



KENT İÇİ RAYLI ULAŞIM SİSTEMLERİ

İrfan Şenlik

Elektrik Mühendisliği Dergisi Yayın Kurulu Üyesi
irfan.senlik@emo.org.tr

Toplumların enerji gereksinimleri, yaşam standartları ve gelişmişlik düzeyleri ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Bunun yanında çevre sorunları, emisyon değerleri ve atıklar bazı alışkanlıklardan uzaklaşılması gerektiğini de ortaya koymaktadır. Hızlı kentleşme, yoğun nüfus artışı, hava kirliliği ve enerji sıkıntısı; beraberinde ulaşımı en önemli sorunlardan biri haline getirmiştir. Bu durum kullanıcı gereksinimlerine göre tasarlanmış, enerji verimi yüksek, çevreye zarar vermeyen, sessiz, konforlu, toplu ulaşım araçlarının kullanımını gündeme getirmiş ve toplu taşıma araçlarının en önde geleni olan raylı ulaşım sistemine geçiş zorunlu hale gelmiştir.

Bugün ve gelecekte, kentlerimizde raylı sistemlere ihtiyaç olduğu yadsınamaz bir gerçektir. Ülkemizde günümüze kadar yapılmış raylı sistem uygulamalarının genel olarak, özenli bir planlamaya dayandığını söylemek güçtür. Oysa kentlerde kurulması düşünülen raylı sistemlerin uygun koşullarda gerçekleştirilmesi başlangıç yatırımlarının iyi planlanmasına bağlıdır.

Raylı sistem taşımacılığında yatırım maliyetleri yüksek olmakla birlikte, işletme maliyetleri karayolu taşımacılığına göre daha düşüktür. Ayrıca kaza riskleri, enerji tüketimi, trafik sıkışıklığı ve personel istihdamı kara yolu taşımacılığına göre daha azdır. Bununla birlikte raylı sistem taşıma kapasitesi, karayolu taşımacılığına göre çok daha yüksektir. Bütün bu koşullar günümüzde raylı taşımacılığın yaygınlaşmasını hızlandırmıştır.

Kent İçi Raylı Sistemler

Kent içi raylı ulaşım sistem seçimini belirleyen en önemli kriter öngörülen yolcu kapasitesidir. Sistemde kullanılan araçların hızı, ivmesi ve vagon sayısı, bunun yanında yolun geometrik özellikleri, sinyalizasyon sistemi, karayolu ile kesişme durumu, duraklar arası mesafe, durakların uzunluğu, çalıştırılma sıklığı gibi parametreler yolcu kapasitesi ile ilgilidir.

Günümüzde kent içi toplu taşımacılıkta kullanılan raylı ulaşım sistemleri; hafif raylı sistemler, tramvaylar, metrolar, banliyö trenleri, manyetik yataklı sistemler ve üst yollu elektrikli, toplu taşıma sistemi olan monoraydan oluşmaktadır. Bu sistemlerden ilk dördü ülkemizin değişik kentlerinde etkin olarak kullanılmaktadır.

Hafif raylı sistemler, esas olarak klasik tramvayın modernleştirilmiş ve evrimleşmiş halidir. Hafif raylı taşımacılık; tek araba veya kısa dizi halinde işletilebilen yer seviyesinde veya yükseltilmiş yollarda, diğer kullanıcılardan ayrılmış kendine ait özel bir yolu olan, kent içi elektrikli ulaşım sistemidir. Genellikle yapılaşmış ve nüfus artışlarının sınırlı kaldığı çevre bölgelerde etkin olarak kullanılmaktadır. Bir sürücü tarafından sinyalizasyon sistemine uygun olarak kumanda edilen, her 600-1000 m mesafede özel istasyonlarda yolcu indirip bindiren, ortalama 60-80 km/saat süratle kendine ait hatlarda işletilen raylı toplu taşıma sistemleridir. Hafif raylı sistemlerin saatlik yolcu kapasiteleri 10 bin-20 bin kişi arasında değişmektedir.

Bunun yanında tramvaylar, mevcut kent yolları üzerinde döşenen hatlarda elektrikle çalışan, yol ve trafik durumuna göre bir sürücü tarafından kumanda edilen, daha çok bir adım atılarak binilebilen alçak zeminli araçların kullanıldığı toplu taşıma sistemleridir. Yolcu taşıma kapasiteleri en çok 10 bin kişi/saat, ortalama ticari hızları 14-16 km/saat, durak aralıkları 400-600 metre olup, kent içinde çevre kirlenmesi ve enerji tasarrufu açısından avantajlıdır.

Kent içi raylı ulaşımında en büyük trafik potansiyelini gerçekleştiren taşıtlar metrolardır. Yeryüzünde veya bazen yer üstünde hareket eden ve yol kesişmesi olmayan bu sistem, kendi içinde kapalı bir yapıdır. Dünyada yaygın olarak büyük şehirlerde kullanılan toplu taşıma sistemleridir. Diğer türlerin ulaşamadığı yüksek hızlara ulaşabilen tam korumalı metro sistemleri genellikle 2-10 vagon oluşmuş ve diğerle-

rine göre en yüksek kapasiteye sahip olan (60 bin kişi/saat) taşıma sistemidir. Yüksek düzeyde otomasyon gerektiren bu sistem yüksek yatırım maliyetine karşılık en düşük işletme giderleriyle çalışmaktadır.

Büyük şehirlerde yoğunlukla şehir dışındaki yerleşim yerlerine yolcu taşımada etkin olarak kullanılan banliyö trenleri; yüksek kapasite, konfor, hız ve güvenlik sağlarlar. Durak aralıklarının fazla olması nedeniyle kent merkezi için çekici değildir. Metro işletmenin verimliliğini yitirdiği uzaklıklarda ve yeterli sıklık sağlandığında hız ve düzenlilik gibi avantajlarıyla başarılı işletmecilik örnekleri gerçekleştirilmiştir. İşletme giderleri ve enerji tüketimi oldukça düşüktür.

Toplu Ulaşım Sistemlerinin Değerlendirilmesi

Kent içi toplu taşıma sistemleri değerlendirilirken teknolojik özellikler, altyapı yapım ve işletme maliyetleri, çevresel etkileri dikkate alınır. Bu değerlendirmeler taşıma ücreti, seyahat süresi, güvenilirlik, kent yapısına uygunluk, trafik sıklığı, güvenlik, enerji gereksinimi, çevre kirliliği, alan kullanımı, kaynak gereksinimi, sisteme uyum, işletme ekonomisi, personel ihtiyacı gibi kriterler göz önüne alınarak yapılır.

Öncelikle sistemin yeterli konfora ve güvenliğe sahip olması beklenir. Taşıtların yolcu kapasitesi, sistemin saatlik kapasitesi, yapısal özerkliği, enerji tüketimi, altyapının jeolojik ve topografik gereksinimleri teknolojik karşılaştırma kriterleridir. Teknolojik özelliklere bağlı olan hizmet niteliği, yolcuların kent içi toplu taşıma sistemleri arasında seçim yapmasında önemli bir ölçüttür. Bunlar yolculuk maliyeti, seyahat süreleri, sefer sıklıkları, güvenilirlik, araç konforları, olumsuz hava koşullarından etkilenmeme, bilet alınmasındaki kolaylık, yaşlılar, fiziksel engelliler ve çocuklar için gerekli kolaylıkların varlığı, yolcuların beraberinde çanta, valiz gibi eşyalarını taşıyabilme olanaklarıdır.

Toplu taşıma sisteminin seçimini etkileyen en önemli etkenlerden biri geçiş üstünlüğüdür. Sisteme ait araçların hızı, kapasitesi, düzenliliği, güvenliği, yapısal özerkliği ve esnekliği geçiş üstünlüğüne bağlı değişen değerlerdir. Geçiş üstünlüğü açısından toplu taşıma sistemleri; genel trafik içinde hareket eden sistemler, kısmen özel yola sahip olan sistemler ve özel yola sahip sistemler olarak sınıflandırılabilir.

Altyapı ve işletme maliyetleri, sistemin kamuya, işleticiye ve kullanana maliyeti ekonomik karşılaştırma kriterleridir. Toplu taşıma sistemlerinde maliyet; altyapı yapım ve işletme olmak üzere ikiye ayrılır. Sistem kapasitesi, altyapı tipi, ekonomik ömrü, finansman koşulları, faiz oranları ve kamulaştırma giderleri altyapı maliyetini etkileyen temel unsurlardır. İşletme maliyeti ise sistem kapasitesine, taşıt sayısına, faiz oranlarına, bakım, yakıt, personel giderleri, işletenin türü ve örgüt yapısına bağlıdır. Düzenli bir ulaşım hizmeti veren bütün sistemlerde maliyet eğrileri sistemlerin ekonomik özelliklerine göre farklı değerler almaktadır. Bu değerler kentlere, kentlerin çeşitli bölgelerine, sistemi işleten ve kullanana göre de değişim göstermektedir. Bu değişikliklere neden olan temel öğeler doluluk oranı, örgüt yapısı ve işletme türüdür.

Yatırım maliyetleri; yol, taşıt, sinyalizasyon tesisleri, durak maliyetleri, depo ve atölye maliyetleri, etüt ve mühendislik hizmet maliyetleri ve önceden kestirilemeyen diğer giderlerden oluşmaktadır. Bazı taşıma türleri için yatırım maliyetleri Tablo-1'de verilmiştir.

Tablo 1: Kent İçi Toplu Ulaşım Yatırım Maliyetleri (Milyon \$)

	Otobüs	Özel Yollu Otobüs	Tramvay	Hafif Raylı	Metro
Km başına yatırım maliyeti	<0,5	2,0-10,0	5,0-10,0	10,0-30,0	40,0-90,0

İşletme maliyetlerini oluşturan öğeler; personel giderleri, bakım ve onarım giderleri, enerji harcamaları, yönetim ve uzmanlaşma giderleri olup, üç ana grup altında toplanabilir:

Mesafeye bağlı işletme giderleri: Sisteme bağlı araç filosu tarafından kat edilen yola bağlıdır [araç x km]. Enerji harcamalarını, bakım ve onarım giderlerini içermektedir.

Zamana bağlı işletme giderleri: Sisteme bağlı araç filosunun işletildiği zaman için hesaplanır [araç x saat]. Çalıştırılan personel giderlerini de içerir.

Yola bağlı işletme giderleri: Kilometre başına günlük ve yıllık olarak hesaplanır. Durakların, sinyalizasyon sistemlerinin, enerji iletim hatlarının ve yolların bakım ve onarımı için yapılan harcamalardır. Bazı taşıma türleri için işletme maliyetleri Tablo-2'de verilmiştir.

Tablo 2: Kent İçi Toplu Taşıma Türleri İçin İşletme Maliyetleri (1/100 \$)

	Otobüs	Özel Yollu Otobüs	Tramvay	Hafif Raylı	Metro
Km başına yolcu	3-8	8-12	3-12	12-15	15-23

Kent içi ulaşımında sistem tercihinde ekonomik çalışma kapasitesi dikkate alınması gereken en büyük etkenlerden biridir. Bu durumda sistem seçiminde, taşıma türlerinin işletme maliyeti-kapasite ilişkisini gösteren eğriler yararlı olmaktadır. Bu konuda yapılan kabul, bir yolcu için durakta 5 dakikalık bekleme süresinin normal olduğu varsayıldığında bir yöndeki saatlik yolculuk talebi;

Yolcu sayısı < 92 ise dolmuşun

Yolcu sayısı 92 – 225 arasında ise minibüsün

Yolcu sayısı 225 – 6.400 arasında ise otobüsün

Yolcu sayısı 6.400 – 12.800 arasında ise özel yollu otobüsün

Yolcu sayısı 12.800 – 32.000 arasında ise tramvayın

Yolcu sayısı > 32.000 arasında ise metro veya trenin

ekonomik olduklarıdır.

Sistemin çevreye etkileri, kaza olasılıkları çevresel karşılaştırma kriterleridir. Sistemlerin trafikte yarattığı çevresel etkilerden en önemlisi hava kirliliğidir. Elektrik enerjisi ile çalışan sistemlerin seçimi atmosferik kirlenmelerin azalmasına katkıda bulunacaktır. Bunun yanında ulaşım araçlarının her türlü sesin yarattığı ses kentlerdeki gürültünün en önemli nedenidir. Ses dalgaları basınç ve frekans ile belirlenmekte olup, insanlar için 140 desibel (dB) üzeri sağlığa zarar vermektedir. Motorlu taşıtlara nazaran raylı toplu taşıma araçları daha az gürültüye neden olmaktadır.

Toplu Taşıma Sistemlerinin Kent ve İnsan Yaşamına Etkileri

Karayolu altyapısını kullanan toplu taşıma türleri yolcu kapasitesinin belli bir düzeyi aştığı ulaşım hatlarında yetersiz kalmaktadır. Özellikle büyük kentlerde yolcu kapasitesinin aşıldığı alanlarda raylı toplu taşıma sistemleri gündeme gelmektedir. Ancak yatırım ve işletme maliyetlerinin yüksek oluşu ve uygulama esnekliklerinin çok kısıtlı oluşu gibi

nedenlerden değişik toplu taşıma türleri arasında seçim yapılırken dikkatli olunmalıdır.

Hızlı kentleşme, sanayileşme ve nüfus artışının beraberinde getirdiği sorunlar doğal olarak ulaşım sektörüne de yansımaktadır. Kentleşme oranı toplumun ekonomik ve sosyal gelişmişliğinin bir göstergesi olarak görülebilir. Ancak planlı kentleşme; mevcut altyapısıyla bir bütündür. Bu nedenle ulaşım ve trafik ile ilgili yapılacak planlamalar ve çözüm önerileri de bir bütünlük içerisinde olmalıdır.

Karayolu ağı gelişmemiş, buna karşılık özel oto kullanımının yüksek olduğu ülkelerde trafik sıkışıklığı, gürültü, hava kirliliği gibi olumsuz etkileri ortadan kaldırmak için kent içindeki yolcu talebinin büyük bir kısmının toplu taşıma sistemleri ile karşılanması gerekir. Birçok büyük şehirdeki uygulamalar, raylı taşıma sistemlerinin yoğun trafik ile baş edebilmenin tek yolu olduğunu ortaya koymuştur. Bu anlamda raylı ulaşım; şehir içi ve şehirlerarası hızlı toplu taşıma sistemlerinin modern, hızlı, ekonomik, konforlu ve güvenli şeklidir. Hafif raylı sistem araçları ile taşınan yolcu sayısı fazla olduğu için şehir içindeki trafik sıkışıklığı önemli ölçüde azalacaktır.

Hava kirliliğinin nedenleri ve boyutları incelendiğinde; ulaştırmanın en önemli kaynaklar arasında olduğu görülmektedir. Elektrikli demiryollarının kirlilikteki payı yüzde 5 iken karayollarının payı yüzde 85 düzeyindedir. Bir elektrikli tren 42 km seyir sonucunda çevreye 1 kg karbondioksit yayarken, aynı miktarda karbondioksit otobüsle 12 km'de otomobil ve uçakla 7 km'de yayılmaktadır. Taşıtların oluşturduğu kirliliğin genellikle iki boyutu vardır. Birincisi oksijen tüketimi, ikincisi ise zararlı madde üretimidir. Bir litre yakıtın yanması sırasında tüketilen 200 litre oksijeni bir insan 24 saatte tüketir. Buradan da görüldüğü gibi elektrikli raylı sistemlerin kullanılması ile hava kirliliği önemli ölçüde azalacaktır.

Ulaştırma sistemlerinde konforlu bir seyahat için gürültü seviyesinin üst düzeyi 65 dB, rahatsızlık bölgesi 75-120 dB olarak kabul edilmektedir. Araştırmalarda karayollarındaki gürültü şiddetinin 72-92 dB arasında değiştiği tespit edilmiştir. Ağır taşıtlar için bu değer 103 dB'e kadar çıkmaktadır. Hava yollarında ise gürültü şiddeti 103-106 dB'dir. Buna karşılık saatte 150 km hızla giden bir trenin gürültüsü 65-75 dB arasında değişmektedir. İnsan sağlığı açısından 8 saatlik bir çalışma için gürültü sınırının en fazla 90 dB olduğu göz önüne alınırsa demiryollarının önemi daha da artmaktadır.

Alan kullanımında aynı kapasitede taşımacılık için demiryolları, karayoluna göre daha az arazi gerektirmektedir. Platform genişliği 13.7 m. olan çift hatlı, elektrikli bir demiryolu hattı kapasite açısından 37.7 m genişliğinde 6 şeritli bir otoyola eşdeğer durumdadır. Bu duruma göre karayolları, demiryollarına göre 2.7 kat daha fazla arazi kullanımı gerektirmektedir.

Maliyet açısından platform genişliği 13.7 m olan çift hatlı ve sinyalizasyonlu bir demiryolunun ortalama maliyeti 2 milyon 850 bin dolar/km iken kapasite ve standartları açısından eşdeğer 6 şeritli otoyolun maliyet ortalaması 8 milyon dolar/km olmaktadır. Yapım maliyeti açısından da demiryolunun daha avantajlı olduğu görülmektedir.

Japonya'da yapılan bir araştırmaya göre; yolcu taşımacılığında demiryollarına göre otobüsler 1.4 kat, otomobiller 6.8 kat ve uçaklar 5.4 kat daha fazla enerji tüketmektedirler. Yük taşımacılığında ise demiryolları ve gemiler yaklaşık aynı miktarda enerji tüketirken, kamyonlar 7.5 kat daha fazla enerji tüketmektedir. Uluslararası Demiryolları Birliği'nin bir raporuna göre bir yolcu 1 kilovat saat (kWh) enerji harcayarak tren ile 5 km, otomobille 1.7 km, uçakla 1.1 km seyahat edebilmektedir.



Değerlendirme ve Sonuç

Günümüz modern şehircilik anlayışında şehirde yaşayan insanların ulaşımını büyük ölçüde raylı sistemler sağlamak-tadır. Raylı sistemler hızlı, güvenli, temiz ve çevreci olması; kaza riskini ve yolculuk süresini azaltması; enerji tasarrufu sağlaması; karayolu taşımacılığı trafik yükünü, yatırım, bakım ve onarım giderlerini azaltması; diğer toplu taşıma sistemleri ile uyumu; düşük işletme maliyetleri; gürültü kirliliğini azaltması ve kentsel arazi kullanımına olan olumlu etkilerinden dolayı tercih edilmektedir. Bununla birlikte raylı sistem türlerini modern şehirlerin birçoğunda görmemiz olasıyken, ülkemizde yatırım maliyetinin daha düşük olması nedeniyle hafif raylı sistemler daha çok tercih edilmektedir.

Raylı sistemlerin ulaştırma sistemi ile bütünleştirilmesi yaşamsal önem taşıyan bir gerekliliktir. Bu nedenle, gereken koordinasyonun yapılmaması durumunda, raylı sistemden beklenen etkinlik sağlanamayacaktır.

Kentsel raylı sistemlerin yaygınlaşmasının önündeki en önemli engel araçlarla ilgilidir. Bunun nedeni teknolojik gelişmelerinin yanında araçların pahalı olması ve standartlaşma yerine çeşitlenmesidir. Genel olarak araçların raylı sistemlerde belirleyici bir yeri olup, raylı sistem tasarımlarında araç seçimini, araç-yol-durak etkileşimini de gözetenek araç karakteristiklerini belirlemek gerekir.

Ülkemizde kentsel raylı sistemlerin özelliklerini içeren bir veri tabanı bulunmamaktadır. Gerekli bilgiler her bir belediyede ayrı ayrı bulunmasına karşılık bu verilere toplu olarak ulaşmak olası değildir. Bu durumda sistemlerin karşılaştırmalı başarımlarını değerlendirmeleri yapılamamaktadır. Her yerel yönetim kendi raylı sistemlerinin çok verimli işletildiğini ve yapılan yatırımların akıllıca olduğunu belirtmesine karşın bir veri tabanının oluşturulup güncellenmemesi, bu konunun yeterince aydınlatılmasını engellemektedir. Böylesi bir veri tabanının oluşturulmasında ve güncellenmesinde, gerekli bilgi birikimine sahip olan kurumlarımız ya da üniversitemizde bir işbirliği odağı oluşturulmalıdır.

Kaynaklar

1. Tanış, M., Ögüt, K., S., "Orta Ölçekli Kentler için Toplu Taşıma Seçeneklerinin Teknik ve Mali Karşılaştırması", 5. Kentsel Altyapı Ulusal Sempozyumu, Hatay, 2007, s. 132-146.
2. Ögüt, K., S., Evren, G., 2006, "Türkiye'de Kentsel Raylı Sistemlerin Gerekliği ve Uygulamada Dikkat Edilecek Konular" Uluslararası Demiryolu Sempozyumu, Ankara-İstanbul, 2006, Cilt:1, s. 1169-1979.
3. Köllük, E., "Demiryollarının Ülkemizde ve Dünyadaki Gelişimi", TCDD Eğitim Merkezi Notları, Ankara, 2005.
4. Gökdağ, M., Üçüncü, O., "Trafik ve Gürültü", Tabiat ve İnsan, Yıl 26, Sayı 1, 1992, s. 41-44.
5. Gökdağ, M., Yüksel, F., "Enerji Verimliliği Açısından Demiryollarının Önemi ve Geliştirilmesi" Ulusal Enerji Verimliliği, Ankara, 1999. ■