

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MONORAY SİSTEMLERİ,
TÜRKİYE'DEKİ YATIRIM SÜREÇLERİ VE
YEREL YÖNETİMLERİN MONORAYA YAKLAŞIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emre MEMİŞ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Mühendisliği Programı

ARALIK 2016

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MONORAY SİSTEMLERİ,
TÜRKİYE'DEKİ YATIRIM SÜREÇLERİ VE
YEREL YÖNETİMLERİN MONORAYA YAKLAŞIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Emre MEMİŞ
(501091434)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Pelin ALPKÖKİN

ARALIK 2016

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501091434 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Emre MEMİŞ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “MONORAY SİSTEMLERİ, TÜRKİYE'DEKİ YATIRIM SÜREÇLERİ VE YEREL YÖNETİMLERİN MONORAYA YAKLAŞIMI”başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yrd. Doç. Dr. Pelin ALPKÖKİN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Yrd. Doç. Dr. Ilgın GÖKAŞAR**
Boğaziçi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Şükriye İYİNAM
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 02 Aralık 2016
Savunma Tarihi : 23 Aralık 2016





Aileme,



ÖNSÖZ

Bu çalışmanın hazırlanmasında, ilgi ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Yrd. Doç Dr. Pelin ALPKÖKİN'e teşekkürlerimi sunarım.

Aralık 2016

Emre MEMİŞ
(Şehir Plancısı)





İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Literatür Araştırması	2
2. KENT İÇİ RAYLI SİSTEMLER	7
2.1 Raylı Sistem Özellikleri ve Tercih Edilme Kriterleri.....	9
2.1.1 Teknolojik kriterler	9
2.1.2 Ekonomik kriterler	11
2.1.3 Kentsel ve çevresel kriterler.....	13
2.2 Kent İçi Raylı Sistem Türleri	15
2.2.1 Banliyö	15
2.2.2 Metro	16
2.2.3 Hafif raylı sistemler	16
2.2.4 Monoray	17
2.2.5 Füniküler	18
2.2.6 Tramvay	18
3. MONORAY SİSTEMLERİ	21
3.1 Monoray Sistem Tipleri	22
3.1.1 Askı tipi monoray.....	22
3.1.2 Bindirme tip monoray	24
3.2 Monoray Sistemlerinin Genel Özellikleri	25
3.2.1 Monoray sistem elemanları ve özellikleri	25
3.2.2 Diğer özellikler	29
3.3 Monoray Araç Teknolojii	33
3.3.1 Hitachi	33
3.3.2 Bombardier.....	35
3.3.3 Malaysia monorail.....	37
3.3.4 Monoray araçlarının karşılaştırılması	37
3.4 Monoray Maliyetleri	38
3.4.1 Yatırım maliyetleri	38
3.4.2 İşletme maliyetleri.....	41
3.5 Monoray ve Diğer Kent İçi Raylı Sistemlerin Karşılaştırılması	43
3.5.1 Monoray sistemlerinin avantaj ve dezavantajları.....	44
4. MONORAY ÖRNEKLERİNİN İNCELENMESİ	47
4.1 Yurtdışı Örnekleri	47

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliđi
AC	: Alternatif Akım
AYGM	: Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü
B/C	: Benefit /cost ratio (fayda / maliyet oranı)
BL	: Yap-Kirala
BLT	: Yap-Kirala-Devret
BO	: Yap-İşlet
BOLT	: Yap-İşlet-Kirala-Devret
BOT	: Yap-İşlet-Devret
CDIA	: Cities Development Initiative For Asia
CEMT	: European Conference of Ministers of Transport
cm	: Santimetre
ÇED	: Çevresel Etki Değerlendirme
İLBANK AŞ	: İller Bankası Anonim Şirketi
DC	: Doğru Akım
dk	: Dakika
EIRR	: Economic internal rate of return (ekonomik iç verimlilik oranı)
ENPV	: Economic net present value (ekonomik net güncelleştirilmiş değeri)
EURIBOR	: Euro Interbank Offered Rate
FIRR	: Mali iç verimlilik oranı
FNPV	: Projenin mali net bugünkü değeri
GSYH	: Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
İUAŞ	: İstanbul Ulaşım Anonim Şirketi
KENTGES	: Bütünleşik Kentsel Gelişme Stratejisi ve Eylem Planı
km	: Kilometre
kw	: Kilowatt
LRT	: Light Rail Transit
m	: Metre
mm	: Milimetre
NBD	: Mali net bugünkü değeri
Pphpd	: 1saatte 1 yönde yaşanan yolcu sayısı
PPP	: Public- Private Partnership
sa	: Saat
sn	: Saniye
t	: Ton
TUİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UKOME	: Ulaşım Koordinasyon Merkezi
V	: Volt
VVVF	: Değişken gerilimli değişken frekanslı)



Çizelge 6.2 : X2 büyükşehir belediyesi'ne ait anket sonuçları.....	93
Çizelge 6.3 : X3 büyükşehir belediyesi'ne ait anket sonuçları.....	94
Çizelge 6.4 : X4 büyükşehir belediyesi'ne ait anket sonuçları.....	95
Çizelge 6.5 : X5 büyükşehir belediyesi'ne ait anket sonuçları.....	96
Çizelge 6.6 : X6 büyükşehir belediyesi'ne ait anket sonuçları.....	97
Çizelge 6.7 : X7 büyükşehir belediyesi'ne ait anket sonuçları.....	98
Çizelge 6.8 : X8 büyükşehir belediyesi'ne ait anket sonuçları.....	99
Çizelge 6.9 : X9 büyükşehir belediyesi'ne ait anket sonuçları.....	100
Çizelge 6.10 : X10 büyükşehir belediyesi'ne ait anket sonuçları.....	101
Çizelge 6.11 : X11 büyükşehir belediyesi'ne ait anket sonuçları.....	102
Çizelge 6.12 : X12 büyükşehir belediyesi'ne ait anket sonuçları.....	103
Çizelge 6.13 : X13 belediyesi'ne ait anket sonuçları.....	104
Çizelge 6.14 : X14 belediyesi'ne ait anket sonuçları.....	105
Çizelge 6.15 : X15 belediyesi'ne ait anket sonuçları.....	106
Çizelge 6.16 : X16 belediyesi'ne ait anket sonuçları.....	107
Çizelge 6.17 : X17 belediyesi'ne ait anket sonuçları.....	108
Çizelge 6.18 : Anketlere göre raylı sistemlerin üstün ve zayıf yönleri.....	112





MONORAIL SYSTEMS, INVESTMENT PROCESSES IN TURKEY AND APPROACH OF LOCAL GOVERNMENTS TO MONORAIL

SUMMARY

Whereas urban rail systems are taking their places in urban life as complementary to one another, monorail systems are also considered as a part of the solution in urban transportation particularly in the city centers.

This study was carried out to make a general literature search about monorail systems that have been included in the urban transportation agenda in recent years and have entered the investment agenda of the local governments and become an alternative investment option to the urban rail systems such as subways, light subways, light rail systems and trams; to compare the advantages and disadvantages of these systems with other urban rail systems; to examine monorail models abroad in order to form a base for the planned monorail projects in our country; to examine the investment processes related to monorail investments planned to be made in Istanbul; and also to demonstrate the approaches of local governments to monorail systems.

In this context, a holistic study was carried out on the monorail systems which offer lower and higher number of passenger transport alternatives with lower investment costs compared to alternative rail systems, which are easily applicable even in sloped terrain, urban centers and narrow roads and at the same time with low expropriation cost.

The first two chapters of this thesis cover an overall assessment of urban railway systems used to deliver public transportation service and to solve urban traffic problems. General information on specification and characteristics of the suburban, subway, light rail system, monorail, tram and funicular systems was provided. In addition, in the process of determining types of urban rail systems, these systems were compared according to their technological, economic and other characteristics along with topographic and climatic structure of the region or city, its geology, socioeconomic structure, the master and reconstruction plans of the transportation of the region, current road and system information, travel demand and potential, capacity, frequencies and volume.

The third chapter of the thesis contains general information on monorail systems, monorail system types, monorail system specifications, global monorail manufacturers and their production types and technologies. This chapter also examines monorail costs under two subtitles as investment (construction and vehicle) costs and operational costs. Comparison between monorail systems and other urban railway systems was made in the rest of the chapter, and a table presenting advantages and disadvantages of monorail systems was formed.

In this scope, when monorail systems and other urban rail systems were compared according to the above-mentioned criteria, the main advantages distinguishing monorail from other urban rail systems were specified as follows:

- Ability to comply with existing infrastructure and topography,
- Applicable for high slope routes where other rail systems can not be used,
- Rapid construction (almost all major parts are pre-manufactured and brought to the project site, thus it can be brought into service in a short period of time)
- Less shading of the sunlight due to narrow pathways and having no effect on the perspective,
- Not hindering urban surface, highway traffic and pedestrian circulation,
- Being safe,
- Being fast, allowing frequent headways, being punctual and reliable,
- Being environmental friendly (zero emissions depending on the electrical energy),
- Being constructed on refuges generally and low cost of expropriation due to the fact that it covers a very narrow area,
- Low maintenance costs,
- Being an image and prestige source for cities due to their modern appearance

Besides their advantages, monorail systems also bear some disadvantages:

- Since it is a new technology, its safety and validity have not yet been proven.
- Passenger evacuation is difficult in emergencies.
- Scissors systems are slower than rail systems due to the size of the beams.
- The availability of the replacement parts is difficult compared to other systems.
- It causes visual pollution due to elevated routes and passenger stations.

The forth chapter addresses monorail system models abroad, and also monorail systems in Turkey which are either in the planning phase or under construction phase.

When monorail systems abroad were examined, besides their use in urban transportation, it was found out that some of them were utilized in order to provide internal transportation in amusement parks, zoos, botanical gardens, campuses of universities and similar educational institutions, large shopping malls, tourism centers, airports and expo areas; and others operated at transfer points so as to provide integration with other transportation modes.

Monorail systems for urban transportation are present in a number of countries such as United States of America and Brazil in Americas; Germany, UK, Italy and Russia in Europe; and Japan, Singapore, South Korea, Thailand, Malaysia, United Arab Emirates, Iran and India in Asia continent.

In the scope of this thesis, Wuppertal from Germany, Haneda from Japan, and Dubai-Palm Island from United Arab Emirates were examined as monorail models. As there are no completed monorail examples in our country, general information was presented on monorail projects planned / designed to be realized in Istanbul.

In the fifth chapter, a general evaluation about requirements and processes of monorail systems in Turkey was made by reviewing monorail investments in master plan decisions and related legislation. In this regard, these requirements and processes were investigated by the feasibility study of Sefakoy-Halkali-Basaksehir Monorail Line in İstanbul and a general evaluation regarding financing models of the investments was made.

According to the findings, monorail investments could yield results hard to reverse in terms of urbanization and economy as a result of wrong investment decisions due to the fact that they are high budgeted investments, they constitute a basis for many projects to be made in the future, and they are determinant in processes. For this reason, when monorail investment are to be made, as it is in other railed systems, it is of great importance for our cities and residents that alternative transportation systems are examined well, and phases of analysis, planning, design, feasibility and application are scrutinized in line with transportation demands taking into consideration the cost-benefit analysis and as a result the most proper decision is taken and the proces is managed in parallel with specified priorities.

While making decisions on monorail systems, it is necessary to take into account existing land use, urban development direction, population projection, and lower and upper scale plan decisions. According to this; monorail systems should be integrated into other transportation systems, and they should be implemented and operated in such a way to feed each other.

In order for the municipalities to be able to make high-cost monorail investment decisions, it is crucial that transportation master plan be formed, which determines the short, medium and long-term planning decisions, the investment of the monorail be in the above-mentioned master plan. In such a case, a comprehensive study following a methodological process and aiming at establishing demand forecasting models through mathematical methods should be conducted so as to render investment process effective and obtain expected benefits with optimum cost.

For the financing of transport investments; monorail investments can be realized by using financing models and alternatives such as public own resources, public-private partnership cooperation, external financing resources and capital market instruments

Sixth chapter contains findings of the survey study conducted with mayors and transportation administrators of some metropolitan municipalities in order to show how the monorail systems are perceived by the local governments and to which extent they are accepted.

When the results of the survey conducted with the local administrators were assessed in general, it was observed that most of the technical transportation administrators of the municipalities had general knowledge on monorail systems, some of them planned to make investments of monorail in their cities and some of them leaned towards the idea of monorail investment. Though it was not clearly stated in the meetings, it was believed that the idea of being the "first municipality" to invest monorail in Turkey was attracted by the local administrators considering that monorail projects would add prestige to the cities.

In the conclusion, an overall assesment regarding general features of monorail systems, their advantages and disadvantages, investment processes in Turkey, approaches of local governments to monorail systems was carried out.



1. GİRİŞ

Raylı ulaşım sistemi yatırımlarının büyük bütçeli yatırımlar olması, sonraki süreçte yapılacak birçok projeye altlık teşkil etmesi ve belirleyici nitelikte olması nedeniyle; yapılacak yanlış yatırım kararları sonucunda, hem şehircilik anlamında hem de ekonomik açıdan geri dönüşü zor sonuçlar doğurabilmektedir. Bu nedenle, raylı sistem yatırımı yapılırken alternatif ulaşım sistemlerinin iyi incelenerek, ulaşım talepleri doğrultusunda analiz, planlama, tasarım, fizibilite ve uygulama aşamalarının tüm yönleriyle irdelenmesi, fayda maliyet analizlerine bakılarak en doğru kararın alınması ve belirlenen öncelikler doğrultusunda sürecin yönetilmesi; şehirler ve dolayısıyla kentte yaşayanlar için büyük bir önem arz etmektedir.

Bu nedenle, kentsel ulaşım sistemleri ile ilgili kararlar alınırken mevcut arazi kullanımı, kentin gelişim yönü, projeksiyon nüfusları, alt ve üst ölçekli plan kararları dikkate alınarak; kent içi raylı sistemlerin diğer ulaşım sistemleri ile entegrasyonunu sağlayacak ve birbirini besleyecek çözümlerin geliştirilmesi hedeflenmelidir.

1.1 Tezin Amacı

Son dönemde ulaşım bağlamında ülke gündeminde daha fazla yer almaya başlayan ve yerel yöneticilerin yatırım gündemine girerek; metro, hafif metro ve tramvay gibi kent içi raylı sistemlere ek olarak yatırım seçeneği haline gelen monoray sistemleri ile ilgili genel bir literatür taraması yapılarak, söz konusu sistemlerin özellikleri, diğer kent içi raylı sistemler ile karşılaştırılması, avantaj ve dezavantajlarının ölçülmesi ve ülkemizde yapılması planlanan monoray projelerine altlık oluşturması bakımından yurtdışı monoray örnekleri incelenerek, İstanbulda yapılması planlanan monoray yatırımlarına ilişkin yatırım süreçlerinin irdelenmesi ve yerel yönetimlerin bu sistemlere yönelik yaklaşımlarının ortaya konulması amacıyla bu çalışma yapılmıştır.

Bu kapsamda; alternatif olarak kabul edilebilecek raylı sistemlere göre yatırım maliyetleri düşük olan ve taşıma kapasitesi bakımından düşük yolcu sayılarından başlamak üzere yüksek sayıda yolcu taşıma alternatifi sunan, eğimli arazilere ve dar

yollarda dahi kolaylıkla uygulanabilen ve özellikle kent merkezlerindeki yüksek kamulaştırma maliyetlerini hafifleten veya sıfıra indirebilen monoray sistemleri hakkında bütüncül bir çalışma yapılmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

Ulaştırma, raylı sistemler ve monoray sistemleri ile ilgili olarak kütüphanede, ulusal tez merkezinde ve internet ortamında kaynak taraması yapılmış, ayrıca monoraylar ve monoray üretici firmalara ait broşür ve kitapçıklar temin edilerek, incelenmiştir.

Ülkemizde son dönemde yapılmış olan az sayıdaki monoray araştırmalarının, literatür kısımlarında, genel olarak yabancı kaynaklara referans verilmiş olduğundan, bu bölümde yurtdışında monoray ile ilgili yapılan çalışmalara yer verilmiştir.

İlk monoray yatırımı 1901 yılında faaliyete geçmiş olmasına rağmen; dünya örnekleri incelendiğinde, monoray yatırımlarının -1960'lı yıllarda yaşanan kısa bir dönem hariç- teknolojiye yaşanan gelişime paralel bir şekilde genel olarak 2000'li yıllarla birlikte dünya genelinde yaygınlaştığı görülmektedir.

Monoray yatırım sürecine benzer şekilde, dünyada raylı sistemlerle alakalı birçok yayın ve çalışma mevcut olmakla birlikte; yabancı literatürde çok sayıda araştırmacı tarafından çok geniş çerçevede ele alınan monoraylara ilişkin araştırmaların da genel olarak 2000'li yıllarla birlikte yaygınlaşmaktadır.

Monoraylara ilişkin araştırmalarda monoraylar ağırlıklı olarak “monoray sistemlerinin ulaşım katkısı” ölçeğinde genel olarak incelenirken; uygulamaların yaygınlaşmasıyla birlikte, son dönemde yapılan araştırmalarda sistemin inşaat ve işletme detaylarına inen “mühendislik” özelindeki araştırmalar çoğalmaktadır.

Yabancı literatürde monoray, birbirine benzer şekilde (kapasite, hız, maliyet, otomasyon, uzaklık, bakım, rekabet, görsel etki) ancak farklı yönleri ön plana çıkartılarak tanımlanmaktadır.

Kennedy (2007), monorayların toplum tarafından uçan arabalarla birlikte gelecekte gelen bilim kurgusal bir obje olarak düşünüldüğü vurgusunu yaparak, monorayı “yolcu veya yük taşımaya yarayan, genellikle rayın yukarıda olduğu ama aynı zamanda yerin hemen üstünde veya yer altında da kullanılabilen raylı sistemler” olarak genel-geçer bir şekilde tanımlamaktadır. Söz konusu tanımda, monorayın

geniş yelpazeli teknolojik çeşitleri, işletme prensipler ve fiziksel özellikleri göz ardı edilmiştir.

A. Farkas (2009) ve M. Kosijer, M. Ivić, M. Marković, ve I. Belošević (2012) ise; monoray sistem hattını yeterli kapasite, uygun seyahat hızı, yüksek trafik güvenliği, ekonomik sürdürülebilirlik, mevcut ve planlanan gelişimlere uygunluk ve çevresel duyarlılık gibi belirli hedefleri sağlaması gereken kompleks bir sistem olarak tanımlamaktadır.

Monorayın gelişim sürecini ilk kez bütüncül bir şekilde ve belli bir sistematik çerçevesinde ele alan A. Jwalant, Parekh, N.G. Raval ve D. Dodiya (2012) ise çalışmalarında monorayı “yolcu veya yük taşımaya yarayan, genellikle rayın yukarda olduğu ama aynı zamanda yerin hemen üstünde veya yer altında da kullanılabilen raylı sistemler” olarak tanımlamıştır. Bu çalışmasında; monoray fikrinin 19.yy’da geleneksel raylı sistemlere alternatif üretme çalışmalarının sonucunda ortaya çıktığı, başlangıçta monoray sisteminin askeri amaçlarla düşünülmüş olmasına rağmen kısa sürede sivil halk için de ucuz bir raylı sistem alternatifi olarak görüldüğü ve ilk monorayın 1901 yılında Almanya Wuppertal’da kullanıma açıldığını vurgulayarak, genellikle ya tasarım aşamasında kalan ya da prototip olarak kalan monoray tasarım örneklerini anlatmıştır.

X. Liu ve diğerleri (2014) ise monoray ulaşım sistemlerinin gelişimini ve uygulamasını araştırdıkları çalışmasında, monorayın şehir içinde kullanım alanlarını ve buna yönelik gelişmeleri araştırmışlardır.

Yabancı literatürde monoraya ilişkin yer alan çalışmaların hemen hemen tamamında, monoray sisteminin kent içi ulaşımına olan etkilerine de vurgu yapılmaktadır.

Özellikle P. E. Timan (2015) ile A.Jwalant ve diğ. (2012) çalışmalarında; monoray sistemlerini hızla gelişen şehirlerin ulaşım/trafik sorunu için çok iyi bir çözüm olarak tanımladıktan sonra, konuyu örnekler üzerinden açıklamaktadırlar.

Ashish Verma (2010) ise; Dünya genelindeki yüksek yoğunluklu şehirlerdeki ulaştırma zorluklarını araştırdığı çalışmasında uygun arazi kullanım kontrolü olmayan, uygun yol ve paklanma tesislerine muhtaç, yetersiz toplu taşıma sistemine sahip kentsel alanlarda uygulanacak monoray yatırımlarının, vatandaşların ulaşım sorununa çözüm sunulmasının yanı sıra trafik sıkışıklığı ile gürültü/hava kirliliğinin azaltılması açısından önemli katkıları olacağını vurgulamaktadır.

Yabancı literatürde monoray sisteminin özelliklerini ele alan araştırmalarda, benzer özellikler ön plana çıkartılmaktadır.

R. Marathe, ve N.D. Hajiani (2013); monoray sistemlerini inceledikleri çalışmasında, monoray sistemlerini maliyet etkinliği, güvenlik, düşük enerji tüketimi ve düşük gürültü çerçevesinde diğer ulaşım sistemleriyle karşılaştırmalı bir şekilde irdelemiş ve monorayların hava kalitesi, trafik güvenliği ve trafik sıkışıklığı olmak üzere 3 konuda sağladıkları avantajları ortaya koymuşlardır.

Monorayları genelde güzergâhı havadan kolonlarla desteklenen asma sistemler olarak tanımlayan Kennedy (2007) ise monoray teknolojisinin özelliklerini “güvenlik” ve “operasyon” bazında ele almaktadır. Güvenlik bileşenleri kapsamında lastik tekerlekli sistemler, yakıt tüketimi, hızlanma ve frenleme, yokuş performansı, hava ve gürültü; operasyonel bileşenleri kapsamında ise güç, hız, sürüş, sinyalizasyon ve bakım alt bileşenleri tanımlanmıştır.

A.Jwalant ve diğ. (2012) ise çalışmasında, monoray araçlarının temel özelliklerini (sistemin yapısı, araç ve hatların özellikleri, kapasitesi vb.) belli bir sistematik dâhilinde irdelemiştir.

Benzer şekilde X. Liu ve diğ. (2014) da çalışmasında; şehir içi raylı ulaşım sistemini metro sistemleri, hafif raylı sistemler, monoray sistemleri, tramvaylar, maglev sistemi, otomatik kılavuzlu raylı sistemler ve bölgesel banliyö sistemi şeklinde irdeleyerek; monorayın avantajlarını ve dezavantajlarını karşılaştırmalı olarak açıklamaktadır. Söz konusu çalışmada, alternatif ulaşım sistemlerinin kıyaslanması için kullanılabilecek ölçütler de tanımlanarak; alternatifler arasında yapılan karşılaştırmalarda kullanılabilecek ölçütlerin kapsamlı olması gerekliliğine vurgu yapılmaktadır.

Yabancı literatürde, monorayın maliyetini belirleyen genel çerçeveye ilişkin de irdelemeler yer almaktadır. Bu konu, en kapsamlı ve sistematik bir biçimde Kennedy (2007) tarafından ele alınmıştır.

Kennedy (2007); Kuzey Amerika’daki monorayları benzer kapasitedeki hafif raylı sistemlerle kıyasladığı çalışmasında, monorayların maliyetlerinin çok tahmin edilmediği gibi genel bir iddianın aksine, monoray maliyetlerinin tutarlı bir şekilde tahmin edilebileceğini ve maliyetlerin tren araçları, istasyon uzunlukları, kapasite ve otomasyon gibi objektif kriterlere bağlı olarak değişebildiğini söylemektedir. Söz

konusu çalışmada, 2 araç ve 5-6 dakikalık sefer aralıklı monoray maliyetlerinin doğrudan ve dolaylı maliyetler dâhil mil başına 60 ila 80 milyon Amerikan Doları civarında olduğunu ifade eden Kennedy; daha geniş monoray trenleri, daha küçük ulaşım sistemlerine benzer kapasite, sistem otomasyonu ve zorlu uygulamalar gibi uç (ekstrem) koşullar düşünüldüğünde ise bu maliyetlerin 130 milyon Amerikan Dolarına kadar çıkabileceğini vurgulamaktadır.

Monoraylara ilişkin çalışmasında maliyet konusuna da değinen A.Jwalant ve diğ. (2012) ise; verdiği monoray uygulama örnekleriyle, monoray yatırım maliyetlerinin çoğunun hat ve istasyonların teknik donanımı ile monoray araçlarından oluştuğunu ve monoray sistemlerinden elde edilen gelirin sadece işletme maliyetlerini karşılayabileceğini ifade etmektedir.

P. E. Timan (2015) ise; metro sistemlerinin genellikle yüksek maliyetli olması ve değerli mevcut altyapının yıkımını ve yer değiştirmesini içermesi nedeniyle, bazı durumlarda monoray sisteminin en uygun çözüm olduğunu, farklı monoray uygulamaları ekseninde ele almaktadır.

M.I.T. Alkubaisi (2014) ise maliyet konusunu farklı bir perspektiften ele alarak; tüm toplu taşıma sistem geliştirme projelerinde olması gerektiği gibi monoray projeleri için de öncelikle var olan ya da gelecek için öngörülen ulaşım talebinin belirlenmesi, alternatif hatlar üzerinde detaylı fizibilite çalışmalarının yapılması ve popülist uygulamalara yerine gerçekçi çözümler sunan yatırımların hayata geçirilmesinin kıt kamu kaynaklarının etkin kullanımına dair önemine vurgu yapmaktadır.

Ayrıca; tez kapsamında ülkemizde yapılması planlanan veya değerlendirme aşamasında olan monoray hatları incelenmiştir. Ulaşılan verilere göre; İstanbul, Ankara, İzmir ve Mersin’de monoray yatırım çalışmalarının somut hale geldiği görülmüştür. İstanbul’da yapılması planlanan monoray hatlarından Sefaköy, Libadiye ve Tuzla monoray hatlarına ait fizibilite etüt raporları incelenmiştir. Ayrıca monoray sistemlerinin ülkemiz yerel yöneticileri tarafından tercih edilme durumunun belirlenmesi amacıyla; bazı büyükşehir belediye başkanlıkları ve il belediye başkanlıklarında ulaşımdan sorumlu yetkililerin görüş ve değerlendirmelerini almak üzere ankete dayalı araştırma yapılmıştır.



2. KENT İÇİ RAYLI SİSTEMLER

Bu bölümde kent içi raylı sistemlerin genel özellikleri incelenmiş olup; başta monoray olmak üzere, banliyö, metro, hafif raylı sistemler, föniküler sistemler ve tramvay gibi kent içi raylı sistemlere ilişkin değerlendirmeler yer almaktadır.

Günümüzde, kent içi raylı sistemler birbirlerinin alternatifi olarak değil, birbirlerinin tamamlayıcısı olarak şehir yaşıntısında yerlerini almakla birlikte; özellikle kent merkezlerinde ve yüksek yolculuk talebinin bulunduğu alanlarda şehir içi ulaşımın çözümünde çıkış yolu olarak değerlendirilmekte ve şehir içi ulaşımın omurgasını oluşturmaktadır.

“Raylı sistemler, günümüz koşullarında hızlı ve plansız gelişen kentlerimizde ulaşım sorununun çözülmesinde en önemli planlama aracı olarak kabul edilmektedir. Raylı sistemler maliyeti en az, sosyal yararı en fazla olacak şekilde tasarlandığı taktirde başarıya ulaşmaktadır. Ulaşım sorununa tam ve kesin çözüm, düşük kapasiteli ve besleyici sistemlerin diğer raylı taşıma sistemleri ile ortak bir şekilde çalışmasının sağlanması ile mümkündür” (Gökdağ, 1999).

Özel araçların sebep olduğu kentsel trafik sorununa çözüm olmak amacıyla yaygınlaşmaya başlayan metro, hafif raylı sistem ve monoray sistemleri gibi sabit bir hat boyunca ilerleyen ve ana hatlarda hizmet veren toplu taşıma sistemlerinin beslenmesinde; tramvay, otobüs, minibüs gibi daha düşük kapasiteli toplu taşıma türleri de görev almaktadır.

Raylı sistemlerin kılavuzlanmış olma özelliğinin yanı sıra, fiziksel özerkliklerinin bulunması, kentsel ulaşım sorununu çözmede etkilidir. Kapasiteler bazında yolcu tahminlerinin değerlendirilmesi ile tramvay için yüksek sayılan saatlik taşınan yolcu sayısı metro için düşük kalabilmektedir. Yapılan araştırmalar, kentteki yolculuk taleplerinin bu nicelikte olması durumunda, tramvayın bu soruna çözüm olamadığını; metro yatırımlarının ise ekonomik olmadığını göstermektedir. Ulaşım taleplerinin belirlenmesi ve bu taleplere paralel olarak tramvayla metro arasındaki kapasite

Kent içi raylı sistemlerin modern şehircilik anlayışındaki yeri yadsınamaz olmakla birlikte, bu sistemler maliyetleri açısından pahalı yatırımlardır. Bu nedenle, öncelikle hangi kent içi raylı sistem türünün kullanılacağı tespiti ile ilgili çalışmalara başlanmalıdır.

2.1 Raylı Sistem Özellikleri ve Tercih Edilme Kriterleri

Kentsel raylı sistem türü belirlenirken, bölgenin veya kentin topoğrafik ve iklim yapısı, jeolojisi, bölgenin veya kentin sosyo ekonomik yapısı, imar ve ulaşım plan kararları, mevcut yol ve sistem bilgileri, yolculuk talebi ve potansiyeli, kapasitesi, frekansları ve hacmi gibi birçok değişik faktöre bağlı olarak belirlenen kriterleri; “Teknolojik Kriterler”, “Ekonomik Kriterler” ve “Kentsel-Çevresel Kriterler” olmak üzere 3 ana başlıkta sınıflandırmak mümkündür.

2.1.1 Teknolojik kriterler

Kent içi raylı sistem seçiminde dikkate alınan teknolojik kriterler Çizelge 2.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 2.1 : Teknolojik kriterler.

Kapasite	Araç Kapasitesi Sistem Kapasitesi
Fiziksel Özerklik-Geçiş Üstünlüğü	Yarı Kontrollü Tam Kontrollü
Yolculuk Süresi	Max. Hız
	İşletme Hızı - Ticari Hız
	Durak Aralıkları
	Sefer Sıklığı
	İstasyonlardaki Bekleme Süreleri
Güvenlik	Düzenlilik
	Dakiklik-Güvenilirlik
	Yarı Kontrollü Sistemlerdeki Kaza Oranları
	Tam Kontrollü Sistemlerdeki Kaza Oranları
Konfor	Karayolu Ulaşımındaki Kaza Oranlarındaki Azalma
	Araç Özellikleri
	Hızlanma ve Yavaşlama
	Sessizlik
Enerji Tüketimi	Yönlendirme, Araçlara İnme-Binme
	Enerji Türü
	Enerji Tüketim Miktarı

“Teknolojik özelliklere bağlı olarak sunulan hizmetin niteliği, yolcuların kent içi toplu taşıma sistemleri arasında seçim yapmasında önemli bir kriterdir. Bunlar; sefer sıklıkları, seyahat süreleri, güvenilirlik, araç konforları, yolculuk maliyeti, kötü hava koşullarında etkilenmeme, bilet alınmasındaki kolaylık, yaşlılar, fiziksel engelliler ve çocuklar için gerekli kolaylıkların varlığı, yolcuların beraberinde çanta, valiz vb. eşyalarını taşıyabilme olanaklarıdır”(Şenlik, 2013, s.1).

Kapasite:

Ulaşım türlerini birbirinden ayıran en belirgin kriterdir. Sistemin yolcu kapasitesi; sistemin taşıt kapasitesine, her bir taşıtın yolcu kapasitesine, doruk saatlerdeki doluluk oranına, işletmenin elverdiği iki taşıt arası süreye bağlı olarak değişmektedir.

Fiziksel özerklik-geçiş üstünlüğü:

Sistemin diğer sistemlerden bağımsız olarak hizmet verebilmesi olarak nitelendirilmektedir. Sistemin denetimi, güvenliği, sisteme ait araçların hızı, düzenliliği, güvenilirliği bu bileşene bağlı olarak değişmektedir.

“Yarı kontrollü sistemler daha hızlı, daha güvenilir, daha yüksek kapasiteli ve konforlu olması nedeniyle kontrolsüz sistemlere nazaran daha fazla yolcu çekmektedir. Tam kontrollü sistemler ise genel trafikten ayrı yolda çalışması nedeniyle düşük seyahat süresi ve geçiş aralıklarıyla güvenli bir hizmet düzeyi sunmaktadır” (Ulusoy, 2010, s.16).

Yolculuk süresi:

Aktarma noktaları arasındaki mesafeye ve istasyon uzunluklarına bağlı yürüme zamanı ile, raylı sistemin sefer sıklığına göre değişen bekleme süresine ve sistemin işletme hızına bağlı olarak araçta geçen zamanın toplamıdır.

Raylı sistemlerde ticari hız; sistemin fiziksel özerkliğine, yolcu kapasitesine, durak aralıklarına, taşıtın ivme ve serbest hızına bağlı olarak değişmekle birlikte, ortalama hız 40km/sa. olarak kabul edilebilmektedir. Raylı sistem türüne bağlı olarak, tramvay hariç trafik sıkışıklığından etkilenmezler. Tramvay sistemlerine de birçok yerde geçiş üstünlüğü tanımlanmaktadır.

Raylı sistemler, ivmelenme ve frenleme zamanlarının kısa olmasına bağlı olarak daha hızlı hareket edebildikleri için yolculuk süreleri daha kısa olmaktadır. Ayrıca istasyonlarda bekleme süreleri kısa ve belirli olduğundan, yolcular için öngörülemeyen zaman kayıpları da en az düzeydedir.

Güvenlik:

Hat çevresi ve duraklardaki koruma tedbirlerinin artırılması ve sistematik işleyişin sağlanması nedeniyle, raylı sistemlerin lastik tekerlekli araçlara göre kaza yapma oranları çok daha düşüktür. Ayrıca özel araç sahiplerinin ulaşım ihtiyaçlarını karşılamak için raylı sisteme yönelmeleri sonucunda trafik kazalarında ve kaza maliyetlerinde büyük oranda düşüş olacaktır.

“Birçok toplu taşıma aracının aynı karayolu üzerinde seyir ediyor olması, kaza riskini artırmakta, güvenliği azaltmaktadır. Buna karşılık, tam kontrollü olan raylı sistemler kendilerine has ayrılmış bir yol kullandıklarından, diğer sistemlere nazaran çok daha güvenlidirler”(Ulusoy, 2010, s. 17)”

Konfor:

Raylı sistemler sarsıntısız, düzgün ivmelenen hareket kabiliyetine sahip olduklarından, yolcular için seyahat konforu sağlamaktadırlar. Teknolojik yönden gelişmişlikleri, havalandırma ve ısıtma koşulları, ışıklandırma, yolcu yönlendirme, taşıtlara inme ve binme, kabin rahatlığı, sessizlik, frenleme ve hızlanmadaki yumuşaklık vb. özellikler konforlu yolculuk talebine cevap verir niteliktedir.

Enerji tüketimi:

Raylı sistemlerde kullanılan elektrik enerjisi petrol bağımlılığını ortadan kaldırmakla birlikte, enerji tüketim değerleri diğer toplu taşıma araçlarına göre oldukça düşük olup, bu durum işletme maliyetlerinin düşmesini destekler niteliktedir.

2.1.2 Ekonomik kriterler

Kent içi raylı sistem seçiminde dikkate alınan ekonomik kriterlere Çizelge 2.2’de yer verilmektedir.

Çizelge 2.2 : Ekonomik kriterler.

İnşaat Maliyetleri	Yol, Viyadük, Tünel, İstasyon, Depo ve Atölye vb.
	İnşaat İşleri
	Kamulaştırma
Araç Maliyetleri	Elektro Mekanik İşler, Otomasyon ve Sinyalizasyon
	Tercih Edilen Araç Üreticisi
	Araç Genişliği ve Uzunluğu
	Araç Konforu
İşletme Maliyetleri	Araç Sayısı
	Personel
	Bakım Onarım
	Enerji

İnşaat maliyetleri:

Raylı sistemlerde; yol, viyadük, tünel, istasyon maliyetleri, depo ve atölye maliyetleri, etüt ve mühendislik hizmet maliyetleri ve benzeri işlere ait maliyetler ile kamulaştırma ve elektro mekanik işler, otomasyon ve sinyalizasyon işleri, inşaat maliyetlerini oluşturmakla beraber; sistem altyapı maliyeti tünelde, viyadükte ve yüzeydeki kesimlerin uzunluğuna, gabariye, zemin cinsine ve inşa yöntemine bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

“Plancılar ve ulaşım mühendisleri, sistem için karar almadan önce detaylı bir araştırma ve veri toplama çalışması yapmalıdır. Bu çalışmalarda daha önce yapılmış maliyet - yolcu sayısı bazlı araştırmaların dikkate alınması önem arz etmektedir. Araştırmaların sağlıklı yapılması ve sağlam temellere oturtulması gerekir. Çünkü verilecek hatalı karardan dönülmesi, büyük mali kayıpların oluşmasına neden olabilmektedir. Maliyet boyutunu etkileyen bir başka ölçüt ise sistemin tünelde mi hemzemin de mi işleyeceğidir. Bu karara göre de maliyetler artabilmektedir” (Özgür, 2009).

Araç maliyetleri:

Modele, üretildiği yere, konfor düzeyine ve markalarına ve alınacak araç sayısına bağlı olarak farklılık gösterecektir.

İşletme maliyetleri:

İşletme giderleri genel olarak; araçların kat ettiği yola bağlı olarak enerji harcamalarını ve bakım - onarım masraflarını içeren “mesafeye bağlı işletme giderleri”, araçların ve sistemin çalıştığı zamana bağlı olarak çalıştırılan personel giderlerini kapsayan “zamana bağlı işletme giderleri” ve kilometre başına günlük ve yıllık olarak hesaplanan istasyonların, sinyalizasyon sistemlerinin, enerji iletim hatlarının ve yolların bakım ve onarımı masraflarını oluşturan “yola bağlı işletme giderleri” olarak 3 ana başlıkta toplamaktadır.

“Düzenli bir ulaşım hizmeti veren bütün sistemlerde yolcu - maliyet eğrileri biçim yönünden benzerlik gösterse de maliyet eğrileri sistemlerin ekonomik özelliklerine göre farklı değerler almaktadır. Hatta bu değerler kentlere, kentlerin çeşitli bölgelerine, sistemi işleten ve kullanana göre de değişim göstermektedir. Bu değişikliklere sebep olan temel öğeler doluluk oranı, örgüt yapısı ve işletme türüdür” (Gökdağ ve Yüksel, 1999).

güzergâhı ve istasyonları, kentsel arazi kullanımını geliştirerek, iyi bir kent planlama ve kentsel tasarım ile kendi etki alanını oluşturmaktadır. Kent merkezine ulaşılabilirliğin sağlanması ve diğer kentsel alanlarla merkezin bütünleştirilmesi, raylı sistem güzergâhındaki ve özellikle istasyon alanlarına yakın konumdaki arazi kullanımlarını değiştirecek ve arazi değerlerini artıracaktır.

Yeraltında hizmet veren metro sistemleri, kent yüzeyinde kendilerine tanımlı çok az bir alan işgal eden hafif raylı sistem ve monoray sistemleri ile karayolu ile aynı zemini kullanan tramvay sistemleri, karayolu taşımacılığının kent yüzeyinde ve yol ağında kapladığı alanlar dikkate alındığında çok kısıtlı alanlarda çok sayıda yolcu taşıyabilmektedir.

Hız, kapasite, sıklık, düzenlilik, güvenilirlik, konfor, erişilebilirlik ve kolaylık bakımından avantajlı, çevreye duyarlı, kent yaşamı ve gelişimine olumlu etkisi olan raylı sistemlerin, diğer toplu ulaşım sistemleri ile karşılaştırıldığında pozitif bir imaja sahip olduğu görülmektedir.

“Raylı sistemler, işletim özellikleri (yolcu kapasitesi, hız, konfor ve fiziksel özerklik), kente olumlu bir imaj kazandırması, çevreye olumsuz etkileri olmaması bakımından ulaşım plancıları tarafından tercih edilen ulaşım sistemi olarak kullanılmaktadır” (Öğüt ve Evren, 2006).

Güzergah çevresi ve istasyonlarda alınan koruma tedbirlerine bağlı olarak, raylı sistemlerin lastik tekerlekli araçlara göre kaza yapma oranları çok daha düşüktür. Ayrıca özel araç sahiplerinin ulaşım ihtiyaçlarını karşılamak için raylı sisteme yönelmeleri sonucunda trafik kazalarında ve kaza maliyetlerinde büyük oranda düşüş olacaktır.

Çevresel etkileri:

Raylı sistemlerde elektrik enerjisi kullanıldığından kömür ve akaryakıt atıkları gibi olumsuz etkileri bulunmamaktadır. Ayrıca elektrik enerjisine ve yüksek teknolojiye bağlı olarak gürültü kirliliği oluşturmaz.

Yüksek kapasiteli, emniyetli-güvenli, hızlı ve konforlu yolculuk, düşük enerji maliyeti ve düşük işletme giderleri, güvenilirlik-dakiklik ve benzeri olumlu sonuçları bulunan kent içi raylı sistemler, hareketliliği artırmak, yolculuk talebini karşılamak, toplu taşıma hizmetini iyileştirmek, toplu taşımayı çekici kılarak özel otomobil kullanımını azaltmak, dolayısıyla enerji tüketimini, hava kirliliğini, trafik kazalarını,

trafik sıkışıklığını azaltmak, düzenli bir kentsel yerleşim oluşturmak, kentsel gelişmeyi kontrol etmek-yönlendirmek ve benzeri sebeplerden dolayı tercih edilmektedir.

“Kentsel ulaşımında raylı sistemlerin başarısı; kent nüfusu ve nüfustaki artış oranı, nüfus yoğunluğunun dağılımı, kent büyüklüğü, arazi kullanımı, kentteki gelir düzeyi ve dağılımı, otomobil sahipliği oranı, kentin demografik yapısı gibi sosyo-ekonomik faktörler ile kente ve kentliye hizmet eden diğer toplu taşıma sistemlerinin türleri, yol uzunluğu, kapasiteleri, etkinlik ve verimlilikleri, toplu taşıma içindeki payları ile ilgili sağlıklı, doğru ve güncel verilerin elde edilmesine bağlıdır. Raylı sistemlerin çağa ayak uyduracak şekilde gelişmesi, elde edilen kapsamlı etüdlere dayalı, vakit kaybetmeksizin hazırlanacak planlama çalışmalarının hayata geçirilmesi ile mümkün olabilecektir” (Evren ve Öğüt, 1998).

Kentteki trafik sıkışıklığını kontrol etmek, ulaşım sorununa kalıcı çözümler üretmek amacıyla, yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanılan raylı sistem türünün belirlenmesinde; trafik sıkışıklığı, yolculuk süresi, trafik kazaları ve hava kirliliği faktörlerinin en aza indirgendığı alternatiflerin seçilmesi uygun olacaktır.

2.2 Kent İçi Raylı Sistem Türleri

2.2.1 Banliyö

“Banliyö trenleri, büyükşehirlerde genellikle şehir dışındaki yerleşim yerlerine ulaşımı sağlamak amacıyla ya da birbirine yakın mesafede bulunan şehirler arasındaki ulaşımı sağlamak amacıyla kullanılmaktadır” (Kırmızı ve diğ., 2012).

Yüksek sayıda yolcu taşıma kapasiteleri bulunan banliyö hatları genel olarak ağır demiryolu sınıfında değerlendirilmektedir. Ana demiryolu hatları ve yük treni hatları gibi mevcut demiryolu hatlarını kullanması sebebiyle altyapı maliyetleri, enerji tüketimi ve işletme giderleri diğer kent içi raylı sistemlere oranla oldukça düşüktür. Banliyö sistemlerinde çok sayıda vagon dan oluşan tren setlerin kullanımı mümkün olup, duraklar arası mesafe ve sefer aralıkları genel olarak, diğer kent içi raylı sistemlere kıyasla daha uzundur.

Banliyö trenleri maksimum sayıda yolcu yu taşıyabilmek için dizayn edilmiş olup, günlük yolculuk amaçlı olduğu için konforu ve yolcu bagaj kapasiteleri düşüktür.

İşletme hızları 55-75km/s arasında değişmektedir. Banliyö işletmeciliğinde hat genişliği 1.435 mm. dir. 15-25 K Volt beslenme enerjisini katanerden almaktadır.

2.2.2 Metro

“Metro sistemleri kendilerine ait hatlarda işletilen gelişmiş sinyalizasyon sistemine sahip raylı sistemlerdir. Buna bağlı olarak, yüksek hız ve yüksek yolcu taşıma kapasitesine erişebilmektedir. Ayrıca işletme, enerji verimliliği ve sürüş güvenliği gibi avantajlar da sunmaktadır. Yüksek yolcu kapasitesine karşılık, yüksek altyapı yatırım maliyetleri de bulunmaktadır” (Vuchic, 2007, ss. 304-305).

Metro sistemleri, genellikle yapı ve insan yoğunluğunun bulunduğu, sirkülasyonunun fazla olduğu şehir merkezlerinin yüzeydeki araç-trafik yüklerini hafifletmek amacıyla derin tünel yöntemleri ile yeraltında inşa edilirler. Arazinin yapısına bağlı olarak aç kapa tünel veya delme olarak inşa edilebilen metro hatları bazen yüzeyde hemzemin şeklinde veya viyadük üzerinde de inşa edilebilmektedir.

Şehir içi toplu ulaşımında en yüksek yolcu kapasitesine metro sistemlerinin tek yönde saatte 70-80 bin yolcu olarak kabul görmektedir. Bu yolcu yüküne bağlı olarak dizideki araç sayısı artmakta ve peronlar uzun olmaktadır.

“Metrolar teknik yönden bakılacak olursa, hız bakımından da diğer sistemlerden üstündür. Ortalama servis hız 42-48 km/saat’tir. Fakat azami ulaşabildikleri hız ise 90 km/saat’tir. Ayrıca tren boyları 8’li dizi halinde hareket ettikleri zaman 200 m’ye kadar çıkmaktadır” (Öztürk, 2012).

Yapım aşamasında yüksek yatırım maliyeti ve ileri otomasyon sistemi gerektirmektedir. Diğer sistemlere göre yapım maliyetleri yüksek olmasına rağmen doğru hatlarda kurulduğu takdirde sağlanacak toplam ekonomik fayda, yatırım maliyetini fazlasıyla karşılayacaktır.

2.2.3 Hafif raylı sistemler

Hafif Raylı Sistemler, şehir içi raylı toplu taşımacılık sistemleri arasında önemli bir yere sahiptir. Tramvay sistemlerine oranla daha yüksek yolculuk kapasitesine sahiptir. Bu sistemler yolculuk taleplerinin yüksek olduğu akslarda, ana ulaşım sistemleri olarak tercih edilmekle birlikte büyük metropollerde daha yüksek kapasiteli sistemlerle entegre çalışan tali ulaşım sistemleri olarak da hizmet vermektedir.

Vuchic'e göre hafif raylı toplu taşımaya aynı güzergâh üzerinde bütün yol hakkı türlerini kullanma ayrıcalığını sunarken, aynı zamanda kılavuzlanmış teknolojinin yüksek kapasite, yüksek iş gücü verimliliği ve konforlu sürüş gibi avantajlarından yararlanma imkânı da sağlamaktadır. Tipik bir hafif raylı toplu taşıma ağının diğer trafikten ayrılma derecesi, sıklıkla problem olmadığı kentin kenar bölgelerine doğru azalırken; bu ağın, en sıkışık durumdaki merkezi bölgelerde tünellere sahip olması istenmektedir. (Vuchic, 2007)

Hafif raylı sistemler, genelde 4'lü tren dizisi olarak saatte kesit yönde 15.000 ile 30.000 arası yolcu kapasitesine sahip olup, mümkün olduğunca karayolu ile aynı düzeyde kesişmesi istenmeyen sistemlerdir.

“Hafif Metro Sistemlerinde istasyon boyları ortalama 100 m civarında, araç genişliği genellikle 2650 mm'dir. Enerji temini katener, rijit katener veya 3.ray diye tabir edilen alttan besleme sistemleri ile sağlanabilmektedir” (Kölük, 2005; Toprak ve Aktürk, 2001).

Hafif Raylı Sistemler, yüzde 5.5 eğim ve 250 m kurp yarıçapına sahiptir. Çizelge 2.4'te Hafif Metro Sistemine ait teknik özellikler yer almaktadır.

2.2.4 Monoray

“Monoray, üst yollu yakın mesafe elektrikli toplu taşıma sistemidir. Ray yolu, kapalı bir kutu şeklinde (suspended, alttan asılı) veya aracın kapatıp üzerine oturduğu (straddle, üstten giden) şeklinde iki türlü olup; yüksek seviyeli çelik veya beton kolonlara asılı şekilde monte edilir. Hızı 80 km/saat dolayında sınırlanan bu sistem tek kabinle çalıştırılabilir gibi; dizi oluşturularak da çalıştırılabilir. Tek ray üzerinde hizmet veren, yolcu (ve yük) taşımacılığında kullanılan, çoğunlukla yükseltilmiş yollarda seyretmekle birlikte yüzeyde veya metro tünellerinde de çalışabilen "ray üstü" ya da "ray altı" işletilebilen araçlardır” (Gültekin vd., 2003).

Kent içi raylı taşıma sistemlerinden biri olan monoray sisteminde araçlar, tek bir adet hat üzerinde veya altında (asılı bir şekilde) hareket etmektedirler. Monoray sisteminde; bir kolon üstüne oturan iki giriş ve bu iki girişin üzerinde hat yolundan giden araçlar hizmet vermektedir. Yaklaşık olarak saatte 35 bin yolcu taşıma kapasitesi bulunan monorayların işletme hızları ise 30-35 km/s civarındadır.

Monoraylar otobüs ve tramvaylar gibi karışık trafik içinde hareket edemezler. Kendine ait hat yolu üzerinde hizmet verdiğinden, hızlı ulaşım sistemleri arasında yerini almaktadır. Kolonlar üzerinde bulunan monoray hatları kent yüzeyini bölmedikleri için, altlarında kesintisiz araç trafiği veya yaya sirkülasyonuna imkan tanımaktadırlar. Çizelge 2.6' de monorayın teknik özelliklerine yer verilmiştir.

2.2.5 Füniküler

Füniküler sistemler, özellikle eğimli arazi yapılarında yolcuların taşınması amacı ile halatlarla birbirine bağlanmış ve bir taşıyıcı ray üzerinde hareket edebilen ulaşım sistemleridir. Genellikle aralarında büyük yükseklik farkı olan iki bölge arasında çalışan funiküler sistemler, hem asansör hem de demiryolu teknolojilerinden oluşmaktadır.

Füniküler; üst istasyonda bulunan tahrik kasnağına sarılmış çelik halat ile bağlanmış en az iki araçtan oluşmaktadır. İki araç hat üzerinde hareket ederken; araçlar belirli bir mesafede paralel raylar sayesinde yan yana gelmekte ve araçlar birbirini geçtikten sonra hat tekrar teke düşmektedir. Birbirine bağlı olan araçlardan aşağı inen araca, yukarı çıkan araç yardımcı olurken, yukarı çıkan araç ise aşağı inen aracın kontrolden çıkmasını engellemektedir.

2.2.6 Tramvay

Karayolu ulaşım araçları ile aynı alanı kullanan, zaman zaman geçiş üstünlüğü bulunana, yol ve trafik durumuna göre bir sürücü tarafından kumanda edilen, elektrik enerjisini katenerden alan, alçak zeminli araçların kullanıldığı, düşük yolcu kapasiteli raylı toplu taşıma sistemleridir. Maliyeti düşük ve yolcu sirkülasyonun en kolay gerçekleştiği sistemdir

Tramvay sistemleri nüfusu az olan kentlerde ana ulaşım sistemi olarak kullanılsa da, genel olarak ana ulaşım sistemlerini besleyen ve yolcu transferini sağlayan tali ulaşım sistemleri olarak kabul edilmektedir. Karayolundaki diğer toplu taşıma araçları ile birlikte aynı güzergâhı kullanan tramvaylar, karma trafikte yol aldığından araç boyları çok uzun olmamaktadır. Genelde 2'li dizi olarak tek yönde saatte 8.000-15.000 bin yolcu taşıma kapasitesine sahip olan tramvayların hızları ve yolcu taşıma kapasiteleri diğer kent içi raylı sistemlere oranla daha düşüktür. Cadde tramvayı sisteminde peronlar arası mesafe diğer raylı toplu taşıma sistemlerine göre daha kısa

ve otobüs sistemine benzer nitelikte olup, yaklaşık 400-600 m aralıklarla istasyonları bulunmaktadır. İstasyon boyları ise en fazla 60 metre civarındadır.

Kurba yarıçapları 35 m.ye kadar inebilmekte eğimleri %7lere kadar yükselebilmektedir. Katener diye bilinen havai besleme hatlarından, yaygın olarak 750 VDC enerji ile beslenmekte olup; tramvay hatları genel olarak 1.435 mm ray açıklığına sahiptir.

Tramvay araçları 4-6 akslı olup, uzunlukları 14-21 metre arasında değişmektedir. 100-180 yolcu taşıma kapasitesine sahip bu araçlarda kapasitenin yaklaşık yüzde 20-40'ı oturma yeridir. “Tramvay sistemi trafik ile karışık işletildiğinden ve daha kısa istasyon aralıkları bulunduğundan, işletme hızları diğer raylı sistemlere göre düşük olup 15-30 km/s arasında değişebilmektedir”(Vuchic, 2007, ss. 300-302).



3. MONORAY SİSTEMLERİ

“Monoray, üst yollu yakın mesafe elektrikli toplu taşıma sistemidir. Ray yolu, kapalı bir kutu şeklinde (suspended, alttan asılı) veya aracın kapatarak üzerine oturduğu (straddle, üstten giden) olmak üzere iki türlü olup; yüksek seviyeli çelik veya beton kolonlara asılı şekilde monte edilmiştir. Tek ray üzerinde hizmet veren, yolcu (hatta yük) taşımacılığında kullanılan, çoğunlukla yükseltilmiş yollarda seyretmekle birlikte yüzeyde veya metro tünellerinde çalışabilen ray üstü yada ray altı işletilebilen araçlardır” (Gültekin vd., 2003).

Monoray, tek rayla hizmet eden, gittiği kılavuz yoldan daha geniş bir araç ve bu araçları taşıyan yapıların oluşturduğu kent içi toplu taşıma sistemidir. Monoray sisteminde araç, diğer raylı sistemlerden farklı olarak çift ray yerine, kendine ait tek bir hat yolundan ilerlemektedir. Çoğu örnekte monoray aracı, çelik veya ayaklarla (kolonlarla) yükseltilmiş zeminde yol almakta olup kısmi olarak hemzemin, yarma veya yer altında tünel içinde de ilerleyen örnekleri de bulunmaktadır. Uygulamada en yaygın olarak kullanılan model ise yükseltilmiş (elevated) Monoraydır.

Monoraylar otobüs ve tramvaylar gibi karışık trafik içinde hareket edemezler. Kendine ait hat yolu üzerinde hizmet verdiğinden, hızlı ulaşım sistemleri arasında yerini almaktadır. Kolonlar üzerinde bulunan monoray hatları kent yüzeyini bölmedikleri için altlarında kesintisiz araç trafiği veya yaya sirkülasyonuna imkan tanımaktadırlar.

Toplu taşıma kategorisindeki güncel monoraylar sistem yapıları, işletme hızları, dizi aralığı, istasyon ara mesafeleri, enerji besleme mantığı, işletme otomasyonu bakımlarından metro veya hafif raylı sistemlere benzer niteliktedir. Sistem tam otomasyonla çalışmakta olup, sürücüsüz çalışan örnekleri de bulunmaktadır.

Yaklaşık olarak saatte 35 bin yolcu taşıma kapasitesi bulunan monorayların işletme hızları ise 30-35 km/s civarındadır.

yurtdışı monoray örneklerinden birkaçına ait görseller Şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.1 : Monoray araçları (Url-2).

3.1 Monoray Sistem Tipleri

Monoray sistemlerini askı tip ve bindirme tip olmak üzere iki temel başlık altında incelemek mümkündür.

3.1.1 Askı tipi monoray

Gerçek anlamda ilk Monoray Almanya'daki Wuppertal monorayıdır. Yükseltilmiş bir yapıya monte edilmiş tek bir çelik ray ve buna asılı olarak hareket eden tek bir Monoray aracından oluşan; rayın, hem aracın ağırlığını taşıdığı hem de kılavuzluk ettiği Schwebbahn'in modern versiyonudur.

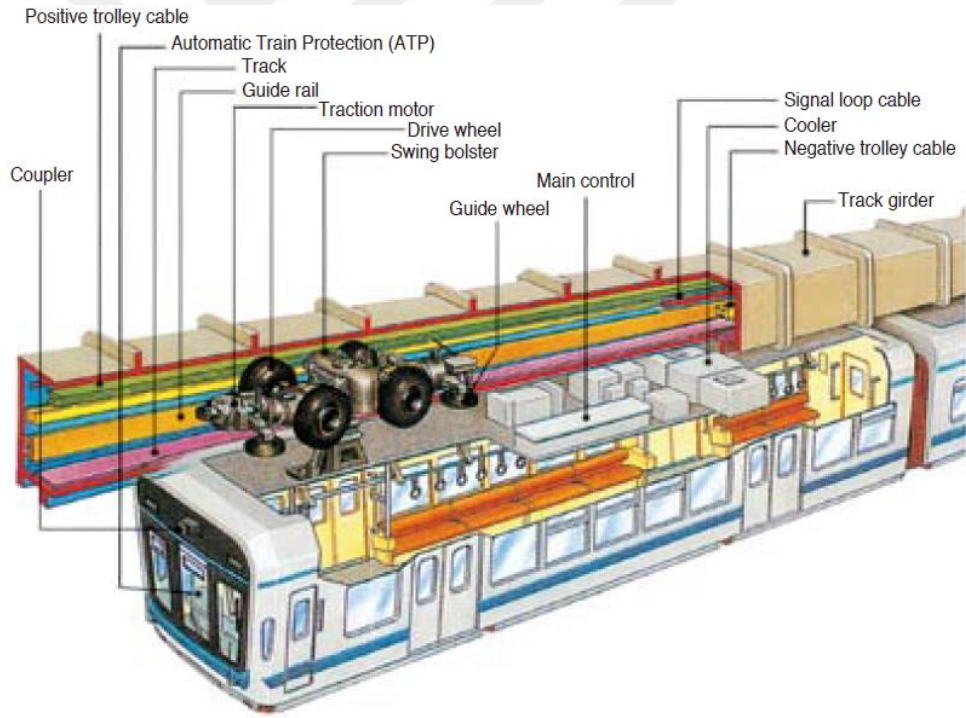


Şekil 3.2 : Askı tip monoray örneği, Japonya-Chiba (Kennedy, 2007).

Araçlar Schwebbahn modelinde olduğu gibi yukarı asılı olarak hareket etmekte olup, bu modelden farklı olarak; taşıma ve kılavuzluk yapan çelik rayın yerine, gözenekli beton kiriş, metal tekerleklerin yerine ise lastik tekerlekler kullanılmaktadır.

Askı tip monoray örneği Şekil 3.2’de görülmekte olup, bu tipe ait monoray kesiti ise Şekil 3.3’te yer almaktadır.

Bu sistemin temeli, Paris Metrosu için geliştirilen lastik tekerlekli bojinin modifiye edilerek havadan taşıma yapmak üzere araçların asılabilmesini sağlamaktır. Boji içi boş bir kutu kesitli kirişin iç alt yüzünde yol almakta ve süspansiyon takımı bu kiriş içinden geçmektedir. Sistem, metroda ve ALWEG tipi araçlarda olduğu gibi sessiz ve seri hızlanma yavaşlama özelliklerine sahiptir. Araçlar sarkaç tipi bir havalı süspansiyon ile asılmakta, bu şekilde yüksek hızlarda dahi konfor ve denge sağlanmaktadır.



Şekil 3.3 : Askı tip monoray kesiti (Url-3).

Bojilerin kutu kesitli kiriş içinde tam olarak gizlenmesi sonucu yağmur, kar ve buzlanma gibi hava olaylarından korunma sağlamaktadır. Bojilere elektrik enerjisi kiriş içinde devam eden bir üçüncü ray tarafından sağlanmaktadır. Lastik tekerleklerde sorun olması halinde yedek çelik tekerlekler devreye girmektedir.

Askı tip sistemlerin, altlarında motorlu taşıtlar için yeterli dikey açıklık bırakma zorunluluğundan ötürü daha yüksek yapılara sahip olması gerekeceğinden ve diğer bazı olumsuz özellikleri nedeniyle yeni nesil monoray projelerinde çok fazla tercih edilmemektedir.

3.1.2 Bindirme tip monoray

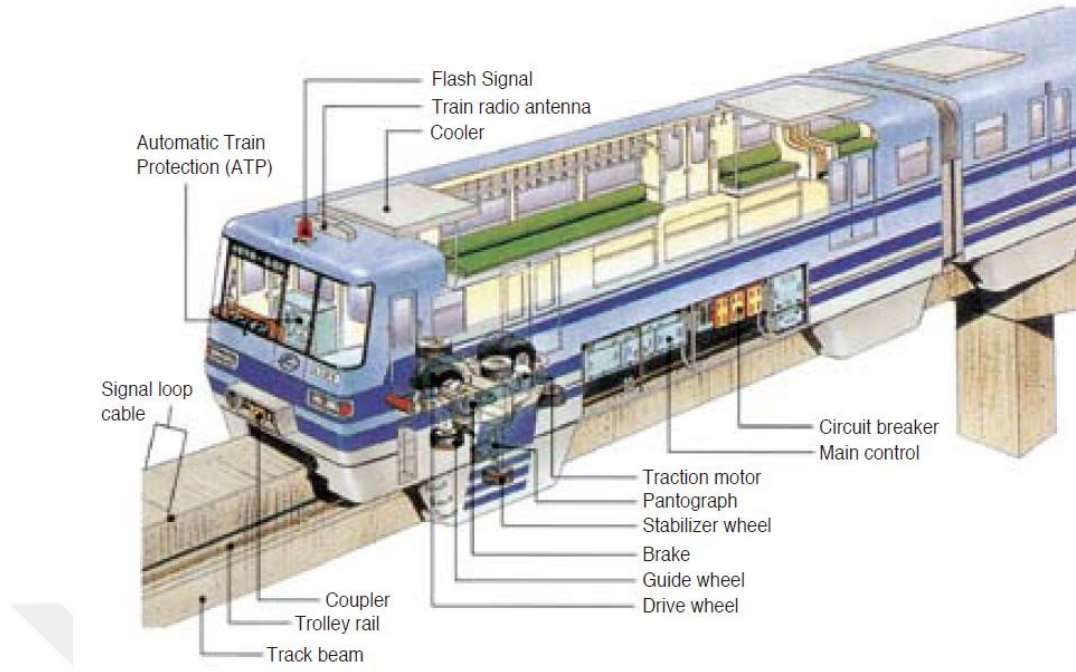
Bindirme tipi monoray sistemleri günümüzdeki en yaygın olarak kullanılan monoray tipidir. Yükseltilmiş (elevated) monoray sistemleri de denilmektedir. Askı tip monoray sisteminin aksine, daha yüksek kolonlar gerektirmediğinden ve görsel açıdan çevre ile daha uyumlu olduğu düşünüldüğünden, kent içi ulaşımında daha çok tercih edilmektedir. Nitrojen gazı doldurulmuş aracın taşıyıcı lastik tekerlekleri, yerden destekli kolonlar üzerine yerleştirilmiş kirişlerin oluşturduğu beton hat üzerinde gitmekte; kılavuzlama lastik tekerlekleri ise aynı kirişin iki yanına basmaktadır. Çelik kiriş üzerinde hareket örnekleri bulunmakla beraber oldukça azdır. Araç, kirişi tümüyle sardığından, devrilme olasılığı yok gibidir.



Şekil 3.4 : Bindirme tip monoray örneği (Kennedy, 2007).

Bindirme tip monoray sistemleri servis ve test geçmişine sahip, olgunlaşmış monoray sistem tipidir.

Bindirme tip monoray örneğine Şekil 3.4’te yer verilmekte olup, bu monoray tip teknolojilerine ilişkin vagon ve kiriş yapısına ait kesit ise Şekil 3.5’te görülmektedir.



Şekil 3.5 : Bindirme tip monoray kesiti (Url-3).

3.2 Monoray Sistemlerinin Genel Özellikleri

Bindirme tip monoray sistem elemanları; hat yolu, kolon yapıları, lastik tekerlekli CER ve kılavuzlama ve makas sistemi olmak üzere 4 alt başlıkta ele alınmakta olup; enerji, eğim, hız, ivmelenme ve frenleme, hava koşulları, gürültü, bakım, emniyet, konfor ve çevresel faktör özellikleri söz konusu 4 alt başlık kapsamında incelenmektedir.

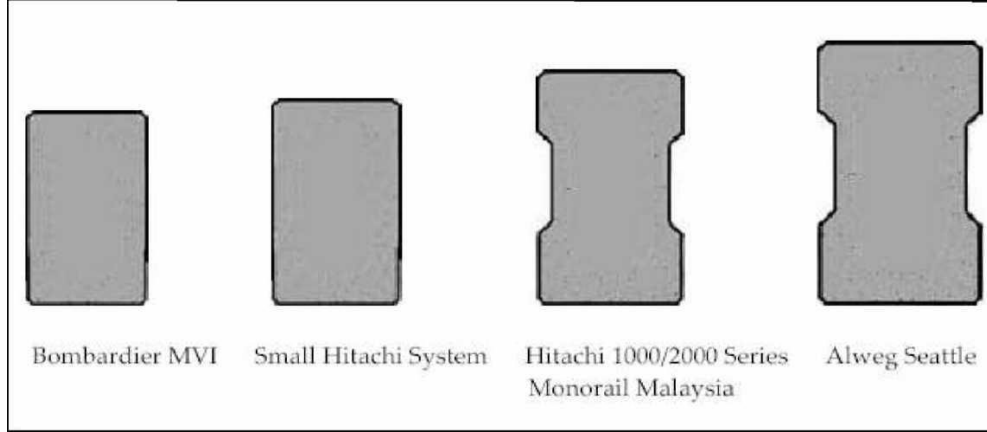
3.2.1 Monoray sistem elemanları ve özellikleri

Monoray sistemleri genel olarak hat yolu, kolon yapıları, lastik tekerlekli CER ve makas sistemleri gibi elemanlardan oluşmaktadır.

Hat yolu:

Bir monoray sisteminin en önemli yapısal elemanı hat yoludur. Bindirme tip monorayların hat yolu nadiren çelik, genellikle beton kirişlerden oluşmaktadır. Araç ve kiriş birbiri ile son derece uyumlu olmalı ve kiriş yanları ile kılavuzlama tekerlekleri tam oturmalıdır. Daha geniş kirişler daha geniş araçların kullanılmasına müsaade etmesine rağmen, kent estetiği açısından pek tercih edilen bir durum değildir. Ağırlık merkezi ve yolculuk konforu kaygıları yüzünden monoray aracı genişliğinin yaklaşık 1/4'ü kadar enli olan kiriş genişliği yeterli olup, kiriş yüksekliği ve uzunluğu, yapısal bütünlük korunduğu müddetçe görece olarak esnek

olabilmektedir. Monoray projelerine yaygın olarak kullanılan hat yolu örnekleri Şekil 3.6'da görülmektedir.



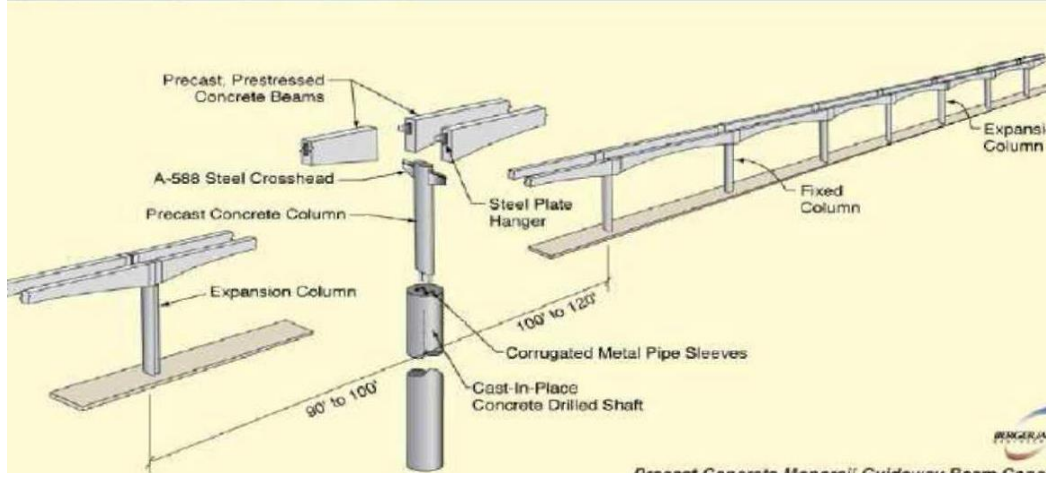
Şekil 3.6 : Hat yolu örnekleri (Kennedy, 2007).

Bindirme tip monoray hat yolları üç boyutlu olarak tasarlanmaktadır. Kurplarda hat kirişi sadece yatay düzlemde dönmekte aynı zamanda dikey düzlemde de eğilmektedir. Eğilmenin ölçüsü dönülen kurbun yarıçapına da bağlıdır. Bu değişik şartlara uyum için, beton kirişler münferit olarak değişik ölçülerdeki boy, yarıçap ve eğimlerle kalıplanarak imal edilmektedir. Monoray sistemlerinin minimum yaklaşık 40 metrelik dönüş yarıçapları olmakla birlikte; yolculuk konforu açısından bu kadar dar dönüşler mümkün mertebe pek tercih edilmemektedir.

Hat yollarının görselliğini artırmanın ve hat yolu ayak aralarını uzatmak (dolayısı ile ayak sayısını azaltmak) için kemer tipi kirişler kullanılmaktadır. Bu tip kirişler daha uzun ara mesafelere olanak sağlamakta, özellikle orta noktalarda kemerli yapı sayesinde daha estetik bir görüntü oluşmaktadır.

Kolon yapıları:

Kolon yapıları, bindirme tip monoray sisteminin temel elemanlarından biridir. Kolon boyutu ile hat yolu uzunluğu birbirine ters orantılıdır. Kolonlar arası açıklık arttıkça daha geniş ve daha ağır kolonlar gerekirken, kolonlar arası mesafenin kısılması durumunda ise daha hafif ve daha ince kolonlar kullanılabilir. Seattle (ABD)'daki monoray projesi için; yaklaşık 90 cm çaplı, 9 m. yükseklikte kolon ve 36,5 m. kiriş mesafesinin ideal ölçütler olduğu hesaplanmış olup, bu projeye ait kolon-kiriş yapıları Şekil 3.7'de görülmektedir.



Şekil 3.7 : Kolon-kiriş yapıları (Kennedy, 2007).

Ayak profili olarak imalatı kolay olan kare kesitli ayaklar ya da görsel açıdan daha estetik olduğu düşünülen yuvarlak tabanlı ayaklar ile dikdörtgen kesitli ayaklar kullanılmaktadır. Bu gibi ayakların dar kenarları hat yoluna iki yandan bakanlara karşı olacak şekilde yerleştirilmelidir. Bombardier sistemi bu yaklaşımdan faydalanmaktadır.

Monoray hat yolunun altında motorlu araç trafiği olması durumunda, minimum 5. ayak yüksekliği tavsiye edilmektedir. Ancak güncel projelerde, hem kent yüzeyinde oluşabilecek basıklığı gidermek hem de monoray yolcularına daha iyi manzara sağlamak amacıyla, kolon yüksekliklerini 10-12 metreye çıkartarak sistemi daha yüksekte yapılandırma eğilimi olduğu da bilinmektedir. Üretici firmalara göre farklılık gösteren yapısal eleman özellikleri Çizelge 3.1’te gösterilmektedir.

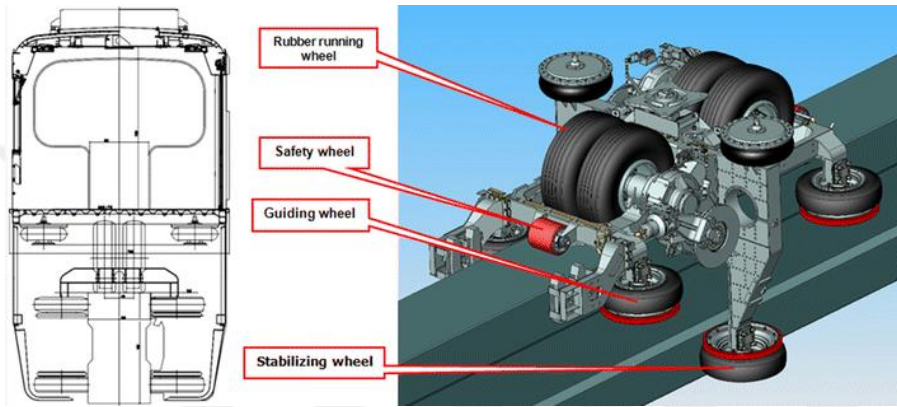
Çizelge 3.1 : Yapısal elemanların karşılaştırılması (Url-4).

Eleman	Hitachi Büyük Tip	Bombardier M6	Monorail Malaysia
Hat Yolu Kiriş Genişliği	0,8 m/0,85 m	0,66 m	0,8 m
Hat Yolu Kiriş Yüksekliği	1,4 m/1,5 m	1,5 - 2,1 m (Kemer)	1,6 orta -2,2 m uç (Kemer)
Standart Ara Mesafe	20 m/25 m	30 m	30 m
Başlık Genişliği	5,15 m	5,1 m	5,1m
Tipik Kolon Kaidesi		0,81 x 1,42	1,2 m x 1,6 m
Maksimum Brüt Dingil Yüğü	11 t/10 t	8 t	10 t
Minimum Kurp Yarı	70 m (40 m depo)	45 m	70 m (40 m depo)

Lastik tekerlekli cer ve kılavuzlama:

Hat yolunun dışında, geleneksel demiryolları ile ana teknolojik fark; lastik tekerlekli Cer'dir. Aracın taşıyıcı lastik tekerlekleri, kirişlerin oluşturduğu beton hat üzerinde ilerlemektedir. Kılavuzlama lastik tekerlekleri ise aynı kirişin iki yanına basmaktadır.

Şekil 3.8'de görüldüğü üzere iki akslı (dingilli) bir vagonda, 4 adet yük, 4 adet kılavuz ve 4 adet de denge tekerlekleri olmak üzere toplam 12 adet tekerlek bulunmaktadır. Bu tekerleklerin ömürleri yaklaşık 160.000 km olarak ifade edilmektedir.



Şekil 3.8 : Kılavuz yolu ve lastik tekerlekli cer (Url-2).

Makas sistemi:

Monoray işletmelerinde makaslama son derece önemlidir. Beton veya çelik kirişlerin boyutlarından dolayı makaslama sistemi oldukça yavaştır. Geleneksel demiryollarında 0,6 saniye süren makaslama için monoray sistemlerinde 15 saniye beklemek gerekmektedir. Makaslama işleminin sürekli olarak kullanılması planlanan sistemlerde, makas değiştirme süresinin uzunluğuna bağlı olarak sefer aralıkları artmaktadır. Monoray makas örneği Şekil 3.9 da verilmektedir.



Şekil 3.9 : Monoray makas örneği (Url-2).

İstasyon özellikleri:

Monoray sistemlerinde genel olarak viyadük tipi yüksek istasyonlar kullanılmaktadır. Ancak ihtiyaç duyulması halinde hemzemin veya yeraltı istasyon uygulamaları da yapılabilmektedir. Sistemde çoğunlukla orta ve yan peronlu istasyonlar kullanılabilmektedir. Yüksek istasyonlar, basit hemzemin hafif raylı sistem istasyonlarına nispetle daha maliyetli olmalarına rağmen sistemin estetik görselliğine katkıda bulunmaktadır. İstasyonlarda; anons, sistem içi haberleşme, yolcu bilgilendirme, saat, acil durdurma, ücret toplama ve turnike sistemleri gibi tam otomasyon sistemleri kullanılabilmektedir.

3.2.2 Diğer özellikler**Enerji:**

Bindirme tipi monoraylarda araçlar, hat yolunun yan yüzeyinde yer alan enerji baralarından enerji toplama pabuçları ile CER gücü almaktadır.

Sisteme enerji, hat güzergahı üzerinde belli aralıklarla kurulmuş CER trafo istasyonları ile sağlanmaktadır. Bu istasyonlarda üretilen DC (doğru akım) enerji, hat kirişi kenarındaki enerji baralarına taşınmakta ve araç altındaki akım toplama pabuçları bu baralardan enerji sağlamaktadır. Araç, DC enerjiyi AC (alternatif akım) enerjiye dönüştürerek, VVVF (değişken gerilimli değişken frekanslı) CER motorlarını beslemektedir. Bu tip motorlar boji üzerinde daha az yer kaplamaları ve yeni hız kontrol yöntemleri ile daha etkili kontrol edilebildikleri için tercih edilmektedir. Sadece Bombardier M6 aracı trafo merkezlerinden sağlanan direkt AC enerji ile çalışmaktadır.

Araca monte edilmiş elektrik motorları monoray aracına güç vermektedir. Lastik tekerlekli sistemlerde enerji tüketimi daha yüksektir. Bunun nedeni beton kiriş üzerinde hareket eden kauçuk tekerleklerin daha büyük dönme direncine ve dairesel ataletle sahip olmasıdır. Bunlara bağlı olarak; diğer raylı sistem teknolojilerine kıyasla yaklaşık % 25 daha fazla enerji harcamaktadır.

Eğimler:

Teorik olarak ray teknolojisi emniyetli bir şekilde %10 eğimleri geçemezken, lastik tekerlekli CER ile %15 ve daha yüksek eğimler emniyetle geçilebilir. Fiili durumda dik eğimler çok güçlü motorlar gerektirir ve bu durum ayaktaki yolcular için rahatsızlık vermektedir. Raylı sistemler normal olarak %3,5-4,5 eğim için

tasarlanırken, bu değer lastik tekerlekli monoraylar için %6-7'dir. Mevcutta %10 eğimle çalışan işletmeler de bulunmaktadır.

Hız – kapasite:

Monoray sistemleri, karayolu trafiğine girmeden, kendine ait hat yolu üzerinde hizmet verdiği için, hızlı ulaşım sistemi olarak tanımlanmaktadır. Monorayların ortalama işletme hızları metrolarla kıyaslamak mümkündür. Her iki sistem de tam korumalı yollarda çalışmakta ve istasyon ara mesafeleri de benzer uzunluktadır. Monoray sistemleri, metro sistemlerine eşdeğer olarak maksimum 80 km/saat hız yapabilmektedir. İşletme hızları ise 30-35 km/s civarındadır.

Monoray sistemler, düşük yolculuk potansiyelinin bulunduğu alanlarda hizmet verebildiği gibi; yaklaşık olarak saatte 30-40 bin yolcuya varan taşıma kapasitesi ile en yoğun hatlar için de tercih edilebilmektedir.

İvmelenme ve frenleme:

Lastik tekerlekli araçlar, çelik tekerlekli araçlara göre çok daha yüksek ivmelenme ve frenleme değerlerine sahiptir. Ancak monoraylar kendilerine ait yollarda hareket ettikleri ve karayolu trafiği ile kesişmedikleri için genel olarak yüksek frenleme değerlerine de gerek olmamaktadır. Aynı zamanda taşımacılıkta yolcu konforu ön plana çıktığından ani hızlanma ve frenleme özelliği, monoraylar için bir avantaj olarak değerlendirilememektedir.

Hava koşulları:

Bindirme tipi monoraylarda açık yolların üzerinde giden lastik tekerlekli araçlar çelik tekerlek kullanılan diğer raylı sistemlerden farklı olarak; kar, buz gibi soğuk hava koşullarına çok daha duyarlıdır. Buna bağlı olarak bazı durumlarda hat yolunun ısıtılması gerekebileceğinden, enerji maliyetleri de artacaktır. Askı tip monoray sistemlerinin yol yüzeyinin kapalı ve korunaklı olması nedeniyle olumsuz hava koşullarından daha az etkilenirler.

Gürültü:

Lastik tekerlekli sistemler dar kurplarda en ileri ray teknolojilerinden daha sessiz olup, aynı zamanda daha az titreşime neden olmaktadır. Ayrıca bindirme tip monoray araçlarının yanları tekerlek kısmını tamamını örtecek şekilde tasarlandığı için gürültü biraz daha engellenmektedir.

bulunan monoray sistemleri; hareketliliği artırmak, yolculuk talebini karşılamak, toplu taşıma hizmetini iyileştirmek, toplu taşımayı çekici kılarak özel otomobil kullanımını azaltmak, dolayısıyla enerji tüketimini, hava kirliliğini, trafik kazalarını, trafik sıkışıklığını azaltmak, düzenli bir kentsel yerleşim oluşturmak, kentsel gelişmeyi kontrol etmek-yönlendirmek ve benzeri sebeplerden tercih edilmektedir.

Monoray, kent yüzeyini bölmedikleri için gerek karayolu trafiğini, gerekse yaya sirkülasyonunu engellememektedir. Yapım sürecinde çabuk inşa edilmesi ve çoğu yerde mevcut altyapı sistemlerine müdahaleyi gerektirmediği için kent sakinlerine daha az rahatsızlık vermektedir. Şekil 3.10'da görüldüğü üzere, Hat yolu, kolon yapıları ve istasyon tasarımlarına bağlı olarak şehre modern görünüm getirmekte, şehrin imajını ve prestijini de artırmaktadır.



Şekil 3.10 : İstasyon tasarımı ve peyzaj düzenlemesi (Url-2).

Aynı zamanda doğal yaşamın öncelikli olarak korunmasını gerektiren alanlarda zeminde çok az yer kaplaması ve yaban canlılarının altlarından geçişine imkan tanınması ve kolonların da çeşitli bitki elemanları ile gizlenebilmesi ile ilgili özellikleri dikkate alındığında; diğer raylı sistemlere göre daha avantajlıdır. (Şekil 3.10).

Monoray kent yüzeyinde çok dar bir alan kaplamaktadır. Yoğun kent merkezlerinde kolonlar çoğu zaman refüj alanlarına denk gelecek şekilde planlanmaktadır. Böylelikle kent yüzeyinde aktif olarak kullanılan bir alan işgal edilmemektedir. Ayrıca refüj alanlarının ağaçlandırılması, kolonların sarmaşıklar gibi bitkisel elemanlar ile gizlenmesi ve diğer peyzaj düzenlemeleri ile birlikte şehir merkezinde oluşabilecek görüntü kirliliği engellenmekte veya minimuma seviyelere indirilmektedir.

3.3.3 Malaysia monorail



Şekil 3.15 : Malaysia monoray aracı (Url-2).

Seattle (ABD)'daki orijinal Alweg aracının modernize edilmiş versiyonudur. Boyutları Alweg aracına çok yakındır. Şekil 3.15 te görülen araçta, Hitachi ve Bombardier'in yeni nesil araçlarında kullanımdan kaldırdığı, taşıyıcı tekerlek yuvaları üzerindeki oturma grupları, Malaysia Monorail Firması tarafından uygulanmaya başlanmıştır. Orijinal Alweg modelinde olduğu gibi müstakil bir sürücü kabini bulunmamaktadır.

Araç daha yüksek taşıma kapasiteli Hitachi aracı ile daha hoş estetiğe sahip Bombardier aracı arasında konumlandırılmaktadır. Örneğin, Monorail Malaysia'nın 4 vagonlu aracı, Bombardier'in M6 modelinin 4 vagonlu aracından daha kısa olmasına rağmen, yolcu kapasitesi daha fazladır. Ancak, Bombardierin yeni modeli olan İnnovia Monorail 300'e göre taşıma kapasitesi yaklaşık %10 daha düşüktür. Hitachi aracında olduğu gibi vagonlar arası geçiş ve tam yolcu dolaşımı mümkündür. Monorail Malaysia aracında yüksek bir kapı genişliğine bağlı olarak diğer monoray araçlarına göre daha hızlı yolcu indirme-bindirme sağlanmaktadır. Bu araçlar 12 vagonlu diziler halinde hizmet verebilmektedir. Dolayısıyla sistemin taşıma kapasitesi daha fazla olabilmektedir.

3.3.4 Monoray araçlarının karşılaştırılması

Uygulanmakta olan monoray sistemlerinde kullanılan araçları tipleri üretici firmalara göre değişiklik göstermektedir. Çizelge 3.6'da, monoray araç türleri karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

