

Derleme Makalesi

# KENT İÇİ RAYLI SİSTEMLERDE YENİ TEKNOLOJİLERİN İNCELENMESİ: LASTİK TEKERLEKLİ RAYLI SİSTEM

Betül Zehra UZUNER<sup>†</sup>, Mustafa ILICALI<sup>††</sup>

<sup>†</sup> İstanbul Ticaret Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye

<sup>††</sup> İstanbul Ticaret Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İstanbul, Türkiye

<sup>†</sup>zehrauzuner@gmail.com, <sup>††</sup>milicali@ticaret.edu.tr



0000-0003-4979-0819, 0000-0001-6453-7753

**Atf/Citation:** UZUNER, B. Z., ILICALI, M., (2023). Kent İçi Raylı Sistemlerde Yeni Teknolojilerin İncelenmesi: Lastik Tekerlekli Raylı Sistem, Journal of Technology and Applied Sciences 6-1, pp 51-60 DOI: 10.56809/icujtas.1257921

## ÖZET

Onlarca yıldır lastik tekerlekler, tüm dünyada raylı sistem taşımacılığı için çok güvenilir olduklarını kanıtlamıştır. Bu tekerlekler titreşim ve gürültüyü azaltır ve başka avantajlar sunar. Kullanımdaki yaklaşık 150.000 lastik tekerlek ile bu avantajlar gösterilebilir: hem kalıcı yol hem de araç bileşenlerinde daha az aşınma ve yıpranma, hem yolcular hem de yol boyunca yaşayan insanlar için daha az gürültü rahatsızlığı ve daha düşük bakım maliyetleri. Lastik tekerleklerle donatılmış araçların seyir konforu ve sürüş kalitesi, sert çelik tekerleklerle donatılmış araçlara göre daha üstündür. Dünyada trafik sıkışıklığı önemli derecede bir sorun haline gelmektedir. Özellikle pandemi koşulları nedeniyle toplu taşımaya güven azalmıştır. Kentlerdeki yol kapasitesi, bireysel araç kullanımını karşılayamamaktadır. Kent içi raylı sistemler, konforlu, çevreci, güvenilir, hızlı ve taşıma kapasitesi yüksek olması sebebiyle ulaşımda önemli bir yere sahiptir. Ülkemizde nüfusu hızla artan şehirlerin raylı sistemlere duyduğu ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Kent içi raylı sistemler, modern şehircilik anlayışında yeri yadsınamaz. Fakat bu sistemler maliyetleri açısından pahalı yatırımlardır. Bu çalışmada gelişen teknoloji ile beraber daha az yatırım ve işletme maliyeti ile uygulanabilirliği arttıran dünyada kullanılan lastik tekerlekli raylı sistem araçlarını incelenecektir. İncelenen araçların teknik özellikleri sayesinde, daha az enerji kullanımı ile birlikte az masraflı ve sürdürülebilir oldukları; daha konforlu ve kullanılabilir oldukları saptanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kent içi raylı sistemler, Lastik tekerlekli raylı sistem, Vagon, Yüksek kapasite.

## INVESTIGATION OF NEW TECHNOLOGIES IN URBAN RAIL SYSTEMS: RUBBER TIRE RAIL SYSTEM

### ABSTRACT

For decades, rubber wheels have proven to be very reliable for light rail transport all over the world. These wheels reduce shock and noise and offer other benefits. With approximately 150,000 rubber padded wheels in use, these advantages can be demonstrated: less wear and tear on both the permanent road and vehicle components, less noise disturbance for both passengers and people living on the road, and lower maintenance costs. The ride comfort and ride quality of vehicles equipped with rubber wheels are superior to vehicles equipped with hard steel wheels. Traffic congestion is becoming a serious problem in the world. Confidence in public transport has decreased, especially due to pandemic conditions. Road capacity in cities cannot meet individual vehicle use. Urban rail systems have an important place in transportation because they are comfortable, environmentally friendly, reliable, fast and have a high carrying capacity. The need for rail systems in cities with rapidly increasing population in our country is increasing day by day. Urban rail systems have an undeniable place in the understanding of modern urbanism. However, these systems are expensive investments in terms of costs. In this study, rubber wheeled rail system vehicles used in the world, which increase the applicability with less investment and operating costs, will be examined with the developing technology. The vehicles examined are less costly and sustainable with the use of renewable energy; They were found to be more comfortable and usable.

**Keywords:** High capacity, Rubber tire railway system, Urban railway systems, Wagon.

Geliş/Received : 28.02.2023

Gözden Geçirme/Revised : 13.05.2023

Kabul/Accepted : 16.05.2023

## 1. GİRİŞ

Kentsel gelişme ve ulaşım birbiriyle etkileşim içinde bulunan faaliyetlerdir. Kentsel gelişim, ana arterler üzerinde hızlı, modern ve yüksek kapasiteli toplu taşıma sistemlerini zorunlu kılmaktadır. Hareketliliğin yüksek olduğu kentlerde ulaşım sorunu insanların en büyük sorunları arasındadır.

Ülkemizin pek çok kentinde, zaman projeksiyonlu yolculuk taleplerinin uygun olarak karşılanabilmesi amacıyla etüt-plan ve proje çalışmaları yapılmaktadır. Karayolu altyapısını kullanan toplu taşıma türleri yolcu kapasitesinin belli bir düzeyi aştığı ulaşım hatlarında yetersiz kalmaktadır. Özellikle nüfus yoğunluğu fazla olan kentlerde saatlik 10.000 yolcu kapasitesinin aşıldığı alanlarda raylı toplu taşıma sistemleri gündeme gelmektedir.

Şehirler, yerel yönetimleri kısa zamanda kentlerine hızlı, modern ve yüksek kapasiteli toplu taşıma sistemlerini kazandırmak istemektedir. Kent içi raylı sistemler, modern şehircilik anlayışında yeri çok önemlidir. Fakat bu sistemler maliyetleri açısından pahalı yatırımlardır. Türkiye’de yer alan raylı sistemlerin birçoğu, kıt kaynaklar kullanılarak veya borçlanma yoluyla hayata geçirilmiştir (Kain, 1988).

Raylı sistem ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması dezavantaj gibi gözükse de işletme giderleri hesaba katıldığında uzun vadede toplum için daha ekonomik olacaktır. Örneğin yakıt kullanımı bakımından daha pahalı olan petrole nazaran elektrik ile çalışan raylı sistemler uzun vadede hem çevreci hem de ekonomiktir.

Raylı sistemlerin yatırım maliyetlerinin yüksek olmasının önemli sebeplerinden biri inşaat aşamasıdır. Ülkemizin topografyasından dolayı geçmişte raylı sistem inşaatları hayli uzun sürmüş ve maliyetli olmuştur. Zamanla teknolojinin gelişimi neticesinde daha az maliyetle daha yüksek kapasitede toplu ulaşımın sağlanabildiği dünyada görülmektedir.

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.

Bu kapsamda dünyada yaygın olarak kullanılan lastik tekerlekli raylı sistem araçlarının maliyet/verim dengesi anlamında ön plana çıktığı görülmektedir.

## 2. LİTERATÜR ÇERÇEVE

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 Gerekliği 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 esneklerdir.

### 3. LASTİK TEKERLEKLİ RAYLI SİSTEM ARAÇLARI

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

**Tablo 1.** Lastik Tekerlekli Raylı Sistemi Kullanan Bazı Ülkeler

	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 LRT	1999
31	Fransa	Rennes Subway Line a	2002
32	Singapore	Sengkang LRT	2002
33	USA	San Francisco Air Train SFO	2003
34	Singapore	Punggol LRT	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 LRT	2016
45	Fransa	MP 14 Paris Metro su	2020
46	Fransa	Rennes Subway Line b	2022

Maliyet etkinliği, yeni toplu taşıma sistemlerinin başarılı olup olmadığını ve bunları inşa etmeye değerli 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 1. AGT Raylı Sistem Vasıta Örneği (URL 1)



Şekil 2. Lastik tekerlekli Sistemlerin Dünyada Kullanımına Örnekler (URL 1; URL 2; URL 3)

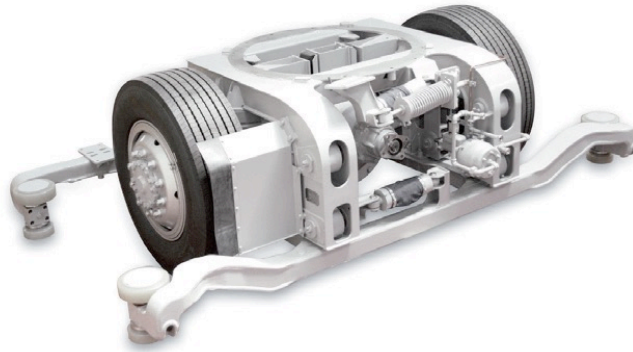
Lastik tekerlekli raylı sistemi, yüksek tırmanma ve iniş kabiliyeti sayesinde eğimli topoğrafyada kolaylık sağlamaktadır. Parçalı vagon yapısı, mevcut şehir planına uyumlu manevra kabiliyetini artırmaktadır. Araçlar dönemeçleri hız kesmeden alabilmektedir. Hem yeraltından hem yerüstünden seferleri yapılması mümkündür. Ayrıca lastik tekerlekli olması dolayısıyla ilk yatırım maliyetlerinde yüzde 30-40'lık tasarruf sağlamaktadır (Altenburg ve Lütkenhorst, 2015).

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. Örneğin, Paris'te Saint-Lazare ile Olympiades istasyonlarını birbirine bağlayan M14 hattında ulaşım lastik tekerlekli metro araçları ile sağlanmaktadır ve azami yolculuk süresi istasyonlar arası 85 saniyedir. Dünyanın en kalabalık 12. metro sistemi olan, çelik tekerlekli araçların kullanıldığı Londra Metrosu'nda ise bu süre 105 saniyedir. Azami yolculuk süreleri arasında bulunan 20 saniyelik farkın az olduğu düşünülebilir; ancak her bir trende aynı sayıda yolcunun seyahat ettiği kabulü yapıldığı takdirde, Paris'teki M14 hattının Londra Metro'sundan %23 daha fazla yolcu kapasitesine sahip olduğu söylenebilir.

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. Lastik tekerlek üzerinde elektrikle çalışan sistemin işletme-bakım-onarım masrafları düşüktür. (Tablo 3. Sistemlerin İşletme

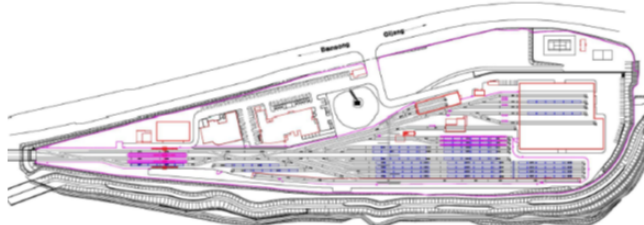
## Maliyetlerinin Karşılaştırılması (Woojin,2020)



Şekil 3. Lastik Tekerlekli Boji Sistemi (Erkaya, 2016)

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 tünellerinin boyalarının kısaltılması, istasyon derinliklerinin optimize edilmesi sağlanarak yatırım maliyetleri minimize edilmiş olacaktır. Örneğin, Paris metrosunun Sen nehri yakınlarında topografik koşullardan dolayı tünelden havaya 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 minimum karp yarıçapı 125 metredir. Minimum karp uygulandığında yolcu konforu oldukça düşmektedir (Young, 1997).

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 m<sup>2</sup>'de depo ihtiyacı oluşur.



Şekil 4. Busan Metro Hat 4 Depo Alanı (Göz, 2019)

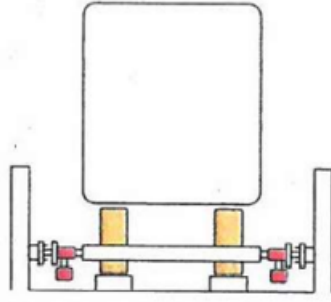
Kaliteli lastik teker ve düz beton birleşimi sayesinde Lastik Tekerlekli Sistem, Çelik Tekerlekli sistemlere nazaran daha az gürültülü ve titreşimli bir işletme sağlar. Karayollarının ve demiryollarının gürültü oluşturma seviyeleri aynı olsa bile demiryolları daha az rahatsızlık vermektedir. Bunun başlıca sebebi demiryollarında düzenli ve aralıklı seyirlerinin olması böylece bir süre gürültüden dinlenme olanağının sağlanmasıdır.

**Tablo 2.** Vibrasyon ve Ses Karşılaştırma Verileri (Atik, 2010)

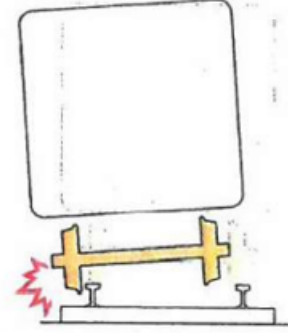
	Lastik Tekerlekli Sistem		Çelik Tekerlekli Sistem	
<b>Vibrasyon</b>	2.3 Hz $\geq$	Düşük titreşim ve gürültü	2.5 $\geq$	Rayın yanında oluşan titreşim ve gürültü
<b>Ses</b>	75 dB $\geq$ gıcırıtı sesi yok		85 dB $\geq$ gıcırıtı sesi var	

Geniş lastik yüzeyi ve kılavuz rayları sayesinde devrilme açısı yüksektir. Bundan dolayı lastik tekerlekli sistem daha stabil hareket edebilirken çelik tekerlekli sistemde dalgalanmalar olmaktadır.

Lastik Tekerlekli Sistem



Çelik Tekerlekli Sistem

**Şekil 5.** Devrilme Riski Karşılaştırması (Atik, 2010)

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 önem sırası %23,47 oranıyla 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 **Tablo 3.** Sistemlerin İşletme Maliyetlerinin Karşılaştırılması (Woojin,2020)'de görüldüğü üzere daha azdır. Bu da, Lastik Tekerlekli Raylı Sistem araçlarının tasarım özelliklerinden kaynaklanmaktadır:

- Lastik tekerlekli raylı sistem araçları, üçüncü raydan alınan elektrik enerjisi ile çalışır. Lastik tekerlekli özel tasarımı hafif gövde yapısı ile enerji tüketimi minimize edilmektedir.
- Frenleme/duruş sırasında açığa çıkan jeneratif enerji depolanarak kalkış anında gerekli demeraj akımı için kullanılır.
- Her araç, tek cer motoruyla çalıştırılmakta olup, enerji tüketimi asgari düzeyde tutulmaktadır.
- İstatistik veriler esas alındığında, bakım onarım giderlerinin de lastik tekerlekli raylı sistem araçlarında nispeten daha az olduğu anlaşılmaktadır.
- Lastik tekerlekli raylı sistem araçlarının insansız kullanımı sayesinde, işletme personelinin de önemli bir oranda tasarruf sağlanması mümkün olmaktadır.

**Tablo 3.** Sistemlerin İşletme Maliyetlerinin Karşılaştırılması (Woojin,2020)

	Lastik Tekerlekli Raylı Sistem	Metro	LRT	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.

Kore'nin iş gücü maliyeti ve elektrik maliyeti ülkemize göre yüksek olmasına rağmen Lastik Tekerlekli Raylı Sistemin, diğer sistemlerden daha avantajlı olduğu görülmektedir. Ülkemize bu sistem kazandırıldığı zaman birim maliyetlerin daha da düşeceği öngörülmektedir.

### 5. Lastik Tekerlek ile Çelik Tekerleğin Karşılaştırılması

İnsanlar, bir raylı toplu taşıma sistemi düşündüğünde, sert çelik tekerlekler düşünür. Bilgisizler, çelik tekerleğin ortasında lastik bulunca genellikle şaşırırlar. Bunun nedeni, hafif raylı sistem haricindeki tüm geleneksel demiryolu trafiği için tekerlek ve rayın çelikten yapılmış olması ve temel yük taşıyıcı elemanlar olmasıdır. Yüksek yük kapasitesi ve güvenli taşıma gerektiğinde çelik tekerlek ve çelik ray her zaman kullanılmaktadır.

Karayolu raylı taşıtlarında, özel yol ve ray bağlantılarından kaynaklanan günlük darbelere dayanacak ağır kamyonlar ve ağır gövdeler vardı. Herschfeld lastik tekerleği mükemmelleştirdikten sonra, daha fazla hızlanma ve yavaşlama sağlamak için kamyonu ve araç gövdesi bileşenlerini hafifletmeyi başardı. Bu gelişme, karayolu raylı taşıtının trafikte otomobille rekabet etmesini sağlamıştır. O zamandan beri çoğu hafif raylı taşıt, bir tür lastik tekerlek veya başka bir tekerlek kullanılarak yapılmıştır.

Lastik, yüksek sıkıştırma ve kesme yüklerini almaya uygundur. Çok sayıda ve çeşitte önerilen tekerlek tasarımlarının çoğunda, lastik genellikle sıkıştırma ve kesme yüklerinin bir kombinasyonuna tabi tutulur. Sıkıştırma yükleri altında lastik gövde tamamen kapatılmamalıdır çünkü bu durumda lastik bir sıvı gibi tepki verir. Yani, lastik tamamen elastik değildir ve serttir ve yay hareketi sunmayacaktır.

Lastik gövdelerin boyutu, çalışma koşulları altında lastiğin toplam enine kesiti boyunca deforme olacağı şekilde olmalıdır. Enine kesitin parçaları düzgün bir şekilde sıkıştırılmazsa, lastik erken yaşlanmaya maruz kalır ve bu da yavaş yavaş yok olmasına yol açar.

Lastik kesme yüklerine maruz kalırsa, mümkün olan en büyük sapma lastiğin herhangi bir şekilde uzamasına neden olmamalıdır. Yani, ek çekme yükleri meydana gelmemelidir. Bu nedenle, kesme yüklerine maruz kalan lastik gövdeler her zaman sıkıştırma ile ön gerilime tabi tutulmalıdır (Yüzügüllü vd., 1991).

Sıkıştırma yükleri altında sapmalar küçüktür. Kesme yükleri altında daha büyük sapmalar elde edilebilir. Öte yandan, sıkıştırma yükleri altında gerekli lastik hacmi, daha yüksek yüke izin verildiği için kesme yüklerine kıyasla daha az olabilir.

Lastiğin erken yaşlanması, kabul edilebilirten daha yüksek sıcaklıklara maruz kalması durumunda da meydana gelir. Yalnızca ısıya dayanma kapasitelerinde farklılık gösteren farklı derecelerde lastik kullanılabilir (maksimum 110°C'dir). Lastik tekerleğin hizmetteyken normal çalışmasından kaynaklanan ısı oluşumunun yanı sıra, tekerleğe haddelme işlemleri dışında da ısı verilir ve dikkate alınmalıdır. Bu dış ısı emici, lastik sırtı frenlemesinden veya lastik sırtının taşlama yoluyla yeniden şekillendirilmesinden olabilir. Lastik sırtı freninden gelen ısı girdisi, genellikle lastiğin dayanabileceği kabul edilebilir sıcaklığın oldukça üzerindedir. Bu nedenle, ana servis freni olarak sırt freni kullanan araçlar için lastik tekerlek önerilmez (Evren, 1996).

Çelik jant değişimi çok verimli ve orijinal taşıyıcı tarafından bir araba engelleme planına uyulduğu sürece maliyetleri düşürmektedir. Lastik, karma veya daha küçük bloklar söz konusu olduğunda etkilidir; burada değiştirme maliyetleri, taşıma ve kaldırma maliyetlerinden daha fazladır.

Sert çelik tekerleklerle, tekerlek takımının tamamı, tüm bu bileşenlerle birlikte, yol üzerinde zıplamakta ve



çarpmaktadır. Yüksek hareket hızlarında, tekerlek ve ray arasında hem dikey hem de yanal yönlerde yüksek dinamik kuvvetler oluşur ve bu da malzemenin yorulmasına ve aşınmasına neden olur. Tekerlek takımının yaysız kütesinin düşürülmesiyle, dinamik kuvvetlerin etkisi önemli ölçüde azaltılır. Tekerleklerle yerleştirilmiş yastıklama elemanı ile yaysız kütle iki tekerlek lastikleriyle sınırlıdır.

## SONUÇ

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 kılmaktadır.

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.

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.

En önemlisi, Lastik Tekerlekli Raylı Sistem araçları vasıtasıyla, tünel çıkışlarından hemzemin tahsisli yollara devam edilebilir ve hatta dar şehiriçi yollarda bulvarlar üzerinde tesis edilebilecek havaray hatlarına, 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.

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 LRT teknolojisine aksine, AGT sistemleri, geliştiricileri tarafından parlak verimlilik ve hatta karlılık iddialarıyla pazarlanmıştır. Şu anda faaliyette olan AGT sistemleri, gerçekten de ulaşım teknolojisine bir zaferdir ve onları hizmete sokanlara büyük bir itibar kazandırmaktadır. Bununla birlikte, tamamen kademeli geçiş hakkı ve istasyonlar gerektiren ve daha yüksek araba ve sistem maliyetleriyle, toplam AGT inşaat maliyetinin her zaman LRT'den daha yüksek olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, gelecekteki genişletme potansiyeli daha zayıftır ve AGT'yi seçen bir şehir, LRT'li bir şehirden daha küçük bir hızlı ulaşım ağına sahip olma eğiliminde olacaktır. Mevcut AGT sistemleri de, özellikle aynı hizalama kalitesiyle karşılaştırıldığında, geleneksel, basit LRT sistemlerinden daha verimli çalışmaz. Ayrıca günümüz teknolojisine ürün olan AGT sistemleri, teknoloji değiştikçe eskime ihtimalini ve gelecekte farklı nesil teknolojileri eşleştirme sorununu da beraberinde taşımaktadır. Son olarak, tescilli sistemler olarak, AGT sahiplerinin gelecekteki satın alma seçenekleri, özellikle üreticinin üretimi durdurması durumunda daha sınırlıdır.

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 havaray hatlarına bağlanarak, kent yapısına uygun ve mevcut alt-yapı ile etkileşime girmeksizin, modern toplu taşıma sistemleri tesis edilebilecektir.

**KAYNAKLAR**

- Altenburg, T. & Lütkenhorst, W. (2015). *Industrial Policy in Developing Countries: Failing Markets, Weak State*. Edward Elgar.
- Alpöge, A. (1978). Kentsel raylı taşıma: metro, tramvay, hafif metro, 1. Toplu Taşıma Kongresi, Ankara Büyükşehir Belediyesi EGO Genel Müdürlüğü, 358-381.
- Atik, Ö. (2010). *Lastik ve Çelik Alaşım Tekerlekli Metro Araçlarının Taşıma Maliyetleri Analizi ve Karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul.
- Baştürk, G. (2014, Eylül). Kentiçi raylı toplu taşıma sistemleri incelemesi ve dünya örnekleri ile karşılaştırılması [Ulaştırma ve Haberleşme Tezi]. Ulaştırma, Denizcilik Ve Haberleşme Bakanlığı. Ankara.
- Cirit, F. (2014, Ağustos). 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.
- 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.
- Erkaya, H. H. (2016). 3. Çeken ve Çekilen Araçlar. Raylı Sistemin Temelleri. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.
- Evren, G. (1996). Kentsel ulaşımda raylı sistemler, Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, 384, 63-72.
- Göz, N. (2019). Bursa için Seul'de lastik tekerlekli metro incelemesi: <https://www.bursahakimiyet.com.tr/yazarlar/namik-goz-76/bursa-icin-seul-de-lastik-tekerlekli-metro-incelemesi-15205> (Erişim Tarihi: 30.03.2023)
- 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.
- Gündüz, A., Kaya, M. & Aydemir, C. (2011, Haziran) Kentiçi Ulaşımında Karayolu Ulaşımına Alternatif Sistem: Raylı Ulaşım Sistemi. Akademik Yaklaşımlar Dergisi.
- Hamurcu, M. & Eren, T. (2017), Toplu Taşıma Türünün Seçiminde Çok Kriterli Karar Verme Uygulaması. Uluslararası İleri Mühendislik Teknolojileri Konferansı (ICADET), Bayburt.
- Kain, J.F. (1988). Choosing the wrong technology: or how to spend billions and reduce transit use. *Journal of Advanced Transportation* 21, 197-213.
- Masoumi, M. & Öcalır-Akunal, E.V. (2018). Türkiye'deki kent içi raylı ulaşım sistemlerinin performanslarının Veri Zarflama Analizi ile karşılaştırılması. *Politeknik Dergisi*.
- 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.
- Öğüt, K. S. & Evren, G. (2006, Aralık). Türkiye'de Kentsel Raylı Sistemlerin Gerekliliği ve Uygulamada Dikkat Edilecek Konular. *Uluslararası Demiryolu Sempozyumu*.
- 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 140.
- Yüzügüllü, M., Özcan, C. & Baş (1991). Raylı toplu taşıma sistemlerinin Türkiye'de yapılması ve yerli imalat olanakları, 4. Toplu Taşıma Kongresi, Ankara Büyükşehir Belediyesi EGO Genel Müdürlüğü, 275-288.
- Young, A. P. (1997). Light-Rail development in Great Britain. *Proceedings of Seventh National Conference on Light Rail Transit, Transportation Research Board Conference Proceedings 8*, 36-45.
- URL 1: <https://orucogluholding.com.tr/rayli-sistem/> (Erişim Tarihi: 30.03.2023)
- URL 2: <https://www.urbanrail.net/eu/fr/marseille/marseille.htm> (Erişim Tarihi: 30.03.2023)
- URL 3: [https://www.tripadvisor.com/Attraction\\_Review-g294305-d7712955-Reviews-Metro\\_de\\_Santiago-Santiago\\_Santiago\\_Metropolitan\\_Region.html](https://www.tripadvisor.com/Attraction_Review-g294305-d7712955-Reviews-Metro_de_Santiago-Santiago_Santiago_Metropolitan_Region.html) (Erişim Tarihi: 30.03.2023)