

KENT İÇİ RAYLI SİSTEMLER

Dr. Veysel ARLI

İstanbul Ulaşım A.Ş. / arli@istanbul-ulasim.com.tr

Kent içi raylı sistemler sınıflandırılırken en önemli kriter sistemin yolcu kapasitesidir. Ticari hız, bir dizideki vagon sayısı, aracın ivmesi, yolun geometrik özellikleri, sinyal sistemi, karayolu ile kesişme noktalarının varlığı veya karayolundan korunma oranı, istasyon uzunlukları, istasyonlar arasındaki mesafe, zirve saatte dizi çalıştırma sıklığı gibi parametreler kapasite ile ilişkili olan faktörlerdir.

Tramvay

Elektrikle çalışan 1-3 araçtan oluşan toplam 80-300 kapasiteli çoğunlukla caddelerde hizmet sunan raylı ulaşım araçlarıdır. Trafik sıkışıklığı durumunda otobüsler daha hızlı seyahat edebildiği için 1950 yıllardan itibaren tramvaya göre daha fazla yer almaya başlamıştır. Buna karşın caddelerin yeniden tasarlanması, trafik mühendisliği teknikleri ile bu sorunlar giderilmiş ve otobüslere göre daha hızlı ulaşım sağlanmıştır.

Karayolu ulaşım araçları ile aynı alanı kullanan, yol ve trafik durumuna göre bir sürücü tarafından kumanda edilen, elektrik enerjisini katenerden alan, daha çok inip binmenin olduğu, günümüzde daha çok bir adım atılarak binilebilen alçak zeminli araçların kullanıldığı, en düşük yolcu kapasiteli raylı toplu taşıma sistemidir. Karayoluna aynı seviyede döşenen raylar üzerinde hareket ettiğinden, mevcut karayolu trafik düzenine uymak zorunda olup bu araçlara geçit ve kavşaklarda karayolu araçlarına göre geçiş üstünlüğü sağlanmaktadır.



Tramvayın mükemmel dinamik karakteristikleri ve konforu vardır ama işletme hızları büyük ölçüde hat güzergahındaki şartlara bağlıdır. Dar caddede ve yoğun trafikte performansı çok yetersiz olurken, geniş caddede az olan trafikte servisi çok iyidir. Tipik bir tramvay aracı 4-6 akslı, 14-21 m boyunda, 100-180 yolcu kapasiteli, kapasitenin %20-40 oturan yolculu araçlardır.

Son zamanlarda Orta ve Batı Avrupa'da birçok tramvayda (Bordeaux, Budapeşte, Milan) 35-53m boyunda 5-7 aracın körüklerle bağlanması ile 350 yolcu kapasiteli uzun tırtıl araçlar kullanılmaya başlamıştır.

Karışık trafikte işletme zorluğu ve yüksek maliyetler 1950 yıllara kadar tramvayların gelişmesini engellemiştir. Buna karşın Rusya, Çek Cumhuriyeti, Avusturya, İsviçre gibi bazı ülkelerde önemini hiç kaybetmemiştir.



Hafif raylı sistem (LRT)

Hafif raylı sistem (LRT) çoğunlukla yarı kontrollü hatta elektrikli tek olarak veya 2-4'lü araçlarla çalışan trenlerdir. İlk başlarda mevcut tramvay hatlarının fiziksel ve işletmesel iyileştirilmesi ile geliştirilmiştir. Tramvay ile benzer özelliklere sahip olmakla birlikte tramvay ile metro arasında kalan bir sistemdir.

Özellikle son 40 yılda önemli bir ulaşım aracı olan LRT, performans ve maliyet özellikleri açısından tramvay ile metro arasında kalan yarı hızlı bir modtur. Yolcuların %20-50'si oturandır. 18-42 m boyunda araçların yüksek hızlanma-frenleme (1-2 m/s², acil frenleme 3 m/s²) ivmesine sahiptir. Maksimum hız 70-80 km/sa arasındadır ama teknik olarak 100-125 km/sa hıza çıkabilmektedir. İşletme hızı 18-40 km/sa arasındadır. Hafif raylı sistemde aynı güzergah üstünde çok farklı işletme koşulları vardır, tünel kısımları olduğu gibi yaya bölgelerinde karışık trafikte de çalışmakta, alçak ve yüksek platformlar bulunmakta, sürücülü olduğu gibi tam otomatik kontrol sistemleri ile sürücüsüz de olabilmektedir. Araç taban yüksekliği 80-100 cm olduğu için alçak platformlarda 3-4 basamak bulunmakta veya alçak tabanlı araçlarda 20 cm yükseklikte platformlarla aynı seviyede olabilmektedir.

Güzergahın %70-90'nı kısmen veya tam korumalı olmaktadır. Şehir merkezleri veya çok yoğun alanlarda tünellerle geçilmektedir. Orta büyüklükteki kentlerde şehir merkezinde tramvay gibi yol ortasından geçmekte ve yaya bölgelerinin yaşanabilirliğine katkıda bulunmaktadır. İstasyon aralığı kent merkezinde 400-800 m iken kent dışında daha fazla olmaktadır. Mesela Los Angeles'da 1900 m, Dallas'ta 2200 m ve New Jersey'de 2880 m olmaktadır.

Metro

4 akslı elektrikli 10'lu setlere kadar çalıştırılabilen tam sinyalli ve tam korumalı olan sistemlerdir. Yüksek hız, kapasite, hızlı inme-binme ve sürücü hatasına izin vermeyen kontrol sistemleri ile güvenli sistemlerdir. 90 saniyeye düşen sefer aralıkları ve 2000 kişiye varan kapasite ile diğer raylı sistemlerden çok daha yüksek performansa sahiptir.

Tam korumalı, yüksek kapasiteli optimal bir raylı sistem modudur. Hatalara karşı tam emniyetli kontrol sistemleri, elektrik çekimi ile maksimum hıza imkan vermektedir. Yolcu binme-inme kapasitesi LRT'ye göre 3-5 kat ve otobüse göre 10-20 kat daha fazladır.

Son zamanlarda inşa edilen metrolarda ATO (otomatik tren işletme) sistemleri sürücüsüz olarak tüm şebekenin merkez kontrol merkezinden işletilmesi mümkündür. En iyi örnekleri Lyon metro D hattı (1993), Paris metro 14 hattı (1998) ve Singapur Northeast hattı (2002) dir ve sürücüsüz metrolar yakın zamanda daha fazla olacağı beklenmektedir. İşletme maliyeti daha düşük ve işletme elverişliliği daha yüksektir. Buna karşın yatırım maliyeti daha fazla ve sistem daha komplekstir. İlk maliyetleri yüksek görünse de yolcu başına düşen yatırım ve işletme maliyetleri açısından en uygun sistemlerdir. Ayrıca ilave yolcunun marjinal maliyeti daha düşüktür.

Genelde 2.5-3.2 m genişliğinde, 16-23 m boyunda 1-10 araçlıdır. Araç kapasitesi 120-250 kişi arasında ve bu yolcunun %25-60'ı oturan yolcudur. İşletme hızı 25-60 km/sa arasındadır ve pik saatlerde bir saatte geçen tren sayısı 20-40 arasındadır. Metro ismi her ülkede farklı kullanılmaktadır. İngiltere'de "Underground", Almanya'da "S-Bahn", Fransa'da "Metro", ABD'de "Subway" ve Rusya'da "Metropolitan" isimleri kullanılmaktadır.

Metro yapımının yüksek seviyeli amaçları şunlardır:

- Toplu taşıma kullanımını artırmak ve nüfusun hareketliliğini artırmak

- Kenti kapsayan bir ağda yüksek seviyeli toplu taşımayı sağlamak
- Özel otomobilden yolcuyu çekmek
- Toplu ve özel taşımada arasında daha iyi bir dengeyi sağlamak
- Sürekli bir ulaşım hizmeti sunmak
- Kent gelişiminin kalitesini artırmak ve efektif ve yaşanabilir kent formlarını oluşturmak

Kent İçi Raylı Sistemlerin Enerji Özellikleri

Uzun mesafeler boyunca elektrik güç iletimi, yüksek voltajlı üç fazlı AC ile efektif olmaktadır. Belirli bir güç değeri için yüksek voltaj, akımın düşmesine ve daha az direnç kaybına neden olur. Kent içi raylı sistemlerde katener veya 3. raydan beslenen 600-1500 V DC kullanılır. Motorlar doğru akım veya alternatif akımla beslenir.



Trafo merkezlerinde alternatif akım doğru akıma dönüştürülür, voltajı düşürülür, daha düşük akımda güç iletim mesafesi azalır. Kayıpları daha fazla azaltmak için Hong Kong gibi bazı metrolarda 1500 V kullanılmaktadır. Tasarım kriterlerine göre trafo ile araç arasındaki voltaj kaybı en kötü durumda %30 olmalıdır. 750 V yerine 1500 V kullanılırsa voltaj kaybı yarı yarıya azalmakta ve trafolar arası mesafe 4 katına çıkabilmektedir. 750 V için tipik trafolar arası mesafe 1.5 km iken 1500 V için bu değer 6 km olabilmektedir. 15 dakika sefer aralığı ve 30 km/sa işletme hızı için trafolar arası mesafe 7.5 km olabilmektedir.

Birim enerji tüketiminde en önemli faktör, araç doluluk oranı (yolcu-km/araç-km) değeridir. Raylı sistem araçlarının doluluk oranları diğer modlara göre daha fazla olsa da toplam enerji tüketimi büyük miktarlardadır.

Bu nedenle enerji tüketiminin azaltmak ve verimliliği artırmak için teknolojik ve işletmesel araştırmalar yapılmaktadır.

Tablo I. Kent içi raylı sistem araçlarının özellikleri

Araç özelliği	Tramvay	LRT	Metro
Araç kapasitesi (yolcu)	100-250	110-250	140-280
Araç boyu (m)	14-35	14-54	15-23
Araç genişliği (m)	2,2-2,7 (2,4)	2,2-3,0 (2,65)	2,5-3,2 (2,9)
Araç sayısı	1-3	1-4	1-10
Tren kapasitesi (yolcu)	100-500	100-750	140-2400
Hat kapasitesi (xbin yolcu/saat)	4-15	6-20	10-70
Maksimum tren sıklığı (tren/saat)	60-120	40-60	20-40
Mak. Hız (km/sa)	60-70	60-100	80-100
Normal işletme hızı (km/sa)	12-20	20-45	25-60
Kapasitede işletme hızı (km/sa)	8-13	15-40	24-55
Acil fren ivmesi (m/s^2)	2-3,7 (tipik değer 3)	2-3 (tipik değer 3)	1,1-2,1 (tipik değer 1,3)
Mak.ivme (m/s^2)	1-1,9 (tipik değer 1,2)	1-1,7 (tipik değer 1)	1-1,4 (tipik değer 1,1)
Tek hat genişliği (m)	3-3,35	3,4-3,6	3,7-4,3
İstasyon aralığı (m)	300-500	500-1000	500-2000
Yatırım maliyeti (milyon \$/km-hat)	5-10	10-50	40-100
Tam korumalı hat yüzdesi (%)	0-40	40-90	100
Araç yüksekliği (m)	düşük-yüksek	düşük-yüksek	yüksek
Peron yüksekliği (m)	düşük	düşük-yüksek	yüksek
Araç kontrol	manuel/görsel	manuel/sinyal	sinyal/otomatik kontrol
Ücret toplama	araçta	araçta-istasyonda	istasyonda
Enerji besleme	katener	katener	katener - 3. ray
Güvenilirlik	düşük-orta	yüksek	çok yüksek

Klasik frenlemenin enerji tüketimine bir etkisi yoktur ancak dinamik frenlenmeden elde edilen enerji, araç ısıtmada veya yardımcı sistemlerde kullanılır. Son zamanlarda yapılan elektronik kontrollü rejeneratif frenleme negatif enerji tüketimi sağlar yani ürettiği enerjii güç iletim hattına geri döndürür.

Aşağıdaki tabloda bazı modların tipik enerji verimlilikleri verilmiştir. Enerji tüketimini etkileyen birçok parametre vardır ve bu değerler yaklaşık değerler olup sadece karşılaştırma yapmak amacıyla sunulmuştur. Toplu taşıma sistemlerinin pik olmayan saatlerde bile otomobillere göre birkaç kat daha az enerji tüketirken, pik saatlerde çok daha fazla efektiftir.

Tablo II. Bazı modların tipik enerji verimlilikleri

Mod	Araç doluluğu (kişi/araç)	Enerji efektifliği (araç-km/kWh)	Enerji verimliliği (kişi-km/kWh)	Pik saatte enerji tüketimi (MJ/kişi-km)	Pik olmayan saatte enerji tüketimi (MJ/kişi-km)
Otomobil (5 kişi)	1,2-2,8	1,04-1,64	1,2-4,6	3,04 (%23 doluluk)	1,75 (%40 doluluk)
LRT (80-200 kişi)	15-200	0,2-0,62	2,9-125	0,25 (%70)	0,45 (%70)
Metro (150-200 kişi)	25-200	0,2-0,29	4,9-57	0,31 (%40)	0,55 (%40)