افزایش راندمان انرژی در قطارهای سریع‌السیر با استفاده از جدیدترین تکنولوژی روزدنیا

مرکز تحقیقات راه آهن

مقاله آموزشی، شماره ۲۷٤
تیر ۱۳۸۸

چکیده

یکی از ابزارهای کلیدی برای بهبود و اصلاح راندمان انرژی افزایش تکنولوژیهای پیشرفته می‌باشد. با پیشرفت تکنولوژی در قطارهای سریع‌السیر بین شهری و درون شهری نیازهایی چون کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری، کاهش مصرف انرژی، کاهش نویز و ارتعاشات در داخل واگنها و نیز توجه به راحتی و آسایش مسافرین در طول سفر احساس می‌شود. نسل جدید قطارهای سریع‌السیر با ساختار آیرودینامیک و طراحی مفصلی و بهره گیری از تکنولوژی سیستم توزیع کننده قدرت در طول قطار توسط موتورهای سنکرون مغناطیس دائم با سرعت ۳۶۰ km/h گامی بلند در رسیدن به اهداف مورد نظر برداشته است.

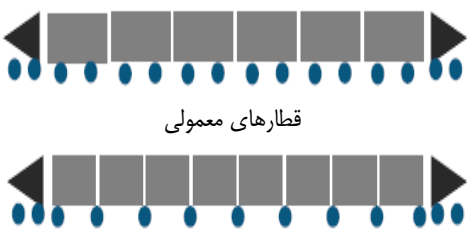
صدیقه باریده
کارشناس گروه
لکوموتیو واگن
مرکز تحقیقات راه‌آهن

مقدمه

امروزه نسل جدید قطارهای سریع‌السیر با بهره‌گیری از سه تکنولوژی جدید که عبارتند از: طراحی مفصلی با ساختار آیرودینامیک، استفاده از سیستم توزیع شده قدرت در طول قطار و بکارگیری موتورهای سنکرون مغناطیس دائم تحول مهمی در این صنعت به وجود آورده‌اند. در این تکنولوژی قابلیت اطمینان مسافرین در طول سفر از هرلحاظ بالا می‌رود. در ادامه به بررسی سه تکنولوژی مورد استفاده در نسل جدید قطارهای سریع‌السیر و کاربرد آنها در بالا بردن بهره‌وری در سیستم حمل و نقل ریلی خواهیم پرداخت.

قطارهای مفصلی

درقطارهای مفصلی بر خلاف قطارهای معمولی که واگن روی دو بوژی قرار گرفته است و ارتباط آن با واگن دیگر توسط قلابها ایجاد گردیده است، بوژی ها (چرخها و محورها) بجای قرارگرفتن در زیر واگنها در محل اتصال دو واگن قرار گرفته‌اند، لذا مسافرین در طول سفر با کمترین لرزش و ارتعاشات ناشی از حرکت، برخورد خواهند کرد، همچنین با توجه به حذف قلابهای کوپلینگ، نویز و ارتعاشات ناشی از تماس و ضربات دو واگن و قلابها در اثر ترمزگیری کمتر می‌شود، بنابراین لرزش و ارتعاشات حاصل از حرکت چرخ و محور که در زیر صندلی و میزهای مسافرین محسوس بود و باعث آزار و اذیت آنها شده بود به نحو مطلوبی کاهش یافته است. در شکل ۱ ساختار قطارهای مفصلی و معمولی نشان داده شده است. همانگونه که در شکل مشاهده می‌گردد در قطارهای مفصلی فاصله اتصال بین دو واگن نیز بسیار کاهش پیدا کرده و در نتیجه تیلیتینگ واگنها در اثر حرکت قطار و مقاومت فشار هوای ناشی از سرعت بالا در بین واگنها کاهش پیدا کرده است. با توجه به بالا بودن خاصیت آیرودینامیکی این قطارها، در تونلها نیز از کمترین اغتشاش صوتی و لرزش برخوردار خواهند بود. اگر در یک قطار معمولی ۲۰۰ متری، از ۶ واگن مسافری و یک واگن خودرو بهمراه ۱۶ عدد بوژی استفاده شود در یک قطار مفصلی به‌طول ۲۰۰ متر از ۸ واگن مسافری و یک واگن خودرو و ۱۳ بوژی استفاده می‌شود. بنابراین بطور کلی در قطارهای مفصلی توانایی جابجایی تعداد بیشتری واگن مسافری با تعداد کمتری بوژی وجود دارد.



قطارهای معمولی

قطارهای مفصلی

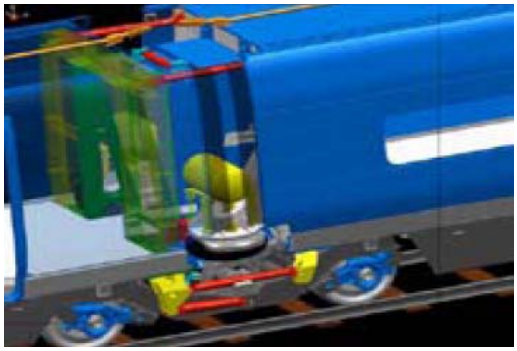
شکل ۱: ساختار قطارهای معمولی و مفصلی

همانطور که ملاحظه می‌شود در این قطارها با کاهش ۲۵٪ تعداد بوژی ها مواجه خواهیم بود، لذا به دلیل اینکه بیشترین آمار سایش و فرسودگی در قسمت بوژی های(چرخها و محورها) یک قطار ایجاد می‌شود و این آمار حدود ۳۰٪ تا ۳۵٪ از هزینه‌های تعمیر و نگهداری یک قطار را به خود اختصاص داده است، لذا با توجه به کاهش تعداد بوژی‌ها در قطارهای مفصلی حدود ۳۰٪ در هزینه‌های تعمیر و نگهداری صرفه‌جویی می‌شود.

سیستم توزیع نیرو

تکنولوژی بکار رفته در سیستم‌های نوین قدرت قطار، کاهش حجم سیستم قدرت از پارامترهای اصلی آن محسوب می‌شود. در سیستم توزیع نیرو بجای قرارگرفتن سیستم قدرت در واگن خودرو که در جلو یا عقب قطار، همانگونه که در شکل ۲ مشخص شده است، در زیرواگنها بصورت توزیع شده نصب شده و حجم قابل ملاحظه‌ای از فضا را در اختیار مسافرین قرار داده است. با حذف قسمت کشش در واگن خودرو و اختصاص این فضا به صندلی‌های مسافرین، محل نگهداری چمدانها و همچنین مکانهایی برای استراحت مسافران بصورت لژهای مختلف، با افزایش ۲۰٪ فضای مطلوب مواجه هستیم.

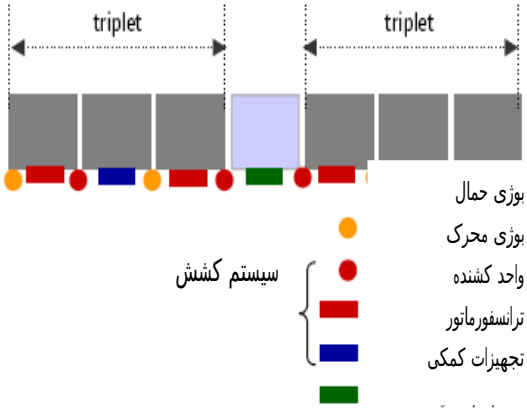
قرار دادن سیستم قدرت در زیر واگنها امکان دسترسی آسان را در اختیار مامورین و متصدیان بازرسی و تعمیراتی در زمانیکه قطار در ایستگاه متوقف است را می‌دهد و این یکی از مزایای سیستم توزیع قدرت در طول قطار می‌باشد. این قطارها قابلیت جابجایی ۳۰۰ تا ۷۰۰ مسافر را دارند.



شکل ۲: موقعیت بوژی محرک در قطارهای مفصلی

نحوه عملکرد سیستم توزیع قدرت

سیستم توزیع قدرت در قطارهای سریع‌السیر جدید به صورت سه گانه چیده شده است. همانگونه که در شکل ۳ دیده می‌شود در چیدمان یک ترنست، واگنها را به‌صورت دسته‌های سه تایی تقسیم می‌کنند، در زیر واگنهای اول و سوم هر گروه، واحد کشنده را قرار می‌دهند و این واگنها توسط بوژیهای کشنده خود واگن دوم که واگن یدک نام دارد را به حرکت در می‌آورند، در بین این دو گروه سه‌تایی، واگن چهارم نیز به‌عنوان واگن تجهیزات کمکی نام گرفته است، زیرا کلیه تجهیزات کمکی در زیر آن قرار گرفته است.

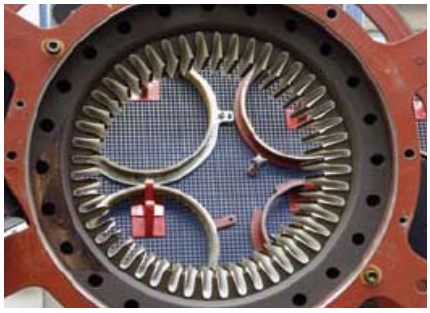


شکل ۳: طراحی سیستم توزیع قدرت بصورت سه‌گانه

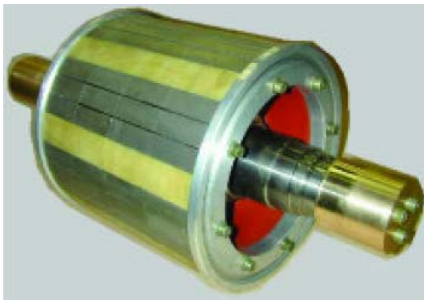
در قطارهای سریع‌السیر معمولی از یک یا دو ترنست با ۸ واگن استفاده می‌شود، اما در قطارهای جدید قابلیت استفاده از ۷،۸،۱۰،۱۱،۱۳ تا ۱۴ واگن نیز امکان پذیر می‌باشد.

استفاده از موتور سنکرون از دیگر مزایای این قطارها می‌باشد. موتورهای سنکرون مغناطیس دائم نسبت به موتورهای دیگر از قدرت بالاتر و حجم کمتری برخوردار هستند، اساس کار موتور سنکرون موجود بر روی بوژی‌ها براساس خاصیت مغناطیس دائمی می‌باشد. این موتور با توجه به حجم کم دارای توان خروجی بسیار بالایی می‌باشد. در شکلهای ۴ و ۵ نمای داخلی و بیرونی موتور سنکرون نشان داده شده است. از مزایای استفاده از این موتورها نسبت وزن به توان ۲۲/۶ kw/ton است که حدود ۲۳٪ بیشتر از دیگر قطارهای سریع‌السیر دیگر می‌باشد، به عبارت دیگر توان این قطارها از ۶۰۰۰ kw تا ۱۲۰۰۰ kw می‌باشد.

کاهش تلفات انرژی در این موتورها نسبت به موتورهای آسنکرون حدود ۹۸٪ می‌باشد، همچنین از لحاظ حجمی حدود ۱/۳ موتورهای آسنکرون فضا اشغال می‌کند.



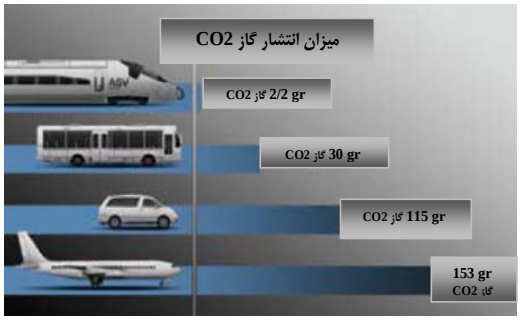
شکل ۴: نمای داخلی موتور سنکرون



شکل۵: نمای بیرونی موتور سنکرون

اثرات زیست محیطی

در طراحی قطارهای سریع‌السیر جدید کلیه اثرات زیست محیطی مد نظر قرار گرفته شده است، بطوریکه در این قطارها با کمترین انتشار گازهای گلخانه‌ای مواجه هستیم. همانگونه که در شکل ۶ مشاهده می‌گردد، قطارهای سریع‌السیر جدید در مقایسه با دیگر وسایل نقلیه کمترین انتشار گاز CO_2 را به همراه دارد و این مقدار حدود ۲/۲ gr در هر کیلومتر می‌باشد که ۱۳ برابر کمتر از اتوبوس، ۵۰ برابر کمتر از سواری و ۷۰ برابر کمتر از هواپیما می باشد[۱].



شکل ۶: میزان انتشار گاز CO_2 به ازای هر کیلومتر در وسایل نقلیه

در مقایسه با مصرف سوخت نیز این قطارها حدود ۰/۴ لیتر به ازای هر ۱۰۰ کیلومتر مصرف می‌کنند که در مقایسه با مصرف اتوبوس یک سوم، سواری یک هشتم و هواپیما حدود یک پانزدهم می‌باشد.

کاهش جرم

به طور کلی قطارهای مسافری معمولی دارای وزنی بین ۴۰۰ تا ۸۰۰ کیلوگرم به ازای هر صندلی می‌باشد، در مقابل برخی از قطارهای سریع السیر مثل ICE2 آلمان دارای وزنی بیشتر حدود ۱۱۰۰ کیلوگرم به ازای هر صندلی و قطار سریع‌السیر شینکانسن ژاپن دارای وزن ۵۳۷ کیلوگرم به ازای هر صندلی و قطارهای برون شهری دانمارک دارای وزن ۳۶۰ کیلوگرم به ازای هر صندلی هستند. کلاً کاهش وزن قطار به دو شیوه امکان پذیر می‌باشد: شیوه اول طراحیهای مربوط به سبک سازی سیستم برای بهینه سازی وزن کل سیستم می باشد. این بخش مربوط به کاهش وزن بوژیها می‌باشد که بیش از یک سوم وزن قطار را تشکیل می‌دهند. در این بخش چندین راهکار ابتکاری و سنتی وجود دارد که اجزاء آنها معمولا مستلزم تغییرات در کل سیستم طراحی قطار می‌باشد. از جمله تغییرات انجام گرفته شده می‌توان به استفاده از بوژی های ژاگوب در قطارهای مفصلی و استفاده از بوژی های تک محوره (در قطار سریع السیر سری S در دانمارک) نام برد. شیوه دوم طراحیهای مربوط به سبک سازی اجزاء که بر روی تجهیزات قطار بدون هیچگونه تغییری در پیکربندی اصلی قطار متمرکز شده است. در این بخش سبک سازی، استفاده از مواد جدید یا تجهیزات کشش جدید و ابتکاری برای کاهش جرم پیشنهاد می‌گردد.

از دیگر موارد مورد استفاده در این بخش استفاده از مواد کامپوزیتی سبک که دارای مقاومت و دوام بالا و مشخصه‌های دینامیکی خوبی هستند و استفاده از آلومینیوم در بدنه قطار بجای فولاد می‌باشد که در نتیجه وزن قطار به ۷۰ تن رسیده است که در مقایسه با قطارهایی با طول مشابه خود کاهش وزن محسوسی مشاهده می‌شود.

بطورکلی به دلیل اینکه حدود ۹۸٪ از مواد تشکیل دهنده اینگونه قطارها (آلومینیوم، فولاد، مس و شیشه) قابل استفاده مجدد و قابل بازیافت هستند از لحاظ تمرکز بر مسائل زیست محیطی در رده بالایی قرار دارند.

خاصیت آیرودینامیکی و اصطکاک

آیرودینامیک برای عملیات راه‌آهن نه فقط برای مسائل مربوط به کاهش مصرف انرژی بلکه برای کاهش آلودگی صوتی و ایمنی بهره‌برداریها در سرعتهای بالا و راحتی مسافرین بسیار مهم و جالب می‌باشد. به طور کلی ملاحظات مربوط به انرژی در افزایش سرعت قطارهای سریع‌السیر تا ۳۵۰ کیلومتر در ساعت در دهه‌های آینده نقش بسیار مهمی را بازی خواهد کرد، بالا بردن سرعت از ۲۸۰ کیلومتر به ۳۵۰ کیلومتر میزان هزینه های مربوط به انرژی را تا ۶۰ درصد افزایش می دهد.

مقاومت و نیروی کشش هوا که توسط حرکت قطار تجربه می شود توسط دو مشخصه هندسی شکل خارجی قطار و زبری سطوح آن تعیین می‌گردد. به طور کلی همه بخشهای خارجی قطار به مقاومت هوا کمک می‌کنند، همچنین طول قطار و نوع طراحی قطار نیز به طور قابل ملاحظه ای در میزان مقاومت هوا نقش دارند. میزان کشش آیرودینامیکی توسط قسمتهای مختلف یک قطار سریع السیر با ۱۴ واگن بدین ترتیب

می‌باشد که بیشترین تاثیر مربوط به بوژی و چرخها (۴۵/۵ درصد) و در مرحله بعدی مربوط به سطوح اصطکاکی دیواره‌ها و سقف‌ها (۲۷ درصد) می‌باشد که جمعاً ۷۰ درصد را تشکیل می‌دهد. از جمله راه کارهای جدید برای قطارهای مسافری سریع‌السیر می‌توان به: ۱- بهینه سازی آیرودینامیکی پانتوگرافها که مسئول ۸ درصد از میزان مقاومت آیرودینامیکی قطار سریع‌السیر می‌باشند و همچنین نقش موثری در ایجاد آلودگی صوتی دارند اشاره کرد. تاثیر تکنولوژی بهینه‌سازی پانتوگراف در کاهش آلودگی صوتی بیشتر از کاهش نیروی مقاومت هوا می‌باشد. ۲- پوشش آیرودینامیکی بوژی‌ها که در اکثر قطارها سطح بوژی و چرخها و متعلقات دیگر آن فاقد هرگونه پوششی می‌باشد و با این راه کار در قطارهای سریع‌السیر برای کم کردن مقاومت هوا سطح بوژی تا ارتفاعی از چرخها با پوششی پوشانده می‌شوند نیز اشاره کرد.

بنابراین با توجه به کاهش تعداد بوژیها، کاهش وزن قطار و بالا رفتن خاصیت آیرودینامیکی قطار و کم شدن مقاوتهای ناشی از فشار هوا در این قطارها، با کاهش ۱۵٪ مصرف انرژی نیز روبرو شده‌اند. با رعایت اصول و استانداردهای اروپایی این قطارها از لحاظ ایمنی از درجه بالایی برخوردار هستند. با توجه به ساختار مفصلی و خاصیت انعطاف پذیری آنها در مقابل هر گونه حرکت در قوسها و وجود بوژی در محل اتصال دو واگن و در نتیجه بالا رفتن استحکام اتصال واگنها به یکدیگر و کم شدن فاصله بین آنها و مقاومت بالای آنها در مقابل فشار هوای ناشی از سرعت بالاو بطور کلی بالا بودن خاصیت آیرودینامیکی در این قطارها احتمال خروج از خط به صفر رسیده است. از طرف دیگر مقاوم بودن جنس بدنه و جنس پنجره‌ها در مقابل هرگونه تلاقی موجب تامین امنیت مسافرین در حین سوانح می‌شود. طراحی کابین راننده نیز از استاندارد بسیار بالایی برخوردار است، زیرا راننده در حین حرکت تسط کامل بر خط و بر کلیه پانلهای کنترلی موجود دارد، لذا کلیه حوادث ایجاد شده در طول حرکت، چه در داخل قطار و چه در مدارات الکترونیکی و قسمتهای مکانیکی را تحت کنترل خود دارد. در شکل ۷ نمای بیرونی قطار سریع‌السیرAGV که توسط شرکت آلستوم و بر طبق این تکنولوژی جدید ساخته شده است نشان داده شده است.

همچنین در طراحی کلی این قطارها آسایش و رفاه مسافرین مد نظر قرار گرفته است. از جمله این موارد می‌توان به وجود پله‌های (۲ پله) کوتاه که حدود ۱۰ سانتی‌متر کوتاهتر از قطارهای دیگر می‌باشد و سوار شدن به قطار را برای افراد مسن و کودکان بسیار راحت نموده است، پنجره‌های بزرگ که امکان استفاده از نور طبیعی و دید مناظر را در طول روز برای مسافرین بسیار مطلوب کرده است، استفاده از بالاترین تکنولوژی روز در

شکل ۷: نمای بیرونی شامل طراحی کابین راننده و اتصال واگن (نمای بیرونی و داخلی) به یکدیگر

طراحی صندلیها به‌منظور آسایش و راحتی مسافرین و همچنین در نظر گرفتن ۲/۷۵ متر عرض فضای داخلی (با توجه به عرض متری این قطارها) که سهولت تردد مسافرین در راهروها و فضای بین صندلیها را فراهم کرده است و این مقدار حداقل ۱۰ cm از دیگر قطارهای مشابه بیشتر است، اشاره کرد. شکل ۷ نمای بیرونی قطار و نحوه اتصال واگنها در داخل که سهولت تردد مسافرین را فراهم کرده است را نشان می‌دهد.

نتیجه گیری

هم اکنون نسل جدید قطارهای سریع‌السیر پس از گذراندن دوره آزمایشی خود در بسیاری از کشورها مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند، از جمله این قطارها می‌توان به AGV شرکت آلستوم اشاره کرد که حدود ۲۵ دستگاه از آن را شرکت NTV ایتالیا خریداری کرده است، این قطارها شامل ۱۱ واگن و ۵۰۰ صندلی و سرعت ۳۲۰ km/h می‌باشد همچنین ضمن استفاده از طراحی مدرن و مفصلی و همچنین استفاده از سیستم توزیع قدرت با کاهش۳۰٪ هزینه‌های تعمیر و نگهداری و کاهش ۱۵٪ مصرف انرژی و همچنین افزایش ۲۰٪ فضای مطلوب برخوردار هستند.

منابع و ماخذ

۱- آمار میزان انتشار گاز CO_2 به ازای هر کیلومتر ارائه شده در کشور فرانسه

[2]ADEME
[3] www.ntvspa.it /en (Nuovo Trasporto Viaggiatori)
[4] Articulated trains(jakob-type bogies), Distributed power,The permanent- magnet motor