmesi planlanan; içerisinde tüm istasyon tiplerini barından (tünelde istasyon ve aç-kapa istasyon tipleri) yaklaşık 40km'lik metro hattının farklı boyuna eğimlerle, farklı araç tiplerinin (lastik tekerlekli metro aracı ve çelik tekerlekli metro aracı) kullanılma alternatifleri göz önünde bulundurularak güzergâhlar projelendirilerek;

İstasyonlardaki kot değişimleri tespit edilmiştir. Metronun Boyuna Eğim Probleminden dolayı İstasyon yapılamayan merkezi noktalara istasyon yapılıp yapılamayacağı irdelenmiştir. Söz konusu hususlardan doğacak istasyon maliyetindeki değişim hesaplanmıştır.

- Çelik tekerlekli raylı sistem araçları ile Lastik tekerlekli raylı sistem araçları arasındaki ilk yatırım maliyet farkları belirtilmiştir.
- Çelik tekerlekli raylı sistem hattı ile Lastik tekerlekli raylı sistem hattı arasındaki maliyet farkı ortaya konmuştur.
- Çelik tekerlekli raylı sistem hattı ile Lastik tekerlekli raylı sistem hattı işletme - bakım maliyetleri incelenmiştir.
- Güzergâh alternatifleri çalışılan hatların çelik tekerlekli metro sistemine ya da lastik tekerlekli metro sistemine göre dizayn edilmesi durumu detaylı bir şekilde karşılaştırılmıştır.

8.1.Güzergâh Alternatifleri

İstanbul'da Ulaşım Ana Planı verileri doğrultusunda öngörülen raylı sistem koridorları üzerinde yapılan güzergâh alternatifleri Şekil 8.1'de gösterilmektedir.



Şekil 8.1 : İstanbul geneli raylı sistem hatları ile proje çalışması yapılan alternatif.

Çalışılan iki alternatif için de toplam uzunluk 40.475 km olup, hattın İstanbul'un ulaşım sistemi üzerinde diğer raylı sistem hatlarına göre çok büyük etkisinin olması beklenmektedir. Her iki yakanın iç yolculuk talepleri üzerinde etkisi olan hat, aynı zamanda iki yaka arasında geçiş sağlaması ve bununla birlikte mevcut ve yapılması planlanan birçok hatla entegrasyonun bulunması özellikleriyle çok büyük potansiyele sahiptir.

Marmaray Projesi'nden sonra ikinci boğaz geçişi olarak planlanan hat Marmaray'da karşılaşılan şehirlerarası yolcu ve yük taşımacılığından etkilenme sorunundan muaftır. Sadece şehiriçi yolcu taşımacılığı için tasarlanan hat yük taşımacılığının gerektirdiği düşük eğim zorunluluğundan etkilenmemektedir.

Söğütlüçeşme-Kazlıçeşme Raylı Sistem Projesi (İstanbul Ring Metrosu) ile birçok önemli konut alanı ve iş alanı birbirlerine direkt olarak bağlanmış olacak; bu yönüyle aktarmalarda kaybedilen süreyi de ortadan kaldıran hat sahip olacağı yüksek sefer frekansıyla da bekleme sürelerini çok aza indirecektir.

8.2 Güzergâh Alternatiflerinin Karşılaştırılması

Güzergâh alternatifleri çelik tekerlekli ve lastik tekerlekli araç karakteristikleri ve tasarım kısıtları baz alınarak oluşturulmuştur.

Alternatifleri projelendirilen Söğütlüçeşme - Kazlıçeşme Raylı Sistem Hattı, Avrupa Yakasını Anadolu Yakasına bağlaması planlanan önemli bir metro projesidir. Bu hat, Anadolu Yakası'nda Kadıköy'de Kadıköy-Kartal Metro Projesiyle, yine Kadıköy'de Marmaray ve Metrobüsle, Göztepe D-100 Karayolu üzerinde 2012 yılı içerisnde işletmeye alınacak Kadıköy-Kartal Metro Hattı'yla, Ümraniye Meydan'da inşaatı devam eden Üsküdar-Çekmeköy Metro Hattı'yla entegre olacak şekilde tasarlanmaktadır. Hat Avrupa Yakası'na geçtikten sonra da Levent'te mevcut Yenikapı-Hacıosman Metro Hattı'yla, Kağıthane'de inşaat ihalesi aşamasında olan Kabataş-Mahmutbey Metro Hattı'yla, Gaziosmanpaşa Bereç'te mevcut Topkapı-Habibler Tramvay Hattı'yla, Sağmalcılar'da mevcut Yenikapı-Havalimanı LRT Hattı'yla, Topkapı'da mevcut Kabataş-Bağcılar Tramvay Hattı'yla, Zeytinburnu Meydan'da inşaat ihalesi aşamasında olan Yenikapı-İncirli Metro Hattı'yla ve Kazlıçeşme'de tekrar Marmaray'la entegre olacak şekilde tasarlanmıştır. Neredeyse İstanbuldaki tüm raylı sistem hatlarıyla entegre olması planlanan hat bu yönüyle tüm raylı sistem hatlarını birbirine entegre edici bir görev üstlenmekte ve aynı zamanda iki kıtayı birbirine bağlamaktadır.

Söğütlüçeşme-Kazlıçeşme raylı sistem hattının güzergâhı aşağıda özetlenmiş ve Şekil 8.2'de gösterilmiştir.

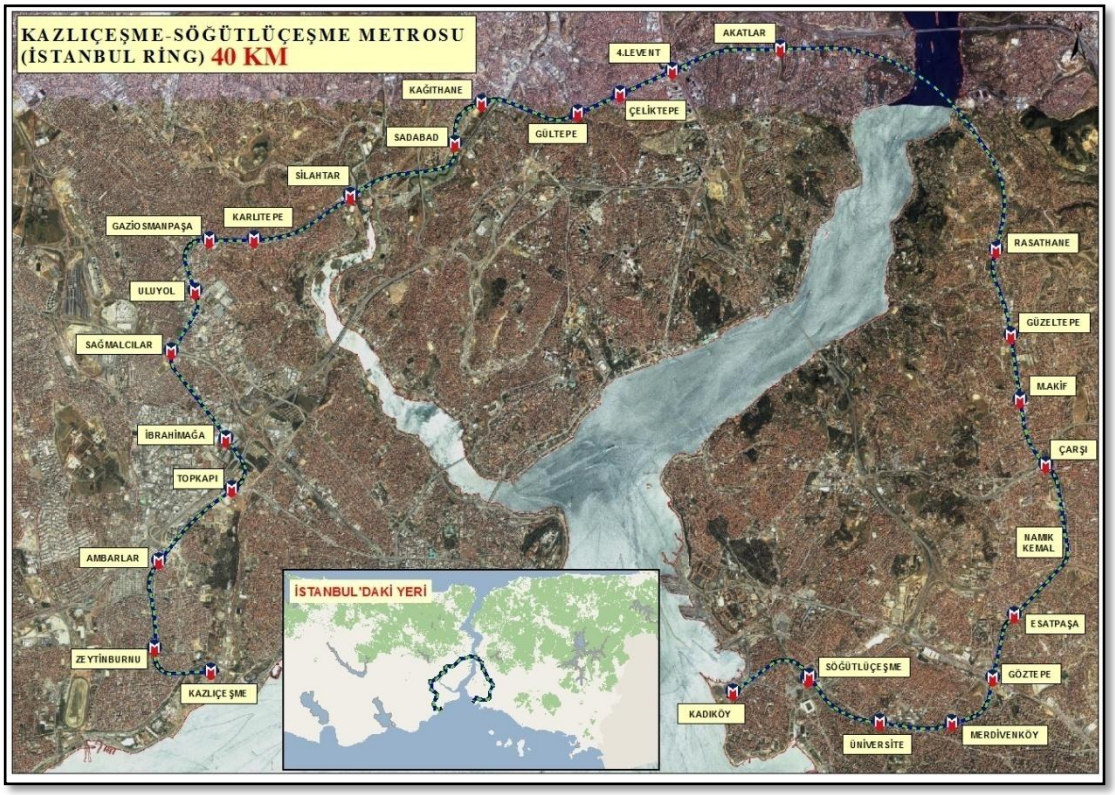
Projeye konu olan metro hattı, Anadolu Yakası'nda Söğütlüçeşme İstasyonu ile başlamaktadır. Bu noktada hattın Marmaray ve Metrobüse entegrasyonu bulunmaktadır. Bu noktadan %1.5'lik eğimle Doğu'ya doğru tırmanışa geçerek Üniversite-Ssk İstasyonu'na varılmaktadır.

Göztepe Devlet Hastanesi bahçesinde yeralan istasyon minibüs yoluna paralel 20 m derinlikte konumlanmıştır. Üniversite İstasyonundan Kuzey'e yönelen hat %1,2'lik eğimle tırmanışa devam ederek Merdivenköy İstasyonuna ulaşır. Merdivenköy İstasyonu Yine Göztepe Devlet Hastanesi'nin Merdivenköy binasının önünde caddeye paralel 27 m derinlikte konumlanır. Buradan %-4,2'lik eğimle Göztepe İstasyonu'na doğru inişe geçilir. Bu noktada Kadıköy Kartal Metro Hattı'yla entegre olan hat D-100 Göztepe Köprüsü'ne paralel 18 m derinlikte konumlanır.

Göztepe İstasyonu'ndan Kuzey'e %4,2'lik eğimle tırmanarak Esatpaşa İstasyonu'na varılır. 30m derinlikte yer alan Esatpaşa istasyonu'nundan yine kuzeye devam eden hat TEM bağlantı yolunun altından geçerek %4,2'lik eğimle tırmanarak 23m derinlikteki Namık Kemal İstasyonu'na varır. Namık Kemal İstasyonu'ndan Kuzey'e %2,8'lik eğimle tırmanışa devam ederek, Ümraniye Çarşı İstasyonu'na varan hat 45 m derinlikte Üsküdar Ümraniye Metro Hattı'yla entegre olacak şekilde konumlanır.

Bu noktadan Kuzey'e devam eden hat Alternatif -2 için 32 m derinlikteki Alternatif-1 için 25 derinlikteki Mehmet Akif İstasyonuna varır. Bu noktadan Alternatif-2 için %3,54'lük eğimle 41 m derinlikteki Alternatif-1 için %2.78'lik eğimle 18m derinlikteki Güzeltepe İstasyonu'na varır. Bu noktadan Batı'ya doğru yönelerek Alternatif-2 için %4,0'lık eğimle Boğaz altına dalışa geçerek 71m derinlikteki Levent İstasyonu'na, Alternatif 1 için %5'lik eğimle Boğaz altına dalışa geçmeden önce 44 metre derinlikteki Bahçelievler istasyonuna bir istasyon daha konumlandılır. Sonrasında %6,91'lik maksimum eğim ile İstanbul Boğazının altına dalışa geçerek 50 m derinlikteki Akmerkez İstasyonu'na varır. Akmerkez istasyonu sonrasında Alternatif-2 ile tekrar birleşeceği Levent istasyonuna devam eder. Bu noktada Yenikapı - Hacıosman Metro hattı'yla entegre olan hat tekrar Alternatif-2 için 1.55'lık eğimle inişe geçerek 31m derinlikteki Alternatif-1 için %3.1 lik eğimle 20 m derinlikteki Gültepe istasyonuna ulaşır.

Bir sonraki istasyon her iki alternatif için de Kağıthane İstasyonu, yakın gelecekte inşası planlanan Kabataş-Mahmutbey Metro Hattı'yla entegre olması planlanan hat %0,37'lik eğimle inişe devam ederek 19 m derinlikteki Sadabat İstasyonu'na varır. Buradan Haliç'in altından geçerek 19 m derinlikteki Silahtarağa İstasyonu'na varır. Bu noktadan %6,06'lık eğimle tırmanışa geçen hat 21 m derinlikteki Karlıtepe istasyonuna sonrasında da Gaziosmanpaşa İstasyonu'na varır. Buradan Batı'ya devam ederek 18m derinlikteli Uluyol İstasyonuna varan hat burada Topkapı Habibler Tramvay Hattı'yla entegre olur.



Şekil 8.2 : Proje çalışması yapılan raylı sistem hattı.

Buradan Güney'e devam ederek 24m derinlikteki Sağmalcılar İstasyonu'na varır. Sağmalcılar İstasyonu'nda Yenikapı Havalimanı LRT Hattı'yla entegre olan hat güney'e doğru devam ederek 19m derinlikteki Bayrampaşa İstasyonu'na varır. Daha sonra Güney'e devam eden hat Topkapı Gezi parkı'nda 20m derinlikteki Topkapı istasyonu'na varır. Bu noktada Zeytinburnu-Kabataş Tramvay hattı, Topkapı-Habibler Tramvay Hattı ve Metrobüs ile entegre olan hat 19m derinlikteki Ambarlar İstasyonu'na gider. Ambarlar İstasyonu'ndan Güney'e devam ederek 18m derinlikteki Zeytinburnu İstasyonu'na gelir. Bu noktada inşası planlanan Yenikapı-İncirli Metro Hattı'yla entegre olması planlanan hat buradan hattın son istasyonu olan 18.5m derinlikteki Kazlıçeşme İstasyonuna varır. Kazlıçeşme İstasyonu'nda Marmaray hattıyla entegre olan hat böylelikle İstanbul'un merkezinde yer alan neredeyse tüm raylı sistem hatlarıyla entegre olur ve bu raylı sistem hatlarını birbirlerine bağlayacaktır. Projelendirilen raylı sistem hattı kısaca İstanbul Ring Metrosu olarak isimlendirilmiştir.

Çelik tekerlekli hatta göre tasarım yapılırken max. eğim % 4.00, lastik tekerlekli hatta göre max. eğim % 6,91 baz olarak alınmıştır.

Çizelge 8.1 : Raylı sistem güzergâh alternatiflerinin karşılaştırılması.

Alternatifler	Eğim (Max.)	Boğaz Derinliği (Yüzeyden)	İstasyon Derinliği (Min.)	İstasyon Derinliği (Max.)	Hat Uzunluğu	İstasyon Karşılaştırması	İstasyon Sayısı
Kazlıçeşme-Söğütlüçeşme Hattı Lastik Tekerlekli Alternatif	6.91%	95m	18m	50m	40+475		28
Kazlıçeşme-Söğütlüçeşme Hattı Çelik Tekerlekli Alternatif	4.00%	95m	18m	71m	40+475	9 İstasyon Daha Derinde	25

Halihazır haritalar ve imar planları doğrultusunda İstanbul'da Anadolu yakasını Avrupa yakasına bağlayacak olan ve İstanbul ring olarak adlandırılan raylı sistem hattı güzergâh çalışmalarında iki farklı metro aracının eğim özelliğine göre hat ve istasyon dizaynı yapılmıştır.

Sonuç itibariyle, lastik tekerlekli metro aracının yüksek eğim çıkabilme özelliği sayesinde çelik tekerlekli metroya göre güzergâh üzerindeki en yoğun yerleşim, iş, eğitim, sağlık merkezlerinden üç tanesine daha istasyon konumlandırma imkânı vermiştir.

Ayrıca, yüksek eğim çıkabilme özelliğine sahip olan lastik tekerlekli metro aracının kullanılacağı alternatifte yolcuların platforma erişimini kolay ve hızlıca sağlayacak ve ortak olarak aynı noktalara konumlandırılan yeraltı istasyonlarından dokuzunun derinliği çelik tekerlekli alternatife göre daha az olacak şekilde planlanabilmektedir.

8.3 İstasyon Maliyetlerinin Karşılaştırılması

Raylı sistemlerin işletme yapıları inşaatı, sistemin zeminine, konumuna bağlı olarak birçok metotla yapılabilir. Özellikle yeraltında yapılan sistemlerin maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı, istasyon olacak bölge peron boyunca veya kısmi olarak da kazılabilir. Genelde aç-kapa yöntemi, tünelde istasyonlar için kısmi aç-kapa yöntemi kullanılmakta olup, özel durumlarda yukarıdan aşağıya (Top-Down) yöntemi de kullanılmaktadır.

Çizelge 8.2 : İstasyon maliyetlerinin karşılaştırılması (Kadıköy-Kartal Metro İnşaatı güncel verilerine göre hazırlanmıştır).

Değişken	Değişken Özellikleri		
İstasyon Yolcu Kapasitesi (kişi/saat/yön)	70000	70000	70000
İşletim Sistemi	8'li dizi	8'li dizi	8'li dizi
Platform İnşaat Yöntemi	Aç-Kapa	Tünelde	Tünelde
Platform Derinliği (m)	0- 20 m	20 m - 40 m arası	40 m ve üstü
Yaklaşık Maliyet	17.000.000 €	25.000.000 €	40.000.000 €

İstasyon maliyetlerinin sistemlerin toplam maliyetleri içerisindeki yeri, tercih edilen inşaat yöntemlerine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Örneğin, İstanbul Metrosunda yapılan imalatlardan elde edilen veriler ışığında Çizelge 8.2'deki yaklaşık maliyetler belirlenmiştir. İstasyonun aç-kapa, tünelde veya kısmi aç-kapa yöntemiyle inşa edilmiş olması ve yaklaşık derinliğine göre istasyon yapılarının maliyetleri değişmektedir.

Raylı sistem istasyonları çağdaş, işlevsel, ekonomik, uzun ömürlü, kentsel ve toplumsal özelliklere uygun üstün nitelikli tasarımlardır. Tüm istasyonların hem mevcut sistemlerle uyumlu olması hem de herbir istasyona çevresiyle uyumlu, ayrı bir kişilik kazandıracak özelliklere yer verilmesi sağlanmalıdır. Bu bağlamda, projelendirilen alternatif metro güzergâhlarında da farklı derinliklerde yaklaşık 30 istasyon mevcuttur. Yukarıda verilen tabloya göre istasyonlar sınıflandırılmıştır.

8.4 Raylı Toplu Taşıma Araç Maliyetlerinin Karşılaştırılması

Raylı sistem araçları teknolojisine, çekim gücü özelliğine, kontrol ve kılavuzlanmasına, tasarım özelliklerine (araç ağırlığı, oturan/ayakta yolcu oranı, klima), ivmelenme oranına, maksimum hız ve frenleme yöntemine, eğim çıkabilme özelliklerine, motor kontol tipine göre sınıflandırılmaktadır.

Raylı sistem araçları, otomatik zaman ayarlı, sabit tren aralığı ve manuel olarak üç ayrı modda kontrol edilebilen emniyet ve konforu birlikte sağlayan, arıza veya hatalı

kullanma durumlarında yolcu güvenliğini üst noktada tutacak şekilde araç hareketlerini denetleyen özelliklere sahiptirler.

Kentsel raylı sistemleri gerektiren temel neden lastik tekerlekli toplu taşıma sistemlerinin yetersiz kaldığı aşamadan itibaren ulaşım sorunlarının çözüm aracı olmasıdır.

Küçük kentler de talepleri karşılamak üzere caddelerde ve diğer trafikle içiçe hareket eden tramvaylar; büyük kentlerin ana eksenlerinde ve kendine özel yolu olan ve çoğu kez de yeraltından geçen metrolar hızla yaygınlaşmaktadır. Öte yandan, dünyadaki kentsel raylı sistemlere ilişkin gelişmelerden en önemlisi taşıtlarla ilgilidir. Bu gelişmeler de giderek bu araçların daha pahalı olması ve standartlaşmak yerine çeşitlenmesi yönünde olup, kentsel raylı sistemlerin yaygınlaşması karşısında ciddi bir engel oluşturacak niteliktedir.

Raylı toplu taşıma araçları oldukça yüksek maliyetli olup, raylı sistem ağı içerisinde kullanılan belli başlı raylı sistem araç maliyetleri Çizelge: 8.3'te gösterildiği gibidir.

Çizelge 8.3 : Raylı toplu taşıma araç maliyetlerinin karşılaştırılması (2011 yılı için İBB tarafından kullanılan global fiyatlardır).

Çelik Tekerlekli Metro Sistemi Aracı (yaklaşık 25 m boy, 3.05 m genişlik)	**Adet**	**1.500.000 $**
Lastik Tekerlekli Metro Sistemi Aracı (yaklaşık 11.2*2 m boy, 2.65~2.8m genişlik)	**Adet**	**1.900.000 $**
Hafif Raylı Sistemi Aracı (yaklaşık 30 m boy, 2.65 m genişlik)	**Adet**	**1.600.000 $**
Tramvay Aracı **(**yaklaşık 26,7 m boy, 2,6 m genişlik)	**Adet**	**2.000.000 $**
Havaray Sistemi Aracı (yaklaşık 14 m boy, 2.90 m genişlik)	**Adet**	**2.500.000 $**

Projelendirilen alternatif metro güzergâhlarında 1. Alternatifte lastik tekerlekli metro aracının, 2. Alternatifte çelik tekerlekli metro aracının kullanılacağı öngörülerek tasarım yapılmıştır.

8.5 Hat Maliyetlerinin Karşılaştırılması

Çelik tekerlekli metro ve lastik tekerlekli metro sistemlerinin her ikisi için de aynı büyüklükte (çapta) tünel açılması gerekmektedir. Buna göre tünel maliyetleri her iki sistem için de aynı olacaktır.

Lastik tekerlekli metro aracı ray bağlantısı, çelik tekerlekli metro aracı ray bağlantısına göre daha komplikedir. Ancak herhangi bir ek maliyet oluşturmamaktadır.

8.6 Çelik Tekerlekli Metro ve Lastik Tekerlekli Metro Sistemlerinin Bakım ve İşletme Maliyetlerinin Karşılaştırılması

Metro sistemlerinin bakım maliyetlerine bakıldığında üstyapı sistemi doğru olarak seçilen sistemlerin bakım maliyetlerinin daha az olduğu görülmektedir. Kentiçi raylı sistemlerde hat bakımları gündüz hat enerjili olduğundan dolayı gece yapılmaktadır.

İleriki yıllarda nüfus artışı ve buna bağlı olarak artan trafik artışı göz önüne alındığında, bakım süreleri kısalacağından maliyet daha da artacaktır ve daha kısa süreli bakıma ihtiyaç duyulan sistemler seçilmelidir.

Çizelge 8.4 : İşletme birim maliyetleri (2010 yılı işletmeci şirketin (Ulaşım A.Ş.) verilerine göre).

2010 YILI İŞLETME BİRİM MALİYETLERİ				
	TRAMVAY	**LRT**	**METRO**	**GENEL**
ENERJİ (USD/Taşıt-Km)	0,54	0,43	0,77	0,51
ARAÇ BAKIM-ONARIM (USD/Taşıt-Km)	0,06	0,08	0,11	0,08
HAT BAKIM (USD/Km)	14.130	19.269	16.301	16.810
KİRA GİDERLERİ (USD/YIL)	6.348.958	5.542.078	3.896.981	17.301.125
PERSONEL GİDERLERİ (USD/YIL)	12.838.147	11.646.989	8.675.021	38.352.337
GENEL GİDERLERİ (USD/YIL)	749.081	552.616	513.528	2.092.247

Hat bakım maliyetleri sistemin taşıdığı yolcu sayısına, yaptığı sefer sayısına göre değişkenlik gösterecektir. Çizelge 8.5'te verilen birim maliyetler ve metro araçlarının yıllık yapacağı araç-km değerleri kullanılarak yıllara göre işletme maliyetleri hesaplanmıştır.Yıllık enflasyon artışı göz önünde bulundurularak 2030 yılına kadar işletme giderleri Çizelge 8.5'te gösterilmiştir. Hat bakım maliyeti; araçların yaptığı sefer sayısına göre değişkenlik gösterecektir. Birim maliyetler ve metro araçlarının

yıllık yapacağı araç-km değerleri kullanılarak yıllara göre işletme maliyetleri hesaplandı.

Araç-km = (Günlük Sefer Sayısı x Hat km x Hatta Çalışan Araç Sayısı)

2 x 40 / 40=2 saat

2 sa x 60 = 120 dak. (tam tur süresi)

120 / 4 dk. = 30 dizi

30 dizi x 4 = 120 araç gerekli.

Hatta Çalışan Araç Sayısı = (Tam Tur Uzunluğu / İşletme hızı / Sefer aralığı) x Dizideki Araç Sayısı

Günlük işletme süresi 18 saat olacağından 18 x 60=1080 dk.

1080 / 6dk = 180 günlük sefer

180 x 320 = 57600 yıllık sefer

57600 x 40 x 2 x 4 = 18.432.000 Yıllık Araç – km

Çizelge 8.5 : İşletme giderleri (Çelik Tekerlekli Alternatif).

İsletme Maliyetleri (USD)							
Yıl	**Araç-km**	**Enerji ($)**	**Araç Bakım ($)**	**Yol Bakım ($)**	**Personel ($)**	**Diğer ($)**	**Toplam ($)**
1	18.432.000	14.235.354	1.946.244	205.391	13.685.910	3.007.290	33.080.189
2	18.432.000	14.520.061	1.985.169	209.499	13.959.628	3.067.436	33.741.792
3	18.432.000	14.810.462	2.024.872	213.689	14.238.821	3.128.784	34.416.628
4	18.432.000	15.106.671	2.065.370	217.962	14.523.597	3.191.360	35.104.961
5	18.432.000	15.408.805	2.106.677	222.322	14.814.069	3.255.187	35.807.060
6	18.432.000	15.716.981	2.359.478	226.768	15.110.351	3.341.358	36.754.936
7	18.432.000	16.031.320	2.666.210	231.303	15.412.558	3.434.139	37.775.531
8	18.432.000	16.351.947	3.012.818	235.930	15.720.809	3.532.150	38.853.653
9	18.432.000	16.678.986	3.404.484	240.648	16.035.225	3.635.934	39.995.277
10	18.432.000	17.012.565	3.847.067	245.461	16.355.930	3.746.102	41.207.126
11	18.432.000	17.352.817	1.831.732	250.370	16.683.048	3.611.797	39.729.764
12	18.432.000	17.699.873	1.868.367	255.378	17.057.908	3.688.152	40.569.677
13	18.432.000	18.053.870	1.905.734	260.485	17.756.580	3.797.667	41.774.337
14	18.432.000	18.414.948	1.943.849	265.695	18.111.712	3.873.620	42.609.824
15	18.432.000	18.783.247	1.982.726	271.009	18.473.946	3.951.093	43.462.020
16	18.432.000	19.158.912	2.022.380	276.429	18.843.425	4.030.115	44.331.261
17	18.432.000	19.542.090	2.062.828	281.958	19.220.294	4.110.717	45.217.886
18	18.432.000	19.932.932	2.104.084	287.597	19.604.700	4.192.931	46.122.244
19	18.432.000	20.331.590	2.146.166	293.349	19.996.794	4.276.790	47.044.688
20	18.432.000	20.738.222	2.189.089	299.216	20.396.729	4.362.326	47.985.582
21	18.432.000	21.152.987	2.232.871	305.200	20.804.664	4.449.572	48.945.294
22	18.432.000	21.576.046	2.277.528	311.304	21.220.757	4.538.564	49.924.200
23	18.432.000	22.007.567	2.323.079	317.530	21.645.172	4.629.335	50.922.684
24	18.432.000	22.447.719	2.369.541	323.881	22.078.076	4.721.922	51.941.137
25	18.432.000	22.896.673	2.416.931	330.358	22.519.637	4.816.360	52.979.960

Lastik tekerlekli metro alternatifi için işletme maliyetleri %20 arttırılacaktır (Raylı sistem araçları üreticisi ALSTOM Transport A.Ş.'den alınan verilere göre).

Uzun mesafeler boyunca elektrik güç iletimi, yüksek voltajlı üç fazlı AC (alternatif akım) ile efektif olmaktadır. Belirli bir güç değeri için yüksek voltaj, akımın düşmesine ve daha az direnç kaybına neden olur. Kentiçi raylı sistemlerde katener veya 3. raydan beslenen 600-1500V DC (doğru akım) kullanılır. Motorlar doğru akım veya alternatif akım ile beslenir.

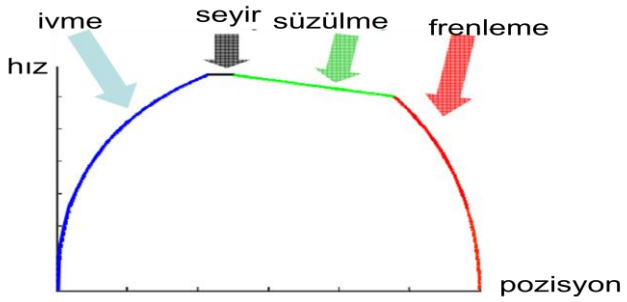
Trafolar alternatif akımı doğru akıma dönüştürür, voltajı düşürür ve daha düşük doğru akım güç iletim mesafesini azaltır. Kayıpları daha fazla azaltmak için Hong Kong gibi bazı metrolarda 1500 V kullanılmaktadır. Tasarım kriterlerine göre trafo ile araç arasındaki voltaj kaybı en kötü durumda %30 olmalıdır. 750 V yerine 1500 V kullanılırsa voltaj kaybı yarıyarıya azalmakta ve trafolar arası mesafe 4 katına çıkabilmektedir. 750 V için tipik trafolar arası mesafe 1.5 km iken 1500 V için bu değer 6 km olabilmektedir. 15 dakika sefer aralığı ve 30 km/sa işletme hızı için trafolar arası mesafe 7.5 km olabilmektedir.

Birim enerji tüketiminde en önemli faktör, araç doluluk oranı (yolcu-km/araç-km) değeridir. Raylı sistem araçlarının doluluk oranları diğer modlara göre daha fazla olsa da toplam enerji tüketimi büyük miktarlardadır. Bu nedenle enerji tüketimini azaltmak ve verimliliği arttırmak için teknolojik ve işletmesel araştırmalar yapılmaktadır. Enerji tüketimi, araç özellikleri, yol kullanm hakkı (Teknoloji özellikleri, kılavuzlanma ve mesnetlenme tipi) ve işletme özellikleri (işletme takvimi, trafik şartları, istasyon aralığı, ekspres servis, kısmen ve tam ayrılmış hatta farklı ivme oranları) olmak üzere üç temel gruba bağlıdır (Öztürk Z., Raylı Taşımada Enerji Kullanımı ve Hava Kirliliği, 4. Ulaşım ve Trafik Kongresi, Ankara, TMMOB, Eylül 2003).

Çizelge 8.6 : Raylı sistemlerde enerji tüketimini etkileyen kriterler, (Martin, D.J. and Shock, R.A.W. "Energy use and efficiency in UK., 1989).

Hat Karakteristikleri	**İşletme Karakteristikleri**
Uzunluk	İşletme frekansı
Gradyen/ Kurplar	İşletme hızı
İstasyon sayısı	Süzülme mesafesi
Hemzemin geçitler	Kapı açılımı
Manevra alanı	
İstasyon karakteristikleri	**Sabit Tesis Karakteristikleri**
Yüzey aydınlatma	Kablolardaki kayıplar(dirençler)
Yer altı aydınlatma	Raylardaki kayıplar(dirençler)
Elektronik ekipman	Anahtar ısınması
Elektromekanik ekipman	Ray sinyalizasyonu
Araç Karakteristikleri	**Talep Karakteristikleri**
Motor Karakteristikleri (güç)	Yolcu sayısı
Kabin boyutu/kapasite	Yolcu.km
Rejeneratif frenleme	Yük hacmi (ton - km)
Kapıların sayısı ve boyutu	**İklim Karakteristikleri**
Ventilasyon ısıtma	Ortalama sıcaklık
Aracın boş ağırlığı	Don yapan günlerin sayısı

Klasik frenlemenin enerji üretimine bir etkisi yoktur ancak dinamik frenlemeden elde edilen enerji, araç ısıtmada veya yardımcı sistemlerde kullanılır. Son zamanlarda yapılan elektronik kontrollü rejeneratif frenleme negatif enerji tüketimi sağlar yani ürettiği enerjiyi güç iletim hattına geri döndürür.



Şekil 8.3 : Raylı sistemlerde optimum enerji tüketimi sürüşü (International energy Agency, Key World Energy Statistics, 2006).

Enerji tüketimi ile yolculuk süresi arasında ters ilişki vardır. Örneğin 70 saniye sürmesi planlanan bir yolculuğun 60 saniyeye düşürülmesi enerji tüketimini %40

arttırırken, 80 saniyeye arttırılması ile enerjiden %25 tasarruf sağlanacaktır. Buna göre, optimum işletme planı yapıldığı takdirde önemli tasarruflar sağlanacaktır.

İşletme maliyetini oluşturan başlıca unsurlar: personel giderleri, bakım – onarım, yenileme çalışmaları ve enerji harcamalarıdır. İşletme harcamaları temel olarak üç ana grupta toplanabilir:

Çizelge 8.7 : Ulaşım modlarının işletme giderleri.

TÜR	Mesafeye Bağlı Maliyet ($/araç-km)	Zamana Bağlı Maliyet ($/araç-saat)	Yola Bağlı Maliyet ($/km-gün)
Otobüs	0.3-0.5	12-18	2-20
HRS	1-1.5	8-12	150-200
Metro	0.9-1.4	2-13	600-900

Mesafeye bağlı işletme giderleri: Araçların enerji, bakım – onarım giderleri ve birimi araç-km dir.

Zamana bağlı giderler: Çalıştırılan personel maliyetidir ve birimi araç-saat'tir.

Yola bağlı giderler: İstasyon, sinyalizasyon, katener ve hat bakım-onarım giderleridir ve km-gün veya km-yıl olarak hesaplanır.

Çizelge: 8.8 Ulaşım modlarının işletme maliyetleri.

TÜR	İşletme Maliyeti ($/yolcuxkm)
Otobüs	0.02-0.05
Metrobüs	0.05-0.08
Tramvay	0.03-0.10
HRS	0.10-0.15
Metro	0.15-0.25

Ulaşım türlerinin işletme maliyetleri yolcu-km cinsinden de hesaplanmaktadır. Ancak, bu çalışmada araç-km değerleri kullanılmıştır.

8.7 Çelik Tekerlekli Metro ve Lastik Tekerlekli Metro Araçları Kullanılarak Projelendirilen Güzergâhların Tüm Maliyetlerinin Karşılaştırılması

Lastik tekerlekli metro aracının yüksek eğim çıkabilme özelliği sayesinde çelik tekerlekli metroya göre güzergâh üzerindeki yoğun yerleşim, iş, eğitim, sağlık merkezlerinden üç tanesine daha istasyon konumlandırma imkanı vermiştir.

Ayrıca, yüksek eğim çıkabilme özelliğine sahip olan lastik tekerlekli metro aracının kullanılacağı alternatifte yolcuların platforma erişimini kolay ve hızlıca sağlayacak ve ortak olarak aynı noktalara konumlandırılan yeraltı istasyonlarından on dokuz tanesi 0 m - 20 m arası derinlikte, yedi tanesi 20 m – 40 m arası derinlikte, iki tanesi de 40 m üzeri derinlikte olmak üzere toplam 28 istasyon planlanmıştır. Çelik tekerlekli olan diğer alternatifte ise on dört tanesi 0 m - 20 m arası derinlikte, sekiz tanesi 20 m – 40 m arası derinlikte, üç tanesi de 40 m üzeri derinlikte olmak üzere toplam 25 istasyon planlanmıştır. Planlanan istasyonlar genel olarak değerlendirildiğinde, dokuzunun derinliği lastik tekerlekli alternatifte, çelik tekerlekli alternatife göre daha az olacak şekilde projelendirilebilme olanağı sağlanmıştır.

Çelik tekerlekli alternatifte istasyonun aşırı derin olması ve istasyon güvenliğinin sağlanamamasından dolayı istasyon yapılamayan 3 merkez 40 m üzeri istasyon modeli olarak hesap yönteminde kullanılmıştır.

Hat yapım maliyetlerinin her iki araç için de aynı olacağı kabul edilmiş ve hesaba katılmamıştır.

Birim maliyetler ve metro araçlarının yıllık yapacağı araç-km değerleri kullanılarak yıllara göre işletme-bakım maliyetleri hesaplanmıştır. Yıllık enflasyon artışı göz önünde bulundurularak 2030 yılına kadar işletme giderleri hesaplanmıştır.

Yapılan çalışmalar ve elde edilen veriler çerçevesinde Çizelge 8.9'da projelendirilen çelik tekerlekli metro ve lastik tekerlekli metro alternatifleri karşılaştırılmıştır.

İlk yatırım maliyetleri bir defaya mahsus olmak üzere tabloda gösterilmiştir. İşletme giderlerinin ise ilk 10 yıllık dönemi hesaba katılmıştır.

10 yıl sonunda, ilk yatırım maliyeti daha yüksek olan çelik tekerlekli metro alternatifinin işletme bakım giderlerinin lastik tekerlekli metroya göre %20 daha az olması nedeniyle toplam yatırım maliyetinin aynı değere ulaştığı görülmektedir.

Çizelge 8.9 : Alternatiflerin ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin karşılaştırılması.

Hatların İlk Yatırım ve İşletme Maliyetlerinin Karşılaştırılması						
Hat Tipi	**Lastik Tekerlekli Alternatif**			**Çelik Tekerlekli Alternatif**		
İstasyon Tipi	**0 - 20 m Aç - Kapa İstasyon Tipi**	**20 m - 40 m Tünelde İstasyon Tipi**	**40 m ve üzeri Tünelde İstasyon Tipi**	**0 - 20 m Aç - Kapa İstasyon Tipi**	**20 m - 40 m Tünelde İstasyon Tipi**	**40 m ve üzeri Tünelde İstasyon Tipi**
İstasyon Sayısı	**19**	**7**	**2**	**14**	**8**	**6**
İstasyon Yaklaşık Maliyetleri	17,000,000.00 €	25,000,000.00 €	40,000,000.00 €	17,000,000.00 €	25,000,000.00 €	40,000,000.00 €
Toplam İstasyon Maliyetleri	323,000,000.00 €	175,000,000.00 €	80,000,000.00 €	238,000,000.00 €	200,000,000.00 €	240,000,000.00 €
Araç Maliyetleri	1,450,000.00 €			1,150,000.00 €		
Araç Sayısı	120			120		
Toplam Araç Yatırım Maliyeti	174,000,000.00 €			138,000,000.00 €		
10 yıllık İşletme Maliyeti	455,638,670.41 €			379,698,892.01 €		
Toplam Yatırım Maliyeti	1,207,638,670.41 €			1,195,698,892.01 €		

9. SONUÇ

Raylı toplu taşıma sistemleri tüm kentin arazi kullanım ve ulaşım yapısını etkileyen, yüksek maliyetli, büyük yatırımlar olup, kent ölçeğinde hazırlanan arazi kullanım planları ile uyumlu makro ulaşım planları doğrultusunda karar verilmektedir. Bununla ilgili olarak fizibilite etütleri ve sistem özelliklerinin gerektirdiği kriterlere göre projelendirilmekte oldukları giriş bölümünde belirtilmiştir.

Çalışmanın amacı olan İstanbul'da Ulaşım Ana Planı öngörüleri doğrultusunda gelecekte hayata geçirilmesi planlanan; içerisinde tüm istasyon tiplerini barından yaklaşık 40 km'lik Kazlıçeşme–Söğütlüçeşme metro hattının güzergâh alternatifleri çelik tekerlekli metro sistemine ve lastik tekerlekli metro sistemine göre dizayn edilerek, çelik tekerlekli raylı sistem araçları ile lastik tekerlekli raylı sistem araçları arasındaki ilk yatırım maliyetleri (araç, hat, inşaa maliyetleri) karşılaştırılmış, çelik tekerlekli raylı sistem hattı ile lastik tekerlekli raylı sistem hattı işletme-bakım maliyetleri detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Yüksek eğim çıkabilme özelliğine sahip olan lastik tekerlekli metro aracının kullanılacağı alternatifte yolcuların platforma erişimini kolay ve hızlıca sağlayacak ve ortak olarak aynı noktalara konumlandırılan yeraltı istasyonlarından on dokuz tanesi 0 m - 20 m arası derinlikte, yedi tanesi 20 m – 40 m arası derinlikte, iki tanesi de 40 m üzeri derinlikte olmak üzere toplam 28 istasyonun yaklaşık maliyeti 578 milyon € hesaplanmıştır. Çelik tekerlekli olan diğer alternatifte ise on dört tanesi 0 m - 20 m arası derinlikte, sekiz tanesi 20 m – 40 m arası derinlikte, üç tanesi de 40 m üzeri derinlikte olmak üzere toplam 25 istasyonun yaklaşık maliyeti 678 milyon € hesaplanmıştır.

Çelik tekerlekli alternatifte istasyonun aşırı derin olması ve istasyon güvenliğinin sağlanamamasından dolayı istasyon yapılamayan 3 merkez 40 m üzeri istasyon modeli olarak hesap yönteminde kullanılmıştır.

- Çelik tekerlekli metro araçlarında kullanılan kısıtlı boyuna eğim kriterinden dolayı, istasyon yapılamayan merkezi noktalara lastik tekerlekli metro araçları ile istasyon yapılıp yapılamayacağı irdelenmiştir.
- İstasyonların derinlik ve tiplerinin değişmesi nedeniyle lastik tekerlekli metro alternatifinin toplam istasyon maliyetlerinin, çelik tekerlekli metro alternatifinin toplam istasyon maliyetinden yaklaşık 100 miyon € daha az olduğu hesaplanmıştır.
- Çelik tekerlekli raylı sistem araçları ile Lastik tekerlekli raylı sistem araçlarından hattın ilk işletmeye alındığı tarihte 120 adet gerekli olacağı daha sonraki yıllarda yolcu sayılarına göre araç sayılarının arttırılabileceği öngörüsü doğrultusunda lastik tekerlekli araçlar için 36 milyon € daha fazla ödeneceği belirlenmiştir.
- İşletme-bakım maliyetleri detaylı bir şekilde incelenmiş ve hattın yıllık işletme-bakım maliyeti yaklaşık 35 milyon € olarak hesaplanmıştır. Hattın inşaasının yapılıp işletmeye açıldığı ilk 10 yıllık işletme - bakım maliyetleri de eklenerek iki sistem arasında ayrıntılı bir analiz ve karşılaştırmaya dayanan değerlendirme yapılmıştır.
- 10. yıl sonunda, ilk yatırım maliyeti daha yüksek olan çelik tekerlekli metro alternatifinin işletme-bakım giderlerinin lastik tekerlekli metroya göre % 20 daha az olması nedeniyle kümülatif toplam yatırım maliyetinin aynı değere ulaştığı tespit edilmiştir.

Proje çalışmaları yapılan Kazlıçeşme-Söğütlüçeşme raylı sistem hattı güzergâhında "Lastik Tekerlekli Metro" alternatifinin hayata geçirilmesi durumu; uzun yıllar boyunca işletileceği düşünüldüğünde şuan ki teknolojik gereklilikler çerçevesinde "Çelik Tekerlekli Metro" ya göre ilk yatırım maliyetinin daha düşük olmasına karşın, işletme - bakım maliyetlerinin daha yüksek olması nedeniyle fizibil olmadığı görülmektedir.

Araç üreticisi firmaların yaptığı çalışmalar ve araştırmalar göstermektedir ki, lastik tekerlekli metro araçlarının işletme ve bakım giderleri daha da düşürülecektir.

Ancak, Lastik tekerlekli metro aracının yüksek eğim çıkabilme özelliği sayesinde çelik tekerlekli metroya göre projelendirilen aynı güzergâh üzerindeki yoğun

yerleşim, iş, eğitim, sağlık merkezlerinden üç tanesine daha istasyon konumlandırma imkanı vermiştir. Buna göre, insan odaklı ulaşımı hedefleyen, erişilebirliğin yüksek seviyede olduğu raylı sistemlerin bir parçası olarak değerlendirilen Lastik tekerlekli metronun uzun vadede İstanbul ulaşımı açısından büyük fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

(1993). British Railway Track – Design, Construction and Maintenance Sixth Edition.

(1997). London Transport Annual Report - 1996/1997-Operating Statistics Press, London Transport Official.

(2000). American Public Transit Association, Public Transportation Fact Book, 51th edition, Passengers and Vehicle Statistics, Washington D.C.

(2006). International energy Agency, Key World Energy Statistics.

(2009). ALSTOM, Rubber Tyres Metros Report.

(2009). Türkiye 11.Enerji Kongresi, Tepekule, İzmir.

(2010). Hafif Raylı Sistem Kriterleri, T.C. Ulaştırma Bakanlığı Demiryolları Limanlar Havaalanları Yapım Genel Müdürlüğü.

(2010). Kentiçi Ulaşım ve Gelişmiş Büyükşehirlerde Ulaşım Yönetimi Sempozyum Raporu.

(2011). İstanbul Ulaşım Ana Planı Raporu.

Alstom., (2002). Track Work Maintenance Manuel, İstanbul.

Arlı, V. (2011). Kentiçi Raylı Sistemler, İstanbul.

Banister, D. (1994). Transport Planning**,** London.

Brand, C. and Preston, J. (2003). The Supply of Public Transport

Bulutlar, E., (1984). "Tünel Güzergâh Seçimi ve Tünel İnşaatına Kadar Yapılan Araştırmalar", E.i.E., Ankara.

Candemir, I., (2000). Capacity Calculations of Rapid Rail Systems and Capacity Analysis of İzmir Light Rail Transit System, Master of Science Thesis, İzmir.

Candemir, I.; Tanyel, S. (2005). "Hızlı Raylı Sistemlerin Yolcu Taşıma Kapasite Hesaplamaları ve Türkiye'deki Benzer Sistemlerin Birbirleriyle Karşılaştırılması", 6.Ulaştırma Kongresi ; 23-25 Mayıs 2005, İstanbul.

DB AG. "Environmental Guideline for the procurement of new rolling stock, outcome of the UIC project"

DPT; (2001). Kamu Yatırımlarının Planlanması ve Uygulanmasında Etkinlik Özel İhtisas Komisyonu Raporu

ENV-13803-1, Railway applications-Track-Track alignment design parameters.

Esveld, C. (2001). Modern Railway Track, Delft University of Tech. Netherlands.

Felkel, J. (2009). World Headquarters for Passenger Coaches and Metro Vehicles.

Fleischer, G. (2000). Project "Bahnkreis" Sustainable development for rail vehicles.

Garbutt, P. (1997). World Metro Systems. Second Edition, pp.76-126, Capital Transport Publishing

Martin, D.J. and Shock, R.A.W. (1989). "Energy use and efficiency in UK.

Murteza, M. ve Ayözen, Y. E. (2011). Kabataş-Mahmutbey Metro Hattı Ekonomik ve Mali fizibilite Etüdü-YİD Yapılabilirlik Etüdü, İstanbul Büyükşehir Belediyesi.

NFPA., 130 Standart for Fixed Guideway Transit Passenger Rail Systems.

Öztürk, Z. ve Arlı, V. (2009). Demiryolu Mühendisliği, Sembol Basım ve Yayıncılık, İstanbul.

Öztürk Z., (2003). Raylı Taşımada Enerji Kullanımı ve Hava Kirliliği, 4. Ulaşım ve Trafik Kongresi, Ankara, TMMOB, Eylül.

Seyhanlı, İ. (2011). Kişisel görüşme, Alstom, Turkey.

Simpson, B.J. (2004). Urban Public Transport Today, E&FN Spon, London.

Sislak, K. G. (2000). Bus rapid transit as a substitute for light rail transit: A tale of two cities. Presented at the APTA/TRB 8th Joint Conference on Light Rail Transit.

Suusman, J. (2000). "Introduction to Transportation Systems", Boston and London.

Toprak, R. (2008). Şehir İçi Raylı Ulaşım Sistemleri.

TS-12127, Raylı Taşıma Sistemleri (Yeraltı İstasyon Tesisleri Tasarım Ölçütleri. *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

TS-12186, Raylı Taşıma Sistemleri. *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

Url-1<*http://www.istanbul-ulasim.com.tr*>, alındığı tarih: 28.09.2010.

Url-2<*http://www.tcdd.gov.tr*>,alındığı tarih: 28.09.2010.

Url-3<*http://www.ubak.gov.tr*>,alındığı tarih: 23.06.2011.

Url-4<*http://www.ekutup.dpt.gov.tr/yatirim/oik573pdf*>,alındığı tarih: 13.06.2010.

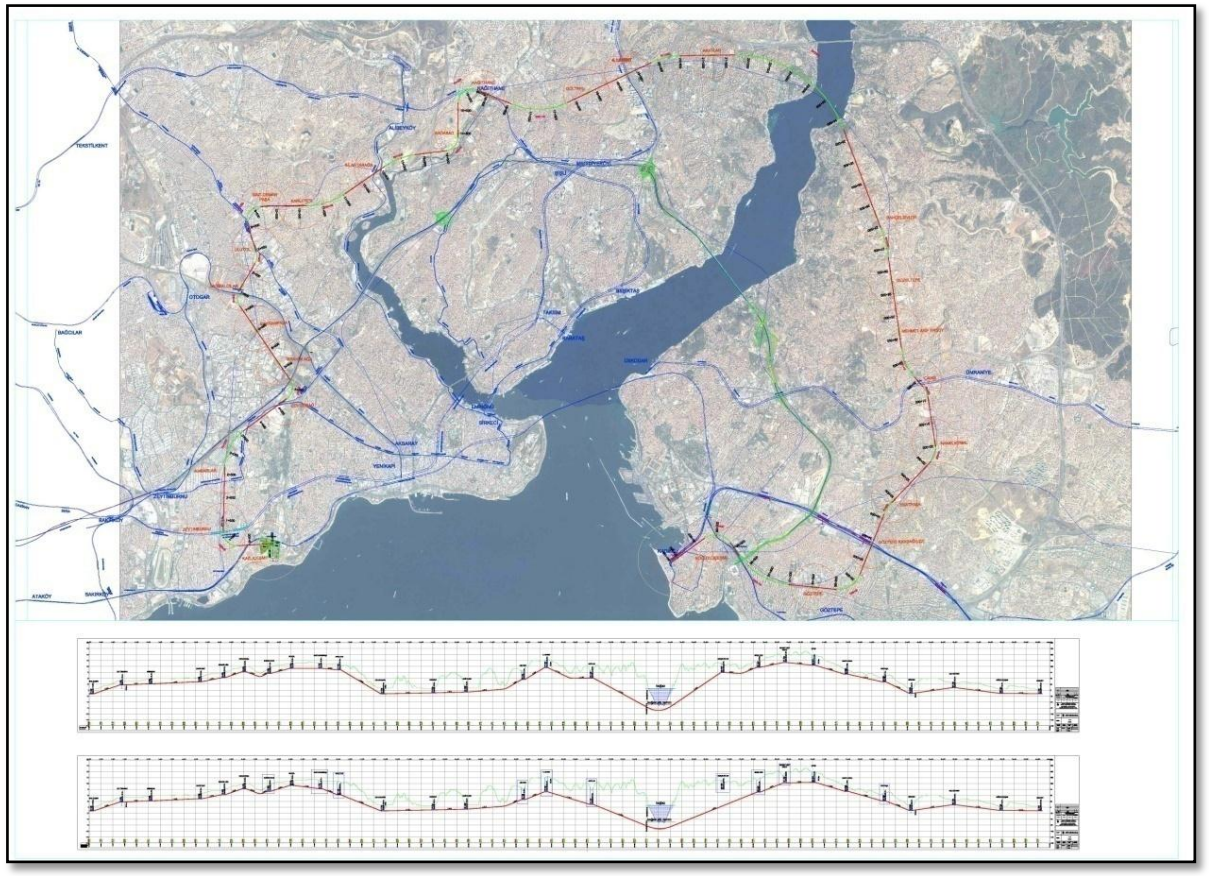
Url-5<*http://en.wikipedia.org/wiki/Rubber-tyred_metro*>,alındığı tarih: 20.06.2010.

Url-6<*http://www.siemens.com/transportation/mass-transit*>, tarih: 20.06.2010.

Url-7<*http:// www.rail-energy.eu* >, tarih: 20.05.2011.

EKLER

EK A.1 : Alternatiflere ait plan-profil haritası.





ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Yunus Emre AYÖZEN

Doğum Yeri ve Tarihi: Edirne - 28.09.1986

Adres: Barış Mah. Mehmetçik Sok. Ginza Lavinya Park E-383 Beylikdüzü/İST.

E-Posta: ayozen@gmail.com

Lisans: Sakarya Üniversitesi-İnşaat Mühendisliği

Mesleki Deneyim: İBB-Ulaşım Daire Başkanlığı (2008-….)

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR