راهکارهای بهینه سازی مصرف انرژی
درشرکت بهره برداری راه آهن شهری تهران وحومه

مصطفی محمدحسینی ، حسین باقر خیاطباشی

کارشناس مهندسی، کیفیت و ایمنی نقلیه ریلی، شرکت بهره برداری راه آهن شهری تهران و حومه.
M.Mohamadhosseini@gmail.com

مسئول سیرو حرکت خط سه ،شرکت بهره برداری راه آهن شهری تهران و حومه
H_Khayatbashi@tehranmetro.com

Archive of SID

چکیده

افزایش تقاضاو مصرف انرژی درسالهای اخیربه یک چالش جهانی تبدیل شده است .به همین دلیل ، راهبردهای کاهش مصرف انرژی و افزایش بهره وری برای صنایع گوناگون من جمله صنعت حمل و نقل بیش از پیش الزامی می نماید. حمل و نقل ریلی نیز از این امر مستثنی نبوده است و با روند رو به رشد تقاضا و هزینه های انرژی روبرو بوده است. به همین دلیل مدیران صنعت ریلی نیازمند مدیریت ، پیش بینی و کاهش مصرف انرژی می باشند. دربخش فوق توزیع برق شهرتهران، شرکت بهره برداری راه آهن شهری تهران وحومه از مصرف کنندگان اصلی انرژی به حساب می آید. به تناسب رشد متوسط ۹,۲ درصدی حجم سفرهای سالانه متروتهران، نرخ رشد متوسط سالانه مصرف انرژی نیز۲. ۱۱درصد رشد داشته است. با توجه به چشم انداز حمل و نقل جامع شهر تهران ،ساخت و توسعه خطوط جدید مترو وافزایش سهم حمل و نقل عمومی مدیریت و افزایش بهره وری در این حوزه مطرح می باشد. در این مقاله ضمن بررسی اجمالی وضعیت مصرف انرژی در مترو تهران ، راهکارها و پارامترهای موثر در ارتقا بهره وری انرژی در حوزه تجهیزات ثابت و متحرک مترو ، ناوگان ، خطوط و ... معرفی می گردد.

واژه های کلیدی:مصرف انرژی، بهینه سازی، راه آهن شهری تهران و حومه .

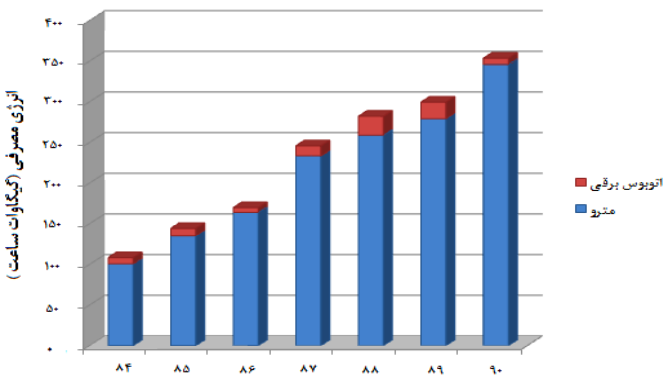
www.SID.ir

۱- مقدمه

تقاضای انرژی در جهان با توسعه صنعتی ، کشاورزی و حمل و نقل به سرعت در حال افزایش می باشد. در سالهای اخیر رشد جمعیت و افزایش سطح رفاه در شهرها و به خصوص کلانشهرها نیز در این روند تاثیر گذار بوده است .[۱]با توجه به افزایش جمعیت ، مصرف بهینه انرژی، حفظ محیط زیست و همچنین آلودگی وسیع هوای شهرها به واسطه مصرف سوختهای فسیلی، استفاده از برق برای جابجایی مسافر در شهرها را امری اجتناب ناپذیر کرده است. به طور کلی در کشورایران ، حمل و نقل برقی درشهرهای تهران و مشهد فعال می باشد.در شهر تهران شرکت واحد اتوبوسرانی تهران و حومه و شرکت بهره برداری راه آهن شهری تهران و حومه در این بخش به سرویس دهی می پردازند. قطارشهری مشهد نیز از سال ۱۳۸۹به بهره برداری رسیده است.

شرکت بهره برداری راه آهن شهری تهران و حومه با در اختیار داشتن ۸ پست برق فشار قوی (۷ پست با ولتاژ ۶۳/۲۰ کیلوولت ویک پست با ولتاژ ۲۵ ×۲ / ۲۳۰ کیلوولت) جهت تأمین نیرو محرکه قطارهای خطوط ۱و۲و۴و۵ ، در سال ۱۳۹۰ حدود ۳۳۳,۲ گیگاوات ساعت برق مصرف نموده است. مصرف شرکت واحد اتوبوسرانی تهران و حومه نیز حدود ۷,۸ گیگاوات ساعت بوده است. در مشهد ، راه آهن شهری این شهر فعالیت خود را با ۱۱ رام قطار (شامل ۳۳ واگن) ادامه داده است و میزان مصرف برق راه آهن شهری مشهد در سال ۱۳۹۰ معادل ۱۲,۵ گیگاوات ساعت بوده است. به این ترتیب مجموع مصرف برق در بخش راه آهن شهری برابر۳۴۵,۸ گیگاوات ساعت بوده است.[۲]

کل مصرف برق در بخش حمل و نقل در سال ۱۳۹۰ در مجموع معادل ۳۵۳,۶ گیگاوات ساعت بوده که نسبت به سال ما قبل آن ۱۸,۱ درصد رشد داشته است. هر چند که سهم حمل و نقل برقی از کل فروش برق وزارت نیرو تنها ۰,۲ درصد می باشد، اما این بخش در طول برنامه چهارم توسعه از رشد قابل ملاحظه ای برخوردار بوده و مصرف آن در سال ۱۳۹۰ نسبت به سال ۱۳۸۴ حدود ۳,۳برابر شده است. [۲]

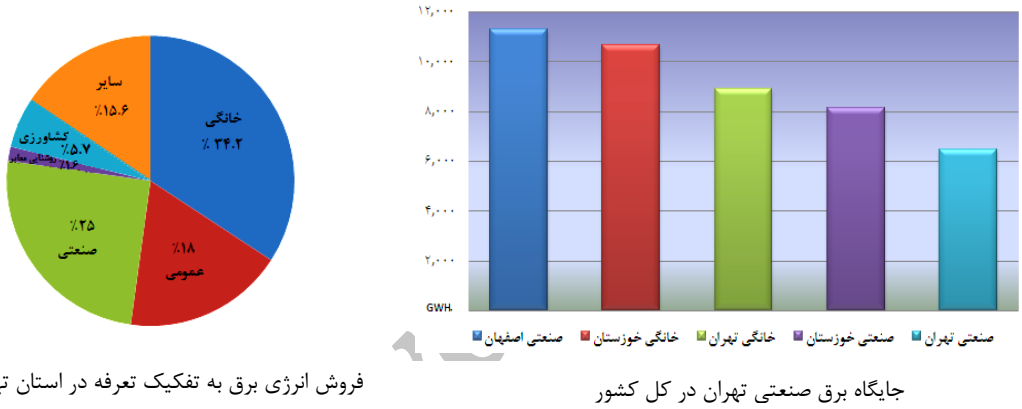


شکل۱- مصرف برق در زیر بخش حمل و نقل برقی طی سالهای ۹۰- ۸۴[۲]

مصرف برق ایران در سال ۱۳۹۰ برابر ۱۸۳۹۰۵ گیگاوات ساعت و در سال ۱۳۹۱ برابر ۱۹۵۲۱۹ گیگاوات ساعت بوده است . این ارقام نشان دهنده نرخ رشد انرژی به میزان ۶,۱۵٪ می باشد.[۳] این عدد برای دو دهه اخیر برابر ۷,۵٪

Archive of SID
www.SID.ir

بوده است که بیش از دو برابر نرخ رشد مصرف انرژی درجهان می باشد.[۴]مطابق طبقه بندی وزارت نیرو و سازمان های برق منطقه ای، مصرف برق کل کشور در شاخه های زیر طبقه بندی می شود: مصارف صنعتی، کشاورزی ، خانگی، تجاری،روشنایی معابر، عمومی و سایر. مصرف برق صنعتی تهران ۲۵،۵ درصد از کل برق مصرفی تهران را شامل می شود. از سوی دیگر ، به تفکیک نوع و استان ، مصرف برق صنعتی تهران در جایگاه پنجم کل کشور می باشد.شکل (۲) [۳]در سال ۱۳۹۱، مصرف برق صنعتی استان تهران که از مجموع فروش انرژی شرکت های برق منطقه ای ، توزیع و نواحی محاسبه می گردد ، ۶۴۹۴ گیگاوات ساعت بوده است. این بخش در استان تهران نسبت به سال ۹۰ رشد ۰،۴٪ را داشته است. این در حالی است که بخش فوق توزیع برق منطقه ای تهران،رشد ۷،۹٪ مصرف برق صنعتی را به ثبت رسانده است. [۳] شرکت بهره برداری راه آهن شهری تهران و حومه نیز در بخش فوق توزیع شهر تهران به عنوان یک مصرف کننده صنعتی، شناخته می شود.



فروش انرژی برق به تفکیک تعرفه در استان تهران

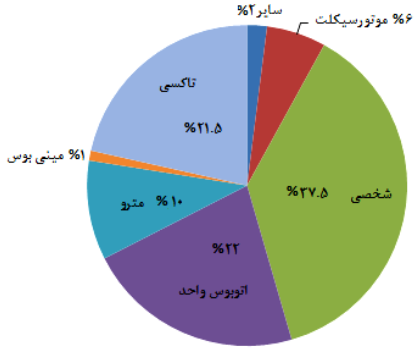
جایگاه برق صنعتی تهران در کل کشور

شکل ۲- فروش انرژی برق به تفکیک تعرفه ها و جایگاه برق صنعتی شهر تهران در سال۹۱[۳] و[۴]

۲- بررسی وضعیت مصرف برق مترو تهران

ایمنی بسیار بالا، راحتی وآسایش مسافران، کاهش مصرف انرژی، سرعت مناسب، قیمت پایین حمل مسافر در مقایسه با خودروهای شخصی از جمله مزیت‌های قطار شهری نسبت به سایر وسایل نقلیه عمومی است. [۵]براساس آمار و اطلاعات سفر با مترو باعث صرفه جویی سالانه ۳۵۰میلیارد تومان در مصرف سوخت می‌شود که البته در کنار آن آلودگی هوا و خسارات ناشی از آن نیز کاهش می‌یابد. روزانه به طور متوسط بیش از یک میلیون و ۸۰۰ هزارسفردرتهران بامتروانجام می‌شود.[۶] علاوه براین در هر سفر حدود ۶ دهم لیتر در مصرف سوخت و ۲۷ دقیقه در اتلاف وقت صرفه جویی می‌شود. [۵] براساس آخرین آمارهای منتشر شده از سوی سازمان حمل و نقل و ترافیک تهران ، ۱۰٪سفرهای روزانه مسافران در شهر تهران، به وسیله مترو انجام شده است. [۷]

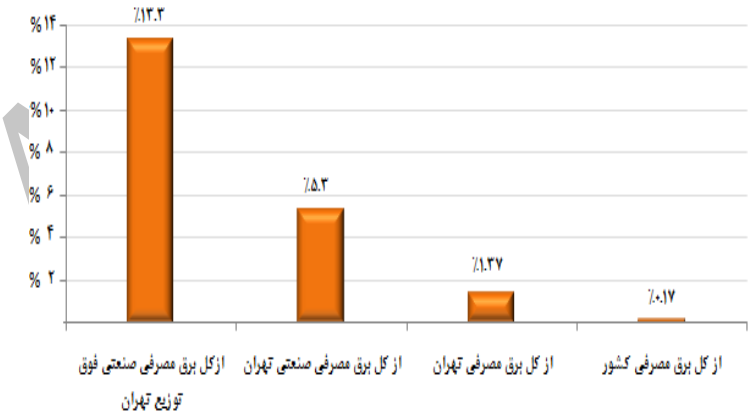
www.SID.ir



شکل۳- سهم روش های مختلف حمل و نقل در شهر تهران[۷]

طول خطوط و ایستگاهها مورد بهره برداری قرار گرفته تا پایان سال ۱۳۹۱ به ترتیب برابر ۱۳۵ کیلومتر و ۸۲ ایستگاه می باشد. [۵] با افزایش ظرفیت و افزایش طول خطوط مورد بهره برداری ، میزان افزایش سفرها در سالهای اخیر مشهود می باشد. در سال ۱۳۹۱ میزان سفرهای سالانه انجام شده با مترو تهران از مرز ۶۰۰ میلیون سفر عبور کرد و به ۶۳۲ میلیون سفر در سال رسید. [۶] با توجه به استقبال رو به افزایش شهروندان تهرانی و رشد سالانه سفرها از یک سو و همچنین طرح های توسعه و ساخت خطوط ۳و۶و۷ در سالهای اخیر، ترسیم چشم انداز انرژی و بررسی نرخ رشد سالانه انرژی مصرفی در مترو تهران را بیش از پیش الزامی می نماید.

با توجه به آمارهای منتشر شده از سوی وزارت نیرو و سازمان برق منطقه ای تهران بزرگ در سال ۱۳۹۱، سهم انرژی مصرفی مترو تهران در کشور و شهر تهران مطابق شکل(۴) می باشد. با توجه موارد مذکور ، شرکت بهره برداری راه آهن شهری تهران و حومه به عنوان یکی از مصرف کنندگان اصلی برق در شهر تهران مطرح می باشد.

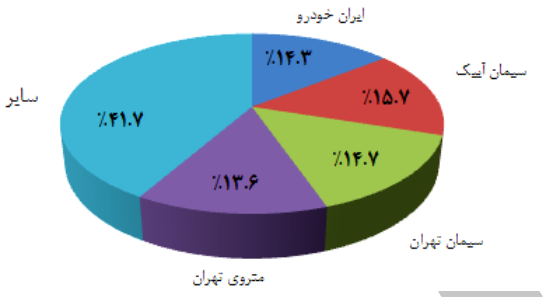


شکل۴- مقایسه جایگاه مصرف انرژی مترو تهران در سال ۱۳۹۱ [۳]و[۸]

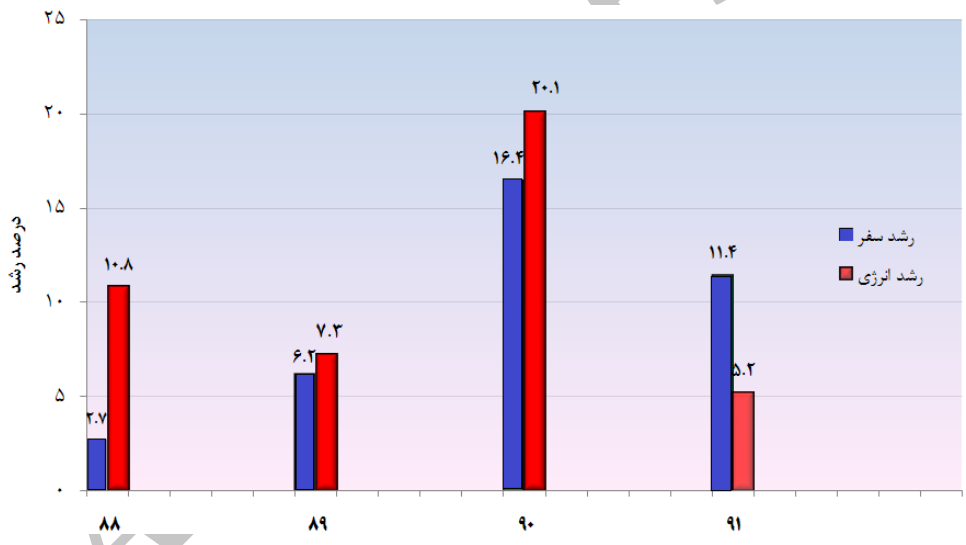
بر اساس اعلام نظر برق منطقه ای تهران، صنایع سیمان ، صنایع خودروسازی و شرکت بهره برداری راه آهن شهری تهران و حومه از مشترکین اصلی برق صنعتی فوق توزیع تهران می باشند و مصرف انرژی قابل توجهی دارند. برای مثال، میزان فروش برق به مشترکین فوق توزیع در تهران برای سال ۱۳۹۰، مطابق شکل (۵) می باشد. [۹]

www.SID.ir

این در حالی است که برای سال۱۳۹۱،بخش فوق توزیع برق تهران، رشد تقریبی ۸٪ را به ثبت رسانده است. رابطه رشد سفرها و رشد انرژی مصرفی در شرکت بهره برداری راه آهن شهری تهران وحومه طی سالهای ۹۱-۸۸ ،در شکل(۶) نشان داده شده است.



شکل۵- مقایسه جایگاه مصرف انرژی مترو تهران نسبت به سایر مشترکین صنعتی برق تهران[۹]



شکل۶- نمودار مقایسه ای رشد سفر و رشد مصرف انرژی در مترو تهران طی سالهای(۹۱-۸۸)

همان طور که مشخص است ، با توجه به افزایش قیمت حامل های انرژی و اجرای طرح هدفمندی یارانه ها در سال ۱۳۸۹از یک سمت و افزایش میزان تقاضای سفر در حوزه حمل و نقل عمومی از سمت دیگر، میزان مصرف انرژی در شرکت بهره برداری راه آهن شهری تهران و حومه در سال ۱۳۹۰، با جهش ۲۰ درصدی مواجه بوده است. در ۵ سال اخیر، مصرف انرژی و سفرهای سالانه مترو تهران به ترتیب با میانگین رشد ۱۱,۲ درصد و۹,۱۷ درصد بوده است. [۶] و [۸] و [۹]

جدول۱-شاخص (رشد مسافر/رشد انرژی) مترو تهران در سالهای(۹۱-۸۸)

سال	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱
شاخص (رشد مسافر/رشد انرژی)	۰,۲۵	۰,۸۷	۰,۸۱	۲,۱

www.SID.ir

همان طور که در جدول ۱ مشخص شده است ، در سالهای اخیر با شاخص های متغیر رشد مسافر به رشد انرژی در شرکت بهره برداری راه آهن شهری تهران و حومه مواجه بوده ایم. به طوری که تغییرات این شاخص بسیار زیاد بوده و از الگوی خاصی پیروی نمی کند. در بررسی علت های این موضوع مواردزیر قابل ذکر می باشد:

- رشد سالانه مسافر و سفرهای درون شهری
- اعمال سیاست های کشوری نظیر طرح هدفمندی یارانه ها و افزایش هزینه های حمل و نقل
- توسعه ایستگاهها و افتتاح خطوط جدید
- اتصال سیستم های مختلف حمل و نقل شهری و برون شهری(اتوبوس- تاکسی و ...)

با توجه به پیش بینی های انجام شده و نرخ رشد متوسط سالانه **۱۱,۲** درصد ، در سال **۱۳۹۲** شرکت بهره برداری راه آهن شهری تهران و حومه ، به عنوان یکی از اصلی ترین مصرف کننده انرژی در کلان شهر تهران شناخته خواهد شد. از طرف دیگر به دلیل جایگاه مترو در شهر تهران و لزوم خدمت رسانی به شهروندان تهرانی در بیشتر ساعات روز ، در مواقعی که با پیک بار همزمان شبکه روبرو هستیم، امکان کاهش بار شبکه از سوی مترو تهران وجود ندارد و شاخص (رشد مسافر/رشد انرژی) در سالهای اخیر از با نوسان و تغییرات زیادی همراه بوده است.

با عنایت به موارد فوق ، بهینه سازی مصرف و مدیریت انرژی در شرکت بهره برداری راه آهن شهری تهران وحومه الزامی می باشد.لذا در ادامه به بررسی راهکارهای افزایش بهروری در سیستم حمل و نقل ریلی درون شهری می پردازیم.

Archive

۳- راهکارهای افزایش بهره وری انرژی در سیستم حمل و نقل ریلی درون شهری

با توجه به تقسیم تجهیزات مصرف کننده انرژی به دو دسته ثابت و متحرک دسته بندی می شوند. . به طور میانگین در مترو ۷۰٪ انرژی توسط قطارها و ۳۰ ٪ دیگر توسط تجهیزات ثابت مصرف می گردد. [۱۰] لذا راهکارهای زیر در هر حوزه ناوگان، ایستگاهها، روشهای بهره برداری و زیر ساختها پیشنهاد می گردد:

۱,۳-پله برقی و آسانسورها

استفاده از تکنولوژی اینورتر در پله برقی ها منجر به کنترل سرعت پله برقی می شود. بدین ترتیب در هنگام بی بار بودن پله برقی ها آنها از حالت کاری و سرعت۰,۷۵m/s به حالت آماده به کار و سرعت ۰,۲m/s تقلیل می یابد. در صورت ادامه داشتن بی باری ، پله برقی به صورت اتوماتیک از حرکت خواهد ایستاد. این امر با کمک سنسورهای تشخیص وزن میسر می باشد. تنظیم سرعت قابلیت کاهش مصرف انرژی تا ۳۰٪ را دارد. [۱۱]

www.SID.ir

۲,۳- سیستم روشنایی

با توجه تردد مسافران در شبکه زیرزمینی مترو تهران و نیاز به تامین روشنایی در محیطهایی نظیر تونل ، سالنهای فروش بلیت ، سکوی مسافری و ... همزمان با بهره برداری روزانه و کارکرد مداوم این سیستم ها ،در سیستم روشنایی ایستگاهها راهکارهای زیر مدنظر می باشد:

- ✓ طرح و معماری مناسب در مرحله ساخت ایستگاه
- ✓ استفاده از نور طبیعی در مبادی ورودی و خروجی ایستگاهها
- ✓ نور پردازی غیر مستقیم به جای نورپردازی مستقیم
- ✓ تکنولوژی لامپ های کم مصرف نظیر لامپ های T5 و LED به جای لامپهای T12
- ✓ تنظیم میزان بهینه نور در سکو ، تونل و کریدورهای تردد مسافران

۳,۳-سیستم های تهویه مطبوع

تامین هوای مطبوع و ایجاد سطوح راحتی مسافران با با گرمایش یا سرمایش هوای مناسب و تخلیه هوای نامناسب امکان پذیر می باشد. علاوه بر این اتاقهای تجهیزات فنی نیز نیازمند تهویه می باشند. با توجه به طراحی خاص ایستگاهها و تونل های مترو و حجم بالای هوای در گردش بهینه سازی این تجهیزات از اهمیت ویژه ای برخوردار است. راهکارهای زیر برای سیستم های تهویه مطبوع استفاده از تجهیزات زیر پیشنهاد می گردد[۱۱]:

- ✓ سنسور های هوشمند تشخیص میزان CO_2 در مبادی خروجی هوا وتنظیم میزان ورود هوا (۰,۳۶٪ صرفه جویی)
- ✓ تجهیزات با دورهای تنظیم شونده بت کاربرد در پمپهاو برجهای خنک کننده (۰,۴٪ صرفه جویی)
- ✓ سنسورهای حرارتی در اتاقها و ایستگاهها

۴,۳- ناوگان

به طور کلی در حوزه انرژی مصرفی ناوگان با رویکردهای زیر روبرو می باشیم:

- ✓ **استفاده از قطارهای سبک تر**
- ✓ **راهبری بهینه قطار**
- ✓ **استفاده از ترمز احیا شونده**

شکل۷-ناوگان مترو تهران

Archive of SID

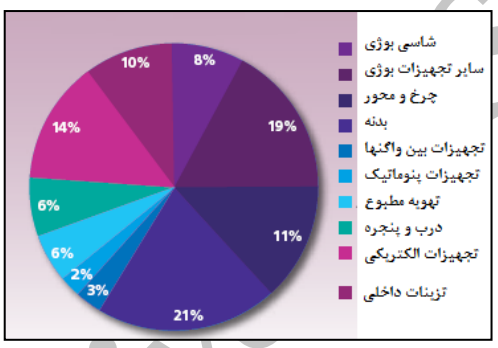
www.SID.ir

الف – مدیریت وزن ناوگان

با توجه به رابطه مستقیم وزن و میزان انرژی مصرفی قطار ، لذا کاهش حدالامکان وزن قطار بسیار مطلوب می باشد.

۱- وزن بدنه و سایر تجهیزات

مطابق شکل (۸) بدنه قطار ببشترین سهم را از کل وزن قطار دارد. به عنوان نمونه این سهم در واگنهای موتوردار ۲۱٪ از کل وزن قطار می باشد. لذا انتخاب جنس مواد از اهمیت ویژه ای برخوردار است .با معرفی آلیاژهای آلومینیوم و استفاده از آنها در قطارهای جدید این امر امکان پذیر شده است. با استفاده از صندلی های سبکتر ، کاهش حجم شیشه و... با کاهش وزن ۴,۶-۳,۶ درصدی قطار را خوهیم داشت. [۱۱]



شکل۸– درصد تقریبی وزن یک واگن موتوردار قطار [۱۱]

۲- کشش قطار

موتورهای DC با وزن بالاتر و کنترل چاپری در گذشته مورد استفاده قرار می گرفته است . در سی سال اخیر ،با استفاده از موتورهای سبک تر AC که با تکنولوژی پیشرفته اینورتر های IGBT کنترل می شوند ، کاهش وزن مناسبی صورت پذیرفته است . موتورهای مغناطیس دائم نیز تاثیر بسیار زیادی بر روی وزن قطار داشته است .

۳- مبدل های توان

بهره گیری از ترانسهای با فرکانس متوسط ۲۰ KHz به جای ترانسهای فرکانس پایین ۵۰Hz ضمن کاهش تلفات و بازدهی بالاتر ترانس ، منجر به سبک سازی وزن قطار خواهد شد.

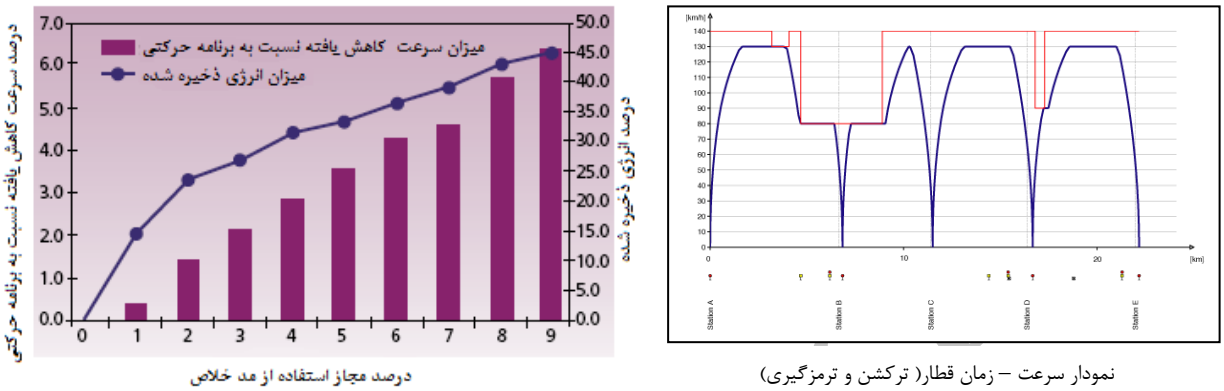
ب–راهبری بهینه قطار

با توجه به میانگین سرعت قطارهای درون شهری و لزوم توقف ها در مسافتهای کوتاه تر ، استفاده از مد خلاص در راهبری قطار موجب کاهش قابل ملاحظه انرژی مصرفی قطار می شود. به عبارت دیگر شتاب گیری بیش از حد و به طبع آن ترمزگیری کاهش خواهد یافت. این مهم با بهره گیری از حداکثر مقدار مجاز شتاب گیری و ترمز گیری میسر می گردد.

Archive of SID

www.SID.ir

به عنوان نمونه در شکل (۹) رابطه بین درصد مد خلاص ، انرژی ذخیره شده و سرعت کاهش یافته نسبت به برنامه حرکتی نشان داده شده است .



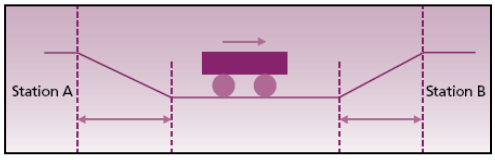
شکل۹–میزان انرژی ذخیره شده و سرعت کاهش یافته نسبت به برنامه حرکتی دردرصد مد خلاص متفاوت[۱۱]

ج–استفاده از ترمز احیا شونده

امکان قرار گرفتن موتورها در حالت ژنراتوری و تولید انرژی در هنگام ترمز قطارها میسر می باشد. در قطار های قدیمی این انرژی در مقاومت های ترمزی تلف می گردید. در صورتی که در قطارهای نسل جدید امکان بازگشت انرژی به شبکه تامین توان فراهم شده است. این انرژی در قطارهای نزدیک تر که در حال ترکشن گیری می باشند مورد استفاده قرار می گیرد. البته این انرژی به حجم ترافیک خط (سرفاصله حرکت قطارها) و نوع سیستم تامین توان وابسته است. در صورت استفاده و جانمایی مناسب اینورترها در مسیر ، این روش قابلیت کاهش مصرف ۵٪ از کل انرژی روزانه قطارها را دارد. [۱۱]

۵,۳–طراحی پروفیل مسیر

درنظر گرفتن شیب و فراز بهینه خط در زمان طراحی و ساخت مسیر اهمیت ویژهای دارد. تغییرات متوالی شیب و فراز و همگن نبودن پروفیل مسیر می تواند منجر به اتلاف انرژی گردد. طراحی ایستگاهها در سطح بالاتر از مسیر اصلی در صورت امکان منجر به کاهش مصرف انرژی خواهدشد. بر اساس یک شبیه سازی صورت پذیرفته با پروفیل مسیر بهینه، برای یک قطار۶ واگنه با بارگذاری ۶ نفر در متر مربع ، در مسیر ۱,۵کیلومتر با فراز ۳٪ ، تا ۵,۵ KWh در مصرف انرژی قطار صرفه جویی خواهد شد. همچنین زمان سیر نیز کاهش می یابد. [۱۱]



شکل۱۰ – طراحی بهینه پروفیل مسیر خطوط مترو

Archive of SID
www.SID.ir

۶,۳-دربهای اتوماتیک سکو (PSD)

این دربها ضمن حفاظت از جان مسافران ، درصورت حضور قطار باز و در غیر این صورت بسته خواهند بود. با توجه به ایزوله کردن فضای ایستگاه و سکواز فضای تونل ها این تجهیزات برق مصرفی یک ایستگاه را تا ۵۰٪ کاهش خواهد داد. [۱۱]

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله وضعیت مصرف انرژی در شرکت بهره برداری راه آهن شهری تهران و حومه بررسی گردید. با توجه به نرخ رشد متوسط سالانه ۱۱,۲ درصدی و پیش بینی های انجام شده ، در سال ۱۳۹۲ شرکت بهره برداری راه آهن شهری تهران و حومه ، به عنوان یکی ازاصلی ترین مصرف کننده انرژی در بخش فوق توزیع شهر تهران شناخته خواهد شد . برنامه ریزی در راستای بهینه سازی مصرف انرژی و مدیریت مصرف الزامی می باشد. با توجه به میانگین مصرف ۷۰ درصدی قطارها راهکارهایی نظیر مدیریت وزن ناوگان ، راهبری بهینه و استفاده از ترمز احیا شونده پیشنهاد می گردد. در سایر بخشها، با استفاده از تکنولوژی های جدید بهره وری تاسیسات ایستگاهی (پله برقی ، آسانسور، سیستم روشنایی و تهویه مطبوع و ...) ارتقا خواهد یافت. تعیین پروفیل بهینه مسیر و استفاده از دربهای اتوماتیک سکو در مراحل احداث خطوط جدید نیز از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

۵- مراجع

1. Golshan ,A. Baharudin, B. T. H.T. Adam, N. M , bt.AnuarMohdAriffin, M. “Prediction of Transport Energy Demand Using Statistical Modelling”, Journal of Basic and Applied Scientific Research:3(5),2013,pp. 8-12.

۲." ترازنامه انرژی سال ۹۰"، دفتربرنامه ریزی کلان وانرژی، سازمان بهینه سازی انرژی ایران (سابا)، ۱۳۹۲.

۳."آمار تفضیلی صنعت برق ایران ویژه مدیریت راهبردی سال ۹۱"، شرکت مادر تخصصی توانیر،۱۳۹۱.

4. www.Farsnews.com/newstext.php?nn=139112000320

۵. "وب سایت شرکت بهره برداری راه آهن شهری تهران و حومه." آبان ۱۳۹۲.

۶."گزارش جامع آماری شرکت بهره برداری راه آهن شهری تهران و حومه" ، اسفند ، ۱۳۹۱.

۷."گزیده آمار و اطلاعات حمل و نقل شهری تهران"، سازمان حمل ونقل و ترافیک شهرداری تهران ، ۱۳۹۰.

۸."کارنامه آماری سال۱۳۹۱"،شرکت برق منطقه ای تهران بزرگ، ۱۳۹۱.

۹."کارنامه آماری سال۱۳۹۰"شرکت برق منطقه ای تهران بزرگ ،۱۳۹۰.

10. Ogasa, M. “Energy saving and environmental measures in railway technologies example with hybrid electric railway vehicles,” IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, vol. 3, Jan 2008, pp. 15–20.

11. Thong, M. Cheong, A.”Energy Efficiency in Singapore’s Rapid Transit System”, journeys, May2012, pp 38-47.

Archive of SID

www.SID.ir