



**T.C. İSTANBUL T CARET
 NİVERSİTESİ**

FEN B LİMLERİ ENSTİT S 

**KENT İ İ RAYLI S STEMLERDE YENİ TEKNOLOJ LERİ:
LASTİK TEKERLEKL  RAYLI S STEM  RNEĞ **

Bet l Zehra UZUNER

**Dan şman
Prof.Dr. Mustafa ILICALI**

**Y KSEK L SANS TEZ 
KENTSEL S STEMLER VE ULAŞTIRMA Y NET M  ANAB L M DALI
 STANBUL – 2023**

KABUL VE ONAY SAYFASI

Betül Zehra UZUNER tarafından hazırlanan "**Kent İçi Raylı Sistemlerde Yeni Teknolojiler: Lastik Tekerlekli Raylı Sistem**" adlı tez çalışması 19/06/2023 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde başarı ile savunularak, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman

Prof. Dr. Mustafa ILICALI
İstanbul Ticaret Üniversitesi

Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Yalçın EYİĞÜN
İstanbul Ticaret Üniversitesi

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Halit ÖZEN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Onay Tarihi : 21.07.2023

İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsünün 21.07.2023 tarih ve 2023/393 numaralı Yönetim Kurulu Kararının 7. maddesi gereğince, ders yüklerini ve tez yükümlülüğünü yerine getirdiği belirlenen "Betül Zehra UZUNER" adlı öğrencinin mezun olmasına oy birliği ile karar verilmiştir.

Prof. Dr. Doğan KAYA
Enstitü Müdürü

AKADEMİK VE ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

21.07.2023

Betül Zehra UZUNUER

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
ŞEKİLLER.....	iv
ÇİZELGELER.....	v
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
3. RAYLI ULAŞIM SİSTEMLERİ.....	5
3.1. Metro.....	5
3.2. Hafif raylı sistem.....	5
3.3. Tramvay.....	6
3.4. Monoray.....	6
4. RAYLI ULAŞIM SİSTEMLERİNİN BİLEŞENLERİ.....	7
4.1. Altyapı.....	7
4.2. Araçlar.....	8
4.3. İşletme.....	9
5. RAYLI SİSTEM UYGULAMALARINDA TEKNİK KONULAR.....	10
5.1. Araçlar.....	11
5.2. İletişim Sistemleri ve Sinyalizasyon.....	12
5.3. Dijitalleşme ve Altyapı.....	13
5.4. Yeni Sistemlerin Gelişimi İçin Uygulanan Sanayi Politikası.....	13
6. RAYLI SİSTEMLERDE VERİMLİLİK.....	18
6.1. Raylı Sistemlerin Performansını Etkileyen Faktörler.....	19
7. LASTİK TEKERLEKLİ RAYLI SİSTEM.....	21
7.1. Mexico Metrosu.....	29
7.2. Montreal Metrosu.....	31
7.3. Sapporo Hızlı Transit Demiryolu Sistemi.....	32
7.4. Lille Metrosu.....	34
7.5. Crystal Mover ve Urbanismo.....	35
8. LASTİK TEKERLEKLİ RAYLI SİSTEMLERDE PERFORMANS VE VERİMLİLİK ÖLÇÜTLERİ.....	36
8.1. Güvenilirlik.....	36
8.2. Lastik Ömrü.....	37
8.3. Sürüş Kalitesi.....	39
9. LASTİK TEKERLEKLİ RAYLI SİSTEM VE DİĞER SİSTEMLERİN İNCELENMESİ.....	40
9.1 İşletme Maliyeti Karşılaştırması.....	40
9.2. Yapısal Karşılaştırma.....	41
9.3 Hafif Raylı Sistem ve Lastik Tekerlekli Sistem Karşılaştırılması.....	41
10. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	45
KAYNAKLAR.....	47
ÖZGEÇMİŞ.....	52

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KENT İÇİ RAYLI SİSTEMLERDE YENİ TEKNOLOJİLERİ: LASTİK TEKERLEKLİ RAYLI SİSTEM

Betül Zehra UZUNER

İstanbul Ticaret Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Mustafa ILICALI

2023, 52 sayfa

Uzun yıllardır lastikten imal edilmiş tekerlekler, bütün dünya ülkelerinde raylı sistemler için oldukça güvenilir olarak ispat edilmiştir. Bu şekilde imal edilmiş tekerlekler gürültü ve titreşimi azaltmakta ve farklı avantajlarda sunmaktadır. Şu an faal olan yaklaşık 150 bin lastik tekerlekli araç bu avantaja örnek gösterilebilir. Ayrıca hem yolculuk açısından hem de yolcuların konforu açısından hatta daha düşük bakım maliyetleri ile büyük bir avantajı göz önüne sermektedir. Lastik tekerlekli araçların sürüşü ve yolculuk konforu, çelik tekerleklerle imal edilmiş araçlara göre oldukça üstünlük sağlamaktadır. Ülkemizde nüfusu hızla artan şehirlerin raylı sistemlere duyduğu ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Kent içi raylı sistemlerin avantajı, modern şehircilik anlayışında yeri yadsınamaz düzeydedir. Fakat bu sistemler maliyetleri açısından pahalı yatırımlardır. Bu çalışmada gelişen teknoloji ile beraber daha az yatırım ve işletme maliyeti ile uygulanabilirliği artan lastik tekerlekli raylı sistem araçları incelenecektir. İncelenen araçların yenilenebilir enerji kullanımı ile birlikte daha az masraflı ve sürdürülebilir, ayrıca daha konforlu ve kullanılabilir oldukları saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kent içi raylı sistemler, lastik tekerlekli raylı sistem, tren, yüksek kapasite.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF NEW TECHNOLOGIES IN URBAN RAIL SYSTEMS: RUBBER WHEELS RAIL SYSTEM

Betul Zehra UZUNER

**İstanbul Commerce University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Urban Systems and Transport Management**

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa ILICALI

2023, 52 pages

For many years, wheels made of tires have proven to be highly reliable for rail systems in countries all over the world. Such wheels, manufactured in this way, reduce noise and vibration and offer various advantages. Approximately 150,000 rubber-tired vehicles currently in operation serve as examples of this advantage. Furthermore, they present a significant advantage in terms of both travel and passenger comfort, as well as lower maintenance costs. The driving and travel comfort of rubber-tired vehicles outperform vehicles equipped with steel wheels. The need for rail systems in rapidly growing cities in our country is increasing day by day. The advantage of urban rail systems is undeniable in the context of modern urban planning. However, these systems are costly investments in terms of expenses. In this study, rubber-tired rail system vehicles with increasing feasibility in terms of reduced investment and operational costs, accompanied by advancing technology, will be examined. It has been determined that the examined vehicles, in addition to using renewable energy, are more cost-effective and sustainable, as well as more comfortable and usable.

Keywords: High capacity, rubber tire railway system, urban railway systems, wagon.

ŞEKİLLER

	Sayfa
Şekil 4.1. Çelik tekerlekli raylı sistem hat yapısı ve bileşenleri.....	7
Şekil 4.2. TCDD E 52500 elektrikli lokomotif ve Bandırma Tren istasyonundaki.....	8
Şekil 7.1. Lastik tekerlekli raylı sistem yol yapısı.....	21
Şekil 7.2. Singapur'da lastik tekerlekli raylı sistem aracı.....	22
Şekil 7.3. İlk lastik tekerlekli sistem.....	22
Şekil 7.4. Lastik tekerlekli raylı ulaşım sistemlerine bir örnek.....	25
Şekil 7.5. Lastik tekerlekli raylı sistem araçlarında bakım.....	27
Şekil 7.6. Busan Metrosu depo alanı.....	27
Şekil 7.7. Mexico Metrosu Haritası.....	29
Şekil 7.8. Mexico Metrosu.....	30
Şekil 7.9. Montreal Metrosu Haritası.....	31
Şekil 7.10. Montreal Metrosu.....	32
Şekil 7.11. Sapporo Metrosu Haritası.....	32
Şekil 7.12. Sapporo Metrosu.....	33
Şekil 7.13. Sapporo Metro kılavuz ray yolları.....	33
Şekil 7.14. Lille Metro Haritası.....	34
Şekil 7.15. Lille metrosunda kullanılan Lastik tekerlekli araçlar(vikipedi).....	35
Şekil 8.1. Lastik tekerlekli raylı sistem hat yapısı ve bileşenleri.....	36
Şekil 8.2. Busan Metrosu.....	39

ÇİZELGELER

	Sayfa
Çizelge 7.1. Lastik tekerlekli elektrikli araçlar kullanımı tarihsel gelişimi.....	23
Çizelge 7.2. Lastik Tekerlekli Sistem ve Çelik Tekerlekli Sistem arasındaki fark.....	26
Çizelge 7.3. Sistemlerin işletme maliyetlerinin karşılaştırılması.....	28
Çizelge 7.4. Sistemlerin işletme maliyetlerinin karşılaştırılması 2.....	29
Çizelge 9.1. Farklı sistemlerin işletme maliyetlerinin karşılaştırılması.....	40
Çizelge 9.2. Farklı sistemlerin yapısal karşılaştırılması.....	41
Çizelge 9.3. Hafif Raylı Sistem ve Lastik Tekerlekli Sistem Karşılaştırılması.....	41



1. GİRİŞ

Kentsel alanlarda yaşayan insanların sosyal yaşamlarındaki refahı, hizmetlere ve pazara ulaşmasına yardımcı olan etkin bir ulaşım sistemi ile mümkündür. Ekonomisi genişleyen toplumlar, kentsel alanlar, insan nüfusu ve yüzölçümü olarak büyümekte bu durumda ulaşım hizmetlerine olan ihtiyacın artmasına sebep olmaktadır. Fakat gelişim süreci ile birlikte kentsel alanlarda yaşanan trafik yoğunluğu, sera gazı etkisi ve trafik kazaları yetersiz toplu ulaşım ile açıklanmaktadır. (Pojani ve Stead, 2017) Büyüyen nüfusun ulaşım ihtiyaçlarını sağlamak, sosyo-ekonomik ve çevre sorunların düşürülmesi için etkin bir toplu taşıma sistemine sahip olunmalıdır. Kent içi raylı sistemler (metro, tramvay, banliyö) bunun için çözüm olabilir.

Kent içi raylı sistemlerin birçok avantajı bulunmaktadır; vagonların yüksek sayıda insan taşıma kabiliyetleri, mekanik izolasyonları, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanması, daha az sera gazı üretimi ve düşük kaza oranlarına sahip olması sebebiyle güvenilir bir ulaşım aracı olarak karşımıza çıkmaktadır. Artan kentsel nüfusun verimli bir şekilde taşınması gereksiniminden dolayı, son on yılda gelişmekte olan ve düşük gelirli ülkelerde kentsel demiryolu hatlarında yılda %3,5'lik bir artış olmuştur (IEA, 2020). 2018 yılında, küresel yeni metro hatlarının %94,5'ini temsil eden gelişmekte olan ve düşük gelirli ülkelerde 907,1 km metro hattı inşa edilmiştir (UITP, 2019). Kentsel demiryolu yatırımı sağladığı yararlar karşın maliyet olarak yüksektir. Bir örnek vermek gerekirse; aynı yolcu kapasiteli bir otobüs ulaşımının maliyeti hafif raylı sistemlerin altyapı faaliyetlerine göre 3 kat ucuzdur. (ITDP, 2017). Gelişmekte olan ekonomiler için şehir içi raylı sistemlerin tanıtımında karşılaşılan önemli bir zorluk, demiryolu araçlarının avantajlarının, altyapı ve bayındırlık işlerinde gereken teknik yeteneklere sahip kişilerin olmamasından dolayı aktırılamamaktadır. Bu ekonomiler genellikle raylı sistemlere teknolojik olarak geç katıldıkları için, gerekli temel yeteneklere sahip değildir. Raylı sistem araçları, altyapı inşaatı ve bakımı için uzmanlık gerekmektedir. Yeterli miktarda uzman ve eğitimli personel, altyapı planlama ve mühendislik yetenekleri, demiryolu araçları üretimi ve bakımı için gerekli tesisler ve ekipmanlar gibi faktörler, başarılı bir şehir içi raylı sistem için elzemdir. Olmaması durumu, projelerin zamanında tamamlanmasını ve sürdürülebilir bir şekilde işletilmesini zorlaştırabilir. Ayrıca, teknik yeteneklerin eksikliği nedeniyle daha

yüksek maliyetler ve verimlilik sorunları da ortaya çıkmaktadır. Bu zorluğun üstesinden gelmek için, gelişmekte olan ekonomiler raylı sistem projelerine önem vermeli ve teknik yeteneklerini güçlendirmek için çaba göstermelidir. Yeterli eğitim ve uzmanlık sağlanarak yerel kaynakların kullanımı teşvik edilmeli deneyimli uluslararası ortaklarla iş birliği yapılmalıdır. Ayrıca, altyapı inşası ve demiryolu araçları üretimi için yerli endüstrilerin gelişimine destek verilmelidir. Bu şekilde, gelişmekte olan ekonomiler raylı sistem projelerini başarıyla gerçekleştirerek, şehir içi ulaşımı geliştirebilir, sürdürülebilir bir ulaşım alternatifi sunabilir ve ekonomik büyümelerini destekleyebilirler.

Günümüz modern şehircilik anlayışında raylı sistemin gelişimi, derin tünelden maliyeti daha az olan üst yapılara doğru ilerlemektedir. Üst yapının sınırları daha fazla olduğundan, kullanılacak araçlar maksimum düzeyde teknolojik kriterler doğrultusunda seçilmektedir (Simpson, 1989).

Raylı sistemlerde kullanılacak olan araçların yolcu kapasitesi, sistemin saatlik kapasitesi, yapısal özerkliği, enerji tüketimi, altyapının jeolojik ve topografik gereksinimlerini karşılaması açısından önemi oldukça yüksektir.

Kentsel demiryolu taşımacılığında, son yıllarda lastik tekerlekli raylı sistemler önemli bir gelişme kaydetmiştir. Lastik tekerlekli raylı sistem, otomatik kontrol altında çalışan ve belirli bir güzergâhta yolcu taşıyan trenlerin kullanıldığı bir sistemdir. Bu tez çalışmasında, lastik tekerlekli raylı sistemlerin kentsel toplu taşıma alanındaki rolü ve potansiyel avantajları incelemeyi amaçlamaktadır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Literatürde, kent içi toplu taşımacılıkta Raylı Sistemler konusunu ele alan “Kentiçi Ulaşımında Karayolu Ulaşımına Alternatif Sistem: Raylı Ulaşım Sistemi” (Gündüz, Kaya ve Aydemir, 2011) “Türkiye’de Kentsel Raylı Sistemlerin Gerekliliği ve Uygulamada Dikkat Edilecek Konular” (Öğüt ve Evren, 2006), “Türkiye’deki kent içi raylı ulaşım sistemlerinin performanslarının Veri Zarflama Analizi ile karşılaştırılması”(Masoumi ve Öcalır-Akünel, 2018), “Toplu Taşıma Türünün Seçiminde Çok Kriterli Karar Verme Uygulaması” (Hamurcu ve Eren, 2017), “Sürdürülebilir Kent İçi Ulaşım Politikaları ve Toplu Taşıma Sistemlerinin Karşılaştırılması” (Cirit, 2014), “Kent İçi Raylı Toplu Taşıma Sistemleri İncelemesi ve Dünya Örnekleri İle Karşılaştırılması” (Baştürk, 2014) konulu çalışmalar bulunmaktadır. Bu amaçla konu ile ilgili kitap, makale, bildiri ve tezler ile raylı sistem araçları üreten şirketlerin verilerinden yararlanılmıştır. Arabaya alternatif olarak şehir içi toplu taşıma sistemleri, otobüsler, otobüs yolları ve rehberli otobüslerden tramvaylar, hafif raylı sistem (LRT) ve ağır metrolar gibi raylı sistemlere kadar çok çeşitli seçenekleri içerir. Geleneksel otobüs sistemlerinde, otobüsler karışık trafikte çalışırken, otobüs yolu sistemleri, otobüslerin özel veya ağırlıklı kullanımı için tasarlanmış özel yollarda çalışan otobüsleri ifade eder. Bu yollar, ayrı geçiş hakları içinde veya araç trafiği içeren caddeler ve otoyollar boyunca olabilir. Kılavuzlu otobüsler de ayrı şeritlerde çalışır, ancak şeridin diğer araçlar tarafından kullanılmasını fiziksel olarak imkansız kılan sabit bir kılavuz yolda çalışır. Kılavuzlu otobüsler, yollarda olduğu kadar caddelerde de çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Ray tabanlı sistemler çeşitli seçenekler sunmaktadır (Mistry ve Johnson, 2020). Tramvaylar, çoğunlukla karışık trafiğe sahip sokaklarda, bir ila üç araçlık birimlerde çalışan elektrikle çalışan demiryolu araçlarıdır. Nispeten yeni bir demiryolu ulaşım modu olan hafif raylı sistem, tramvaylar ve ağır raylı sistemler arasında bir teknolojidir. Hafif raylı sistemler, sabit ray kılavuzları üzerinde tek başına veya kısa trenler halinde çalışan elektrikle çalışan vagonları kullanır ve ağırlıklı olarak ayrılmış geçiş hakları üzerinde çalışır, ancak mutlaka kademeli olarak ayrılmamıştır. Tamamen ayrılmış geçiş hakları üzerinde hafif raylı araçları kullanan sistemler, bazen genellikle ağır raylı sistemlerde tipik olan bir üçüncü raylı güç kaynağına sahip hafif hızlı geçiş sistemleri olarak tanımlanır. Toplu taşıma sistemleri çok çeşitli seçenekler sunar; ancak, toplu

taşımaya yapılan son yatırımlar genellikle demiryolu tabanlı seçeneklerden yana olmuştur. Metrolara ve özellikle hafif raylı sistemlere yapılan yatırımlar önemli ölçüde artmıştır. Hafif raylı sistemlerin yükselişi, bazı kentsel alanlarda veya bazı belirli kentsel koridorlarda maliyet veya talep düzeyi nedeniyle mümkün olmayan ağır raylı sistemlerin maliyetine bir yanıt olmuştur (Salzberg vd., 2012). Ağır raylı sistemlerin hafif raylı sistemlere göre daha yüksek işletme hızları ve kapasiteleri gibi belirli avantajları vardır; ayrıca teknolojileri yüzey trafiğinden tamamen bağımsız olmalarını gerektirdiğinden çok güvenilir ve dakik olabilirler. Bu nedenle, toplu taşıma talebinin yeterince yüksek olduğu büyük bir metropol bölgesinde, ağır raylı sistemler iyi bir toplu taşıma hizmeti standardı için fırsatlar sunmaktadır. Ancak ağır raylı sistem inşa etmek yüksek maliyetler içerir; bu nedenle, orta büyüklükteki şehirler veya talebin çok yüksek olmadığı şehirler için ve ağır yatırımı destekleyecek kadar yoğun veya toplu taşıma dostu olmayan şehir koridorları için ekonomik olarak verimsiz olma eğilimindedirler. Hafif raylı sistem bu gibi durumlarda ağır raylı sistemlere göre avantajlıdır. Bir hafif raylı sistem inşa etmenin maliyeti, ağır raylı sistemden daha düşüktür ve bu nedenle, ağır raylı sistem yatırımı için aday olamayacak bazı orta büyüklükteki şehirlerde ekonomik olarak haklı gösterilebilir (Groenewegen, 2000). Ayrıca, hafif raylı sistemler, şehir merkezlerine nüfuz eden ağır raylı sistemler kadar etkili olabilmektedir. Şehir merkezleri genellikle yeraltı sistemleriyle ideal olarak hizmet verilebilen eski dar sokaklardan oluşur.

Bununla birlikte, hafif raylı sistemler ve tramvaylar, zorunlu olarak yer altı inşaatı veya diğer trafikten ayırma gerektirmeden, dar koridorlarda çalışacak teknik kapasiteye sahiptir. Hafif raylı sistemler, daha yüksek hızlarda ve daha yüksek güvenilirlik derecelerinde hizmet sağlamak için şehir merkezine nüfuz edecek şekilde caddede ilerleyen bölümlere ve şehir merkezinin dışında tamamen ayrılmış bölümlere sahip olacak şekilde tasarlanabilmeleri açısından esnekler.

3. RAYLI ULAŞIM SİSTEMLERİ

Demiryolu taşımacılığı, mal (navlun) ve insan taşımak için kullanışlıdır. Fakat kentsel alanlarda mal taşımacılığı için yollarının sabit olması ve son kullanıcıya ulaşılamamasından dolayı tercih edilen bir hizmet değildir. Bu yüzden bu tezde yolcu taşımacılığını ele almaktayız.

Kent içi demiryolu taşımacılığının çeşitleri bulunmaktadır. Bu çeşitlilik hıza, yolcu kapasitesine ve hat sayısına göre çok yönlü şekilde sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırma için dört ana tip bulunmaktadır:

- Metro
- Hafif Raylı Sistem
- Tramvay
- Monoray

3.1. Metro

En geniş kapasiteli raylı ulaşım sistemi olan metro sistemi, karayolu trafiğinden bağımsız ayrı bir bölümde çalışmaktadır. Bu yüzden daha konforlu ve güvenli bir ulaşım sağlar. Ayrıca düşük enerji kullanımı büyük bir avantaj sağlamaktadır. (Vuchic, 2007). Genelde metrolar 2,5 – 3,2 m genişliğinde ve 16 – 23 metre uzunluğunda 120 – 250 kişi gibi yolcu taşıma kapasitesinde tasarlanmaktadır. (Vuchic, 2007). Konforlu ve güvenli bir hizmet sunmasına karşın altyapı maliyetleri olarak yüksek maliyetlere sahiptir.

3.2. Hafif Raylı Sistem

Hafif Raylı Sistem (HRS) araçları 4 – 10 adet aksa ve 2 – 7 adet köprüge sahiptir. Tekli veya çoklu vagonlar olarak çalıştırılabilir. Yaklaşık 250 adet yolcu kapasitesiyle çalışmakta olup bu kapasitenin %20-%50 arası yolcu oturma kapasitesine sahiptir. Uzunluğu ise yaklaşık 18 – 42 metre arasında değişmektedir.

(Vuchic, 2007). Hafif raylı sistemlerin kapasiteleri saatte tek yönde 35.000 yolcuya ulaşabilir.

3.3. Tramvay

Karayolları taşıtları ile aynı yolda hareket eden, genelde tek bir adımda binilebilen ve trafik yoğunluğuna göre bir sürücü ile yönetilen yolcu taşıma kapasitesi düşük alçak zeminli araçların oluşturduğu toplu taşıma sistemidir. (Çakır,2010). Yaya alanlarına yakın, dar sokaklarda ve kent merkezlerinde ulaşımı sağlaması düşünüldüğünden dolayı, dar alanlarda manevra kabiliyetinin yüksek olması ve ulaşım güvenliği sebebiyle 3 vagonu geçmeyecek biçimde tasarımı sağlanmıştır. (Kılınçaslan, 2012). Bu sistemler diğer raylı sistemlere göre altyapıda büyük bir değişiklik yaratmamasından dolayı maliyet açısından çok daha avantajlıdır. Genelde normal bir tramvay aracı 80 – 180 kişi kapasiteli ve 14 – 21 m uzunluğunda ve yolcuların %20 - %40 ı oturacak şekilde tasarlanmaktadır. (Baştürk, 2014).

3.4. Monoray

Monoraylar sağladığı panoramik manzara şöleni sayesinde kısa mesafeli ulaşım hizmetleri içerisinde sunulmaktadır. En yüksek hızı yaklaşık 60-90 km/s olmaktadır. (Pyrgidis, 2016). Yükseklikleri sebebiyle dağlık arazilerde ve kalabalık şehirlerde kullanımı avantajlı olmaktadır. Maglev (Manyetik kaldırma) monoray teknolojileri arasında yer almaktadır. Maglevler süper iletken mıknatıslarla Meissner etkisini kullanarak ray üzerinde dört inçlik bir yastık üzerinde yüzerek diğer monoraylara nazaran yüksek hızlara ulaşabilmektedirler. (W. W. Clark & Cooke, 2015; Mahmoud, 2018).

4. RAYLI ULAŞIM SİSTEMLERİNİN BİLEŞENLERİ

Ulaşım sistemleri bakımından demiryolu taşımacılığı 3 temel ögeye ayrılmaktadır:

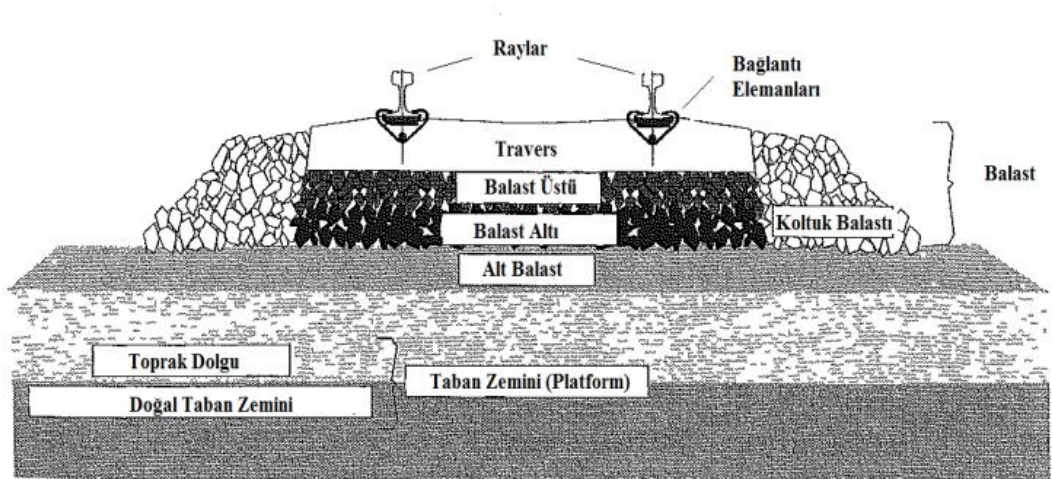
- Demiryolu altyapısı
- Araçlar
- İşletmeler

Genelde demiryolu taşımacılığını bu alt bölümler ifade etmektedir.

4.1. Altyapı

Altyapı, inşaat mühendisliği yapılarını, demiryolu hattını ve emniyetli demiryolu trafiğini oluşturan binalar ve sistemi anlatmaktadır. (Pyrgidis, 2016). Demiryolu rayları ise, ağır vagonların esnek zeminde hareketini sağlamak için imal edilmiş büyük ve uzun yapılardır.

Demiryolu üst yapısının alt kısmı ray yatağı katmanlarından oluşur ve farklı tiplerde kullanılabilir. Bu alt kısım, farklı avantajlara sahip olması sebebiyle değişken bir yapıya sahiptir. Örneğin, düşük tren hızlarının gerektiği yer üstü bölgelerde balastlı bir hat kullanılabilirken, balastsız hatlar daha az bakım gerektiren, stabilite ve dayanıklılığın önemli olduğu yer altı hat kesimlerinde tercih edilebilir.



Şekil 4.1. Çelik tekerlekli raylı sistem hat yapısı ve bileşenleri (Selig ve Waters, 1994)

Alt ve üst geçitler, tüneller, drenaj sistemleri, köprüler, çitler ve gürültü bariyerlerinden oluşan inşaat mühendisliği eserleri, demiryollarının dışarıdan

engellenmemesini sağlamaktadır. Bazı mühendislik eserleri yapı ve zemin mekaniği gibi farklı mühendislik alanlarında uzmanlık gerektiren zorlu ve karmaşık yapıda olabilir. Bu uzmanlık bilgisine özellikle yer altı demiryollarının gerektiği büyük şehirlerde ihtiyaç duyulmaktadır.

Sistem ve tesisler, hemzemin geçitler ve toplu olarak hat tarafı sistemler olarak anılan elektrifikasyon, sinyalizasyon ve telekomünikasyon sistemlerini içermektedir. Bu karmaşık alan, güç kaynağı sistemleri, düşük voltajlı telekomünikasyon sistemleri ve otomatik kontrol sistemlerinde çeşitli uzmanlık bilgisi gerektirir. Tesisler esas olarak yolcuları sert hava koşullarından koruyan istasyonlar, depolar ve araçların onarım ve diğer amaçlar için tutulduğu antrepolar ve yönetim binalarıdır.

4.2 Araçlar

Demiryolu araçları, demiryollarını kullanan bütün taşıtları tanımlayan ortak terimdir. Bu araçlar; lokomotif, vagon, otomotris olarak tanımlanır.

Lokomotif, güçlü ve motorlu bir araçtır. Genellikle vagonları çekmek ve treni hareket ettirmek için kullanılır. Lokomotifler, elektrik, dizel veya buhar gücüyle çalışır. Elektrikli lokomotifler, elektrik enerjisini kullanarak hareket ederken, dizel lokomotifler dizel motorlardan güç alır ve buharlı lokomotifler ise suyu kaynatarak oluşturdukları buhar gücüyle çalışır.



Şekil 4.2. TCDD E 52500 elektrikli lokomotif ve Bandırma Tren istasyonundaki Buharlı Lokomotif

Vagonlar, genellikle lokomotif tarafından çekilir ve yolcu veya yük taşımak için kullanılır. Vagonlar, çeşitli tiplerde ve amaçlara yönelik olarak tasarlanmıştır. Yük vagonları, genellikle malzemelerin taşınması için kullanılır. Farklı tiplerde yük vagonları bulunur ve bu vagonlar, taşınacak yükün özelliklerine göre uyarlanabilir. Yolcu vagonları, yolcuların seyahati için tasarlanmıştır. Yolcu vagonları, farklı konfigürasyonlara sahip olabilir. Vagonlar, demiryolu taşımacılığında önemli bir rol oynar ve farklı tiplerde ve özelliklerde üretilir. Demiryolu hatları üzerinde çeşitli vagonlar birleştirilerek trenler oluşturulur ve yolcu veya yük taşımacılığı gerçekleştirilir.

Otomotrisler, hareket gücünü kendi sağlayan ve iki başında kumanda kabini olan vagonlardan oluşur. Otomotrisler tek olarak çalışabildikleri gibi gerektiğinde birden fazlası birbirine bağlanır ve tek bir sürücü tarafından kullanılabilir. Böyle bu sisteme DMU (diesel multiple unit) dizel çoklu ünite adı verilir. Yüksek güçlü otomotrislere, yolcu kapasitesini artırmak için aynı tasarımda yapılmış motorsuz yolcu vagonu ilave edilebilir. Bunlara römork adı verilir. Otomotrislerden türetilen bir diğer sistem ise tren setlerdir. (Raylı Sistem Araçları,MEB,2011)

4.3. İşletme

İşletme, ulaşımın başlangıcından bitişine kadar olan mesafede hareketi sağlayan vagonları ve altyapıyı oluşturmaktadır. Demiryolları, hizmet sunmak için ticari, teknik ve bakım gibi kavramlara ihtiyaç duymaktadır. Ticari bileşen iyileştirmenin ve yatırımın sağlanabilmesi için gerekli ekonomi politikalarından oluşmaktadır. Güvenli ve güvenilir hizmetin bileşeni teknik bileşendir. Bakım bileşeni ise güvenli ve güvenilir hizmetin devamlılığını sağlamak ve sorunlarını giderme konularını kapsamaktadır. Sunulan hizmetlerin emniyet ve güvencesinin olmaması daha yüksek maliyetler ve daha az yolcu sayısı sistemin çökmesi gibi bir duruma sebebiyet verebilmektedir.

5. RAYLI SİSTEM UYGULAMALARINDA TEKNİK KONULAR

Yukarıda açıklanan raylı sistem bileşenleri, uygulama ve işletme hizmetleri için bir araya gelmesi gereken çeşitli teknik uzmanlığı göstermektedir. Ulaşım mühendisliği, mimarlık, yapısal mekanik, alçak gerilim iletişim sistemleri, güç kaynağı sistemleri, zemin mekaniği, otomatik kontrol sistemleri, planlama, demiryolu araçları teknolojileri ve daha fazlası için uzmanlık bilgisi gerekmektedir. Yıllar boyunca demiryolu taşımacılığı, birçok gelişimler göstermiştir. Araştırma ve geliştirmeye (Ar-Ge) yatırım yapan firmalar, demiryolu teknolojisinin yolcular için hız, güvenlik, verimlilik ve konfor açısından gelişmesini sağlamıştır. Bu sebepten dolayı, sektöre yönelik uzmanlık demiryolu firmaları tarafından desteklenmiştir. Gelişime katkıda bulunan firmaların birçoğu, Japonya, ABD, Almanya, Birleşik Krallık ve Fransa gibi uzun yıllar demiryolu taşımacılığı tarihi olan ülkelerdedir. (SCI Verkehr, 2018). Alstom, Bombardier ve Siemens Mobility gibi demiryolu teknolojisinin her alanında uzmanlaşmış uluslararası firmalar varken, ABB ve Mitsubishi Electric gibi diğer firmalar demiryolu taşıtları için tahrik sistemleri, sinyalizasyon ve elektrik gibi demiryolu teknolojisinin çeşitli yönlerinde uzmanlaşmıştır.

Gelişmekte olan ekonomilerde demiryolu teknolojisinin yerlileştirilmesi, teknik engellerin üstesinden gelmek için kademeli bir süreç izleyebilir.

“Yerlileşme merdiveni”

- (a) uluslararası firmalar yerel firmalar ile ortak girişimlerde bulunur.
- (b) ülkelerin her şeyi ithal ettiği, anahtar teslim projeler ihale ettiği işler azaltılır.
- (c) uluslararası firmaların yerelde üretim yapmaları teşvik edilir.
- (d) yerel firmalar kendi fikri mülkiyetiyle üretim yapmaya başlatılır.
- (e) yerel üreticiler, uluslararası firmalarla yapılan lisans anlaşmaları kapsamında üretim yapmaya başlatılır.

Maliyet, demiryolu uygulamasının önündeki önemli bir engel olsa da, daha önce belirtildiği gibi teknik uzmanlık eksikliği, gelişmekte olan ekonomilerde düşük benimsenmesinin temel nedenidir.

5.1. Araçlar

Raylı sistemler, modern şehirlerin toplu taşıma ihtiyaçlarını karşılamak için önemli bir rol oynar. Metro, HRS ve tramvaylar gibi raylı araçlar, yüksek kapasiteli yolcu taşıma yetenekleri, enerji verimliliği ve çevre dostu özellikleri nedeniyle tercih edilir. Ancak, bu araçların işletim ve bakımı, bazı zorluklarla birlikte gelir.

Bu zorluklardan ilki, raylı sistem araçlarının karmaşık doğasından kaynaklanır. Raylı araçlar, birçok mekanik, elektrik ve elektronik bileşeni içeren karmaşık sistemlerdir. Bu bileşenlerin tamamının doğru şekilde çalışması ve uyumlu olması, aracın güvenli ve verimli bir şekilde çalışabilmesi için önemlidir. Bu nedenle, araçların bakımı için uzman teknisyenler ve mühendisler gereklidir. Bunlar, teknik bilgi ve deneyime sahip olmalı ve sürekli olarak güncel eğitimler almalıdır.

Diğer bir zorluk ise, raylı araçların sürekli olarak çalışmak zorunda olmalarıdır. Özellikle yoğun şehirlerde, trenler ve tramvaylar gün boyunca sürekli olarak yolcu taşır. Bu nedenle, araç bakımı için zaman penceresi oldukça sınırlıdır. Araçların düzenli bakımlarının yapılabilmesi için, genellikle gece saatleri veya düşük yoğunluklu saatler tercih edilir. Ancak, bu zaman diliminde yapılacak bakım çalışmaları, sınırlı zamanda ve bazen yoğunlaşan iş yükü altında gerçekleştirilmelidir.

Son olarak, raylı sistem araçlarının yedek parça temini ve maliyeti de bir zorluk olabilir. Özellikle eski veya özel tasarımlı araçlarda, yedek parçaların temini daha zor olabilir ve uzun teslimat sürelerine neden olabilir. Ayrıca, yedek parçaların maliyeti de yüksek olabilir. Bu durum, araçların bakım ve onarım maliyetlerini artırabilir ve zamanında bakım ve onarımı zorlaştırabilir.

Raylı sistemlerde araç bakımı, karmaşık altyapı, sürekli çalışma gerekliliği ve yedek parça temini gibi zorluklarla karşılaşabilir. Bu nedenle, araç bakımının düzenli ve etkili bir şekilde yapılabilmesi için önceden planlama, yeterli kaynak tahsisi ve uzman personel gereklidir. Raylı sistem işletmecileri, bu zorlukları göz önünde bulundurarak bakımı daha kolay, bakım maliyeti düşük sistemler seçmeli, stratejik bakım planları oluşturmalı, araçların güvenli ve düzenli çalışmasını sağlamak için gereken önlemleri almalıdır.

5.2. İletişim Sistemleri ve Sinyalizasyon

Trenlerin güvenli bir şekilde çalışması için sinyalizasyon sistemlerine ihtiyaç vardır. Sinyalizasyon sistemlerindeki amaç, hat bölümlerinin açıklığını kontrol ederek, hareketli hat elemanlarını kilitleyerek, genel olarak tren hareketlerini güvenli bir şekilde ayrı tutmak için kontrol ederek ve çelişen hareketleri kilitleyerek trenlerin raylar üzerinde güvenli hareketini oluşturmaktır. (Pachl, 2020). Böylece sinyalizasyon, trenlerin varış yerlerine güvenli bir şekilde ulaşmaları için trenler ve hareket kontrol noktaları arasında ayırım sağlar. Sinyalleşme türleri her ülkeye göre değişebilmektedir.

Trenlerin frene bastıktan sonra tamamen durması için gereken mesafe karayolu taşıtlarına göre daha uzun olduğundan, güvenlik amacıyla rayın belirli bir bölümünü aynı anda yalnızca bir tren işgal edebilir. Rayın tren tarafından sahiplenilen kısmına blok adı verilir. Demiryolu taşımacılığındaki sinyaller, bir trenin hareket etmesi, durması, yavaşlaması gibi konumları hakkında bilgi vermektedir. Sinyaller, kolları çeken sinyal vericilerinden, optik yükselten, hat kenarı elektrik sinyalizasyonuna ve çağdaş haberleşme tabanlı teknolojiye yönelik gelişme sağlamıştır. Mevcut sinyalizasyon teknolojisi, otonom sürüş teknolojisi için trenden ağı ve trenden trenle gerçek zamanlı altyapı ve iletişim bileşenlerini etkinleştirir. (S. Clark, 2012; Hein ve Ott, 2018).

Bu sebepten dolayı haberleşme ve sinyalizasyon, trenlerin güvenliğini sağlayabilmek için yüksek teknolojiye sahip bir alan haline almıştır. Yüksek teknoloji, demiryolu hattında daha fazla insanın güvenli bir şekilde seyahat etmesini sağlamak için trenlerin bloklar halinde çalışmasını mümkün kılar. Birçok tren şirketi, trenlerin güvenli ve verimli hareket etmesini sağlamak için mevcut ve gelecekteki teknolojileri kullanarak sinyalizasyon kapasitesini geliştirmiştir. Ancak, yeni firmaların sinyalizasyon ve iletişim teknolojilerini hızlı bir şekilde geliştirmesi ticari amaçlar için zor olabilir, çünkü bu alanda daha önceden deneyimi olmayan gelişmekte olan ekonomiler için dezavantaj oluşturur. Bu nedenle, gelişmekte olan ekonomilerin çoğu için, sinyalizasyon ve iletişim sistemlerini satın almak, kentsel demiryolu hizmetlerinin güvenliğini sağlamada temel bir yol haline gelmiştir. Zaman geçtikçe, sinyalizasyon

ve iletişim sistemlerine yatırım yapmak, bu ekonomilere önemli bir avantaj sağlamaktadır.

5.3. Dijitalleşme ve Altyapı

Son zamanlarda şehir trenlerinin çoğu, elektrikle çalışan trenlerdir. Elektrikli çalışan trenler, dizelle çalışanlara göre daha fazla avantajlı olduğu için tercih edilmektedir. Fakat elektrikli trenler için elektrik altyapısı inşaatı gerektirmektedir. Elektrikli trenler üçüncü bir ray sistemine gereksinim duyarlar. Lokomotifin hareket sistemine güç sağlamak için doğrultucular, transformatörler, anahtarlama devreleri ve invertörler gibi güç bileşenlerine ihtiyaç duymaktadır. Bu bileşenler demiryolu çekişine ait elektronik sistemler uzmanlığı ve güç kaynağı içerir. Demiryolu taşımacılığı için kentsel alanlardaki inşaat mühendisliği gereksinimleri çok fazladır. Uzmanlık yoksa, yer altı tünelleri, drenaj sistemleri, üst geçitler ve diğerlerini geliştirmek zor olabilir. Elektrikli trenler için elektrik kablolarının döşenmesi ve tünel açma gibi inşaat işleri, yüksek uzmanlık yetenekleri gerektirmeyebilir, fakat bu tür projelerde başarı elde edilebilmesi için tecrübeli bir şekilde yürütülmesi gerekmektedir. İnşaat işleri yoğun nüfuslu alanlar için faydalı olan yer altı inşaatı hakkında birkaç yüksek uzmanlık gerektirebilmektedir.

Son yıllarda, dijital ödemeler sayesinde verimli bir ulaşım ve biniş öncesi rezervasyon imkanı sağlanmıştır. Bu durum, potansiyel müşterilerin çekilmesinde ödeme kolaylığının katkı sağladığı anlamına gelmektedir. Şehir içi raylı sistemlerin kullanılması, yolcuların toplu taşıma kullanımını teşvik etmekte ve diğer ulaşım araçlarıyla yapılan transferlerde kolaylıklar sunmaktadır.

5.4. Yeni Sistemlerin Gelişimi İçin Uygulanan Sanayi Politikası

Piyasalar zaman zaman değişikliklere uyum sağlamada veya kaynakları etkili bir şekilde tahsis etmede zorluklar yaşayabilir, bu da karşılaştırmalı avantajı etkileyebilir. Bu durumda; hükümetler, firmaları farklı yatırım kararları almaya, daha fazla çaba sarf etmeye veya planları daha hızlı uygulamaya teşvik edebilir (Groenewegen, 2000).

Sanayi politikası, hükümetlerin piyasalara müdahale etmeyi tercih ettiği durumlarla ilgilendir. Bu müdahaleler, ekonomik gelişme, rekabet avantajı ve istihdam gibi hedeflere ulaşmayı amaçlar. Ancak, bu politikaların etkili bir şekilde uygulanması, dikkatli planlama, analiz ve dengeleme gerektirir. İyi tasarlanmış bir sanayi politikası, hem ekonomik aktörleri desteklemek hem de genel refahı artırmak için önemli bir araç olabilir. Ancak, sanayi politikası yoluyla hükümet müdahalelerinin başarısız olduğu ve bunun çoğu ülkede resmi ekonomik söylemden fiilen yasaklandığı bir duruma yol açtığı birkaç örnek vardır. Bu nedenle, sanayi politikasının en iyi politika olmaması ideolojisi doğurmuştur. Sanayi politikası, açıkça ayrımcılık yapan politikalarla bazı sektörleri diğerlerinden daha fazla kayırarak oluşturulmamalıdır. Bunun yerine, yatay politikaları benimsemeli ve ayrımcılık yapmadan uygulanmalıdır. (Moreno-Brid, 2013). Bir sanayi politikasının uygulanmasıyla ilgili kanıtlar, üretken yapının dönüşümünü sağlayarak sürdürülebilir ekonomik büyümeye yol açacağını göstermemektedir (Moreno-Brid, 2013).

Yaşantımızda, tüm uluslar sanayi politikasını kullanmaktadır, fakat bazıları diğerlerinden daha başarılı ve daha şeffaf bir şekilde uygulamaktadır (Ciuriak & Curtis, 2013). Gerçekten de, sanayi politikası, 2008-2009'daki küresel kredi sıkışıklığından dolayı, Kore ve Tayvan gibi Asya ülkeleri ve şimdi de Çin hükümetinin ekonomik politikalar ile kalkınmaları için ortak bir terim haline geldi. (Andreoni, Chang ve Scazzieri, 2018; Ciuriak ve Curtis, 2013).

Sanayi politikasının birçok faydası bulunmaktadır. Bunlardan ilki, çalışmayı korumak ve yerel talebi canlandırmak için bir araç olarak hizmet etmesidir. İkincisi ise, yeşil ekonomiyi amaçlamak için daha temiz teknolojileri ve daha verimli enerji kullanımını desteklemesidir.

Burada sorulması gereken soru, sanayi politikasının benimsenmekten öte nasıl uygulanması gerektiğidir. Altenburg ve Lütkenhorst (2015), sonradan gelişen ekonomilerde sanayi politikalarının nasıl başarılı bir şekilde uygulanabileceğine dair 7 temel ders belirlemiştir. Bu dersler:

- Siyasetteki kanaat önderleri, yeni rekabet avantajlarını geliştirmeyi hedefleyen ve ekonomiyi çeşitlendiren ulusal dönüşüm projelerinin uygulanması hususunda kararlı davranmalılardır.

- Dönüşüm projelerinin tahmin edilen veya mevcut karşılaştırmalı avantajlar üzerine kurulması ve geliştirmelerinin açıklanması gerekmektedir.
- Dönüşüm projelerinin sosyal yaşamı, çevresel hedefleri ve ekonomiyi dengelemesi gerekir
- Sanayi politikası, paydaşları ile birlikte ve uygulama, öğrenme ve etki ölçümü geri bildirimlerini sağlayabilen işbirlikçi bir deneysel öğrenme süreci olarak kurgulanmalıdır.
- Sanayi politikasının ana teması, analizlere yönlendirmek ve yeni fikirlere sahip çıkmak olmalıdır.
- Sanayi politikası, iş dünyası ve firmalar arasındaki bağları kuvvetlendirmelidir.
- Sanayi politikası, bölgesel ve uluslararası yatırım bağlantılarını ve ticareti özendirmeli ve kademeli olarak geliştirmelidir.

Dünya giderek kentleşiyor. 19. yüzyıldan 20. yüzyılın başına kadar kentsel nüfusun dünya nüfusunun %3 ila %14'ünü oluşturduğu göz önüne alındığında, nüfusun artık kentsel ve kırsal arasında eşit bir şekilde bölünmesi eşi görülmemiş bir durumdur (PRB, 2009). Birleşmiş Milletler'e göre, dünyanın kentsel nüfusunun 2050 yılına kadar yaklaşık 2,5 milyar artarak tüm küresel nüfusun %66'sına tekabül etmesi beklenmektedir (BM, 2014).

Sanayileşmenin temel katkı oluşturduğu ekonomik büyüme sayesinde, kentleşme %70 – 80 oranında büyüme gerçekleştirmiştir. (Bairoch ve Goertz, 1986). Ekonomilerin gelişmesiyle, tarımsal gelişme yerine daha çok sanayileşme ve hizmet temelli sektörlere yönelme eğilimleri artmaktadır. Bu durumda kentsel alanların büyümesine ve istihdam olanaklarının sanayi ve hizmet alanında yoğunlaşmasına neden olmaktadır.

Kentleşmedeki büyüme ile, seyahatlerdeki artış bu problemle başa çıkma sorununu ortaya çıkarmaktadır. Çevresel olumsuzluklar ve trafik yoğunluğunun bu durumla tek başına başa çıkılamayacağını ortaya koymuştur. Smeed'in (1968) gösterdiği gibi, karayolu ulaşımındaki en zararlı yön, yolcu başına gereken alanın sağlanamamasıdır. Bunun yanında şehirlerdeki özel araçların artışı trafiğe bir baskı oluşturmaktadır. Bu durumda trafikte araçların ilerleyememesi ve sonucunda yolculuk sürelerindeki uzaması meydana gelmektedir. (Mogridge, 1997). Bir de karayolu ulaşımı hava

kirliliğini arttıran en büyük etmendir. (Yu vd., 2009). Davis ve Hale'den (2007) elde edilen kanıtlar, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki toplu taşımanın, CO2 emisyonları ve kükürt hekzaflorür, hidroflorokarbonlar (HFC), perflorokarbonlar gibi sera gazları (GHG) seviyelerini azaltarak küresel ısınmayı azaltmaya katkıda bulunduğunu bulmuştur. Ayrıca bu çalışma toplu ulaşımın, daha az araçla seyahat edilmesine müsaade eden daha çok arazi kullanımını destekleme olanaklarına sahip olduğunu da ortaya koymuştur. Kısaca ifade edersek toplu taşıma sistemleri insanların seyahat ihtiyaçlarını karşılamak adına çok büyük bir önem taşımaktadır (Nash, 1976) ve bu durumun sürdürülebilirliğine çok büyük katkı sağlamıştır. (Newman ve Kenworthy, 1991).

Metrolar, artan kentsel seyahat talebini karşılamak için cazip bir çözüm sunarken, uygulamada önemli zorluklar vardır. Metrolar hem sermaye yatırımı hemde işletme maliyetleri açısından yüklü harcamalar getirebilmektedir. Çoğu şehirde, altyapıya yapılan ilk veya devam eden yatırımlar veya işletme maliyetlerini sübvans etmek için bir dereceye kadar kamu finansmanı gereklidir (Anderson ve diğerleri, 2012).

Sermaye katkısı için kullanılması hedeflenen kamu parasının dışında, metro sistemleri yerel nüfusun kullanabilmesi için uygun bir ücret seviyesinde olmalıdır. Bu yüzden kamu parasının desteğine ihtiyaç duyacaktır. Kamu parasına ihtiyaç ve endüstrinin pahalı olması sebebiyle büyükşehirler politik olarak göz önündedir ve araştırılmaktadır.

Metro sistemlerinin yasal olarak işletme yükümlülüklerini karşılaması için güvenli bir hizmet sunmalıdır. Bu yüzden metro sistemlerinin performansının ölçülmesi gerekmektedir. Fakat bu ölçümleme endüstrinin karmaşasından dolayı zorluklarla doludur. Kamuya ait paranın kullanımı ve özetlenen sebeplerden dolayı performans ölçümü daha zorlu bir hal almaktadır. Ayrıca metro işletmecileri için ulusal bir karşılaştırma kaynağı bulunmamaktadır. Bu sebeple uluslararası bir karşılaştırma gereği meydana gelmektedir.

1994 yılından beri Demiryolu ve Ulaşım Strateji Merkezi (RTSC), toplu taşıma işletmelerinin performanslarının uluslararası düzeyde analizinin edilmesi ve değerlendirilmesi konusunda büyük rol oynamaktadır.

RTSC' nin yürüttüğü araştırma, çok sayıda katılımcıya, uzun vadeli yaklaşımına ve uyumlaştırılmış veri toplanmasına atfedilen büyük etkisi ile hali hazırdaki metro kavramına büyük ölçüde katkı sağlamıştır. Kayda değer etkiler, zorlayan mali tasarruflara yol açan bakım ve sermaye harcamalarındaki iyileştirmeleri içerir (Melo vd., 2011, Anderson vd, 2009, Quddus vd, 2007, Schmcker vd, 2005, Hirsch ve Collins, 2002)



6. RAYLI SİSTEMLERDE VERİMLİLİK

Verimlilik, performansın önemli bir ölçüsüdür. Raylı sistemlerde verimlilik, ulaşım sisteminin verimli bir şekilde çalışmasını ve yolcuların veya yüklerin hedeflerine hızlı ve etkili bir şekilde ulaşmasını ifade eder. Literatürün, etkili ekonometrik çalışmaları ABD demiryollarını konu alan Klein (1953) ile başladığı görülebilir. Oum ve diğerleri gibi diğer araştırmacılar anketler sağladı (1992). Ulaşımında verimlilik ölçümünün kavramlarını, yöntemlerini ve amaçlarını tartışan ve verimliliğin ölçülmesinin nedenlerinin bir listesini belirleyen çalışmalar literatüre girmeye başladı. Daha sonra Oum ve ark. (1999), demiryolunda üretkenliği ve etkinliği ölçmek ve karşılaştırmak için alternatif metodolojilere odaklandı ve demiryolu verimliliğinde kullanılan ve çoğu metrolarla ilgili olan göstergelere iyi bir genel bakış sağlamıştır.

Verimlilik, birçok farklı faktörün bir araya gelmesiyle sağlanır. Bunlar;

- 1- Raylı sistemlerdeki araçların enerji tüketimini minimize etmek, verimlilik açısından önemlidir. Modern trenlerde, enerji geri kazanım sistemleri, regeneratif frenleme ve hafif malzemelerin kullanımı gibi teknolojilerle enerji verimliliği artırılmaktadır.
- 2- Raylı sistemlerin verimli çalışabilmesi için yeterli kapasiteye sahip olması önemlidir. Sistemin talebe uygun frekansta hizmet vermesi, yolcuların bekleme sürelerini azaltır ve hızlı ve düzenli bir hizmet sunar.
- 3- Raylı sistemlerde düzenli bakım ve işletme faaliyetleri, verimliliği artırır. Trenlerin ve hatların düzenli olarak kontrol edilmesi, aksaklıkların önlenmesine yardımcı olur. Ayrıca, işletme süreçlerinin iyileştirilmesi, seferlerin zamanında ve sorunsuz bir şekilde gerçekleşmesini sağlar.
- 4- Raylı sistemlerdeki sinyalizasyon ve kontrol sistemleri, trenlerin güvenli ve verimli bir şekilde seyahat etmesini sağlar. Bu sistemler, trenlerin hızlarını ve aralıklarını düzenler, çarpışmaları önler ve trafik akışını optimize eder.
- 5- Raylı sistemlerde yolcu konforu, verimlilik açısından önemli bir faktördür. Rahat koltuklar, iyi klima sistemi, temizlik, yolcu bilgilendirme sistemleri gibi unsurlar, yolcuların seyahat deneyimini iyileştirir ve tercih edilebilirliklerini artırır.
- 6- Raylı sistemlerin diğer ulaşım modlarıyla entegre olması ve transferlerin kolay yapılabilmesi verimliliği artırır. İyi planlanmış aktarma noktaları ve entegre

bilet sistemleri, yolcuların farklı ulaşım araçları arasında sorunsuz geçiş yapmalarını sağlar.

Bu faktörlerin birleşimi, raylı sistemlerin verimli bir şekilde çalışmasını sağlar. Ulaşım otoriteleri ve işletmeciler, sürekli olarak iyileştirmeler yaparak ve yeni teknolojileri benimseyerek raylı sistemlerin verimliliğini artırmaya çalışırlar.

6.1. Raylı Sistemlerin Performansını Etkileyen Faktörler

Verimlilik ve etkinlik düzeylerinin ölçülmesinin yanı sıra, literatürdeki önemli bir araştırma hedefi, performanstaki değişimleri açıklamaya yardımcı olan etkili faktörleri belirlemek için etkinlik tahminlerini kullanmaktır. Sutcliffe (2002) ve Mackett ve Sutcliffe (2003), kentsel raylı sistemlerin başarısının arkasındaki faktörlere genel bir bakış sunar. Önceki çalışmalara dayanarak, bir dizi kriteri analiz etmek için beş hedef setini birleştiriyorlar. Bu hedef setlerinin, sistemlerin temel amaçlarını ve gerekçelerini temsil ettiği varsayılmaktadır. Bu hedefler, yüksek patronaj elde etmek, uygun maliyetli bir sistem işletmek, toplu taşıma kullanımını artırmak, trafik sıkışıklığını ve çevre sorunlarını azaltmak, arazi kullanımını ve kentsel büyüme modellerini iyileştirmek olarak sıralanabilir.

Bunlardan, raylı sistemin verimliliğini etkileyen ana faktörler şunlardır:

- Kentsel alanın fiziksel özellikleri;
- Ekonominin durumu;
- İstihdam yeri ve perakende satış faaliyeti;
- Konut yoğunluğu;
- Şehrin şekli
- Kentsel alanın sosyo-ekonomik özellikleri;
- Güvenlik algıları;
- Yerel halk desteği;
- Sistemin gelir gruplarına göre konumu;
- Rota konumu;
- Büyüme alanı
- Maliyet;

- İşletim politikaları
- Sık hizmet verilmesi;
- Seyahat kartları, otobüslere ücretsiz transfer, bir miktar ücretsiz seyahat;
- Etkili pazarlama ve reklamcılık;
- Güvenlik personeli sağlamak;
- Ulaşım planlama politikaları;
- Sistemi bölge planlarına ve mevcut kentsel projelere entegre etmek;
- Gezi çekicilerde veya jeneratörlerde istasyonların konumlandırılması;
- Otobüs hizmetlerini entegre etmek;
- İstasyonlarda otopark sağlanması;
- Şehir merkezinde park yerinin kısıtlanması;
- Şehir planlama politikaları;
- Planların sisteme uyarlanması;
- Trans-oryantasyonlu gelişim için teşvikler sunmak;
- Ortak geliştirme projelerinin teşvik edilmesi;
- İstasyonlardaki kamu binalarının yerinin belirlenmesi;
- Yayalaştırılan caddeler;
- Şehir merkezi yeniden geliştirme projelerinin ve eylemlerinin yanı sıra kentsel yenileme projelerinin teşvik edilmesi.

Bu çalışmalar büyük ölçüde subjektif olmasına rağmen, bugüne kadar özel olarak metropoller için oldukça kıt olan daha titiz ampirik çalışmalar için dikkate alınması gereken sağlam bir faktör yapı taşı sağlarlar.

7. LASTİK TEKERLEKLİ RAYLI SİSTEM

Lastik tekerlekli raylı sistem araçları farklı yüksekliklerdeki hatlarda tamamen otomatik ve sürücüsüz de çalışabilen modern toplu ulaşım sistemleridir. Yüksek sürdürülebilirlik için evrensel tasarım uygulanıp geliştirilen araçlar, lastik tekerlekli bojiler vasıtasıyla kılavuz hatları üzerinde çalıştırılmaktadır. Kılavuz yol, kendi işlevinin yanı sıra araçlara fiziksel olarak destek de sağlamaktadır. Dünyada kurulan bazı lastik tekerlekli metro sistemlerinde yol ile demiryolu teknolojisi birlikte kullanılmıştır. Bu sistemlerde araçlar hem lastik tekerleklerle hem de geleneksel çelik tekerleklerle sahiptir. Çelik tekerlekler yedek pozisyonundadır ve lastik tekerleklerin arızalanması ya da demiryolu hattının değişimi söz konusu olduğunda devreye girmektedir. Lastik tekerlekli trenler çoğunlukla üzerinde işletileceği sisteme özel tasarlanır.

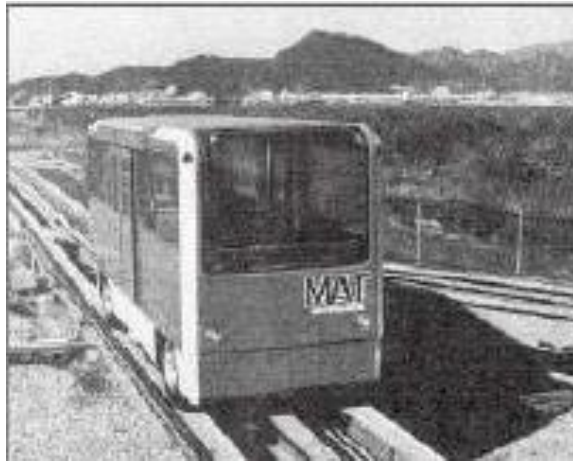


Şekil 7.1..Lastik tekerlekli raylı sistem yol yapısı (mitsubishi verisi)



Şekil 7.2. Singapur'da Lastik Tekerlekli Raylı Sistem Aracı (Rail Sistem, 2023)

İlk olarak 1951'de Fransız mühendis Jean Bertin tarafından geliştirilen "Aérotrain" adlı prototip, lastik tekerlekler üzerinde hareket eden bir hava yastığı sistemi kullanıyordu. (Şekil) Bu sistem, yüksek hızlı ulaşım için yeni bir potansiyel sunuyordu. 1970'lerde Japonya, lastik tekerlekli raylı sistemlere büyük bir odaklanma gösterdi. Bu dönemde, Shinkansen hızlı trenlerine ek olarak, Japonya'da lastik tekerlekli raylı sistemlerin farklı versiyonları da geliştirildi.



Şekil 7.3. İlk Lastik Tekerlekli Sistem (Alamy, 2010)

Özellikle, otomobil endüstrisindeki ilerlemeler ve lastik teknolojisindeki gelişmeler, lastik tekerlekli raylı sistemlerin popülerliğini artırdı. Sonraki yıllarda, lastik tekerlekli raylı sistemlerin dünya genelinde kullanımı arttı. Özellikle şehir içi ulaşım sistemlerinde ve havaalanı bağlantılarında tercih edilmektedir. Lastik tekerlekli raylı sistemler, hızlı, sessiz, çevre dostu ve konforlu bir ulaşım seçeneği sunmaktadır. Bugün, farklı ülkelerde birçok lastik tekerlekli raylı sistem bulunmaktadır. Örnek olarak, Fransa'da "VAL" (Véhicule Automatique Léger), Almanya'da "H-Bahn" ve Japonya'da "New Shuttle" ve "People Mover" gibi sistemler sayılabilir. Ayrıca, lastik tekerlekli raylı sistemlerin hala geliştirilmeye devam edildiği ve gelecekte daha fazla yaygınlaşacağı öngörülmektedir.

Aşağıdaki çizelgede anlaşılabacağı üzere Lastik tekerlekli elektrikli araçlar, dünya genelinde pek çok ülkede geçmişten bugüne yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çizelge 7.1. Lastik tekerlekli elektrikli araçlar kullanımı tarihsel gelişimi

	ÜLKE	SİSTEM	YIL
1	Fransa	Paris Metro	1958
2	Kanada	Montreal Metro	1966
3	Meksika	Mexico City Metro	1969
5	Şili	Santiago Metro	1975
6	USA	Morgantown Personal Rapid Transit	1975
8	Fransa	Lyon Metro	1978
10	Japonya	Kobe New Transit	1981
11	Japonya	Yukarigaoka Line	1982
12	Fransa	Lille Subway	1983
15	USA	Miami Metromover	1986
16	İngiltere	Gatwick Terminal- Rail Shuttle	1988
17	Japonya	Yokohama Kanazawa Seaside Line	1989
18	Japonya	Kobe Rokko Liner	1990
19	Fransa	Paris Orly Airport	1991
20	İngiltere	Essex APM	1991
22	Fransa	Toulouse Subway	1993
24	Almanya	Frankfurt Skyline	1994
25	Japonya	Tokyo Yurikamome Line	1995
28	Çin	Hong Kong APM	1998
29	Malezya	K.Lumpur Aerotrain	1998
30	Singapore	Bukit Panjang HRS	1999
31	Fransa	Rennes Subway Line a	2002
32	Singapore	Sengkang HRS	2002
33	USA	San Francisco Air Train SFO	2003

34	Singapore	Punggol HRS	2004
37	Japonya	Nippori Toneri Liner	2008
38	Taiwan	Neihu Rapid Transit Line	2009
39	Çin	Zujiang New Town APM	2010
40	Kore	Busan Subway Line 4	2011
41	Kore	Uijeongbu Subway	2012
42	BAE	Dubai Uluslararası Havalimanı APM	2013
43	Japonya	Yurikamome Line	2014
44	Macau	Macau HRS	2016
45	Fransa	MP 14 Paris Metrosu	2020
46	Fransa	Rennes Subway Line b	2022

Maliyet etkinliği, yeni toplu taşıma sistemlerinin başarılı olup olmadığını ve bunları inşa etmeye değip değmeyeceğini belirlemek için çok sık kullanılan bir göstergedir. Ücret gelirlerinin yolcularla karşılaştırılmasının yanı sıra, ücret gelirinin işletme maliyetine oranı da finansal performansı ölçmenin önemli ve çok yaygın bir yöntemidir. Ayrıca, Kuzey Amerika sistemleri için çok yaygın olan operasyon için kamu sübvansiyonu, Birleşik Krallık'taki Merkezi Hükümet politikaları tarafından kesinlikle önerilmemektedir. Kuzey Amerika sistemleri arasında San Diego Trolley, işletme maliyetinin %68'ini geri kazandığı için başarılı görünürken, diğer Amerikan sistemlerinde bu oran %50'nin altındadır. Gerçekten de San Diego Trolley, özellikle sistemin bugünkü kadar kapsamlı olmadığı ilk işletme yıllarında çok uygun maliyetli bir sistem olmuştur. Ayrıca, patronajla ilgili olarak sermaye maliyetinin analizi, kentsel demiryolu yatırımlarının finansal performansını ölçmenin yaygın bir yöntemidir. İkinci olarak, yolcu başına işletme maliyeti seçilmiştir çünkü bu gösterge aynı zamanda sistemlerin maliyet etkinliğini ölçmek için de sıklıkla kullanılmaktadır. Personel başına yolcu sayısı, işletme maliyetine oldukça benzer bir ölçü olduğu için göstergelerden biri olarak dahil edilmemiştir: personel maliyeti genellikle toplam işletme maliyetindeki en yüksek maliyet bileşenidir. Gerçekten de, yolcu başına işletme maliyetinde sistemlerin performansına ilişkin gözlemler, personel-yolcu oranındakilere oldukça benzer. Yolcu başına ücret geliri ve ücret karşılama oranı da bir ölçüde birbirine benzer ve aralarından ikincisi seçilir (Clark, 2012).



Şekil 7.4. Lastik Tekerlekli Raylı Ulaşım Sistemlerine Bir Örnek (Living Nomads, 2023)

Lastik tekerlekli raylı sistemi, yüksek tırmanma ve iniş kabiliyeti sayesinde eğimli topoğrafyada kolaylık sağlamaktadır. Parçalı vagon yapısı, mevcut şehir planına uyumlu manevra kabiliyetini artırmaktadır. Araçlar dönemeçleri hız kesmeden alabilmektedir. Hem yeraltından hem yerüstünden seferler yapılması mümkündür.

Lastik tekerlekleri sayesinde diğer sistemlere göre araçların daha hızlı ivmelenebilmesi ve daha kısa fren mesafesine sahip olması, tren seferlerinin daha sık yapılabilmesine olanak tanımaktadır (Dunphy, 1997). Bu sayede hattın günlük yolcu kapasitesi önemli miktarda artmaktadır.

Gürültüsüz ve titreşimsiz olduğu için daha konforlu bir ulaşım imkanı sunan bu sistem, hat yollarındaki bakım ihtiyacının ve maliyetinin düşük, kaza riskinin sıfır olması gibi avantajlara sahip olmasının yanı sıra, elektrik enerjisi kullanımı sayesinde de çevre dostudur. Tek aks ve iki ana lastik tekerlekli basit boji sistemi ile arızalara karşı güvenli ve güçlü bir yapı sağlanırken titreşimin sistem içi iletimi azaltılır ve bu sayede konforlu bir yolculuk sağlanmış olur.

Çizelge 7.2. Lastik Tekerlekli Sistem ve Çelik Tekerlekli Sistem arasındaki fark

	(*) Lastik Tekerlekli Sistem		(**) Çelik Tekerlekli Sistem	
Vibrasyon	2.3 Hz $\geq$	Düşük titreşim ve gürültü	2.5 $\geq$	Rayın yanında oluşan titreşim ve gürültü
Ses	75 dB $\geq$ gıcırtı sesi yok		85 dB $\geq$ gıcırtı sesi var	

(*) Lastik Tekerlekli Sistem verileri Woojin tarafından elde edilmiştir.

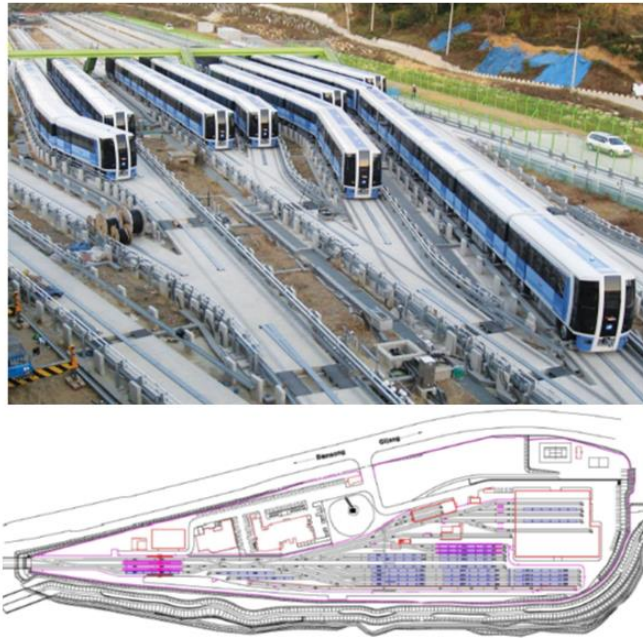
(**) Çelik tekerlekli sistem verileri Atik,2010.

Lastik Tekerlekli Raylı Sistem araçları, yüksek eğimleri tırmanma kabiliyetine sahip olup, şehir içi metro sistemleri için de idealdir. Bu özelliği sayesinde, yeraltı metrolarında da yaklaşım tünel boylarının kısaltılması, istasyon derinliklerinin optimize edilmesi sağlanarak yatırım maliyetleri minimize edilmiş olacaktır. Örneğin, Paris metrosunun Sen nehri yakınlarında topografik koşullardan dolayı tünelden havai hattına geçmesi, lastik tekerlekli sistemin sağladığı avantajlardan dolayı gerçekleşebilmiştir. Kılavuz rayları sayesinde 30 m yarı-çaplı keskin kurplarda, yolculuk emniyeti ve konforu azalmadan, dönüş sağlanabilmektedir. Kılavuz raylar, yoldan çıkmayı (derailment) önler. Çelik tekerlekli raylı sistemlerin (metro ve hafif raylı sistem) minimum kurp yarıçapı 250 metredir. Minimum kurp uygulandığında yolcu konforu oldukça düşmektedir (Dundar, 2009).

Sade boji yapısı sayesinde araç bakımı, herhangi bir yükselticiye gerek kalmadan yüzeyde yapılabilir. Boji üzerindeki parça değişimleri için, boji araç gövdesinden ayrılmadan yapılabilir. Basit tamir bakım yeri kullanımı ve uzun metro araçlarına kıyasla 12 m uzunluğundaki parçalı vagon yapısı sayesinde çelik tekerli sistemlere nazaran Lastik Tekerlekli Sistemin daha az m²'de depo ihtiyacı oluşur.



Şekil 7.5. Lastik tekerlekli raylı Sistem Araçlarında Bakım (Woojin, 2019)



Şekil 7.6. Busan Metrosu depo alanı (Woojin verisi, 2019)

Kaliteli lastik teker ve düz beton birleşimi sayesinde Lastik Tekerlekli Sistem, çelik tekerlekli sistemlere nazaran daha az gürültülü ve titreşimli bir işletme sağlar. Karayollarının ve demiryollarının gürültü oluşturma seviyeleri aynı olsa bile demiryolları daha az rahatsızlık vermektedir. Bunun başlıca sebebi demiryollarında düzenli ve aralıklı seyirlerinin olması böylece bir süre gürültüden dinlenme olanağının sağlanmasıdır. Geniş lastik yüzeyi ve kılavuz rayları sayesinde devrilme açısı sınırı yüksektir. Bundan dolayı lastik tekerlekli sistem daha stabil hareket edebilirken çelik tekerlekli sistemde dalgalanmalar olmaktadır.

Lastik Tekerlekli Raylı Sistem araçları, üçüncü raydan alınan elektrik enerjisi ile çalışır. Tüm elektrikli tahrik sistemine sahip araçlar Frenleme/ Duruş sırasında atık jeneratif enerji açığa çıkartır. Lastik Tekerlekli Raylı Sisteminin sahip olduğu elektro mekanik ekipman (TPS-Traction Power System) sayesinde açığa çıkan enerjiyi toplayarak, bu toplanan enerjiyi kalkış sırasında araçların ihtiyaç duyduğu ilave demeraj akımı olarak kullanır. Her araç, tek cer motoruyla çalıştırılmakta olup, enerji tüketimi asgari düzeyde tutulmaktadır. Bu sebeplere bağlı olarak enerji sarfiyat maliyetleri diğer sistemlere göre düşük düzeyde olmaktadır.

Raylı sistemlerde makas sistemlerinin inşaat aşamasındaki maliyeti oldukça önemli bir kalemdir. Çelik tekerlekli araçlarda oldukça ağır ve karmaşık bir makas motor yapısı mevcuttur. Lastik Tekerlekli Raylı Sistem araçlarında ise, basit tahrik sistemi ile yön değiştiren kılavuz ray, araca makas hareketi sağlar.

Lastik Tekerlekli Raylı Sistem araçlarının elektrik tüketimi çelik tekerlekli araçlara göre aşağıdaki çizelgede görüldüğü üzere daha azdır. Bu da, Lastik Tekerlekli Raylı Sistem araçlarının tasarım özelliklerinden kaynaklanmaktadır:

Çizelge 7.3. Sistemlerin işletme maliyetlerinin karşılaştırılması

	Lastik Tekerlekli Raylı Sistem	Metro	HRS	Tramvay
Referans Hattı	<i>Busan Metro Line 4</i>	<i>Ankara-Metro</i>	<i>Ankaray</i>	<i>İstanbul T1 Hattı</i>
Enerji Birim Maliyeti (€/Araç-km)	0,20	1,78	1,70	0,30
Bakım-Onarım Birim Maliyeti (€/Araç-km)	0,30	0,30	0,51	0,30

* Lastik Tekerlekli Raylı Sistem birim maliyetleri, tarafımca mail yoluyla Koreli Woojin firmasından temin edilmiştir.(2019)

*Metro ve HRS verileri EGO işletmesinden temin edilmiştir.(2019)

*Tramvay verisi Metro İstanbul işletmesinden temin edilmiştir. (2019)

Kore'nin iş gücü maliyeti ve elektrik maliyeti ülkemize göre yüksek olmasına rağmen Lastik Tekerlekli Raylı Sistemin, diğer sistemlerden daha avantajlı olduğu görülmektedir.

Çizelge 7.4. Sistemlerin işletme maliyetlerinin karşılaştırılması 2

Sistem	Hat	Mesa fe (km)	Yolcu Sayısı (bin kişi / gün)	Enerji Tüketimi (Kw/Yıl)	Enerji Maliyeti (Mіл.JPY/ Yıl)	Bakım Maliyeti (Mіл.JPY/ Yıl)	Km başına Bakım Maliyeti
Lastik Tekerle kli Raylı Sistem	Tokyo Yurikamo me	14.7	106	10.383.138	126	405	59
Çelik Tekerle kli Raylı Sistem	Tokyo Rinkai Line	12.2	202	41.909.767	547	952	114

* Referans: 2009 Arazi, Altyapı ve Turizm Bakanlığı, Japonya / Demiryolu Statik

7.1. Mexico Metrosu



Şekil 7.7: Mexico Metrosu Haritası (Wikipedi)

Mexico City Metrosu, ortaya çıkan düğüm istasyonlarında yolcu transferi gerektiren üç bağlantısız hattan oluşur. Hatların toplam uzunluğu 40,8 km'dir (25,3 mil). 2 numaralı hat, yüzeyde 12,6 km (7,8 mil) olup, tünelde toplam 28,2 km (17,5 mil) bırakmaktadır. Deprem sorunları nedeniyle hareket yüzeyi beton yerine çeliktir.



Şekil 7.8. Mexico Metrosu (Vikipedi)

Trenler yoğun saatlerde 2 dakika 25 saniye ve yoğun olmayan saatlerde 4 dakikalık bir ilerleme hızında çalışıyor. Gelecek planları, en yoğun saatlerde ilerlemeyi 90 saniyeye indirmeyi gerektiriyor, ancak mevcut demiryolu taşıtı eksikliği bu daha kısa yolun kullanılmasını engelliyor.

Sistem şu anda tren başına 2.300 yolcu taşımaktadır. 2 dakika 25 saniyelik mevcut güzergahta, saatte 57.000 yolcu bağlantı hacmi kapasitesine tekabül etmektedir. İlerleme mesafesinin 90 saniyeye düşürülmesi ile ortaya çıkan teorik bağlantı hacmi saatte neredeyse 90.000 yolcu olacaktır.

Sistem için maksimum hız, operatör tarafından sağlanan 45 km/sa'dir. Spesifikasyon istasyon bekleme süreleri minimum 10 saniye ve maksimum 30 saniyedir, operatör tarafından manuel olarak kontrol edilir.

Vagonlarda büyük bir bakım sırasında lastikler araç gövdesinden ayrılır. Lastikler tamamen demonte halde; daha sonra tüm araç, süreçteki tüm aşınmış parçalar ve bileşenler değiştirilerek yeniden monte edilir.

7.2. Montreal Metrosu



Şekil 7.9. Montreal Metrosu Haritası (rayhaber)

Montreal Metrosu, birçok açıdan Mexico City'ninkine benzemektedir. Bununla birlikte, bazı önemli farklılıklar vardır. Montreal'de koşu yüzeyi çelik yerine betondur. Her dokuz vagonluk trende iki kişilik bir mürettebat vardır (trenin önünde bir operatör ve arkada bir kondüktör). İletken tarafından gerçekleştirilen ana işlev, kapıların açılıp kapanmasıdır.

Yol yatağının değişen yüksekliği, parkurun bir kısmının kıyı modunda yapılmasına izin verir. Bu prosedür, yüzde 10 ila 12 arasında bir güç kullanımı tasarrufu sağlamaktadır. Lastik tekerlekler, bu tür operasyonlarda gerekli olan yokuş tırmanışına izin verdiği için seçilmiştir. Ek olarak, lastik lastiklerin üstün yapışması nedeniyle tüm akslara güç verilmesi gerekmez.



Şekil 7.10. Montreal Metrosu (MetroGuides, 2023)

7.3. Sapporo Hızlı Transit Demiryolu Sistemi



Şekil 7.11. Sapporo Metrosu Haritası (Sapporo, 2023)

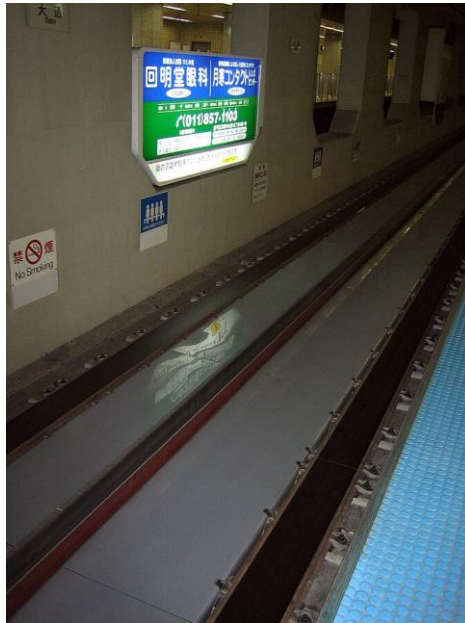
Fiziksel olarak, sistem Mexico City ve Montreal Metrolarından oldukça farklıdır. Örneğin, araçları merkezden mafsallı ikili ünitelerdir. Hibrit destek sisteminde üç adet tek dingilli elektriksiz yönlendirme bojisi ve iki adet çift dingilli tahrikli lastik bulunur.

Yüzeye çıktığı kılavuz yolu, metal ve cam bir mahfaza ile hava koşullarından tamamen korunmaktadır.



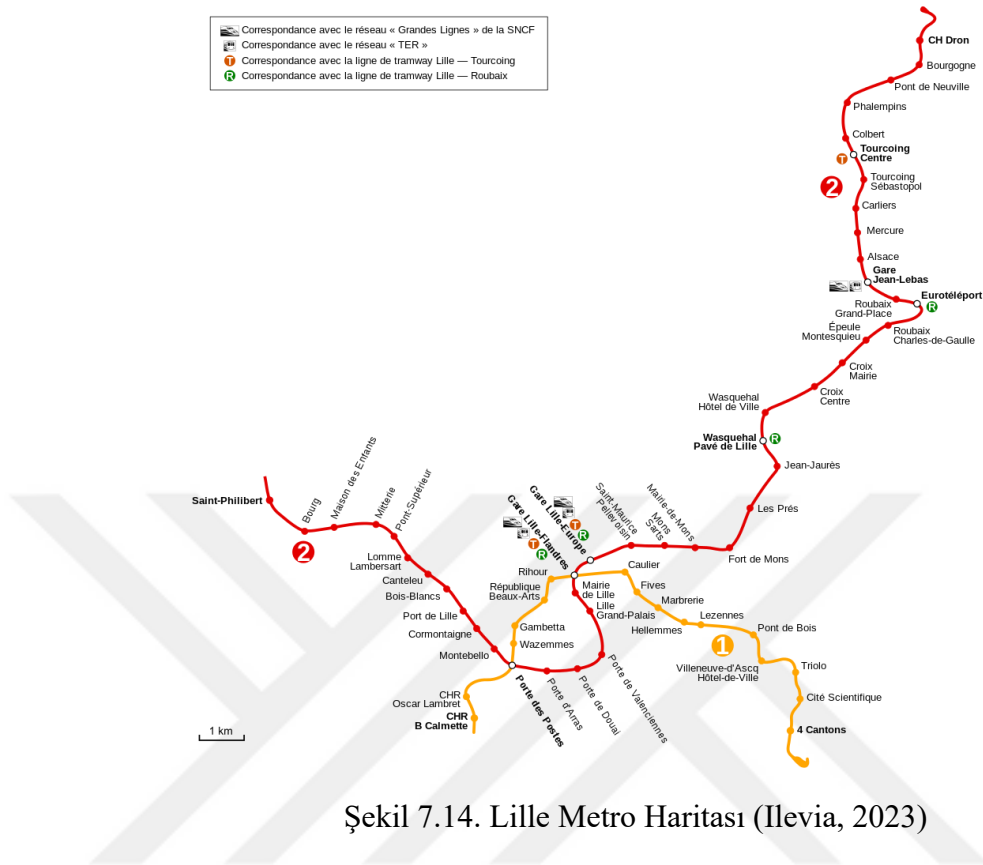
Şekil 7.12. Sapporo Metrosu (IStock, 2018)

Operasyonel olarak, mevcut sistem bir şekilde Montreal Metrosuna benzer, çünkü her trenin iki kişilik bir mürettebatı, ön uçta bir operatörü ve arkada bir kondüktörü vardır. Yeni hatlarda otomatik tren işletmeciliği (ATO) devreye alınacak, kondüktörlük ortadan kalkacaktır. Pik saat talebi her yönde 50.000 yolcudur. Sefer sıklığı 5 dakikadır.



Şekil 7.13. Sapporo Metro kılavuz ray yolları (Wikipedi)

7.4. Lille Metrosu



Şekil 7.14. Lille Metro Haritası (Ilevia, 2023)

Fransa'da bulunan Lille Metrosu'nda VAL (Véhicule Automatique Léger) araçları kullanılmaktadır. VAL, Fransız bir şirket olan Matra ve daha sonra Siemens tarafından geliştirilen bir otomatik kılavuzlu taşıt sistemidir. Lille Metrosu, VAL araçlarıyla tamamen otomatik olarak işletilen bir metro ağıdır. VAL araçları, lastik tekerlekler üzerinde hareket eden ve özel olarak tasarlanmış raylarda ilerleyen elektrikli trenlerdir. Bu sistem, yolcuların hızlı ve sık seferlerle şehir içinde kolayca hareket etmelerini sağlar. VAL araçları, tam otomasyon sistemine sahip oldukları için sürücü gerektirmez. Lille Metrosu, VAL araçlarının kullanıldığı dünyanın en eski otomatik metro sistemlerinden biridir. İlk olarak 1983 yılında hizmete girmiştir ve zaman içinde genişletilerek bugünkü 2 hattı ve 60'dan fazla istasyonu ile hizmet vermektedir. VAL araçları, Lille Metrosu'nda verimli ve güvenilir bir toplu taşıma sistemi sağlamak için tasarlanmıştır. Yolculara yüksek kapasite, düşük bekleme süreleri ve hızlı seyahat imkanı sunarlar. Ayrıca, VAL araçları çevre dostu bir seçenek olarak kabul edilir, çünkü elektrikle çalışır ve emisyonları azaltır. Bu bilgilere dayanarak, Lille

Metrosu'ndaki VAL araçlarının hızlı, güvenilir ve otomatik bir toplu taşıma seçeneği olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 7.15. Lille metrosunda kullanılan Lastik tekerlekli araçlar(vikipedi)

7.5. Crystal Mover ve Urbanismo

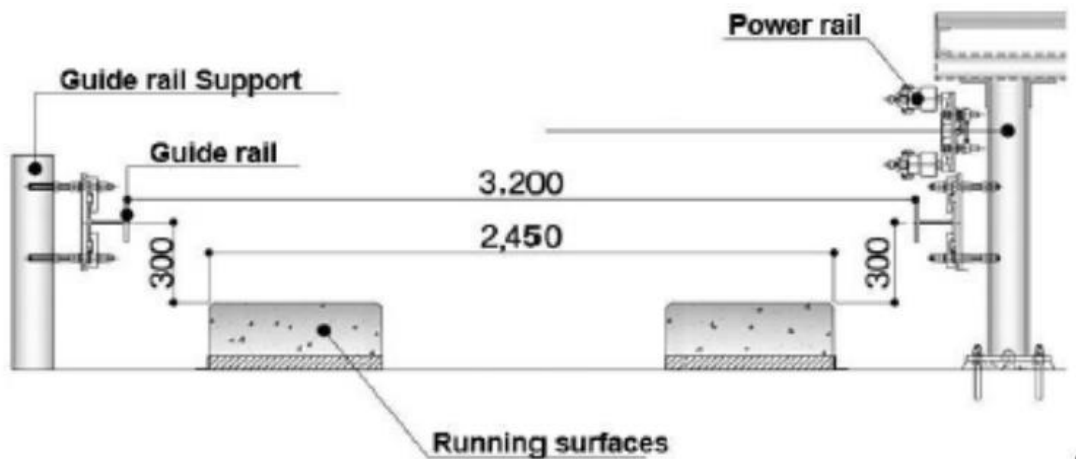
Crystal Mover , Japonya'nın Mihara kentindeki Mitsubishi Heavy Industries (MHI) Mihara Machinery Works'te üretilen, havaalanı ve toplu taşıma uygulamaları için lastik tekerlekli otomatik insan taşıma sistemidir . Başlangıçta Japon APM (otomatik insan taşıma sistemi) standardını temel alan Crystal Mover, Çin , Japonya , Singapur , Güney Kore , Birleşik Arap Emirlikleri, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki otomatik kılavuzlu geçiş sistemlerinde kullanılmaktadır .2010'lardan beri MHI, Crystal Mover'ın benzeri olarak Urbanismo markalı yeni bir lastik tekerlekli raylı sistemleri ailesi kuruyor ve teslim ediyor . Urbanismo , 120 km/s azami hıza sahip "Urbanismo Super AGT" adlı daha yüksek hızlı bir model ile "Urbanismo-22", "Urbanismo-18" ve "Urbanismo-16" adlı üç özelleştirilebilir modelden oluşur. Brüt ağırlık sırasıyla 22, 18 ve 16 tonun üzerindedir. (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. Global Web Sitesi)

8. LASTİK TEKERLEKLİ RAYLI SİSTEMLERDE PERFORMANS VE VERİMLİLİK ÖLÇÜTLERİ

Bu ölçütler, lastik tekerlekli raylı sistemlerin performansını ve verimliliğini değerlendirmek için kullanılan bazı temel faktörlerdir. Her ölçüt, bir AGT sisteminin etkinliğini ve kullanılabilirliğini belirlemek için birlikte dikkate alınmalıdır.

8.1. Güvenilirlik

Güvenilir bir sistem, kullanıcıların sistemine olan güvenlerini artırır. Lastik Tekerlekli Raylı Sistemleri, yönlendirme sistemi yatay kılavuz yöntemi kullanılarak raydan çıkma olasılığını ortadan kaldıracak şekilde tasarlanmıştır. Bir kılavuz yöntemi olarak, kılavuz çubukların her iki ucuna yerleştirilmiş kılavuz tekerlekler, araçları kılavuz raylar boyunca yönlendirir. Tüm boji, kılavuz yolundaki eğrilere uyum sağlamak için merkezi bir pivot noktası etrafında serbestçe dönebilir. Bojinin ileri ve geri kılavuz tekerlekleri önceden yüklenmiştir, böylece her zaman kılavuz kirişlerle temas halindedirler, böylece pozitif yanal konum sağlarlar. Kılavuz tekerleklerin kılavuz raylar boyunca araçları yönlendirme şekli, kılavuz yol ile sürekli bir temasa neden olur. Sonuç olarak, aşınma ve mukavemet göz önünde bulundurularak poliüretan uygulaması gereklidir. Konik makaralı rulmanlar kılavuz tekerlekleri destekler.



Şekil 8.1. Lastik tekerlekli raylı sistem hat yapısı ve bileşenleri (Woojin Firması, 2022)

Yatay yönlendirme ve anahtarlar aracılığıyla yönlendirme farklı bir konsept tarafından sağlanır. Destek lastiklerinden biraz daha küçük çaplı flanşlı, çelik, demiryolu tipi tekerlekler, her bir lastiğin hemen iç kısmındaki dingile monte edilmiştir. Anahtar geçiş işlemi sırasında, lastik tekerlek çalışma yüzeyinin alçaltılmış yüksekliği, bu flanşlı tekerleklerin geleneksel tip bir demiryolu makasının raylarına temas etmesine neden olur ve yönlendirme normal çelik tekerlek, çelik ray şeklinde sağlanır. Bu çelik jantlar ayrıca destek bölümünde bir acil durum desteği işlevi de sağlar.

8.2. Lastik Ömrü

Metro sistemlerindeki hızlar 70 km/sa ile sınırlandırılmıştır. Bu hızlarda, bu sistemlerin deneyimi, 240.000 ila 320.000 km bir lastik ömrüne işaret ediyor. Örneğin Sapporo'da, metro rayında otobüs lastikleri kullanıldığında, ömürlerinin 77.000 km olan normal yol ömründen 217.000 km yol ömrüne, yani neredeyse yüzde 300'lük bir artışa uzatılmasıdır. Transit kızak işletimi için lastik ömründeki büyük artışlar, hareket yüzeyinin üstün durumu ve hızlanma ve frenlemenin daha düzenli ve kontrollü koşulları nedeniyle şaşırtıcı değildir. (Reuben Morris Juster, Master of Science, 2013) Orta kapasiteli sistemler için deneyim ve tahminler, lastik ömrü kapasitesinin 80.000 ila 160.000 km arasında olduğunu göstermektedir. 24 saat kesintisiz çalışan Westinghouse Sea-Tac sistemi, 64.000 ila 96.000 km lastik ömrüne sahiptir.

Orta kapasiteli sistemlerle ilgili bugüne kadarki deneyimin, 50 km/sa veya daha düşük hızlardaki işlemlerle sınırlı olduğuna dikkat edilmelidir. Ayrıca, sistemlerin birçoğu şu anda yaklaşık 60 km/sa hızlarla sınırlı olan köpük dolgulu lastikler kullanmaktadır. Ek olarak, bu köpük dolgulu lastiklerin sürüş kalitesi üzerinde olumsuz ve belki de kabul edilemez bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur.

Yüksek kapasiteli sistemlere, lastik basıncı kaybı için sık sık kontrol yönteminin dahil edilmesi gerekir. Bu ihtiyaç, örneğin tespit edilemeyen bir patlama nedeniyle lastik basıncı kaybının ardından çalışmaya devam etmenin ciddi sonuçlarından (örn. yangın) kaynaklanmaktadır. Bir araç bir istasyona her vardığında lastik basınçları otomatik olarak kontrol edilir. Bazı orta kapasiteli sistem üreticileri de böyle bir kontrol kabiliyetine ihtiyaç duyulduğunu belirtmişlerdir.

Bir lastiğin patlaması durumunda acil durum desteği sağlamanın çeşitli yolları belirlenmiştir:

- Her aks ucunda çift lastik
- Çift dingilli bojiler
- Çift odacıklı tek lastikler
- Lastiğin iç tarafındaki çelik jant
- Merkez kılavuz kiriş flanşı üzerinde çelik tekerlek

Mevcut köpük lastiklerin maksimum hız kapasitesi 50 ila 60 km/sa'dır. Bu lastikler muhtemelen yaklaşık 75 ila 80 km/sa maksimum hız potansiyeline sahiptir. Bu tip şu anda Kawasaki KCV aracında kullanılmaktadır. Bu lastikler hem köpükle doldurulmuş hem de pnömatik olarak basınçlandırılmıştır. Pnömatik lastiğin daha yüksek hız kapasitesine ve basınç kaybı durumunda köpük dolgulu lastiğin düşük hız desteğine sahiptirler.

Lastik tekerlekli Sistemler araştırmasından kaynaklanan en büyük belirsizliklerden biri, yüksek hız kapasitesidir. Operasyonel yüksek ve orta kapasiteli Sistemler ve geliştirilmekte olan sistemler genellikle 70 ila 80 km/sa arasındaki hızları kullanmaktadır. Daha yüksek hızın belirsizlikleri, esas olarak lastik ömrü ve sürüş kalitesi ile ilgilidir.

Sapporo Metrosu ve Japon insan taşıma kılavuz yollarının çoğu, iki hareketli döşeme arasına yerleştirilmiş bir Merkezi kılavuz kiriş ile Westinghouse kılavuz yoluna benzer. Japon kılavuz rayları çoğu çelikten yapılmıştır. Yağmurlu ve buzlu koşullarda çekiş kaybı gibi sert hava sorunlarından kaçınmak için, Sapporo kılavuz yolunun açıkta kalan kısmının tamamı metal ve cam bir örtü ile kapatılmıştır. Sisteme binerken herhangi bir olumsuz görsellik veya yönelim bozukluğu sorunu yaşanmamıştır.

VONA ve MAT kılavuz rayları, şimdiye kadar sadece test yollarında somutlaştırıldığı şekliyle çelikten yapılmıştır, ancak VONA test hattının bir kısmı test amacıyla betondan yapılmıştır. İmalat ve montaj ve doğruluk, bu kılavuz rayları (hem çelik hem de beton) hareketli yüzeyleri, çekiş ve aşınma özelliklerini iyileştirmek için ince bir epoksi harç tabakası ile kaplanmıştır.



Şekil 8.2. Busan Metrosu

Şekilde gözüken Busan Metrosunda kullanılan Lastik tekerlekli raylı sistem aracı lastiğin iç tarafındaki çelik jant desteği kullanılarak sade, basit ve güvenli bir metod tercih edilmiştir.

8.3. Sürüş Kalitesi

Modern otomobil, yüksek düzeyde bir sürüş kalitesi oluşturmuş ve göstermiştir. Himaye için otomobille rekabet etmek zorunda kalacak olan modern toplu taşıma sistemlerinin, halkın iyi bir şekilde kabul görmesi için konforlu, yüksek kaliteli bir sürüş sergilemesi gerekir. Bu nedenle incelenen sistemlerin sürüş kalitesi özelliklerine dikkat edilmiştir. Bir yolcunun deneyimlediği sürüş kalitesi, aracın dinamiği ve süspansiyonu, lastikleri, yönlendirme, frenleme ve tahrik sistemleri tarafından dayatılan değişikliklerle araç-kılavuz arayüzü tarafından başlatılan rahatsızlıkların değiştirilmesinden kaynaklanır. Bu nedenle, herhangi bir sürüş kalitesi değerlendirmesinde hem araç hem de kılavuz yol dikkate alınmaktadır.

Lastik tekerlekli araçların süspansiyon ve esneme kabiliyeti raylı sistem araçlarına nazaran yüksek sönümlenme yeteneği gösterir. Bununla birlikte esnek bir yük aktarma kabiliyeti daima teknik ve mekanik raylı sistem araçlarından yumuşak, sessiz ve esnek olmuştur. Araç ihtiyacı olan süneklik kabiliyetini yoldan kaynaklanan vibrasyonu göğüsleyen lastik teker sessiz ve titreşimsiz bir yolculuk sunar.

9. LASTİK TEKERLEKLİ RAYLI SİSTEM VE DİĞER SİSTEMLERİN İNCELENMESİ

Ulaştırma yatırımları uzun dönemli etkileri olan yüksek maliyetli yatırımlardır. Bu nedenle, büyük altyapı projelerine ilişkin önceliklerin doğru belirlenmesi ve kısıtlı ekonomik kaynakların en fazla yarar getirecek şekilde kullanılması oldukça önemlidir. Sistemin seçilebilmesi için, sistemlerin uygulama kolaylığı, teknik yeterlik, altyapı yatırım, işletme ve bakım maliyetleri ve dışsal maliyetlerine göre kıyas yapılmıştır.

9.1 İşletme Maliyeti Karşılaştırması

Çizelge 8.1’de farklı sistemler işletme maliyetleri açısından birbiriyle karşılaştırılmıştır. Yıllık maliyetler belirlenirken 11.136.953 araç-km verisi kullanılmıştır.

Çizelge 9.1. Farklı sistemlerin işletme maliyetlerinin karşılaştırılması

SİSTEMLER	ENERJİ MALİYETİ		BAKIM-ONARIM MALİYETİ (Araç – Sistem – Temizlik)		PERSONEL MALİYETİ	
	BİRİM MALİYETİ (TL/ARAÇ-KM)	YILLIK ENERJİ MALİYETİ* (TL)	BİRİM MALİYETİ (TL/ARAÇ-KM)	YILLIK BAKIM-ONARIM MALİYETİ* (TL)	BİRİM MALİYETİ (TL/ARAÇ-KM)	YILLIK PERSONEL MALİYETİ* (TL)
Metro ¹	7,72	85.977.276	6,51	72.501.563	8,50	94.664.099
HRS ²	1,24	13.809.822	0,34	3.786.564	2,32	25.837.731
Monoray ³	0,95	10.580.105	1,26	14.032.561	-	-
Tramvay ⁴	1,33	14.812.147	1,28	14.255.300	5,23	58.246.263
LTM ⁵	0,74	8.241.345	2,75	30.626.620	2,28	25.392.252
Metrobüs ⁶	3,64	40.538.508	-	-	-	-

* Yıllık maliyetlerin hesaplanması: Karşılaştırılabilirlik açısından toplam 11.136.953 araç-km verisi kullanılmıştır.
REFERANSLAR

¹ M2 Yenikapı-Hacıosman Metro Hattı'na ait Metro İstanbul'dan temin edilen veri seti (29.07.2020). Enerji ve personel birim maliyetleri 2015-2019 yılları arasındaki toplam maliyetin yapılan toplam araç-km'ye oranlanması ile hesaplanmıştır. Bakım-Onarım birim maliyeti 2015-2019 yılları arasındaki ayrı ayrı verilen araç bakım ve sistem bakım giderleri toplamının toplam araç-km'ye oranından elde edilmiştir.

² M1 Yenikapı-Atatürk Havalimanı-Kirazlı Metro Hattı'na ait Metro İstanbul'dan temin edilen veri seti (29.07.2020). Enerji ve personel birim maliyetleri 2015-2019 yılları arasındaki toplam maliyetin yapılan toplam araç-km'ye oranlanması ile hesaplanmıştır. Bakım-Onarım birim maliyeti 2015-2019 yılları arasındaki ayrı ayrı verilen araç bakım ve sistem bakım giderleri toplamının toplam araç-km'ye oranından elde edilmiştir.

³ Hitachi,monoray Malesia ve Bombardier referans alınmıştır. Hat bakım maliyeti İnş. Müh. Enfal Anıl Çalış tarafından hazırlanan yüksek lisans tezinden alınmıştır (Erişim tarihi: 2019, Erişim linki: <https://polen.itu.edu.tr/bitstream/11527/16041/1/10133431.pdf>).

⁴ T1 Kabataş-Bağcılar Tramvay Hattı'na ait Metro İstanbul'dan temin edilen veri seti (29.07.2020). Enerji ve personel birim maliyetleri 2015-2019 yılları arasındaki toplam maliyetin yapılan toplam araç-km'ye oranlanması ile hesaplanmıştır. Bakım-Onarım birim maliyeti 2015-2019 yılları arasındaki ayrı ayrı verilen araç bakım ve sistem bakım giderleri toplamının toplam araç-km'ye oranından elde edilmiştir.

⁵ Çizelgelerde kullanılan Woojin'in Slim araç bilgileri kullanılmıştır.

⁶ İstanbul Metrobüs Sistemi'ne ait İETT'den temin edilen veri seti (06.08.2020). Enerji birim maliyeti 2019 yılı toplam akaryakıt tüketiminin, yapılan toplam km'ye oranlanması ile hesaplanmıştır (Dizel yakıt 2019 yılı ortalama litre fiyatı 6,30 TL olarak alınmıştır).

9.2. Yapısal Karşılaştırma

Yapısal olarak alternatif toplu taşıma sistemlerinin yolcu kapasitesi, araç ömrü, maksimum hız, araç ölçüleri gibi değişkenler üzerinden bir karşılaştırma yapılmış ve çizelgede gösterilmiştir.

Çizelge 9.2. Farklı sistemlerin yapısal karşılaştırılması

SİSTEMLER	Yolcu Kapasitesi SAAT/YÖN	Yolcu Yoğunluğu KİŞİ/ARAÇ	Araç Ömrü YIL	Maksimum Hız KM/SAAAT	Enerji Besleme Kaynağı	Araç Uzunluğu METRE	Araç Genişliği METRE	Araç Ağırlığı TON
Metro	40.000-100.000	293 (AW4)	30	80	3.RAY / KATENER	21,6	3,50	29,5
HRS	20.000-30.000	273 (AW3)	20	80	3.RAY / KATENER	23,2	2,65	30,0
Monoray	11.000-49.000	162 (AW4)	20	85	3.RAY	13,2	3,15	14,0
LTS	35.000-60.000	179 (AW4)	30	80	3.RAY	11,9	2,4	18,0
Tramvay	5.000 – 15.000	312 (AW4)	20	50	KATENER	28,6	2,65	40,3
Metrobüs	8.000-30.000	165	10	80	DİZEL	19	2,55	19,5

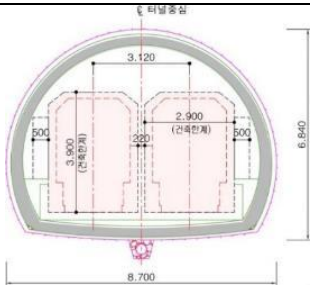
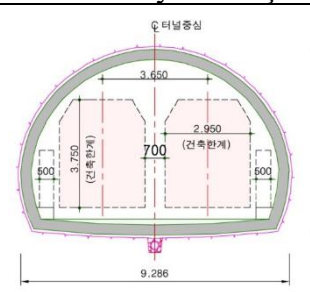
Yıllık araç bakım – onarım – temizlik gibi maliyetleri yüksek olsa da yıllık enerji ve personel maliyeti bakımından daha fazla avantaj sunan sistem Lastik Tekerlekli Sistemdir.

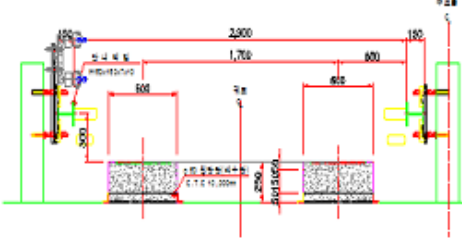
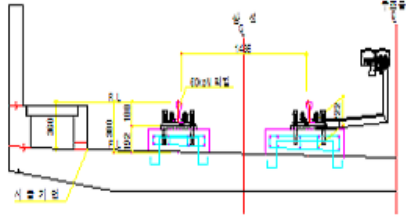
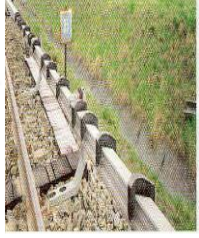
9.3 Hafif Raylı Sistem ve Lastik Tekerlekli Sistem Karşılaştırılması

Çizelge 9.3. Hafif Raylı Sistem ve Lastik Tekerlekli Sistem Karşılaştırılması

Kategori	Lastik Tekerlekli Sistem	Hafif Raylı Sistem
Dış görünüş		
Oluşum	3 vagon - 1 Tren	2 vagon - 1 Tren
Oluşum Boyutu (G×Y×U)	2.4*3.5*28.92	2.65*3.4*26.4
Maksimum Hız	80 km/sa	80 km/sa

Maksimum Eğim	%12	%4
Minimum Kurb Yarıçapı	30m	50m
Boji oluşumu		
Operasyon Yöntemi	Beton yolda lastik tekerlekler ile	Ray üzerinde çelik tekerlek
Özellikler	1. Tek dingilli boji - Kıvrılma ve tırmanmada avantaj - Daha düşük maliyetle basit bakım 2. Hafif - Enerji verimliliğinin iyileştirilmesi 3. Daha az titreşim, Daha az gürültü, Daha iyi sürüş, rahatlık 4. Sadece lastiğin aşınması 5. Daha yüksek sürtünme katsayısı- Frenlemenin doğru sağlanması	1. İki dingilli boji (karmaşık yapı) - Şiddetli virajda daha yüksek gürültü ve aşınma - Daha yüksek maliyetle karmaşık bakım 2. Orta ağırlık 3. Daha yüksek gürültü ve titreşim 4. Çelik tekerlek ve rayın aşınması 5. Daha düşük sürtünme katsayısı- Frenlenin Doğru sağlanması zor
Yapı	1. Daha düşük inşaat maliyeti - Küçük boyutlu araç, hafif: Bakım tesisi için alanın azaltılması - Ray tesisinde basitlik: İnşaat maliyeti %20 azalır - Enerji verimliliği: trafo merkezi sayısının azaltılması (4 trafo merkezi, %33 azaltılmış) 2. Yol ve güç rayının yapısındaki sadelik	1. Daha yüksek inşaat maliyeti - Raydan çıkmayı ve kurulum alanını önlemek için test ekipmanı - Pistin karmaşık yapısı: - Daha az enerji verimliliği: trafo merkezi sayısının artması 2. Hat, güç rayı için karmaşık yapı
Operasyon ve bakım	1. Düşük işletme maliyeti -Düşük düzeyde arıza, aşınma ve yıpranma -Hafifliği sayesinde enerji verimliliği (Enerji tasarrufu) 2. Kolay bakım -Titreşimin araca, yola, sinyalizasyona ve elektrikli ekipmanlara iletilmemesi sayesinde düşük arıza seviyesi -Lastiğin basit bir şekilde değiştirilmesi	1 Yüksek işletme maliyeti -Yüksek düzeyde aşınma ve arıza nedeniyle işletme personeli sayısında ve bakım hacminde artış -Orta ağırlık nedeniyle güç kaynağı maliyetinde artış 2. Bakım için zorluk ve artan maliyet -Araca ve yola, sinyalizasyona ve elektrikli ekipmanlara iletilen titreşim nedeniyle yüksek düzeyde

		aşınma, oturma, kayma ve galvanik korozyon -Raydan çıkmayı önleyen ray ve rayların kontrolü ve bakımı
Emniyet	1. Raydan çıkma riski yok -Yan yanal kızak sistemi 2. Delinme durumunda dahili alüminyum lastik uygulanır. Ana yolda güvenlik ve patlak izleme sistemi kurulur	1. Raydan çıkma riski -Bekleme, yaylanma, kayma, galvanik korozyon sınırlarının aşılmasıyla raydan çıkma meydana gelmesi. 2. Sorunları kontrol etmede zorluk (palet ve tekerlek ile ilgili)
İnsansız Operasyon	1. Güvenli güvenlik ve düşük seviye arıza -Titreşim iletimini önleyen tesislerde sadelik ve bağımsızlık (Raydan çıkma riski yok) 2. Doğru duruş -Yüksek düzeyde sürtünme katsayısı, oturma ve eğilme riski yok 3. İnsansız operasyon hatları için dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır.	1. Raydan çıkma riski ve yüksek düzeyde arıza -Ray, güç dağıtım hattı, sinyal anteni, araç süspansiyonu, kılavuz ray olarak işlev görür. (karmaşık yapı) -Araç titreşiminin doğrudan etkisiyle aşınmaya maruz kalan ekipman -Yüksek düzeyde aşınma nedeniyle raydan çıkma olayı 2. Platformda hassas duruşta dezavantaj
Yolcu Konforu	1. Düşük gürültü seviyesi (73dB) 2. Yüksek sürüş konforu kalitesi (UIC standardı 2.3'ün altında sürüş konforu)	1. Araçta gürültü oluşması 2. Ortalama sürüş konforu kalitesi (UIC standardı 2.5'in altında sürüş konforu) 3. Çelik jant ve çeliğin aşınması -Yerleşik elektrikli bileşenlerin ve pistteki elektrikli bileşenlerin arızalanmasıyla sonuçlanması
Temel kesit diyagramının çizimi		
Kesit alanı	$A=50.26m^2$ Kesit alanı küçüktür.	$A=52.40m^2$ Kesit alanı büyüktür.

Yol Yapısı	 1. Her iki tarafta beton parkuru boyunca yatay yan yanal kılavuz yolu sistemi. 2. Basit yapı - Düşük seviyede aşınma ve hata 3. Titreşim etkisi yok	 1. Ray ve çelik tekerleğin flanşı 2. Karmaşık yapı - Ray: çok sayıda bağlantı - Yüksek düzeyde aşınma ve arıza 3. Trenden kaynaklanan titreşim etkisi işlem doğrudan aktarılır.
Güç rayı ve güç toplama ekipmanı	  3. ray (Çift rijit sistem) Yatay yan yanal	  3. ray (Tek rijit sistem) Alt taraf yanal
Ekipman	1. Daha az sayıda trafo merkezi, Galvanik korozyonu önleyen aktivite için gereksiz tesis. - Düşük inşaat maliyeti 2. Kolay ve basit taksit güç rayı	1. Çok sayıda trafo merkezi ve galvanik korozyonu önleyen tesis için gerekli - İnşaat maliyetinde artış 2. Güç yüklemeye zorluk

Bir yolculuk için toplam seyahat süresi, seyahat modu seçiminde önemli bir rol oynar. Toplam seyahat süresi, erişim süresini, bekleme süresini (yolun yarısı), araç içi süreyi ve sistemden çıkıp bir varış noktasına seyahat süresini içerir. Bu frekansta, mesafenin daha fazla kısaltılması, koridorun demiryolu transit potansiyeli tam olarak gelişmiş olduğundan, çok az ek yolcu üretecektir.

10. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizin pek çok kentinde, zaman projeksiyonlu yolculuk taleplerinin uygun olarak karşılanabilmesi amacıyla etüt-plan ve proje çalışmaları yapılmaktadır. Kentsel gelişim, ana arterler üzerinde hızlı, modern ve yüksek kapasiteli toplu taşıma sistemlerini zorunlu kılmaktır.

Hafif raylı sistem kondüvilerinde ve metro tünellerinde, genel olarak, raylı sistemler üzerinde çelik tekerlekli metro trenleri kullanılmaktadır. Oysa ki; son yıllarda, pek çok ülkede, yaygın olarak Lastik Tekerlekli Raylı Sistem araçları başarı ile kullanılarak, süratli ve yüksek kapasiteli toplu ulaşım sistemleri gerçekleştirilmektedir.

Lastik tekerlekli sistemlerin yüksek tırmanma kabiliyeti ve keskin viraj alma yeteneği sebebiyle inşaat tasarımcılarının ve toplu ulaşım sistemi yatırımcılarının düşük inşaat maliyeti arayışına cevap vermektedir. İnşaat tasarımları bu sebeplerle daha düşük maliyetli yatırımlar olarak tasarlanmaktadır.

Araçların lastik teker konfigürasyonu sebebiyle karkas olarak ve boji olarak hafif olması avantajı tamamen yerli olarak imal edilebilecek olan araçlar için çelik tekerlekli raylı sistem araçlarına nazaran araç başına daha düşük birim maliyet sunmaktadır.

Lastik Tekerlekli Raylı Sistem araçları vasıtasıyla, tünel çıkışlarından hemzemin tahsisli yollara devam edilebilir ve hatta dar şehiriçi yollarda bulvarlar üzerinde tesis edilebilecek havai hatlara, yoğun şehir alt-yapısı ile etkileşime girmeksizin, geçiş sağlanabilir. Böylece, Lastik Tekerlekli Raylı Sistem araçlarının kullanımı sayesinde, entegre transit sistemleri oluşturulabilir.

Kuvvetli yol tutuş özelliği sayesinde, Lastik Tekerlekli Raylı Sistem araçları, dik eğimlere kolayca tırmanabilmekte ve keskin kurpları dönebilmektedir. Kısa mesafelerde hızlanma maksimize edilmiş olduğundan, istasyonlar arası mesafelerin yakın olduğu hatlarda, Lastik Tekerlekli Raylı Sistem araçlarının kullanılması avantaj sağlamaktadır.

Yapılan analizler, Lastik Tekerlekli Raylı Sistem araçları sistemlerinin işletme ve bakım maliyetlerinin çelik tekerlekli metro trenlerine göre bir miktar (%25 oranında) daha düşük olduğunu ortaya koymaktadır.

Lastik Tekerlekli Raylı Sistem araçlarında kullanılan lastik tekerlekler sayesinde, altyapı titreşimleri minimum düzeye indirgenmiştir. Böylelikle, titreşimsiz yolculuk nedeniyle, hem seyahat konforu artmış, hem de özellikle hassas nitelikli tarihi binaların etki alanlarında zararlı vibrasyon etkisi bertaraf edilmiş olmaktadır. Bu sebeptendir ki, Paris ve Lozan metrosunun önemli bir kısmında lastik tekerlekli Lastik Tekerlekli Raylı Sistem araçları kullanılmaktadır. Hiçbir tarafın mülkiyet hakkına sahip olmadığı HRS teknolojisinin aksine, Lastik Tekerlekli Raylı sistemleri, geliştiricileri tarafından parlak verimlilik ve hatta karlılık iddialarıyla pazarlanmıştır.

Ayrıntılı olarak anlatıldığı üzere Lastik Tekerlekli Raylı Sistem araçları, dünya genelinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Planlanan metro sistemlerinde de, Lastik Tekerlekli Raylı Sistem araçları ekonomik olarak kullanılabilir. Bunun yanı sıra, Lastik Tekerlekli Raylı Sistem araçları sayesinde, tünel sistemleri hemzemin tahsisli yollara ve havai hatlara bağlanarak, kent yapısına uygun ve mevcut alt-yapı ile etkileşime girmeksizin, modern toplu taşıma sistemleri tesis edilebilecektir.

KAYNAKLAR

- Acar, İ.H., 2005, Kentlerimiz için “Metrobüs” çözümleri, 6. Ulaştırma Kongresi Bildiriler Kitabı, İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, 89-98.
- Alamy, 2010. First Metro train set for Rotterdam. Erişim Tarihi:24.05.2023. <https://www.alamy.com/first-metro-train-set-for-rotterdam-ready-date-may-17-1966-location-rotterdam-zuid-holland-keywords-metros-image341175081.html?imageid=E971054C-187A-4D87-91FB-852D81591230&p=1239746&pn=1&searchId=33549dff90ad3c8fdf61326b15d94250&searchtype=0>
- Alpöge, A., 1978. Kentsel raylı taşıma: metro, tramvay, hafif metro, 1. Toplu Taşıma Kongresi, Ankara Büyükşehir Belediyesi EGO Genel Müdürlüğü, 358-381.
- Altenburg, T., Lütkenhorst, W., 2015. Industrial Policy in Developing Countries: Failing Markets, Weak State. Edward Elgar, 207, USA.
- Atik, Ö., 2010. Lastik ve Çelik Alaşım Tekerlekli Metro Araçlarının Taşıma Maliyetleri Analizi ve Karşılaştırılması. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 60, İstanbul.
- Baştürk, G., 2014. Kentiçi raylı toplu taşıma sistemleri incelemesi ve dünya örnekleri ile karşılaştırılması [Ulaştırma ve Haberleşme Tezi]. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı. Ankara.
- Bilgi Ustam, 2023. Dünyaca Ünlü "Mexico City Metrosu". Erişim Tarihi:24.05.2023. <https://www.bilgiustam.com/dnyaca-nl-mexico-city-metrosu/>
- Callaghan, L., Lynch, S., 2005. Analysis of electric drive technologies for transit applications: battery-electric, hybrid-electric, and fuel cells (final report), Federal Transit Administration (FTA), Washington D.C., U.S.A., FTA-MA-26-7100-05.1,
- Can, H., Özdemir, T., Arık, A., 2001, İllerde gürültü haritaları ve Balıkesir örneği, 1. Kentiçi Ulaşım ve Trafik Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Makina Mühendisleri Odası, 268, 74-79.
- Candemir, I., Tanyel, S., 2005. Hızlı raylı sistemlerin yolcu taşıma kapasite hesaplamaları ve Türkiye’deki benzer sistemlerin birbirleriyle karşılaştırılması, 6. Ulaştırma Kongresi Bildiriler Kitabı, İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, 309-322.
- Cirit, F., 2014. Sürdürülebilir Kent İçi Ulaşım Politikaları ve Toplu Taşıma Sistemlerinin Karşılaştırılması [Uzmanlık Tezi]. İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü.
- Clark, S., 2012. A history of railway signalling. In IET Professional Development Course on Railway Signalling and Control Systems. London, UK.

- Demery, L.W., 2004. Bus rapid transit in Curitiba (Brazil) an information summary, CarquinezAssociates,43p., Erişim Tarihi: 25.05.2005. www.publictransit.us/ptlibrary/specialreports/sr1.curitibaBRT.pdf
- Çakır, M., 2010. Entegre Olmuş Ulaşım Sistemlerinin Yolculuk Talebindeki Değişiminin İncelenmesi Şişhane-Atatürk Oto Sanayi Raylı Sistem Hattı Örneği. Bahçeşehir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, 156, İstanbul.
- DİE, 2002. Ulaştırma İstatistikleri Özeti, Devlet İstatistik Enstitüsü, 2894, 33 s.
- DPT, 2001. Ulaştırma (Kentiçi Ulaşım), Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Devlet Planlama Teşkilatı, DPT: 2582-ÖİK:594, 28-29.
- DPT, 2006. Dokuzuncu Kalkınma Planı (2007-2013), Devlet Planlama Teşkilatı, Erişim Tarihi: 24.05.2023. <http://ekutup.dpt.gov.tr/plan/ix/9kalkinmaplani20061208.pdf>
- Dunphy, R.T., 1997. Review of Recent American Light Rail Experiences. Proceedings of Seventh National Conference on Light Rail Transit, Transportation Research Board Conference Proceedings 8, 104-113.
- EGO, 1995. Ankara Ulaşım Ana Planı Araştırma Raporu, Ankara Büyükşehir Belediyesi EGO Genel Müdürlüğü Ulaşım Planlama ve Raylı Sistem Daire Başkanlığı, 166 s.
- Elker, C., 1978. Kentsel ulaşım sistemlerinin özellikleri bir karşılaştırma,1.Toplu Taşıım Kongresi, Ankara Büyükşehir Belediyesi EGO Genel Müdürlüğü, 383-399.
- Elker, C., 1981. Kentlerde ulaşım sistemi seçimi için bir yöntem, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, İmar ve İskan Bakanlığı Yayınları, Ankara, 101 s.
- Elker, C., 1997. Otobüsün kitle taşımasındaki yeri, Ulaşım-Trafik Kongresi Bildiriler Kitabı, Makina Mühendisleri Odası, 193, 60-71.
- Elker, C., 2002. Ulaşımında politika ve pratik, Gölge Ofset Matbaacılık, 158 s.
- Ergün, M., İyınam, A.F. İyınam, Ş., 1999, Daha temiz bir çevre için kentiçi ulaşımın planlanması, 2.Ulaşım ve Trafik Kongresi-Sergisi Bildiriler Kitabı, Makine Mühendisleri Odası, 242, 382-390.
- Evren, G., 1996. Kentsel ulaşımında raylı sistemler, Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, 384, 63-72.
- Evren, G., 1978. Kentsel ulaşımında raylı sistemler, 1. Toplu Taşıım Kongresi, Ankara Büyükşehir Belediyesi EGO Genel Müdürlüğü, 272-297.

- Evren, G., 1996. Kentsel ulaşımda raylı sistemler, Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, 384, 63-72.
- Flickr, 2019. Osaka Metro. Erişim Tarihi:24.05.2023. <https://www.flickr.com/photos/hhhumber/48858944242>
- GAO, 2001. Bus rapid transit shows promise, Report to Congressional Requesters, United States General Accounting Office, Washington D.C., U.S.A., GAO-01-984, 54 p., Erişim Tarihi:24.05.2023. www.gao.gov/new.items/d01984.pdf (13.05.2006).
- Göz, N., 2019. Bursa için Seul'de lastik tekerlekli metro incelemesi: Erişim Tarihi:30.03.2023. <https://www.bursahakimiyet.com.tr/yazarlar/namik-goz-76/bursa-icin-seul-de-lastik-tekerlekli-metro-inceleme-15205>
- Groenewegen, J., 2000. Introduction:Industrial Policy; Issues, Theories and Instruments. In W. Eisner & J. Groenewegen (Eds.), Industrial Policies After 2000 (pp. 1–22). New York: Springer Science+Business Media.
- Gültekin, Z., Ergun, Z.H., Çinal, S. ve Öztürk, M.M., 2003. Kentiçi ulaşımda monorail sistemi, 4. Ulaşım ve Trafik Kongresi-Sergisi Bildiriler Kitabı, Makine Mühendisleri Odası, 333, 125-133.
- Gümüşoğlu, M.Ç., 1996. Kentiçi raylı taşın sistemleri ve İstanbul metrosu, Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, 384, 103-106.
- Gündüz, A., Kaya, M. Aydemir, C., 2011. Kentiçi Ulaşımında Karayolu Ulaşımına Alternatif Sistem:Raylı Ulaşım Sistemi. Akademik Yaklaşımlar Dergisi, 2(1), 134-151.
- Hamurcu, M. Eren, T., 2017. Toplu Taşıma Türünün Seçiminde Çok Kriterli Karar Verme Uygulaması. Uluslararası İleri Mühendislik Teknolojileri Konferansı (ICADET), Bayburt.
- IStock (2018). Sapporo Metrosu: Erişim Tarihi:24.05.2023. <https://www.istockphoto.com/tr/foto%C4%9Fraf/jr-hokkaido-tren-soen-istasyonu-hokkaido-japonya-gm922667552-253256071>
- Kain, J.F., 1988. Choosing the wrong technology: or how to spend billions and reduce transit use. Journal of Advanced Transportation 21, 197-213.
- Kantor, D., Moscoe, G. and Henke, C., 2006. Issues and technologies in level boarding strategies for BRT, Journal of Public Transportation, Special Edition: Bus Rapid Transit, 9, 3, 89-101., Center for Urban Transportation Research University of South Florida, Erişim Tarihi:24.05.2023. <http://www.nctr.usf.edu/jpt/pdf/JPT%209-3S%20Kantor.pdf> (20.09.2006).
- Kaplan, H., 1997. Kentsel ulaşıma ekolojik yaklaşım, Ulaşım-Trafik Kongresi Bildiriler Kitabı, Makina Mühendisleri Odası, 193, 93-101.
- Keskin, A., 1992, Toplu taşıma sistemleri, İTÜ Yayınları, 1487, 111 s, İstanbul.

- Kim, E.J., Darido, G. and Schneck, D., 2005. Las Vegas metropolitan area Express (MAX) BRT demonstration project evaluation, Federal Transit Administration (FTA), United States Department of Transportation, and Regional Transportation Commission, WashingtonD.C., U.S.A., FTA-VA-26-7222-2005.1,52p., Erişim Tarihi:24.05.2023. http://www.nbrti.org/media/evaluations/Las_vegas_final_report.pdf (20.09.2006).
- Kocabaş, N., 2007. Metrobüs Sistemlerinin Ülkemizde Uygulanabilirliğinin Araştırılması ve Antalya Örneği, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 192, Eskişehir.
- Kutlu, K., 1975. Trafik tekniği, İstanbul Teknik Üniversitesi, 1018, 371 s.
- Lambert, M.T. and Rubin, D., 2001. Ulaşım planlama süreci Bursaray hafif raylı ulaşım sistemi, 1. Kentiçi Ulaşım ve Trafik Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Makine Mühendisleri Odası, 268, 131-150.
- Levinson, H.S., 2003. Bus rapid transit on city streets how does it work, Second Urban Street Symposium, Anaheim,California, 25.
- Living Nomads, 2023. Busan Subway Train: Erişim Tarihi:24.05.2023. <https://livingnomads.com/2018/08/busan-blog/busan-subway-train/>
- Masoumi, M. Öcalır-Akünel, E.V., 2018. Türkiye’deki kent içi raylı ulaşım sistemlerinin performanslarının Veri Zarflama Analizi ile karşılaştırılması. Politeknik Dergisi, 21(4), 971-975.
- MetroGuides, 2023. Metro Kılavuzu. Erişim Tarihi:24.05.2023. <https://metroguides.info/city/montreal?ln=tr#scheme/0/0>
- Mistry, P. J. Johnson, M. S. 2020. Lightweighting of railway axles for the reduction of unsprung mass and track access charges. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 234(9), 958–968.
- Mollamahmutoğlu, M. Asiloğulları, E.,1999. Raylı sistem işletmeciliği, 2. Ulaşım ve Trafik Kongresi-Sergisi Bildiriler Kitabı, Makina Mühendisleri Odası, 242, 401-406.
- OCW, 2023. Railway Engineering: An Integral Approach: Erişim Tarihi:24.05.2023. <https://ocw.tudelft.nl/course-readings/1-6-extra-world-map/>
- Öğüt, K. S., Evren, G., 2006. Türkiye’de Kentsel Raylı Sistemlerin Gerekliği ve Uygulamada Dikkat Edilecek Konular. Uluslararası Demiryolu Sempozyumu.
- Öncü, E., 1978. Kentsel ulaşımnda raylı sistemler, 1. Toplu Taşım Kongresi, Ankara Büyükşehir Belediyesi EGO Genel Müdürlüğü, 298-326.
- Öncü, E., 1979. Az gelişmiş ve gelişmiş ölkelerde ara toplu taşım, 2. Toplu Taşıma Kongresi, Ankara Büyükşehir Belediyesi EGO Genel Müdürlüğü, 663-691.

- Öncü, E., 1990. Düünden yarına kentlerimizde banliyö demiryolu taşıması, 3. Toplu Taşıma Kongresi, Ankara Büyükşehir Belediyesi EGO Genel Müdürlüğü, 387-416.
- Özdirim, M., 1990. Ulaşım konusunda yerel yönetimlerin uygulamaları, 3. Toplu Taşıma Kongresi, Ankara Büyükşehir Belediyesi EGO Genel Müdürlüğü, 101-140.
- Rail Sistem, 2023. Singapore: Mitsubishi To Supply 8 Additional Trains For Sengkang-Punggol HRS: Erişim Tarihi:24.05.2023. <http://www.railsistem.com/blog/2023/05/10/singapore-mitsubishi-to-supply-8-additional-trains-for-sengkang-punggol-HRS/>
- Resmi Gazete, 2004. Karayolu Taşıma Yönetmeliği, 25.02.2004 tarih 25384 sayılı, Erişim Tarihi:24.05.2023. <http://rega.basbakanlik.gov.tr> (01.02.2007).
- Salzberg, A., Mehndiratta, S., Liu, Z., 2012. Urban rail development in China. Transportation Research Record, (2275), 49–57.
- Simpson, B. J., 1989. Urban rail transit - an appraisal. Transport and Road Research Laboratory, Contractor Report, no.40, 140.
- Toprak, R. ve Aktürk, N., 2001, Raylı toplu taşıma sistemleri ve raylı toplu taşıma sistemlerinde güvenliği tehdit eden tehlikeler, 3. Ulaşım ve Trafik Kongresi-Sergisi Bildiriler Kitabı, Makina Mühendisleri Odası, 280, 99-108.
- Tunç, A., 2003. Trafik mühendisliği ve uygulamaları, Asil Yayın Dağıtım Ltd. Şti., 790 s.
- Uyg-Ar (İTÜ Ulaştırma ve Ulaşım Araçları Merkezi), 1995, Kadıköy-Bostancı raylı sistemi teknik, mali ve ekonomik fizibilite etüdü, 301, 67 s.
- Vuchic, V.R., 1981. Urban public transportation systems and technology, Prentice Hall. Inc., 672 p.
- Young, A. P. (1997). Light-Rail development in Great Britain. Proceedings of Seventh National Conference on Light Rail Transit, Transportation Research Board Conference Proceedings, Turkey, 8, 36-45.
- Yüzügüllü, M., Özcan, C., 1991. Raylı toplu taşıma sistemlerinin Türkiye’de yapılması ve yerli imalat olanakları, 4. Toplu Taşıma Kongresi, Ankara Büyükşehir Belediyesi EGO Genel Müdürlüğü, 275-288.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Betül Zehra UZUNER

Eğitim Durumu

Lise : Gebze Anadolu Lisesi, 2014

Lisans : Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2018

Yüksek Lisans : İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi Anabilim Dalı, 2023

Yayınları

Uzuner, B.Z., Ilıcalı, M., 2023. Kentiçi Raylı Sistemlerde Yeni Teknolojilerin İncelenmesi: Lastik Tekerlekli Raylı sistem. İstanbul Ticaret Üniversitesi Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi, Basımda.