

KILAVUZLANMIŞ YÜKSEK HIZ KARA ULAŞTIRMA SİSTEMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ

İsmail ŞAHİN

*Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ulaştırma Anabilim Dalı
80750 Beşiktaş, İstanbul*

Geliş Tarihi:

HIGH-SPEED GUIDED GROUND TRANSPORTATION SYSTEMS and TECHNOLOGIES

SUMMARY

High-speed guided ground transportation systems are technologically divided into two groups. The first group comprises the high-speed railway systems using conventional technologies in which rail cars operate in the speed range of 200-350 kph. The rail cars in this group are two types: tilting body and non-tilting body. The second group comprises completely a new transportation technology called magnetic levitation (maglev). Maglev vehicles can operate in the speed range of 400-500 kph. We have, in this study, explored the features and applications of the existing and developing high-speed guided ground transportation systems and technologies including Aérotrain, historically the first contactless transportation system. A comparative analysis of these systems and technologies are given in the conclusion.

ÖZET

Kılavuzlanmış yüksek hız kara ulaştırma sistemleri teknolojik olarak iki gruba ayrılmaktadır. Birinci grupta konvansiyonel teknolojileri kullanan yüksek hız demiryolu sistemleri bulunmakta ve bu sistemlerin taşıtları 200-350 km/sa hız aralığında işletilebilmektedir. Bu grup içindeki taşıtlar da, eğilen (tilting body) ve eğilmeyen karoserli olmak üzere iki türdür. İkinci grupta tamamıyla yeni bir ulaştırma teknolojisi olan manyetik askılı (maglev) sistemler bulunmaktadır. Maglev taşıtları 400-500 km/sa hız aralığında işletilebilmektedir. Bu çalışmada, mevcut ve geliştirilmekte olan kılavuzlanmış yüksek hız kara ulaştırma sistem ve teknolojilerinin özellikleri ve uygulamaları araştırılmış, tarihsel olarak ilk temassız ulaştırma sistemi, Aérotrain hakkında da kısaca bilgi verilmiştir. Sonuç bölümünde sistem ve teknolojilerin karşılaştırmalı analizleri yapılmıştır.

GİRİŞ: Kılavuzlanmış Yüksek Hız Kara Ulaştırma Sistemi Niçin Gereklidir?

Ulaştırmanın günümüzdeki etkileri genel anlamda sosyal, ekonomik ve çevresel olarak sınıflandırılabilir. Ulaştırma hizmetlerinin sunulması ve bunlardan faydalanılması sürecinde karşılaşılan temel problemler; sayıları artmaya devam eden yolcuların daha hızlı ve daha etkili yer değiştirmelerini sağlamak ve yabancı kaynaklı fosil yakıtlarına gittikçe artan bağımlılık şeklinde ortaya çıkmaktadır. Bu problemlerin sonuçları sunulan hizmetlerin düzey, kalite, etkinlik ve sürekliliğini olumsuz yönde etkilemektedir. Sözü edilen sonuçlardan bazıları, karayolları ve havayolları ile havaalanları ve demiryolu

istasyonlarındaki tıkanıklık ve gecikmeler; ve bunların kullanıcılar da neden olduğu psikolojik olumsuzluklar; kısıtlı kaynakların verimsiz kullanımı; artan kaza riski; gürültü, hava ve su kirliliği gibi çevresel etkiler; ulaşım gecikmelerinin artan maliyeti; ve ithal yakıt nedeniyle kendi-kendine yeterliliğin tehdit altında olması şeklinde sıralanabilir.

Mevcut seyahat koşullarına ilişkin ölçütlerin iyileştirilmesine karşın, modern ulaştırma sistemleriyle doğrudan ilintili problemler ağırlaşmaya devam etmektedir. Orta uzunluktaki seyahatlerde otomobil ve hava ulaşımına olan yönelişin, sosyal alışkanlıklarımız ve yaşam biçimimizi olumsuz etkilediği konusunda yaygın bir kanı bulunmaktadır. Hızlı, konforlu, konvansiyonel demiryollarının güvenliğine eşdeğer veya daha güvenli, çevre dostu, elektrik enerjisi kullanan kara toplu ulaştırma sistemi, gelecekteki ulaştırma gereksinimi olarak karşımıza çıkmaktadır. Gelecekte ulaştırma türlerini kullanma eğiliminin şu şekilde olması beklenmektedir [1]:

- Kısa mesafelerde (100 km'ye kadar): otomobil (örneğin, elektrikli)
- Orta mesafelerde (100 ile 1000 km arasında): *kılavuzlanmış yüksek hız kara ulaştırma sistemi*
- Uzun mesafelerde (1000 km ve ötesi): jet uçak

Orta mesafelerdeki seyahatlerde talep edilmesi öngörülen kılavuzlanmış yüksek hız kara ulaştırma sisteminin belirleyici özellikleri; özel kılavuzlanmış yol, özel taşıt ve 200-500 km/sa düzeyinde hız olmaktadır. Bu sistemin üstünlükleri ve beklenen faydaları Tablo 1'de sunulmaktadır.

Tablo 1 Yüksek hız sisteminin üstünlükleri ve beklenen faydaları

ÜSTÜNLÜKLER [1]	BEKLENEN FAYDALAR [2]
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Otomatik kontrol için uygunluk nedeniyle: <ul style="list-style-type: none"> • daha yüksek hız • daha büyük kapasite • daha yüksek güvenlik ➤ Otoyollara olan üstünlük ölçütleri: <ul style="list-style-type: none"> • sunulan kapasite • kaynak gereksinimleri • arazi kullanımı ➤ Hava ulaştırmasına olan üstünlük ölçütleri: <ul style="list-style-type: none"> • kısa seyahat süresi • şehir merkezleri arasında gerçekleştirilen bağlantılar • hava şartlarından bağımsızlık • kirlilik gibi çevre konularındaki (örneğin, uçakların kalkış ve iniş sırasındaki gürültüsü) iyileşme 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Zaman kazancı ➤ Endüstriyel/teknolojik tranfer ➤ Daha dengeli bölgesel gelişme fırsatı ➤ Çevre uyumlu arazi kullanımı ➤ Azalan atıklar nedeniyle çevre kirliliğinin azalması ➤ Petrol bağımlılığının azalması ➤ Kazalarda ve buna bağlı ölümlerde azalma ➤ Kara ve havayolu yatırımlarının ertelenmesi ➤ Özellikle istasyon yakınındaki arazi ve gayrimenkul değerlerinde artış ➤ İnşaat ve işletme sırasında yaratılan istihdam

MEVCUT ve GELİŞTİRİLMekte OLAN KILAVUZLANMIŞ YÜKSEK HIZ KARA ULAŞTIRMA SİSTEMLERİ ve TEKNOLOJİLERİ

Taşıt hızları 200 km/sa'tin üzerindeki kılavuzlanmış kara ulaştırma sistemleri, yüksek hız sistemleri olarak sınıflandırılmaktadır. Bu sınırdaki (hızlı) trenler, düşük hızlı yolcu ve yük trenleri ile aynı hattı paylaşabilmektedirler. Ayrıca mevcut sinyalizasyon sistemleri de, bu düzeye kadar olan tüm hızlarda trenlere güvenli seyir koşulları sunabilmektedir. Ancak, seyir hızındaki artış, demiryolu ulaştırma maliyetleri ile ilgili ekonomik problemler ortaya çıkarmaktadır. Göreli olarak düşük hızlarda herhangi bir artış ekonomik olarak kabul edilebilmektedir; çünkü, sistem kullanımıyla ilişkili başarımlar (performans) artışı (örneğin, taşıt, yol, personel verimliliği vd.), maliyet artışını dengelemektedir. Hız 200 km/sa değerini aştığında, durum farklılaşmakta; faydalar (yani, seyir süresindeki azalmalar) gittikçe daha az artarken, maliyetler doğrusal olmayan bir davranışla artmaktadır. Bu nedenle, yeni bir kılavuzlanmış yüksek hız kara ulaştırma sistemi tasarlanırken teknik ve ekonomik göstergeler birlikte ele alınmalıdır [3].

Yüksek hızlı taşıt sistemleri aşağıdaki hız gruplarına ayrılabilir:

1. 200-300 km/sa:
 - Dizel elektrik trenler (İngiliz HST ve Kanada LRS)
 - Elektrikli tilting body (eğilen karoserli) trenler (İsveç X 2000, İtalyan Pendolino ve İspanyol Talgo)
 - Elektrikli nontilting (eğilmeyen) trenler (Amerikan Metroliner)
2. 250-350 km/sa: Elektrikli nontilting trenler (Japon Shinkansen, Fransız TGV ve Alman ICE)
3. 400-500 km/sa: Manyetik askılı trenler (çekme -elektromanyetik- modlu Alman Transrapid ve itme -elektrodinamik- modlu Japon Lineer Express) [4]

İlk iki grup içindekiler, yüksek hız demiryolu sistemleri olup, konvansiyonel ray-üstünde-tekerlek (wheel-on-rail) teknolojisini kullanmaktadırlar. Maglev sistemlerinin henüz ticari bir uygulaması bulunmamaktadır. Tilting body sistemler, kurplu yol kesimlerinde herhangi bir iyileştirmeye gerek duyulmadan, bu kesimlerde yolcuyla yanıl ivme rahatsızlığından kurtaran bir fayda sağlamaktadır. Diğer, nontilting sistemler yaygın olarak AC tahrikli olup, kendilerine özgü büyük kurp yarıçaplı hatlarda işletilirler. Burada vurgulanması gereken önemli bir nokta, yüksek hız işletmeciliğinin sürekliliği için, hat bakımının düzenli olarak yapılması zorunluluğudur. Üçüncü gruptaki manyetik askılı (magnetic levitation, maglev) sistemler, tamamıyla yeni bir teknolojiye sahiptir. Taşıt ve (kılavuz) yol arasında temas (sürtünme) bulunmayan bu teknolojinin temeli, taşıtta ve yolda bulunan özel manyetik elemanlar arasındaki (çekme veya itme biçimindeki) etkileşimdir.

Yüksek Hız Demiryolu Sistemleri

Avrupa Demiryolları Topluluğu'nun yüksek hız demiryolu hakkındaki görüşü şu şekildedir: Enerji etkin, çevre dostu, ekonomik ve ileri bir tekniğe sahip yüksek hız demiryolu şebekesi ulaşımın görünümünü yeniden şekillendirecektir. Bu şebeke hava ve yollarda gittikçe kötüleşen tıkanma problemlerini çözmeye yardımcı olabilir. Yüksek hız demiryolu Avrupa insanına hızlı, uygun ücret tarifeli ve konforlu seyahat olanağı sunacaktır. Şebeke ayrıca, Avrupa Birliği içinde bölgesel, sosyal ve ekonomik kalkınma için

benzersiz bir olanak yaratacaktır. Yüksek hız demiryolu şebekesi, Avrupa'nın bütünleşmesi için güçlü bir katalizör işlevi görmektedir [4].

Avrupa'da yüksek hız demiryolu şebekesi 25-30 yıllık uzun bir dönemde 30.000 km hat uzunluğuna sahip olacaktır (bu uzunluk, 6500 km bağlantı ve 4500 km besleyici hatları da kapsamaktadır.) Yüksek hız demiryolu yapımı ve hazırlık çalışmaları içinde olan ülkeler arasında Avrupa'da Fransa, Almanya, İtalya, İspanya, İsveç ve İngiltere; Asya'da Japonya Kore ve Tayvan; Amerika'da ise Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada bulunmaktadır. Bu ülkelerin bazıları mevcut teknolojileri kullanmakta, bazıları da yeni teknolojiler geliştirmek için çalışmalarını sürdürmektedirler. Özellikle Avrupa'da geliştirilen teknolojilerin temel hedeflerinden biri, yüksek hız trenlerinin teknolojik uyum sorunu olmadan Birlik sınırları içindeki hatlarda işletilebilmesidir.

Çeşitli ülkelerde işletilmekte olan bazı yüksek hız demiryolu hatları ve trenlerinin özelliklerine ait bilgiler sırasıyla Tablo 2 ve Tablo 3'de verilmektedir.

Tablo 2 Bazı yüksek hız demiryolu sistemlerinin hat ve hız bilgileri [5]

Ülke	İşletme	Hat uzunluğu (km)	Rejim hızı (km/sa)	Maks. boyuna eğim (‰)	Min. kurp yarıçapı (m)	Maks. Kurp yarıçapı (m)	Maks. dever (mm)
Fransa	TGV-SE	413	270	35	3250	8100	180
	TGV-A	309	300	15	4000	8100	180
Almanya	ICE	800	250	12.5	5100	14250	150
Japonya	Tokaido	515	270	20	2500	5100	180
	Sanyo	398	230	15	4000	8100	155
	Tohoku	470	240	15	4000	8100	155
	Joetsu	270	275	15	4000	8100	155
İtalya	ETR 450	840	250	18	3700	>6000	150

Manyetik Askılı (Maglev) Sistemler

Orta ölçekteki seyahatler için öngörülen kılavuzlanmış yüksek hız kara ulaştırma sistemi, 350 km/sa'te kadarki hız mertebeleri için konvansiyonel (ray-üstünde-tekerlek) yüksek hız demiryolu sistemleri olabilmektedir. Ancak, 350 km/sa'tin üstündeki hızlarda bu sistemlerin teknik sınırlarına erişilmektedir. Bu sınırda karşılaşılan uygulama zorlukları ve gereksinimleri şu şekilde sıralanabilir:

- Özel altyapı gereksinimi,
- Büyük mekanik gerilmeler,
- 200 km/sa'tin üstündeki hızlarda tekerlek ve rayların her ikisinde de ciddi aşınmalar,
- Yol çerçevesinin korunmasındaki zorluklar,
- Tekerlek ve yol geometrisinin korunması için yüksek harcamalar,
- 200 km/sa'tin üstündeki hızlarda aşırı gürültü,
- Çelik tekerlekli taşıtlara özgü titreşim,
- Çekim ve frenleme için tekerlek sürtünmesinin kullanımı ve
- Aynı hat üzerinde yüksek hızlı trenlerin sıklıkla işletilme zorluğu.

Maglev sisteminde trenler 500 km/sa (hatta daha büyük) hızlara erişebilmektedirler. Maglev sisteminde taşıt, kılavuz yol üstünde sürtünmesiz olarak hareket etmektedir. Taşıtın yol üzerinde askıda kalması, kılavuzlanması ve hızlanma ve yavaşlaması manyetik kuvvetler aracılığı ile gerçekleşmektedir. Bu işlemler için gerekli manyetik

Tablo 3 Bazı yüksek hızlı trenlerin özellikleri [4]

Özellik	ABB X 2000	Fiat ETR 450	TGV-A	ICE -A	Shinkansen 300 Serisi
Karoser tipi	Eğilen	Eğilen	Eğilmeyen	Eğilmeyen	Eğilmeyen
En büyük eğilme	8°	10°	---	---	---
Hizmete başlama	Eylül 1990	1988	Eylül 1989	Haziran 1991	Mayıs 1992
En büyük hız	250 km/sa	250 km/sa	515,3 km/sa (1L-3V-1L)	410 km/sa	325,7 km/sa
Rejim hızı	200 km/sa	250 km/sa	300 km/sa	250 km/sa; bazı hat kesimlerinde 280 km/sa	270 km/sa
Taşıt tipi ^a	Lokomotif çekicili	EMU	Mafsallı vagon bağlantılı	Lokomotif çekicili	EMU
Dizi düzeni ^b	1V-4V-1L veya 1V-2V-1L	3(O-V-O) (9 taşıt)	1L-10V-1L	1L-13V-1L veya 1L-14V-1L	(1V-5O-2V)+(2V-5O-1V)
Koltuk sayısı	200 (hepsi 1. sınıf); 281 karışık	402 (9 taşıt)	369 koltuk; 116 1. sınıf	681 (1-14-1)	1323
Çekim	AC üç faz asenkron; 815 kW; 4 yürütücü dingil	DC; 312 kW, karoser montaj; 16 yürütücü dingil/tren	AC senkron 1100 kW, 8 yürütücü dingil	AC asenkron 3-faz, 1200 kW, 8 yürütücü dingil	AC asenkron, 300 kW, 40 yürütücü dingil
Frenleme	Kombine frenleme: tekrar üretim, diskler ve manyetik ray	Kombine frenleme: reostatik ve diskler	Kombine frenleme: reostatik, disk ve pa-buç	Kombine frenleme: tekrar üretim ve diskler	Kombine frenleme: tekrar üretim, disk ve eddy-akımı
Güç kaynağı ^c	OCS 15 kV 16 2/3 Hz tek faz	OCS 3 kV DC	OCS 2x25 kV, 50 Hz	OCS 15 kV 16 2/3 Hz	OCS 2x25 kV 60 Hz
Dingil yükü	18,25 t (maks.)	12,5 t	17 t	20 t	11,3 t
Filo boyutu	20 1V-4V-1L dizi hizmette veya sipariş edildi; 14 1V-2V-1L dizi sipariş edildi	15 dizi 3(O-V-O) hizmette; 10 ETR 460 dizi sipariş edildi	105 dizi hizmette	90 dizi hizmette veya sipariş edildi	4 dizi hizmette; üretimde

^a EMU: Electric Multiple Unit-elektrikli çok çekicili taşıt; ^b L: Lokomotif, O: Otomotris, V: Vagon;

^c OCS: Overhead Contact/Catenary System-kataner sistemi

kuvvetler, taşıt ve yola yerleştirilmiş manyetik elemanlar tarafından üretilmektedir. Sürtünme bütün konvansiyonel ulaştırma sistemlerinde vardır. Sürtünme, enerji kaybı ve aşınmaya neden olduğu gibi ısı da meydana getirmektedir. İki yüzey arasındaki sürtünme ne kadar az olursa, taşıtı hareket ettirmek için gereken kuvvette o ölçüde küçük olmaktadır. Bu nedenle, sürtünme, sistemi daha etkin kılmak için, olduğunca azaltılmalıdır. Maglev sisteminde tren havada hareket ettiği için yol ile bir teması bulunmamakta; dolayısıyla hareketli ve aşınan herhangi bir parça da bulunmamaktadır. Teorik olarak bunun anlamı, taşıt ve yol bakımına gerek olmadığıdır. Maglev sisteminde sürtünmenin ortadan kaldırılmış (ya da azaltılmış) olması, konforlu, sarsıntısız ve gürültüsüz bir seyahat olanağı sunmanın yanında, bakım giderlerini de azaltmaktadır. Hep-

sinden önemlisi, sürtünmenin olmaması, maglev taşıtlarının 500 km/sa'tin üstündeki hızlarda hareket etmesini olanaklı kılmaktadır.

Maglev sisteminin konvansiyonel yüksek hız demiryolu sistemlerine göre bazı önemli üstünlükleri de bulunmaktadır. Maglev'in enerji harcaması, konvansiyonel trenlerin harcamasından daha azdır. Bunun temel nedeni sürtünme olmayışıdır. Maglev daha az doğal kaynak tüketmektedir. Maglev sisteminde trenler elektrik enerjisi ile beslendiğinden, fosil yakıtlarına bağımlılığı bulunmamaktadır. Bu durum maglevi çevre dostu bir sistem yapmaktadır. Maglev bir başka çevre etkisine daha sahiptir. Sistemin arazi gereksinimi oldukça azdır. Hat genellikle yükseltilmiş olduğundan, altındaki arazi kullanılabilir. Maglev teknolojisi, konvansiyonel demiryollarına göre daha büyük eğimlere izin verdiği için, çok fazla yarma ve dolgu gerektirmemekte, böylece doğal araziye verilen zarar daha az olmaktadır. Maglev, diğer toplu taşıma sistemlerine göre daha emniyetlidir. Özel yol tasarımı nedeniyle derayman (raydan çıkma) tehlikesi yoktur; taşıt adeta yola kilitlenmiştir. Taşıt yola temas etmediği için, hava koşulları veya aşınma kaynaklı kazalar en aza indirilmiştir.

Maglev için geliştirilmiş bulunan iki farklı teknoloji bulunmaktadır. Bunlar, Almanya'nın Transrapid treninde kullandığı EMS (Elektromagnetic Suspension) ve Japonya'nın MLX01 (Linear Express) treninde kullandığı EDS (Elektrodinamic Suspension) sistemleridir. Bu iki sistemin temel özellikleri Tablo 4'de özetlenmiştir.

Tablo 4 EMS ve EDS maglev sistemlerinin özellikleri [6]

EMS sistemi	EDS sistemi
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Konvansiyonel elektomıknatis kullanması nedeniyle üretimi daha kolaydır. ➤ Taşıt hareketsiz durumda manyetik askıda kalabilmektedir. ➤ EDS sistemine göre daha az enerji harcamaktadır. ➤ Taşıt ile kılavuz yol arasındaki 10 mm hava boşluğu en önemli olumsuzluktur. ➤ Küçük hava boşluğu nedeniyle, kılavuz yol son derece dikkatli ve hassas olarak inşa edilmelidir. Bu maliyeti arttırmaktadır. ➤ Yolun kurplu kesimleri desteklenmelidir. Bu da maliyeti artırıcı bir unsurdur. ➤ Yolun bu derece hassas olması, küçük yer sarsıntılarında dahi etkilenmesine neden olabilecektir. ➤ Taşıt ile yol arasındaki boşluğun artması, ancak enerji harcamasındaki çok büyük artış ile sağlanabilir. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Kullanılan süperiletken mıknatıslar, oldukça karmaşık ve pahalı soğutma sistemleri gerektirirler. Çünkü süperiletkenlik sadece çok düşük sıcaklıklarda elde edilebilmektedir (bunun için sıvı helyum ve nitrojen tanklarına gereksinim vardır.) ➤ Tren içinde bulunan mıknatısların ürettiği yüksek güçlü manyetik dalgardan korumak amacıyla, yalıtıcı bakır levhalar kullanılmalıdır. ➤ EDS ancak tren hareketiyle olanaklıdır. Bu nedenle, tren yaklaşık 100 km/sa hıza erişene kadar lastik tekerlekler üzerinde hareket etmelidir. Buna "kalkış hızı" adı verilmektedir. ➤ Taşıt ile kılavuz yol arasındaki hava boşluğu 150 mm'ye kadar çıkmaktadır. ➤ Bu boşluk sayesinde yol hassasiyetindeki zorunluluk azalmakta ve yer sarsıntılarında karşı daha az duyarlı olmaktadır. ➤ Kurptan geçen EDS treni, otomatik olarak kurp içine doğru eğilmekte; böylece yanal kuvvetin tren içindekiler tarafından hissedilmesi engellenmektedir.

Maglev Test Hatları

Maglev, devrimsel bir değişimin ürünü olan bir ulaştırma biçimidir. Bir kara ulaştırma sistemi olarak ilk kez maglev, insanlığın bir ulaştırma aracı olarak binlerce yıldır kullandığı tekerleği ortadan kaldırmaktadır. Otuz yılı aşkın bir dönemde araştırma, geliştirme, test süreçleri sonunda ön uygulama aşamasına gelinmiştir. Maglev'in geliştirilmesindeki amaç; çok yüksek hız (400-500 km/sa aralığında) yapabilen bir sistemin, kısa mesafe hava ulaştırmasıyla seyir süresi bazında rekabet edebilmesi; havaalanları ve otoyollardaki tıkanıklıkların rahatlatılması; ve yarının endüstri ötesi toplumlarının gereksinimlerinin karşılanmasıdır. Tablo 5a ve 5b, Alman Transrapid ve Japon Linear Express maglev sistemlerinin özelliklerini özetlemektedir [4].

Almanya'daki maglev araştırmaları 1970'lerin başında başlamıştır. Maglev treni, 31,5 km uzunluğundaki Transrapid Versuchsanlage Emsland (TVE) test yolunda 1985'ten beri gerçek koşullarda denenmektedir. Transrapid 07 "Europa" hizmet için üretilen ilk test trenidir. Haziran 1993'te Transrapid 07, 450 km/sa hız ile maglev hız rekorunu kırmıştır. Transrapid, 1991 yılında teknik olarak hizmete hazır maglev treni olarak deklare edilmiştir [7]. Japonya iki maglev hattı inşa etmiştir. İlki 1960'larda 7 km'lik Miyazaki test hattı ve ikincisi 1996'da 42,8 km uzunluğunda Yamanashi test hattıdır. İlki temel maglev teorisinin testi için kullanılırken, ikincisi daha ileri teknolojileri test etmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu hat üzerinde insanlı MLX01 treni (5 ünite), Nisan 1999'da 552 km/sa hıza ulaşmıştır [8].

Tablo 5a Transrapid ve Linear Express maglev sistemlerinin "altyapı" özellikleri

Özellik	EMS sistemi	EDS sistemi
	Transrapid TR 07	Linear Express MLX01
	Altyapı	
Ülke	Almanya	Japonya
Durum	Uygulama aşamasında	Test aşamasında
Geometri	%100'e varan boyuna eğim, 5800 m kurp yarıçapı	%40'e varan boyuna eğim, 8000 m kurp yarıçapı
Kılavuzlu yol	2,8 m genişlik, çelik veya beton kılavuz yol	2,8 m U şekilli beton kılavuz yol
Sanat yapıları	Önceki gibi	Test yolunda %70 tünel
Güç kaynağı ^a	20 kV, üç faz VVVF yol bobinlerine	Yol bobinlerini besleyen VVVF cyclokonverterler
Kontrol ve haberleşme ^b	Benzersiz ATC/ATO, hareketli blok; taşıt-yol arasında VHF haberleşme	Geliştiriliyor, ancak Transrapid teknolojisinin benzeri
Taşıt yol arasındaki hava boşluğu	8-10 mm; tolerans $\pm 0,6$ mm.	100-150 mm; tolerans EMS'ye göre daha az önemli.

^a VVVF: Variable Voltage, Variable Frequency

^b ATC: Automatic Train Control-otomatik tren kontrolü; ATO: Automatic Train Operation-otomatik tren işletilmesi

Tablo 5b Transrapid ve Linear Express maglev sistemlerinin "tren" özellikleri

Özellik	EMS sistemi	EDS sistemi
	Transrapid TR 07	Linear Express MLX01
Tren		
Taşıt tipi ^a	Mafsallı EMU	Mafsallı EMU
Boyutlar (uxgxy)	25,5x3,7x3,95 m	21,6x2,8x2,85 m
Dizi düzeni	2, 4 veya 6 taşıt	6 taşıt
Standart kapasite	200, 400, 600 yolcu	408 yolcu
Çekim ^b	Demir nüveli LSM	Hava nüveli LSM
Frenleme	LSM frenleme; eddy-akımı acil frenleme	LSM frenleme; taşıt altında diskler
Kılavuzlama	Temassız manyetik çekme	Temassız manyetik itme
Karoser yapısı	Alüminyum	Alüminyum alaşımı
Askı	Birincil manyetik, ikincil pünömatik	Birincil manyetik, ikincil yay
Dingil yükü	1,6 t/dingil	1,0 t/dingil
Proje hızı	400 km/sa	500 km/sa
Güç temini	Temassız doğrusal jeneratör	Temassız doğrusal jeneratör
Gürültü seviyesi	84-86 dB(A)	Bilinmiyor
Anahtar özellik	Çekim, frenleme sürtünmey- le sınırlı değildir	Daha büyük hava boşluğu; den- geli askılama; daha hızlı

^a EMU: Electric Multiple Unit-elektrikli çok çekicili taşıt

^b LSM: Linear Synchronous Motor-doğrusal senkronik motor

Planlanan Maglev Hatları

Almanya 2005 yılına kadar Berlin ile Hamburg kentlerini (290 km) maglev sistemi ile bağlamayı planlamaktadır. 550 km/sa hız öngörülen sistemin şehir merkezleri arasındaki seyir süresinin en çok 60 dakika (bugün 180 dakika) olacağı hesaplanmaktadır. Trenler arasındaki sürenin 10-15 dakika olması düşünülmektedir. Japonya da 2005 yılına kadar Tokyo ile Osaka arasındaki (550 km) mevcut Shinkansen hattını maglev ile değiştirmeyi planlamaktadır. İsviçre 10 kentini Alplerin altından vakumlu tüp tüneller içinde hareket eden maglev trenleriyle birbirlerine bağlamayı planlamaktadır. 2002 yılında başlaması öngörülen projenin 25 yıl içinde tamamlanması planlanmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri yatırım yapıp yapmamayı tartışmaktadır. Ancak, araştırmalar devam etmektedir. Mali destek bulunabilirse, 28,8 milyon Dolar değerindeki 3,2 km uzunlukta maglev hattı, gösteri amacıyla yakın gelecekte (hedef Ekim 2000) güney Virginia'da inşa edilecektir [9].

Aérotrain

Aérotrain tarihsel olarak ilk temassız ulaştırma sistemidir. Sistem, Jean Bertin tarafından 1960'larda tasarlanmış ve 430 km/sa hız rekoruna eriştiği 1970 yılına kadar uzun bir süre denenmiştir. Umut verici gelişmelere rağmen, talihsiz bazı ticari girişimler ve Bertin'in 1976 yılındaki ölümü, araştırma ve geliştirme etkinliklerinin kesilmesine neden olmuştur. Aérotrain'in yoldan havalanması taşıt altında bulunan ve bir kompresör ile beslenen hava odasından sağlanan basınç ile gerçekleşmektedir. Taşıtın kılavuzlanması ise, yol boyunca etkili hava yastıkları aracılığı ile yapılmaktadır. Trenin ilk modelleri tahrik için elektrik motoru kullanmaktayken sonraki modellerinde (S 44 ve I-80) turbo jet motoru kullanılmıştır; ancak, bu tür motorlarda optimum performans 700-800 km/sa hızlarda alınabilmektedir. Aérotrain'in, düşük maliyetli ve hafif viyadükler üzerin-

de işletilmesi planlanmaktaydı; fakat, bazı toplumsal kesimler hem kullanılan motor türü hem de viyadükler nedeniyle sistemin yapılmasına karşı çıkmışlardır. 22 Mart 1992'de çıkan bir yangında I-80 prototipi kullanılamaz hale gelmiş, bu da Aérotrain'in sonu olmuştur [3 ve 10].

Altyapı ve İşletme Maliyetleri

Kılavuzlanmış yüksek hız kara ulaştırma sistemlerinin yatırım ve işletme maliyetleri, koridorlar ve özellikle teknolojik seçenekler arasında çeşitlilik göstermektedir. Bu çeşitliliğin temel faktörleri arasında koridor uzunluğu, trafik yoğunluğu, taşıt boyutları ve geçki-arazi kullanım özellikleri sayılabilir. ABD'de yapımı öngörülen sistemler için hazırlanan bir raporda [11], yeni bir yüksek hız demiryolunun ilk altyapı/yatırım maliyetlerinin kilometre başına 6,25-28,13 milyon ABD doları, maglev'in ilk yatırım maliyetlerinin ise kilometre başına 12,50-31,25 milyon ABD doları arasında değiştiği öngörülmektedir. ABD'de hazırlana diğer bir araştırma raporunda [12], Fransız TGV'nin 1994 yılı altyapı maliyetleri de verilmektedir. Buna göre, işletilmekte olan ve planlanmış dört TGV hattının altyapı maliyetleri kilometre başına 2,05-5,06 milyon ABD doları arasında değişmektedir. İşletme ve bakım maliyetleri karşılaştırıldığında, yüksek hız demiryolu ve maglev maliyetlerinin birbirlerine yakın ve yolcu-km başına 0,063-0,088 ABD doları arasında değiştiği öngörülmektedir [11].

SONUÇ

Yüksek hız demiryolu ve maglev sistemleri belirli amaçları gerçekleştirmek için geliştirilmiş ve geliştirilmektedirler. Bu sistemlerin maliyetleri tasarım ve koridor şartlarına bağlıdır. Mevcut hatlarda daha yüksek hız uygulayabilmek için geliştirilen tilting body (eğilen karoserli) trenler düşük yatırım maliyetli bir seçenektir. Eğilme mekanizması sayesinde azaltılan yanıl ivme, kurplu kesimlerde daha yüksek hızlara izin vermektedir. Sabit karoserli TGV ve ICE'ye göre daha düşük hızlarda işletilebilen X 2000 ve ETR 450, çok sayıda yatay kurp bulunan koridorlar ve iyileştirilmiş hatlar için iyi bir çözüm olmaktadır. Alman ICE yüksek teknoloji parçaları içermekte olup, hat elemanları yük trenlerinin de içinde bulunduğu karma trafik işletmeciliği için tasarlanmıştır. Göreli düşük hızlı yük trenlerini işletebilmek için, boyuna eğimler küçük değerlerle sınırlandırılmış, bu da çok sayıda sanat yapısı inşa edilmesine ve yüksek yapım maliyetine neden olmuştur. Japon Shinkansen öncelikle yeni kent merkezlerini bağlamak, böylece büyük kentler üzerindeki gelişme baskılarını azaltmak için geliştirilmiştir [13]. Fransız TGV tamamıyla yolcu kullanımı için tasarlanmış düşük maliyetli bir yüksek hız sistemidir. Kendine özgü hat üzerinde sadece TGV trenleri işletilmektedir. Konvansiyonel üstyapı ve sabit dizi düzeni kullanılması, sistemin yapım ve işletme maliyetlerini azaltmaktadır. Transrapid maglev, yüksek hızlı taşımacılık için konvansiyonel EMS teknolojisi kullanılarak geliştirilmiştir. MLX01 uzun dönemli hedefler için, süperiletken teknolojisinden beklenen faydalar dikkate alınarak geliştirilmiştir. Süperiletken teknolojisindeki gelişmelerin, enerji harcama etkinliğinin artmasına, tren ağırlıklarının azalmasına ve daha az karmaşık kılavuz yol tasarımlarına izin vermesi beklenmektedir. Yüksek sıcaklık süperiletkenlerin geliştirilmesiyle de daha etkin ve daha ucuz maglev bobinleri üretilebilecektir. Maglev teknolojisinin konforlu, titreşimsiz, gürültüsüz ve maliyet etkin bir taşımacılık için geliştirilmekte olduğu tekrar vurgulanmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] RHODES R.G., MULHALL B.E. "Magnetic Levitation for Rail Transport", Oxford University Press, Oxford, İngiltere, 1981.
- [2] CIGGT "Characterization of High-Speed Ground Transportation Technology Alternatives for U.S. Applications and Discussion of Key Issues and Questions", Canadian Institute of Guided Ground Transport, Queen's University, Ontario, Kanada, 1990.
- [3] BIANCO L., Di MAJO F. "Perspective of High Speed Rail Transport in Short-Medium Period", Transportation Research, Part A, 25A, 4, 193-202, 1991.
- [4] EASTHAM T.R. "High-Speed Ground Transportation Development Outside United States", Journal of Transportation Engineering, 121, 5, 411-416, 1995.
- [5] PLOTKIN D. "Carrying Freight on High-Speed Rail Lines", Journal of Transportation Engineering, 123, 3, 199-201, 1997.
- [6] KITCHENS W. "Maglev Trains: An Attractive (and Repulsive) Option for Future Travel", Harvard Science Review Online, <https://www.harvard.edu/~hsr/issues.html> Spring 1998.
- [7] Transrapid System internet sitesi: <http://www.maglev.com/english/index.htm>
- [8] Railway Technical Research Institute (RTRI) internet sitesi: <https://www.rtri.or.jp>
- [9] CEN "Maglev Demonstration Project Proposed for Virginia Beach", Civil Engineering News, May, 18, 1999.
- [10] STROHL M.P. "Europe's High Speed Trains", A Study in Geo-Economics, Praeger Publishers, USA, 1993.
- [11] FRA (Federal Railroad Administration), "High Speed Ground Transportation for America", US Department of Transportation, FRA Document Library, September 1997. <https://railroads.dot.gov>
- [12] LEVINSON D., GILLEN D., KANAFANI A., MATHIEU J-M. "The Full Cost of Intercity Transportation – A Comparison of High Speed Rail, Air and Highway Transportation in California", Research Report UCB-ITS-RR-96-3, Institute of Transportation Studies, University of California at Berkeley, ISSN 0192 4095, June 1996.
- [13] NAJAFI F.T., NASSAR F.E. "Comparison of High-Speed Rail and Maglev Systems", Journal of Transportation Engineering, 122, 4, 276-281, 1996.