

بررسی سیستم مونوریل برای حمل و نقل سریع و انبوه

چکیده

سیستم مونوریل به عنوان یک سیستم ایمن با ظرفیت بالا و زمان احداث کوتاه به عنوان یک سیستم نسبتاً جدید حمل و نقل ریلی، در حال بررسی و احداث در اغلب کشورهای جهان می باشد. در حال حاضر کشورهای مختلف از مونوریل سبک به مونوریل سنگین برای جا به جایی انبوه و سریع مسافر روی آورده اند و استفاده توریستی یا تفریحی بودن مونوریل جای خود را به مونوریل‌های سنگین با سرعت ماکزیمم ۸۰ کیلومتر در ساعت و جا به جایی تا ۳۰ هزار نفر در ساعت و در یک جهت داده اند در مقاله پیش رو سعی داریم با این وسیله نقلیه ریلی بیشتر آشنا شویم و مزایا و معایب آن را بررسی نماییم و علت افزایش طرح‌های استفاده از این سیستم حمل و نقل ریلی را در اغلب کشورهای جهان و ضرورت استفاده از آن را در ایران دریابیم.

۱- مقدمه

و حرکت قطارهای مونوریل چه در حالت آویز و چه در حالت استرادل توسط چرخ‌های لاستیکی روی تیرهای بتونی یا فلزی و با استفاده از سیستم محرکه الکتریکی انجام می شود شکل‌های ۱ و ۲ نمونه ای از این دو نوع مونوریل را نشان می دهد.



شکل ۱- سیستم مونوریل در حالت استرادل



شکل ۲- سیستم مونوریل در حالت آویز

مسیرهای مونوریل می توانند دو مسیره (Doubletruck) یا تک مسیره (Single truck) باشند که انتخاب این موضوع با توجه به موانع مسیر مشخص می شود قدرت مانور مونوریل نسبت به سیستم‌های دیگر حمل و نقل بسیار بالا می باشد و می تواند به راحتی موانع را پشت سر بگذارد.

۲- مزایای کلی سیستم مونوریل

الف- سرعت در احداث مسیر

با توجه به فاکتورهای زیر سرعت طراحی و اجرا بالا و زمان احداث کوتاه می باشد.

سیستم‌های حمل و نقل شهری با توجه به شرایط جغرافیایی، محیطی، فرهنگی، میزان مسافر، سرعت جا به جایی و هزینه احداث و بهره برداری انتخاب می گردند.

سیستم‌های حمل و نقل عمومی انبوه عموماً به سریع و غیر سریع تقسیم می گردند سیستم‌های انبوه و سریع مانند LRT، مترو و ترن هوایی می باشند که ترن هوایی نیز به دو نوع مونوریل و دو ریل تقسیم می شوند سیستم‌های فوق قادرند با سرعت حداکثر ۸۰ کیلومتر بر ساعت ۱۰ تا ۶۰ هزار نفر را در ساعت و در یک جهت جا به جا نمایند در این مقاله شرح مختصری درباره مونوریل ارائه و مزایا و معایب آن مورد بررسی قرار می گیرد لازم به ذکر است که سیستم‌های حمل و نقل عمومی مکمل یکدیگر می باشند و با توجه به شرایط ذکر شده انتخاب می گردند.

سیستم مونوریل شامل سیستم حمل مسافر با استفاده از یک ریل توسط قطار می باشد که مسیر حرکت آن اکثراً در ارتفاع قرار داشته ولی در سطح زمین یا زیرزمین مانند تونل‌های مترو نیز امکان استفاده از آن وجود دارد این سیستم از بوژی‌هایی با چرخ‌های لاستیکی استفاده می کند قطارهای مونوریل به دو صورت روی ریل (استرادل) و یا آویز بوده و در هر دو حال عرض قطار بیش از عرض ریل می باشد معمولاً تماس

محمد سلیمانی

کارشناسی مهندسی

مکانیک

مسئول گروه

ماشین آلات

مرکز تحقیقات راه آهن

لیلا باریکانی

کارشناس گروه

ماشین آلات

مرکز تحقیقات راه آهن

۱- عدم نیاز به حفر تونل و اجرای مسیر روی زمین و مشخص بودن عوارض و موانع ۲- امکان ساخت بسیاری از قطعات مسیر به صورت پیش ساخته (مانند تیرهای افقی) ۳- امکان اجرای قطعات کوچک مسیر به صورت همزمان توسط پیمانکاران متفاوت ۴- عدم نیاز به تجهیزات خاص در اجرای مسیر ۵- استفاده از تجهیزات جاده ای برای نصب و تعمیرات سیستمهای الکتریکی و علائمی (لازم به ذکر است که در سیستمهای مترو برای نصب و تعمیر و نگهداری شبکه بالاسری خطوط برق مجبور به استفاده از ماشین آلات بسیار گران قیمت می باشیم در حالی که در سیستم مونوریل تمام تعمیرات و نصب توسط ماشینهای چرخ لاستیکی که تقریباً تا $\frac{1}{8}$ قیمت ماشین آلات ریلی تهیه می شوند انجام می گردد). ۶- قابلیت اجرای مسیر توسط پیمانکاران متوسط ۷- عدم تملک زمین و مشکلات مرتبط با آن در اغلب محورها ۸- قدرت مانور فراوان جهت عبور از معارضین و موانع مسیر (حرکت در شیب و فراز ۶٪ و در قوس با شعاع ۴۰ متر و تغییر در فاصله ستونها)

با توجه به مطالب ارائه شده و شواهد موجود، زمان اجرای مونوریل با توجه به خصوصیات کار در روی زمین تقریباً نصف زمان احداث مترو در داخل تونل می باشد

ب- سرعت در احداث ایستگاه

ساختار کلی ایستگاههای مونوریل شبیه پلهای مکانیزه عابر پیاده می باشد که سقف آن مانند سایبان بوده و نیاز به سیستمهای تهویه و گرمایش و سرمایش مانند مترو ندارد از طرفی با توجه به ساختار فضایی آن به راحتی می توان طول ایستگاهها را افزایش یا کاهش داد

ج- هزینه پایین احداث مونوریل

بطور کلی بدلیل عدم نیاز به حفر تونل و هزینه های بالای ایستگاه های زیرزمینی، هزینه احداث مونوریل کمتر از مترو می باشد. با این حال برخی برای مخالفت با مونوریل، با توجه به عدم اجرای آن در کشور تا سال گذشته، هزینه احداث مونوریل در کشورهای دیگر را با هزینه احداث مترو در ایران مقایسه می کردند، ولی در حال حاضر با ارائه قیمت احداث و تامین واگن و تجهیزات مونوریل در تهران، قم و مشهد توسط پیمانکار بین ۲۰ تا ۲۵ میلیارد تومان برای هر کیلومتر می توان این قیمت ها را با هزینه احداث مترو در تهران (حدود ۵۰ میلیارد تومان بر کیلومتر) و مشهد (حدود ۵۸ میلیارد تومان بر کیلومتر برای خط ۳) مقایسه نمود و به این نتیجه رسید که: **هزینه احداث و بهره برداری از مونوریل**

در کشور حدود $\frac{1}{3}$ تا $\frac{1}{2}$ متروی زیرزمینی می باشد

در عین حال تعیین هزینه ها برای هر کشور، مسیر، ظرفیت جابجایی جمعیت و ... متفاوت می باشد در هزینه برخی از کشورها

اختلاف شدیدی مشاهده می شود به همین منظور باید هزینه احداث با توجه به شرایطی که در ذیل اشاره می شود و شرایط اقتصادی، پیمانکاری و کارگری همان شهر و کشور در نظر گرفته شود؛ بعضی از این فاکتورها عبارتند از:

توپوگرافی مسیر: شیب و فراز مسیر، وجود تپه ماهور، تعداد

تقاطعها، خیابانها، رودخانه ها و ... از عوامل تأثیر گذار در

قیمتها می باشد، محل احداث: راههای دسترسی به تجهیزات

ساخت چگونه است آیا در هنگام ساخت موانعی مانند ترافیک

سنگین وجود خواهد داشت، تجهیزات: جا به جایی تجهیزات

خطوط آب، برق، تلفن و ... می تواند به صورت معنی داری

باعث افزایش هزینه تمام شده شوند، زمین: محل احداث

خطوط، ایستگاهها و دپوها باید از نظر تملک زمین مورد

بررسی قرار بگیرد، نیازمندیهای مسافران: تعداد قطارها و تعیین

هدوی (سر فاصله) حرکت قطارها برای جابه جایی مسافران

طرح بسیار در هزینه ها مؤثر می باشد به فرض هزینه

تجهیزات برای هدوی ۵ دقیقه با ۳ دقیقه متفاوت می باشد،

تعداد ایستگاهها: اضافه کردن هر ایستگاه باعث افزایش هزینه

می شود (لازم به ذکر است که شرکت مترو هزینه های

احداث ایستگاه مونوریل را حدود ۵ میلیارد تومان فرض می

کند در حالی که هزینه احداث ایستگاه های خط ۴ (اکباتان -

پیروزی) مترو تهران حدود ۲۰ میلیارد تومان می باشد)، سازه

های ویژه: تونل، پل، عبور از رودخانه و ... باعث افزایش هزینه

می شوند، شرایط زمین شناسی: شرایط زیر سطحی مسیر، هزینه

فونداسیون را متفاوت می کند با توجه به اینکه مسیر روی

زمین و در منظر عمومی می باشد طراحی معماری پلها و

ایستگاهها نیز در تعیین هزینه مؤثر می باشند بنابراین برای

بررسی هزینه احداث هر سیستم حمل و نقل در شهر باید نوع

سیستم با توجه به شرایط ذکر شده در همان محل مورد

ارزیابی قرار بگیرد حتی قیمت خطوط مختلف در یک شهر نیز

می توان با هم فرق کند.

لازم به ذکر است که قیمت واگنهای مونوریل نسبت به

واگنهای مترو گرانتر می باشد لیکن اضافه قیمت به ازای هر

کیلومتر حدود ۲ میلیارد تومان می باشد که در مقابل هزینه

۶۰-۵۰ میلیاردی برای هر کیلومتر مترو ناچیز می باشد.

د- انعطاف مسیر

از مهمترین فاکتورهای تعیین مسیر حرکت یک سیستم

ریلی قابلیت حرکت در حداکثر شیب و حداقل قوس می باشد

که با توجه به اینکه تماس قطار مونوریل با ریل، چرخهای

لاستیکی می باشد دارای ضریب اصطکاک مناسبی جهت

حرکت در شیب ۶٪ می باشد که انعطاف عبور از موانع را

بسیار بالا برده و به دلیل تک ریلی بودن و طول ۱۰ تا ۱۳

در حالی که سیستم بوژی مونوریل سایر کشورها مانند ژاپن و چین از چهار لاستیک اصلی استفاده می کند ضمناً در زیر هر چرخ لاستیکی یک غلطک تفلونی قرار دارد که به محض پنچر شدن لاستیک، بوژی روی غلطک فوق قرار می گیرد تا قطار را به محل تعمیر هدایت نماید.



شکل ۳- غلطکها (جلوگیری کننده از خروج از خط)

فرار مسافری در صورت بروز خطر: یکی از اشکالاتی که به سیستم مونوریل گرفته می شود نحوه خارج شدن مسافری در برخی سوانح احتمالی می باشد طراحان این سیستم برای افزایش ضریب ایمنی و اطمینان خاطر به مسافری، سیستم معبر فرار را در بین دو خط (در صورت تأکید کارفرما) و یا انتقال مسافری از یک قطار به قطار مجاور قرار می دهند



شکل ۵- انتقال و نجات مسافر از قطار خراب به قطار نجات



شکل ۴- ایجاد گذر فرار در بین خطوط

۳- ظرفیت قطارهای مونوریل

در حال حاضر مونوریل‌های سنگین قادر هستند با ۶ واگن و سرفاصله زمانی ۲ دقیقه بیش از ۳۰ هزار نفر را با ایمنی کامل در ساعت و در یک جهت جا به جا نمایند جدول زیر ظرفیت حمل و نقل مسافر را بر اساس سرفاصله زمانی نشان می دهد. (لازم به ذکر است که ظرفیت مترو بیشتر از مونوریل می باشد ولی در مکانی که تقاضای مسیر در محدوده فعالیت مونوریل می باشد و محیط اجرای خط مناسب مونوریل می باشد نیاز به هزینه کردن برای مترو نمی باشد و با هزینه کمتر برای تقاضای کمتر از مونوریل استفاده می کنیم) ضمناً قطارهای مونوریل می توانند به ۸ تا ۱۰ واگن نیز افزایش یابند و تعداد مسافر بیشتری را جابجا نمایند.

جدول ۱- ظرفیت مسافر بر اساس هدوی از ۲ تا ۴

ظرفیت حمل و نقل مسافر در هر ساعت و در یک جهت				تعداد قطارها		سرفاصله
۶ واگنه	۵ واگنه	۴ واگنه	۲ واگنه	مقیاس (در مترمربع)	در هر ساعت	دقیقه
۱۹۳۳۰	۱۵۹۰۰	۱۲۵۷۰	۵۹۱۰	۴ نفر	۳۰	۲
۲۵۸۶۰	۲۱۳۸۴	۱۶۹۰۸	۷۹۵۶	۶ نفر		
۳۲۵۲۰	۲۶۸۹۲	۲۱۲۶۴	۱۰۶۳۲	۸ نفر		
۱۲۸۲۰	۱۰۶۰۰	۸۲۸۰	۳۹۴۰	۴ نفر	۲۰	۳
۱۷۲۴۰	۱۴۲۶۵	۱۱۲۷۲	۵۳۰۴	۶ نفر		
۲۱۶۸۰	۱۷۹۲۸	۱۴۱۷۶	۷۰۸۸	۸ نفر		
۹۶۱۵	۷۹۵۰	۶۲۸۵	۲۹۵۵	۴ نفر	۱۵	۴
۱۲۹۳۰	۱۰۶۹۲	۸۴۵۴	۳۹۷۸	۶ نفر		
۱۶۲۶۰	۱۳۴۴۵	۱۰۶۴۱	۵۲۱۵	۸ نفر		

متری برای هر واگن می تواند در شعاع قوس تا ۴۰ متر نیز حرکت کرده که به این سیستم امکان تغییر جهت در خیابانهای معمولی و تقاطعهای عادی را می دهد

هـ- محیط زیست:

تأثیر اجرای سیستم بر محیط زیست را می توان در بخشهای زیر مورد بررسی قرار داد:

فضای سبز : سیستم مونوریل به دلیل اشغال سطح کم در روی زمین که تنها ابعاد پایه های آن می باشد تأثیر بسیار کمی در تخریب محیط زیست داشته به طوریکه می تواند بدون آسیب به فضای سبز از میان آن عبور نماید(پایه ها یا ستونهای مونوریل برای حمل و نقل انبوه، استوانه هایی به قطر تقریبی ۱۵۰ سانتی متر می باشد)، ایجاد سایه: در این سیستم ایجاد سایه به دلیل استفاده از پلهای کم عرض بسیار کم می باشد که قطعاً در رشد و نشاط فضای سبز تأثیر تخریبی کمتری دارد آلودگی هوا: در بررسی ایجاد آلودگی اولین مسئله، تأثیر آن بر آلودگی هوا می باشد که به دلیل برقی بودن سیستم تقریباً آلودگی مستقیمی بر آلودگی هوا ندارد، آلودگی صوتی: این سیستم به دلایل ذیل آلودگی صوتی کمتری را نسبت به سیستمهای دیگر حمل و نقل دارا می باشد: ۱- حرکت چرخ لاستیکی روی بتون ۲- استفاده از سیستم محرکه الکتریکی ۳- مخفی بودن سیستم بوژی در قاب بدنه واگن ۴- استفاده از سیستمهای تعلیق هوایی (Air Spring) و- ایمنی

زلزله: مسیر حرکت مونوریل با توجه به عرض کم ریل و وزن نسبی بسیار کم آن، نسبت به ستونهایی که مسیر را در ارتفاع قرار می دهند و ممان بسیار کم حاصل از ارتعاش، نسبت به پلهای بستر حرکت سایر سیستمهایی که بر روی ستون قرار دارند مقاومت بسیار بیشتری نسبت به زلزله داشته که عملاً در زلزله های ژاپن کاملاً مشهود بوده است. در زلزله سال ۱۹۹۳ در ژاپن در شهر Osaka که بیش از ۷ ریشتر قدرت داشت تنها سیستم حمل و نقل در ارتفاع، که هیچگونه آسیبی ندید و به صورت فعال به کار خود ادامه داد مونوریل بود. خروج از خط: طراحی خطوط مونوریل به گونه ای است که احتمال هر گونه از خط خارج شدن بسیار کم می باشد زیرا در این سیستم به دلیل استفاده از

زیرسازی و روسازی بتونی (پایه ها و تیرها) و مهار کامل قطار از دو طرف توسط چرخهای لاستیکی این اتفاق منتفی می باشد و با توجه به قدمت چند ده ساله استفاده از مونوریل هنوز گزارشی مبنی بر خروج از خط گزارش نشده است تنها اتفاق ثبت شده ترکیدن یکی از لاستیکهای مونوریل در کوالامپور مالزی بود که این امر نیز منجر به خروج از خط مونوریل نشده است و علت این سانحه نیز به دلیل استفاده از دو لاستیک اصلی در یک بوژی بود

۴ تجربیات کشورهای دنیا در استفاده از مونوریل

در حال حاضر بیش از ۳۰۰ کیلومتر مونوریل در جهان در حال فعالیت می باشد که حدود ۲۰۰ کیلومتر آن در آسیا (۱۰۰ کیلومتر در ژاپن) ، حدود ۵۰ کیلومتر در آمریکا و حدود ۴۰ کیلومتر نیز در اروپا احداث شده است .

جدول ۲- جدول برخی از کشورها به ترتیب سال بهره برداری از مونوریل

کشور	شهر	سال افتتاح	طول خط (KM)	تعداد ایستگاه
آمریکا	California	۱۹۵۹	۳/۷	۲
	Las vegas	۲۰۰۴	۶/۳	۷
ژاپن	Shonam	۱۹۷۰	۶/۶	۸
	Chiba City	۱۹۸۸	۱۵.۵	۱۸
	Osaka	۱۹۹۰	۲۳.۸	۱۶
	Tama	۱۹۹۷	۱۶	۱۹
	naha	۲۰۰۳	۱۲/۸	۱۵
مالزی	Sunway city	۲۰۰۰	۳/۲	۳
	KualaLumpur	۲۰۰۳	۸/۶	۱۱
چین	Chongqing	۲۰۰۵	۱۸/۵	۱۷
اندونزی	Jakarta	۲۰۰۷	۲۷	۲۹

اگرچه اولین سیستم مونوریل به صورت آزمایشی در آلمان و در سال ۱۹۲۰ میلادی مورد آزمایش قرار گرفت اما به دلیل حل مسائل تکنولوژی، اولین خط واقعی مونوریل با ظرفیت بالا جهت جا به جایی انبوه مسافر در سال ۱۹۶۴ و در ژاپن به طول ۱۷ کیلومتر و ۱۰ ایستگاه، ۱۱۴ واگن با قطارهای ۶ واگنه و ظرفیت جا به جایی حدود ۱۷۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ نفر در ساعت در هر جهت راه اندازی شد که در آن تاریخ تقریباً تمام شهرهای اصلی کشورهای توسعه یافته و اکثر شهرهای بزرگ جهان تا سال ۱۹۵۰ خطوط مترو خود را تکمیل کرده بودند لذا درخواست قابل توجهی برای سیستمهای دیگر وجود نداشت. در عین حال با فراگیر شدن فناوری مونوریل و آشکار شدن مزایای آن، تقاضا برای استفاده از این سامانه در بسیاری از کشورهای جهان در حال افزایش است. با بررسی دقیق سالهای بهره برداری مونوریل در کشورهای مختلف، مشخص می شود که میزان احداث و بهره برداری از مونوریل در سالهای اخیر بصورت تصاعدی در حال افزایش است. جالب توجه است که در حال حاضر احداث حدود ۵۰۰ کیلومتر مونوریل در بسیاری از کشورها در مراحل مختلف پیگیری از جمله مطالعات، تصویب، انعقاد قرارداد و انجام عملیات اجرایی قرار دارد که نهایتاً تا ۱۰ سال آینده بخش اعظمی از آنها به بهره برداری خواهد رسید.

برخی از کشورها که در حال احداث یا مطالعه، طراحی و یا انعقاد قرارداد احداث مونوریل می باشند عبارتند از : امارات، عربستان (مکه، جدّه)، هندوستان (بمبئی، بنگالور و کلکته)، مالزی (پوتراجایا)، ویتنام (هانوی)، نیجریه، کره جنوبی (اینچوان)، بحرین (منامه)، آفریقای جنوبی، مصر (قاهره)، برزیل (سائوپائولو)، انگلیس (بیرمنگام) و فرانسه (پاریس)

در ایران نیز احداث مونوریل در ۵ کلانشهر جدی شده که عبارتند از:

نام شهر	طول (کیلومتر)	وضعیت
قم	۱۸.۵	برگزاری مناقصه و انتخاب پیمانکار
کرمانشاه	۱۳	انعقاد تفاهم نامه
مشهد	۱۶	انعقاد قرارداد
کرج	۱۵	برگزاری مناقصه

همچنین احداث مونوریل در شهر تهران نیز بطول ۶۶ کیلومتر به تصویب شورای عالی ترافیک رسیده که با توجه به قانون تاسیس شورای عالی ترافیک، اجرای مصوبات آن برای کلیه دستگاه های دولتی و عمومی لازم الاجراست. با توجه به اینکه در مصوبه مذکور احداث مونوریل در حلقه ۶۶ کیلومتری اطراف تهران با گذر از مسیرهای پرتراffیکی نظیر بزرگراه اشرفی اصفهانی، رسالت، همت و افسریه برای احداث آن در نظر گرفته شده است، در صورت اجرا می تواند نقش موثری در حل معضل ترافیک تهران داشته باشد.

۵- معایب سیستم مونوریل

مونوریل به دلیل استفاده از چرخهای لاستیکی مصرف انرژی بیشتری نسبت به مترو دارد؛ از نظر اجتماعی مناسب مسیرهای خیابانها و معابر کم عرض نمی باشد؛ قیمت واگنهای مونوریل نیز نسبت به مترو گرانتر می باشد که با انتقال تکنولوژی ساخت مونوریل در داخل کشور این اختلاف قیمت به شدت کاهش پیدا می کند. (البته همانطور که ذکر شد مجموع هزینه احداث مونوریل از مترو بسیار کمتر است)

۶- نتیجه گیری

با توجه به مطالب ذکر شده می توان مونوریل را یک سیستم حمل و نقل انبوه، سریع، ایمن، کم هزینه با زمان احداث کوتاه معرفی نمود که تجربه دنیا در مورد آن تجربه موفقی می باشد و می توان از آن به عنوان مکمل سیستمهای حمل و نقل ریلی استفاده نمود البته استفاده از سیستم مونوریل به این معنا نیست که این سیستم باید جایگزین تمام سیستمهای حمل و نقل عمومی گردد بلکه در برخی مناطق که ظرفیت مسافر کمتر از ظرفیت مترو می باشد یا بحث هزینه و معارضین منطقه ای یا کاهش زمان احداث مطرح بوده است به عنوان یک سیستم موافق با محیط زیست و ایمن نسبت به دیگر سیستمهای حمل و نقل معرفی شده است از طرفی طبق قانون توسعه حمل و نقل عمومی و مدیریت سوخت مصوب ۱۳۸۶- سهم قطار شهری از سفرهای شهری می بایست تا سال ۱۳۹۰ در کشور به ۱۰٪ و در تهران به ۳۰٪ برسد پر واضح است با توجه کمبود اعتبارات، هزینه های بالای احداث تونل و زمانبر بودن اجرای عملیات در زیرزمین، استفاده از سیستمهای مکمل مانند مونوریل نه تنها یک مزیت، بلکه یک ضرورت در راستای اجرای قانون مصوب مجلس شورای اسلامی می باشد .

۷- منابع و مأخذ

[1]www.monorails.org

[2]www.lightrailnow.org

[۳] مطالعات شرکت قطار شهری کشور در خصوص خط ۱ مونوریل دهکده المپیک - میدان مشربه

[۴] کنفرانس مونوریل دبی سال ۲۰۰۹