

# مطالعه و بررسی سیستم های نوین حمل و نقل شهری

غلامعلی شفاابخش<sup>1</sup>، مهدی پورروح الامین<sup>2</sup>

1- استادیار و عضو هیئت علمی دانشگاه سمنان

2- دانشجوی کارشناسی ارشد راه و ترابری دانشگاه سمنان

mahdipn@gmail.com

## خلاصه

سیستم های حمل و نقل شهری متداول هم اکنون در بسیاری از نقاط جهان به اشکال گوناگون و در مقیاس کلان مشغول فعالیتند. اما گاهی به دلیل پاره ای از مسائل اقتصادی، جغرافیایی، سیاسی و جنبه های زیبایی شناسی امکان استفاده از این سیستم ها فراهم نمی باشد. به همین منظور، سیستم های جدیدی تحت عنوان سیستم های نوین حمل و نقل شهری در چند دهه اخیر مورد توجه قرار گرفته اند. هدف از این مقاله علاوه بر بررسی مولفه های سیستمی، کارایی و هزینه ها، ارزیابی این سیستم ها می باشد. به علاوه سعی شده تا با معرفی تعدادی از این سیستم ها و کاربرد آنها، به درک بهتر مفهوم این روش ها کمک شود.

## مقدمه

فناوری حمل و نقل سنتی (متداول) همانند اتوبوس و حمل و نقل ریلی و روش های عملکردی آنها، سرویس های متنوعی از نظر کیفیت و کمیت ارائه می دهند که می توانند بیشتر نیازهای حمل و نقل شهری را برآورده کنند. اما نوآوری های متعددی در زمینه حمل و نقل ریلی و عملکرد آن از زمان پیدایش این صنعت وجود داشته و هم اکنون نیز ادامه دارد. سیستم های حمل و نقل عصر ما که دارای اساس ریلی و یا جاده ای می باشند، با سیستم هایی که در دهه های اخیر ایجاد شده اند کاملاً تفاوت دارند. به علاوه سیستم های غیرمتعارف مختلف هم اکنون در بعضی از شهرها نقشی مهم ایفا کرده و گزینه های زیادی پیش روی متخصصان حمل و نقل برای انتخاب سیستم بهینه قرار داده اند. این مقاله مروری بر دسته های مختلف حمل و نقل شهری کرده و به موقعیت و پتانسیل آنها برای اصلاح و بهبود کارایی این سرویس ها اشاره می کند. در ادامه تعدادی از پیشنهاد های نوآورانه معرفی شده و مفهوم پایه آنها به صورت اصولی تحلیل شده، مولفه های سیستمی این روش ها نظیر هدایت، تکیه گاه و سوئیچینگ مورد بررسی قرار گرفته و سپس سیستم های نوین اخیر شرح داده شده و بر مبنای همین تحلیل مفهومی، مورد بررسی و ارزیابی قرار می گیرند. تاکید این مقاله بیشتر بر روی مهمترین سیستم های حمل و نقل نوین است که اکثراً در گروه سیستم های هدایت شده خودکار قرار می گیرند و توانسته اند جایگاهی مهم در خانواده روش های حمل و نقل برای خود بدست آورند.

## ارزیابی سیستم های متداول و پتانسیل آنها برای نوآوری

دلیل اصلی برای توسعه نوآوری فنی و عملکردی، نیاز به بهبود کارایی و کیفیت سیستم های حمل و نقل و کاهش هزینه های و اثرات منفی جانبی می باشد. مشخصه نوآوری مورد نظر که برای جهت دادن به تحقیق بسیار مهم می باشد، با توجه به دسته بندی سرویس دهی بدین گونه است. سرویس دهی حمل و نقل با حجم ترافیک کم:

معمولاً در مناطق حومه شهر یافت شده و توسط اتوبوس های عادی و ون با اندازه های مختلف انجام می شود. این وسایل سطح خوبی از راحتی همراه با سرمایه گذاری کم برای احداث یا گسترش، ارائه می دهند. مهمترین مشکل این سرویس ها، بهره وری پایین آنهاست که راه حل این مشکل را به جای نوآوری در تکنولوژی، باید در سرویس های زمانبندی شده با سرفاصله معمولی و استفاده از سیستم حمل و نقل هوشمند برای کنترل وسایل جستجو کرد. خطوط با حجم متوسط:

<sup>1</sup> استادیار دانشگاه

<sup>2</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد

به نحو مناسبی توسط اتوبوس ها، اتوبوس برقی و تراموا پشتیبانی می شود. همچنین این سیستم ها در مناطقی که دارای تراکم ترافیکی کم باشند بسیار خوب عمل می کنند. با حجم مسافر بالاتر (درحد بیش از 1000 مسافر در ساعت) و درخیابان های با ترافیک سنگین، نیاز به سیستم های با کارایی بالا احساس می شود. کیفیت بالاتر و ماندگار سرویس دهی که مسافران بیشتری را جذب می کند، توسط قطار سبک شهری بدست می آید. این سیستم به علاوه به حجم بالاتری از سرمایه گذاری احتیاج دارد. در نتیجه، نیاز به سیستمی که توانایی های قطار سبک شهری (خصوصیات و ظرفیت آن) را داشته باشد اما دارای سرعت و اعتماد پذیری مشابه مترو باشد، احساس شد. مسیره های بزرگ با چگالی بالا:

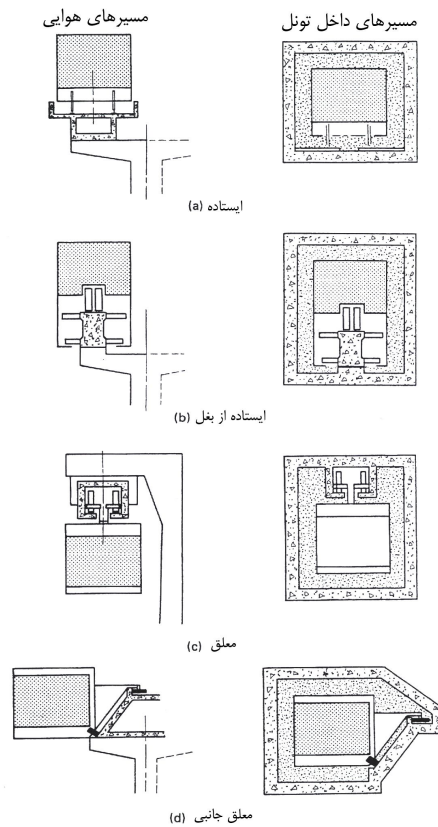
معمولا توسط روش های ریلی با سرعت، ظرفیت، اعتماد پذیری، عملکرد، ایمنی و راحتی مسافر بالا پشتیبانی می شود. مدرنیزه کردن بعضی از سیستم های متروی موجود می تواند جهت کاهش هزینه های سرمایه گذاری مطلوب باشد و نیاز به ابداعات خاصی در فناوری بکار رفته در آنها ندارد.

### تحلیل مولفه های سیستم

بر مبنای ارزیابی بحث شده در بالا در مورد کارایی سیستم های حمل و نقل رایج، امکان بهبود و نوآوری در آنها را می توان در سه گروه کلی طبقه بندی کرد:

- (1) مولفه های فنی
- (2) مفهوم عملکردی
- (3) طراحی روش ها و سیستم ها

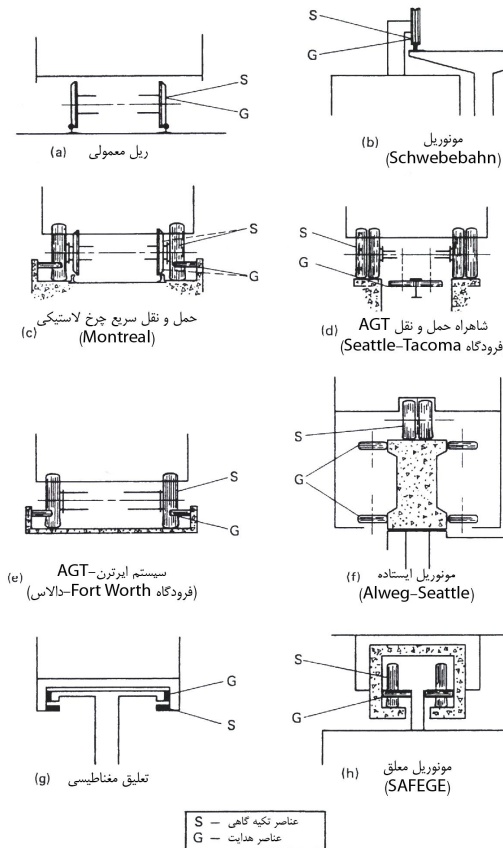
مولفه های فنی باید مرتبط با خصوصیات سیستمی و کارایی، شامل تکیه گاه وسیله و سیستم هدایت (نوع چرخ و مسیره هدایت) و ظرفیت وسیله باشد. وسایل نقلیه می توانند با توجه به نوع مسیره هدایت دارای چهار موقعیت اصلی باشند [1].



شکل 1 - انواع مختلف مسیره های هدایت با توجه به موقعیت وسیله نقلیه

- (1) ایستاده
- (2) ایستاده از بغل
- (3) معلق
- (4) معلق جانبی

هر کدام از این موقعیت ها همانطور که بر روی نوع وسیله تاثیر دارد، می تواند تأثیری مستقیم بر روی مسیر هدایت این وسایل نیز داشته باشد. مسیرهایی که وسایل نقلیه بر روی آن می ایستند، عمومی ترین نوع این مسیرهها می باشند. این مسیرهها شامل ریل های عادی بوده و اغلب برای هدایت وسایل چرخ لاستیکی استفاده می شوند. مزیت اساسی آنها سادگی و ارتفاع کم سطح می باشد. مسیرهایی که وسایل از بغل بر روی آنها قرار می گیرند، دارای تیرهای منفرد باریک می باشند که این یک مزیت برای آنها محسوب می شود. مزیت پروفیل های کوچک به کاررفته و متعاقب آن سبکی سازه، با پیچیدگی در نوع هدایت و سوئیچ کردن آنها خنثی می شود. اکثر سیستم ها با این نوع هدایت «مونوریل» نامیده می شوند. همچنین مونوریل ها دارای 6 مجموعه چرخ بوده که بر روی 6 سطح درسه سمت مسیر حرکت می کنند. این فناوری هم اکنون در بسیاری از سیستم های مونوریل فعال یا طرح ریزی شده استفاده می شود. مسیرههای عبور با وسایل معلق نیاز به سازه های عظیم تری نسبت به مسیرههایی که وسیله بر روی آن حرکت می کند (نوع اول) دارد. مزیت این مسیرهها این است که تاب خوردن وسیله نقلیه باعث جبران کردن شتاب جانبی وارده و در نتیجه راحتی سواری در قوس ها می شود. این نوع طراحی در قدیمی ترین مونوریل ها درجهان نظیر ووپرتال در آلمان استفاده شده است. انواع مختلف سیستم های معلق و چرخ های لاستیکی از سال های 1950 توسعه پیدا کرد. ویژگی مهم این سیستم ها این است که دارای مسیرهها (سطوح) محصور بوده و در طول کل مسیر از تأثیرات آب و هوایی مصون هستند. با ترکیب عناصر تکیه گاهی و عناصر هدایت کننده می توان به فناوری و طراحی های مختلفی دست یافت اما تنها تعداد کمی از آنها کارآمد و عملی هستند. نمونه این ترکیب ها در شکل دیده می شود [1].



شکل 2 - فناوری های مختلف هدایت و تکیه گاه

ساده ترین روش تکیه گاهی و هدایت توسط ریل های متداول ارائه می شود که در آن هرچرخ هردو نقش تکیه گاهی و هدایت را ایفا می کند. یعنی 4 یا 8 چرخ که وسیله را نگه می دارند (نقش تکیه گاه را دارند) همزمان وسیله را روی ریل هدایت می کنند. چرخ های لاستیکی، که در تعدادی از سیستم های هدایت شده نوین اخیر مورد استفاده قرار گرفته است، باید دارای مجموعه هایی جدا از چرخ های تکیه گاهی و هدایت کننده باشد. بنابراین دارای تعداد چرخ هایی 2 تا 3 برابر وسایل ریلی متداول هستند.

سادگی، مقاومت لغزشی کم، توانایی در داشتن تقاطعات همسطح یا عملکرد بر روی خیابان، مزایای مهمی هستند که تکنولوژی ریلی را به عنوان بهترین گزینه تکیه گاه/هدایت برای سیستم های با کارایی بالا مطرح می کنند. اما برای وسایل نقلیه کوچکتر دو محوره و مسیرههای در سطوح مختلف و مناطق متمرکز با تعداد زیادی قوس، سیستم تکیه گاه/هدایت چرخ لاستیکی توجیه پذیرتر از سیستم ریلی می باشد زیرا توانایی بهتری در حرکت بر روی قوس

ها بدون ایجاد سروصدای زیاد و نیز طی مسیر با شیب های تند دارد (چسبندگی بیشتر). به همین دلیل اکثر سیستم های هدایت شده اخیر که دارای ظرفیت کم یا متوسط هستند، دارای چرخ های لاستیکی میباشند.

نوع دیگری از سیستم تکیه گاه/هدایت وجود دارد که از فناوری تعلیق مغناطیسی بدون برخورد<sup>1</sup> برای سیستم تکیه گاه و هدایت استفاده می کنند. این سیستم همچنین دارای یک موتور القاگر خطی<sup>2</sup> برای ایجاد نیروی محرکه می باشد. به علاوه از نیروی جاذبه و دافعه آهنربایی نیز می توان استفاده کرد. سیستم شناور توسط بالشتک هوا<sup>3</sup> نیز می تواند روشی برای تکیه گاه و هدایت وسایل فراهم آورد. وسیله دارای یک پد و یک سطح حد فاصل مرتبط با خط هدایت است. جریان هوای با فشاری که از وسیله نقلیه خارج می شود باعث ایجاد یک فاصله بین پد و مسیر هدایت می شود و در نتیجه وسیله در یک فاصله مشخص (معمولا حدود 1 سانتی متر) شناور می ماند. هر دو این روش های تکیه گاه/هدایت یک مزیت مهم دارند و آن اینکه وسایل آنها دارای چرخ نبوده و هیچ برخورد فیزیکی بین وسیله و مسیر وجود ندارد. بنابراین مقاومت در مقابل حرکت بسیار پایین است. عمل تعلیق نیز در آنها به خوبی صورت می گیرد، اما نیاز به ساخت مسیرهای مشخص با مصرف انرژی مداوم دارند. درحقیقت تخمین زده شده است که وسایل Maglev انرژی بیشتری برای تعلیق و رسیدن به سرعت 120 کیلومتر بر ساعت نسبت به وسایل ریلی که دارای مقاومت لغزشی می باشند، مصرف می کنند [1].

نحوه سوئیچ کردن (تغییرمسیر) برای همگرایی و واگرایی مسیرها نیز عنصری مهم در این نوع حمل و نقل است. مشخصات اصلی سوئیچ ها عبارتند از:

- امکان سفری راحت ، سریع و ایمن را فراهم کند.
- موقعیت آنها به سرعت قابل تغییر باشد.
- اجازه طراحی انواع مختلف مسیرهای هدایت را فراهم آورد.

بنابراین سوئیچ ها بر روی طراحی ایستگاه ها، محوطه ها و شبکه همانند نوع عملکرد، تاثیر می گذارند. هر کدام از فناوری های تکیه گاه/هدایت دارای نوع سوئیچ متفاوتی است. عملکرد بدون راننده جزء لاینفک تمام روش های هدایت شده با وسایل اندازه متوسط است که در خطوط با حجم متوسط مشغول فعالیتند. امکان عملی شدن عملکرد فیزیکی و عملیاتی کاملا خودکار نیاز به سه فاکتور مهم دارد. نخست آنکه وسایل بتوانند بر روی یک ROW کاملا حمایت شده (گروه A) فعالیت کنند. دوم آنکه به صورت فیزیکی هدایت شده باشند (توسط مسیرهای هدایت) و سوم اینکه دارای نیروی محرکه الکتریکی باشند. تکنولوژی های هدایت ویژه، اندازه و دیگر ویژگی های فیزیکی وسایل نقلیه تاثیر مستقیمی بر روی حرکت خودکار آنها ندارد.

#### روش ها و سیستم های نوین حمل و نقل

سیستم های حمل و نقل جدید همواره بخشی از حیات یک جامعه را تشکیل داده اند. در اکثر موارد، سیستم های جدید به منظور معرفی تکنولوژی های جدید و عملیاتی که در بالا در مورد آنها بحث شد، توسعه یافته اند. اما در بعضی مواقع، این سیستم ها به اشتباه به عنوان بهترین راه حل بالقوه برای جبران نقص در سرویس دهی حمل و نقل که به علل مختلف نظیر خطاهای طرح ریزی، اقتصادی و سازمان دهی به وجود می آیند، فرض می شوند. اما این راه حل که در حقیقت تلاشی برای بهبود ناکارآمدی سیستم های موجود با معرفی تکنولوژی های جدید است، اغلب به موفقیت ختم نمی شود. اگر چه سیستم های و رایج حمل و نقل شهری (نظیر اتومبیل، اتوبوس و روش های ریلی) بسیار کارآمد بوده و تنها نیاز به بهبود بیشتر در اجزایشان دارند، اما طرح های موجود برای روش های متفاوت حمل و نقل را نمی توان نادیده گرفت. اختراع اجزای جدید مکانیکی و روش های نوین عملیاتی منتج به معرفی سیستم های جدید شد که در اینجا از آنها با عنوان «روش های نوین» یاد می شود. روش های نوین، از طراحی اجزای متفاوتی که در بخش قبل بحث شد استفاده می کنند نظیر تکیه گاه وسیله، نوع چرخ های هادی، نیروی محرکه، اندازه وسایل مختلف و مخصوصا عملکرد کاملا خودکار این مقاله در مورد 3 گروه روش های حمل و نقل نوین صحبت می کند. در ابتدا به تعریف سیستم حمل و نقل هدایت شده خودکار می پردازیم که بیشترین استفاده را دارد. در ادامه سیستم مونوریل که دارای کاربردهای اختصاصی است معرفی خواهد شد. سومین گروه نیز سیستم حمل و نقل سریع شخصی می باشد که کمتر شناخته شده است و با وجود پیشنهادات متناوب و بحث بسیار در مورد آن، تا کنون اجرا نشده است.

#### حمل و نقل هدایت شده خودکار<sup>4</sup>

مهمترین و بزرگترین گروه حمل و نقل نوین شامل روش های کاملا خودکار هدایت شده الکتریکی می باشد. از زمان ایجاد اولیه آنها در سال های 1970 این روش ها را با نام های متفاوتی می شناسند. AGT درست ترین و پرکاربردترین عبارت است. عبارت انتقال دهنده خودکار جمعیت (APM) همانند عبارت سیستم انتقال دهنده جمعیت<sup>5</sup> از استفاده وسیعی برخوردار است. حمل و نقل سریع گروهی نیز عبارتی است که برای برنامه های با حمایت مالی دولت که برای یافتن سیستمی ثنوری با سرفاصله های بی نهایت کوتاه انجام می شد، اطلاق می شود [2]. برای تاکید بر دو نقش مهم این سیستم ها، دو اسم اول این روش ها برای دو گروه از کاربرد زیراستفاده می شوند:

<sup>1</sup> Contactless Magnetic Suspension

<sup>2</sup> Linear Induction Motor (LIM)

<sup>3</sup> Air-Cushion Levitation

<sup>4</sup> Automated Guided Transit (AGT) and Automated People Mover (APM)

<sup>5</sup> People Mover System (PMS)

- 1) AGT سیستم هایی هستند که در خطوط حمل و نقل منظم در شهرها استفاده می شوند.
- 2) APM نیز سیستم هایی هستند که برای خطوط کوتاه که معمولا در مراکز با فعالیت بالا نظیر فرودگاه، دانشگاه ها و مراکز گردهمایی یافت می شوند، استفاده می شود.

عناصر اصلی هردو سیستم AGT و APM به قرار زیر است [3]:

- ROW گروه A و ایستگاه های اختصاصی
  - بیشتر سیستم های AGT دارای وسایل هدایت شده چرخ لاستیکی دو محوره و بعضی نیز دارای وسایل ریلی چهار محوره هستند و در موارد کم دارای تکیه گاه شناور مغناطیسی می باشند.
  - سیستم محرکه الکتریکی متداول و در مواردی محدود دارای موتورهای القاگر خطی
  - سیستم عملیاتی دارای کنترل مرکزی و کاملا خودکار بدون راننده که امکان فعالیت چندین واحد حمل و نقل کوچک با سرفاصله کوتاه را که از نظر هزینه، معادل عملکرد تعداد کم واحد حمل و نقل با سرفاصله طولانی هستند را می دهد.
  - کنترل این سیستم ها توسط یک مرکز کنترل، امکان تغییر ترن ها برای تنظیم اندازه واحدهای حمل و نقل را با تقاضای موجود فراهم می آورد.
  - بیشتر این سیستم ها به استثنای تعدادی از آنها که از فناوری ریلی استفاده می کنند متعلق به بخش خصوصی هستند.
- غالب این سیستم های شخصی برای هردومنظور (AGT و APM) استفاده می شوند. اما در بسیاری از موارد، سیستم هایی که به عنوان APM استفاده می شوند، در خطوط با فواصل کوتاه به کار رفته و دارای سرعت پایین و تعداد صندلی های کمتری نسبت به AGT هستند. از میان تعداد زیاد سیستم های AGT پیشنهاد شده توسط دولت ها و کارخانه های سازنده از سال 1970، موفق ترین و شناخته شده ترین این سیستم ها مختصرا در زیر توصیف می شوند:

سیستم بمباردیر سی ایکس-100 پس از تحقیقات و تلاش های گسترده و آزمایشات وسیع توسط وستینگ هاوس (که در ابتدا با نام اتوبوس هوایی شناخته می شد) توسعه پیدا کرد. نخستین گونه از این سیستم ها در سال 1971 در فرودگاه بین المللی تامپا و سپس در سال 1973 در فرودگاه بین المللی سیاتل-تاکوما و پس از آن تا سال 2005 در قریب به 20 فرودگاه در سراسر جهان مورد استفاده قرار گرفت. علاوه بر نقش اصلی به عنوان APM فرودگاه، این سیستم کاربردهای AGT را نیز دارد، نظیر DPM میامی، یک خط تغذیه کننده مترو در سنگاپور و غیره.

سیستم VAL زیمنس، ساخت ماترا، نخستین بار در شهر لیون به عنوان خط حمل و نقل منظم ساخته شد. وسایل آن دارای 12.7 متر طول و دو محور می باشند. برای هردو عمل تکیه گاه و هدایت از چرخ های لاستیکی استفاده می شود.

خط VAL در سال 1983 افتتاح شد، به عنوان نخستین خط AGT بدون راننده در دنیا که دارای نقش حمل و نقل منظم نیز بود، مطرح شد. ایستگاه های آن دارای درهائی درکناره سکو می باشند که همزمان با درهائی واگن بازمی شوند. برای کاهش هزینه های ساخت تونل وسایل آن با عرضی معادل 2.06 متر طراحی شده اند که باریکتر از هر وسیله ریلی است. عرض کم و صندلی های طولی تکی منتج به ایستادن مسافران در راهرو میشود. بخشی از این محدودیت در ظرفیت وسایل با سرفاصله بسیار کوتاه، جبران می شود. کنترل مرکزی و فناوری چرخ های لاستیکی امکان فعالیت با سرفاصله کمینه در حدود 1 دقیقه را ممکن ساخته است (سرفاصله متوسط بیشتر از این مقدار است).

ایرترن نخستین سیستم حمل و نقل کاملا اتوماتیک در شبکه ای در فرودگاه دالاس-فورت بود که به سال 1973 افتتاح شد (که این سیستم در سال 2005 با بمباردیر سی ایکس-100 روی یک شبکه ساده شده با یک لوپ دو طرفه منفرد تعویض شد). به دلیل داشتن وسایل کوچک و سرعت پایین (27 کیلومتر بر ساعت)، ایرترن برای سیستم های با جریان ترافیک محدود، کارا تر از خطوط حمل و نقل منظم بود. به دلیل سیستم سوئیچینگ سریع و ساده، ایرترن توانایی فعالیت در شبکه های پیچیده را دارد.

سیستم کی.ان.تی که توسط شرکت کاوازاکی ایجاد شده با 0.4 کیلومتر طول برای متصل ساختن پورت آیلند که یک منطقه شهری جدید توسعه یافته است، به ایستگاه ریلی در کوب استفاده می شود. این سیستم AGT شامل وسایل چرخ لاستیکی دو محوره با چهار چرخ به عنوان تکیه گاه و چهار چرخ به عنوان هدایتگر می باشد. ظرفیت آن با فرض 0.2 متر مربع به ازای هر نفر ایستاده در حدود 53 نفر است. هدایت این وسایل توسط چرخ های لاستیکی افقی که در طرفین خارجی تیر هادی قرار گرفته اند بدست می آید.

سیستم AGT کریستال موور که توسط صنایع سنگین میتسوبیشی گسترش یافته، برای کاربرد در خط AGT در سنگاپور تطبیق داده شده است. این سیستم های AGT ژاپنی با واحدهای حمل و نقل دارای چهار تاش واگن که به صورت دائم با یکدیگر کوپل شده اند، فعالیت می کنند. طول ثابت واحدهای حمل و نقل در تمام طول روز، در حقیقت مانع از به کارگیری مزیت اصلی سیستم های AGT می شود: تناسب دادن اندازه واحدهای حمل و نقل با تقاضای سفر و افزایش ضریب بهره برداری (فاکتورهای بارگذاری) که باعث کاهش هزینه های عملیاتی به ازای هرواحد ظرفیت می شود.

مگنت-بان یا ام-بان در آلمان و در خطی کوتاه در برلین و نیز در فرودگاه بیرمنگام استفاده شد. هردوی این سیستم ها دارای عملکردی رضایت بخش بودند اما خط برلین به علت تعویض با پروژه ای دیگر، متوقف شد و خط بیرمنگام نیز با سیستمی متفاوت جایگزین شد. ام-بان به عنوان تکیه گاه برای وسیله، از شناور سازی مغناطیسی و برای سیستم محرکه از موتور القاگر خطی استفاده می کرد.

مروری که در بالا بر روی سیستم های AGT منتخب انجام شد نشان می دهد که تعداد قابل ملاحظه ای فناوری با انواع مختلف مسیرهای هدایت/تکیه گاه و دیگرالمان ها وجود دارد. با این حال بسیاری از سیستم های AGT دارای ویژگی های مشترک نظیر وسایل دو محوره چرخ لاستیکی با اندازه متوسط، سرعت عملیاتی کم تا متوسط و عملکرد کاملا خودکار هستند. در ادامه به ارزیابی این ویژگی ها و مقایسه آن با فناوری ریلی مرسوم می پردازیم.

1) استفاده از چرخ های لاستیکی برای تکیه گاه و هدایت نتایج زیر را دربرخواهد داشت:

مزایا:

- چسبندگی بیشتر هنگام قرار نگرقتن در معرض برف و باران (این مزیت وقت شتاب گرفتن و درتوانایی بالارفتن از شیب اهمیت پیدا می کند).
- ایجاد سروصدای کمتر در قوس ها.

معایب:

- ایجاد مسیرها و سوئیچ ها مشکل تر است
  - به علت قرار گرفتن در هوای آزاد هنگامی که در شرایط بد آب و هوایی قرار بگیرند، برای گرم کردن مسیریازبه مصرف انرژی بیشتری است.
  - وسایل هدایت شده چرخ لاستیکی دارای راحتی سواری کمتری نسبت به وسایل ریلی هستند.
- 2) استفاده از تکیه گاه دو محوره در مقایسه با ریل چهار محوره نتایج زیر را دربرخواهد داشت:

مزایا:

- استفاده از وسایل کوچکتر، جایی که حجم مسافری کمتری وجود دارد.
- ساختار وسیله نقلیه ساده تر است.

معایب:

- راحتی سواری و ظرفیت کمتری دارد.
  - در بیشتر مواقع بار بیشتری به محورها وارد می شود.
- 3) وسایل با ظرفیت متوسط با مقدار نفرت ایستاده بیشتر. این ویژگی برای مسیرهای کوتاه APM یک مزیت حساب شده اما برای AGT در خطوط حمل و نقل منظم، قابل قبول نیست.
- 4) سرعت کم تا متوسط (40 تا 60 کیلومتر بر ساعت). برای سرویس دهی در مسیرهای کوتاه کافی است. براساس نیاز عملیاتی خطوط، سیستم های مختلفی با سرعت های بالاتر (تا 90 کیلومتر بر ساعت) نیز طراحی شده اند.
- 5) عملکرد کاملا خودکار که نیاز به پیچیدگی فنی قابل ملاحظه وسیله نقلیه و سیستم های کنترل آن دارد اما امکان سرویس دهی با تناوب بالا حتی برای حجم کم مسافران را نیز فراهم می آورد.

## مونوریل

مونوریل ها شامل تعداد مختلفی از سیستم های حمل و نقل می باشند که دارای یک ویژگی مشترک هستند، به این ترتیب که وسایل آنها بر روی یک ریل منفرد و یا یک تیر حرکت کرده و یا از آن معلق می شوند. نخستین مونوریل در سال 1901 در ووپرتال آلمان افتتاح شد. این خط که با نام خط آهن شناور نیز خوانده می شود، در امتداد دره ی باریک رودخانه ووپر که در حقیقت ستون فقرات شهر است ایجاد شد. دو نوع اصلی مونوریل وجود دارد [1]:

- مونوریل های ایستاده (یا ایستاده از بغل) که بر روی یک تیر بتنی حرکت می کنند. واگن های این مونوریل هر کدام دارای چهار چرخ تکیه گاهی و هشت چرخ لاستیکی هدایت کننده بوده که بر روی 6 سطح در امتداد تیر حرکت می کنند. بدنه وسیله، بالای چرخ ها قرار دارد و در بعضی مدل ها دارای یک باکس چرخ می باشد که در زیر چرخ های تکیه گاهی و در کوپه مسافران قرار می گیرد.
  - مونوریل های معلق که از یک تیر هادی آویزان شده اند. این تیر می تواند یک ریل منفرد و یا یک تیوب بسته با چهار سطح باشد که دو سطح به عنوان تکیه گاه و دو سطح دیگر برای چرخ های هادی مورد استفاده قرار می گیرند. بنابراین واگن ها در امتداد سطوح حفاظت شده داخل تیر حرکت کرده و بدنه وسیله را که از میان شکافی در داخل تیر آویزان شده است حمل می کنند.
- کلیه مونوریل ها، دارای واحدهای حمل و نقل با 3 تا 6 واگن و دارای ROW اختصاصی می باشند. بنابراین از نظر عملکردی در گروه حمل و نقل سریع قرار می گیرند. با توجه به عملکرد با سر فاصله 2 تا 3 دقیقه، مونوریل ها می توانند دارای ظرفیتی مشابه سیستم های متروی با ظرفیت متوسط باشند. به دلیل دارا بودن ROW شامل یک تیر منفرد، مونوریل های قرار گرفته بر روی تیر، دارای پروفیل های کوچکتر از خطوط ریلی هوایی متداول می باشند اما مسیر منفرد، نیاز به مکانیزم چرخ پیچیده تری دارد.

خطوط هوایی بخشی از جذابیت و منظره این سیستم ها در شهرها می باشد اما مقبولیت حرکت ترن ها بین ساختمان های بلند، کمتر از آن چیزی است که تصور می شود. همانند سیستم ریلی با خطوط هوایی، به دلیل عبور از کنار پنجره های ساختمان، مخالفت هایی با احداث مونوریل در کنار ساختمان ها شده است. با توجه به نیاز های مشابه خطوط ریلی و مونوریل ها از لحاظ ایستگاه ها، این دو سیستم در جانشینی ایستگاه های مرتفع خود در مناطق مرکزی شهر، با مشکلاتی مشابه روبرو هستند. چرخ های تکیه گاهی لاستیکی باعث می شود تا در قوس ها و طی مسیرهای با شیب تند، مونوریل نسبت به وسایل ریلی برتر باشد. از نظر مکانیکی، سوئیچ ها در مونوریل شامل یک تیر متحرک می باشند که از نظر حرکتی، کند بوده و نسبت به سوئیچ های ریلی از پیچیدگی بیشتری برخوردارند. همچنین این سوئیچ ها نیاز به فضای بیشتری دارند. به علاوه این سیستم دارای تقاطعات بسیار

پیچیده ای می باشد، تا جایی که هر نوع مسیری که دارای سوئیچ و تیر های چندگانه باشد، نظیر ایستگاه ها، نیاز به سطوح وسیع تری دارند و این یکی از دلایلی است که نصب مونوریل ها را تنها محدود به یک خط می کند. در هیچ کجای دنیا شبکه ای از مونوریل که دارای چند خط باشد، وجود ندارد. به طور خلاصه، مونوریل می تواند به شکل قابل قبولی در محیط شهری بر روی یک خط منفرد در بلوارهای عریض، فضاهای سبز، و در امتداد رودخانه ها با استفاده از سازه های هوایی فعالیت کند. اما این سیستم برای کار در تونل، مسیر های سطحی، مناطق شهری با ساختمان های بلند یا برای شبکه های با بیش از یک خط، مناسب نیست.

### حمل و نقل سریع شخصی<sup>1</sup>:

مفهوم PRT بر مبنای فرضیه ای بنا شد که هدف آن ایجاد بهترین روش حمل و نقل در شهر ها و جذب رانندگان اتومبیل به سمت یک سیستم حمل و نقل بود تا سرویس دهی خود را با سیستمی که سرویسی با تناوب بالا و در نقاط بسیار در شهر ها ارائه می دهد، هماهنگ کند. برای رسیدن به این هدف، فرض می شود که یک سیستم PRT مطابق زیر عمل کند:

شبکه ای پهناور از مسیرهای دارای هدایت خودکار و با ارتفاع بالاتر از سطح طبیعی زمین که در داخل شهر و در ایستگاه های بسیاری وجود دارند. تعداد زیادی از وسایل کوچک (دارای 3 تا 6 صندلی) به صورت خودکار بر روی یک مسیر هدایت، فعالیت می کنند که توسط یک مرکز کنترل جهت دهی می شوند. هر مسافر یا گروهی که قصد سفر دارند، به ایستگاه رفته و مقصد مورد نظر خود را ثبت می کنند. یک وسیله در بازه کوتاهی از زمان به ایستگاه می رسد. سوار و پیاده کردن مسافران از وسایل نقلیه، از طریق یک مسیر هادی که خارج از خط اصلی قرار دارد انجام می شود. این روند به وسایل دیگر این امکان را می دهد که بدون توقف های فوری و اجباری از ایستگاهی به ایستگاه دیگر حرکت کنند. مسیرنمایی و حرکت وسایل نقلیه کاملاً خودکار بوده و توسط کامپیوتر کنترل می شود. این روش کنترل بر مناطق ادغام و انشعاب وسایل نظارت کرده و امکان ایجاد فواصل کوتاه بین وسایل را بر روی یک مسیر فراهم می آورد. بنابراین ظرفیت خط می تواند به تعداد 3000 تا 5000 وسیله بر ساعت برسد. وسایل این سیستم توانایی عملکرد با سرعت بالای 80 تا 100 کیلومتر بر ساعت را نیز دارا می باشند. به علت وزن کم وسایل، مسیرهای هادی نیز می توانند سبک طراحی شوند که این امر باعث عدم تاثیر بر زیبایی شهر شده و هزینه های ساخت را نیز کاهش می دهد[4].

در جریان موج روش های جدید در طی سال های 1970، سیستم های PRT مختلف و گوناگونی توسط محققان و کارخانه های مختلف معرفی شد. به عنوان نمونه به چند مورد از این سیستم ها اشاره می شود:

سیستم جت ریل که توسط شرکت استری، در شهر دالاس در سال 1968 برای فعالیت در فرودگاه لائو فیلد افتتاح شد. فعالیت این سیستم تا سال 1974 ادامه داشت. این سیستم یک ایستگاه در محوطه پارکینگ را به دو ایستگاه در ساختمان ترمینال متصل می کرد. کل طول مسیرهای آن 2.5 کیلومتر بود. این سیستم شامل کابین های متحرک بود که از یک تیر بالا سری با پروفیل I معلق بودند و هر کابین توسط دو چرخ لاستیکی حرکت می کرد و دو چرخ افقی کوچکتر نیز وظیفه هدایت آن را بر عهده داشتند. حداکثر سرعت نیز معادل 32 کیلومتر بر ساعت بود. این سیستم جذابیت بالایی داشت اما نمی توانست به عنوان حمل و نقل عمومی در مناطق شهری مورد استفاده قرار بگیرد.

سیستم مونوکب، که توسط شرکت وارو ساخته شد و بعدها امتیاز آن به شرکت رور واگذار گردید و در نمایشگاه ترنسپو در واشنگتن به سال 1972 در معرض دید عموم گذاشته شد. این وسیله دارای کابین های با 6 صندلی بود که از مسیرهای بالاسری آویزان می شدند. در مسیر های هادی، برای هر محور سطوحی جهت دو چرخ لاستیکی و دو چرخ هادی وجود داشت.

### هزینه ها

یکی از سوال هایی که همواره ذهن کارشناسان حمل و نقل را به خود مشغول کرده است، هزینه های احداث خطوط مونوریل می باشد. اما به دلیل تعداد زیاد متغیر هایی که بر روی هزینه ها تاثیر می گذارند، نمی توان پاسخ دقیقی به این سوال داد. این فاکتور ها شامل موارد زیر می باشند[5]:

- کل طول سیستم: در اغلب موارد با افزایش طول سیستم، هزینه ها به ازای واحد طول، می تواند کاهش یابد.
- توپوگرافی: نوع منطقه نظیر هموار یا تپه ماهور و یا وجود رودخانه و جاده در مسیر مونوریل.
- موقعیت: نحوه دسترسی به سیستم، وجود ترافیک سنگین و یا دیگر موانع ساخت.
- صنایع همگانی: نظیر جامنایی مجدد خطوط آب، برق، گاز و تلفن که می تواند تاثیر زیادی در افزایش هزینه ها داشته باشد.
- زمین: چه مقداری زمین مورد نیاز است و باید خریداری یا آزاد شود.
- نیاز های مسافران: چه اندازه و حجمی از وسایل مورد نیاز است و مسافران چه مدت در ایستگاه ها باید منتظر بمانند.
- سرعت: سرعت مورد نیاز برای سیستم چقدر است، آیا فاصله کافی بین ایستگاه ها جهت رسیدن به سرعت مورد نظر وجود دارد.
- تعداد ایستگاه ها: هر ایستگاه اضافه، هزینه ها را به شدت افزایش می دهد.
- سازه های ویژه: نظیر پل ها، تقاطعات روگذر و سازه های شهری.

<sup>1</sup> Personal Rapid Transit (PRT)

- شرایط ژئوتکنیکی: شرایط زمین مورد نظر چگونه است. این شرایط می تواند تاثیر بسیاری بر هزینه های پی ریزی داشته باشد.
  - اصلاح شرایط محیطی: آیا نیاز به حمایت از حیات وحش و ایجاد دیوار های صوتی وجود دارد.
- در جدول زیر هزینه تقریبی تعدادی از خطوط مونوریل آورده شده است [5]:

جدول 1- هزینه تقریبی تعدادی از خطوط مونوریل

| وضعیت سیستم       | هزینه (میلیون دلار بر مایل) | نوع سیستم                  |
|-------------------|-----------------------------|----------------------------|
| پیشنهاد شده       | 25-30                       | Aerorail                   |
| فعال              | 88                          | Bombardier MVI             |
| پیشنهاد شده       | 20-25                       | Futrex System 21(monobeam) |
| فعال              | 44                          | Hitachi                    |
| فعال در بعضی نقاط | 6.5                         | Intamin                    |
| پیشنهاد شده       | 10-25                       | Colorado                   |
| فعال              | 59                          | Monorail Malaysia          |
| پیشنهاد شده       | 23                          | OTG HighRoad (monobeam)    |

#### نتیجه گیری

- برای ارزیابی هر سیستم نوین پیشنهادی، توجه به نکته زیر ضروری به نظر می رسد:
- برای تبدیل شدن به یک عضو از خانواده روش های حمل و نقل، یک روش جدید باید دو شرط زیر را برآورده کند:
- (1) از نظر فناوری و عملکردی کاملا درست و دقیق باشند.
  - (2) دارای کارایی و هزینه هایی حداقل برابر با سیستم های مرسوم باشند.
- اگر چه بسیاری از روش ها به طرز شایسته ای شرط اول را برآورده کرده اند اما تنها تعداد معدودی توانسته اند به شرط دوم دست یابند. تجربه حاصل از توسعه و اجرای سیستم های نوین در دهه های اخیر نتایج کلی زیر را در بر داشت:
- روش APM جهت کار در فرودگاه ها برای خطوط کوتاه، مناطق مرکزی شهری، پارک های تفریحی، محوطه های دانشگاه ها و نظیر آن افتتاح شده و نقش مهمی نیز در این مکان ها بر عهده دارد. اجرای آنها روز به روز با نقش های مختلفی در حال رشد و توسعه است.
  - سیستم AGT که در خطوط حمل و نقلی منظم استفاده شده است، در قالب های تکنولوژیکی متفاوتی معرفی و تولید شده است نظیر چرخ لاستیکی و وسایل ریلی. اجرا و کاربرد آنها نیز در حال گسترش است مخصوصا اگر سیستم های قطار سبک خودکار را در این گروه در نظر بگیریم. به عنوان مقایسه ای بین LRT، BRT و سیستم AGT چرخ لاستیکی برای خطوط با حجم متوسط، به نظر می رسد که دو روش اول در بسیاری از کاربرد ها نسبت به AGT برتری دارند. بسیاری از مطالعات انجام شده در همین زمینه در بالتیمور، منچستر، پیتزبورگ و دیگر شهرها نیز این نظریه را تایید می کند.
  - سیستم PRT تاکنون هیچ کاربردی در حمل و نقل شهری نداشته است.
- نوآوری های فنی که می تواند فواید بیشتری به سیستم های حمل و نقل موجود و یا جدید برساند را می توان در دسته های زیر خلاصه کرد.
- ایجاد عملکرد کاملا خودکار و بدون راننده در خطوط حمل و نقل ریلی سریع موجود
  - متصل کردن و باز کردن سریع وسایل در طی عملکرد بر روی خطوط
  - استفاده بیشتر از ایستگاه های خارج از خط
  - استانداردسازی بیشتر وسایل و اجزای آنها نظیر موتور، سیستم های کنترل، ترمز ها و ...

#### مراجع

۱. Vuchic, Vukan R. (۱۹۸۱) *Urban Public Transportation: Systems and Technology*. New Jersey, USA.
۲. ASCE, *International Conferences on Automated People Mover*, Reston, Virginia
۳. <http://cedb.asce.org>
۴. Vuchic, Vukan R. (۱۹۹۶) *Personal Rapid Transit: An Unrealistic System*, Lawley Publications, Washington DC
5. <http://www.monorails.org>