

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MONORAY ULAŞIM SİSTEMİNİN ÖZELLİKLERİ VE DİĞER KENTİÇİ
ULAŞIM ARAÇLARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Enfal Anıl ÇALIŞ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Ulaştırma Mühendisliği Programı**

ARALIK 2016

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MONORAY ULAŞIM SİSTEMİNİN ÖZELLİKLERİ VE DİĞER KENTİÇİ
ULAŞIM ARAÇLARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Enfal Anıl ÇALIŞ

(501151407)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ulaştırma Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Zübeyde ÖZTÜRK

ARALIK 2016

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501151407 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Enfal Anıl ÇALIŞ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "MONORAY ULAŞIM SİSTEMİNİN ÖZELLİKLERİ VE DİĞER KENTİÇİ ULAŞIM ARAÇLARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

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

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Murat ERGÜN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Güzin Akyıldız Alçura
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **25 Kasım 2016**

Savunma Tarihi : **23 Aralık 2016**

Anneme, babama ve bana sabır gösteren tüm arkadaşlarıma,

ÖNSÖZ

Gittikçe kalabalıklaşan şehirler, artan nüfus ve taşıt sayısı beraberinde trafik sıkışıklığı problemini de getirmiştir. Trafik sıkışıklığı toplumun her kesimi için sürekli bir sorun haline gelmiştir. Trafik sorunu yalnızca zaman kaybına değil aynı zamanda hava kirliliği, gürültü kirliliği, kaza sayısındaki artışın akabinde can ve mal kayıplarına da neden olmaktadır. Tüm bunlar bireylerin yaşam kalitelerinin düşmesine ve günlük rutin işlerinde isteksizliğe yol açmaya başlamıştır. Trafik sorununun tek bir çözümü olmadığı aşikârdır. Bu tezde trafikte seyreden çeşitli ulaşım araçlarının kullanımına bağlı olarak ne gibi sonuçların ortaya çıktığı sayısal verilerle ortaya konmaya çalışılmış ve halkın ulaşım araçlarından beklentileri göz önünde bulundurularak ihtiyaçlara cevap verebilecek özelliklere sahip yenilenen gelişen teknolojileriyle monoray ulaşım sistemi irdelenmiş ve diğer ulaşım araçlarıyla mukayese edilmiştir.

Yüksek lisansımın tüm aşamalarında yönlendirmeleriyle bana son derece yardımcı olan saygıdeğer ve pek kıymetli danışmanım Prof. Dr. Zübeyde Öztürk'e şükranlarımı sunuyorum. Yüksek lisans konusunda ufkumu açarak bana yol gösterdiği için Onur Özalp'e, öğrenim sürecimi destekleyen ve araştırmalarımında yardımını esirgemeyen müdürüm Ahmet Selami Söğüt'e, iş arkadaşım Şakir Yılmaz'a ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nden Muhammet AL'a, tez sürecimde bana destek ve yardımcı olan tüm arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Fikirlerime önem veren, yaşamımın her aşamasında maddi-manevi, bilhassa eğitim ve öğrenim konusunda tüm hayatım boyunca beni son derece destekleyen, iyi bir insan, vatanına milletine faydalı bir yurttaş olarak yetişmem için azami gayret gösteren annem Seval Çalış ve babam İskender Çalış'a minnettarım.

Aralık 2016

Enfal Anıl ÇALIŞ
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xiii
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGE LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Literatür Araştırması	1
1.3 Hipotez	4
2. KENT İÇİ ULAŞIM	5
2.1 Ulaşım Modları	5
2.2 Ulaşım Araç Çeşitleri	7
2.2.1 Monoray	7
2.2.2 Maglev monorayı	7
2.2.3 Sürücüsüz insan taşıyıcılar	8
2.2.4 Tramvay	10
2.2.5 Hafif metro	10
2.2.6 Metro	10
2.2.7 Metrobüs	11
2.2.8 Otobüs	11
2.2.9 Dolmuş	11
2.2.10 Taksi	11
2.3 Ulaşım Tercih Araştırması	12

2.4 Kent İçi Ulaşım Sistemlerinin Tercih Kriterleri.....	15
2.4.1 Çevresel kriterler	16
2.4.1.1 Emisyon kaynaklı kirlilik	17
2.4.1.2 Gürültü kirliliği	19
2.4.2 Ekonomik kriterler	22
2.4.2.1 Mesafeye bağlı işletme giderleri	23
2.4.2.2 Zamana bağlı işletme giderleri	24
2.4.2.3 Yola bağlı işletme giderleri	24
2.4.3 Teknolojik kriterler	24
2.4.3.1 Kapasite	25
2.4.3.2 Hat özerkliği	26
2.4.3.3 Esneklik	26
2.4.3.4 Güvenlik	28
2.4.3.5 Konfor	28
2.4.3.6 Düzenlilik	29
2.4.3.7 Enerji tüketimi	29
3. MONORAY	33
3.1 Dünyadaki Monoray Uygulamaları	34
3.2 Monoray Çeşitleri	37
3.2.1 Askı tipi (Suspended)	37
3.2.2 Bindirme tip (Straddle)	38
3.2.3 Konsol tip (Cantilevered)	40
3.3 Monoray Araçları	42
3.4 Monoray Hattının Fayda ve Maliyetleri	42
3.4.1 Monoray inşaat yatırımı maliyeti	43
3.4.2 Monoray araçlarının yatırım maliyeti	45
3.4.3 Monoray işletme ve bakım maliyeti	46
3.4.4 Karayolu taşıtları işletme maliyetleri	47
3.4.5 Yolcuların zaman maliyetleri	49
3.4.6 Karayolu Kaza Maliyetleri	51
3.4.6.1 Maddi hasar maliyetleri	52
3.4.6.2 Hastane maliyetleri	52
3.4.6.3 İdari maliyetler	52

3.4.7 Çevresel etki maliyetleri	54
4. MONORAY SİSTEMİNİN BİLEŞENLERİ.....	57
4.1 Monoray Yapı ve Tesisleri İçin Planlama ve Dizayn	57
4.1.1 Genel kriterler	57
4.1.2 Dizayn yükleri	58
4.1.2.1 Ölü yük.....	58
4.1.2.2 Hareketli yük.....	58
4.1.2.3 Etki yükü	59
4.1.2.4 Yanal vagon yükü	60
4.1.2.5 Sismik etki.....	60
4.1.2.6 Merkezkaç kuvveti.....	60
4.1.2.7 Çarpışma yükü	60
4.2 Hat Yolu	61
4.2.1 Kurb yarıçapı.....	62
4.2.2 Geçiş eğrisi.....	62
4.2.3 S eğrisi.....	62
4.2.4 Dever	63
4.2.5 Eğim	63
4.2.6 Düşey kurb	63
4.2.7 Hat merkezleri arasındaki uzaklık.....	64
4.3 Dizayn Özellikleri	64
4.4 Yapılar ve Tesisler	66
4.4.1 Viyadük üst yapısı.....	66
4.4.2 Temel ve alt yapı.....	68
4.4.3 İstasyonlar	70
4.4.3.1 Temel fonksiyon.....	70
4.4.3.2 Platform tipi	70
4.4.3.3 İstasyon tesisleri	74
4.5 İnşaa Metodları.....	75
4.5.1 Genel	75
4.5.2 Viyadük	75
4.5.2.1 Temel.....	76
4.5.2.2 Alt-yapı	77

4.5.2.3 Üst-yapı	78
4.5.3 Yükseltilmiş istasyonlar	79
4.6 Sinyalizasyon Sistemi ve Tren İşletim Yönetimi Sistemi	82
4.6.1 Anlaşman sistemi (Interlocking equipment)	83
4.6.2 Otomatik tren koruması (Automatic train protection).....	83
4.6.3 Otomatik tren operasyonu (Automatic train operation)	84
4.6.4 Operasyon kontrol merkezi (Operation control centre)	84
4.6.5 Acil durum butonu (Emergency stop button).....	85
4.7 Otomatik Tren Kontrolü.....	85
5. GÜNEŞ ENERJİSİ VE MONORAY.....	87
5.1 Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli	87
5.2 Güneş Enerji Panelleri.....	89
5.3 Monorayda Güneş Enerjisi Kullanımı.....	91
6. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER.....	93
6.1 Çalışmanın Uygulama Alanı	93
6.2 Halkın Talepleri.....	93
6.3 Mevcut Sistem İrdelenmesi	94
6.4 Monorayın Avantajları	95
6.5 Enerji Açısından Değerlendirme	95
6.6 Dünya Çapında Monoray	97
7. SONUÇLAR	99
KAYNAKLAR.....	101
EKLER.....	107
ÖZGEÇMİŞ.....	113

KISALTMALAR

AGT	: Automated guideway transit
CNG	: Compressed natural gas
GSYH	: Gayri Safi Yurtiçi Hâsıla
IEEE	: The Institute of Electrical and Electronics Engineers
İBB	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
KGM	: Karayolları genel müdürlüğü
LPG	: Liquefied petroleum gas
MLIM	: Magnetic linear induction motor
RTIM2	: Road Investment Model for Developing Countries
TRRL	: British Transport and Road Research Laboratory
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
TEFE	: Tüketici fiyatları endeksi
VOC	: Volatile organic compound
WEP	: Wireless equivalent privacy

SEMBOLLER

cal	: Calorie
CH₄	: Methane
CO	: Carbon monoxide
CO₂	: Carbon dioxide
dBA	: A-weighted decibels
gr	: gram
HC	: Hydrocarbon
Kcal	: Kilocalorie
kN	: Kilonewton
kWh	: Kilowatt hours
KW	: Kilowatt
m²	: Square meter
MJ	: Megajoule
N₂O	: Nitrous oxide
NO_x	: Nitric oxide and nitrogen dioxide
sa	: saat

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Toplu ulaşım modları.	6
Çizelge 2.2 : Taşıtların yolcu-km başına karbonmonoksit salınımları.....	17
Çizelge 2.3 : Motosikletlerin emisyon değerleri.....	19
Çizelge 2.4 : Taşıtların meydana getirdiği gürültü değerleri.....	22
Çizelge 2.5 : Gürültü seviyelerinin insan sağlığı üzerindeki etkileri.....	22
Çizelge 2.6 : Toplu taşıma araçlarının kapasite değerleri.....	26
Çizelge 2.7 : Ulaşım araçlarının hat özerkliği ve esneklikleri.....	27
Çizelge 2.8 : Taşıtların ortalama işletme hızları.	27
Çizelge 2.9 : Ulaşım araçlarının yolcu-kilometre başına enerji tüketimleri.....	30
Çizelge 3.1 : Monoray araçlarının özelliklerine göre kıyaslanması.	42
Çizelge 3.2: Üsküdar-Libadiye monoray hattı inşaat maliyeti fizibilitesi.....	43
Çizelge 3.3 : İzmit Yarımca – Çayırköy monoray hattı inşaat maliyet hesaplaması. 44	44
Çizelge 3.4 : Mevcut ve yapılması planlanan monoray hatlarının maliyetleri.	44
Çizelge 3.5 : İstanbul’da yapılmış olan metoro hatlarının maliyetleri.....	45
Çizelge 3.6 : İstanbul’daki metrobüs hatlarının inşa maliyetleri.	46
Çizelge 3.7 : İstanbul metrosunun işletme ve bakım maliyetleri.....	46
Çizelge 3.8 : Japonya’daki raylı ulaşım araçlarının işletme ve bakım maliyetleri... 47	47
Çizelge 3.9 : Karayolu taşıtları işletme birim maliyetleri.....	49
Çizelge 3.10 : Gelir dağılımına göre bireylerin saatlik zaman değerleri.....	50
Çizelge 3.11 : İstanbul’daki karayolu kazaları istatistikleri 52	52
Çizelge 3.12 : İstanbul için öngörülen yıllık araç - km değerleri (2015) 53	53
Çizelge 3.13 : Karayolu araçlarının kilometre başına ortalama karbondioksit salınımları.....	53
Çizelge 4.1 : Kiriş tipine göre açıklık hesaplanması[70].....	59
Çizelge 4.2 : Bindirme tip monoray dizayn özellikleri.....	65
Çizelge 4.3 : Platform tipi karşılaştırması.....	71

Çizelge 4.4 : Genel hatlarıyla monoray istasyon tesisleri.....	74
Çizelge 5.1 : Türkiye’de aylara göre ortalama güneşlenme süreleri.	88
Çizelge 5.2 : Coğrafi bölgeler bazında güneşlenme süreleri.	88
Çizelge 6.1 : Ulaşım araçlarının karşılaştırılması.	96

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 : Ulaşım türleri.....	3
Şekil 2.1 : 6 vagonlu monoray.....	7
Şekil 2.2 : Maglev monorayı.	8
Şekil 2.3 : Sürücüsüz insan taşıyıcılar.	9
Şekil 2.4 : Ankete katılan bireylerin yaş dağılımı.	12
Şekil 2.5 : Ankete katılan bireylerin gelir dağılımı.	13
Şekil 2.6 : Ankete katılan bireylerin araç sahiplik dağılımı.	13
Şekil 2.8 : Ankete katılan bireylerin ulaşımda yeraltı yerüstü tercih dağılımı.	14
Şekil 2.9 : Yerüstü tercih sebepleri.....	15
Şekil 2.10 : Otobüs ve monoray karbondioksit emisyon kıyaslaması[11].	17
Şekil 2.11 : Taşıtların yolcu-km başına karbonmonoksit salınımları [11-13].	18
Şekil 3.1 : Askı tipi monoray örneği.....	38
Şekil 3.2 : Bindirme tip monorayın kirişi saran tekerlekleri.	39
Şekil 3.3 : Bindirme tip monoray örneği.	39
Şekil 3.4 : Konsol tip monoray örneği.....	41
Şekil 3.5 : Hıza bağlı otomobil ve otobüsün yakıt tüketimi.	48
Şekil 4.1 : Üst yapı tipleri açıklık değerleri.	66
Şekil 4.2 : Tekil-tip temel ayağına sahip öngerilmeli giriş.....	67
Şekil 4.3 : Öngerilmeli girişin yapısal detayları[71].	67
Şekil 4.4 : Temel tipleri.	68
Şekil 4.5 : Tekil tip temel ayağı.....	69
Şekil 4.6 : Portal tip temel ayağı.....	69
Şekil 4.7 : Ayrık platformlu istasyon.....	72
Şekil 4.8 : Ada platformlu istasyon.	72

Şekil 4.9 : Ayrık platform yapısı (tek bilet geçiş hollü genel istasyon tipi).	73
Şekil 4.10 : Monoray inşaat çalışma alanı.	77
Şekil 4.11 : Betonarme viyadük inşaatı-1	77
Şekil 4.12 : Beton viyadük inşaatı-2.	78
Şekil 4.13 : Öngerilmeli ray kirişinin yerleştirilmesi.	79
Şekil 4.14 : Mevcut yollar ve istasyon inşa şeması.	80
Şekil 4.15 : İstasyon inşaatını gösteren çalışma-1.....	81
Şekil 4.16 : İstasyon inşaatını gösteren çalışma-2.....	81
Şekil 4.17 : İstasyon inşaatını gösteren çalışma-3.....	82
Şekil 4.18 : Otomatik tren koruma sistemi.	84
Şekil 5.1 : Türkiye güneş enerjisi potansiyeli haritası.	89
Şekil 5.2 : Güneş pili sistemi.	90
Şekil 5.3 : Güneş enerjisinden elektrik enerjisi eldesi.	90
Şekil 5.4 : Güneş enerji paneli yerleştirilmiş demiryolu aracı.....	91
Şekil 5.5 : İstasyon üstü güneş enerji paneli yerleşim örneği.....	92
Şekil 5.6 : Güneş enerjisinden faydalanan monoray şeması.....	92

MONORAY SİSTEMİNİN ÖZELLİKLERİ VE YAYGIN ULAŞIM ARAÇLARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Gelişmekte olan ülkeler kategorisinde yer alan Türkiye’de yüksek bir nüfus artış ve kentleşme hızı vardır. Özellikle son 20 yılda Türkiye’deki kent nüfus sayısının neredeyse iki katına çıkmış olması yoğun yerleşim bölgeleri oluşmasını sağlamıştır. Şehirler kuzey-güney, doğu-batı doğrultuda genişleyerek yerleşim geniş alanlara yayılmıştır. Geçen bu süreçte yaşam standardındaki artışla birlikte sanayi bölgelerinin genişlemesi, insanların eğitime, kültürel-sanatsal faaliyetlere verdikleri önemin artması ulaşım ihtiyaçlarındaki artışı doğurmuştur. Ulaşım talebi belediyeler tarafından toplu taşıma araçlarının hizmete sokulmasıyla, özel taşımacılık hizmetlerinin devreye alınmasıyla veya bireylerin özel araçlarıyla karşılanmaya çalışılmıştır. Artan eğitim ve refah seviyesi ile birlikte bireyler konforun yüksek olduğu özel araçlara yönelmiştir. Ulaşım talebindeki artış bireylerin özel otomobile talebini gözle görülür oranda arttırmıştır. Öyle ki nüfus artış oranından çok daha yüksek bir oranda trafikteki araç sayısı artmıştır. Şehirlerdeki hızlı büyüme ve nüfus artışından çok daha hızlı meydana gelen araç sayısındaki artış özellikle büyük şehirlerde trafik sıkışıklığı, gürültü kirliliği, hava kirliliği gibi sorunların artmasına neden olmuştur. Fosil yakıtlarla işletilen karayolu toplu taşıma araçlarının gerek çevre kirliliğini arttırdığı gerek yeterli güvenilirlik, konfor, hız sağlayamadığı için efektif çözüm olmadığı görülmüştür.

Toplu taşıma araçları planlaması yapılırken çevresel, ekonomik ve teknolojik olmak üzere birtakım kriterler göz önünde bulundurulur. Ekonomik açıdan incelemede ulaşım sisteminin imalat aşamasında ilk yatırım maliyetinin yanı sıra işletme sırasında ortaya çıkan işletme ve bakım maliyetleri de göz önünde bulundurulmuştur. Toplu taşıma araçları planlanmasında ekonomik kriterler göz önüne alınırken sadece sistem imalat maliyeti değil, sistem hayata geçtiğinde diğer ulaşım araçlarının çevreye ve insanlara verdiği zararda meydana gelecek azalmalar da ele alınmıştır. Tez kapsamında özellikle ele alınan monoray ulaşım sistemleri yapıldığında, mevcut güzergâhlarda işleyen dolmuş, otobüs ve özel araç sayısında azalma beklenmektedir. Bu araçların ulaşımında yoğun olarak kullanılması veya kullanılmaması durumunda ekonomiye etkileri konusunda çok yönlü bir inceleme yapılmalıdır. Bu incelemeye araç yıpranma payı, yakıt, yağ, lastik, genel bakım giderleri, istatistiklere bağlı karayolu kazalarında meydana gelen maddi, yaralanmalı hatta ölümlü kazaların neden olduğu masraflar ve işgücünde yaşanan kayıplar dahil edilmiştir.

Trafik sıkışıklığı neticesinde çokça zaman kaybı yaşayan insanlara İstanbul'un çeşitli bölgelerinde anket yapılmış ve toplu taşıma araçlarını tercih edenlerin oranı belirlenmiş, toplu taşıma araçlarının hangi özelliklerinin tercih edilebilirliği arttıracakları saptanmaya çalışılmıştır. Monoray hatları olması durumunda toplumun hızlı, güvenilir, konforlu yolculuk için ödemeye razı olabilecekleri bedellerin standart ulaşım ücretlerinin ne kadar üstünde olabileceği verisi elde edilmiştir.

Toplu taşıma araçları planlamasındaki çevresel kriterler göz önüne alındığında ise fosil yakıtlarla çalışan karayolu taşıtlarının yolcu-km başına oldukça yüksek emisyon değerlerine sahip olduğu görülür. Özellikle bakımları zamanında ve özenli yapılmayan özel şahıslar tarafından işletilen araçların emisyon salınımları daha da fazla olmaktadır. Bunların yanı sıra karayolu araçları başta ücret toplama yöntemiyle çalışan dolmuşlar olmak üzere çok fazla gürültü kirliliğine neden olmaktadır. Gürültü kirliliği metropollerin başlıca sorunlarından biri haline gelmiş olup insan sağlığına zihinsel ve bedensel pek çok olumsuz etkisi vardır. Özel araçlara nazaran daha çevre dostu çözümler sunduğu düşünülen karayolu toplu taşıma araçlarının beklenenden çok daha fazla oranda gürültü kirliliğine sebep olduğu görülmüştür.

Ulaşım araçları planlamasında çağın gerekleri göz önünde bulundurularak teknolojik gelişmeler takip edilerek gelişmiş, ihtiyaçlara cevap verebilecek konforu, düzeni, güvenilirliği yüksek seviyede olan sistemler seçilmesine özen gösterilmelidir. Bu kriterler kapsamında toplu taşıma araçları seçilirken özellikle yaygın olarak kullanılan otobüs, dolmuş, metro gibi ulaşım araçlarıyla bu tez kapsamında incelenen monoray mukayese edilmiştir. Nüfus yoğunluğu fazla olan megapollerde ayrıcalıklı yola sahip olmayan karayolu taşıtlarından konfor, güvenilirlik, düzen beklemek maalesef pek mümkün olmamaktadır. Karayolu toplu taşıma araçları trafikte son derece güç yol alabilmekte hatta yolcu indirme bindirme sürelerinin değişkenliğinden ötürü zaman çizelgesine çok riayet edememektedirler. Yolun durumuna göre de yolculuk konforu son derece düşük olabilmektedir. Refah düzeyi artan toplum, toplu taşıma araçlarıyla konforsuz seyahat etmek yerine özel otomobilleri tercih etmekte bu da trafik sıkışıklığının daha da artmasına neden olmaktadır. İnsanlara konforlu, güvenilir, hızlı ulaşım imkânı sağlanabilmesi için monoray ulaşım çözümü farklı açılardan incelenmiştir. Monoray sistemlerinde bir ulaşım aracından beklenebilecek konfor, güvenlik, düzenlilik gibi pek çok özellik mevcuttur. Ayrıca yapılan anketlerde insanların toplu taşıma aracı tercihlerini seyahat ettikleri süre boyunca iletişim kurabilecekleri araçlardan yana kullanmak istedikleri yönünde olmuştur. Başta gün içerisinde hareket halinde çalışan personeller olmak üzere öğrenciler ve diğer çalışanlar, toplumun pek çok kesiminden insan ulaşım sırasında iletişimlerinin kesilmemesinin kendileri için önemli bir husus olduğunu belirtmiştir. Bu da yer üstünden giden konforlu, hızlı, güvenilir bir toplu ulaşım aracı olan monorayı daha da cazip hale getirmiştir.

Tez kapsamında monoray sisteminin bileşenlerinden detaylı olarak bahsedilmiştir. Monoray yapı ve tesislerinin planlanması başlığı altında hatyolu, kirişler, viyadükler, istasyonlar ve sinyalizasyon sistemleri detaylı olarak anlatılmıştır. Dünya genelinde bir asırdan fazla zamandır mevcut monoray hatları olmasına karşın ülkemizde henüz örneğinin bulunmaması monoray hatlarının ne şekilde inşa edildiğine dair bilginin eksikliği, kıyaslama açısından boşluk oluşturmaktadır. Bu çalışmada monoray hat

inşasından bahsedilerek yerleşimin yoğunlaştığı bölgelerde bile monoray taşıtlarının üstün özelliklerinden dolayı monoray hat yollarının rahatlıkla inşa edilebilirliği açıklanmıştır. Monoray hat yolu imalatları yer üstünde olmasına karşın kirişlerin hazır dökme beton şeklinde imal edilip sahada monte edilebilmesi sebebiyle şantiye alanının daha dar tutularak imalat sırasında alan tasarrufu sağlanmakta bu da monoray hat inşasını cazip hale getiren unsurlardan biri olmaktadır. Ayrıca yüksek eğimlere tırmanabilme, dar kurları dönebilme özellikleri açısından monoray araçları kıyaslanarak, hattın gereklerine göre farklı firmaların ürettiği farklı özelliklerdeki monoray araçları ile ihtiyaçların karşılanabileceği belirtilmiştir.

Türkiye’de yapılmış olan metrobüs ve metro hatlarının yapım maliyetleri ile dünyada yapılmış ve yapılması planlanmış monoray hatlarının kilometre maliyetleri kıyaslanmıştır. Bu kıyaslarda doğru planlama yapılırsa monoray hatlarının yapım ve işletme maliyetlerinin benzer kapasiteye sahip diğer toplu taşıma sistemlerinden %30-40 gibi oranlarda az olduğu görülmüştür. Monoray hatlarının diğer toplu taşıma araçlarına göre üstünlükleri sıralanmış ve bu üstünlüklerin ekonomiye, bireylere ve çevreye faydalarından bahsedilmiştir.

Monoray hatları işletilmesinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile işletme maliyetlerinin çok daha ekonomik hale getirilebilir olduğu görülmüştür. Petrol kaynaklı yakıtların ulaşım araçlarında çok yüksek bir paya sahip olması, Türkiye gibi petrolü ithal eden ülkelerin ekonomilerine büyük bir yük getirmektedir. Özellikle toplu taşıma araçlarında petrole olan bağımlılık giderilerek hem ülke ekonomisine katkı sağlanabilir hem de emisyon salınımı ve diğer çevresel kriterler açısından önemli bir adım atılmış olur. Gerek çevre dostu olarak işletilebilirliği gerek insanların beklentilerini ve taleplerini karşılayabilecek niteliğe sahip olmasından kaynaklı monoray araçları başta İstanbul olmak üzere pek çok büyük şehirde akılcı çözüm olabilir niteliktedir. Türkiye gibi güneşlenme süresi yüksek ve güneş enerji potansiyeli fazla olan ülkeler için yükseltilmiş yollardan işletilen monoraylar daha da avantajlı olabilir. Monoray hatları metrolar gibi yer altından gitmedikleri için ve istasyonları da yer üstünde olduğundan gerek istasyonlar gerek monoray araçları direk güneş ışığı alabilmektedir. Güneş enerjisini istasyonlarda ve monoray araçlarında etkin bir biçimde kullanarak ciddi yararlar sağlamak mümkündür. Monoray araçlarına güneş enerji panelleri yerleştirilerek monoray işletme enerjisinin dışa bağımlılığını azaltarak işletme maliyetlerinin azaltılabileceği öngörülmüştür.

SYSTEM PROPERTIES OF MONORAIL AND ITS COMPARISON WITH COMMON TRANSPORTATION SYSTEMS

SUMMARY

Turkey is one of the developing countries in the world. Turkey has a rapid population increase and urbanization. Especially for the last 20 years, with the population doubling around two fold, there have been extensive residential area development. Cities have been growing north to south and east to west directions. During this progression, elevated living standards, development of industrial areas, and with the attachment to education and cultural activities, the need for transportation has been increased. This need has been tried to be met by mass transportation systems provided by municipal authorities, private transportation or individual vehicles. Individuals began to prefer private cars of their own as education level and life standards developed. Since more transportation alternatives demanded, the number of private cars increased noticeably. So much so that, the incidence of number of cars on traffic is much higher than the incidence of population increment. Especially in bigger cities with increase in the number of cars on traffic, which happens much faster than the urbanization and population increment, there happens to be problems such as traffic jam, noise pollution and air pollution. Mass transportation with fossil fuel operated vehicles were designed as a solution for these problems. However, these vehicles not only causes environmental pollution they also do not ensure reliability, comfort and speed. Hence, mass transportation is not an effective way to deal with the transportation need and problems of an urban city.

While planning mass transportation of a city, some criteria such as environmental, economic and technological aspects are considered. From economical aspect, investment cost of transportation system during manufacturing is considered. Moreover, cost of operation and maintaining margin during operation is important to take in consideration. Other than cost-effective issues of a transportation system, it is important to pay regard to some criteria for minimizing the undesirable effects of the transport system on environment and individuals. Monorail transportation system, discussed in this thesis, is thought to affect city traffic by reducing the number of individual cars, buses and minibuses which are operating on existing routes. Considering the economical profit of these operating vehicles, there has to be a careful and versatile investigation. In this thesis, vehicle depreciation, fuel, oil, tire, general maintaining costs, statistical data's of accidents resulted in physical damage, injury, and death and the expense they caused and loss of labor are included.

In this study, economical loss that is caused by wasted time due to traffic is calculated. A survey is conducted with people who lose their time because of traffic jam in different parts of Istanbul. With this survey it is aimed to determine the transportation system citizens prefer and which properties cause them to prefer aforesaid mass transportation. In case of a monorail line operating, it is determined that passengers agree to pay to make a fast, safe and comfortable travel, even if they have to pay more than standard transportation fees existed.

When environmental criteria are considered for the planning of mass transport systems, fossil fuel consuming vehicles have a considerably high emission passenger per km. Especially, private vehicles that are used by individuals and lack of efficient maintenance, have higher emission rates. Moreover, road vehicles, in particular fee collecting minibuses, cause an awful lot of noise pollution. Noise pollution has become one of the major problems of crowded cities, which affects mental and physical health of individuals. Although mass transport road vehicles are thought to be more effective on the environmental front than private cars, they are in fact cause noise pollution more than expected.

While choosing transportation system, it is utmost important to take in hand the requirements of the era. To meet the needs of an era of our own, systems that are technologically updated, comfortable, easy to organize and high security should be considered. In the light of these criteria, in this thesis monorail system is compared with buses, minibuses, metro and such that are used commonly. Especially in crowded cities, it is not realistic to expect comfort, safety and order from road vehicles. Mass transportation systems that are operating on road, also have a difficulty to travel. Moreover, they cannot comply with their schedules due to drop-off and pick-up of passengers. According to the condition of the road travelling can be uncomfortable. With the increasing living standards, individuals prefer private cars rather than mass transportation for comfort purposes. This causes even more traffic jam. Monorail system is discussed from different aspects to provide comfortable, safe and rapid transportation for citizens. Monorail systems have the ability to provide comfort, safety, order and many more specialty that can be expected from a transport system. Furthermore, according to the survey which is conducted with citizens, passengers prefer to be able to communicate while they are travelling. Foremost the employee on the move, students and other employees, different majorities of the society prefer to maintain communication while using transportation. Therefore, monorail system which travels above ground that is comfortable, rapid and safe becomes even more alluring.

Within the scope of this thesis, monorail system elements are mentioned thoroughly. Under the title named monorail construction and planning of its facilities, guideway, beams, viaducts, stations and signaling systems are discussed in depth. Even though the monorail system has a history of more than a century, since there is no example of a monorail in Turkey makes it difficult to understand how the monorail guideway is constructed. This lack of information causes a difficulty to make a comparison. An issue discussed in this study that, due to its superior specifications, it is possible to construct monorail guideways even in highly populated areas. Monorail guideway construction is made above the ground, beams are pre-fabricated and assembled on the

construction site. Therefore, monorail construction needs minimal worksite which makes monorail more advantageous. Moreover, while comparing monorail rolling stocks for their ability to climb high slopes and turn narrow curves, the need for transportation can be met by different monorail rolling stock with different properties that are manufactured by different companies.

Construction costs of bus rapid transit (metrobus) and metro lines in Turkey and monorail lines that are constructed or planned around the world are compared on kilometer basis. Based on these comparisons, if a careful planning is conducted, monorail rolling stocks have a 30-40% lower operation and construction costs when they are compared with transportation systems that have similar passenger capacity. Superiorities of monorail lines over other mass transportation systems are listed and, how these superior properties gain favor for economy, individuals and environment are mentioned.

Using renewable energy sources for operating monorail lines to lower the operating costs is possible. Since Turkey imports petrol and vast majority of the vehicles on traffic use petroleum, this has a huge impact on country's economy. Especially by lowering the usage of petrol on mass transportation systems can have a positive impact on country's economy. Decreased usage of petrol also lowers the emission and this would be an important step to solve environmental issues. As it is environmental friendly and has a capacity to meet individual's expectations and demands, monorail could be a rational solution for highly populated cities in Turkey, in particular Istanbul. Furthermore, since Turkey's hours of sunshine is long and solar energy potential is high, monorails operate on elevated guideways can have an advantage. Since monorail lines are not underground like metro lines, both monorails and monorail stations gets direct sunlight. By using the sunlight, it is possible to use this solar energy on monorail rolling stocks and stations. It is foreseen that by placing solar panels on monorails, monorail operating energy could be self-produced and this can lower the operation costs.

1. GİRİŞ

Ülkemiz nüfusunun artışı ve ekonomik gelişmeyle birlikte ülkemizde araç sayısındaki hızlı yükselişin akabinde artan trafik ve ulaşım araçlarından kaynaklı kirlilik bu tez kapsamında ele alınmış; dünya çapında pek çok uygulaması olan monoray ulaşım sisteminin ülkemizde hayata geçirilmesinin sağlayacağı ekonomik - çevresel avantajlar ve imalat metotlarından bahsedilmiştir.

1.1 Tezin Amacı

Bu tezde şehirlerin nüfus yoğunluğunun artmasının yanı sıra artan refah seviyesi ile ulaşım ihtiyaçlarından kaynaklı trafikteki taşıt sayısındaki artışın akabinde sıkışıklığın ve çevre kirliliğinin de artış göstermesinin olumsuz etkilerinin azaltılması için alternatif toplu taşıma araçlarının karşılaştırılarak çevre dostu ve halkın taleplerini karşılayabilecek olan toplu taşıma araçlarının seçim kriterleri detaylı olarak ele alınmıştır. Ülkemizde çok yaygın olmayan ve yeterince incelenmemiş olan monorayın farklı açılardan durumunu ortaya koymak amaçlanmıştır. Kılavuz yollu, lastik tekerlekli ulaşım aracı olan monorayın çeşitleri, hat yolu ve istasyon inşasının, dünyadaki uygulamalarının incelenmesi ve monoray hatlarının üstünlüklerinin saptanması ve monoray sistemleri yapıldığında kamuoyunun bu ulaşım şeklini benimseme potansiyeli üzerinde durulmuştur.

1.2 Literatür Araştırması

Ülkemizde son çeyrek asırda yoğun olmakla birlikte kentlerde yaşama talebi; iş imkânları, sosyal imkânlar, eğitim olanakları gibi nedenlerden dolayı ciddi bir artış göstermiştir. Kentlere olan talebin artışıyla birlikte kent merkezlerinde toplanan nüfus şehir merkezi nüfus yoğunluğunu fazlasıyla arttırmıştır.

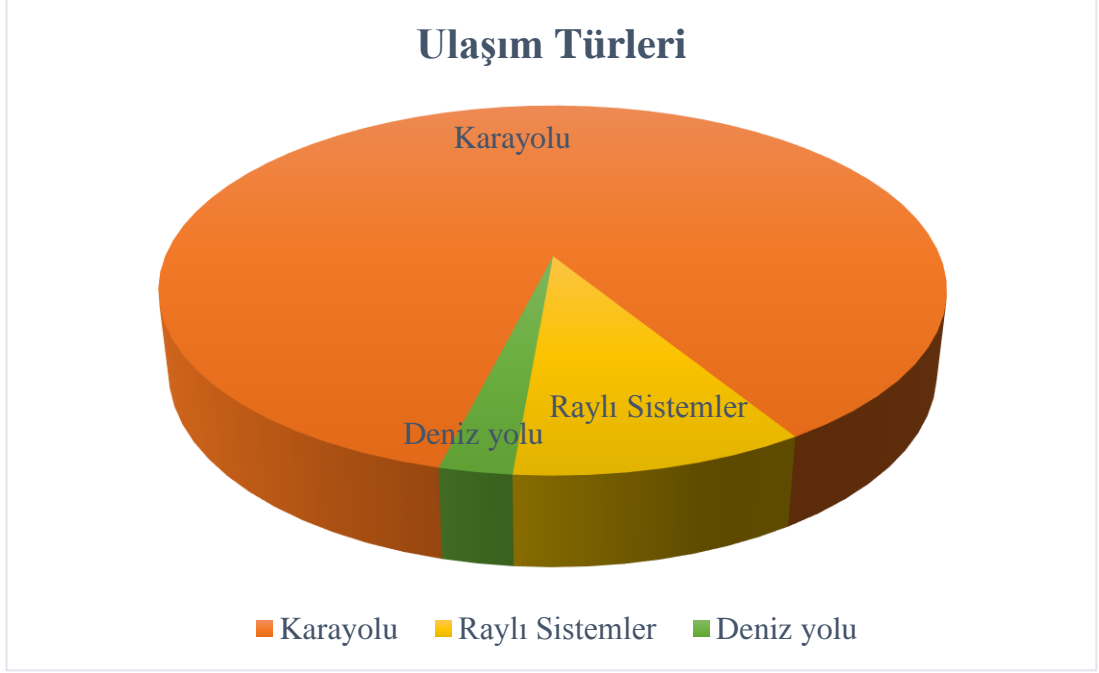
Her geçen gün artan nüfus, yükselen ekonomik gelişmişlik ve insanların yer değiştirme arzuları ve ihtiyaçları ulaşım araçlarına, özellikle de otomobillere olan talebi artırmıştır. Nüfus yoğunluğu fazla olan şehirlerde kitlelerin benzer zaman dilimlerinde ulaşım talepleri ciddi bir trafik sorununu da beraberinde getirmiştir. Trafik sorunuyla birlikte kazalar ve egzoz emisyonu da önemli derecede artış göstermiştir.

Artan trafik sıkışıklığı, çevre kirliliği, parklanma problemleri toplu taşımanın ne derece önemli olduğunu gözler önüne sermektedir. Ekonomik açıdan makul, kentin planlı gelişimine katkı sağlayan, ekolojik olarak doğaya verilen zararın minimumda tutulması ilkesine dayanan, kentin tarihi ve kültürel kimliği ile uyumluken çağdaşlığını ve gelişmişliğini yansıtan, erişilebilir, konforlu, güvenli niteliklerini içinde barındıran, sürdürülebilir, ihtiyacı karşılayan ulaşım sistemleri ile kent içi ulaşım talepleri karşılanmalıdır ki insanlar toplu taşıma araçlarını tercih etsin.

Ülkemiz nüfusu 2004 senesi sonunda 72 milyon, trafiğe kayıtlı toplam motorlu kara taşıtı aracı sayısı 10.236.357 iken; 2015 sonu itibariyle nüfus 78 milyon 741 bine yükselirken trafiğe kayıtlı araç sayısı 19.994.472 olmuştur. Artış miktarlarını oransal olarak inceleyecek olursak 11 senede nüfus artışı %9,5 dolaylarında olurken taşıt sayısındaki artış %95 olmuştur [1].

Sabah Gazetesi haberinde; İstanbul'a iyi haber: Nüfus artmayacak çünkü "Dünyada Kentleşme Tahminleri" isimli rapora göre İstanbul gelecekte dünyanın en kalabalık kentlerinden biri olmayacak. 2004 senesi nüfusu 10 milyon olan İstanbul dünyanın en kalabalık şehirleri listesinde ilk yirmiye giremedi olarak nitelendiriliyor [2]. Oysa 2015 sonu itibariyle İstanbul nüfusu 14.657.434 olarak kayda geçti ve dünyanın en kalabalık 5.şehri unvanına sahip. İstanbul'daki trafiğe kayıtlı araç sayısı ise 3 milyon 651 bin 166. Bu sayının 2 milyon 464 binini otomobiller oluşturuyor [3,4].

İstanbul'da bir günde yolcuların tercih ettikleri ortalama ulaşım araçları dağılımı şu şekildedir; %23,52 si özel otomobillerle, %21,48'i otobüslerle, %14,41'i servislerle, %14,48'i dolmuş ve minibüslerle, %8,13'ü taksilerle ve %5,28'i metrobüs ile sağlanmaktadır. Şekil 1.1'de verildiği üzere raylı sistemlerin payı %10.17 ve denizyolu ulaşımının payı ise %2.53'tür [5].



Şekil 1.1 : Ulaşım türleri.

İnsanların arabalar yerine, büyük ölçüde toplu taşımaya bağlı olması enerji tüketiminin azalmasının yanı sıra, çevre kirliliğinin azaltılması, trafiğin rahatlaması, kazaların azalması, ekonomide dışa bağımlı ürünlerin tüketiminin azaltılması gibi pek çok olumlu etkiye sahiptir. Bu nedenle, toplu taşımayı teşvik etmek ve toplu taşımanın kullanılabilceği güzergâhları arttırmak düşük karbon salımlı, düzenli, çevre dostu şehirler oluşturmak için gereklidir. Çevre dostu kentsel yapılar oluşturmak için sadece yüksek yoğunluklu petrol kaynaklı toplu taşıma araçları planlaması yapmak makul çözüm olamaz.

Karayolu taşıtları ile toplu ulaşım en konforsuz ulaşım şekli olarak gösterilebilir, bunun nedeni olarak değişken yol yapısı, şoför davranışları, trafikteki diğer unsurlar, taşıma araçlarındaki yoğunluk, iklimlendirmenin doğru şekilde sağlanamaması, yolculuk sürelerindeki değişiklikler gibi etmenleri sayabiliriz. Oysa kent içi ulaşımında

kılavuzlanmış yollara sahip taşıtlar ile yapılan ulaşımlar, yolculuk sürelerindeki istikrar, ferah iç mekân, ideal iklimlendirme, güvenlik gibi yolcular tarafından gözetilen yönlerden daha cazip görünmektedir. Kentiçi raylı sistemler avantajlı olmalarına rağmen dünyadaki uygulanma oranlarını veren istatistiklere bakıldığında toplam taşımadaki oranın düşük olduğu ve ağırlığın karayolunda olduğu görülür [6].

1.3 Hipotez

Artan nüfus, araç sayısı ve refah düzeyi ile birlikte insanların kaliteli, güvenli, konforlu, dakik olarak ulaşım ihtiyaçlarının karşılanabilmesi açısından kentiçi ulaşım sistemlerinin ve bunların içinde monorayın incelenmesi, ulaşımdan kaynaklı çevresel etkilerin azaltılmasının ve bu türün yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji sağlayabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır.

2. KENT İÇİ ULAŞIM

Metropollerde ulaşımı sağlamak için belediyeler farklı ulaşım çözümleri sunarak halkın ulaşım ihtiyaçlarını sağlamak için çeşitli sistemleri hayata geçirmektedirler. Bu sistemlerin kimisi geçici ve pratik bir çözüm olarak görülürken, kimi projeler uzun fizibilite sonucunda yüksek yatırımlarla yapılmaktadır. Bu bölümde şehirlerde kullanılan ulaşım sistemleri hakkında genel bilgiler verilmiştir.

2.1 Ulaşım Modları

Toplu ulaşım modlarının sınıflandırılmasında, bütünüyle olmasa da büyük ölçüde yol kullanım hakkı türüne bağlı olarak A,B,C şeklinde üç genel sınıftan söz edilir. Bu sınıfları şu şekilde tanımlamak mümkündür:

1. Cadde toplu ulaşımı diğer bir ifadeyle yüzey toplu ulaşımı olarak adlandırılır. Trafiğin karma aktığı caddelerde C sınıfı yol kullanım hakkı söz konusudur. . C sınıfı yol kullanım hakkı sınıfının güvenilirliği trafik koşullarına, büyük oranda trafik sıkışıklığına ve diğer çeşitli etkileşimlere bağlıdır. Taşıtların duraklara yanaşabilme, duraktan çıkmak için sıra bekleme ile kaybedilen zamanlardan ötürü hızı normal trafik akışından daha düşük olur. Başta otobüs olmak üzere tramvaylar da bu sınıfta bulunur.
2. Yarı hızlı toplu ulaşım büyük oranda B sınıfı yol kullanımına sahip modlardan meydana gelebilir. Bu sınıfın alt kademesinde ayrılmış yol ve caddelerde işletilen otobüsler ve hafif raylı ulaşım araçları yer alır. Üst kademesinde ise tamamen ayrılmış tünel ve yükseltilmiş yapıların yer aldığı hafif raylı sistemler bulunur. Bu modların performansı büyük ölçüde ayrılmış yolların konumuna ve ölçüsüne bağlıdır.
3. A sınıfı yol kullanım hakkında işletilen araçlar kullanıcılara yüksek hız, güvenilirlik, kapasite ve emniyet sunar. Mevcut tüm hızlı ulaşım sistemlerinde demiryolu veya lastik tekerlekli kılavuz yollu teknolojiler kullanılır.

Toplu ulaşım modlarının kategorilere göre sınıflandırılması Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 : Toplu ulaşım modları.

	Toplu ulaşım modlar	Genel kategoriler
Toplu ulaşım modları	Ring otobüsü	
	Düzenli otobüs	
	Ekspres otobüs/tramvay	Cadde ulaşımı
	Trolleybüs	
	Tramvay/Cadde tramvayı	
	Hızlı otobüs taşımacılığı	
	Hafif raylı ulaşım	Yarı hızlı ulaşım
	AGT ring servisi	
	Otomatik kılavuzlu hızlı ulaşım	
	Hafif raylı hızlı ulaşım	
	Lastik tekerlekli hızlı ulaşım	Hızlı ulaşım
	Monoray	
	Raylı hızlı ulaşım/metri	
	Bölgesel demiryolu	
	Teleferik	
	Dişli demiryolu	
	Füniküler	Özel amaçlı toplu ulaşım
	Hava tramvayı	
	Arabalı vapur	
	Deniz otobüsü	

2.2 Ulaşım Araç Çeşitleri

Bu tezde bahsi geçecek olan toplu ulaşım araçlarının tanımları şu şekildedir.

2.2.1 Monoray

Monoray isminden de anlaşılabilceği gibi Şekil 2.1’de görülen tek bir ray (beton kiriş, çelik askı rayı) üzerinde hareket etmektedir. Monoray trenleri tek bir kiriş üzerinde veya kirişe asılı olacak şekilde çalışmaktadırlar. Kiriş, genellikle betondur. Lastik tekerler çekiş gücü sağlayarak monoray treninin kiriş boyunca ilerlemesini sağlamaktadır. Monoraylar bir ya da çoğu zaman üç ila altı araçlı dizilerle işletilir ve ayrıcalıklı yol kullanım hakkına sahiptir; bu nedenle işlevsel olarak hızlı toplu ulaşım modu kategorisinde yer alır. Monoraylar, lastik tekerlekleri daha yüksek eğimlerin ve keskin kurpların aşılmasında raylı sistem araçlarından daha avantajlı bir konumdadır. %20 lik eğimlere dahi tırmanabilen monoray taşıtları vardır [6,7].



Şekil 2.1 : 6 vagonlu monoray.

2.2.2 Maglev monorayı

Maglev teknolojisi manyetizmadan faydalanılarak ortaya çıkarılmıştır. Temelinde en basit anlamda mıknatısların zıt kutuplarının birbirini itmesi prensibine dayanır. Maglev monoray konseptinde konvansiyonel boji, tekerlek ve standart elektrik motoru yer almaz.

Bu ulaştırma sistemi için hatyolu boyunca elektromıknatıslar doşenmiştir. Bu süper iletken mıknatıslar -267 C dereceye kadar soğutularak standart mıknatıs itki gücünün 10 katı güçlü itki oluşturacak manyetik alan oluşmaktadır. Meydana gelen manyetik alan, taşıtı ray hizasından yaklaşık 10 cm yukarıya kaldıracak ve taşıtı iterek rayların hizasında hareket ettirebilecek kadar güçlüdür. Bu manyetik alanların, raylara döşenen basit metal akım ilmekleri ile etkileşmesi esasına dayanarak alternatif akım oluşur ve oluşan bu alternatif akım ile hem manyetik çekme hem de manyetik itme kullanılarak trenin ray üzerinde ilerlemesi sağlanmış olur. Şekil 2.2’de görülen Maglev monorayı deneme sürüşlerinde 550 km/sa hıza ulaşmıştır. Ticari işletme hızı ise en yüksek 431 km/sa’dır [8].



Şekil 2.2 : Maglev monorayı.

2.2.3 Sürücüsüz insan taşıyıcılar

Dünya çapında genelde havalimanlarında yolcu taşımada geniş kitleler tarafından kullanılan bir ulaşım aracıdır. Pek çok kişi tarafından yalnızca havalimanlarına özgü bir ulaşım aracı olarak bilinmesine karşın Şehir içi ulaşımda da kullanılmaktadır. Çoğu

otomatik insan taşıyıcı sistemi kauçuk tekerlekler kullanır. Bilindiği üzere kauçuk tekerlekler çelik tekerleklere nazaran çok daha sessizdir ve daha az titreşime neden olur. SİT'lerin en önemli özelliklerinin başında dar yarıçaplı kurbalarda yol alabilmeleri ve yüksek eğimleri tırmanabilmeleri gelmektedir. Güzergâh seçiminde işletilmesinde oldukça esnek bir sistemdir. Kent içi SİT yolları standart karayolundan yükseltilecek şekilde kılavuzlanır. Düz yollarda mevcutta var olan yolun sağ kısmını kullanarak arazi gereksinimi minimum olacak şekilde güzergâh tasarımı yapılabilir böylece kamulaştırma için gerekli arazi ihtiyacını azalttığı gibi kültürel ve tarihsel olarak önemli olan yapıların da zarar görmesinin önüne geçilmiş olur. Şekil 2.3'de sürücüsüz insan taşıyıcı örneği görülmektedir [9].



Şekil 2.3 : Sürücüsüz insan taşıyıcılar.

2.2.4 Tramvay

Tramvaylar genellikle mevcut karayolu taşıt yoluna hemzemin olarak yerleştirilen raylar üzerinde hareket eden iki ila dört dizili vagonlardan oluşan genellikle B (yarı hızlı) ve C (cadde toplu ulaşımı) sınıfı yol kullanım hakkının sunulduğu caddelerde işleyen ve elektrikle çalışan toplu taşıma araçlarıdır [7]. Tramvay ile hafif raylı sistemler özellik olarak oldukça benzerdir. Gereksinimlere ve hat tasarımına göre zaman zaman hafif raylı sistemler karayollarıyla hemzemin kesişebilirken, bazı tramvay yolları da daha hızlı ve güvenli olması amacıyla uygun kesimlerde karayolu hattından izole şekilde işletilebilmektedir.

2.2.5 Hafif metro

Son yıllarda, ağır raylı sistemlere göre maliyeti daha düşük ve az kapasiteye sahip hafif raylı transit sistemleri popüler hale gelmiştir. Ağır rayın aksine, LRT araçları daha hafiflerdir ve genelde 2-4 vagon ile işletilirler. Genel olarak ticari üretimleri 28 metrelik 2 vagonlu, 48 metrelik 4 vagonlu olarak yapılır. İki vagonlu trenler 175 kişi kapasiteli dört vagonlu sistemler 300-340 kişi kapasiteli olarak işletilebilir.

2.2.6 Metro

Metro sistemi, kentsel, yüksek kapasiteli ve yüksek hizmet sıklığına sahip, her türlü trafik, yol ve yayalardan bağımsız çalışan elektrikli yolcu taşıma sistemi şeklinde tanımlanmaktadır. Metro ve diğer toplu taşıma tiplerini, hafif raylı sistem ve banliyö tren gibi, birbirinden ayırt etmek zordur. Metro ve hafif raylı sistemi birbirinden ayırt etmenin bir yolu diğer trafik ile etkileşimleridir. Hafif raylı sistemler yol paylaşımına veya geçitlere ihtiyaç duyabilirken, metro neredeyse her zaman kendine ait bir yolda ilerlemektedir. Metro sistemlerinin banliyö trenlerinden farkı ise, şehir içinde kullanılmalrı ve gün içerisindeki saatlerde iki sefer arası 10 dakikayı geçmeyecek sıklıkta hizmet vermesidir. Dahası, çoğu metro sistemi yük trenleri veya şehirler arası tren sistemleri ile demiryolu paylaşmazlar. İstanbul'daki M2 metro hattına bakacak olursak 180 metrelik peron boyuna ve 8li vagon kapasitesine sahiptir. 8'li vagon dizilimiyle işletildiğinde tek bir metroda 2600 yolcu taşınabilmektedir [6,7].

2.2.7 Metrobüs

Körüklü yüksek kapasiteli otobüslerin genellikle kendilerine ayrılmış şeritlerden ilerleyerek uzun mesafelere sahip durak peronlarında yolcu indirme-bindirme işlemi yaptığı nispeten raylı sistemlerdeki mesafe-süre tutarlılığına sahip toplu taşıma sistemidir. Ancak araç içi konfor açısından raylı sistemlerden daha aşağıdadır.

2.2.8 Otobüs

Özel bir yola, inşaata ihtiyaç duymayan hemene hemen tüm cadde, bulvar ve arterlerde çalışabilen 40-150 arasında kapasiteye sahip güzergâh esnekliğine sahip toplu ulaşım araçlarıdır. Belediyeler ve özel şahıslar tarafından belirli güzergâhlarda belli tarifelerle işletilirler. Ancak trafik durumundan tümüyle etkilenmekle birlikte durakların sıklığı dolayısıyla ticari işletme hızları oldukça düşüktür.

2.2.9 Dolmuş

5-15 arasında değişen oturma kapasitesine sahip, güzergâh boyunca yolcuları isteğe bağlı alıp bırakan ve yoğunlukla trafik sıkışıklığını arttıran özel şahıslara ait genelde sabit güzergâhlı toplu ulaşım araçlarıdır [7]. Pek çok gelişmekte olan ülkede ulaşımda pratik çözüm maksadıyla kullanılmaktadır. Mesafeye bağlı ücretlendirme ve durak olmaksızın inip bilme rahatlığından dolayı yolcular tarafından tercih edilmesine karşın ücret tahsilatının taşıtı kullanan şoförler tarafından yapılması ve standartların düşüklüğünden dolayı güvenli olmayan bir ulaşım aracıdır. Dolmuşlar genellikle işgücü maliyetlerinin nispeten düşük olduğu ve işletmedeki otobüslerin yeterli kapasite ya da hizmet kalitesi sunmadığı gelişmekte olan ülkelerde yoğun olarak kullanılırlar.

2.2.10 Taksi

Bireysel yolculuklar için süre ve mesafe bazlı ücretlendirilerek kiralanan otomobil kategorisindeki özel ulaşım araçlarıdır. Araç marka modeline göre 3 veya 4 kişilik oturma kapasitesi sunar. Tek bir kişinin veya aynı anda 4 kişinin binmiş olması ücret tarifelerini değiştirmez.

2.3 Ulaşım Tercih Araştırması

İstanbul'da 5 farklı merkezi lokasyonda 20'şer kişi ile yapılan anketlerde insanların ulaşım tercihleri ile ilgili veriler derlenmiştir. Anket yapılan güzergâhlar şu şekildedir.

Maslak Orijin önü ve metro çıkış turnikeleri

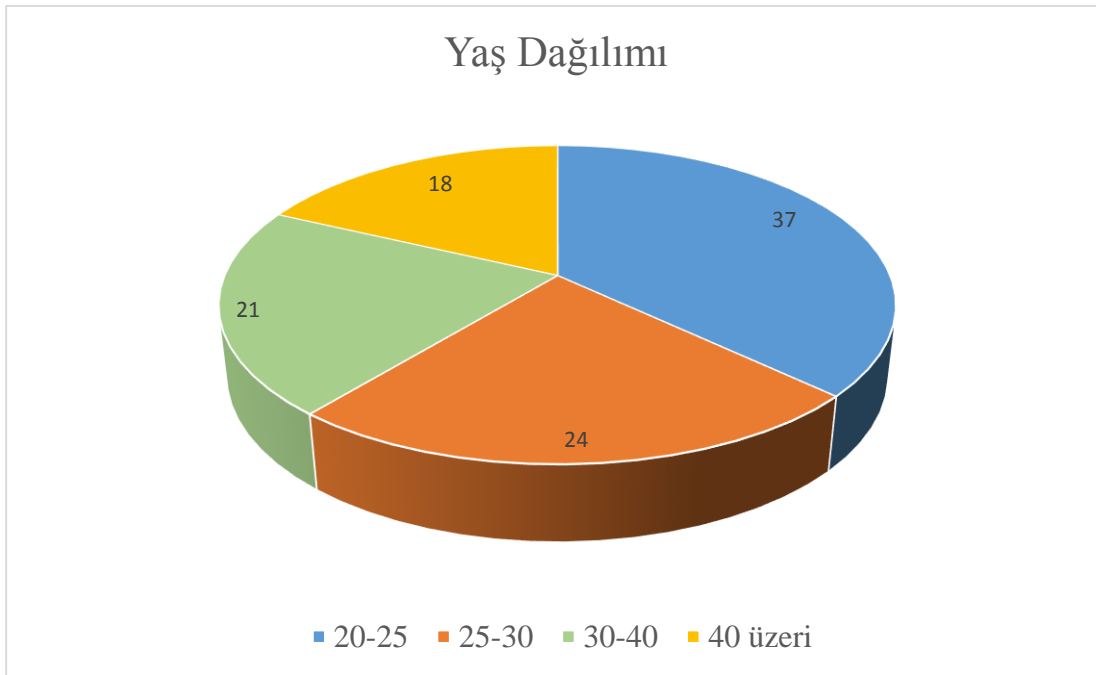
Mecidiyeköy meydan Ortaklar Caddesi ile Büyükdere cd. kesişimi

Levent Kanyon avm karşısı, Mövenpick otel karşısı

Beşiktaş Sinan Paşa Camii önü, balıkçılar çarşısı önü

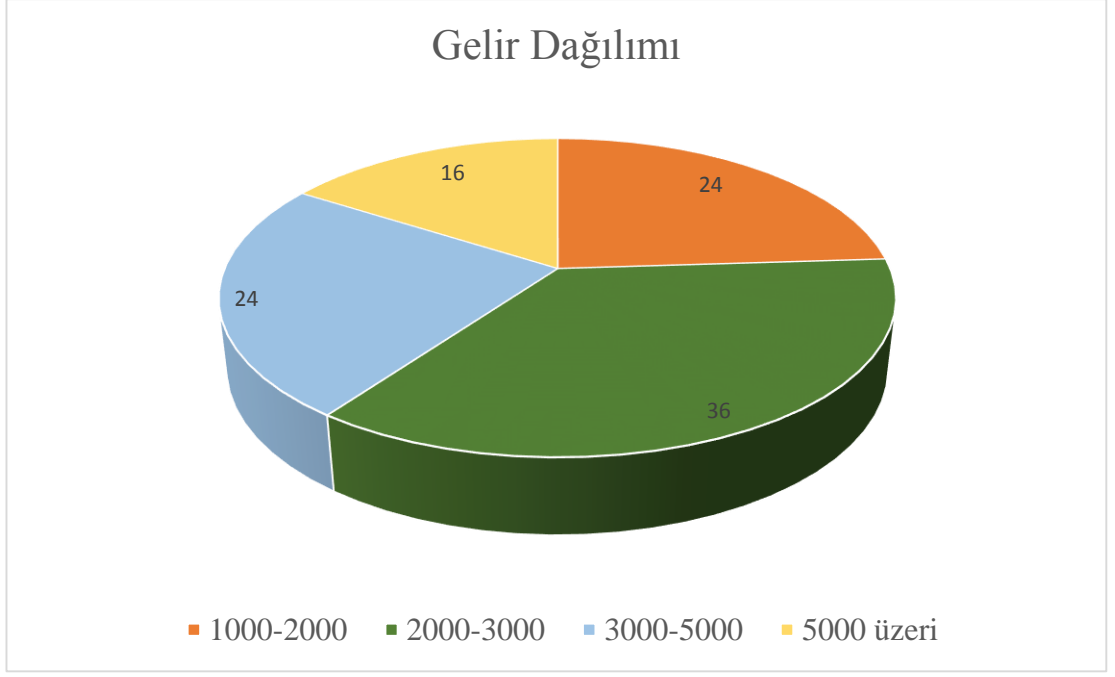
Bağdat cd. Migros hizası cadde üzeri

Bu güzergahlarda ankete katılanların yaş dağılımı Şekil 2.4'teki gibidir.



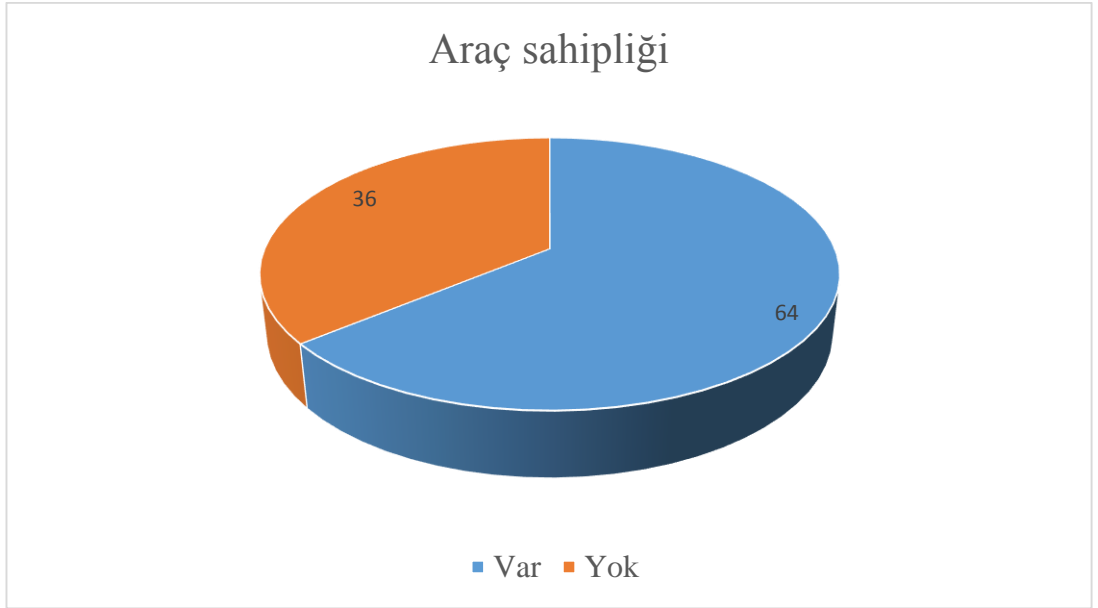
Şekil 2.4 : Ankete katılan bireylerin yaş dağılımı.

Ankete katılan bireylerin beyan ettikleri gelir dağılım aralığı şekil 2.5'teki gibidir.



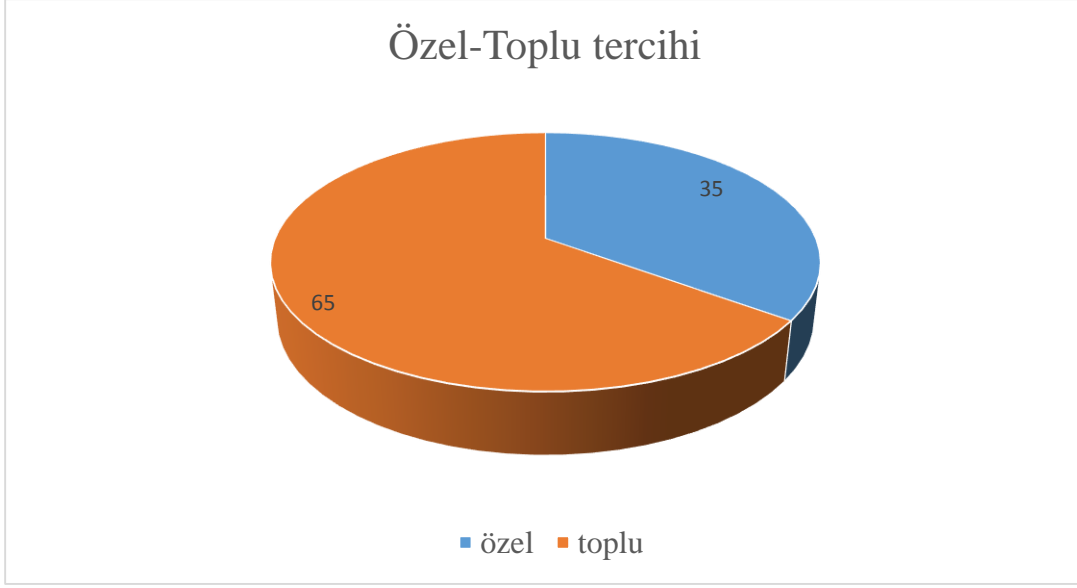
Şekil 2.5 : Ankete katılan bireylerin gelir dağılımı.

Ankete katılanların şahsi ya da sürekli kullanım üzere şirket aracına sahipliğinin dağılımı ise Şekil 2.6'daki gibidir.



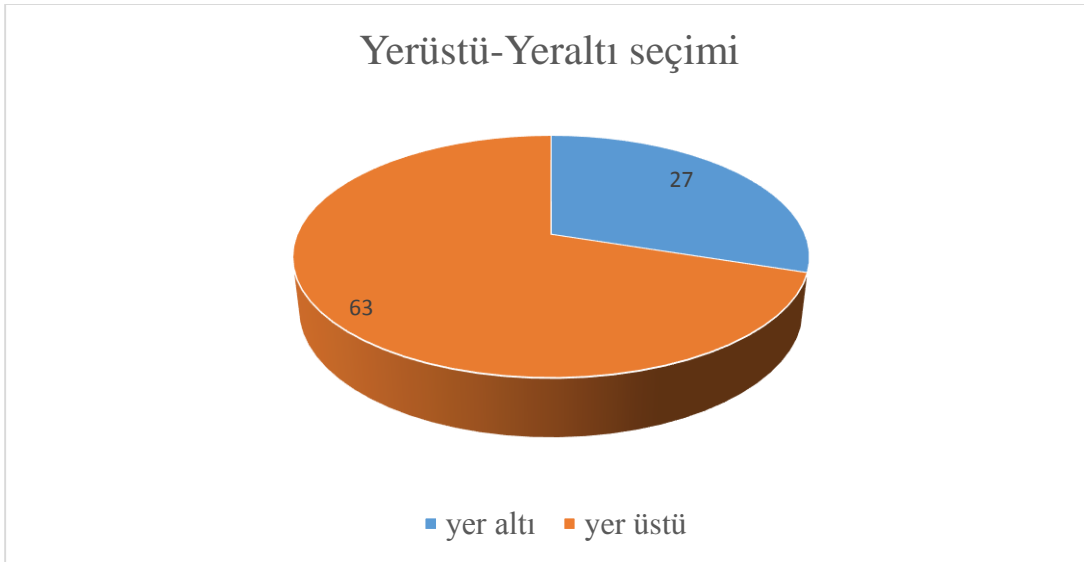
Şekil 2.6 : Ankete katılan bireylerin araç sahiplik dağılımı.

İşe/okula giderken bireylerin ulaşım aracı tercihleri ise Şekil 2.7'de görüldüğü üzere %65 toplu %35 özel araç/taksi şeklindedir.



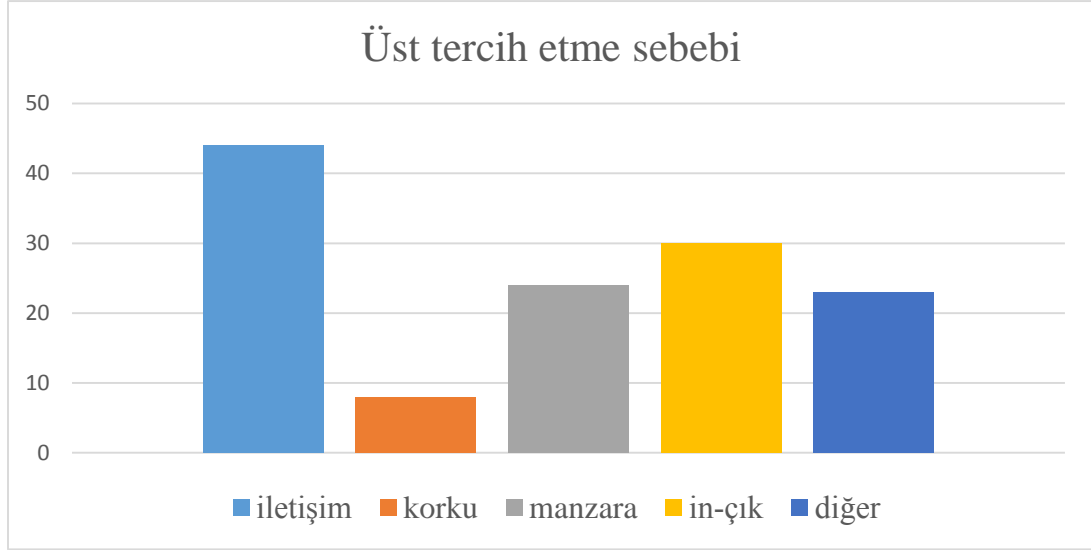
Şekil 2.7 : Ankete katılan bireylerin ulaşım tercih dağılımı.

Aynı güzergahta yaklaşık aynı hızlarda ulaşım sağlamak mümkün olsa yer altından mı gitmeyi tercih edersiniz, yer üstünden gitmeyi mi sorusuna verilen yanıtlar Şekil 2.8’de görüldüğü üzere %63 üst %27 alt şeklinde olmuştur. Ulaşım araçları tercih ederken standart bilet ücretlerinin %50 fazlasını ödeyerek daha hızlı seyahat etmeye razı olanlar ankete katılanların %85’ini oluşturuyor.



Şekil 2.8 : Ankete katılan bireylerin ulaşımında yeraltı yerüstü tercih dağılımı.

Yer üstünde seyahat etmek isteyenlerin yer üstünde seyahat etmek istemelerinin birincilikli nedeni mobil iletişim kurabilmektir. Diğer nedenler ise şu şekilde sıralanmıştır; çok fazla in-çık yapılması, yer üstünde etrafı görerek seyahat etmek istemeleri, yer altından deprem, terör vs. korkmaları, çok fazla transfere neden olması/nem kokusu ve diğer sebepler.



Şekil 2.9 : Yerüstü tercih sebepleri.

2.4 Kent İçi Ulaşım Sistemlerinin Tercih Kriterleri

Geçmişten günümüze ileriye yönelik planlama yapılmaması ve kontrolsüz büyüme ile birlikte doğru yapılandırılmamış kentleşme şehirlerde yaşayan insanları pek çok sorunla karşı karşıya bırakmaktadır. Burada ele alınan en önemli sorun ulaşımda meydana gelen aksaklıklardır. Bu aksaklıkların nedenleri olarak iş yerlerinin, konutların otopark alanları ayrılmadan inşa edilmesinden, yeterli kaldırım ve yol payı bırakılmamasına, dükkânlar için yükleme ceplerinin planlanmamasına, otobüs ve dolmuş durakları için yeterince geniş ve uygun durakların konumlandırılmamasına kadar pek çok sebebi sayabiliriz. Bu sorunlara çözüm getirebilecek imara yönelik iyileştirmelerin yapılması oldukça uzun bir süreçte gerçekleşebilir ki bu süreçte de nüfus artmaya devam edecektir. Nüfus artışı ve ekonomik olarak gelişmişlik özel araç sayısının artışı da beraberinde getirecektir. Mevcut yol ağının ve planlanan yolların tüm özel araçların meydana getireceği trafiğe yeterli gelmesi mümkün olmayacağı

için ulaşım taleplerinin toplu taşıma araçları ile karşılanması akılcı bir çözüm olarak görünmektedir.

Kentiçi ulaştırma sistemleri seçilirken ve planlanırken, hem talebi karşılayacak hem de gelecekteki gelişmelere uyarlanabilecek sistemler tercih edilmelidir. Bunun için kentin ekonomik ve kentsel özellikleri dikkate alınarak ve toplu taşımaya önem verilerek çözüm aranmalıdır. Ulaşım sorunu dünyadaki büyük kentler için çözülmeyi bekleyen diğer sorunların yanında ayrıcalıklı bir öneme ve önceliğe sahiptir. Sorunun çözümü için gelişmiş ülkeler, bütçelerinden bazan hiçbir konuda olmadığı kadar büyük miktarlarda kaynak aktarmakta, araştırma, geliştirme çalışmalarına destek sağlamaktadırlar. Kentiçi ulaşım projeleri hem komplekstir hem de diğer faktörlerden etkilenir, bu yüzden projeler büyük emek ve zaman gerektirir [6].

Kentiçi ulaşım sistemlerinin belirlenmesinde kentin yüz ölçümsel büyüklüğü, nüfusun yayılımı ve yoğunluğu, arazi koşulları, hat koridorlarında taşınması muhtemel yolcu sayıları, insanların ekonomik durumu akabinde ulaşım rahatlığı ve zaman kazanımı için ödemeye razı olacağı ulaşım ücretleri gibi değerlendirilmesi gereken pek çok unsur vardır.

Kent içi ulaşım sistemlerinin belirlenme unsurları çevresel, ekonomik, teknolojik olarak gruplandırılabilir.

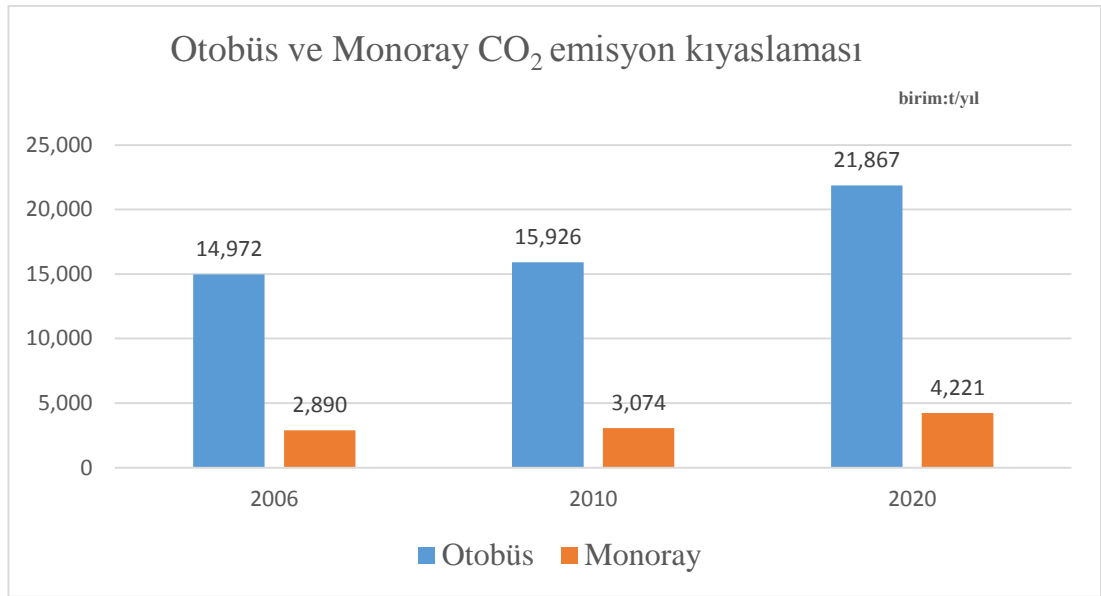
2.4.1 Çevresel kriterler

Ulaşım günümüzde kaçınılmaz bir ihtiyaç halini almıştır. Gittikçe gelişen büyüyen ve geniş arazilere yayılan kentler, artan nüfus ve yaşam standartları ulaşımı olmazsa olmaz bir gereksinime dönüştürmüştür. Mesafelerin artması, saate bağlı yaşama düzeni, insanların aynı kent içinde bile geniş bir coğrafyaya yayılmış olması gibi faktörler insanların daha az bedensel enerji harcayarak daha hızlı ulaşım yöntemleri bulmaya itmiştir. Önceleri atlar, at arabaları, buharlı otomobil ve derken günümüzdeki kara taşıtlarının atası olan içten yanmalı petrol ile çalışan arabalar insanların ulaşım ihtiyaçlarını karşılamıştır. Tarihsel gelişim ve refah düzeyinin artması ile birlikte günümüzde taşıt sahibi olmak lüks değil bir ihtiyaç olarak görülmektedir. Ancak gerek dünya çapında gerek ülkemizde her gün sıkça kullandığımız kara taşıtları doğayı oldukça kirletmektedir.

2.4.1.1 Emisyon kaynaklı kirlilik

Sadece Türkiye'de 2014 senesi verilerine göre CO₂ eşdeğer emisyon miktarı (CO₂, CH₄, N₂O emisyonlarının küresel ısıtma potansiyelleri kullanılarak hesaplanmıştır.) 73,7 milyon ton iken bunun %91 karayolu taşıtlarından kaynaklanmaktadır. Karayolu kaynaklı CO₂ emisyonununun %78'i dizel, %8,78'i benzinden, %12,88'i LPG'den, %0.34'ü CNG ve bio-yakıttan kaynaklanmaktadır [10].

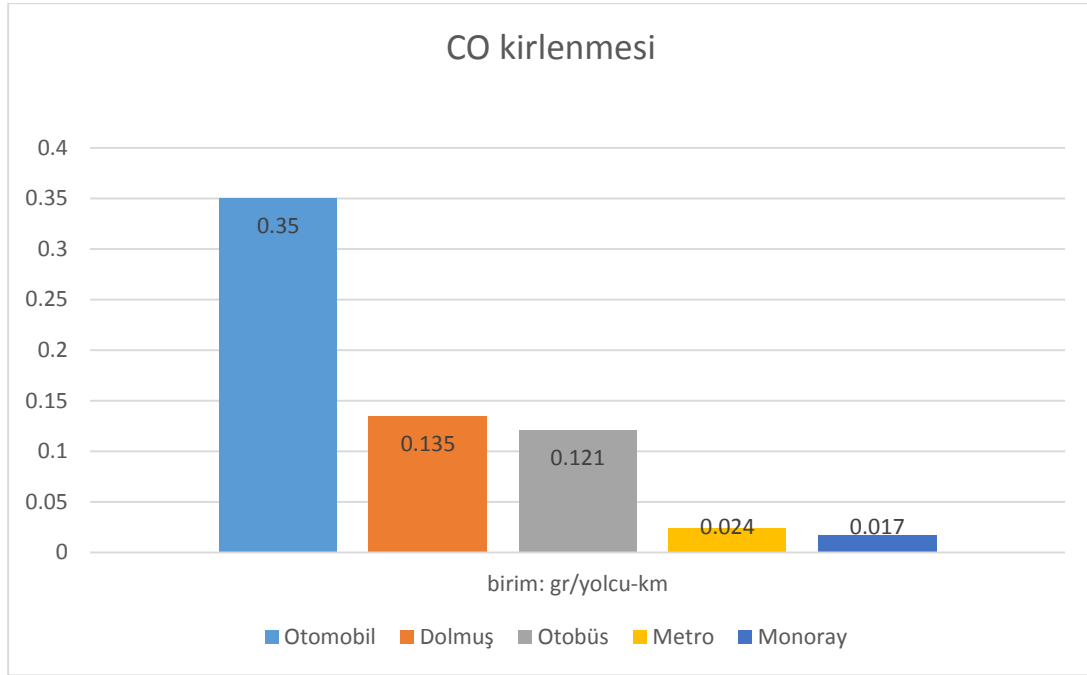
Japonya'da Chongqing hattında otobüs ve monoray kullanılması durumunda CO₂ emisyonu kıyaslamasında Şekil 2.10'daki gibi bir sonuç ortaya çıkmaktadır [11].



Şekil 2.10 : Otobüs ve monoray karbondioksit emisyon kıyaslaması [11].

Çizelge 2.2 : Taşıtların yolcu-km başına karbonmonoksit salınımları [11-13].

Taşıt	CO kirlenmesi g/yolcu-km
Otomobil	0.3500
Minibüs-Dolmuş	0.1100-0.1600
Metrobüs-Otobüs	0.0713-0.1750
Metro	0.0240
Monoray	0.0171



Şekil 2.11 : Taşıtların yolcu-km başına karbonmonoksit salınımları [11-13].

Değerlerde kullanılan yolcu sayıları, ortalama kapasite ile işletilmesi durumunda elde edilen verilerdir. Dizel motorlu karayolu taşıtları baz alınmıştır. Benzin ile çalışan motorların CO emisyonu 23 gr/yolcu-km civarındadır.

Şekillerden ve çizelgelerden de anlaşıldığı üzere dizel yakıtlı bile olsa karayolu taşıtlarının yolcu-kilometre başına CO ve CO₂ salınımı monoraya göre kat ve kat fazladır. Benzer oranlar NO_x ve VOC (uçucu organik madde) salınımları için de benzerlik göstermektedir.

Günümüzde şehirlerdeki trafik sıkışıklığına bireysel olarak nispeten ucuz yollu ve pratik bir çözüm olan motosiklet kullanımının azımsanmayacak düzeyde artması da emisyonun kayda değer şekilde artmasına neden olmuştur. Kullanılan motorsikletlerin çoğu Euro 2 ve Euro 3 standartlarında motorlara sahiptir. Çizelge 2.3’de motor hacmine ve standardına göre emisyon değerleri verilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü üzere motorsikletlerin yolcu/km başına emisyon değerleri otomobillerden bile oldukça fazladır.

Çizelge 2.3 : Motosikletlerin emisyon değerleri [14].

Standart	Motor Hacmi	CO (gr/km)	HC (gr/km)	NOx (gr/km)
Euro 2	< 150 cc	5.50	1.20	0.30
	≥ 150 cc	5.50	1.00	0.30
Euro 3	< 150 cc	2.00	0.80	0.15
	≥ 150 cc	2.00	0.30	0.15

Emisyon kaynaklı kirlilikte düşük kapasiteli karayolu taşıtları başı çekmektedir. Dolmuş, otobüs ve taksi gibi ulaşım araçlarının agresif kullanılmaları egzoz emisyonlarını artmaktadır. Hızlı kalkışlar, ani yavaşlamalar, sürekli vites küçültüp büyütürken aracın ivmeli hareketinin arttırılması emisyon değerlerinin daha da artmasına neden olmaktadır.

2.4.1.2 Gürültü kirliliği

Artan kent içi trafiği egzoz emisyonunun yanı sıra gürültü kirliliğinde de ciddi artışlara neden olmaktadır. Gürültü, iletişim kurmak için çıkarılan duymak istenilen seslerin aksine; istenmeyen, rahatsız edici ve de sağlığı tehdit eden sesler olarak tanımlanabilir. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de toplum sağlığını ve konforunu çeşitli biçimlerde etkileyen yaygın kirlilik türlerinden biri gürültü kirliliğidir [15].

Bir ulaşım aracının meydana getirdiği gürültünün 3 ana nedeni vardır. Taşıtın neden olduğu gürültü, aracın yol ve çevre ile etkileşimi sonucu oluşan gürültü ve araçların yanlış kullanımı sonucunda oluşan gürültülerdir. Raylı sistem uygulamalarında oluşan gürültü, oluş nedenlerine bağlı olarak başlıca iki kaynaktan yayılır. Bunlardan birincisi araç özellikleri, diğeri ise yapısal nedenlerden kaynaklanan gürültüdür. Sesin yayılmasında önemli parametreler; ses kaynağının yüksekliği, arazi yapısı, hava durumu, gece gündüz durumu ve sesin yansımalarıdır.

Araç özelliklerinden kaynaklanan gürültü

Araç özelliklerinden kaynaklanan gürültü dizel motor yapısından dolayı dizel araçlarda görülür. Dizel motorlar elektrik jeneratör sistemi ile çalışırlar, elektrik enerjisini tahrike dönüştürerek iletme ve hareket sağlamaktadır. Dizel motorun çalışmasıyla egzoz kaynaklı, havalandırma fan sistemi kaynaklı, motor titreşimli çalışması kaynaklı ve araçların titreşimli çalışması gibi gürültüler meydana gelmektedir. Bu tür gürültüler genellikle tren lokomotiflerinde, dolmuşlarda, bakımları gecikmiş veya kaliteli olmayan şehir içi otobüslerde görülmektedir. Tramvay ve metrolarda taşıtların fren sesleri, aerodinamik gürültü ve tekerlek-ray sürtünmesi ile oluşan gürültü araç özelliklerinden kaynaklı gürültünün temelini oluşturmaktadır [16].

Yapısal nedenlerden oluşan gürültü

Sistemin işletilmesi esnasından ortaya çıkan her türlü gürültü yapısal sebeplerden kaynaklanan gürültü grubunda değerlendirilebilir. Yapısal gürültüler daha çok raylı sistem araçlarında gözlemlenir ve bu gürültüleri konumuna göre istasyonlarla ilgili yapılardaki gürültü ve hat boyunca oluşan gürültü olarak ikiye ayrılarak incelenebilir.

İstasyonlarla ilgili yapılardaki gürültü

Raylı ulaşım sistemleri genellikle ticaret merkezlerinden, spor ve kültür alanlarının yakınından ve yoğun mesken alanlarının yakınından geçmektedir. Araçların ve istasyonların kalabalık olması belirli bir gürültüyü oluşturmaktadır. Ayrıca istasyonlarda yapılan anonslar ve ticari alanlarda gürültü kaynaklarıdır. İstasyonlarda bulunan yürüyen merdivenler ve aydınlatma sistemlerinde meydana gelen arızalar ve istasyon içerisinde bulunan fanlar zaman zaman meydana gelen gürültü kaynaklarıdır. Bunların dışında platform katında trenin istasyona gelmesi ve istasyondan ayrılması, trenin istasyonda bulunması da çeşitli seviyelerde oluşturabilmektedir.

Hat boyunca oluşan gürültü

Hat boyunca oluşan gürültü, iki ayrı yapının hareket halindeyken temas ettikleri noktadan açığa çıkan gürültüdür. Gürültü daha çok tekerlek ray temasıyla ortaya çıkmaktadır. Aracın hava ile temasından açığa çıkan gürültü de mevcuttur. Raylı

sistemlerde taşıt hareketiyle ortaya çıkan gürültüye etki eden faktörleri 3 başlıkta toplamak olasıdır:

- Rayın sertliği ve dayanıklılığı
- Araç tekerleğinin üzerinde yatay-düz bir form oluşması veya tahrip olmuş olması
- Raylar arasında küçük aralıkların bulunması veya bu açıklıkların kaynaklanmış olması

Raylı sistemlerin çevresinde, hava içinde ya da duvarlar ve zemin içinde oluşan gürültü veya titreşimler rahatsız edicidir. Titreşimler, taşıt süspansiyon sistemi, yoldaki elastik ve kalıcı çökmeler, tekerleklerdeki ve ray üstü yüzeylerindeki pürüzlülükler, travers geçişleri ve makas geçişleri gibi faktörlerden kaynaklanır. Taşıtın hızı da bu konuda etkilidir. Titreşim ve gürültünün en önemli nedenlerinden birisi, raylardaki dalgalı aşınmalardır. Dalgalı aşınma; ray üzerinde az ya da çok periyodik biçimlerde oluşan düzlemsel bozukluklar olarak tanımlanabilir. Bu aşınma, dinamik zorlanmalar doğurduğu için yolun bozulmasına ve bakım masraflarına neden olmaktadır.

Çizelge 2.4'te şehir içi ulaşımda kullanılan araçların yalnızca hareketlerinden kaynaklı (ray sürtünmesi, tekerlek asfalt sürtünmesi, motor sesleri vs.) gürültü seviyeleri verilmiştir. Görüldüğü üzere çelik ray ve tekerlekli demiryolu araçlarının gürültü seviyeleri lastik tekerlekli taşıtlardan genel olarak daha fazladır. Ray mantarında ve tekerleklerde yeterli bakım yapılmadığında; hatlarda gürültüyü ve vibrasyonu azaltıcı önlemler alınmadığında gürültü seviyesi çok daha artış gösterir. Gürültü seviyelerini kıyaslarken karayolu taşıtlarının daha az gürültüye neden oldukları görülmektedir ancak bunlara ilaveten karayolu taşıtlarının çokça klakson kullandığı da bir gerçektir. Özellikle dolmuş ve taksi gibi ulaşım araçları yolcuların dikkatini çekebilmek için sıkça klakson kullanma yoluna gitmektedirler. İstanbul'da dolmuş ve taksilerin yolcu taşımadaki toplam payı ise %27.11'dir. Bu oran dolmuş ve taksi sayısının ne derece fazla olduğunu; bu da ilaveten klakson kaynaklı gürültünün ne derece fazla olabileceğini göstermektedir [17].

Çizelge 2.4 : Taşıtların meydana getirdiği gürültü değerleri [18-20].

Taşıt Türü	Gürültü (dBA)
Otomobil	75
Otobüs	85
Tramvay	90-83
Metro	86-98
Monoray	65-70

Gürültünün insan sağlığı üzerindeki etkileri gürültü seviyesine göre Çizelge 2.5'te sınıflandırılmıştır.

Çizelge 2.5 : Gürültü seviyelerinin insan sağlığı üzerindeki etkileri [20].

Derece	Değer	Etki
1	30-65	Konforsuzluk, rahatsızlık, öfke, uyku ve dikkat bozukluğu
2	65-90	Kan basıncının artması, kalp atışı ve solunum hızlanması
3	90-120	Baş ağrıları
4	120-140	İç kulakta sürekli hasar, denge bozuklukları
5	>140	Ciddi beyin hasarı

Çizelge 2.4'te görüldüğü üzere lastik tekerlekli kılavuz yollu ulaşım aracı olan monorayın gürültü seviyesi diğer ulaşım araçları ile kıyaslandığında oldukça düşüktür ve gürültü seviye sınıflandırmasında 1. seviyede yer almaktadır.

Çevresel kriterlerden bir diğeri de bitki örtüsünün etkilenmesidir. Bazı ulaşım hatlarının yapımında zeminden veya aç-kapa olarak inşaatın zorunlu olduğu bazı yerlerde ağaçların sökülmesi ve başka yerlere dikilmesi gerekebilmekte, olgun ağaçların ise sökülme işlemleri sırasında kayıplar meydana gelebilmektedir.

2.4.2 Ekonomik kriterler

Ulaştırma ekonomisi kriterler denildiğinde pek çok unsur karşımıza çıkmaktadır. Bir projenin ekonomik faydası gözetilirken; araç işletme maliyetleri, araç sahipliği maliyetleri, kaza maliyetleri, zaman maliyetleri ve çevresel etki maliyetleri (emisyon,

gürültü, su kirliliği) dikkate alınır. Ancak temel olarak tüm unsurlar projelerin ilk yatırım maliyetleri ve hat işletilmeye başlatıldıktan sonra ortaya çıkan işletme maliyetleri olarak gruplandırılabilir. Yatırım maliyetleri hesaplaması yapılırken inşaatın yer altında, zeminde ya da yer üstüne olması durumu, kullanılacak taşıt türü, kamulaştırma giderleri, taşıt parkı inşa giderleri, sistem için gerekli tesis inşa maliyetleri, sinyalizasyon sisteminin kompleksliğine bağlı yapım giderleri gibi kalemler hesap edilir.

İlk inşa yatırım giderleri projenin hangi ülkede, şehirde, bölgede olduğuna göre oldukça değişiklik göstermektedir. Arazi yapısı, zemin şartları, çevre koşulları yatırım maliyetlerini etkiler. Bir bölge için planlandığında fayda maliyeti oldukça yüksek olan bir ulaşım sistemi başka bir bölge için revize edilse dahi ekonomik çıkmayabilir.

Yatırım maliyetleri; arazi ve istimlak maliyeti, hat yolu inşaatı, istasyon inşaatı, taşıt alımları, sinyalizasyon tesisleri, depo ve garaj inşaatı, bakım ekipmanı maliyetleri, tasarım, yönetim, danışmanlık hizmetlerinden oluşmaktadır. Bunların yanı sıra önceden yatırım maliyeti kalemlerinde görünmeyen birtakım giderler de oluşabilir. Sistem için refüjle ayrılmış karayolu, karayoluna bindirilmiş demiryolu, tünel, viyadük kullanımları inşa maliyetlerini büyük ölçülerde değiştirir. İşletilecek hatta kullanılan araçların da maliyetleri üretim yerine, konfora, bakım gereksinim düzeyine, modeline, kapasitesine ve diğer özelliklerine göre değişiklik göstermektedir.

İşletme maliyetleri Taşıma maliyetleri, bakım-onarım ve tamir maliyetleri, amortisman giderleri, personel maliyetleri, sigorta giderleri şeklinde sıralanabilir. İşletme maliyetleri hattın yoğunluğuna, zirve ve seyrek saatlerde seçilen taşıtların kapasitesine göre değişiklik gösterir. Yüksek kapasiteli taşıtların pik saatler dışında kullanılması işletme maliyetlerinin artmasına neden olurken, aynı saatlerde düşük kapasiteli taşıt kullanımı da maliyetlerin optimumdan çıkıp artış göstermesine neden olabilir.

2.4.2.1 Mesafeye bağlı işletme giderleri

Kullanılan ulaşım sistemindeki taşıtların kat ettiği mesafeye bağlıdır. Birimi taşıt x kilometredir. Tüketilen enerji maliyetlerini ile bakım-onarım ve tamir masraflarını içermektedir.

2.4.2.2 Zamana bağlı işletme giderleri

Kullanılan ulaşım sistemine bağlı taşıtların işletildiği zaman için hesaplanır. Birimi araç x saattir. Personel giderleri de zamana bağlı işletme giderleri olarak hesap edilir.

2.4.2.3 Yola bağlı işletme giderleri

Kilometreye dūřen gūnlük ve senelik bazda hesabı yapılır. İnşa edilen istasyonların, sinyalizasyon sistemlerinin, enerji iletim hatlarının ve yol bakım-onarımı için yapılan harcamalardır.

2.4.3 Teknolojik kriterler

Ulaşım sistemi seçiminde önemli başlıklardan bir tanesi de teknolojik kriterlerdir. Teknolojik olarak sunulabilir hizmetler (kablosuz internet bağlantısı, usb řarj noktası), konfor, bedensel, görme ve işitsel engellilere uygunluk, seyahat sūrelerindeki stabilite, dakiklik, hava koşullarından etkilenmeden araç içi optimum iklimlendirme ve ktū hava koşullarında dahi ulaşımın aksatılmadan sağlanabilmesi, gūvenli ulaşım, yolcu beraberinde bisiklet, valiz taşınabilmesi gibi özellikler ulaşım sistemi planlamasında ve yolcuların ulaşım aracına yönelmesindeki önemli kriterlerdendir.

Toplu tařıma sistemlerini ele aldığımızda özellikle İstanbul gibi kalabalık řehirlerde tařıtların hızı ve dakikliđi ancak geçiř stūnlüklerine göre tutarlılık gösterebildiđi grūlmektedir. Genel trafik içinde hareket eden sistemlerden otobūs ve dolmuřlar kontrolsūz ulařım araçları olarak sınıflandırılırlar ve kent içi trafikte yūksək seyahat sūreleri ile iřlerler. Tramvay ve metrobūs yarı kontrollū sistem olarak nitelendirilir. Kendi zel yollarının olduđu gūzergāhlar da vardır, genel trafik içinde ilerledikleri gūzergahlar da mevcuttur¹. Yarı kontrollū sistemler kontrolsūz olarak nitelendirilen otobūs ve dolmuř gibi tařıtlara nazaran daha gūvenli olmalarının yanı sıra daha konforlu ve seyahat sūreleri daha tutarlıdır. Özel yola sahip olan metro, monoray gibi

¹ Őlkemizde dolmuřlar karayolu tařıtları arasında nispeten pratik ve hızlı bir ulařım alternatifi gibi grūnse de maalesef dolmuř řoförleri trafik kurallarını aksatarak, saygısızlık yaparak, kendilerini stūn görerek hem trafiđin daha da sıkıřmasına neden olmaktadır hem de çevreye emisyon, gūrūltū olarak zarar vermektedirler.

sistemler ise karayolu trafiğinden ayrı olarak hizmet verdiklerinden ötürü seyahat süreleri daha tutarlı, dakik, güvenli, konforlu ulaşım sunmaktadır.

2.4.3.1 Kapasite

Ulaştırma da kapasite kavramı, kalite kavramına bağlıdır. Yani yalnızca güvenliğe değil aynı zamanda ticari hıza ve düzenliliğe bağlıdır. Ticari hız durak ve kavşaklardaki beklemleri, yavaşlama ve hızlanmaları içeren taşıtların işletme sırasında ortalama olarak erişebildiği hızı ifade etmektedir. Bir kapasitenin belirlenmesi zaman çizelgesinin ve onun stabilitesinin de fonksiyonu olmaktadır. Bir demiryolu hat kesiminin kapasitesi, belirli işletme koşulları altında birim zamanda (kent içi toplu taşımada saat/yön) meydana gelen trafik miktarını ifade eder [21].

Kapasite hesaplarında mevcut işletilen farklı hatlar için saatlik maksimum taşınabilecek yolcu sayılarından derlenen verilerle oluşturulmuştur. Ulaşım sistemlerinin kapasitelerine bakacak olursak karayolu taşıtlarından olan dolmuş ve otobüslerin kapasitesi en alt seviyededir. Özel yollu taşıtların sefer sıklığı daha yüksek olabildiğinden ötürü kapasiteleri daha yüksektir. Karayolunu sadece kamuya açık toplu taşıma araçları değil özel otomobiller, servisler, ticari taksiler, motosikletler de kullanmaktadır. Bu da trafik sıkışıklığı nedeniyle karayolu taşıtlarının saatlik kapasitelerinde oldukça değişkenlik gösterebilmesine neden olmaktadır. Otobüs hatlarının ortak duraklı güzergâhlarında kapasite yüksek olurken, trafik nedeniyle uzun mesafelerde ve ortak duraklı olmayan hatlarda kapasite değerleri oldukça azalabilmektedir. İstanbul gibi bir megapolde neredeyse her akşam pik saatlerde çeşitli güzergâhlarda araç arızaları, kazalar meydana gelmektedir. Bu da ulaşım sürelerini arttırmakta, taşıma kapasitesinin düşmesine neden olmaktadır.

Çizelge 2.6 : Toplu taşıma araçlarının kapasite değerleri [17,22-25].

Yolcu Taşıma Sistemi	Yolcu Kapasitesi (yolcu/saat/yön)
Metro	15000-72000
Metrobüs	10000-40000
Tramvay	7200-26400
Otobüs	600-2000
Dolmuş	500-1500
Monoray	15200-49080

2.4.3.2 Hat özerkliği

Hat özerkliği, ulaşım sisteminin diğer sistemlerden bağımsız olarak işletilebilmesi anlamına gelir. Kendine has yolu, sinyalizasyon sisteminin olup olmadığıyla ölçülebilir. Hat özerkliğine sahip ulaşım yöntemleri daha düzenli, denetlenebilir, kontrol edilebilir olduğundan hat özerkliği olmayan taşıtlara göre daha güvenlidirler. Otobüs, dolmuş gibi toplu taşıma sistemleri özerkliğe sahip değilken, metrobüs ve tramvay kısmi özerkliğe sahip, metro ve monoray ise tam özerkliğe sahip sistemler olarak sınıflandırılabilir [7].

2.4.3.3 Esneklik

Esneklik, ulaşım araçlarının esnekliği kendileri için ayrılmış özel hat yollarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Yatırım açısından baktığımızda bir sistemin esnek olması kulağa daha mantıklı gelirken, uygulamada esnek sistemler en fazla trafiğe takılan ve konforsuz olanlar olarak nitelendirilebilir. Esnek sistemler güzergâh değişikliklerine kolayca adapte olabilir, taşıtları daha kolay temin edilebilirken, esnek olmayan sistemler için değişiklikler yapmak maliyetli ve zaman alıcı olabilir.

Ulaşım araçlarının hat özerkliklerine ve esnekliklerine göre kıyası çizelge 2.7’de verilmiştir.

Çizelge 2.7 : Ulaşım araçlarının hat özerkliği ve esneklikleri [26].

Ulaşım Aracı	Hat Özerkliği	Esneklik
Dolmuş	Yok	Kısmen
Otobüs	Yok	Kısmen
Metrobüs	Kısmen	Kısmen
Tramvay	Kısmen	Kısmen
Metro	Var	Yok
Monoray	Var	Yok

Şehir içi ulaşımda hız denildiğinde; trafik durumu, sistemin fiziksel özelliği, yolcu kapasitesi, durak aralıkları, taşıtın özelliklerine bağlı pek çok parametre işin içine girer. Özel hatyoluna sahip ulaşım araçları dışındaki ulaşım araçları kontrolsüz veya yarı kontrollü olduklarından gerek yeterli güvenliğin sağlanamayacak olmasından, gerek sistemin uygun olmayışından dolayı ticari işletme hızlarında bir artış söz konusu olamamaktadır. Özellikle yoğun saatlerde karayolu taşıtları şehir içi standart işletme hızlarına dahi ulaşmamaktadır. Pek çok ana arterde seyir hızı 7-10 km/sa gibi hızlara düşmektedir. Oysa gerekli önlemler alındığı takdirde sistem tasarımı ve işletilen taşıt özellikleri de uygunsa özel hat yoluna sahip monoraylarda ticari hızların gerektiğinde artırılması mümkündür. Taşıt hızında artırım yapıldığında ticari işletme hızında da gözle görülür bir artış söz konusu olur. Çizelge 2.8’de taşıtların ortalama işletme hızları verilmiştir.

Çizelge 2.8 : Taşıtların ortalama işletme hızları² [6,27].

Tasıit Türü	İşletme hızı (km/sa)
Otomobil	25
Dolmuş	20
Otobüs	15
Tramvay	30
Metro	45
Monoray	50

²Pik saatler civarındaki işletme hızları baz alınmıştır.

2.4.3.4 Güvenlik

Tüm karayolu taşıtlarının birtakım saat sınırlamaları haricinde aynı yolları kullanması; büyük, küçük, uzun, yüksek vs. kaza riskini arttırmaktadır. Bunun yanı sıra karayolundaki trafikten bahsederken yalnızca taşıtlar söz konusu değildir, aynı zamanda yayalar, bisikletliler de söz konusudur. Ayrıca yollardaki seyyar satıcılar ve dilenciler gibi unsuzlar da söz konusudur. Karayolu taşıtlarını kullanan sürücülerin dikkat etmesi gereken pek çok unsur varken aynı zamanda dikkatlerini dağıtıcı da pek etmen vardır. Yarı kontrollü sistemlerden olan metrobüs ve tramvayda da zaman zaman kazalar kaçınılmaz olmaktadır. Hele ki metrobüsün ana yolun ortasında ve trafik akışına ters yönde hareketi olası bir kaza durumunda çok daha ağır sonuçlar doğurmaktadır. Tam kontrollü sistemlerde duraklarda güvenlik kontrol noktaları bulunmakta ve hat yolu diğer sistemlerden tam izole olduğundan güvenliğin sağlanması daha kolaydır. Çok sayıda yolcuyla güvenli ve hızlı bir şekilde taşıyabilmek için toplu taşımacılığı diğer trafikten ayırmak gerekir. Kendilerine ayrılmış özel hat yolu olan ulaşım araçlarında sinyalizasyon sistemlerinin gelişmişliği ve sürücüler tarafından dikkat edilecek unsurların nispeten daha az olmasından ötürü karayolu taşıtlarına nazaran daha güvenlidirler [28,29].

2.4.3.5 Konfor

Konfor, karayolu araçlarının çok fazla ivmeli hareket yapmaları, pek çoğunun dizel motorlu olması ve taşıt içinde gürültünün fazlaca duyulması, dizel motor ve yıpranmaya bağlı titreşimlerin artışı, karayolundaki bozukluklar (çukur, tümsek, kasis), klima sisteminin olmaması veya olsa da doğru şekilde kullanılamamasından kaynaklı pek çok konfor sorunu vardır. Ayrıca duraklardan taşıtlara binerken basamak çıkılması veya yükseğe uzanma hareketi yaşlılar ve engelliler için ciddi zorluktur. Kılavuz yoluna sahip ulaşım araçlarında ise konfor genelde üst seviyededir. Taşıta inip binme platformlarının taşıtla aynı hizada olması inip, binmeyi hem kolaylaştırmakta hem de hızlandırmaktadır. Metro ve monoray gibi taşıtlar belediyelerin sorumluluğunda olduğundan ötürü iklimlendirme sistemleri çok daha efektif kullanılır. İstasyonlar belli ve sinyalizasyon sistemi gelişmiş olduğundan frenleme ve hızlanma konforu daha az bozacak şekilde ayarlanabilir. Taşıtların tavanları daha

yüksek ve içleri daha aydınlık olduğundan ayakta yolculuk esnasında bile diğer toplu taşıma araçlarından daha konforlu olmaktadır.

2.4.3.6 Düzenlilik

Düzenlilik, zamanın son derece önemli olduğu şehir yaşamında düzenlilik bireylerin hayatını kolaylaştıran bir unsurdur. İşe, okula, etkinliklere geç kalmamak için insanların zaman planlamasına özen göstermeleri gerekir. Karayolu taşıtlarında seyahat sürelerindeki tutarsızlıklar, sefer iptalleri zamanlama sorunlarına yol açarak düzensizliğe neden olabilmektedir. Sefer sıklığı fazla olan dolmuş güzergâhlarında dahi planlanın ötesinde seyahat süreleri söz konusu olabilmektedir. Oysa raylı sistem hatlarında sefer sıklığı genellikle 3-10 dakika arasında değişmektedir ve çok uç durumlar dışında sefer aksaması olmamaktadır. İnsanların sürekli olarak seferlerin gerçekleştiğini bilmesi bu ulaşım araçlarının güvenilirliğini arttırmakta ve taşıt bekleyerek boşa geçen zamanın azalmasını sağlamaktadır [7].

2.4.3.7 Enerji tüketimi

Enerji tüketimi, ulaşım araçlarının enerji tüketimleri enerjide dışa bağımlı ülkeler için oldukça önem arz etmektedir. Ulaşım araçlarının çoğunun petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıt kaynaklarıyla çalışması, ulaşım araçlarının enerji tüketiminde ciddi bir paya sahip olmasına neden olmaktadır. Özellikle petrol, lpg ve doğalgazda ciddi bir ithalatçı konumunda olan ülkemizde petrol ve gaz ile çalışan araçların enerji tüketim maliyetleri hayli yüksek olmaktadır [30]. Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik enerjisi üretimi teşvikiyle birlikte elektrik enerjisi ithalatı hızlı bir düşüş göstermiştir. Elektrikli otomobiller ülkemizde çok hızlı yayılmasa da elektrik enerjisi kullanımı toplu taşıma araçları için daha hızlı ve kolay uygulanabilir niteliktedir. Özellikle belli bir hat yoluna sahip ulaşım araçlarında sürekli olarak elektrik enerji beslemesi yapılabileceğinden elektrik enerjisi kullanımı oldukça avantajlıdır. Gerekli dönüşümler yapılarak ulaşım araçlarının yolcu-kilometre başına enerji tüketimleri mega-joule cinsinden Çizelge 2.9'da toplanmıştır.

Çizelge 2.9 : Ulaşım araçlarının yolcu-kilometre başına enerji tüketimleri [25,31-33].

Ulaşım Sistemi	Enerji Tüketimi (MJ yolcu-kilometre)	
	En Az	En Çok
Otomobil	3.2	4.7
Otobüs	0.3	1.4
Tramvay	0.17	0.8
Metro	0.05	0.4
Monoray	0.023 ³	0.3

Toplu taşıma araçlarından yararlanan insanların toplu taşıma hizmetlerinden bir takım beklentileri vardır. Bu beklentileri şu şekilde sıralayabiliriz:

- Noktadan noktaya en kısa sürede ulaşımın sağlanması
- Ulaşımın konforla sağlanması (taşıt iklimlendirmesi, koltuklar ve tutunma demirleri, sarsıntı)
- Durakların seyahat noktalarının yakınında olması
- Taşıt sıklığı ve dakikliği
- Güvenli seyahat edebilme imkânı sunması
- Düşük ücretler ile seyahat edebilme
- Seyahat boyunca internet erişimi ve şarj imkânı

Bu kriterler kısaca ele alındığında;

Noktadan noktaya en kısa sürede ulaşımın sağlanabilmesi toplu taşıma araçlarının trafikten etkilenme oranlarının ne derece az olduğu ile alakalıdır. Otobüsler, minibüsler, dolmuşlar tüm taşıtlarla beraber şehir trafiğinde ilerlerken tramvaylar zaman zaman taşıt yolunda ilerleyip zaman zaman hemzemin olarak karayoluyla kesişir uygun güzergâhlarda da kendi özel yollarından ilerlerler. Metobüsler (BRT-bus rapid transit) kimi uygulamalarda bariyerle bölünmüş özel yollarda giderken bazı uygulamalarında yalnızca işaretlenmiş şerit hattında yol alır ve zaman zaman taşıt trafiğiyle birleşir. Oysa metro ve monoray sistemleri kılavuzlu ayrı bir yol hattına sahip oldukları için karayolu trafiğinden etkilenmezler.

³Metraile monorayının enerji tüketimini gösterir.

Dolmuş ve özel halk otobüsleri genellikle yakıt sarfiyatını arttırdığı için klima ile araç havalandırma konusunda yeterli özeni göstermezler. Özen gösterdiğini düşünen şoförler de klimayı bilinçsizce çalıştırırlar. Yazın yolcuların ince ve kısa kıyafetlerle seyahat edeceklerini düşünmeden oldukça düşük derecelerde yüksek güç ile klima çalıştırırken, kışın da yolcuların kalın kıyafetlerle seyahat edeceğini düşünmeden klimayı yüksek seviyede sıcak hava üfleyecek şekilde ayarlarlar. Yolun bozukluğuna, kurplarına, darlığına bağlı olarak sarsılmalar çokça oluşur, çoğu yolculukta sıkıca tutunmadan seyahat etmek neredeyse imkânsızdır.

Karayolu toplu taşıma araçlarında durak sıklığı kılavuz yollu taşıtlara göre oldukça fazladır. Hele ki dolmuşlar için ülkemizde durak kavramı söz konusu değildir, nerede inmek isterseniz orada taşıtı durdurup inebilirsiniz. Bu durumlar yolcular için büyük bir avantaj gibi görünse de aslında sadece içinde bulunulan ana yönelik bir avantajdır. Çünkü her bir yolcunun dilediği yerde gelişigüzel inebilecek olması akan trafiğin sürekli olarak kesilmesine veya yolun daralarak tıkanmasına sebep olmaktadır. Otobüs durakları ele alındığında ise farklı hat otobüslerinin kesişen durakları ve durak için yeterli alan olmamasından ötürü otobüslerin yolu tıkatarak yolcu indirme bindirme yapması oldukça fazla zaman kaybına neden olmaktadır.

Otobüsler genellikle ring hatlar dışında minimum 15 dk aralıklarla işletilir. Ancak otobüslerde arıza ve sefer iptali İstanbul gibi metropollerde oransal olarak az olsa da sayı olarak azımsanmayacak kadar fazladır. Dolmuşlar ise belli güzergâhlarda pik saatlerde oldukça sık sefer yapmaktadırlar. Sayılarının fazlalığı yolcu kapabilme yarışına dönüşerek hem trafiği tehlikeye atmakta hem de kapasitesinden fazla yolcu almaya çalışarak yolcuların konforunu son derece azaltmaktadırlar. Ayrıca dolmuşların sürekli olarak hızlanma ve yavaşlama hareketleri egzoz emisyonundaki zararlı gazların salınımlarını maksimum düzeye çıkartmaktadır. Oysa kılavuz yollu metro ve monoray 3 dk gibi oldukça sık aralıklarla düzenli sefer yapabilmekte ve sefer süreleri yalnızca saniyeler bazında değişkenlik göstermektedir.

Ulaşımında söz konusu güvenlik olduğunda karayolunda seyreden taşıtların kaza riski oldukça fazladır, zaten her geçen sene trafik kazalarından kaynaklı artan ölüm ve yaralanma sayısı da bunun en bariz göstergesidir. Sadece maddi hasarlı kazalar bile

pek çok soruna yol açmaktadır. Gerek kazaya karışan taşıt sahiplerinin gerekse o güzergâhta seyreden taşıt sahiplerine oldukça fazla zaman kaybettirmektedir. Kazalar aynı zamanda yola saçılan parçalar veya zarar gören bariyer, yol kenarı elemanları gibi sonuçlar da doğurmaktadır.

Toplu taşıma araçları açık ara farkla özel araç ve taksilerden çok daha uygun fiyata ulaşım imkânı sunar. Ortalama seyahat ücretlerine baktığımızda en ucuz ulaşımı otobüsler sağlamakla birlikte yalnızca nakdi olarak fiziksel ödenen değer anlamında ucuzdur. Çünkü karayolu taşıtlarıyla seyahat edildiğinde yolcuların çoğu zaman hesaba katmadığı fakat esasında oldukça önem arz eden bir takım sonuçlar doğmaktadır. Bunlar fazlaca dizel yakıt tüketimi, dolmuşların fütursuzca kullandığı klaksondan meydana gelen korna gürültüsü, uzayan seyahat süreleriyle birlikte boşa harcanan zaman, konforsuz yolculuk kaynaklı yorgunluk gibi etmenler olarak gösterilebilir.

3. MONORAY

Dünya çapında pek çok uygulama örneği olan monoraylar; motorlu araç trafiğinin azaltılması, toplu taşıma altyapısının iyileştirilmesi, bireysel özel araç kullanımının minimize edilerek ulaşılabilir, konforlu, gerek uygulandığı alanlarda gerek şehrin pek çok noktasını kapsayan geniş çaplı toplu ulaşımda; zaman, enerji tasarrufu sağlayan çevre dostu ulaşım araçları olarak görülmektedir.

Monoray ulaşım sistemlerinin tercih edilmesini sağlayan özellikler;

- Hızlı ve stabil olması.
- Son derece güvenli bir ulaşım sistemi olması.
- Mevcut trafik akışını olumsuz etkilememesi.
- Kiriş ve kolon imalatının imal edilip hazır getirilebilmesi.
- Hatlar kolonlarla yükseltildiği için istismak maliyetlerinin az olması.
- Çevreye tam duyarlı bir sistem olması (emisyon, gürültü, vibrasyon vs.).
- Metro sistemlerine göre inşaa maliyetlerin daha az olması.
- Hattın ve araçların modern bir görünüme sahip olması.
- Kimi hatlarda şehir turu maksadıyla kullanılabilir olması [34].

Monoray isminden de anlaşılacağı gibi tek bir ray kılavuz yolundan oluşmaktadır. Genellikle arazinin verimli kullanılabilmesi açısından yer seviyesinden daha yükseğe beton kirişlerle inşa edilen kılavuz yoluna sahip olan, yolcu ve yük taşımacılığında kullanılan, elektrikli veya dizel motorlara sahip, çeşidine göre kılavuz yolu altında veya üstünde işletilebilen toplu taşıma aracıdır. Tek bir ray ile desteklenen ve sabitlenen yükseltilmiş sistemin üzerinde bulunan yol gösterici kirişi ifade eder monoray. Kullanım itibariyle bu tek rayda işletilen ulaşım aracına da ismini vermiştir [35].

3.1 Dünyadaki Monoray Uygulamaları

Japonya Monorayları

İşletmedeki Japonya Monorayları

Ueno Hayvanat Bahçesi Monorayı, Tokyo, 1958, 0.3 km

Shonan Monorayı, Kanagawa, 1970, 6.6 km

Tokyo Monorayı, Tokyo, 1964, 17.8 km

Kitakyushu Monorayı, Fukuoka, 1985, 8.8 km

Chiba Şehir Monorayı, Chiba, 1988, 15.5 km

Osaka Monorayı, Osaka, 1990, 28 km

Tama Toshi Monorayı, Tokyo, 1998, 16 km

Disneyland Monorayı, Chiba, 2001, 4.8 km

Okinawa Monorayı, Naha, 2003, 12.8 km

İşletmeden Kalkan Japonya Monorayları

Yokohama Dreamland Monorayı, Kanagawa, 1966-1967

Yomiuriland Monorayı, Kanagawa-Tokyo, 1964-1978

Odakyu Mukogaoka-Yuen Monorayı, Kanagawa, 1965-2001

Meitetsu Monkey Park Monorayı, Aichi, 1962-2008

Himeji Belediyesi Monorayı, Hyogo, 1965-1974

Nagoya Belediyesi Higashiyama Park Monorayı, Aichi, 1964-1974

Asya Monorayları

Lotte World Monorayı, Kore, 1986, ? km

Window on the World Monorayı, Çin, 1993, 1.7 km

Shenzhen Monorayı, Çin, 1998, 3.8 km
Kuala Lumpur Monorayı, Malezya, 2003, 8.6 km
Chongqing Monorayı, Çin, 2005, 80 km
Bangkok Monorayı, Tayland, 2005, 2 km
Sentosa Monorayı, Singapur, 2007, 2.1 km
Şangay Monorayı, Çin, 2008, 30 km
Palm Jumeirah Maonorayı, BAE, 2009, 5.4 km
Malacca Monorayı, Malezya, 2010, 1.6 km
Mumbai Monorayı, Hindistan, 2014, 8.9 km
Xi'an Monorayı, Çin, 2015, 9.6 km
Daegu Monorayı, Güney Kore, 2015, 24 km
Da Nang Monorayı, Vietnam, 2016, 3 km
Qom Monorayı, İran, 2016, 13.5 km
Ashgabat Monorayı, Türkmenistan, 2016, 5.2 km
Riyad Monorayı, Suudi Arabistan, 2016, 3.6 km

Avrupa Monoray Hatları

Wuppertal Monorayı, Almanya, 1901, 13.3 km
Beaulieu Monorayı, İngiltere, 1974, 1.6 km
Linnanmaki Monorayı, Finlandiya, 1979, ? km
Dortmund Üniversitesi Monorayı, Almanya, 1984, 3 km
Alton Towers Monorayı, İngiltere, 1987, 3.2 km
Chester Hayvanat Bahçesi Monorayı, İngiltere, 1991, 1.5 km
Mirabilandia Monorayı, İtalya, 1992, 2 km
Europa Park Monorayı, Almanya, 1996, 2.5 km

Düsseldorf Uluslararası Havalimanı Monorayı, Almanya, 2002, 2.5 km

Lartigue Monorayı, İrlanda, 2003, 0.5 km

Moskova Monorayı, Rusya, 2004, 4.7 km

Zaragoza Monorayı, İspanya, 2008, 0.6 km

Krasnogorsk Monorayı, Rusya, 1 km

Okyanusya

Sea World, Gold Coast, Avustralya, 1988, 2 km

Broadbeach, Avustralya, 1989, 1.3 km

Kuzey Amerika

Disneyland, Californiya, ABD, 1959, 3.7 km

Seattle, Washington, ABD, 1962, 1.5 km

La Ronde, Montreal, Kanada, 1967, 2.1 km

Walt Disney World, Florida, ABD, 1971, 23.6 km

Pearlridge, Hawaii, ABD, 1976, 0.5 km

Miami MetroZoo, Florida, ABD, 1982, 3.2 km

Tampa Havalimanı Monrayı, Florida, ABD, 1991, 1 km

Newark Havalimanı Monorayı, New Jersey, ABD, 1996, 4.8 km

Jacksonville Monorayı, Florida, ABD, 1997, 4 km

Las Vegas Monorayı, Nevada, 2004, 6.3 km

Güney Amerika

Gramado, Brezilya, 2009, ? km

Sao Paulo, Brezilya, 2014-devam, 26 km

3.2 Monoray Çeşitleri

Monoray temelde 3 tip olarak sınıflandırılabilir.

1-Kiriş altında askıda duran (Askı tip)

2-Kiriş yolunun etrafını sararak üzerine oturan (Bindirme tip)

3-Kiriş yolunun üzerinde veya kalın bir beton yol yüzeyinde çalışan (Konsol tip) [6,35,36].

Bunların dışında bir de manyetizmadan faydalanılarak geliştirilen Maglev tipi monoray ve bir de sürücüsüz (otomatik) insan taşıma monoray sistemleri mevcuttur.

Monoray tiplerini daha yakından inceleyecek olursak;

3.2.1 Askı tipi (Suspended)

Kiriş altında askıda duran bu tip monorayda, ray diye ifade edilen taşıt yolu taşıtın üst kısmındadır. Şekil 3.1'de Japonya'daki Shonan Monoray'ında olduğu görüldüğü üzere taşıt üstünden kılavuz yoluna asılmış olup bu yol boyunca hareketini sağlar. Modern anlamda ilk olarak Almanya Wuppertal'da 1901 senesinde işletmeye Schwebbahn monorayı çift flanşlı çelik tekerlekler ile çelik kılavuz yolunu kullanılarak hareket etmektedir. Kılavuz yoluna asılması itibariyle bir nevi teleferiği andıran askı tipi monoray teleferiğin aksine oldukça rijit bir kılavuz taşıyıcı hatyoluna sahiptir.

Daha sonra geliştirilen askı tip monoray üstten lastik tekerlekli bojjili taşıtların kılavuz yolu olarak kutu kesitli kiriş içine oturarak kirişin iç alt yüzeyinde hareket ederek ilerlemesi sağlanması esasına dayanmaktadır. Araçlar sarkaç tipi bir havalı süspansiyon ile asılmakta, bu şekilde yüksek hızlarda dahi konfor ve denge sağlanmaktadır [37]. Konforu sağlayan diğer bir önemli parametre ise lastik tekerleklerdir. Bu lastik tekerlekler çelik tekerleklere nazaran hem daha yüksek bir çekiş gücü sağlamakta hem de gürültüyü ve titreşimi azaltarak konfor sağlamaktadır [38]. Lastik tekerlekli bojjinin kutu kesitli kiriş içerisinde yer alması aşırı sıcak veya kar, don gibi hava koşullarında dahi taşıtın güvenle ilerleyebilmesini sağlamaktadır. Taşıt enerjisini kutu kesit içerisinde bojjilere elektrik iletimi sağlayan raydan almaktadır.



Şekil 3.1 : Askı tipi monoray örneği.

3. ray uygulaması günümüz hafif metrolarında da sıkça kullanılmaktadır [39]. Lastik tekerleklerin olası bir patlama veya hava eksilmesi durumunda çelikten imal edilen acil durum tekerleklerinin devreye girmesi de sistemin güvenliğini sağlayan bir başka unsurdur.

Taşıtlar araç üstü elektrik motorları vasıtasıyla hareket ederler, enerji beslemesi ise kapalı hat kirişinin iç yan yüzeyinden olmaktadır.

3.2.2 Bindirme tip (Straddle)

Kiriş yolunun etrafını sararak üzerine oturan monoray dünya genelinde en yaygın olarak kullanılan tiptir. Monoray sadece belirli bir hat yolu üzerinde kılavuzlu olarak hareket eder. Bu kiriş yolları betonarme veya çelikten yapılabilir. Taşıtlar, dar ve yüksek bir kirişin etrafını çevirerek üzerine oturarak, Şekil 3.2'deki Sydney monorayı gibi kiriş yolunun her iki tarafından 2 sıra denge sağlayıcı tekerlekle kılavuzlanmıştır. Bu nedenle monorayın raydan çıkması neredeyse imkânsızdır [29]. Monoray yol gösterici genellikle aracın genişliğinin yarısından fazla değildir, güvenlik açısından monoray aracı yanal olarak aracın gereğinden fazla dönmemesi için içten sabitlenmiştir. Bazı farklı uygulamalar olsa da genel olarak monoraylar lastik tekerlekli ve çelik hat yoluna değil beton hat yoluna sahiptirler.



Şekil 3.2 : Bindirme tip monorayın kirişi saran tekerlekleri.

Monorayların kılavuz yolları tamvay gibi değildir. Yani yola gömülü raylara sahip değildir ve karayolu trafiğiyle kesişen şekilde inşa edilmez. Şekil 3.3'teki gibi kolonlar ile karayolu boyunca yükseltilerek ayrı bir yol inşa edilerek güzergahlar oluşturulur. Monoray istasyonları da genelde kolonlarla yükseltilmiş viyadük tipi olmakla birlikte hemzemin ve yer altı istasyon yapısına da uygundur.



Şekil 3.3 : Bindirme tip monoray örneği.

2010'lu yıllara gelinceye dek monoray teknolojisinin demiryolu teknolojisinden daha fazla enerji tükettiğine dair çalışmalar ileri sürülmüştür. Ancak Japonya'da geliştirilen yeni nesil monoray teknolojileri için durum çok daha farklıdır. Monoraylar, metrolardan daha ucuza inşa edilmekle birlikte, bakım ve işletme maliyetleri daha az olmaktadır [40].

Çelik raylı ve tekerlekli sistemlerde eğim çok büyük sorun olurken lastik tekerlekli sistemler için eğimler emniyetli bir şekilde tırmanılabilir. Raylı sistemler maksimum %3 eğim için tasarlanırken lastik tekerlekli monoraylar %12 ve daha yüksek eğimlerde işletilebilmektedir [6].

Bu monoray tipinde taşıtlar gerekli enerjiyi kılavuz yolunun yan yüzeyinde hat boyunca devam eden enerji hattından almaktadır. Kent içi toplu ulaşımda kullanılan bindirme tip monoraylar saatte 60 ile 90 kilometre hızlarda hizmet vermektedir.

Lastik tekerlekli bir kara taşıtını andırırsa da monoraylar da tıpkı diğer raylı sistemlerde olduğu gibi makas sistemine sahiptir. İstasyon girişlerinde yer alan makaslar sayesinde istasyon aralarında tek bir hat yolu döşenerek çift yönlü trafik sağlanabilmektedir. Kimi monoraylar direk ring diye tabir edilen nispeten çembersel bir hatta başlangıç noktasına dönen tek yönde de çalışabilmektedir.

Monoray lastik tekerleklerin ve taşıtların ömürleri uzun, hat yollarının bakım ihtiyacı ve maliyeti ise düşüktür.

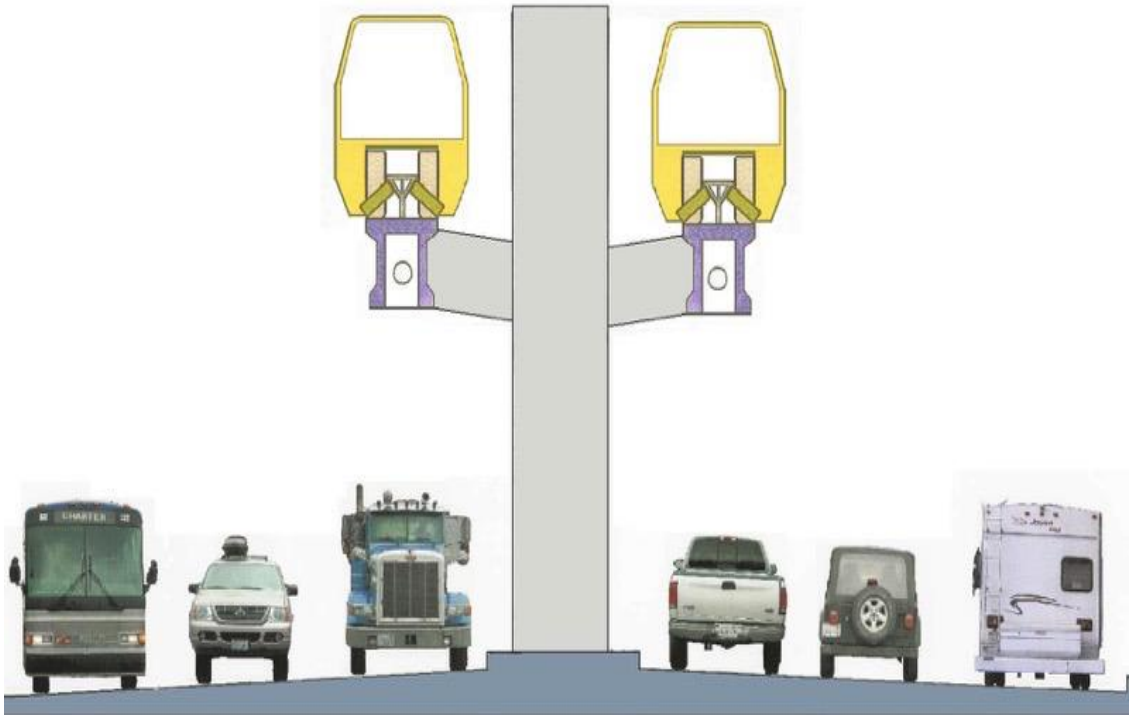
3.2.3 Konsol tip (Cantilevered)

Konsol tip monorayda araçların aracın yaklaşık yarısı genişliğinde olan yol gösterici üzerinde ilerlemektedir. Görünüş ve sistemin çalışması yönünden bindirme tiplerine neredeyse aynı sayılabilir ancak karşılıklı hareket eden monoray araçları tek bir kirişi paylaşırlar. Bu teknoloji büyük bir yol gösterici kirişe ihtiyaç duymamaktadır. Araç Şekil 3.4'te Las Vegas monorayında görüldüğü gibi eşsiz bir şekilde biçimlendirilmiş merkez yol gösterici ray üzerinde sabitlenmiş ve kilitlenmiştir.

Bu ray 1.1 metre genişliğinde yüzeyde ve yüzeyin altında bir tabakadan oluşur ve aracı yol gösterici kirişe bağlar. Bu bağ sayesinde aracın raydan çıkması neredeyse imkansız görünmektedir. Konsol tip monorayın en bilineni Urbanaut Monoray'dır. Bu monoray

araçları elektrik ile çalışırlar ve elektromanyetik motor veya temassız manyetik raylı lineer indüksiyon (MLIM) itici güç sistemini kullanan küçük lastik tekerleklere sahiptir. Sistem son teknoloji otomatik işletme, kontrol, iletişim, denetim ve enerji tasarrufu mekanizmalarına sahiptir.

Kılavuz yolu ve istasyon yapıları hazır prefabrik beton ve çelik parçalar kullanılarak inşa edilir. Özel yükseltilmiş yapısal konsept, büyük caddeleri ve kavşakları temeller ile bağlar ve binalar ile arasında 45 metreye kadar açıklığa olanak tanır. Bu sayede yeryüzü trafiği ile altyapının karışması azaltılmış olur. Prefabrik yapısı, hali hazırda bulunan yapıya ekleme veya çıkarma yapmayı kolaylaştırmaktadır.



Şekil 3.4 : Konsol tip monoray örneği.

Vagon sayısında değişiklikler yapılarak 2000 yolcu/saat/yön ile 40.000 yolcu/saat/yön arasında taşıma imkânı sunar. Araçların hız ve kapasitesi istasyonlar arasındaki mesafelere bağlı olarak saatte 225 kilometre olarak yükseltilebilir.

Bu sistem bindirme tip monoraydaki gibi büyük kırılganlığa ihtiyaç duymadığından daha esnek bir yapıya sahiptir. Kılavuz yolu, yüzeyde veya tünel içerisinde 1.1 metre

genişliğinde beton plakalar kullanılarak çevrede minimum düzenleme gereksinimi doğurarak inşa edilebilmektedir.

Bindirme tip monoraya göre araç yüksekliği %30 civarında daha azdır. Dolayısıyla bindirme tip monoray taşıtlarından daha hafiftir. Ağırlığının daha az olması daha küçük kesitli destek yapısına ihtiyaç duyar, işletme ve bakım için daha az enerjiye ihtiyaç duyar. Hat planlaması, inşası bindirme tipe göre daha kolay olmakla birlikte genel itibariyle planlama, uygulama ve işletmede %30-%40 dolaylarında daha az maliyetli olmaktadır.

Yapısal konsepti sayesinde %12 eğime kadar tırmanabilme özelliğine sahiptir. Dizel ve elektrikli motor alternatifli yapısı, ray değiştirebilme kabiliyeti, yüksek eğimleri tırmanabilmesi taşıtların daha hafif olabilmesi, uygulamadaki esneklik ve kılavuz yolu inşası pratikliği itibariyle hatırı sayılır derecede düşük maliyet getirmektedir ve bununla birlikte özelliklerinden ötürü yüksek verime sahiptir [41].

3.3 Monoray Araçları

Çizelge 3.1 : Monoray araçlarının özelliklerine göre kıyaslanması [23,42-44].

Firma	Bombardier	Hitachi	Urbanaut	OTG	Futrex	Mitsubishi
Monoray Tipi	Bindirme	Bindirme	Konsol	Bindirme	Bindirme	Askı
Kapasite	49600	30000	26000	46080	38400	?
Maks. Hız	80 km/sa	75 km/sa	100	112	128	75 km/sa
Ortalama Hız	50 km/sa	40 km/sa	48 km/sa	50 km/sa	35 km/sa	?
Genişleyebilirli	2-8	2-4	2-7	2-8	2-8	?
Min Dönüş	46 m	40 m	38 m	40 m	28 m	90 m
Maks. Eğim	%10	%6	%12	%12	%12	%12

3.4 Monoray Hattının Fayda ve Maliyetleri

Monoray hatları planlanırken, fizibilite çalışmaları yapılırken pek çok unsur eş zamanlı olarak göz önünde bulundurulmalıdır. Fizibilite çalışmalarında göz önünde bulundurulan unsurlardan monoray inşaat yatırımı maliyetleri farklı alanlardaki iş kalemleri ile gruplanarak analiz edilmiş, monoray araçlarının yatırım maliyeti içi ise

planlanan farklı hatlarda kullanılması muhtemelen araçların alım fiyatlarına değinmiştir. Monoray işletme ve bakım maliyeti konusunda ise İstanbul Ulaşım'ın ve Japonya'daki hali hazırda işletilen hatların maliyetleri çerçevesinde değerlendirilmiştir. Monoray hatları planılırken işletmeye açılması durumunda mevcuttaki karayolu taşıt işletme ekonomik maliyetlerinde meydana gelecek azalmalar ile yolcu zaman maliyetleri, kaza maliyetleri, çevresel etki maliyetleri gibi pek çok kalem göz önünde bulundurularak hesaplama yapılmalıdır.

3.4.1 Monoray inşaat yatırımı maliyeti

Monoray inşaatında inşaat yatırım maliyetlerini monoray hattındaki kirişler, viyadükler, istasyonlar, kontrol ve bakım merkezi, depo sahası, elektromekanik işler oluşturmaktadır. Monoray inşaat yatırımlarında arazi istimlak miktarları yükseltilmiş bir hat olduğundan düşüktür. Ayrıca hat yolu kirişleri hazır üretilip monte edilebildiğinden dolayı oluşabilecek maliyetler en aza inebilmektedir. Örnek olması açısından monoray inşaat maliyet kalemlerine İstanbul'da yapılması planlanan 7.2 km uzunluğundaki Üsküdar-Libadiye hattı incelendiğinde Çizelge 3.2'deki sonuçlar görülmüştür.

Çizelge 3.2: Üsküdar-Libadiye monoray hattı inşaat maliyeti fizibilitesi [45].

İş Kalemleri	1.yıl	2.yıl	3.yıl	Toplam
Hat İnşası	21.274.000 \$	30.392.000 \$	9.117.000 \$	60.783.000 \$
İstasyonlar	2.296.000 \$	16.074.000 \$	27.556.000 \$	45.926.000 \$
Elektromekanik işler	4.589.000 \$	27.535.000 \$	59.000.000 \$	91.785.000 \$
Depo ve diğer giderler	5.582.000 \$	4.593.000 \$	7.254.000 \$	17.429.000 \$
Toplam	33.741.000 \$	78.594.000 \$	103.327.000 \$	214.273.000 \$

İzmit Büyükşehir Belediyesi'nin Havaray Fizibilite raporundaki verilere göre ise 20 duraklı 22,3 km uzunluğundaki hvaray hattının inşaa maliyetleri Çizelge 3.3'teki gösterildiği şekilde hesaplanmıştır.

Çizelge 3.3 : İzmit Yarımca – Çayırköy monoray hattı inşaa maliyeti çıkarımı[46].

Veriler	Sayı ve Maliyetler
Viyadük Sayısı	744 adet
Kiriş Sayısı	1488 adet
İstasyon Sayısı	20 adet
Viyadük Maliyeti	30.000 \$
Kiriş Maliyeti	40.000 \$
İstasyon Maliyetleri	5.300.000 \$
Araç Park Depo Maliyeti	30.000.000 \$
Yönetim Merkezi Maliyeti	15.000.000 \$
Enerji Sistemi Maliyeti	30.000.000 \$
Diğer Maliyetler	33.920.000 \$
Toplam Hat Maliyeti	296.760.000 \$

Monoray Ulaşım Sistemi Maliyetleri

Çizelge 3.4 : Mevcut ve yapılması planlanan monoray hatlarının maliyetleri.

Hat	Uzunluk	Toplam	Km maliyeti
Üsküdar - Libadiye (İstanbul)	7,2	214.000.000 \$	29.722.222 \$
Yarımca - Çayırköy (İzmit)	22,3	296.760.000 \$	13.307.623 \$
Moskova Doğu-Batı (Rusya)	4,7	96.800.000 \$	20.595.745 \$
K.Abdullah Finans B (Arabistan)	3,6	150.000.000 \$	41.666.667 \$
Qom-Kashan (İran)	13,5	293.750.000 \$	21.759.259 \$
Malabe - Colombo Fort (Sri Lanka)	23,2	683.000.000 \$	29.439.655 \$

Diğer Sistem Maliyetleri

Metro Ulaşım Sistemi Maliyetleri

Çizelge 3.5 : İstanbul'da yapılmış olan metro hatlarının maliyetleri [47-52].

Hatlar	Uzunluk (km)	Toplam maliyet	Km Maliyeti
Kadıköy-Kartal ¹	21,7	1.732.000.000 \$	79.815.668 \$
Kirazlı-Olimpiyat ¹	15,9	1.477.000.000 \$	92.893.082 \$
Hacıosman-4.levent	10,8	692.000.000 \$	64.074.074 \$
Taksim-4.Levent	8,5	631.000.000 \$	74.235.294 \$
Levent-Boğaziçi Üniv.	3,3	100.000.000 \$	30.303.030 \$

Metrobüs Ulaşım Sistemi Maliyetleri

Çizelge 3.6 : İstanbul'daki metrobüs hatlarının inşa maliyetleri [53-54].

Metrobüs Hatları	Uzunluk (km)	Toplam maliyet	Km Maliyeti
Avcılar-Topkapı	19	130.000.000 \$	6.842.105 \$
Topkapı-Zincirlikuyu	10,3	99.200.000 \$	9.631.068 \$
Zincirlikuyu-Söğütluçeşme	8	52.300.000 \$	6.537.500 \$

3.4.2 Monoray araçlarının yatırım maliyeti

Üsküdar-Libadiye hattı için 20 adet havaray aracı alınması planlanmıştır ve her biri için 1.400.000 \$ fiyat biçilmiştir. Yarımcı - Çayırköy hattı için ise 30 adet 4 vagonlu havaray aracı alınması planlanmış ve her bir araç için 7.000.000 \$ satın alma bedeli öngörülmüştür. Sri Lanka'da yapılması planlanan Malabe - Colombo Fort havaray hattı için ise 24 adet 4 vagonlu toplam 800 kişi kapasiteli araç alınması planlanmış ve her bir araç için yaklaşık 9.000.000 \$ satın alma bedeli öngörülmüştür [45].

¹Taşıt maliyetleri dâhil olup olmadığı belirsiz.

3.4.3 Monoray işletme ve bakım maliyeti

Ülkemizin en geniş metro ağına sahip İstanbul şehrinde İstanbul metrolarının işletme, bakım ve onarım işleri İstanbul Ulaşım A.Ş. tarafından yapılmaktadır. İstanbul Ulaşım A.Ş.'den alınan verilere göre metro işletme ve bakım giderleri personel giderleri hariç Çizelge 3.7'de gösterildiği gibidir. İstanbul Ulaşım A.Ş.'de genel kanı bu işletme ve bakım değerlerinin monoraylar için de benzer olduğu yönündedir [55].

Çizelge 3.7 : İstanbul metrosunun işletme ve bakım maliyetleri [55].

İşletme kalemi	Maliyet
Enerji (Dolar/araç-km)	0,738 \$
Araç Bakım-Onarım (Dolar/araç-km)	0,013 \$
Hat Bakım (Dolar/araç-km)	6.450 \$

Japan Railways Annual Statistic Handbook verilerine göre Japonya'daki bazı hatların yolcu-mil başına işletme ve bakım giderleri Çizelge 3.8'de verilmiştir. Ancak giderlerin içerisinde hangi kalemlerin olduğuna dair açıklamaya ulaşamadığı için ülkemizdeki İstanbul Ulaşım metro işletme ve bakım giderleriyle kıyaslanamamıştır. Kıyaslama çizelgede monoray, metro ve tramvay arasında yapılmıştır.

Monoray, metro ve tramvay bakım giderleri şehre ve hatta göre büyük değişiklikler gösterse de genel olarak metro ve monorayın tramvaya göre daha düşük işletme ve bakım maliyetleri söz konusudur. Metro ile monorayın bakım ve işletme giderleri yakın olmakla birlikte doğru planlanmış ve yeni teknoloji ile özenle yapılmış monoray hatları için bakım maliyetlerinin azalması mümkün olabilir.

Çizelge 3.8 : Japonya'daki raylı ulaşım araçlarının işletme ve bakım maliyetleri [56-57].

Bulunduğu şehir-hat	Tür	İşletme ve Bakım Maliyeti
Tokyo	Monoray	0,31 \$
Osaka	Monoray	0,49 \$
Kitakyushu	Monoray	0,54 \$
Tokyo/Tama	Monoray	0,63 \$
Shonan	Monoray	0,63 \$
Chiba	Monoray	0,97 \$
Osaka	Metro	0,38 \$
Nagoya	Metro	0,43 \$
Fukuoka	Metro	0,49 \$
Sapporo	Metro	0,50 \$
Sendai	Metro	0,61 \$
Kyoto	Metro	0,92 \$
Nagasaki	Tramvay	0,40 \$
Toyama	Tramvay	0,77 \$
Takaoka	Tramvay	0,78 \$
Hakodate	Tramvay	0,92 \$
Sapporo	Tramvay	1,15 \$
Matsuyama	Tramvay	1,44 \$

3.4.4 Karayolu taşıtları işletme maliyetleri

Karayolu taşıtlarının işletme giderleri ele alınırken yakıt, yağ, lastik eskimesi gibi işletme maliyetleri aracın yaptığı kilometreye göre ortaya çıkmaktadır oysa sigorta, amortisman, vergi, araç muayenesi gibi maliyetler ise araç hiç mesafe kat etmediğinde dahi senelik olarak ödenmektedir ve geçen zamana bağlı olarak meydana gelmektedir.

İşletme Giderleri

- Yakıt
- Yağ
- Yedek parça
- Lastik

-Bakım işçiliği

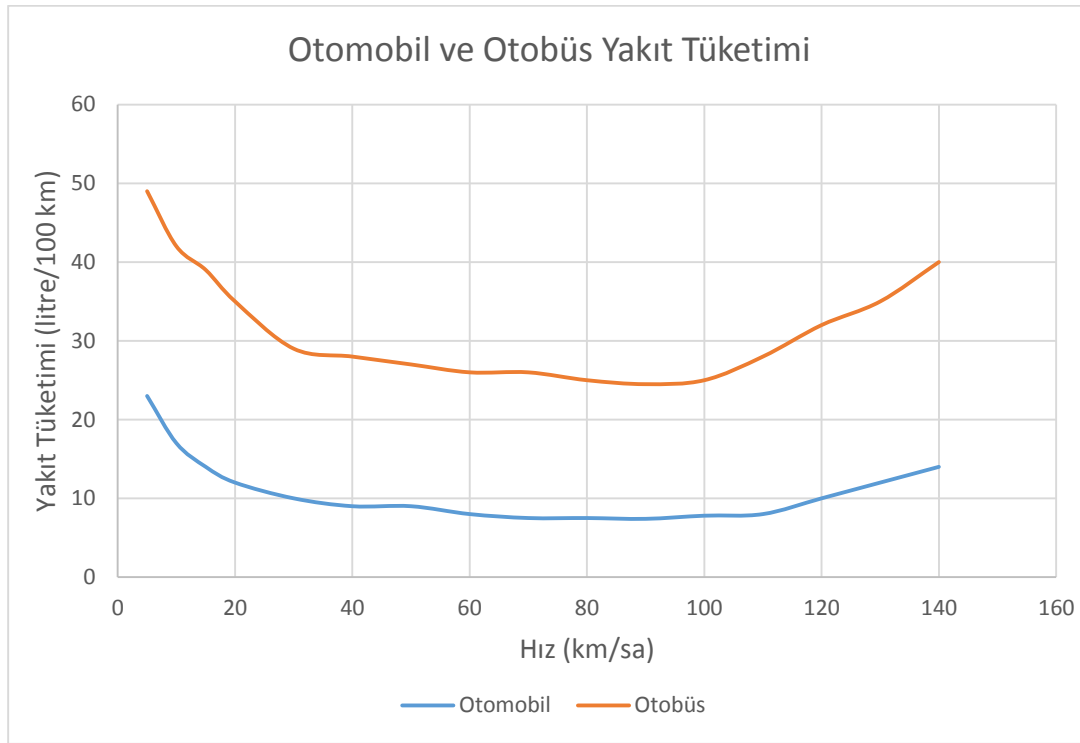
-Amortisman

Sabit Giderler

-Taşıt zaman maliyeti

-Taşıt bakım zaman maliyeti

Karayolu taşıtlarının en temel gider kalemi tabii ki akaryakıttır. Yapılan araştırmalara göre araçların en optimum yakıt tüketimi sabit hızlı hareket ile 50-90 km/sa hızlar civarlarında olmaktadır. Oysa bilindiği üzere şehir içi trafiğinde sabit hız yakalamasının yanı sıra sürekli olarak bu hızlarda seyretmek de neredeyse imkânsızdır. Pik saatlerde ana arterlerde ortalama hız 10-15 km/sa kadar düşmekte ve çok sık ivmeli hareket yapılmaktadır. Şekil 3.5’de otomobil ve otobüsün hıza bağlı yakıt tüketim grafiği verilmiştir.



Şekil 3.5 : Hıza bağlı otomobil ve otobüsün yakıt tüketimi.

Ekonomik olarak hesap yapılırken karayolu taşıtlarından otomobil ve otobüs baz alınmış, kapasite ve büyüklük olarak bu ikisinin arasında yer alan minibüslerin

işletme maliyetleri ise yaklaşık olarak otomobil ile otobüs arasında ortalama bir değer olduğu varsayılmıştır. İşletme maliyet hesabında British Transport and Road Research Laboratory (TRRL) tarafından geliştirilmiş olan Road Transport Investment Model 2 (RTIM2)'den faydalanılmıştır. RTIM2 modelinde sermaye faizi, sürücü ücreti, taşıt genel giderleri ve amortisman benzeri sabit taşıt giderleri yalnızca aracın gitmiş olduğu kilometre başı maliyete dönüştürülerek hesaplanır. Ancak bu çalışmada kullanılan modelde bahsi geçen maliyetler taşıt sabit giderlerinin zamana ve mesafeye bağlı olarak iki ayrı maliyet kaleminde hesap edilerek Çizelge 3.9'daki değerler elde edilmiştir[58].

Çizelge 3.9 : Karayolu taşıtları işletme birim maliyetleri [45,58].

Maliyetler	Otomobil		Minibüs		Otobüs	
	TL	Dolar	TL	Dolar	TL	Dolar
Yakıt	0,1503	0,0446	0,4368	0,1296	0,7229	0,2145
Yağ	0,0057	0,0017	0,0078	0,0023	0,0098	0,0029
Parça	0,0273	0,0081	0,0522	0,0155	0,0772	0,0229
İşçilik	0,0266	0,0079	0,0324	0,0096	0,0384	0,0114
Lastik	0,0263	0,0078	0,1564	0,0464	0,2865	0,0850
Amortisman	0,2575	0,0764	0,5170	0,1534	0,7761	0,2303
İşletme Giderleri	0,4937	0,1465	1,2024	0,3568	1,9111	0,5671
Sabit Gider	0,0101	0,0030	0,2201	0,0653	0,4307	0,1278
Toplam İşletme Gideri	0,5042	0,1496	1,4228	0,4222	2,3418	0,6949
Araç Bakım Zaman M.	0,0408	0,0121	0,3279	0,0973	0,6150	0,1825
Toplam Maliyet	0,5449	0,1617	1,7511	0,5196	2,9568	0,8774

3.4.5 Yolcuların zaman maliyetleri

Pek çok ulaştırma projesinde en önemli tasarruf yolcuların zaman maliyeti kaleminden gerçekleşmekte bu da diğer kalem maliyetleri başa baş gelse dahi projelerin yapılmasını mantıklı kılmaktadır.

Ülkemizin 2015 yılı verileri baz alındığında toplam GSYH; 2015 yılı sabit alıcı fiyatlarıyla 1.953.561 milyon TL'dir. TÜİK'in geçmiş yıllarda yayımladığı illere göre GSYH dağılımı ve İBB tahminleri göz önüne alındığında İstanbul'un toplam GSYH içerisindeki payı %22 civarlarındadır. Bu tahminlerle İstanbul'un 2015 yılında GSYH rakamsal değeri 429.783 milyon TL olarak hesaplanmıştır. Çizelge 3.10'da gelir düzeylerine göre bireylerin saatlik zaman değerleri gösterilmiştir [59].

Çizelge 3.10 : Gelir dağılımına göre bireylerin saatlik zaman değerleri [60]

Gelir Dilimi	Nüfus %	2015 Nüfus	2015 fiyatlarıyla GSYH (TL)	GSYH/kişi (TL)	2015 fiyatlarıyla zaman değeri (TL/saat/kişi)
1	2,70	395.751	42.978.300.000	108.599,42	51,03
2	4,10	600.955	42.978.300.000	71.516,69	33,61
3	5,10	747.529	42.978.300.000	57.493,81	27,02
4	6,00	879.446	42.978.300.000	48.869,74	22,97
5	7,20	1.055.335	42.978.300.000	40.724,78	19,14
6	8,40	1.231.224	42.978.300.000	34.906,96	16,40
7	9,90	1.451.086	42.978.300.000	29.618,02	13,92
8	11,90	1.744.235	42.978.300.000	24.640,21	11,58
9	15,20	2.227.930	42.978.300.000	19.290,69	9,07
10	29,50	4.323.943	42.978.300.000	9.939,61	4,67
TOPLAM	100,00	14.657.434	429.783.000.000	29.321,84	13,78

Bireylerin zaman değeri hesaplanırken ortalama çalışma saati olarak 2128 saat/yıl değeri baz alınmıştır. Bu değere ulaşılırken bir senedeki 365 günden 52 pazar günü, olası izin gүнleri ve bayram tatillerini kapsayan 17 tatil gүнü çıkartılmış ve gүнlik çalışma sũresi 8 saat kabul edilmiştir. Monoray yapılması planlanan gũzergâhlarda monoray yapılmaması durumunda yolculuklarını özel araçları ile yapacak kişilerin en ũst 5 gelir diliminde yer alan bireylerden oluşacağı varsayılmış ve otomobil yolcularının ortalama zaman değeri olarak, bu gelir grubundaki kişilerin zaman değeri ortalaması olan 30,75 TL/saat/kişi değeri alınmıştır. Otobũs yolcularının zaman değeri olarak diğer gelir grubundaki insanların ortalama zaman değeri alınarak hesap yapılmış ve 11,13 TL/saat/kişi olarak hesaplanmıştır.

Mevcut kullanılan monoray hatlarından örnek vermek gerekirse Japonya'nın Osaka kendindeki Osaka Monoray'ı havalimanına ulaşım sũresini %48 oranında azaltmıştır. Toplu taşımadaki dakiklik ve hızlılık monoray ve otomatik insan taşıyıcılar (sũrũcũsũz monoray) inşalarıyla sağlandı [40].

3.4.6 Karayolu Kaza Maliyetleri

Trafik kazalarının ekonomik maliyetlerinin değerlendirilmesinde genelde kazaların neden olduğu maddi hasar, hastane, polis ve sigorta giderlerinin yanı sıra; yaralanma ve Őlũm ile sonuçlanan kazalar sonucunda meydana gelen iş gũcũ kayıpları hesaplanmaya çalışılmıştır. Őlkemizdeki kaza istatistikleri daha ayrıntılı bir maliyet analizi yapılmasına olanak vermediği için karayolu trafik kazalarının yol açtığı maddi hasarlar hesaba katılmış lakin yaralanma ve Őlũmlerden kaynaklanan kayıplar için bazı kabuller yapılmıştır.

2015 yılı İstanbul kaza istatistiklerine gũre izelge 3.11'de gũrdũlũęũ ũzere toplam 53.314 trafik kazası meydana gelmiş ve bu kazalarda 401 kişi hayatını kaybetmiş, 23.245 kişi de yaralanmıştır.

Çizelge 3.11 : İstanbul'daki karayolu kazaları istatistikleri [61,62].

Kaza türü	Kaza Sayısı
Ölümlü ve yaralanmalı kaza sayısı	16.374
Maddi hasarlı kaza sayısı	36.849
Toplam kaza sayısı	53.314
Ölü sayısı (kaza anı ve sonrası)	401
Yaralı sayısı	23.245

Kazaların analizi ve kaza maliyetlerinin tahmin edilmesinde Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından Sweroad'a (Swedish National Road Consulting) hazırlattırılan Trafik Güvenliği Projesi değerleri kullanılmıştır. Bu çalışmada trafik kazaları nedeniyle ortaya çıkan maliyetler doğrudan ve dolaylı maliyetler olarak değerlendirilmiştir. Bizzat kişi ya da kuruluşlar tarafından ödenen maliyetler doğrudan maliyetler olarak nitelendirilir. Bunlar:

3.4.6.1 Maddi hasar maliyetleri

Taşıtlara, yol altyapısına veya karayolu levhaları gibi özel veya kamuya ait mülke verilen hasarların onarım maliyeti.

3.4.6.2 Hastane maliyetleri

Yaralanma sonucunda hastaneye kaldırılma ve yapılacak olan tedavi, ilaç, diğer tıbbi gereçler, evde ya da nakil sırasında yardım/bakım gereksinimine ilişkin maliyetler toplamıdır.

3.4.6.3 İdari maliyetler

Sigorta şirketlerinin maliyetleri ve trafik kazalarının sonuçlarından doğan polis, jandarma, itfaiye ve mahkemelerle ilgili olarak devlet bütçesinden karşılanan maliyetler.

Dolaylı maliyetler ise herhangi bir kişi ya da kuruluş tarafından ödenmeyen, üretim kaybı ya da bir risk değeri kullanıldığı takdirde üretimde meydana gelen net kayıptan ötürü ortaya çıkan maliyetler olarak belirtilmektedir. Üretim kaybı, kişilerin yaralanma veya ölümlü sonuçlanan bir kaza geçirmemiş olsalardı, yaşamlarının geri kalan kısmında üretebilecekleri mal ve hizmet değeri olarak hesaba katılmaktadır.

Kaza maliyetlerinin hesaplanabilmesi için toplam kaza sayısının, maddi hasarlı, ölümlü sonuçlanan ve yaralanma ile sonuçlanan kazalar olarak ayrılması gerekir. İstanbul için kaza istatistiklerinin hesaplanmasında Çizelge 3.12'de verilmiş olan öngörülen yıllık araç-km değerleri kullanılmıştır.

Çizelge 3.12 : İstanbul için öngörülen yıllık araç - km değerleri (2015) [63].

Araç Türü	Araç Sayısı	Km/Yıl	Araç-Km/Yıl
Otomobil	2.463.995	15.000	36.959.925.000
Minibüs	83.017	100.000	8.301.700.000
Otobüs	46.413	75.000	3.480.975.000
TOPLAM	2.593.425		48.742.600.000

İstanbul araç-km değerleri ve kaza istatistiklerinden hareketle, 2015 yılı için araç-km başına kaza, ölü ve yaralı sayıları aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Milyon araç-km başına ölümlü/yaralanmalı kaza sayısı : 0.335928

Milyon araç-km başına maddi hasarlı kaza sayısı : 0.756000

Milyon araç-km başına ölü sayısı : 0.008227

Milyon araç-km başına yaralı sayısı : 0.476900

Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından 2001 senesinde Sweroad'a hazırlattırılan Trafik Güvenliği Projesi'nde kaza maliyetleri 2001 yılı fiyatları ile TL olarak belirlenmiştir. Bu değerlerin güncel istatistiklerde kullanılabilmesi maksadıyla

değerler 2015 yılı fiyatlarına TEFE endeksleri kullanılarak dönüştürme işlemi uygulanmıştır.

Doğrudan maliyetler (2015 yılı fiyatları ile):

Ölüm/yaralanma ile sonuçlanan kazalarda maddi hasar : 7.230 TL

Maddi hasarla sonuçlanan kazalarda maddi hasar : 3.148 TL

Doğrudan maliyetler; maddi hasar, hastane maliyetleri ve idari maliyetler olarak üç farklı grup altında değerlendirilmiştir. Maddi hasar maliyetleri yukarıdaki gibi verilmiştir. Ancak hastane ve idari maliyetler ile ilgili ülkemiz istatistiklerinde veri bulunmamaktadır. Karayolları çalışmasında, hastane ve idari maliyet istatistiklerini tutan ülkelerde bu iki maliyet grubunun da malzeme maliyetlerine eşit derecede büyük olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle hastane ve idari maliyetleri analizlerde kullanabilmek açısından, maddi hasar ve üretim kaybı değerlerinin toplamının çarpılması için şu katsayılar kullanılabilir:

Ölümlü/yaralanmalı kazalar için : 1,34

Maddi hasarlı kazalar için : 1,15

Çalışmada, dolaylı maliyetler (üretim kaybı) için de Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından 2001 senesinde Sweroad'a hazırlattırılan Trafik Güvenliği Projesi'nde yer alan kaza maliyetlerinin 2015 senesine dönüştürülmesi esası uygulanmıştır [64].

Dolaylı maliyetler (2015 yılı fiyatları ile)

Ölü başına üretim kaybı : 22.215 TL

Yaralı başına üretim kaybı : 6.262 TL

3.4.7 Çevresel etki maliyetleri

Ülkemizdeki taşıtlar için herhangi bir zorunlu CO₂ emisyon standardı bulunmamaktadır [65]. Karayolu taşıtlarının CO₂ salınımları ortalama olarak Çizelge 3.13'teki şekildedir:

Çizelge 3.13 : Karayolu araçlarının kilometre başına ortalama karbondioksit salınımları [65-67].

Taşıtlar	CO₂ Salınımları
Otobüs	1260 gr/km
Minibüs	355 gr/km
Otomobil	180 gr/km

Türkiye'nin arazi kullanımının neredeyse il sınırlarının tamamına yayıldığı bir şehri özelliğine sahip İstanbul'da toplu ulaşım ağının ulaşılabilir olarak kentin tamamına yayılması ve bu yayılma sırasında çevreye minimum düzeyde zarar verilmeye gayret gösterilmelidir. İstanbul'da ulaşımın yaklaşık %87'si dizel, benzin ve lpg motorlu lastik tekerlekli kara taşıtları ile sağlanmaktadır.

Benzin ve dizel taşıtların çıkardığı egzoz gazlarında bulunan zararlı maddelerin özellikle trafiğin yoğun olarak yaşandığı kent merkezlerinde çevreye ve insan sağlığına verdiği zararlar oldukça fazladır. Genellikle kent merkezlerindeki karbonmonoksit (CO) emisyonlarının %70-90'ından, azotoksit (NO) emisyonlarının %40-70'inden, hidrokarbon (HC) emisyonlarının yaklaşık % 50'sinden ve şehir bazında kurşun emisyonlarının %100'ünden çoğunlukla motorlu taşıtlar sorumludur [68].

Monoray teknolojileri kent özelliklerine uyum sağlar çünkü monoray kirişleri inşa alanının dışında üretilebilir, böylece inşa için mevcut olan yolları kapatma süreleri azalır. Monoray demiryolu taşıtlarına göre çok daha az gürültülüdür, yüksek eğimli yollarda ve küçük yarıçaplı kurplarda yol alabilme kabiliyeti onu şehir içi ulaşım için avantajlı kılar. Dar yarıçaplı kurplardan geçebilmesi ve binaların yakınına inşa edilebilmesinden ötürü şehirler için ideal bir seçim olarak nitelendirilebilir. Mevcut yolun sağ tarafını veya ortasını refüj ile ayırarak kılavuz yol inşa edilebileceği gibi kolonlarla yükseltilerek monoray kılavuz yolu inşa edilebilir. Kamulaştırma oranının azaltılarak ve yer altı yüksek tünel maliyetlerinin önüne geçilerek şehrin modernliğini bozmadan bir toplu taşıma olarak işletilebilir.

4. MONORAY SİSTEMİNİN BİLEŞENLERİ

Monoray diğer bir deyişle havaray ulaşım sisteminin bileşenleri hat yolu inşaatı, elektromekanik sistemler ve monoray araçları olarak 3 başlık altında toplanabilir. İnşaat kısmında monoray kılavuz yolu, kolonlar, kirişler, istasyonlar, anahtarlama istasyonları, depo-bakım sahası, yönetim-işletme binalarından; elektromekanik sistemi enerji hattı, haberleşme hattı, sinyalizasyondan oluşmaktadır. Monoray araçları ise ihtiyaca göre belirlenebilecek farklı tip ve özelliklerde olabilmektedir ancak farklı çeşit monoray kılavuz yolu inşa etmek mümkün olduğundan araç seçimi de kılavuz yoluna göre olmalıdır. Monoray sistem bileşenleri öncelikle en yaygın monoray cinsi olan bindirme tip esas alınarak detaylandırılmıştır.

4.1 Monoray Yapı ve Tesisleri İçin Planlama ve Dizayn

4.1.1 Genel kriterler

Kalabalık ve tıkanık şehirler için uygun yapısal çözümler seçilirken aşağıdakiler dikkate alınmaktadır:

- İnşa etmesi kolay ve trafik üzerinde, yol geçiş üstünlüğünde, geçici alanların inşasında ve şehir çevresi üzerinde minimum etki yapacak yapılar ve inşaat metotlarının kullanılması,
- Düşük maliyete sahip ve daha hızlı inşa edilebilir yapı tipi,
- Beklenen yük miktarına karşı dayanıklı ve güvenilir yapısal sistemler,
- Sürdürülebilir ve bakımı kolay yapı tipi,

Kalabalık şehirlerde sık sık yüklemeye maruz kalacak monoray viyadükleri için ise aşağıdaki kriterler göz önüne alınmalıdır:

- Viyadüklerde acil durum tahliye sistemleri bulunmalıdır

- Titreşim ve saptırma kriterleri – tren işletmesi ve yapısal hareketin hassas olması sebebi ile demiryolu yapıları için oluşturulmuş titreşim ve sapma limitleri normal karayoluna göre daha serttir.
- Yapı/araç etkileşimi – destek, direksiyon, güç dağılımı ve çekiş gücü sisteminin bileşenlerine bağlı olarak, aracın viyadük yapısı ile etkileşimi performansı etkilemektedir.
- Sürüş kalitesi – sistem özellikleri sürüş kalitesini genelde yanal, dikey, boyuna ivmelenme ve aracın içinde ölçüldüğü şekilde ivmenin zamana göre değişimine göre belirlemektedir.
- Gürültü kontrolü – trenin özellikle yerleşim yerleri veya parklar çevresinden geçerken çıkardığı gürültü çoğunlukla problem oluşturmaktadır [69].

4.1.2 Dizayn yükleri

İleride anlatılacak dizayn yükleri yalnızca referans amaçlı monoray dizaynını özetler niteliktedir. Hareketli yük aracın demiryolu levazımına bağlı olduğundan ve ilişkili yükler duruma göre değişiklik göstereceğinden, her dizayn yükü gerçek şartlar göz önünde bulundurularak hesaplanmalıdır.

4.1.2.1 Ölü yük

Başlangıçta var sayılan ağırlıklı ölü yük, inşaa sırasında kullanılacak yükler ile olabildiğince yakın bir değer olarak hesaplanmalıdır.

4.1.2.2 Hareketli yük

Hareketli yük, dizayn edilen monorayın demiryolu levazımı yükü ve istasyonların kalabalık yükleri hesaba katılarak belirlenmektedir.

- Monoray vagonlarının tasarım yükü ne olursa olsun oluşum başına vagonların sayısınca bir direnç yükü dikkate alınır ve en elverişsiz gerilmeye neden olacak şekilde yük uygulanır. Ancak monoray vagonlarının tasarım yükü genellikle ikiden fazla parçaya bölünmez.
- Destek yapıları üzerindeki yorulma ve çift yöllü monoray kirişlerini destekleyen viyadükler düşünüldüğünde, tek yöllü yük uygulanmalıdır.

Doluluk yükü aşağıda gösterildiği gibi uygulanmalıdır:

- Yerlerin dizaynı ve sistemleri için 5.0kN/m² eşit dağılmış yük
- Ana kirişlerin dizaynı için 3.5kN/m² eşit dağılmış yük

4.1.2.3 Etki yükü

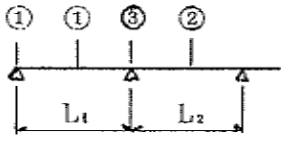
Hareketli yükler, etki yüklerini içermelidir. Fakat etki yükü kaldırımlar vb yapılar için düşünülmemelidir. Üst yapı etki sabiti açıklık uzunluğunu (L) içermelidir ve aşağıdaki formül ile hesaplanır.

Altyapının dizaynında kullanılan, üstyapı reaksiyon kuvveti tarafından oluşan, hareketli yükten kaynaklı etki yükü hesaba katılmamaktadır. Fakat bu yük mil yatağı ve altyapının elemanları beton, metal kiriş veya benzer hafif materyallerden oluştuğunda düşünülmalıdır. Etki yükü hesaplaması denklem 4.1'den yararlanılarak yapılabilir. Çizelge 4.1'de de kiriş tipine göre açıklık hesabında izlenilecek yol gösterilmiştir.

$$i = \frac{20}{50+L} \quad i: \text{etki yükü}, \quad L: \text{açıklık (m)} \quad (4.1)$$

Etki katsayıları gerektiğinde açıklık uzunlukları kullanılmaktadır.

Çizelge 4.1 : Kiriş tipine göre açıklık hesaplanması [70].

Tip	Yapı Üyesi	L (m)
Basit Kiriş	Kiriş ve Mil Yatağı	Açıklık
Sürekli Kiriş		1. için L ₁
		2. için L ₂
		3. için (L ₁ + L ₂)/2

4.1.2.4 Yanal vagon yükü

Tek eksenli konsantre hareketli yük, yanal vagon yükü için kullanılmalıdır ve hareketli yüzeyin yüksekliğine, kirişin eksenine yatay ve dik olarak uygulanmalıdır. Monoray vagonlarının tasarım yükü tek bir aks üzerinde %25 oranında olmalıdır.

4.1.2.5 Sismik etki

Deprem bölgesine bağlı olarak olası deprem yüklerinin hesabıyla oluşturulmalıdır.

4.1.2.6 Merkezkaç kuvveti

Kavisli kısımlarda, merkezkaç yükünü belirlemek için vagonun ağırlık merkezine yatay eksen ve kılavuz çizgiye dik olacak şekilde denklem 4.2 ve denklem 4.3 uygulanır. Etki yükü hesaba katılmamalıdır.

$$0 < R \leq 500m \quad F = 0.17P \quad (4.2)$$

$$500m < R \quad F = 85\left(\frac{1}{R}\right)P \quad (4.3)$$

F: Merkezkaç yükü(t)

R: Eğri çapı (m)

P: Monoray yükü kaynaklı aks yükü (t)

Yol kirişi için yukarıda hesaplanan merkezkaç yükü, hat eğimi de hesaba katılarak düşürülebilir.

4.1.2.7 Çarpışma yükü

Gerekli koruyucu yapılar, örneğin beton duvarlar, araç kazası riski dolayısıyla sütun olarak inşa edilmelidir. Bu tür koruyucu yapılar inşa edilemiyorsa, aşağıdaki çarpışma yüklerinden birisi dizayn yapılırken hareket yüzeyinden 1.8 metre yükseklikte uygulanmalıdır.

Kiriş yönünde : 100 t

Kirişe dik : 50 t

Deniz üstünde gemilerle çarpışma riski bölgelerde sütun veya iskele inşaa edildiğinde, bu çarpışma riski tasarım yapılırken hesaba katılmalıdır.

Eğer suların sürüklediği ağaç dalları veya diğer savrulan objeler çarpışma riskini ortaya çıkarıyorsa, çarpışma kuvveti denklem 4.4 ile hesaplanmalı ve bu kuvvet su yüzeyinden yükseklik ile aynı yükseklikte uygulanmalıdır.

$$P = 0.1 W * V \quad (4.4)$$

P : çarpışma gücü (t)

W: savrulan objenin ağırlığı (t)

V: yüzey hızı (m/sn)

4.2 Hat Yolu

Monoray sistemine adını veren tek bir ray olarak nitelendirilen kılavuz yolu genellikle betonarmeden oluşmakla birlikte çelikten de imal edilebilmektedir. Monoray kirişleri kendi ağırlığının yanı sıra üzerinde oluşacak sabit ve hareketli yükleri de taşıyabilecek şekilde tasarlanmalıdır. Araçların kauçuk tekerlekleri kirişi tam sararak kirişe oturmalıdır. Kirişlerin geniş olması tasarımı kolaylaştırır ancak görünüş itibariyle estetiklikten uzaklaşmaya neden olur. Kılavuz yolu kirişinin yüksekliği ve uzunluğu tasarım esnekliğine sahiptir. Ancak yapısal olarak bütünlüğün korunması göz önünde bulundurulmalıdır. Bindirme tip monoray kılavuz yolları kurbalarda yalnızca yatay düzlemde dönmekle kalmaz düşey düzlemde de eğilirler. Eğilme derecesi dönülmekte olan kurbun yarıçapına bağlıdır. Monoray taşıtları dar ve geniş farklı yarıçaplardaki kurbalarda yol alabilir. Öyle ki 30 metre yarıçapa sahip kurbalarda dönüş yapabilecek özelliklere sahip olan monoray taşıtları vardır. Gelişen teknoloji ile birlikte monoray araçlarının raydan çıkması neredeyse imkânsız bir hal almıştır ancak yine de yolcu konforu ve teknik sebeplerden ötürü dar kurbalarda hızın düşürülmesi gerekmektedir. Günümüzde monoray araçlarından %20 eğimi tırmanabilecek şekilde tasarlananları mevcuttur [6]. Bu da kılavuz yolu inşasında daha fazla alternatif sağlayarak inşa kolaylığının önünü açmaktadır. Kılavuz yolu tasarlanırken mümkün olduğunca geniş açıklıkları daha az kolon ile geçmek makbuldür. Kemer tipi kirişler daha uzun

aralıkları mümkün kılmaktadır. Böylelikle gerekli kamulaştırma azaltılabilir ve daha ekonomik çözümler ile hat inşa edilebilir. Daha uzun açıklıklar aynı zamanda azalan kolonlar sayesinde şehir estetiğine de önemli katkı sağlar. Yol gösterici kirişlerin kemer uzunluğu ortalama 30m iken, 36 metreye kadar uygulamaları yapılmıştır.

4.2.1 Kurb yarıçapı

Kurb yarıçapı 100 metreden fazla olmalıdır. Fakat bunun gerçekleştirilemeyeceği durumlarda, kurb yarıçapı trenin çalışmasını aksatmayacak kadar azaltılabilir. Hatta 30 metre yarıçapa sahip kurlarda dönüş yapabilecek özelliklere sahip olan monoray taşıtları vardır. Kullanılacak monoray taşıtının teknolojik özelliklerine bağlı olarak kurb yarıçapını azaltmak mümkündür.

4.2.2 Geçiş eğrisi

a) Yol ayrımlarına denk gelen eğriler hariç, ana raylardaki dairesel eğriler ve aliymanlar geçiş eğrileri ile bağlanmalıdır.

b) Yukarıda bahsedilen geçiş eğrisinin uzunluğu monoray tipine göre bindirme tip ise denklem 4.5'ün, askı tip ise denklem 4.6'in sonucuna eşit veya daha büyük olmalıdır:

$$\text{Bindirme tipi} : L=V^3/14 R \quad (4.5)$$

$$\text{Askı tip} : L=V^3/28 R \quad (4.6)$$

L: Geçiş eğrisi uzunluğu (birim: m)

V: Eğrideki dizayn hızı (birim: km/h)

R: Kurb yarıçapı (birim: m)

c) İki dairesel eğrinin farklı yarıçaplar ile birleştirilmesi gereken durumlarda, kullanılacak geçiş eğrisi uzunluğu yukarıda formüle göre hesaplanan iki uzunluğun farkından büyük olmalıdır.

4.2.3 S eğrisi

Yol ayrımlarına denk gelen eğriler hariç, genellikle, sarmal geçişlerin iç uçlarında bulunan S eğrisi bir veya daha fazla monoray vagonu uzunluğunda ara düz ray ile

bağlanmalıdır. Fakat bu durumun mümkün olmadığı durumlarda iki parabol birbirine direk bağlanabilmektedir.

4.2.4 Dever

- a) Yol ayrımlarına denk gelen eğriler hariç, ana raylarda dairesel eğriler için dever %12 veya daha az olmalıdır [70].
- b) Geçiş eğrisi toplam uzunluğu boyunca, dever kademeli olarak azalmalıdır.

4.2.5 Eğim

a) Hat eğimi ‰ 60'dan az olmalıdır. Fakat arazi müsait olmadığında veya başka sebeplerle bu kurala uyulamaz ise eğim ‰ 100'den az olmalıdır. Ancak farklı firmalar ‰120 eğimleri rahatlıkla tırmanabilecek monoray araçlarını başarıyla test etmişlerdir. Bu da demek oluyor ki hat eğiminde seçilecek monoray taşıtına göre ‰120 eğimlere kadar tasarım söz konusu olabilir.

b) Eğimli kısımda bir eğri bulunması durumunda, denklem 4.7 kullanılarak bu değer de hesaba katılmalıdır:

$$g = 800/R \quad (4.7)$$

R: eğri yarıçapı (birim: metre)

g: eğri yarıçapından dolayı eğimde meydana gelen azalma (birimi: ‰)

c) Ana hattın istasyon bölgesindeki eğimi ‰10'dan az olmalıdır. Buna ek olarak, istasyonda tampon, yol ayrımı veya yol kesişimi var ise, istasyon bölgesindeki eğim ‰5'ten az olmalıdır.

d) Monoray vagonları için park ve birleşme-ayırılma noktalarında eğim ‰5'ten az olmalıdır.

4.2.6 Düşey kurb

Ana hattın eğiminde meydana gelen bir değişiklik düşey kurb ile sağlanmalıdır. Bu eğrinin yarıçapı 1000 metre veya daha fazla olmalıdır. Fakat bu kurala uyulamayan durumlarda eğrinin yarıçapı 400 metreye kadar düşürülebilir. Düşey kurbun

yerleştirilmesine gerek olmayan, eğimi %5'in altında olan bölgelerde böyle bir uygulamaya gerek yoktur [70].

4.2.7 Hat merkezleri arasındaki uzaklık

Ana hat ve ana hat/yan hat arasındaki hat merkezleri uzaklığı aşağıdaki değerlere monoray vagon açıklığı eklendikten sonraki değerden büyük olmalıdır:

- a) Monoray vagon açıklığı ve inşaat açıklığı arasındaki farkın $\frac{1}{2}$ 'si;
- b) Normal tren işleyişi sırasında, monoray vagonunun yanlamasına yöndeki genişliğinin $\frac{1}{2}$ 'si

4.3 Dizayn Özellikleri

Bindirme tip monorayın dizaynında monoray hattına sahip ülkelerin benimsemiş olduğu tasarım kriterleri derlenerek Çizelge 4.2 elde edilmiştir. Monoray hattına sahip olan ülkelerdeki tasarımlar örnek alınarak ve daha önce bahsedilen dizayn standartları göz önünde bulundurularak projenin dizayn özellikleri belirlenmelidir. Çizelge 4.2'de örnek bindirme tip monoray dizayn özellikleri verilmiştir [69].

Çizelge 4.2 : Bindirme tip monoray dizayn özellikleri.

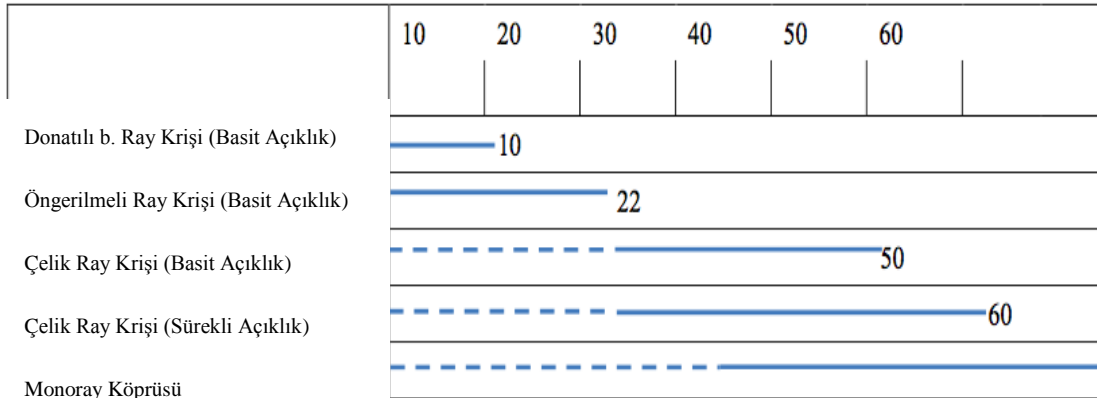
Poz	Özellik
Monoray Tipi	Bindirme-kiriş tipi
Vagon Boyutu	Büyük
İnşaa Ölçütü	Bu çizelge
Minimum Eğri Yarıçapı	Ana Ray hattı R = 30-60 m İstasyon R = 0 m Depo sahası R = 30-50 m
Yatay Eğriler Arasındaki Minimum Uzaklık	30 metre
Meyil	Ana ray hattı ‰60-‰120
Düşey Eğri	Minimum 1000 metre yarıçapı
Ray Uzaklığı	Bitişik rayların merkezden merkeze minimum uzaklığı 3.7 m
Platform Uzunluğu	70 metre
Eksen Yüğü	Monorayın eksen yüğü 11 ton. Tek kirişin kaldıracabileceğı maksimum yük miktarı 66 ton.
Kiriş Ağırlığı	22 metre kiriş başına 55 ton

4.4 Yapılar ve Tesisler

Monoray yapıları ve tesisleri genel itibariyle hat yolunu yer hizasından yükselten viyadüklerden ve viyadüklerle yükseltilmiş istasyonlardan oluşmaktadır.

4.4.1 Viyadük üst yapısı

Üst yapının yapı tipi uygulanabilir uzaklık, kiriş dikme metodu, parçalara ayrılabilen şekil ve mevcut inşaa teknolojisine göre belirlenmelidir. Şekil 4.1'de uygulanabilir uzaklığa bağlı olarak düzenlenmiş yapı tipini (monoray kirişi için ray kirişi ve köprü kirişi) göstermektedir. Üst yapılar servis ve inşaa süresince meydana gelecek tüm yüklere karşı dayanıklı ve güvenli olmalıdırlar. Bunun yanısıra, üst yapılar monorayın çalışması, bakımı ve ekonomik olarak verimli olması için de belirli performansı sağlamalıdırlar. Bu sebepler doğrultusunda, basit sıkıştırılmış beton kiriş (öngerilmeli kirişli), ray kirişi için standart tip olarak belirlenmiştir ($L < 22m$). Sıkıştırılmış beton kiriş yüksek hassasiyet ile üretilebilir ve kiriş kalite kontrolü yapılmış tesisler tarafından üretileceğinden uzun süre kullanılabilir. Çelik kiriş uzunluğunun fazla olduğu bölgelerde yolun durumuna göre uygulanabilmektedir ($22m < L < 60m$). Çok daha geniş uzunluklarda (çelik kiriş aralığının dışında) ve yola bağlı olarak farklı bir kiriş dikme yöntemi gerekli olduğunda, ray kirişini taşıyacak monoray köprüsü kullanılmaktadır. Şekil 4.1'de üst yapı tiplerini ve bu tipler için uygun uzaklıkları göstermektedir.



Şekil 4.1 : Üst yapı tipleri açıklık değerleri (birim:metre).

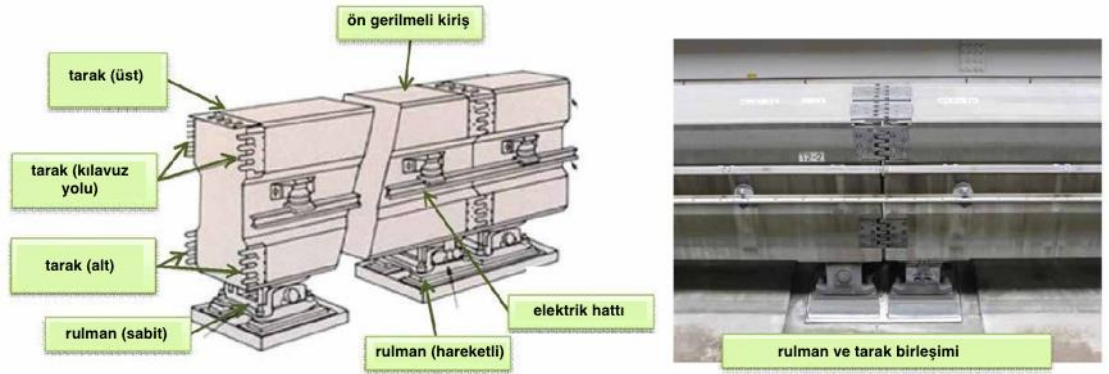
Şekil 4.2’de mono-tip köprü ayağına sahip öngerilmeli ray kirişini ve çelik ray kirişini göstermektedir.



Şekil 4.2 : Tekil-tip temel ayağına sahip öngerilmeli kiriş.

Öngerilmeli Kiriş Tipi (üst yapı için standart tip)

Öngerilmeli kiriş tipi üst yapı için standart tip olarak seçilebilir. Bu kiriş, hem kiriş hem de monoray kılavuz yolu olarak kullanılacağından, kiriş monoray vagonunu direk olarak destekleyecek ve elektrik hatları bu kirişin üzerine yerleştirilecektir. Öngerilmeli kirişin yapısal detayları şekil 4.3’de gösterilmiştir.

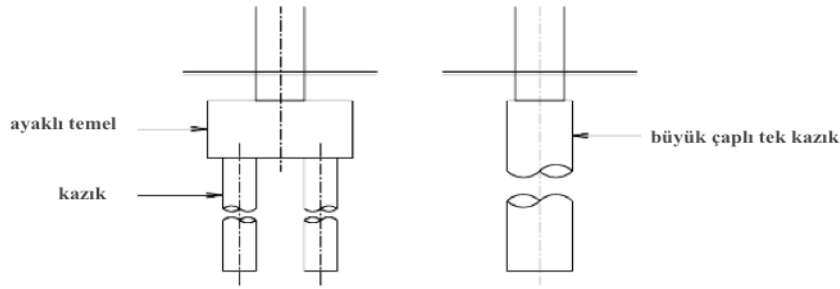


Şekil 4.3 : Öngerilmeli kirişin yapısal detayları [71].

4.4.2 Temel ve alt yapı

Monoray hat yolu inşaatları için genel olarak aşağıdaki iki tip temel kullanılabilir. Temel tipleri şekil 4.4'te verilmiştir.

- Küçük çaplı beton dökme kazıklardan ve kazık başlığından oluşan ayaklı temel
- Büyük çaplı tek kazıktan oluşan temel



Şekil 4.4 : Temel tipleri.

Standart temel ayağı tipi geleneksel olarak kullanılan, inşaa edilmesi kolay ve ekonomik olan ayaklı temeldir. Ayaklı temel modeli zeminin uygun olduğu ve inşaa engeli olmayan bölgelerde kullanılmaktadır. Bunun yanısıra, tek kazıktan oluşan temel de dikkate alınmaktadır. Bu temel tipi, inşaa metodu daha pahalı olmasına rağmen, kazık başlığına gerek duyulmaması sebebiyle inşaa alanının oldukça daraltılması avantajına sahiptir. Dahası, bu tip inşaa sürecini oldukça kısaltabilmektedir. Fakat zemin özelliği itibariyle, deprem ve ekseni merkezde olmayan yükler gibi yatay ağırlıkları taşıyabilecek güce sahip olmalıdır.

Alt-yapının yapısal tipi üst yapının ağırlık miktarı, destekleme metodu, zeminin lokasyonu ve durumu, yer altı suyu seviyesi, çevresel faktörler ve mevcut inşaa teknolojisi göz önünde bulundurularak belirlenmektedir. Monoray yapısı olarak seçilebilecek iki tür temel ayağı tipi aşağıda verilmiştir.

- Tekil tip temel ayağı: Şekil 4.5'te verilmiştir.
- Portal tip temel ayağı: Şekil 4.6'da verilmiştir.

Standart olarak kullanılan temel ayağı tipi mono tiptir. Kullanılacak temel ayağı tipi var olan yol durumuna göre seçilir. Bu konsept trafik şeritlerini veya kaldırımları etkilemez, trafiği aksatmaz ve inşaa alanı küçük bir alan olduğundan çevreye minimum derecede rahatsızlık verir. Temel ayağı yapısı inşaa alanında sıkıştırılmış beton yapısına sahip olduğundan, dizayna ve inşaa alanına göre değişiklik gösterebilme yetisine sahiptir. Normal şartlarda temel ayağı yolun ortasına yerleşecek şekilde tasarlanırsa da, yolun dar olduğu durumlarda temel ayağı yolun kenarına yerleştirilebilmektedir.



Şekil 4.5 : Tekil tip temel ayağı.



Şekil 4.6 : Portal tip temel ayağı

Eğer monoray girişinin merkezi köprü ayağının merkezi ile denk gelmezse, merkezler arasındaki uzaklığa bağlı olarak köprü ayağı ve köprü ayağı başının birleştiği yerde, temel ve kazıklar arasında merkez dışında bir yük oluşacaktır. Özellikle mevcut yolların daha geniş olması sebebi ile merkezler arasındaki uzaklık artmakta ve bu da merkez dışında oluşan yükün artmasına sebep olmaktadır. Dolayısıyla, bu tip bölgelerde mono-tip temel ayağı kullanımı zorlaşacağından, portal-tip köprü ayağı tercih edilebilmektedir.

4.4.3 İstasyonlar

Monoray hatlarının yolcu indirme-bindirme yaptıkları genellikle turnikelerden geçilerek ulaşılan yer altında, yer hizasında veya yer üstünde olabilen istasyonları vardır. Ancak monoray istasyonlarının genellikle yer üstünde yükseltilmiş yapılar olduğu baz alınmıştır.

4.4.3.1 Temel fonksiyon

İstasyonların fonksiyonel olabilmesi için, istasyon yapıları ve birimleri yolcu güvenliğini sağlamalı, yolculara rahat bir ortam sunmalı ve kullanıcı dostu birimler ile yolcuların kullanımına uygun inşaa edilmelidir. İstasyonlar engelli yolcular için uygun tasarlanmalı ve gerekli olduğunda (yangın vb.) acil çıkış için kullanışlı olacak şekilde dizayn edilmelidir.

4.4.3.2 Platform tipi

Tipik platform tipleri;

- a) Ayrık platform tipi
- b) Ada platform tipi

olarak listelenebilir. Monoray istasyonlarında kullanılması muhtemel platform tipleri Çizelge 4.3'te karşılaştırılmış olup Şekil 4.7'de ayrık platformlu istasyon yapısı, Şekil 4.8 'de ise ada platformlu istasyon yapısı gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 : Platform tipi karşılaştırması.

Tip	Ada Platform	Ayrık Platform
Taslak Çizim		
İstasyonun Toplam Genişliği	Ada platformda, toplam istasyon genişliği ayrık platforma göre daha azdır.	Ayrık platformda, toplam istasyon genişliği ada platforma göre daha fazladır.
Platformun Alacağı Yolcu Kapasitesi	İstasyonda tek platform olması nedeniyle, binen ve inen yolcular aynı platformu kullanabilirler.	İstasyonda ayrı iki platform olduğundan her iki yönde gidecek yolcular için ayrı platformlar bulunur.
Demiryolu Düzeni	İstasyonun iki ucuna da eğri bölgeler yerleştirilmelidir. Daha uzun bölümler için demiryolu genişliği artırılmalıdır. Yayalarda ve araç sürücülerinde kasvet	Demiryolu düzeni düz olduğundan, tren sürücüsünün görüş alanı iyidir. Yayalarda ve araç sürücülerinde oluşabilecek kasvet hissi ada platform tipine göre daha azdır.
Platforma Ulaşım için Gerekli Birimler	İki yöne de gidecek yolcular aynı platformu kullanacaklarından platform için giriş/çıkış birimleri	Platform için giriş/çıkış birimleri (merdivenler, yürüyen merdivenler ve asansörler) her iki platform için de inşaa
Birim Maliyeti	Ada platform için giriş/çıkış birimlerinin (merdivenler, yürüyen merdivenler ve asansörler) maliyeti ayrık platform tipine göre daha	Ayrık platform için giriş/çıkış birimlerinin (merdivenler, yürüyen merdivenler ve asansörler) maliyeti ada platform tipine göre daha
Diğer Karakteristikler	Yanlış platforma çıkma gibi bir olasılık olmadığı için yolcular için daha kullanışlıdır.	Ek bir platform yapılmak istendiğinde veya istasyon eklemek istendiğinde, demiryolu düzeni bozulmadan inşaat yapmak mümkündür.



Şekil 4.7 : Ayrık platformlu istasyon.



Şekil 4.8 : Ada platformlu istasyon.

Çizelge 4.3 incelendikten sonra, istasyonun ve birimlerin inşaatı için aşağıdaki temel konseptler göz önünde bulundurulmalıdır.

-İnşaatının kolay oluşu, yolcular için iyi sürüş görüşüne sahip oluşu ve monoray düzeni açısından ayırık platform tipi standart kullanılacak platform tipi olarak benimsenebilir.

-İstasyon tipleri üç tip olarak kategorilenmiştir. Bunlar, ayırık platformlu ana istasyon tipi (iki bilet hollü), ayırık platformlu genel istasyon tipi (tek bilet hollü) ve 2 platformlu ve 3 ayırık platform tipine sahip istasyonlar.

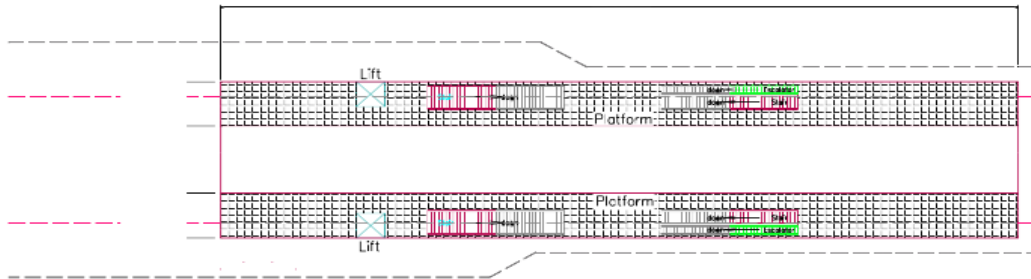
-Her istasyon için en verimli olacak platform uzunluğu talebe göre belirlenmelidir. 40-130 metre olarak monoray uzunluğuna ve dolayısıyla saatlik taşıma kapasitesine göre belirlenebilir. 15.0 m (bir vagon uzunluğu) x 4 vagon sayısı (tren başına vagon sayısı) +10.0 metre (her platform ucundaki boşluk) formülüne göre hesaplanmıştır. Bunların yanısıra, tüm istasyonlara açık alanlar inşaa edilecektir.

-Tüm istasyonlara giriş/çıkış birimleri, acil çıkışlar, görevli odası ve elektrik/mekanik odalar inşaa edilecektir.

-Engelli yolcular için zemin kattan açık alana (ödeme yapılmayan), ve açık alandan ödeme yapılan alana kolayca çıkabilmelerini sağlayacak asansörler tüm istasyonlarda bulundurulacaktır.

-Platform kapıları (yarı-yükseklikte), platformdan düşme riskine karşı tüm istasyonlarda inşaa edilecektir.

Ayrık platforma sahip tipik bir ara istasyona ait plan Şekil 4.9’da tasvir edilmiştir.



Şekil 4.9 : Ayrık platform yapısı (tek bilet geçiş hollü genel istasyon tipi).

4.4.3.3 İstasyon tesisleri

İstasyon binaları ve tesisleri için temel konseptte göre, planlanan tesis türleri Çizelge 4.4'te yer almaktadır.

Çizelge 4.4 : Genel hatlarıyla monoray istasyon tesisleri.

Poz	İçerik
İstasyon Yapısı Çeşidi	a) Yükseltilmiş b) Yol hizası c) Yer altı
Platform Çeşidi	a) Ayrı platformlar b) Birleşik platformlar
Yolcuların Erişimi	a) Merdivenler ve yürüyen merdivenler b) Asansörler c) Acil çıkışlar
İstasyon Tesisleri	a) Aydınlatma ve elektrik b) Su tesisatı c) Drenaj, lavabo ve kanalizasyon d) Yangın koruma sistemi e) Tuvaletler
Bilet Hizmetleri	a) Bilet makineleri b) Ücret toplama sistemi
Yolcu Yönlendirme	a) Platform kapıları b) Tabela ve grafik sistemi (bilgi, yönlendirme ve yasaklama işaretleri)
İstasyon Görevlileri Tesisleri	a) Personel odası / Soyunma odası b) Yönetim ofisi c) Tuvaletler d) Temizlik odası
Mekanik Oda	a) Sinyal ve iletişim odası b) Güç odası c) Asansör makine odası
Diğer Tesisler	a) Ticari amaçlı büfeler b) Reklam panoları

4.5 İnşaa Metodları

4.5.1 Genel

Monoray projelerinde de diğler inşaat projelerinde olduğu gibi projenin mümkün olduğunca hızlı tamamlanması oldukça önemli olup, şehrin işlek noktalarında inşaat yapılacak olmasından ötürü şantiye alanının kısıtlılığı ve inşaatın büyüklüğünün genel olarak milyar dolarlar ile ifade edilmesinden dolayı dikkatli planlama ve organizasyon yapılmalıdır.

İnşaat sırasında karşılaşılabilecek zorluklar:

- Kaliteden ödün vermeksizin daha hızlı inşaa teknikleri kullanmak,
- Sorunsuz ve kesintisiz inşaa süreci ve kritik noktalardaki sürecin aksamasının önlenmesi için planlama ve organizasyona bağlı kalınması,
- Gerekli işçi ve inşaa malzemelerinin organizasyonu ve yönetimi, gerekirse diğler inşaat birimlerinin koordinasyonu,
- İnşaat alanına yakın ve uygun geçici kalıplama alanının inşaa ve organizasyonu,
- Trafik üzerinde minimum etki yaratmak amacıyla trafik düzenleme planları ve gerekirse yeni geçici güzergâh planlanması,
- İnşaat planına hizmet lokasyonlarının eklenmesi veya tasarımda hizmet lokasyonlarının gerekliliği doğrultusunda değişiklik yapılması,
- Proje boyunca inşaa alanlarında gerekli güvenlik tedbirlerinin alınması.

4.5.2 Viyadük

Monoray yani diğler adıyla havaray hat yolları karayolu ile aynı hizada yapılabileceği gibi tüneller aracılığıyla yer altına da yapılabilir ancak monoray hatları genel olarak yer üstünde ve yer hizasından daha yüksekte gidecek şekilde tasarlanır. Hattı yer seviyesinden yükseğe taşımak için taşıyıcı eleman olan kolonlara ihtiyaç vardır. Monoray taşıtı üreten çeşitli firmalar farklı boyutlarda kiriş ve kolonlar tasarlamışlardır. Kare, dikdörtgen ve daire kesitli kolonlar tipik olarak 5 - 9 m arasında değişirken, yükseklik 18 metreye kadar çıkabilmektedir.

4.5.2.1 Temel

Viyadük temelleri geleneksel fore kazık ve kazık başlarından oluşmaktadır. Fore kazıklar, paletli vinçe bağlı yüksek dönme momenti gücüne sahip sondaj aleti ve çeşitli kepçe, toprak burgusu ve keski kullanılarak yapılmaktadır. Harfiyat genelde geçici koruyucu kaplamaya gerek olmadan bentonit altında gerçekleştirilecektir. Sondaj ve çelik betonarme demiri kazık çukuruna yerleştirildikten sonra, bentonit dışarı pompalanırken, beton tremi borusu kullanılarak yerleştirilmektedir. İnşaa sırasında kritik olabilecek durumlar:

- Kazılmış bölgenin yüzeyinde su geçirmez yüzey (“kabuklaşma”) oluşması ve betonun düzgün yerleşmesi amacıyla çimentonun iyi karışması ve devir daim yapması gerekmektedir
- Tremi borusunun fore kazık oluşturulurken tüm süreç boyunca ıslak çimentonun içinde durduğundan emin olunmalıdır
- Beton dökülürken soğuk derz olarak çatlak oluşmamasına dikakt edilmeli
- Kazık başında kaliteli beton elde etmek amacıyla, kazığın dikkatli kalıplanması ve yontulması, beton hala ıslakken kirletici maddelerin uzaklaştırılması gerekmektedir.

Köprü ayağı kazık başlarının inşaa ve inşaa malzemelerinin saklandığı, inşaat etkilenen yolların orta refüjlerinde minimum 8 metre genişliğinde bir çalışma alanına ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 4.10'da tipik bir inşaat çalışma alanının örneği gösterilmektedir.



Şekil 4.10 : Monoray inşaat çalışma alanı.

4.5.2.2 Alt-yapı

Monoray yapısının viyadük alt yapısında geleneksel sağlamlaştırılmış beton köprü ayağı sütunları kullanılabilir. İyi kaliteli yapı elde etmek ve inşaa süresinin kısılması açısından sütunların standart çelik formlarından oluşması tavsiye edilmektedir. Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’te betonarme viyadük inşasından örnekler verilmiştir.



Şekil 4.11 : Betonarme viyadük inşası-1



Şekil 4.12 : Beton viyadük inşaaı-2.

4.5.2.3 Üst-yapı

Öngerilmeli ray kirişı

Öngerilmeli beton ray kirişinin yapılışında hazır kalıplanmış beton metodu kullanılır. Kompleks yüzey yapısı ve şekli sebebiyle monoray öngerilmeli beton ray kirişinin yapılışı oldukça zordur ve yüksek kalite kontrolü gerektirmektedir. Kontrollü bir ortamda hazır kalıplanmış beton kullanılarak bu zorluklar aşılabilmektedir. Hazır kalıplanmış beton düzgün, kontrollü kurlenme ve işçiler tarafından kontrol edilmesinden ötürü de avantajlıdır.

Öngerilmeli ray kirişinin taşınması ve yerleştirilmesi

Öngerilmeli ray kirişinin ağırlığı yaklaşık 50-55 tondur, dolayısıyla taşınması için bu yüke uygun bir araç ile taşınmalıdır. Buna ek olarak, öngerilmeli ray kirişinin ağır ve uzun olması sebebiyle, depo alanından inşaa alanına kadar geçen sürede, kiriş taşınırken ve yerleştirilirken trafiğin akışı dikkatlice planlanmalıdır. Bazı yollarda ve köprülerde ağırlık ve boyut sınırlandırması olduğu unutulmamalıdır. Dolayısıyla inşaa süresince, inşaatı yapan firma, belediye ve polis arasında etkili bir iletişim kurularak

inşaat sırasında koordinasyon sağlanmalı ve trafik düzenlenerek halkın mağduriyeti minimize edilmelidir.

Kirişin yerleştirilmesinde inşaa maliyetinin ve süresinin düşük olması için, korunaklı inşaat alanlarında kiriş tek seferde Şekil 4.13'te gösterildiği gibi vinç yardımı ile yerleştirme işlemi uygulanır. Buna karşın, şehir içindeki bölgelerde inşaat alanının korunaklı olmasının mümkün olmadığı yerlerde montaj kirişi kullanılmaktadır.



Şekil 4.13 : Öngerilmeli ray kirişinin yerleştirilmesi.

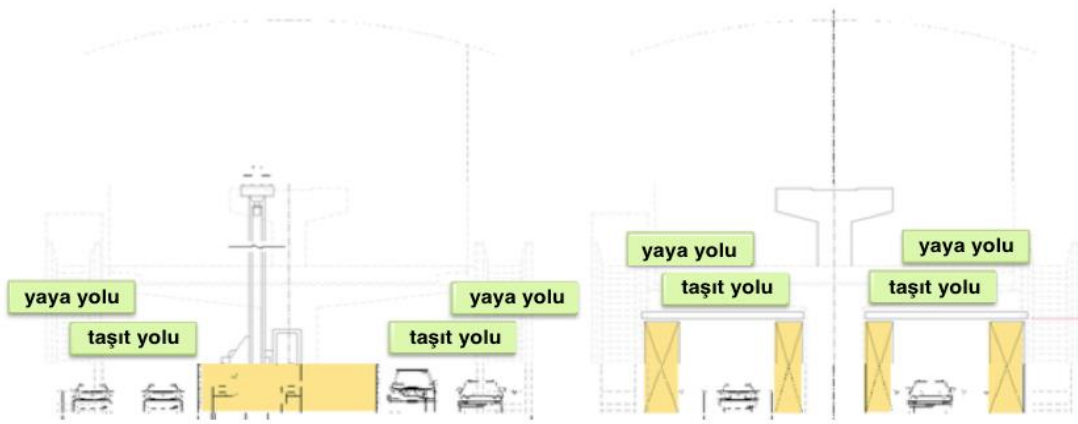
4.5.3 Yükseltilmiş istasyonlar

Monoray hatlarının çoğu mevcut yolların üzerinde inşaa edildiğinden, istasyonları da Şekil 4.15, Şekil 4.16'de görüldüğü gibi mevcut yolların üzerine hat boyunca inşaa edilir. Varolan yollardan bazıları yeni istasyonların inşaa ve aynı zamanda trafiğin akışını sağlayacak derecede geniş olamayabilmektedir. Bu gibi durumlarda istasyon inşaa için, inşaa süresince geçici veya kalıcı yol kapatmaya ve rota değiştirmeye ihtiyaç durulabilmektedir.

Bu çalışma için uyarlanan yükseltilmiş dizayn konsepti, istasyon yapısı konsol sütun başları ile merkeze yerleştirilmiş sütunlardan oluşmaktadır. Trafik üzerinde etkili olacak kritik süreç, konsol köprü ayağı başlarının inşaaıdır. Bu aşamada merkezi

inşaa alanı köprü ayağı başlarının yanlış yerleştirilmesini engellemek amacıyla yol boyunca yaklaşık 18 metre genişlikte bir alanı kaplamaktadır. Yüklenici firma konsol köprü ayaklarının inşaa sırasında her iki yönde de iki şeridi kapatmak durumunda kalacaktır. Fakat köprü ayağı başları ve açık alanı destekleyecek kirişler ve zemin bittikten sonra şeritler tekrar açılabilir ve en azından gün içerisinde trafik mümkün olduğunca az etkilenmiş olur. Her istasyonda kapatılacak şeritler proje başlamadan en az 6 ay önce trafiği aksatmamak için planlanmalıdır.

İstasyon inşaa esnasında inşaa alanının olduğu yol boyunca trafiğin etkilenmemesi için yüklenici uygun inşaa tekniklerini ve prosedürlerini göz önünde bulundurarak bu prosedürleri uygulamalıdır. Şekil 4.17’de görüldüğü gibi istasyon inşaa viyadükler üzerinde yolu aksatmadan devam etmektedir. Örneğin, inşaa alanında kalıplama yapmak ve beton dökmek yerine; köprü ayağı başları, döşeme plakları vb. için hazır beton kullanmak inşaa süresinin kısılmasını sağlar, böylelikle trafik akışını minimum düzeyde etkilenmesine katkı sağlanmış olur. Ayrıca istasyon inşaa edilirken yollar üzerinde geçici koruyucu yapılar oluşturmak da mümkündür. Bu yöntemle oluşturulan yapı, trafik için yüksekliği biraz kısıtlaya da (normalde gerekli olandan biraz daha alçak), en azından bir şeridin açık olmasını sağlar ve rota değişikliğine duyulan ihtiyacı ortadan kaldırabilir. Bazı istasyonların inşaa için ise mevcut yollar boyunca daha geniş alanlara ihtiyaç duyulabilmektedir. Şekil 4.14’de tipik bir istasyon planı şematize edilmiştir.



Şekil 4.14 : Mevcut yollar ve istasyon inşaa şeması.



Şekil 4.15 : İstasyon inşaatını gösteren çalışma-1.



Şekil 4.16 : İstasyon inşaatını gösteren çalışma-2.



Şekil 4.17 : İstasyon inşaatını gösteren çalışma-3.

4.6 Sinyalizasyon Sistemi ve Tren İşletim Yönetimi Sistemi

Sinyalizasyon sistemi ve tren işletim yönetimi sistemi güvenilir, verimli tren operasyon kontrolü ve yönetimini sağlar. Sistemin getirdikleri:

- Trenler arasında güvenilir uzaklık korunurken, minimuma indirilmiş operasyon süresi ile işletme sağlar.
- Sürekli olarak hızın kontrol edilmesi. Sürücü bir sinyali veya verilen uyarıyı dikkate almadığında, sürücünün dikkatsizliği sonucu oluşabilecek kazaların otomatik fren sistemi ile engellenmesi.
- Hız limiti olan bölgelerde hızın sınırlandırılması ile güvenliğin sağlanması.
- Esnek ve hatasız tren kontrolünün sağlanması (özellikle kaza/gecikme durumlarında).
- Trenlerin kullanım verimini artırmak ve operasyonun verimli şekilde gerçekleştirilmesini sağlamak.
- Sistem gözetleme fonksiyonu ile sinyalizasyon ve telekomünikasyon ekipmanının sürdürülebilirliğinin sağlanması.

Güzergâh düzenleme (makas kontrolü) ve sinyaller için görüntüleme ayarları hem istasyonda hem de ana hatta bulunan merkezi kontrol sistemi tarafından otomatik olarak yapılmaktadır.

Sistem hatası veya kaza gibi anormal durumlarda bile, hem operasyon kontrol merkezinde hem de istasyonda kontrol birimi tarafından sağlanmış, her bir makasın değiştirilmesini sağlayabilen sistemin manuel fonksiyon özelliği bulunmaktadır. Bu sayede harekette olan trenlerin güzergâhlarına devam ettiklerinden emin olunmaktadır.

Yukarıda bahsedilenlerin gerçekleştirilebilmesi için bu sistem, bazı alt sistemlerden oluşmaktadır:

4.6.1 Anlaşman sistemi (Interlocking equipment)

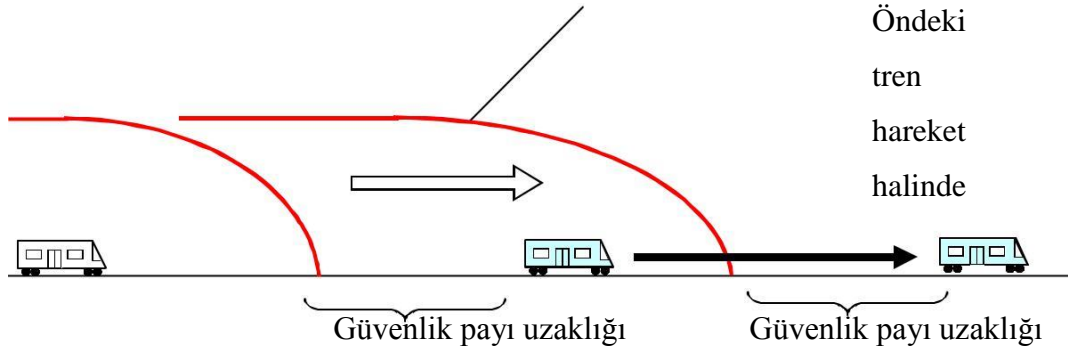
Demiryolu anlaşman sistemi (Railway interlocking system) bir istasyon içerisindeki ve komşu istasyonlar arasındaki trafiği kontrol eden sistemdir. Bu ekipman, ray makaslarının bulunduğu istasyonda bulunmaktadır. Rota, güzergâh düzenleme sistemi tarafından gelen emir ile bir kaç makasın birbirine bağlanması (interlocked) sonucu "Interlocking Logic" üzerinden sağlanmaktadır. Bağlama cihazı, yanlış ray güzergâhların bağlanmasını veya kontrol hatalarını engellemek amacıyla, kontrol tabanlı bir mantık kullanmaktadır. Bu ekipman güvenlik için vazgeçilmez bir unsurdur ve en yüksek doğrulukla çalışır.

4.6.2 Otomatik tren koruması (Automatic train protection)

Otomatik tren koruması kontrolü, tüm trenlerin anlık konum ve hızlarının hesaplanması ile güvenli uzaklıklarda kalarak seferlerin sürmesini sağlamaktadır. Bu sistem sayesinde, sürücü durmakta hata etse bile sistem tarafından bir çarpışma veya kaza olmadan tren durdurulabilmektedir. Sistem, trenin anlık hızı ve pozisyonunu algılayan dedektör, radyo iletişim ekipmanı, hareket halindeki trenden gönderilen bilgiyi işleyen/yöneten yol boyu sinyalizasyon ekipmanı ve yol boyunca gönderilen bilgiye bağlı olarak oluşturulan durma modelini hesaplayan/oluşturan tren kontrol biriminden oluşmaktadır. Böylece Şekil 4.18'de görüldüğü gibi sürekli olarak güvenlik payı mesafesi korunabilmektedir.

Ekipman, fazladan bazı özellikler ile güvenliği sağlamaktadır. Sistem arızalı olsa bile tren otomatik olarak ve güvenle durdurulabilmektedir.

Hareket halindeki tren yoluna devam ettiği sürece durma noktası sürekli yenilenmektedir. Durma noktası, takip eden trenin ön camından itibaren güvenlik payı uzaklığı kadar hesaplanmaktadır.



Şekil 4.18 : Otomatik tren koruma sistemi.

4.6.3 Otomatik tren operasyonu (Automatic train operation)

Otomatik tren operasyon sistemi hareket halindeki trenin modellerini kullanarak, hızlanma, yavaşlama ve istasyonlar gibi önceden belirlenmiş durma noktalarında durmayı kontrol etmektedir. Transponder aracılığı ile yol kenarıyla haberleşir, bulunulan nokta, istasyon adı, varış noktası ve trenin kimliği gibi bilgileri paylaşır. Eğer istasyonda güvenlik kapısı varsa otomatik tren operasyon sistemi bu kapıları trenin kapıları ile aynı anda kapatıp açar.

4.6.4 Operasyon kontrol merkezi (Operation control centre)

Tren operasyonunu kontrol etmek ve yönetmek için gerekli ekipman operasyon kontrol merkezinde bulunmaktadır. Operasyon kontrol merkezi, tren operasyonuna dair her şeyi gözlemleyebilmektedir. Operasyon kontrol merkezi anormallikler gözlemlendiğinde uyarı verir ve kontrol amirine uyarı gönderir.

4.6.5 Acil durum butonu (Emergency stop button)

Rayların üzerine yolcu veya şüpheli bir obje düşmesi durumunda, kazayı veya tahribatı önlemek amacıyla istasyonun her platformuna acil durum (STOP) butonu yerleştirilmiştir.

4.7 Otomatik Tren Kontrolü

Otomatik tren kontrol sistemini ele alırken Las Vegas Monoray'ı sistemi örnek gösterilebilir. Las Vegas Monoray'ı otomatik tren kontrol sistemi Alcatel tarafından sanal bir blok üzerinde hareket eden otomatik trenlerin kontrolü ve denetlenmesi için tasarlanmıştır. Sanal blok, sınırları fiziksel olarak belirlenmemiş fakat sistem veri tabanında yaklaşık olarak tanımlanmış olan, yol gösterici şeritin bir kısmıdır. Sanal blokların kullanım durumu trenler tarafından algılanıp, pozisyonları hatboyu Yol kenarı kontrol ünitesine rapor edilmektedir. Hatboyu Yol kenarı kontrol ünitesi, sanal bloklar üzerinden yol göstericinin üzerinde tıkalı olan bölgeleri belirler. Yol kenarı kontrol ünitesi sistemi, sanal bloktaki doluluğun durumuna göre her tren için hareket edilebilirlik sınırı belirler. Bu bilgi hareket halindeki araç bilgisayarına iletilir ve her tren için yolculuk hızı belirlenmektedir. Denetlenen durma noktasında ve sıkışan nokta arasında en az bir sanal blok boş olmalıdır.

Otomatik tren kontrol sistemi üç temel donanım grubundan oluşur: merkezi (central), yol kenarı (wayside) ve hareket hali (on-board). Otomatik tren kontrol sistemi ve alt sistemleri arasındaki bağlantı veri iletişim sistemi tarafından sağlanmaktadır. Merkezi donanım, merkezi kontrol operatörüne trenlerin hayati olmayan denetleme bilgilerini ve sistem performansının genel bir değerlendirmesini iletmektedir. Buna ek olarak, merkezi kontrol donanımı yolcu sesli bildirimlerinin kontrol edildiği bir arayüz sağlamaktadır.

Yol kenarı kontrol sistemi donanımı hayati olan tren kontrol hareketlerini, güvenli tren ayırımını, hayati olan/olmayan platform kapı kontrolünü ve makasların kontrolünü ve görüntülenmesini sağlamaktadır. Hareket hali (On-board) donanımı, tren hareketlerinin hayati kontrollerinden, trenin sıhhat durumundan ve tren operasyonunun hayati olmayan kontrollerinden sorumludur. Araç ve yol kenarı

kontrol donanımı arasındaki bağlantı, IEEE standart radyo kablosuz Local Area Network (LAN) bağlantısı ile tamamlanmaktadır.

Radyo iletişim sistemi, wayside radyo hücreleri çakışacak şekilde hücrelerden birinde hata olması durumunda operasyonun devam etmesine olanak verebilecek dizayn ile tasarlanmıştır. Wayside radyo üniteleri, trenin en az iki wayside radyosu ile iletişim kurabileceği şekilde stratejik olarak yerleştirilmiştir. Toplamda 58 wayside ulaşım noktası antenleri, çakışacak ve tamamen alanı kaplayacak şekilde düzenlenmiştir.

IEEE 802.11 frekans zıplama yayılma spektrumu (Frequency Hopping Spread Spectrum) radyo elemanları 2.4 GHz'de kullanılarak, zorlu Las Vegas çevre şartlarında dirençli bir kablosuz ağ sistemi oluşturulmuştur. Zıplama dizilimi, önceden tanımlı, dizilimde tanımlandığı gibi spesifik ve rastgele sıralı kanallardır. Seçilen dizilime göre birim frekanstan frekansa zıplar. Zıplama dizilimleri üç zıplama takımında gruplanmışlardır. Her takım, frekans dizilimlerine ait özgün bir numaraya veya modele sahiptir. Federal İletişim Komisyonu, standart olarak toplamda 78 dizilim olacak şekilde zıplama başına 26 dizilime izin vermektedir.

Eğer bir veri paketi hatası saptanırsa, etkilenen radyolar rastgele bir gecikme ile paketlerini tekrar aktarmaktadırlar. Aktarım aynı frekansta da olabilir veya tekrar bir hatayı önlemek amacıyla yeni bir zıplama frekansında da olabilir.

Radyo elemanları, trenin saate en fazla yaklaşık 96 km (60mil) hız ile gidebilmesini de kontrol eden, hücreler arası iletişim için optimize edilmişlerdir. 2.4 GHz bandı, yağmur kaynaklı hafif bir zayıflatmaya rağmen, Las Vegas Monoray'ı radyo ağı için uygun bulunmuştur. Frekans zıplama yayılma spektrumu (Frequency Hopping Spread Spectrum) teknolojisi, diğer radyo teknolojilerine göre iç mekânda ve dış mekânda yüksek oranda bozulmama yetisine sahiptir.

IEEE 802.11 WEP (Wireless Equivalent Privacy) şifreleme, kimlik doğrulama sistemini korumaktadır. Daha önemlisi, uçtan uca bağlantının doğruluğu için internet protokol güvenliğinin kullanılmasıdır. Bu sistem emülasyon saldırılarına karşı, kablosuz arayüzünden veya ağda başka bir yerden kaynaklı da olsa, koruma sağlamaktadır. Bu teknikler ile radyo ağının parçası olmayan radyoların sisteme yanlışlıkla dâhil olmaları engellenmektedir [72].

5. GÜNEŞ ENERJİSİ VE MONORAY

Yer üstünde yükseltilmiş kılavuz yollarına sahip monoray hatları ve araçları güneş enerjisinden istifade edebilecek potansiyele sahiptir. Bu bölümde yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisinin monoray sisteminde efektif kullanımı incelenmiştir.

5.1 Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi birçok ülkede sürdürülebilir enerji gündeminin başını öekmektedir çünkü güneş ışınımı dünyanın her yerinde bulunmaktadır. Özellikle güneş enerjisinden elektrik elde edilmesi çalışmaları 1950'den beri yoğun bir şekilde sürmektedir. İlk güneş pilleri 1950 yılında yapılmış ve bunlar vasıtası ile doğrudan güneş ışınımının elektrik enerjisine dönüştürülmesi mümkün olmuştur.

Güneş enerjisi çevre açısından temiz bir kaynak özelliği taşıdığından da fosil yakıtlara alternatif olmaktadır. Yeryüzüne her sene düşen güneş ışınım enerjisi, yeryüzünde şimdiye kadar belirlenmiş olan fosil yakıt haznelerinin yaklaşık 160 katı kadardır. Ayrıca yeryüzünde fosil, nükleer ve hidroelektrik tesislerinin bir yılda üreteceğinden 15.000 kat kadar daha fazladır. Bu bakımdan güneş enerjisinin bulunması sorun değildir. Asıl sorun bunun insan faaliyetlerine uygun kullanılabilir bir enerji türüne dönüştürülebilmesindedir [73].

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nde mevcut bulunan güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak Elektrik İşleri Etüd İdaresi tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat, günlük toplam 7,2 saat, ortalama toplam ışınım şiddeti 1.311 kWh/m²-yıl, günlük toplam 3,6 kWh/m² olduğu tespit edilmiştir. Türkiye, 110 gün gibi yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir ve gerekli yatırımların yapılması halinde yılda birim

metre karesinden ortalama olarak 1.100 kWh'lik güneş enerjisi üretebilecek kapasiteye sahiptir [74]. Çizelge 5.1'de aylara göre toplam güneşlenme süreleri ve metrekareye düşen enerjisi potansiyeli verilmiştir. Çizelge 5.2'de de coğrafi bölgeler bazında ülkemizin güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süreleri verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Türkiye’de aylara göre ortalama güneşlenme süreleri.

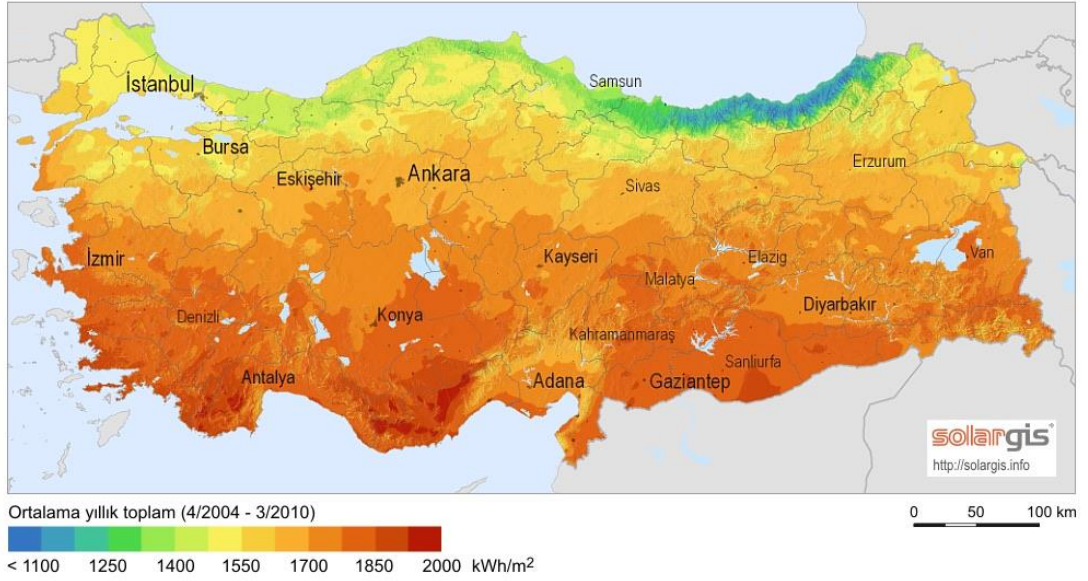
AYLAR	Aylık Toplam Güneş Enerjisi		Güneşlenme Süresi
	(Kcal/cm ² -ay)	(kWh/m ² -ay)	(Saat/ay)
Ocak	4,45	51,75	103
Şubat	5,44	63,27	115
Mart	8,31	96,65	165
Nisan	10,51	122,23	197
Mayıs	13,23	153,86	273
Haziran	14,51	168,75	325
Temmuz	15,08	175,38	365
Ağustos	13,62	158,4	343
Eylül	10,6	123,28	280
Ekim	7,73	89,9	214
Kasım	5,23	60,82	157
Aralık	4,03	46,87	103
TOPLAM	112,74	1311	2640
ORTALAMA	308,0 cal/cm ² -gün	3,6 kWh/m ² -gün	7,2 saat/gün

Çizelge 5.2 : Coğrafi bölgeler bazında güneşlenme süreleri.

BÖLGE	Toplam Güneş Enerjisi	Güneşlenme Süresi
	(kWh/m ² -yıl)	(Saat/yıl)
G.Doğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

Verilen incelendiğinde görülüyor ki ülkemiz coğrafi konum itibariyle etkin güneşlenme potansiyeline sahiptir. Şekil 5.1'de ülkemizin ortalama güneş enerjisi

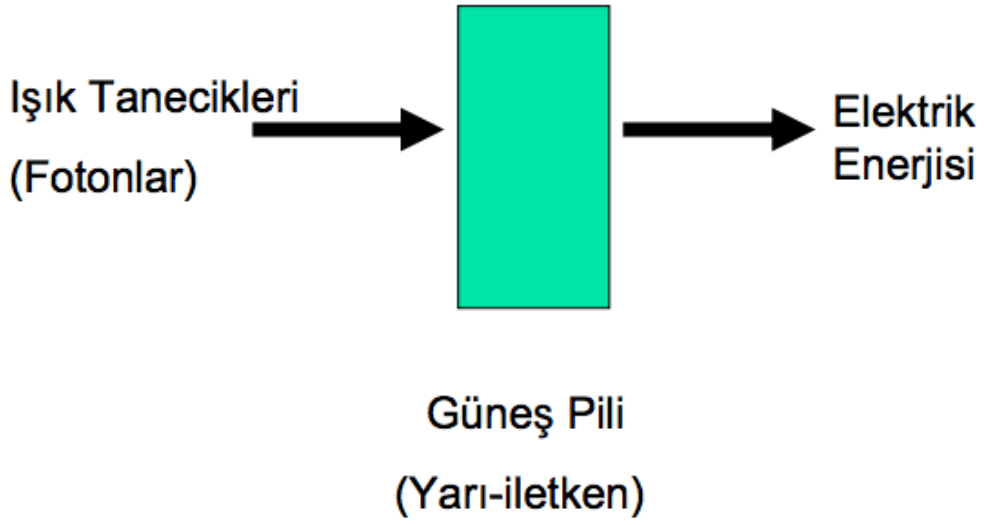
potansiyeli gösterilmiştir. Bu haritadan hareketle ülkemizin özellikle güney kıyılarının güneş enerjisi potansiyeli anlamında oldukça avantajlı olduğu söylenebilir [73].



Şekil 5.1 : Türkiye güneş enerjisi potansiyeli haritası.

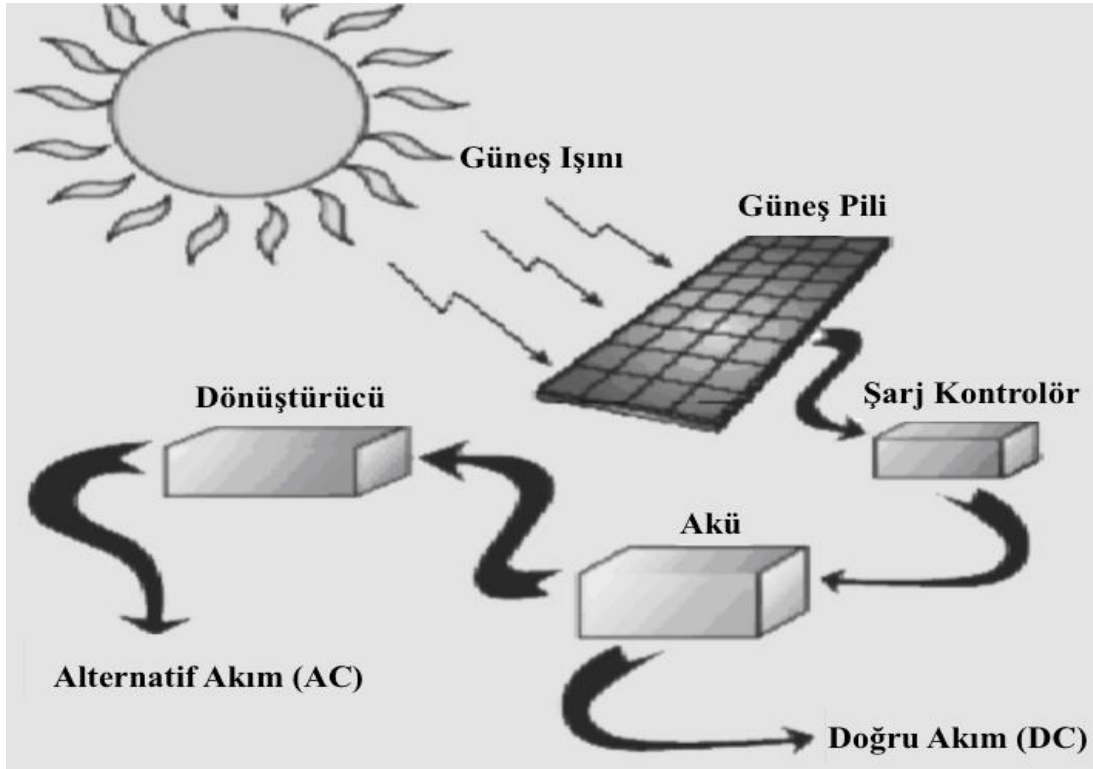
5.2 Güneş Enerji Panelleri

Güneş enerjisini kimyasal elementlerden faydalanarak elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaiik araçlara güneş pilleri denir. Güneş piline gelen ışınların elektrik enerjisine dönüşmesinin tasviri Şekil 5.2'de yapılmıştır. Günümüzde, pek çok güneş pili silisyumdan yapılmaktadır. Güneş pilinin üzerine güneş ışığı düştüğünde, silisyum atomunun son yörüngesindeki valans elektronu negatif yükler. Işık foton denilen enerji partiküllerinden oluşmuştur. Fotonlar bir atoma çarptıklarında tüm atom enerjilenir ve en kolay kopabilecek durumda olan son yörüngedeki valans elektronu kopar. Serbest kalan bu elektronda, voltaj veya elektriksel basınç olarak isimlendirebileceğimiz potansiyel enerji ortaya çıkar [75]. Güneş pilinin çalışma prensibinin mantığı Şekil 5.3'de gösterilmiştir. Güneş pilleri, elektrik enerjisi üretmek amacıyla geniş kullanım yelpazesine sahiptir. Güneş pili modülleri kullanılacak alana bağlı olarak, akümülatörler, invertörler, akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile beraber kullanılarak güneş pili sistemi oluşturularak ihtiyaca cevap verebilecek nitelik kazanır.



Şekil 5.2 : Güneş pili sistemi.

Güneş enerjisinin güneş paneline gelmesinden elektrik enerjisine dönüşmesine kadar olan süreç akışı ise şekil 5.3'te özetlenmiştir.



Şekil 5.3 : Güneş enerjisinden elektrik enerjisi eldesi.

5.3 Monorayda Güneş Enerjisi Kullanımı

Monoray hatlarının planlaması genellikle yer seviyesinden viyadüklerle yükseltilmiş hatlar şeklinde olmaktadır. Monoray araçları üstleri açık ve yükseltilmiş hatlarda ilerlediklerinden ötürü güneş enerjisinden yararlanabilme potansiyeline sahiptir. Güneşe enerjisinden faydalanma potansiyeli yüksek bölgelerimizde yapılabilecek monoray hatlarında Şekil 5.5'te görüldüğü gibi istasyon çatıları ve monoray araçlarının üstleri güneş enerji panelleriyle kaplanarak çevre dostu bir ulaşım sistemi oluşturulabilir. Şekil 5.4'te Hindistan'da trenlere yerleştirilen vagon üstü güneş enerjisi panelleri yer almaktadır. Bu panellerin test denemelerinde 8 vagonlu trenler kullanılmış ve her bir vagona 12 güneş enerji paneli yerleştirilmiştir. Her bir güneş enerji paneli de 300 watt elektrik üretebilecek güce sahiptir. Bu da vagon başına 3.6 KW enerji üretim kapasitesi anlamına gelmektedir. Bu miktar trenlerin aydınlatma ve havalandırma sistemini rahatlıkla karşılayabilecek miktara tekabül etmektedir. Benzer şekilde ülkemizde planlanan yükseltilmiş yollara sahip monoray hatlarındaki araçlarda da güneş enerji panelleri kullanılabilir.

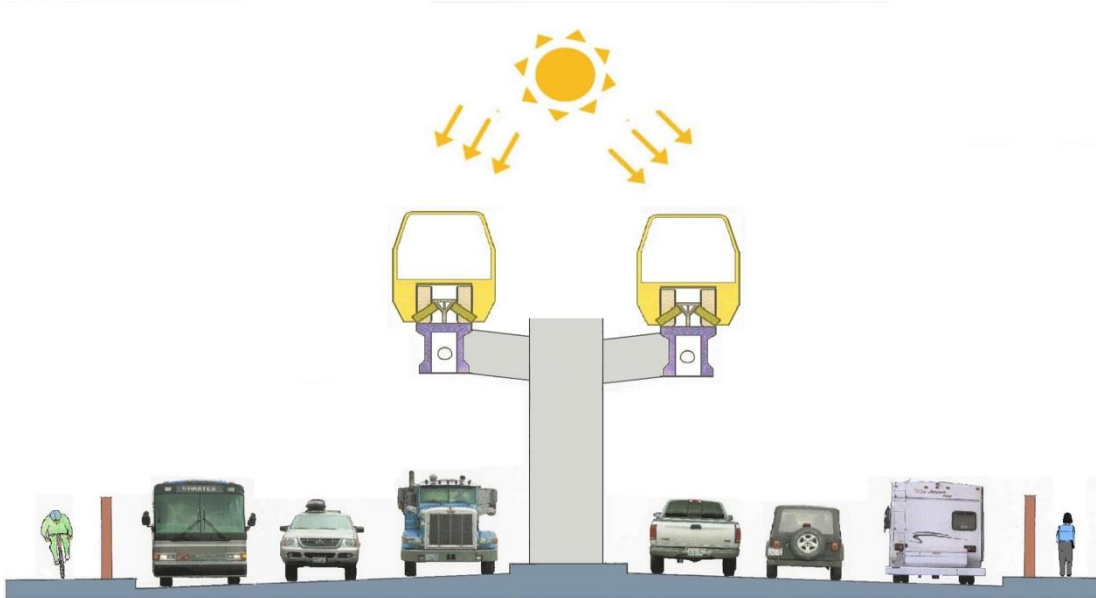


Şekil 5.4 : Güneş enerji paneli yerleştirilmiş demiryolu aracı.



Şekil 5.5 : İstasyon üstü güneş enerji paneli yerleşim örneği.

Şekil 5.6'da örnek monoray olarak hem monorayın yalnızca viyadük ile kılavuz yola sahip olarak karayolu trafiğini işgal etmesinin minimize edilmesi hem de güneş enerjisinden faydalanabilirliğinin şematik gösterimi yapılmıştır.



Şekil 5.6 : Güneş enerjisinden faydalanan monoray şeması.

6. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Şehirlerin büyümesi, artan nüfus ile birlikte insanların kitleler halinde geniş alanlara yayılarak yaşamaya başlaması ulaşım ihtiyaçlarını oldukça arttırmıştır. Gelişen ekonomi ve artan refah düzeyi ile birlikte ülkemiz genelinde olmakla birlikte özellikle de İstanbul megapolündeki yıllara bağlı taşıt sayısındaki artış nüfus artış hızından kat ve kat fazla olmuştur. Gelişmenin hız kesmeden devam ettiği ülkemizde kurslar, spor tesisleri, üniversiteler, eğlence mekânları gibi tesislere olan talepleri de geniş bir yaş aralığına dağılarak oldukça artmıştır.

6.1 Çalışmanın Uygulama Alanı

Ülkemizin nüfus artış hızı, gelişme ve ekonomik büyüme miktarları göz önüne alındığından ulaşım talebinin gün ve gün artacağı gayet açıktır. Bu nedenle çevreci ve halkın taleplerini karşılayabilecek özelliklere sahip monoray hattı planlamaları mevcut büyükşehir statüsündeki illerimiz ve nüfusu 1 milyonun üzerindeki yeni büyükşehirler için planlanırsa trafik sıkışıklığı, hava kirliliği, gürültü kirliliği gibi sorunlar baş göstermeden kalıcı çözümlerle daha yaşanabilir şehirler oluşturulabilir.

6.2 Halkın Talepleri

Artan refah düzeyiyle birlikte konfor arayışının daha da artması insanları özel ulaşım araçlarına yöneltmektedir. Bu bağlamda ele aldığımızda özel araçlar ve taksiler konfor sağlarken esasında aracı kullanan birey için hem trafikte geçen süre açısından hem de sürekli dikkati trafiğe verme açısından yorucu olmakla birlikte taşıtı kullanan tüm bireyler için ciddi bir vakit kaybına neden olmaktadır. Zamanın önemini kavrayan nesiller ulaşım için fazladan vakit kaybetmek istemezken bir yandan da sağlığı son derece olumsuz etkileyen hava ve gürültü kirliliğinden muzdariptir. Tez kapsamında

ulaşımın zaman maliyeti açısından incelemesi de yapılmıştır ve trafikte harcanan srenin meydana getirdiği kayıp ciddi rakamlarla ifade edilir boyutlara ulaşmıştır. Artan refah seviyesi ile birlikte insanlar, konforsuz karayolu toplu ulaşım araalarını tercih etmek istememektedirler. Hele de ulaşım süresi kısalmayacak ise özel araçlarla konforlu ulaşımı tercih etmektedirler. Yapılan anketler ve kamuoyu araştırmaları insanların güvenilir, ferah, konforlu toplu taşıma araçları sağlandığında bu araçları tercih edeceğini göstermektedir.

6.3 Mevcut Sistem İrdelenmesi

Dolmuş ve minibüsler her ne kadar ulaşımda pratik çözüm olarak görülseler de trafiği pek çok yönden olumsuz etkiledikleri su götürmez bir gerektir. Az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde kitlelerin ulaşım ihtiyaçlarına cevap olarak doğmuş olan bu ulaşım araçları, hem trafiği hem de içerisindeki yolcuları tehlikeye atmakla kalmayıp, ciddi bir emisyonu, gürültü kirliliğine neden olmakta ve sözde hızlı gibi görülseler de trafiğin genel akışını aksattıkları için trafiğin genelini olumsuz yönde etkilemektedirler.

Belediyelerin işlettiği veya özel olarak işletilen ancak ortak elektronik ücret toplama sistemine sahip taşıtlarda indirimli biniş hakkına sahip bireyler dahi ödemeleri gereken ücret iki-üç katı kadar bile olsa daha pratik olduğunu düşündüklerinden ötürü dolmuş ve minibüsleri tercih edebilmektedirler. Oysa belli gzerghlarda doğru planlanmış, istasyonlarına ulaşım yer altı sistemlerine göre daha kolay olan monoray hatları olsa insanların kolay ve hızlı ulaşım için bu araçlara ödemeye razı oldukları ücret dolmuşta ödemek zorunda oldukları ücretten daha bile fazla olabilir. Bu da trafikte karmaşıklık ve kuralları ihlalden kaynaklı sıklıkla azaltılmasında çözüm olabilir.

Deprem kuşağında bulunan ülkemizde yer altı sistemlerinin yapılması oldukça maliyetli olmaktadır, bununla birlikte ne yazık ki dünyanın pek çok ülkesinde baş gösteren terör olayları ülkemizde de sıklıkla yaşanabilmektedir. Yer altı metro sistemleri bu açıdan bakıldığında toplum tarafından ürkütücü olarak görülmektedir.

Pik saatlerde metrolarda meydana gelebilecek bir arıza veya sorunun karmaşanın yönetilemez seviyelere çıkmasına neden olabilmektedir. Tam anlamıyla ikame olmasa

da alternatif B veya A sınıfı yol kullanım hakkına sahip ulaşım sistemlerinin planlanması olması muhtemelen problemlerin üstesinden gelinebilmesi açısından büyük yarar sağlayacaktır.

Ülkemizde nüfusu milyonun üzerinde olan 21 şehir bulunmaktadır. Nüfusun kırsaldan kente kaydığını da göz önünde bulundurursak sadece İstanbul megapolü için değil diğer büyük şehirlerimiz için de çevre dostu güvenilir, konforlu monoray hatları planlaması yapılarak ileride oluşabilecek trafik sıkışıklığının önüne geçilebilir. Çizelge 6.1'de kent içinde kullanılması muhtemel olan ulaşım araçlarının çeşitli özelliklerine göre kıyaslanması yapılmıştır.

6.4 Monorayın Avantajları

Lastik tekerlekli, beton kiriş yolları sararak hem hareket hem destek tekerleklerine sahip monoray araçlarında dizaynlarından ötürü raydan çıkma kazaları yaşanmaz, karayolu trafiği ile kesişmediklerinden de karayolu ike kaza yapma ihtimali bulunmamaktadır. Bu sistemin işletildiği ülkelerde ölümlü bir kaza meydana gelmemiştir. Hat yollarının betonarme ve tekerlerin lastik olmasından ötürü kılavuz yolu fazla bakım gerektirmez. Lastik tekerlek ve beton kiriş dolayısıyla gürültüye ve vibrasyona neden olmazlar. Yükseltilmiş üzeri açık hatlar olarak inşa edildiklerinden ötürü deprem durumunda yolcuların can güvenliği daha kolay sağlanabilir. Açıkta ve yükseltilmiş hatlarda ilerlediklerinden ötürü güneş panelleri vasıtasıyla güneş enerjisinden faydalanabilir ve elektrik enerjisinin bir kısmını üretebilirler.

6.5 Enerji Açısından Değerlendirme

Bilindiği üzere ülkemiz fosil yakıtlar açısından fakir sayılabilecek bir coğrafyada bulunmaktadır. Buna karşın ülkemiz ekonomisinin çevriminde ithal edilen fosil yakıtların payı oldukça yüksektir. 2016 verilerine göre trafiğe kayıtlı araçların %27'si benzin, %33,1'i dizel, %39,5'u LPG yakıt türlerini kullanmaktadır. Görülüyor ki fosil yakıtlar ulaştırmanın temelini oluşturmaktadır. Direk fosil yakıt tüketen ulaşım araçlarından ziyade emisyonun daha minimize edilerek elektrik enerjisine

Çizelge 6.1 : Ulaşım araçlarının karşılaştırılması.

Özellikler/Taşıtlar	Taksi	Minibüs	Otobüs	Metrobüs	Tramvay	Metro	Monoray
Hat Esnekliği	tam	tam	tam	kısmen	yok	yok	yok
İnşa Maliyeti	mevcut yol	mevcut yol	mevcut yol	düşük-orta	orta	yüksek	orta-yüksek
İşletme Maliyeti	çok yüksek	yüksek	yüksek	yüksek	orta	düşük	düşük
Emisyon Değerleri	çok yüksek	çok yüksek	çok yüksek	çok yüksek	düşük	düşük	çok düşük
Gürültü Etkileri	çok yüksek	çok yüksek	yüksek	kısmen	kısmen	az	çok az
Konfor	yüksek	çok düşük	düşük	orta	orta	yüksek	yüksek
Güvenilirlik	orta	düşük	düşük	orta	orta	yüksek	yüksek

dönüştürölüp kullanılması veya yenilenebilir enerji kaynakları ile üretilmiş elektrik enerjisi ile ulaşımın sağlanması son derece önemlidir.

Ülkemizin güneş enerjisinden faydalanma haritalarına bakıldığında, güneş enerjisinden yararlanmanın yüksek olduğu bölgelerde yükseltilmiş yollarda giden monorayların güneş enerji panelleriyle kaplanarak ihtiyaç duyulan enerjinin büyük bir kısmı üzerine yerleştirilen güneş enerji panelleriyle elde edilebilir. Kendi enerjisini üretebilen bir sisteme dönüşen monorayın dışarıdan temin ettiği enerji azaltılarak işletme maliyetleri düşürölübilir ve daha yaşanabilir şehirler için temiz bir toplu ulaşım aracı olarak örnek gösterilebilir.

Toplu taşıma araçlarının elektrik enerjisiyle çalışanlarının tercih edilmesi günümüzde ve gelecekte gerek ülke ekonomisine gerek insan sağlığına büyük katkılar sağlayacaktır.

6.6 Dünya Çapında Monoray

Dünyadaki monoray hatlarını incelediğimizde; eğlence parklarında, havalimanı şehir bağlantılarında konsept proje olarak yapılmış hatları görürken ulaşımı ciddi anlamda rahatlatmak amacıyla yapılmış hatları da görmekteyiz. Çin'deki Chongqing Monoray'ı 80 kilometrelik uzunluğu ile dünyanın en uzun monoray hattıdır. Bununla birlikte Japonya ve Brezilya'da da uzun monoray hatları bulunmaktadır. Avrupa genelindeki monoray hatları ise genellikle kısa mesafelidir. Pek çok monoray hattı mevcut ulaşım sistemleri ile entegre biçimde işletilerek şehir içi trafiğini rahatlatacak şekilde tasarlanmıştır.

7. SONUÇLAR

Çalışmada monoray sistemi birçok açıdan ele alınarak irdelenmiş ve diğer sistemlerle de karşılaştırılmıştır. Bu irdeleme ve karşılaştırmalar sonucunda belirlenen önemli bazı hususlar şunlardır;

Ulaşım araçlarının çevresel etkilerinin kıyaslanmasından görüldüğü üzere raylı ulaşım sistemleri elektrik enerjisi ile çalıştıklarından ötürü, petrol ve türevleri ile çalışan karayolu ve demiryolu araçlarına göre çok daha doğa dostudur. Elektrik enerjisinin üretilmesine bağlı olarak emisyonlar oluşsa da yenilenebilir enerji kaynakları ile üretilen elektrik enerjisi veya insanların yoğun olarak yaşadığı bölgeler dışında fosil kaynaklı elektrik enerjisi üretimi daha temiz bir çözümdür. Lastik tekerlekli kılavuz yollu monoray araçları teknolojilerinde metrolara göre yolcu-km başına daha düşük enerji tüketim değerleri elde edilebilmekte ve genellikle yer üstünde işletildikleri için güneş enerji panel sistemleriyle kendi enerjilerinin bir kısmını karşılaması mümkün olmaktadır.

Monoray araçları lastik tekerleklere sahip olduklarından ve betonarme kılavuz yollarında ilerlediklerinden ötürü metro ve tramvaylarla kıyaslandıklarında çok daha az vibrasyona ve gürültüye neden oldukları görülmüştür.

Türkiye’de ve dünyada yapılmış ve yapılmakta olan metro ve monoray hatları incelendiğinde monoray sistemlerinin imalat maliyetlerinin metrolara kıyasla %30-40 arasında daha düşük olduğu görülmüştür. Fizibilite çalışması tamamlanan Üsküdar-Libadiye monoray hattının kilometre maliyeti yaklaşık 30 milyon dolar olarak öngörülmüştür. Anadolu yakasında inşa edilmiş Kadıköy-Kartal metrosunun kilometre maliyeti ise yaklaşık 80 milyon dolar olmuştur. Arabistan’da Kral Abdullah

finans merkezine yapılan monorayın kilometre maliyeti ise yaklaşık 42 milyon dolardır ki bu rakam monoray imalatı için en üst kilometre maliyeti olarak görülmektedir.

Fizibilite sonuçları ve inşa edilmiş hatlar ele alındığında kilometre maliyetlerinin yaklaşık 13 milyon dolar ile 42 milyon dolar arasında değişiklik gösterdiği saptanmıştır.

Monoray hat yolu imatları yer üstünde olmasına karşın kirişlerin hazır dökme beton şeklinde imal edilip sahada monte edilebilmesi sebebiyle şantiye alanının daha dar tutularak imalat sırasında alan tasarrufu sağlanmaktadır. Monoray hatları genellikle mevcut yolların üstünde viyadüklerle yükseltilerek inşa edildiğinden ötürü kamulaştırma masrafı az olmakla birlikte, mevcut karayolundan şerit işgal etmesinin de önüne geçilmiş olmaktadır. Monoray araçlarının özelliklerinden ötürü yol şartlarına göre esnek olarak tasarlanabilen kılavuz yollar sayesinde dar kurlarla geçilebilecek, yüksek eğimlerle tırmanılabilecek güzergâhlarda uygulanabilmektedirler.

Monoray hatları yerden yükskte inşa edildiğinden ötürü arazi kazanımı sağlaması konusunda büyük avantaja sahiptir. Viyadükler üzerine inşa edilen monoray hatları turistler açısından bir şehir turu niteliği taşımasından ötürü pek çok şehirde turistlerin ilgisini çekmektedir. Ancak karmaşık bir görüntü oluşturduğundan dolayı görüntü kirliliği oluşturduğu söylenebilir.

Monoray işletme maliyetleri genellikle metrolar ile benzer olmakla birlikte güneş enerji panelleri kullanımı ile ihtiyaç duyduğu enerjinin bir kısmını üreterek işletme maliyetleri azaltılabilir.

Bindirme ve konsol tip monoraylarda derayman neredeyse imkânsızdır. Sebebi ise kılavuz yolunda ilerlemeyi sağlayan kauçuk tekerleklerin yanısıra oturduğu kirişi saran kauçuk tekerlekler ile kılavuzlanma sağlanmakta ve maksimum güvenlik sağlanmaktadır.

Monoray araçları yer üstünde işletildiklerinden dolayı olası bir afet durumunda istasyonlardan ve araçlardan tahliye işlemi kolayca yapılabilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] TÜİK (2016). *Motorlu Kara Taşıt Sayısı İstatistikleri*, Erişim: 15.10.2016, <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=21600>.
- [2] *İstanbul'a iyi haber: Nüfus artmayacak. (2004)*. Erişim: 15.10.2016, <http://arsiv.sabah.com.tr/2004/03/26/gun110.html>.
- [3] TÜİK (2016). *Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları*, Erişim: 15.10.2016, <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=21507>.
- [4] TÜİK (2016). *Taşıt Türleri ve Motorlu Kara Taşıtları Sayısı*, Erişim: 15.10.2016, http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab_id=358.
- [5] **İstanbul'da toplu taşıma** (t.y.). *Vikipedi*. Erişim: 15 Ekim 2016, https://tr.wikipedia.org/wiki/%C4%B0stanbul%27da_toplu_ta%C5%9F%C4%B1ma#Kara.2C_demir_ve_deniz_yollar.C4.B1_kullan.C4.B1m_oranlar.C4.B1
- [6] **Öztürk, Z.** (2004). Kentiçi Raylı Sistemlerin Seçimi için Kriterler. In *Sixth International Conference on Advances in Civil Engineering, Oktober* (pp. 6-8).
- [7] **Vuchic, V. R.** (2015). *Kent İçi Toplu Ulaşım ve Yaşanabilir Şehirler* (S. Gürsoy ve Z. Savan, Çev.), İstanbul: İstanbul Ulaşım A.Ş..
- [8] **Shanghi Maglev Train** (t.y.). *Vikipedi*. Erişim : 20.10.2016 https://en.wikipedia.org/wiki/Shanghai_Maglev_Train
- [9] **Zhang, T.** (2016). APM and Monorail for Urban Applications. *Automated People Movers and Automated Transit Systems 2016* (pp. 222-239). American Society of Civil Engineers
- [10] **Strateji Geliştirme Başkanlığı** (2016). *İstatistiklerle Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme (2003-2015)*. Ankara: T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı
- [11] **Japan Monorail Association Guide** (t.y.). Erişim: 01.11.2016, <http://www.nihon-monorail.or.jp/pamphlet/313.pdf>
- [12] **Puchalsky, C.** (2005). Comparison of Emissions from Light Rail Transit and Bus Rapid Transit. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1927(1927)*, 31-37.
- [13] **Pekin, M., A.** (2006). *Ulaştırma sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonları* (Yüksek Lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [14] **Url-7** < http://transportpolicy.net/index.php?title=EU:_Motorcycles:_Emissions> Erişim Tarihi: 20.10.2016

- [15] **Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü** (2011). *Çevresel Gürültü Ölçüm ve Değerlendirme Klavuzu*. Ankara: T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü
- [16] **Öztürk, Z., Arlı, V.** (2009) *Demiryolu Mühendisliği*. İstanbul : İstanbul Ulaşım
- [17] **Url-1** < <http://www.iett.istanbul/tr/main/pages/istanbulda-toplu-ulasim/95> >, Erişim Tarihi: 03.11.2016.
- [18] **Url-2** < <http://www.legco.gov.hk/yr00-01/english/panels/tp/papers/2076e02.pdf> >, Erişim tarihi: 03.11.2016
- [19] **Keller, K.** (2008). Elevated Transit Noise Assessment in an Urban Environment - Case Study Honolulu High Capacity Transit, *TRB ADC 40 Summer Meeting*. Florida : PB Americas.
- [20] **Erdoğan, S., Doğan, M., Yılmaz, İ., Güllü, M., Baybura, T., Ulu M., & Şişe Ö.** (2007). Afyonkarahisar İl Merkezi Karayolu Trafik Gürültü Haritasının Hazırlanması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **7(2)**, 151-164.
- [21] **Evren, G.** (2002). *Demiryolu*. İstanbul : Birsen
- [22] **Url-3** <<http://www.metro.istanbul/hakk%C4%B1m%C4%B1zda/yolcu-istatistikleri.aspx>>, Erişim Tarihi : 05.11.2016
- [23] **Url-4** < <http://www.bombardier.com/en/transportation/products-services/rail-vehicles/automated-monorails.html> >, Erişim Tarihi : 05.11.2016
- [24] **Url-5** <<http://www.urbanaut.com/Vehicle%20Concepts%20and%20Capacities%204.htm>>, Erişim Tarihi : 05.11.2016
- [25] **Url-6** < <http://www.ptua.org.au/myths/energy/>>, Erişim Tarihi : 05.11.2016
- [26] **Elker, C.** (1981). *Kentlerde ulaşım sistemi için bir yöntem* (Doktora tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [27] **Arlı, V.**, (2010). Kent içi raylı sistemler, *EMO Antalya Şubesi Yayını*, **2010(2)**, 15-17.
- [28] **Cirit, F.** (2014). *Sürdürülebilir kent içi ulaşım politikaları ve toplu taşıma sistemlerinin karşılaştırılması* (Uzmanlık tezi), T.C. Kalkınma Bakanlığı, İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [29] **Ishikawa, K., Ohazama, A., Sora, H. & Sekitani T.** (1999). Straddle-type monorail as a leading urban transport system for the 21st century, *Hitachi Review*, **48(3)**, 149-152.
- [30] **Türkiye Petrolleri** (2015). *2014 Yılı Ham Petrol Ve Doğal Gaz Sektör Raporu*, Ankara: Türkiye Petrolleri.
- [31] **Potter, S.** (2003). Transport energy and emissions: urban public transport. *Handbook of Transport and the Environment*, **4**, 247-262.
- [32] **Davis, S. C., & Diegel, S. W.** (2002). *Transportation Energy Data Book. Edition 35*. Diane Publishing.
- [33] **Kalenoja, H.** (1996). Energy consumption and enviromental effects of passenger transport modes-a life cycle study on passenger transport modes. *Trafikdage i Aalborg*, **1**, 255-270.
- [34] **Institute of Urban Transport** (2011). *Issues and Risks for Monorail Projects and Metro Systems*. India : Bangalore Metro Rail Corporation Ltd.

- [35] **Kennedy, R. R.** (2007). Considering monorail rapid transit for north american cities. *The Monorail Society*, **41**.
- [36] **Svensson, E.** (2007). Definition and Description of Monorail. Erişim : 10.10.2016 <http://www.urbanaut.com/Definition%2520and%2520Description%2520of%2520Monorail.pdf>
- [37] **Url-8** <<http://www.monorails.org/tMspages/TPSafege.html>> Erişim Tarihi: 14.10.2016
- [38] **The principle behind the rubber-tired metro** (t.y.) Erişim : 20.10.2016 <http://esteemfoundation.org/emdx/rail/metro/principeE.html>
- [39] **Frey, S.** (2012). *Railway electrification systems & engineering*. White Word Publications.
- [40] **Matsui, N.** (2011). Strategic Urban Public Transport Improvement in Japan. In *Thirteenth International Conference on Automated People Movers and Transit Systems 2011: From People Movers to Fully Automated Urban Mass Transit*.
- [41] **Highlights of the Urbanaut Monorail Technology** (t.y.) Erişim : 22.10.2016 <http://www.urbanaut.com/Highlights.htm>
- [42] **Monorail Vendors around the World** (2016) Erişim : 22.10.2016 <http://faculty.washington.edu/jbs/itrans/monolink.htm>
- [43] **Monorail System** (2013) Erişim : 22.10.2016 http://www.hitachi-rail.com/products/rolling_stock/monorail/
- [44] **Urbanaut Vehicles And Guideway Technical Data For An Intermediate Size System** (t.y.). Erişim : 22.10.2016 <http://www.urbanaut.com/Technical%20Specifications%204.htm>
- [45] **Tekfen Mühendislik.** (2015). *Üsküdar Libadiye Caddesi havaray hattı ulaşım ve fizibilite etüd raporu* (Rapor no: 382-01-GE-REP-0011). İstanbul: Tekfen Mühendislik.
- [46] **Usta, Ö. , Üstündağ, B. , Aydoğan, M.** (2008). Kocaeli havaray ulaşım sistemi ön-fizibilite çalışması. Kocaeli: Kocaeli Büyükşehir Belediyesi.
- [47] **Başkan topbaş metro maliyeti tartışmasına son noktayı koydu** (2012). Erişim: 10.10.2016, <http://www.ibb.gov.tr/tr-TR/Pages/Haber.aspx?NewsID=20589>
- [48] **Metro olimpiyat'a gidiyor** (2010). Erişim: 10.10.2016, http://www.mimdap.org/?page_id=729
- [49] **Başakşehir metrosunun maliyeti.** (2013). Erişim : 10.10.2016, <http://www.haberler.com/basaksehir-metrosunun-maliyeti-2-milyar-865-milyon-4805134-haberi/>
- [50] **Taksim metrosu uzuyor.** (2009). Erişim : 10.10.2016, <http://www.ih.com.tr/haber-taksim-metrosu-uzuyor-82194/>
- [51] **İstanbul metrosu 4. levent yenikapı hattı.** (1999). Erişim : 10.10.2016, <https://www.termodinamik.info/arastirma/istanbul-metrosu-4-levent-yenikapı-hattı>
- [52] **Levent Hisarüstü metro güzergahı.** (2015). Erişim : 10.10.2016, <http://imarpanosu.com/levent-hisarustu-metro-guzergahi/>

- [53] **Metrobüs ile Avcılar-Kadıköy arası 63 dakikaya indi.** (2009). Erişim : 10.10.2016, <http://www.ibb.gov.tr/tr-TR/Pages/Haber.aspx?NewsID=17110>
- [54] **Metrobüs (İstanbul)** (t.y.). *Vikipedi*. Erişim: 15.10.2016, [https://tr.wikipedia.org/wiki/Metrobüs_\(İstanbul\)](https://tr.wikipedia.org/wiki/Metrobüs_(İstanbul))
- [55] **İstanbul Ulaşım A.Ş.** (2016). Kişisel görüşme. 25 Ekim, İstanbul.
- [56] **Bureau, S.** (1998). *Statistical handbook of Japan*. Japan Statistical Association.
- [57] **Monorails, Light Rail, and Automated vs. Non-Automated Transit Operation: Comparative Costs in Japan and USA** (2002). Erişim : 24.10.2016 http://www.lightrailnow.org/facts/fa_monorail003.htm
- [58] **Parsley, L. L., Robinson, R.** (1982). *The TRRL road investment model for developing countries (RTIM2)*. Crowthorne, Berkshire : Transport and Road Research Laboratory
- [59] **TÜİK** (2016). *Gayrisafi Yurtiçi Hasıla (GSYH)*. Erişim: 30.10.2016, http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1105.
- [60] **TÜİK** (2016). *Gelir ve yaşam koşulları araştırması*. Erişim: 30.10.2016, http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1011.
- [61] **Url-9** < <http://www.trafik.gov.tr/Sayfalar/Istatistikler.aspx>> Erişim Tarihi: 24.10.2016
- [62] **TÜİK** (2016). *Karayolu Trafik Kaza İstatistikleri, 2015*. Erişim: 30.10.2016, <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=21611>.
- [63] **Ulaşım daire başkanlığı.** (2015). *Tuzla monoray hattı fizibilite raporu*. İstanbul: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
- [64] **Karayolu İyileştirme ve Trafik Güvenliği** (2001). *Türkiye İçin Ulusal Trafik Güvenliği Programı Ana Raporu*. Ankara : Karayolu İyileştirme ve Trafik Güvenliği(KİTGİ).
- [65] **Mock, P.** (2016). *Türkiye’de karayolu taşımacılığı sektörü kaynaklı emisyonların azaltılmasına yönelik politikalar*. İstanbul: İstanbul Politikalar Merkezi.
- [66] **Vehicle emissions.** (t.y.). Erişim : 29.10.2016, <http://www.greenvehicleguide.gov.au/pages/Information/VehicleEmissions>
- [67] **Taner, A. C.** (t.y.) *Küresel karayolu ulaşım araçları global karbondioksit emisyonları düşürülmesi ve yeni nesil düşük karbon emisyonlu evrimsel otomobiller*. Erişim: 22.10.2016, <http://goo.gl/wiatSV>.
- [68] **Ulaşım daire başkanlığı ulaşım planlama müdürlüğü.** (2011). *İstanbul metropoliten alanı kentsel ulaşım ana planı (iuap)*. İstanbul: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
- [69] **Japan International Cooperation Agency Oriental Consultants Global Co., Ltd.** (2015). *Preparatory Survey for New Integrated Urban Public Transport System Introduction Project*. Tokyo: Ministry of Transport, The Democratic Socialist Republic of Sri Lanka.
- [70] **Technical Regulatory Standarts on Japanese Railways** (2012). Tokyo: Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism
- [71] **Url-10** <<http://www.tokyo-monorail.co.jp/fun/feature.html>>, Erişim tarihi 09.11.2016.

- [72] **Snyder, T. L.** (2005). Las Vegas Monorail Innovations. In *Automated People Movers 2005. Moving to the Mainstream. 10th International Conference on Automated People Movers.*
- [73] **Şen, Z.** (2009). *Temiz enerji kaynakları ve modelleme ilkeleri.* İstanbul: Su Vakfı.
- [74] **Türkiye’de güneş enerjisi.** (t.y.). Erişim: 17.11.2016, <http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/gunes/tgunes.html>
- [75] **Karamanav, M.** (2007). *Güneş enerjisi ve güneş pilleri.* (Yüksek lisans tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

EKLER

EK A: Anket soruları

1. Yaş aralığınız nedir?
2. Gelir seviye aralığınız nedir?
3. Şahsınıza tahsisli ve/veya özel aracınız var mı?
4. Ulaşım araçları tercih ederken standart bilet ücretlerinin %50 fazlasını ödeyerek daha hızlı seyahat etme imkanınız olsa, önceliğiniz daha hızlı seyahat mi olur yoksa daha uygun fiyatlı seyahat mi?
5. Ulaşım tercihiniz günlük rutinde genel olarak özel araç ile mi toplu ulaşım araçları ile mi?
6. Toplu ulaşımı tercih ettiğinizde metronun olduğu güzergahlarda yer altı (metro) mı tercih ediyorsunuz, yer üstü ulaşım araçlarını mı?
7. Metronun olduğu hatlarda yer üstü ulaşım araçlarını tercih etmenizin sebepleri nelerdir?

EK B: Anket formları

Çizelge B.1 : Maslak anket formu

Maslak	1.soru				2.soru				3.soru		4.soru		5.soru		6.soru		7.soru				
	20-25	25-30	30-40	40+	1k-2k	2k-3k	3k-5k	+5k	var	yok	zaman	ücret	özel	toplu	alt	üst	iletişim	korku	manzara	in-çık	diğer
1	x				x					x		x		x	x						
2	x				x					x		x		x		x	x				
3			x				x		x		x			x		x	x				
4		x				x			x		x			x		x	x		x		
5			x				x		x		x		x		x						
6	x					x			x		x			x		x			x	x	
7				x				x	x		x			x		x		x			
8	x				x				x	x	x			x		x				x	
9	x				x				x		x		x			x			x	x	
10		x				x			x		x			x		x	x				
11		x					x		x		x			x	x						
12	x				x				x		x			x		x	x		x		
13			x				x		x		x			x		x	x	x			
14				x			x		x		x			x		x	x				x
15	x					x			x		x			x		x				x	
16	x				x				x		x			x		x			x	x	
17			x				x		x		x			x		x	x			x	
18				x		x			x		x			x	x						
19	x				x				x	x	x			x		x			x		
20			x					x	x		x			x		x	x				

Çizelge B.2 : Mecidiyeköy anket formu

Mecidiyeköy	1.soru				2.soru				3.soru		4.soru		5.soru		6.soru		7.soru					
	20-25	25-30	30-40	40+	1k-2k	2k-3k	3k-5k	+5k	var	yok	zaman	ücret	özel	toplu	alt	üst	iletişim	korku	manzara	in-çık	diğer	
1	x					x				x	x			x		x				x		
2				x			x		x		x		x		x							
3				x		x			x			x	x			x						
4			x			x			x		x			x		x		x				
5	x				x					x		x		x		x	x					
6				x				x	x		x		x		x							
7		x				x				x		x		x		x					x	
8		x																				
9	x				x				x		x		x			x				x	x	
10	x					x				x	x			x		x	x					
11		x				x			x			x		x	x							
12		x				x			x		x			x		x	x				x	
13			x			x			x		x			x		x	x				x	
14		x			x					x		x		x		x				x	x	
15				x			x		x		x			x	x							
16	x					x			x		x		x			x	x					
17				x		x			x			x		x		x						x
18			x		x					x	x			x		x	x					x
19	x					x			x		x			x		x				x	x	
20	x				x					x		x	x			x	x			x	x	

Çizelge B.3 : Levent anket formu

Levent	1.soru				2.soru				3.soru		4.soru		5.soru		6.soru		7.soru				
	20-25	25-30	30-40	40+	1k-2k	2k-3k	3k-5k	+5k	var	yok	zaman	ücret	özel	toplu	alt	üst	iletişim	korku	manzara	in-çık	diğer
1			x					x	x		x			x		x	x		x		x
2	x				x					x		x		x	x						
3	x					x				x	x			x		x	x		x	x	
4		x					x		x		x			x		x	x		x	x	
5				x	x					x		x		x		x					x
6	x							x	x		x		x			x	x				x
7		x				x				x		x		x	x						
8				x				x	x		x		x			x	x				
9			x				x		x			x		x	x						
10			x			x			x			x		x		x					x
11	x				x					x	x			x	x						
12		x					x		x		x		x			x	x	x		x	
13		x						x	x		x		x			x	x			x	x
14			x			x			x			x		x		x					x
15	x				x					x	x			x		x	x			x	x
16		x				x				x		x		x		x					x
17				x				x	x		x		x		x						
18	x					x				x	x			x	x						
19			x				x		x		x			x		x	x			x	
20		x				x			x			x		x		x	x				x

Çizelge B.4 : Beşiktaş anket formu

Beşiktaş	1.soru				2.soru				3.soru		4.soru		5.soru		6.soru		7.soru				
	20-25	25-30	30-40	40+	1k-2k	2k-3k	3k-5k	+5k	var	yok	zaman	ücret	özel	toplu	alt	üst	iletişim	korku	manzara	in-çık	diğer
1	x				x					x		x		x		x	x			x	x
2			x			x			x		x		x			x	x		x		
3	x					x			x		x			x		x			x	x	
4				x			x		x		x			x	x						
5		x			x				x			x		x	x						
6	x				x				x			x		x		x	x		x	x	
7	x						x		x		x		x			x	x	x			
8				x	x				x		x			x		x				x	
9		x				x				x	x			x		x			x	x	
10			x					x	x		x		x			x	x			x	x
11	x					x				x	x			x	x						
12		x					x		x		x		x			x	x		x		x
13		x				x				x		x		x	x						
14			x				x		x		x		x			x				x	x
15	x				x					x		x		x	x						
16			x				x		x			x		x		x			x	x	x
17	x					x			x		x			x	x						
18				x		x				x		x		x		x		x		x	
19		x					x		x		x		x			x	x				
20	x				x					x		x		x		x	x				x

Çizelge B.5 : Bağdat cd. anket formu

Bağdat cd.	1.soru				2.soru				3.soru		4.soru		5.soru		6.soru		7.soru				
	20- 25	25- 30	30- 40	40+	1k- 2k	2k- 3k	3k- 5k	+5k	var	yok	zaman	ücret	özel	toplu	alt	üst	iletişim	korku	manzara	in- çık	diğer
1	x					x				x	x			x		x	x		x		
2				x				x	x		x		x			x	x				x
3		x				x				x		x		x	x						
4	x						x		x		x		x			x	x				
5	x				x					x		x		x	x						
6			x					x	x		x		x			x	x			x	x
7		x						x	x		x		x			x	x				x
8		x				x			x		x			x	x						
9			x				x		x		x			x		x		x			x
10	x					x				x	x			x		x	x				
11	x						x		x		x		x			x	x		x		
12				x				x	x		x		x			x					x
13			x					x	x		x		x		x						
14	x						x		x		x		x			x	x				
15		x				x				x		x		x	x						
16	x				x					x		x		x	x						
17				x				x	x		x		x			x	x			x	
18		x					x		x		x		x			x	x	x	x	x	
19				x				x	x		x		x			x			x		
20			x			x				x		x		x	x						

ÖZGEÇMİŞ

İsim : Enfal Anıl Çalış
Doğum Yeri ve Tarihi : Malatya - 1991
Adres : Maslak / İstanbul
E-Posta : enfalanil@gmail.com
Ehliyet : B ve A



ÖĞRENİM DURUMU

Yüksek Lisans **İstanbul Teknik Üniversitesi** (2015-2016)
Ulaştırma Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisans **İstanbul Teknik Üniversitesi** (2010-2015)
İnşaat Mühendisliği, İnşaat Fakültesi
Anadolu Üniversitesi (Açık Öğretim) (2011-2016)
İşletme, İşletme Fakültesi

Lise **Bursa Ali Osman Sönmez Fen Lisesi**
Özel Yavuz Sultan Fen Lisesi (93/100)

YABANCI DİL

İngilizce [Okuma: Çok iyi Yazma: Çok iyi Konuşma: Çok iyi]

Rusça [Okuma: Orta Yazma: Orta Konuşma: Orta]

İspanyolca [Okuma: Temel Yazma: Temel Konuşma: Temel]

BİLGİSAYAR BİLGİSİ

Paket Programlar MS Office, Autocad, MS Project, Sta4Cad, 3D Max, ArcGIS, TransCAD

İşletim Sistemleri	Windows, Unix, Linux
Programlama	C, C#, PHP

SERTİFİKA BİLGİLERİ

İspanyolca	MEB A2 - 11.06.2016
Rusça	Ankara Üniv. Tömer B1 - 28.06.2013
Liderlik Temel Kursu	T.İ.F. - 2012
YGA Liderlik Okulu	YGA - 2011
Hızlı Okuma	Mega Eğitim - 2009

BAŞARI BELGELERİ

- Beykent Üniversitesi** Başarı Plaketi (2016)
Anadolu Üniversitesi Onur Belgesi (2014)
Tübitak Proje Yarışması Bilgisayar kategorisi Mansiyon Ödülü (2006)
Bitek-o (Sabancı Üniv.) Proje Yarışması Bilgisayar kategorisi Türkiye 2.liği (2006)

MESLEKİ DENEYİM

İş Deneyimi

- Altyapı imalatı, teknik ofis ve saha mühendisi İsttelkom A.Ş. (05/2016 -)
14 blok dükkan inşaatı, şantiye şefi Baloğlu A.Ş. (02/2016 -)
Mahmutbey metro istasyonu, saha mühendisi San-İş A.Ş. (07/2015 - 09/2015)

Staj Deneyimi

- M6 Metrosu teknik ofis, Alarko-Makyol, İstanbul (06-07/2014)
Eurasia Tower, Plot 12 şantiyesi, Enka, Moskova (08-09/2013)
3. Boğaz Köprüsü, IC İçtaş-Astaldi, İstanbul (07-08/2013)
M6 (Levent-Hisarüstü) Metrosu şantiyesi, Alarko-Makyol, İstanbul (06-07/2013)

HOBİLER

izcilik, hobi elektronik, koleksiyonculuk, klasik gitar, yüzme, dans, tenis, basketbol, kültür turizmi