



عنوان پروژه:

ممیزی سوخت و انرژی در حوزه ناوگان ریلی کشور و ارائه راهکارهای

کاهش مصرف سوخت

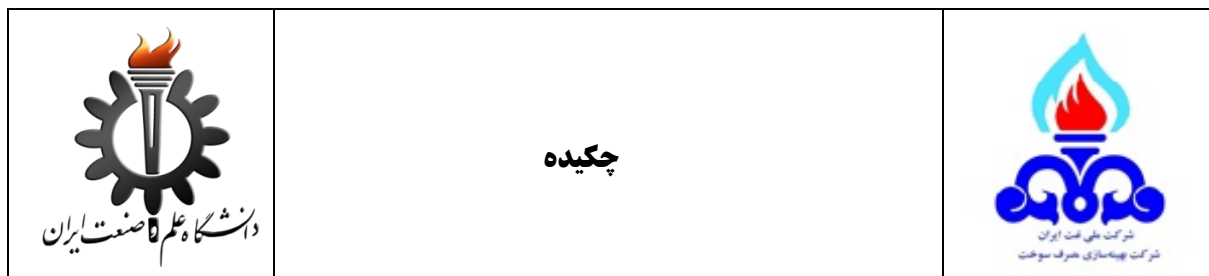
گزارش مدیریتی

کارفرما: شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت

مدیریت مجری: خانم مهندس مریم مهدی‌نژاد

طرف قرارداد: دانشگاه علم و صنعت ایران

تاریخ: اسفندماه ۹۴



چکیده

شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت در راستای اجرای رسالت خود در خصوص مطالعه، بررسی، بسترسازی و انجام اقدامات لازم برای بهینه‌سازی سوخت، تدوین معیارهای استاندارد فرایندها و سیستم‌های مصرف‌کننده انرژی، بهینه‌سازی مصرف سوخت در سیستم‌های وسایل حمل و نقل را جز وظایف اصلی خود دنبال می‌نماید. این شرکت برای تحقق بهینه‌سازی مصرف سوخت در ناوگان حمل و نقل ریلی بین شهری کشور، که یکی از مصرف‌کنندگان عمده سوخت گازوئیل در کشور می‌باشد، قرارداد «میزی سوخت و انرژی در حوزه ناوگان ریلی کشور و ارائه راهکارهای کاهش مصرف سوخت» را با دانشگاه علم و صنعت ایران منعقد نموده‌است.

در فاز اول از این پروژه مطالعات پایه در دوگام ۱- انجام مطالعات ممیزی و استانداردها و ۲- انجام مطالعات پایه مدل‌سازی صورت گرفت.

در فاز دوم راهکارهای کاهش و مدیریت مصرف در حوزه‌های فنی و زیربنایی، ناوگان و بهره‌برداری مورد تحلیل و بررسی قرار گرفتند.

در فاز سوم مدل‌سازی و شبیه‌سازی مسیر و قطار با هدف استخراج شاخصهای علمی و تجربی مصرف سوخت و انرژی در دو مرحله: ۱- مدل‌سازی مسیر و قطار، ۲- شبیه‌سازی حرکت قطار انجام پذیرفت و در مرحله پایانی مطالعات تطبیقی داده‌های میدانی و نتایج شبیه‌سازی صورت گرفت.

فاز چهارم این پروژه به پیاده‌سازی و تست سیستم راهنمای لکوموتیوران و طراحی سیستم کنترل کروز اختصاص یافته‌است که در مرحله اول از این فاز راهکارهای پیاده‌سازی و اثرات استفاده از سیستم راهنمای راهبر (Driver Assistant) و در مرحله بعدی راهکارهای استفاده از سیستم کنترل اتوماتیک (Cruise Control) بررسی گردید.

در فاز پنجم شاخص‌های مصرف سوخت با استفاده از نتایج ممیزی انرژی و سوخت ارائه و دستورالعملهای طراحی و توسعه شبکه و ناوگان با هدف کاهش مصرف سوخت تدوین گردید.



فهرست مطالب



فهرست مطالب

فصل اول:

- ۱ مطالعات پایه (فاز ۱)
- ۱-۱ مطالعات ممیزی، استاندارد، سوخت در شبکه ریلی کشور ۱
- ۱-۱-۱ بررسی روش‌های ممیزی و امکانات و تجهیزات مورد نیاز ۲
- ۱-۱-۲ بررسی استانداردها و آیین نامه های داخلی و بین المللی ۸
- ۱-۱-۳ بررسی تنوع و مشخصات فنی ناوگان و مسیرها در راه آهن ۱۱
- ۱-۱-۴ بررسی مشخصات استاندارد و واقعی سوخت مورد استفاده ۱۲
- ۲-۱ مطالعات پایه جهت مدلسازی و شبیه‌سازی مسیر و قطار ۱۷
- ۱-۲-۱ بررسی مطالعات و اقدامات انجام شده مشابه در دیگر کشورها ۱۸

فصل دوم :

- ۲۴ بررسی راهکارهای کاهش و مدیریت مصرف (فاز ۲)
- ۱-۲ بررسی راه کارهای مدیریت و برنامه ریزی توزیع و تزریق سوخت ۲۴
- ۱-۱-۲ ارائه راهکارهای پیشنهادی به منظور اصلاح سیستم توزیع و تزریق سوخت در راه آهن .. ۲۷
- ۲-۲ بررسی راهکارهای بهبود مصرف سوخت با استفاده از تجهیزات کمکی دیزل ۲۹
- ۱-۲-۲ سیستم شروع/توقف خودکار AESS ۳۰
- ۲-۲-۲ سیستم‌های APU ۳۰
- ۳-۲-۲ استفاده از بازیافت انرژی ۳۰
- ۳-۲ بررسی راهکارهای قابل اعمال در بخش علائم الکتریکی و برآورد نتایج آن ۳۲
- ۱-۳-۲ تاثیر چیدمان چراغ‌های علائم در مسیر ۳۲
- ۲-۳-۲ استفاده از سیستم ATP ۳۲
- ۳-۳-۲ استفاده از سیستم ATO ۳۳
- ۴-۲ بررسی تاثیر سیستم کنترل اتوماتیک کروز بر مصرف ۳۳
- ۲-۴-۱ مطالعه و بررسی راهکارهای بکارگیری سیستم کنترل کروز ۳۳
- ۲-۴-۲ ارائه تحلیل از لکوموتیوهای موجود در شبکه و ۳۴
- ۲-۴-۳ تحلیل و انتخاب لکوموتیو بهینه جهت سیستم کنترل کروز ۳۷
- ۲-۴-۴ استخراج توپوگرافی یک مسیر کوتاه نمونه و مقایسه آن با داده‌های راه آهن ۳۸



فهرست مطالب



فصل سوم:

۴۴	مدلسازی و شبیه سازی مسیر و قطار
۴۴	۱-۳ مدلسازی مسیر و قطار.....
۴۴	۳-۱-۱ مدلسازی کامپیوتری مسیر.....
۴۵	۲-۱-۳ مدلسازی لکوموتیوها و قطارهای فعال در مسیر.....
۴۶	۳-۱-۳ مدلسازی مشخصات دینامومتری کشنده.....
۴۶	۴-۱-۳ مدلسازی بار شامل بار و مسافر، توزیع بار، بار محوری.....
۴۷	۵-۱-۳ شبیه سازی حرکت قطار.....
۴۹	۶-۱-۳ بررسی سناریوهای مختلف بار و مسافر.....
۴۹	۷-۱-۳ بررسی سناریوهای مختلف حرکتی قطار بین دو ایستگاه.....
۵۰	۸-۱-۳ بروزسانی و تکمیل اطلاعات توپوگرافی.....
۵۲	۲-۳ مطالعات تطبیقی داده های میدانی و نتایج شبیه سازی.....
۵۲	۳-۲-۱ بررسی داده های میدانی مصرف سوخت.....
۵۶	۲-۲-۳ اندازه گیری میزان تاثیر سناریوهای راهبری قطار بر میزان مصرف سوخت در قعی.....

فصل چهارم:

۵۸	پیاده سازی و تست سیستم راهنمای لکوموتیوران و طراحی سیستم کنترل کروز (فاز ۴)
۵۸	۱-۴ بررسی راهکارها (راهنما).....
۵۸	۱-۱-۴ معرفی سیستم راهنمای لکوموتیوران و روشهای طراحی و توسعه آن.....
۶۰	۲-۱-۴ طراحی و پیاده سازی پابلوت راهنمای لکوموتیوران.....
۶۳	۳-۱-۴ پیاده سازی سیستم در یک مسیر.....
۶۴	۴-۱-۴ تحلیل نتایج بکارگیری سیستم راهنمای لکوموتیوران در مسیر.....
۷۲	۲-۴ سیستم کنترل کروز.....
۷۲	۴-۲-۱ تحلیل تاثیر بکارگیری سیستم کنترل کروز بر مصرف سوخت.....
۷۵	۲-۲-۴ جمع بندی.....

فصل پنجم:

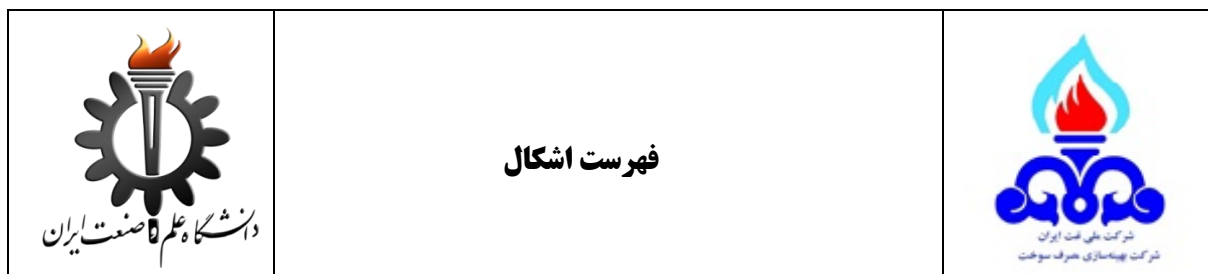
۷۶	ارائه شاخصهای مصرف سوخت با استفاده از نتایج ممیزی انرژی و سوخت (فاز ۵)
۷۶	۱-۵ ارائه نتایج حاصل از ممیزی انرژی و سوخت.....
۷۷	۲-۵ شاخص میزان مصرف سوخت.....



فهرست مطالب



۳-۵	تدوین شاخصهای مصرف سوخت	۷۸
۱-۳-۵	شاخص مصرف سوخت در قطارهای مسافری	۷۸
۲-۳-۵	شاخص مصرف سوخت در قطارهای باری	۷۹
۳-۳-۵	شاخص مصرف سوخت در موتور لکوموتیوها	۸۰
۴-۵	تحلیل و جمع بندی راهکارهای کاهش مصرف	۸۰
۵-۵	ارائه نتایج حاصل از ممیزی انرژی و سوخت	۸۴
۱-۵-۵	دسته بندی راهکارها از لحاظ قابلیت اقدام	۸۴
۶-۵	تدوین دستورالعملهای طراحی و توسعه شبکه و ناوگان با هدف کاهش مصرف سوخت	۸۷
۱-۶-۵	دستورالعملهایی جهت احداث خطوط و تاسیسات جنبی در محورهای جدید	۸۷
۵-۶-۲	دستورالعملهایی جهت ناوگان موجود و جدید	۸۸
۵-۶-۳	دستورالعملهایی جهت ارتقاء بهره برداری از ناوگان موجود و جدید	۸۹
۵-۶-۴	پیشنهاد مطالعات فنی-اقتصادی در خصوص میزان اثربخشی راهکارها	۸۹



فهرست اشکال

۴	شکل ۱-۱ فرایند ممیزی انرژی
۶	شکل ۲-۱ سیستم اندازه‌گیری انرژی
۷	شکل ۳-۱ جانمایی حسگرهای مورد نیاز در لکوموتیو
۱۲	شکل ۴-۱ محدوده محورهای ۶ گانه راه‌آهن
۲۵	شکل ۱-۲ نمودار فرایند تأمین، توزیع و تزریق سوخت مورد نیاز
۲۹	شکل ۲-۲ سیستم مدیریت سوخت
۳۵	شکل ۳-۲ تقسیم بندی ناوگان کشش راه‌آهن
۴۰	شکل ۴-۲ مسیر طی شده توسط لکوموتیو
۴۱	شکل ۵-۲ شیب و فراز مسیر تهران- پرند
۴۲	شکل ۶-۲ مقایسه پروفیل نقشه برداری و پروفیل راه‌آهن
۴۳	شکل ۷-۲ شیب و فراز مسیر تهران- پرند
۵۱	شکل ۱-۳ نمودار شیب و فراز مسیر تهران - بندر عباس
۵۱	شکل ۲-۳ نمودار شیب و فراز مسیر بافق - بندرعباس
۵۲	شکل ۳-۳ نمودار شیب و فراز مسیر تهران- مشهد
۵۹	شکل ۱-۴ نمونه یک راهنمای راهبر داخل کابین
۶۱	شکل ۲-۴ صفحه نمایش $\Delta DOP-B \approx 40 \text{ k}$
۶۲	شکل ۳-۴ صفحه نمایش تنظیم و نصب شده در لکوموتیو
۶۵	شکل ۴-۴ نمودار پروفیل بار و سرعت لکوموتیو ۹۸۸ در تاریخ ۹۴/۱۱/۲۶
۶۶	شکل ۵-۴ نمودار پروفیل بار و سرعت لکوموتیو ۹۸۸ در تاریخ ۹۴/۱۱/۳۰
۶۷	شکل ۶-۴ نمودار پروفیل بار و سرعت لکوموتیو ۹۸۸ در تاریخ ۹۴/۱۲/۲
۶۸	شکل ۷-۴ نمودار پروفیل بار و سرعت لکوموتیو ۹۸۸ در تاریخ ۹۴/۱۲/۵
۶۹	شکل ۸-۴ نمودار پروفیل بار و سرعت لکوموتیو ۹۸۸ در تاریخ ۹۴/۱۲/۷
۷۰	شکل ۹-۴ نمودار پروفیل بار و سرعت لکوموتیو ۹۸۸ در تاریخ ۹۴/۱۲/۱۰
۷۱	شکل ۱۰-۴ نمودار پروفیل بار و سرعت لکوموتیو ۹۸۸ در تاریخ ۹۴/۱۲/۱۷
۷۲	شکل ۱۱-۴ میزان درصد کاهش مصرف سوخت
۷۳	شکل ۱۲-۴ پروفیل سرعت با مودهای شتابگیری، حرکت با سرعت ثابت، حرکت خلاص و ترمزگیری
۷۴	شکل ۱۳-۴ بلوک دیگرام سیستم کنترل سرعت لکوموتیو



فهرست جداول



فهرست جداول

۸	جدول ۱-۱ شاخص‌های عملکردی سیستم‌های حمل و نقل ارائه شده توسط UIC
۹	جدول ۲-۱ شاخص‌های سنجش عملکرد سیستم بر اساس گزارشات پروژه Railenergy
۱۰	جدول ۳-۱ شاخص‌های سنجش مصرف سوخت و انرژی در کشورهای مختلف
۱۳	جدول ۴-۱ مشخصات استاندارد گازوئیل براساس استانداردهای برخی از کشورهای توسعه یافته
۱۴	جدول ۵-۱ مشخصات استاندارد سوخت لکوموتیو براساس توصیه شرکت‌های سازنده
۱۵	جدول ۶-۱ مشخصات استاندارد گازوئیل مورد استفاده در لکوموتیوها مطابق استاندارد ۴۹۰۳
۱۹	جدول ۷-۱ مطاعات انجام گرفته در زمینه طراحی پروفیل بهینه حرکت
۲۱	جدول ۸-۱ انواع سیستم موجود راهنمای راهبر
۲۶	جدول ۱-۲ اطلاعات مربوط به سه جایگاه توزیع سوخت
۴۸	جدول ۱-۳ مقایسه انرژی مصرفی و زمان تغییر مود قطار در شیب‌های مختلف
۵۴	جدول ۲-۳ جمع‌بندی اطلاعات مسیرهای حمل مسافر
۵۵	جدول ۳-۳ جمع‌بندی اطلاعات مسیرهای حمل بار
۵۶	جدول ۴-۳ مقایسه میزان سرعت متوسط و مصرف سوخت سناریوهای رفت مسیر تهران-پرنده
۵۶	جدول ۵-۳ مقایسه میزان سرعت متوسط و مصرف سوخت سناریوهای برگشت مسیر تهران-پرنده
۶۳	جدول ۱-۴ فاصله بلاک‌های مسیر تهران- سپهرستم
۶۵	جدول ۲-۴ مقایسه مصرف سوخت در شرایط عادی و تست لکوموتیو ۹۸۸
۷۱	جدول ۳-۴ مقایسه مصرف سوخت در شرایط عادی و تست لکوموتیو ۵۴۲
۷۲	جدول ۴-۴ نتایج میزان درصد کاهش مصرف سوخت
۷۴	جدول ۵-۴ مقایسه انواع استراتژی حرکت با حالت بهینه
۷۸	جدول ۱-۵ شاخص مصرف سوخت در قطارهای مسافری برگرفته از چند مرجع
۷۹	جدول ۲-۵ شاخص مصرف سوخت در قطارهای باری برگرفته از چند مرجع
۸۱	جدول ۳-۵ جمع بندی راهکارهای ارائه شده برای کاهش مصرف سوخت در راه آهن
۸۵	جدول ۴-۵ دسته‌بندی راهکارهای کاهش مصرف سوخت از نظر قابلیت اقدام



فصل اول: مطالعات پایه



فصل اول:

مطالعات پایه (فاز ۱)

۱-۱ مطالعات ممیزی، استاندارد، سوخت در شبکه ریلی کشور

در این بخش به بررسی روش‌های ممیزی و انتخاب متدولوژی مناسب جهت انجام ممیزی سوخت پرداخته شده و سپس تجهیزاتی که برای اندازه‌گیری میزان سوخت لازم است و جانمایی آنها در لکوموتیوها ارائه شده‌است.

در ادامه به بررسی استانداردهای بین‌المللی در زمینه شاخص‌ها و میزان مصرف سوخت و آیین‌نامه‌های داخلی پرداخته شده‌است.

سپس تنوع ناوگان راه‌آهن، مشخصات فنی لکوموتیوهای راه‌آهن (لکوموتیوهای اصلی و مانوری) و محورهای شش‌گانه شبکه ریلی پرداخته شده‌است.

در ادامه مشخصات استاندارد گازوئیل براساس استانداردهای برخی از کشورهای توسعه یافته، مشخصات استاندارد گازوئیل مورد استفاده در لکوموتیوها مطابق استاندارد ۴۹۰۳، مشخصات استاندارد سوخت لکوموتیو



فصل اول: مطالعات پایه



براساس توصیه شرکت‌های سازنده و مشخصات سوخت تولیدی توسط پالایشگاه‌های کشور ارائه شده‌اند. به منظور بررسی مشخصات واقعی سوخت مورد استفاده در راه‌آهن، نمونه سوخت برای دو جایگاه سوخت بافق و شاهرود در دو نوبت تزریق سوخت از تانکر شرکت نفت به جایگاه سوخت و انتقال سوخت از جایگاه به باک لکوموتیو مورد آزمایش قرار گرفت.

همچنین نمونه آمار سوخت ارائه شده توسط مراجع ثبت و کنترل سوخت گازوئیل مصرفی در راه‌آهن (اداره کل نیروی کشش، اداره کل مخازن و اداره کل مخازن و اموال و دفتر آمار و فناوری) مورد بررسی قرار گرفت. در بخش نهایی مطالعات، داده‌های شیب و فراز بخشی از محورهای تهران- مشهد و تهران- بندرعباس ارائه شد و تاثیر شیب و فراز و محدودیت در کشش لکوموتیوهای باری و مسافری در این محورها بررسی گردید.

1-1-1 بررسی روش‌های ممیزی و امکانات و تجهیزات مورد نیاز

1-1-1-1 ممیزی انرژی

مطابق استاندارد ایزو ۹۰۰۰، ممیزی فرآیندی سیستماتیک، مستقل و مدون برای کسب شواهد ممیزی و ارزیابی مبتنی بر واقعیت آن به منظور تعیین میزان برآورده شدن معیارهای ممیزی است.

ممیزی انرژی مجموعه اقداماتی جهت شناسایی، نحوه توزیع مقادیر و موقعیت‌های مصرف حامل‌های انرژی در یک فعالیت یا فرآیند می‌باشد، که طی اجرای آن، فرصت‌ها و امکانات صرفه‌جویی انرژی مشخص و ارزیابی می‌گردد. ممیزی انرژی تعاریف متعدد و تقریباً مشابهی دارد. طبق قانون "حفظ و نگهداری انرژی" سال ۲۰۰۱ (BEE ۲۰۰۸)، ممیزی انرژی عبارت است از: "صحته گذاری^۲، پایش^۳ و تجزیه و تحلیل استفاده از انرژی از جمله ارائه گزارش فنی شامل توصیه‌هایی برای بهبود کارایی انرژی با تجزیه و تحلیل هزینه - فایده و برنامه اقدامات لازم جهت کاهش مصرف انرژی"

به‌طور کلی هدف اصلی ممیزی انرژی تعیین چگونگی مصرف انرژی، شناسایی فرصت‌های بهینه‌سازی و کاهش مصرف انرژی و در نهایت ارزیابی فنی و اقتصادی اجرای راهکارهای مؤثر در دستیابی به صرفه‌جویی در مصرف انرژی است.

^۱ Bureau of Energy Efficiency

^۲ verification

^۳ monitoring

	فصل اول: مطالعات پایه	
--	-------------------------------------	--

نوع اجرای ممیزی انرژی با توجه به کارکرد و نوع صنعت، عمق و شدت مورد نیاز برای انجام ممیزی نهائی، پتانسیل و شدت کاهش هزینه‌های و غیره می‌تواند مشخص گردد:

براساس پارامترهای فوق، ممیزی‌های انرژی می‌توانند به دو نوع طبقه‌بندی شوند:

الف- ممیزی انرژی مقدماتی^۴

ب- ممیزی انرژی تفصیلی^۵

۱-۱-۲ گامهای اصلی ممیزی تفصیلی انرژی

جهت انجام ممیزی انرژی تفصیلی، متدولوژی‌های مختلفی در کتاب‌های مرجع ممیزی ارائه و شرح داده شده است. این متدولوژی‌ها عموماً دارای گام‌های مشترک بوده و در برخی مراحل با یکدیگر تفاوت دارند.

شکل ۱-۱ مراحل انجام ممیزی تفصیلی را نشان می‌دهد. همانگونه که در این شکل مشخص شده، ممیزی تفصیلی انرژی دارای ۴ گام اصلی می‌باشد که عبارتند از:

گام اول: ایجاد آمادگی جهت ممیزی (شامل ۸ مرحله)

گام دوم: انجام ممیزی (شامل ۵ مرحله)

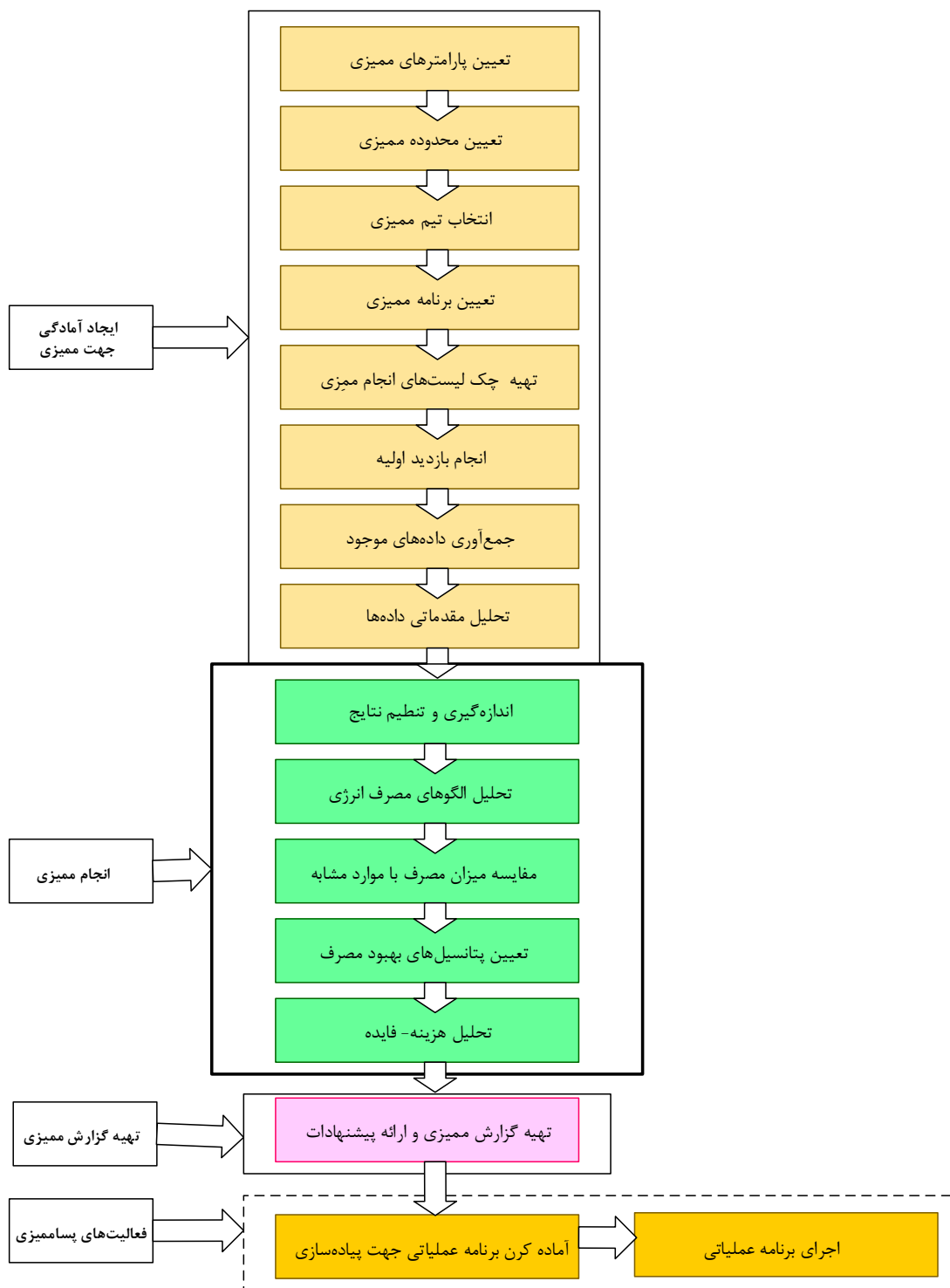
گام سوم: تدوین گزارش ممیزی (شامل ۱ مرحله)

گام چهارم: انجام فعالیت‌های پس‌اممیزی^۶ (شامل ۲ مرحله)

^۴ Preliminary energy audit (walk-through audit)

^۵ Detailed energy audit (diagnostic audit)

^۶ Post-Audit Activities



شکل ۱-۱ فرایند ممیزی انرژی



۱-۱-۳ سیستم اندازه‌گیری انرژی

اتحادیه بین‌المللی راه‌آهن‌ها^۷ (UIC)، در گزارش:

«Exchange of Data for Cross-Border Railway Energy Settlement» سال ۲۰۰۹ نمودار بلوکی سیستم

اندازه‌گیری انرژی^۸ (EMS) را شامل دو بخش اصلی زیر عنوان کرده است:

امکانات و تجهیزات داخل لکوموتیو Onboard Equipment

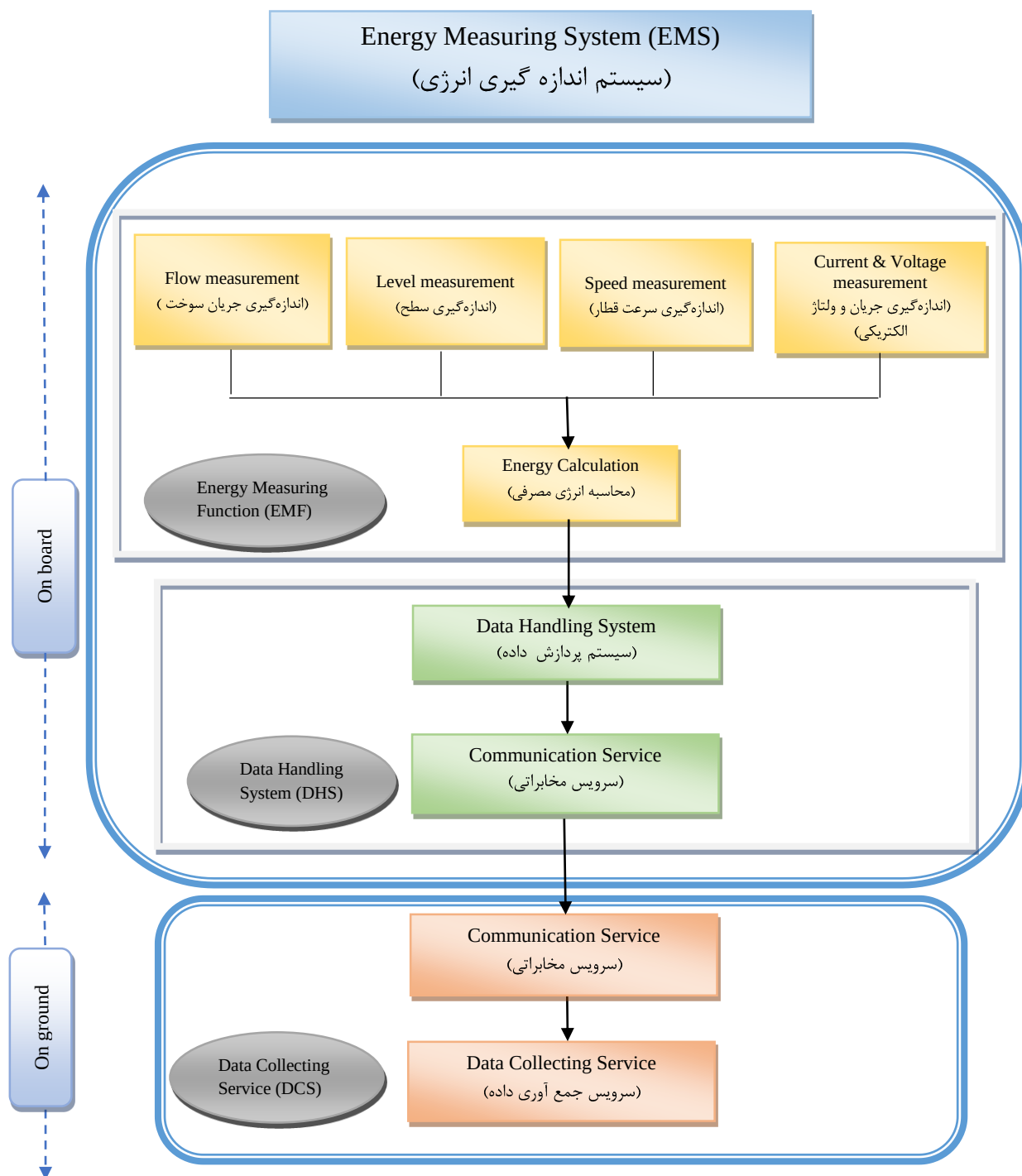
امکانات و تجهیزات نصب شده در خارج از لکوموتیو (داخل ایستگاه و خطوط) On Ground Equipment

سیستم اندازه‌گیری انرژی مصرفی لکوموتیو دیزل الکتریک که در بلوک دیاگرام شکل ۱-۲ قابل مشاهده است، شامل تجهیزات و امکانات نصب شده در داخل لکوموتیو (On Board) و تجهیزات نصب شده در خارج از لکوموتیو (داخل ایستگاه و طول خط) (On Ground) می‌باشد.

بخش تجهیزات داخل لکوموتیو شامل دو قسمت زیرسیستم اندازه‌گیری میزان مصرف انرژی و زیرسیستم پردازش اطلاعات می‌باشد. در قسمت اول میزان دبی سوخت، سطح سوخت در باک لکوموتیو، و نیز سرعت لکوموتیو و ولتاژ و جریان الکتریکی تولیدی توسط ژنراتور اندازه‌گیری شده و توسط برد کامپیوتری موجود در هر حسگر به زیرسیستم مبادله و ثبت اطلاعات (کامپیوتر صنعتی) ارسال شده و داده‌های مربوط به حسگرهای مختلف ذخیره و ثبت می‌شود. در مرحله بعد با استفاده از سرویس‌های مخابراتی نصب شده در لکوموتیو، داده‌های ذخیره شده به تجهیزات روی زمین، ارسال می‌شوند تا در این قسمت ذخیره شوند و مورد بررسی و تحلیل قرار گیرند.

^۷ Union International des Chemins de Fer (International Union of Railway)

^۸ Energy Measuring System (EMS)



شکل ۲-۱ سیستم اندازه‌گیری انرژی

۴-۱-۱-۱ معرفی حسگرهای مورد نیاز و جانمایی آنها

برای اندازه‌گیری میزان سوخت در طی فرایند تزریق و مصرف آن در شرایط مختلف کاری لکوموتیوها (کاری باری یا مسافری یا مانوری بدون اتصال به واگن، با اتصال به واگن پر یا خالی، در شیب و فرازهای مختلف، در

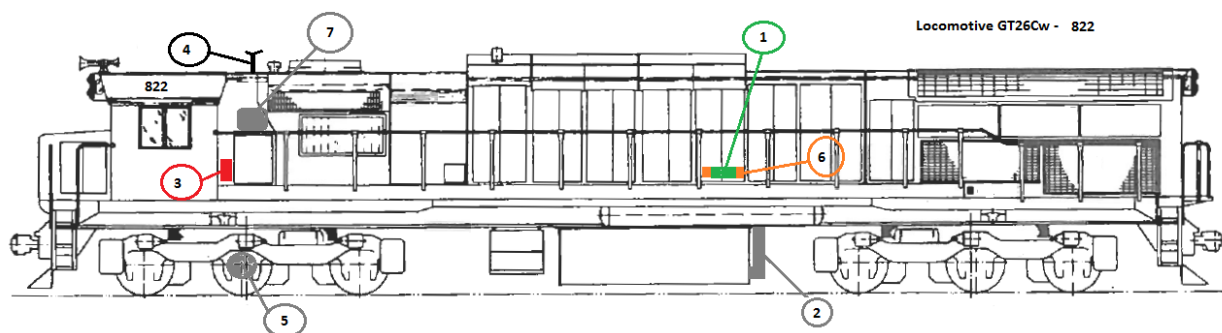


فصل اول: مطالعات پایه



شرایط آب و هوایی متفاوت و... نیاز به امکانات و تجهیزات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری متعددی می‌باشد. این امکانات و تجهیزات با توجه به نوع لکوموتیو (دیزل‌الکتریک یا برقی) و مراحل انجام فرایند مصرف سوخت تعریف می‌گردد.

به منظور اندازه‌گیری جریان سوخت مصرفی در موتور لکوموتیو به صورت لحظه‌ای و پیوسته از یک جریان‌سنج استفاده شده‌است (حسگر ۱). همچنین برای سنجش پیوسته سطح سوخت موجود در باک لکوموتیو که به اندازه‌گیری دقیق تر مصرف سوخت کل می‌انجامد، یک حسگر سطح‌سنج در روی باک لکوموتیو نصب گردید (حسگر ۲). اندازه‌گیری میزان ولتاژ و جریان تولید شده توسط ژنراتور لکوموتیو قسمتی از سوخت مصرفی لکوموتیو را تشکیل می‌دهد و بدین منظور دو حسگر جریان و ولتاژ در خروجی ژنراتور نصب شد. (حسگر ۳). به منظور سنجش موقعیت مکانی و سرعت لکوموتیو یک GPS روی لکوموتیو نصب گردید (حسگر ۴). حسگر سرعت‌سنج بر روی محور چرخ لکوموتیو نصب شده و عملاً با اندازه‌گیری سرعت دورانی چرخ، سرعت خطی حرکت قطار بطور پیوسته اندازه‌گیری شد (حسگر ۵). حسگر فشارسنج نیز با هدف اندازه‌گیری فشار سوخت در قبل و بعد از حسگر جریان‌سنج نصب گردیده‌است (حسگر ۶). پالس‌های خروجی از هر یک از حسگرها، توسط کامپیوتر صنعتی (DAQ) ذخیره شده‌است (۷).



شکل ۱-۳ جانمایی حسگرهای مورد نیاز در لکوموتیو

	فصل اول: مطالعات پایه	
--	---	--

۱-۱-۲ بررسی استانداردها و آیین نامه های داخلی و بین المللی

۱-۲-۱-۱ بررسی استانداردهای مختلف در زمینه شاخص های مصرف سوخت

شاخص های انرژی نهایی و انرژی اولیه ارائه شده توسط UIC مطابق جدول ۱-۱ می باشد.

جدول ۱-۱ شاخص های عملکردی سیستم های حمل و نقل ارائه شده توسط UIC

انرژی نهایی				
تعریف شاخص	کد	نوع لکوموتیو	نوع سیستم کشش	واحد اندازه گیری
۱،۱ میزان مصرف انرژی نهایی ویژه سیستم حمل	۱،۱ الف	مسافری	سیستم کشش الکتریکی	KWh/passenger-km
			سیستم کشش دیزلی	L/passenger-km
	۱،۱ ب	باری	سیستم کشش الکتریکی	KWh/ tonne-km
			سیستم کشش دیزلی	L/tonne-km
انرژی اولیه				
تعریف شاخص	کد	نوع لکوموتیو	واحد اندازه گیری	
۲،۱ میزان مصرف انرژی اولیه ویژه سیستم حمل و نقل	۲،۱ الف	مسافری	KJ/pkm	
	۲،۱ ب	باری	KJ/tKm	

	فصل اول: مطالعات پایه	
--	---	--

همچنین در جدول ۱-۲، پنج شاخص عملکرد سیستم بر اساس گزارشات پروژه Railenergy قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۱-۲ شاخص‌های سنجش عملکرد سیستم بر اساس گزارشات پروژه Railenergy

عنوان شاخص	واحد اندازه‌گیری	کاربرد
KPI ۱: مصرف انرژی نهایی به ازای توان کششی تولیدی	L (or mL) / tonne-km (برای کشنده‌های دیزلی)	حمل و نقل ریلی بار و مسافر با کشنده‌های دیزلی
KPI ۲: مصرف انرژی نهایی به ازای حمل و نقل انجام شده	Liter (or mL) / seat-km (برای کشنده‌های دیزلی)	برای سرویس‌های مسافری با کشنده‌های دیزلی
KPI ۳: مصرف انرژی اولیه به ازای خروجی واقعی ترافیک	KJ / passenger-km (برای حمل و نقل مسافر با کشنده‌های الکتریکی یا دیزلی) KJ / tonne-km (برای حمل بار با کشنده‌های الکتریکی یا دیزلی)	حمل و نقل بار و مسافر با کشنده‌های الکتریکی و یا دیزلی
KPI ۴: مصرف انرژی نهایی به ازای خروجی واقعی ترافیک	Liter / passenger-km (برای حمل و نقل مسافر با کشنده‌های دیزلی) Liter / tonne-km (برای حمل و نقل بار با کشنده‌های دیزلی)	حمل و نقل بار و مسافر با کشنده‌های دیزلی
KPI ۵: سهم مصرف انرژی برای قطارهای پارک شده	[%]	سیستم حمل و نقل مسافری با کشنده‌های الکتریکی و دیزلی. در اغلب موارد برای سیستم حمل و نقل مسافری با لکوموتیو دیزلی، محاسبات شامل مقدار سوخت مصرفی دیزل (در حین سرویس‌دهی) به‌علاوه‌ی مقدار انرژی الکتریکی مورد استفاده (در حالت خارج از سرویس و یا قطار در حالت روشن در جا) می‌باشد. به منظور مقایسه منابع مختلف انرژی، فاکتور زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد: $1 \text{ Liter (diesel fuel)} = 2/7 \text{ KWh}$

	فصل اول: مطالعات پایه	
--	---	--

در ادامه شاخص‌های سنجش مصرف سوخت و انرژی مورد استفاده در راه‌آهن کشورهای مختلف آورده شده‌است.

جدول ۳-۱ شاخص‌های سنجش مصرف سوخت و انرژی در کشورهای مختلف

عنوان راه آهن		کاربری	سیستم کشش (لکوموتیو)	شاخص سنجش مصرف سوخت
انجمن راه آهن‌های آمریکا (AAR)	باری	مسافری	کشنده دیزلی	Km/L کیلومتر بر لیتر
	مسافری			Passenger-miles/US gallon ^۱ Liter/۱۰۰ Passenger-Km نفر- مایل بر گالن یا لیتر بر ۱۰۰ نفر- کیلومتر
دپارتمان حمل و نقل کارولینای شمالی آمریکا		مسافری/باری	کشنده دیزلی	g/Sec گرم بر ثانیه
استرالیا (ARTC)		باری	کشنده دیزلی	Liter/(Gross Tonne- Km×۱۰۰۰) لیتر بر یکصدتن- کیلومتر ناخالص
راه آهن شرقی ژاپن		مسافری	کشنده الکتریکی	KJ/Passenger-Km کیلو ژول بر نفر- کیلومتر
راه آهن هندوستان	مسافری	باری	کشنده الکتریکی	KWh / Net Tonne-Km کیلووات ساعت بر تن- کیلومتر خالص
	باری		کشنده دیزلی	Liter / Net Tonne-Km لیتر بر تن-کیلومتر خالص
پرتغال (Combois de Portugal)		مسافری	کشنده الکتریکی	KJ/Passenger-Km کیلو ژول بر نفر- کیلومتر
سوئیس (SBB_CFF_FFS)		مسافری	کشنده الکتریکی	KJ/Passenger-Km کیلو ژول بر نفر- کیلومتر

۱-۲-۱-۲ آیین‌نامه‌های داخلی راه‌آهن در زمینه سوخت

الف- دستورالعمل ۹۰۵۳/ص ۲۵ مورخه ۸۸/۶/۱۶ اداره کل نیروی کشش به کلیه مناطق:

در این دستورالعمل خاموش نمودن لکوموتیوهای GM و GE در زمان‌های غیرضروری شامل تعمیرات و توقف‌های طولانی (بیش از ۲ ساعت) در ایستگاه‌های تشکیلاتی به ادارات کل نواحی ابلاغ شده‌است.

^۱ US gallon= ۳,۷۸۵۴۱ liter

	فصل اول: مطالعات پایه	
--	-------------------------------------	--

ب- دستورالعمل ۴۴۳۷/ ص ۲۳ مورخه ۹۲/۷/۱۴ اداره کل تدارکات و پشتیبانی به کلیه مناطق:
در این دستورالعمل الزام به ثبت تبادلات سوخت در نرم افزار ویژه کنترل مصرف سوخت توسط مأمورین
جایگاه های تزریق سوخت در سراسر شبکه ریلی شده است.

۱-۱-۳ بررسی تنوع و مشخصات فنی ناوگان و مسیرها در راه آهن

۱-۳-۱-۱ بررسی تنوع ناوگان راه آهن

لکوموتیوهای راه آهن جمهوری اسلامی ایران بطور کلی در دو دسته لکوموتیوهای اصلی (لکوموتیوهای باری و مسافری) و لکوموتیوهای مانوری تقسیم بندی می گردند. طبق آمار اعلام شده از سوی راه آهن در سال ۱۳۹۳ تعداد ۸۴۲ دستگاه لکوموتیو (ملکی راه آهن و بخش خصوصی) در اختیار این سازمان قرار داشته است.

۱-۳-۱-۲ بررسی مسیرهای راه آهن

شبکه ریلی راه آهن ایران با حدود ۱۳۰۰۰ کیلومتر خط اصلی و فرعی و ۳۶۰ ایستگاه، به ۶ محور اصلی تفکیک شده و از لحاظ ساختاری در قالب ۱۷ اداره کل منطقه ای مدیریت می شود.

محورهای شش گانه راه آهن عبارتند از:

محور خراسان، محور هرمزگان، محور شمال، محور جنوب، محور شرق، محور آذربایجان



شکل ۴-۱ محدوده محورهای ۶ گانه راه‌آهن

۴-۱-۱ بررسی مشخصات استاندارد و واقعی سوخت مورد استفاده

۴-۱-۱-۱ بررسی مشخصات استاندارد سوخت

در این بخش مشخصات استاندارد گازوئیل براساس استانداردهای برخی از کشورهای توسعه یافته، مشخصات استاندارد گازوئیل مورد استفاده در لکوموتیوها مطابق استاندارد ۴۹۰۳، مشخصات استاندارد سوخت لکوموتیو براساس توصیه شرکت‌های سازنده و مشخصات سوخت تولیدی توسط پالایشگاه‌های کشور ارائه شده‌اند. در برخی از کشورهای توسعه یافته، استانداردهایی برای مشخصه‌های کیفی گازوئیل مصرفی در موتورهای دیزلی در جداول ۴-۱ تدوین شده است.

	فصل اول: مطالعات پایه	
--	---	--

جدول ۴۱- مشخصات استاندارد گازوئیل براساس استانداردهای برخی از کشورهای توسعه یافته

ژاپن JIS K ۲۲۰۴	DIN EN ۵۹۰	BS ۲۸۶۹	ASTM D ۹۷۵	عنوان استاندارد مشخصات
۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۱	۰/۰۵	گوگرد (mass%)
۸۶۰	۸۲۰-۸۴۵	۸۲۰	۸۶۰	چگالی (Kg/m ^۳)
۵۰	۵۵	۵۶	۵۲	نقطه‌ی اشتعال حداقل (C°)
حداقل ۲/۵ (در دمای ۳۰ درجه)	۲-۴/۵ (در دمای ۴۰ درجه)	۱/۵-۵/۵ (در دمای ۴۰ درجه)	۱/۹-۴/۱ (در دمای ۴۰ درجه)	ویسکوزیته (mm ^۲ /s)
-۷/۵	-	-	-	نقطه‌ی جاری شدن (C°) حداکثر
۰/۱	۰/۳	۰/۳	۰/۳۵	کربن باقیمانده (mass%) حداکثر
-	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	خاکستر (mass%) حداکثر
-	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۵	میزان آب و رسوبات (vol%) حداکثر
۴۵	۴۶	-	-	شاخص ستان (حداقل)
۳۵۰	۳۶۰*	-	۳۳۸	تقطیر ۹۰ درصد حجم (C°) حداکثر

	فصل اول: مطالعات پایه	
--	---	--

جدول ۵-۱ مشخصات استاندارد سوخت لکوموتیو براساس توصیه شرکت های سازنده

ردیف	پارامتر / نوع لکوموتیو	GM	Alstom	Siemens	GE	Hitachi
۱	چگالی در دمای ۱۵ °C	—	۸۹۰	۸۲۰	۹۰۰	—
۲	عدد ستان، حداقل	۴۰	۴۵	۴۵	۳۳	۴۰
۳	شاخص ستان، حداقل	—	—	۴۲	۳۷	۴۰
۴	گرانروی در دمای ۴۰ °C (cSt)	۵/۸	۶/۰۰	۴/۵	۴/۳	۱/۴-۲۰
۵	نقطه ابر، حداکثر (°C)	۶ درجه پایینتر از دمای محیط	*	—	۶ درجه پایینتر از دمای محیط	۲۹
۶	CFPP، حداکثر (°C)	—	تابستان: -۴ زمستان: -۱۲	*	—	—
۷	مقدار گوگرد، حداکثر (درصد وزنی)	۰/۵	۰/۳	۰/۵	۰/۵	۱/۵
۸	روان کنندگی، قطر خراش ایجاد شده در دمای ۶۰ °C حداکثر (μm)	—	—	۴۶۰	—	—
۹	خوردگی نوار مس پس از سه ساعت در دمای ۱۰۰ °C ، حداکثر	*	—	*	—	—
۱۰	کربن باقیمانده (در ده درصد باقیمانده تقطیر)، حداکثر (درصد)	۰/۳۵	۰/۲	۰/۳	۰/۳۵	—
۱۱	مقدار آب، حداکثر (درصد)	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۵	×
۱۲	خاکستر، حداکثر (درصد)	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۵	—
۱۳	نقطه اشتعال (°C)	۶۵/۵	۵۲-۶۰	۶۰	۵۲	۳۸
۱۴	پایداری اکسیداسیون، حداکثر	—	—	۲۵	—	—
۱۶	میزان رسوب کردن	*	*	—	*	—
۱۷	درجه API در دمای ۶۰ °F	—	—	۴۱	—	—
۱۸	نقطه جاری شدن	*	—	—	—	*
۱۹	مقدار کلرایدهای ارگانیک (ppm)	۲۰	—	—	—	—
۲۰	پاکیزگی فیلتر mg/liter	۱/۳	—	—	۳/۱	*
۲۱	نقطه جوش (°C)	—	—	—	۳۷۱	—

	فصل اول: مطالعات پایه	
--	------------------------------	--

جدول ۱-۶ مشخصات استاندارد گازوئیل مورد استفاده در لکوموتیوها مطابق استاندارد ۴۹۰۳

ردیف	ویژگی‌ها	واحد	شرایط سرد- از ۱۶ مهرماه تا ۱۴ فروردین ماه	شرایط گرم- از ۱۵ فروردین ماه تا ۱۵ مهرماه	روش آزمون
۱	رنگ ASTM، حداکثر		۲/۵	۲/۵	استاندارد ملی ۲۰۳
۲	چگالی در دمای ۱۵°C	Kg/m ^۳	۸۲۰/۰-۸۴۵/۰	۸۲۰/۰-۸۴۵/۰	استاندارد ملی ۱۹۷
۳	عدد ستان، حداقل		۵۱	۵۱	ASTM D۶۱۳/EN ISO ۵۱۵۶
۴	شاخص ستان، حداقل		۴۶	۴۶	IP ۳۸۰/EN ISO ۴۲۶۴
۵	هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای، حداکثر	%m/m	۱۱	۱۱	ASTM D۱۳۱۹/EN ۱۲۹۱۶
۶	ویسکوزیته در دمای ۴۰°C	mm ^۲ /s	۲/۰۰-۴/۵۰	۲/۰۰-۴/۵۰	استاندارد ملی ۳۴۰
۷	نقطه ابر، حداکثر	°C	-۵	+۳	استاندارد ملی ۵۴۳۸
۸	CFPP، حداکثر	°C	-۱۵	-۵	IP ۳۰۹/ASTM D۶۳۷۱/ EN ۱۱۶
۹	مقدار گوگرد، حداکثر	mg/kg	۵۰	۵۰	ASTM D۵۴۵۳/ EN ISO ۲۰۸۴۶/ EN ISO ۲۰۸۴۷/ EN ISO ۲۰۸۸۴
۱۰	روان کاری-قطر خراش ایجاد شده در دمای ۶۰°C حداکثر	μm	۴۶۰	۴۶۰	EN ISO ۱۲۱۵۶-۱/ ASTM D۶۰۷۹
۱۱	حداکثر خوردگی نوار مس ۳- ساعت در دمای ۱۰۰°C		نمره ۱	نمره ۱	استاندارد ملی ۱۰۳۳۶
۱۲	کربن باقیمانده (در ده درصد باقیمانده تقطیر)، حداکثر	%m/m	۰/۳۰	۰/۳۰	ASTM D ۴۵۳۰/ EN ISO ۱۰۳۷۰
۱۳	مقدار آب، حداکثر	mg/kg	۲۰۰	۲۰۰	استاندارد ملی ۱۵۴

^{۱۰} در این استاندارد هدف، تعیین روشی برای تعیین خوردگی مس در فرآورده‌های نفتی مایع و حلال‌های معین می‌باشد. براساس این استاندارد یک تیغه مسی صیقلی استاندارد در درون حجم معینی از نمونه گازوئیل مورد آزمایش فرو برده شده و در مدت و دمایی که ویژه طبقه مواد مورد آزمون می‌باشد، حرارت داده می‌شود. در پایان مدت حرارت‌دهی، تیغه مسی بیرون آورده شده و پس از شستن، رنگ آن با رنگ استانداردهای خوردگی مقایسه می‌شود. براساس این استاندارد میزان خوردگی نوار مسی در چهار دسته (۱-تغییر رنگ کم ۲-تغییر رنگ متوسط ۳-تغییر رنگ زیاد و ۴-خوردگی) تقسیم‌بندی می‌شود. در خوردگی نمره یک، تیغه مسی به رنگ نارنجی روشن (تقریباً مانند تیغه تازه صیقلی شده) و یا نارنجی تیره در می‌آید.

	فصل اول: مطالعات پایه	
--	---	--

EN ۱۲۶۶۲	۲۴	۲۴	mg/kg	آلودگی کل، ذرات جامد، حداکثر	۱۴
استاندارد ملی ۲۹۴۰	۰/۰۱	۰/۰۱	%m/m	خاکستر، حداکثر	۱۵
استاندارد ملی ۱۱۷۵	بالاتر از ۵۵	بالاتر از ۵۵	°C	نقطه اشتعال	۱۶
استاندارد ملی ۶۲۶۱	۶۵	۶۵	%v/v	تقطیر الف- مقدار بازیافت در دمای ۲۵۰ °C، حداکثر	۱۷
	۸۵	۸۵	% v/v	ب- مقدار بازیافت در دمای ۳۵۰ °C، حداقل	
	۳۶۰	۳۶۰	°C	ج- دمای ۹۵ درصد بازیافت، حداکثر	
ASTM D۲۲۷۴/ EN ISO ۱۲۲۰۵	۲۵	۲۵	g/m ^۳	پایداری اکسیداسیون، حداکثر	۱۸
EN۱۴۰۷۸	۵	۵	%v/v	مقدار متیل استر اسید چرب (FAME) ، حداکثر	۱۹

۱-۴-۲ بررسی مشخصات واقعی سوخت مورد استفاده در راه آهن

با توجه به محدوده ممیزی (محورهای تهران- مشهد و بافق- بندرعباس)، سوخت دیزل برای ۲ جایگاه سوخت بافق و شاهرود در دو نوبت: مرحله تزریق سوخت از تانکر شرکت نفت به جایگاه سوخت راه آهن و مرحله انتقال سوخت از جایگاه به باک لکوموتیو مورد آزمایش قرار گرفت. که نتایج آزمایش سوخت در جدول زیر قابل مشاهده می باشد:

	فصل اول: مطالعات پایه	
--	---	--

جدول ۱-۷ نتایج حاصل از آزمایش سوخت

نتایج دو نمونه سوخت ایستگاه شاهرود			نتایج نمونه سوخت ایستگاه بافق		پارامتر	ردیف
سوخت مخصوص لکوموتیو زیمنس	سوخت داخل تانکر نمونه	سوخت داخل مخزن	نمونه سوخت تزریق شده از تانکر شرکت نفت	نمونه سوخت (داخل مخزن جایگاه)		
۰/۸۳۳۷	۰/۸۳۳۲	۰/۸۳۳۰	۰/۸۴۰۵	۰/۸۳۴۴	وزن مخصوص	۱
۵۹	۶۱	۵۸	۶۰	۶۰	نقطه اشتعال	۲
%۰/۰۰۲۲	%۰/۰۰۲۵	%۰/۰۰۲۴	%۰/۰۰۲۵	%۰/۰۰۲۲	مقدار آب	۳
۳/۰۸	۳/۱۵	۲/۹۶	۳/۱	۲/۶۲	گرانروی	۴
, ۱۸۵۰۶L: btu/lb۱۹۷۵۶H:	, ۱۸۵۱۴L: btu/lb۱۹۷۵۶H:	, ۱۸۵۲۸L: ۱۹۷۸۱H: btu/lb	, ۱۸۳۶۰L: btu/lb۱۹۵۷۴H:	, ۱۸۳۹۶L: ۱۹۶۱۹H: btu/lb	ارزش حرارتی	۵
۵۴/۷۷	۵۵/۳۱	۵۳/۸۷	۵۴/۷	۵۲/۵	شاخص ستان	۶

۲-۱ مطالعات پایه جهت مدلسازی و شبیه‌سازی مسیر و قطار

در این بخش ابتدا به بررسی الزامات اولیه و پارامترهای موثر در برنامه‌نویسی مصرف بهینه انرژی در راهبری قطارها پرداخته شده است و سپس مطالعات و اقدامات انجام شده مشابه در دیگر کشورها ارائه گردیده است. در این پروژه هدف این بود که برنامه کامپیوتری (شبیه سازی) به منظور بهینه‌سازی زمان سیر و میزان مصرف انرژی در قطارهای راه‌آهن ایران تهیه گردد. در این برنامه تاثیر چگونگی حرکت و نقش مودهای مختلف راهبری قطارها لحاظ گردیده است. روش مناسب برای به دست آوردن پروفیل بهینه سرعت استفاده از شبیه سازی کامپیوتری است که در آن با استفاده از الگوریتم‌های مختلف می‌توان پروفیل سرعت بهینه را تعیین و به لکوموتیورانان پیشنهاد نمود.

در ادامه عوامل مهم موثر بر مصرف انرژی که برای شبیه سازی مناسب ضرورت دارند به طور کامل بررسی شده‌اند تا بتوان با توجه به شرایط واقعی حرکت قطارها، پروفیل سرعت بهینه را تعیین نمود. این عوامل شامل ناوگان (مقاومت‌های لکوموتیو و واگن، موتورهای دیزل، بخش‌های جنبی موتور)، تاثیر خط (قوس، شیب، فراز، تونل، ایستگاه، سوزن و تقاطع)، عوامل محیطی (شرایط آب و هوایی، رطوبت، دمای هوا، ارتفاع و فشار، وزش

	فصل اول: مطالعات پایه	
--	-------------------------------------	--

باد، باران)، سوخت مصرفی موتور دیزلی (عدد ستان، ویسکوزیته، ارزش حرارتی و...) چگونگی سیر و حرکت قطارها (برنامه زمانی حرکت قطارها، قیود حرکتی قطارها، سیستم‌های علائم و ارتباطات و سیستم‌های کنترلی) و بهره‌برداری (تناژ بار، تعداد واگن‌ها، طول قطارها، مقاومت دینامیکی هوا برای قطارها و...) می‌باشند.

۱-۲-۱ بررسی مطالعات و اقدامات انجام شده مشابه در دیگر کشورها

در این بخش ابتدا به بررسی بیش از ۲۰ مقاله و شرح کارهای دانشگاهی انجام‌شده در رابطه با طراحی پروفیل بهینه حرکت قطار پرداخته شده است. در نوشتن این مقالات از روش‌های گوناگون مدل‌سازی از قبیل ژنتیک، فازی، ترکیب ژنتیک و فازی، یادگیری مقاوم^{۱۱}، برنامه‌ریزی پویا، PSO، بهینه‌سازی کلاسیک و... استفاده‌شده است.

خلاصه هریک از مقالات مورد مطالعه مطابق جدول ۸-۱ می‌باشد:

^{۱۱} Reinforcment

	فصل اول: مطالعات پایه	
--	---	--

جدول ۱-۷ مطالعات انجام گرفته در زمینه طراحی پروفیل بهینه حرکت

ردیف	سال	مطالعه کننده	روش استفاده شده	ملاحظات
۱	۱۹۷۱	Horn	اصل ماکزیمم	از مدل ساده شده استفاده شده و اثر مسیر صرف نظر شده است.
۲	۱۹۹۲ تا ۲۰۱۳	Howlett & Milroy & pudney	روش های بهینه سازی کلاسیک مانند لاگرانژ	از این گروه در دانشگاه جنوب استرالیا مقالات متعددی به چاپ رسیده است.
۳	۱۹۹۷	Cheng & Sim	الگوریتم ژنتیک	-
۴	۱۹۹۸	Hwang	فازی	-
۵	۲۰۰۰	Franke	برنامه ریزی پویا	-
۶	۲۰۰۱	Golovitcher	اصل ماکزیمم	-
۷	۲۰۰۴	HO & Wong	الگوریتم ژنتیک	-
۸	۲۰۰۴	Albrecht	برنامه ریزی پویا	اثر مسیر بررسی شده است.
۹	۲۰۰۷	Weidong & Chongwei	شبکه های عصبی	-
۱۰	۲۰۰۷	Bocharnikov & Tobias	الگوریتم ژنتیک	از ترمز regenerative نیز برای بهینه سازی انرژی استفاده شد.
۱۱	۲۰۱۰	Kim & Chein	الگوریتم التهاب ذرات (SA)	-
۱۲	۲۰۱۰	آزادی	الگوریتم ژنتیک	دانشگاه علم و صنعت ایران
۱۳	۲۰۱۱	مالکی	برنامه ریزی پویا	دانشگاه علم و صنعت ایران
۱۴	۲۰۱۱	دارابی	PSO	دانشگاه علم و صنعت ایران
۱۵	۲۰۱۲	آذین فر	یادگیری تقویتی	دانشگاه علم و صنعت ایران
۱۶	۲۰۱۳	علایی و فیضی	بررسی روش ها	دانشگاه علم و صنعت ایران

	فصل اول: مطالعات پایه	
--	-------------------------------------	--

در ادامه به معرفی سیستم‌های موجود راهنمای راهبر پرداخته گردیده‌است. هدف از انجام این بررسی شناسایی سیستم‌های موجودی است که توصیه‌هایی برای راهبر به‌منظور راهبری بهینه فراهم می‌کند.

جدول ۸-۱ انواع سیستم موجود راهنمای راهبر

ردیف	نام طراح و استفاده کننده	وضعیت	تکنولوژی مکان یاب	تکنولوژی مخابراتی	نمایشگر راهبر
۱	Thales BLS, Switzerland	-	بسته های پیام کوتاه ETCS	ERTMS	پیام متنی با سرعت پیشنهادی ETCS DMI
۲	AZD, Czech Republic	این سیستم بر روی سه وسیله نقلیه نصب گردید.	بالیس	رادیویی	راهبری اتوماتیک قطار شامل حرکت خلاص و ترمز گیری بر اساس جدول زمان بندی.
۳	Transrail, Sweden	این سیستم مورد تأیید آزمایش های خطوط سوئدی قرار گرفته است.	GPS یا ERTMS	GSM-R ، GPRS	بهبود ETCS DMI با سرعت توصیه شده، پروفیل شیب و فراز خط، پروفیل سرعت بهینه و اطلاع از دیر یا زود بودن حرکت.
۴	Dresden, Germany	این سیستم نیز در حال آزمایش می باشد.	GPS	ندارد	استفاده از سیستم PDA
۵	Bombardier, Switzerland	این سیستم نیز در کشورهای سوئیس، بلژیک، اسپانیا و آلمان در حال آزمایش می باشد.	GPS	GSM-SMS, GPRS	کامل شده ی ETCS DMI . سرعت و نیروی ترکشن توصیه شده و واقعی را هم زمان نشان می دهد. وضعیت زود یا دیر بودن حرکت را نشان می دهد.
۶	DB, Germany	این سیستم بر روی هشت هزار وسیله نقلیه نصب گردید.	Odometer یا GPS	GSM-R جدول زمانی و محدودیت های سرعت به صورت روزانه به روز می گردند.	نمایش جدول زمانی و توصیه برای حرکت خلاص.
۷	SBB, Switzerland	قسمتی از پروژه ایجاد برنامه ریزی مجدد و کنترل متقابل است که باهدف استفاده از ظرفیت های محلی و کلی سیستم طراحی شده است.	Odometry	GSM	زمان تأخیر و یا زود بودن حرکت را به ثانیه محاسبه می کند، همچنین مود راهبری توصیه شده (شامل افزایش سرعت، حرکت با سرعت ثابت، و کاهش سرعت) را نشان می دهد.
۸	EcoTrainBook Umwelt & Verkehr Erzgebirgshahn, Germany	تعداد کمی از قطارهای محلی از این سیستم استفاده می کنند.	GPS	ندارد	میزان مصرف انرژی، شیب و محدودیت های سرعت.

ردیف	نام طراح و استفاده کننده	وضعیت	تکنولوژی مکان یاب	تکنولوژی مخابراتی	نمایشگر راهبر
۹	DB, Germany	این پروژه در حال حاضر جزو پروژه های تحقیقاتی می باشد.	GPS, Odometry ERTMS	GSM-R	میزان فاصله از جدول زمانی و ماکزیمم مقدار آن، همچنین توصیه هایی از قبیل حرکت خلاص و حرکت با سرعت ماکزیمم نمایش داده می شود.
۱۰	TTG, Australia	این سیستم در سال ۲۰۰۴ آزمایش شده است.	GPS	GPRS	پروپیل سرعت توصیه شده برای قطار نمایش داده می شود. برای هر کدام از زمان هایی که در مود خلاص یا شتاب دهی رنگ های خاص در نظر گرفته شده است.
۱۱	DSB, Denmark	این سیستم در کشورهای دانمارک و فرانسه امتحان شده است.	GPS	۳G , GPRS , WiFi	استفاده از سیستم PDA . نمایشگر سرعت سنج، نمایش سرعت های واقعی و توصیه شده.
۱۲	SBB, Switzerland	چهار هزار PDA در سوئیس توسط راهبرها حمل می گردند.	ندارد	ندارد	استفاده از سیستم PDA .
۱۳	Knorr Bremse, USA	تعداد دویست لکوموتیو مسافری در شمال و جنوب آمریکا از این سیستم استفاده می کنند.	GPS	Radio (spread specrtum)	جغرافیای مسیر، نیروی میله کشش، وضعیت ترمز، شتاب یا ترمز توصیه شده.
۱۴	& Teknis, Australia Siemens, Germany	این سیستم در تمام خطوط بین شهری ترنس آدلاید در سال ۱۹۹۱ استفاده شد و بعد از آن به کار گرفته نشد.	Odometry	WLAN	سه علامت: سبز(با ماکزیمم سرعت حرکت کن) ، آبی(حرکت خلاص) ، زرد(رفتن به مود خلاص و آماده برای ترمز)
۱۵	Prorail, Netherlands	این سیستم در سال ۲۰۰۴ امتحان شده و از ۲۰۰۸ اجرا می شود.	Signalling train detection	GPRS	استفاده از سیستم PDA . نمایش مکان و زمان این قطار و قطار جلویی.
۱۶	BR Research, UK	نمونه اولیه این سیستم در سال ۱۹۸۰ امتحان شده است. ادعا شده بین دو تا پنج درصد منجر به ذخیره انرژی می گردد.	GPS	ندارد	یک علامت: زرد(حرکت خلاص)

ردیف	نام طراح و استفاده کننده	وضعیت	تکنولوژی مکان یاب	تکنولوژی مخابراتی	نمایشگر راهبر
۱۷	GE Transportation, USA	این سیستم به عنوان یک آپشن در لکوموتیوهای جدید و تقویت شده ی GE ارائه می گردد.	GPS	ندارد	کنترل اتوماتیک شتاب گیری و ترمز (ولی شامل ترمز در ایستگاه ها و سیگنال ها نمی گردد).
۱۸	Vienna line U6 Australia		ندارد	ندارد	ماکزیمم سرعت توصیه شده به ایستگاه بعد در کنار خط در نقطه شروع حرکت هر ایستگاه نمایش داده می شود.

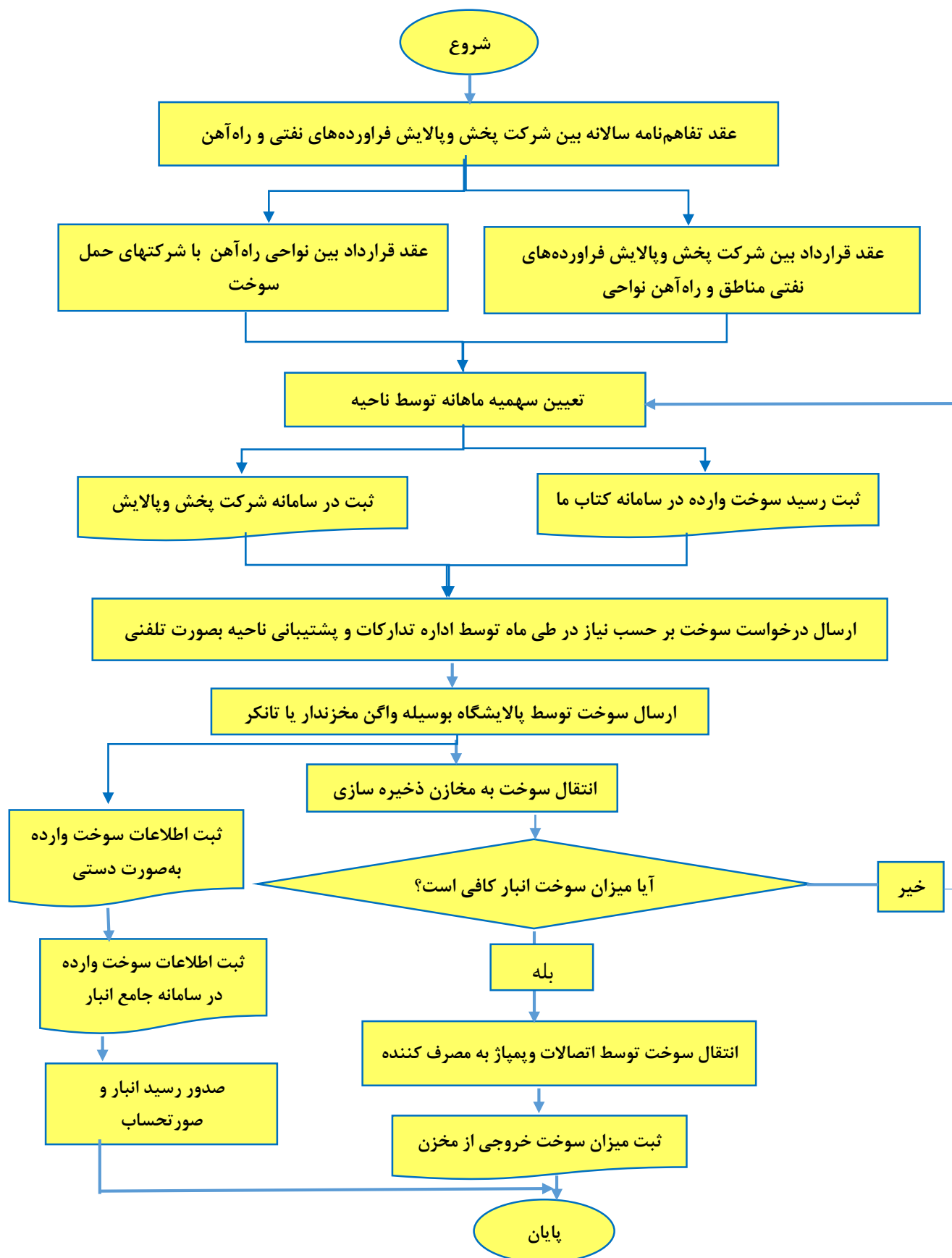
	فصل دوم: بررسی راهکارهای کاهش و مدیریت مصرف	
--	---	--

فصل دوم :

بررسی راهکارهای کاهش و مدیریت مصرف (فاز ۲)

۱-۲ بررسی راه کارهای مدیریت و برنامه ریزی توزیع و تزریق سوخت

در این بخش ابتدا به بررسی وضعیت فعلی تامین سوخت و شرح فرآیند تامین، توزیع و تزریق سوخت مورد نیاز سالانه راه آهن پرداخته شده است. شرح این فرآیند مطابق فلوچارت زیر می باشد:



	فصل دوم: بررسی راهکارهای کاهش و مدیریت مصرف	
--	---	--

به منظور آشنایی با وضعیت فعلی جایگاه‌های سوخت لکوموتیو در شبکه راه‌آهن، بازدیدهایی از برخی جایگاه‌های توزیع سوخت در کارخانجات تعمیرات جاری لکوموتیو اداره کل نیروی کشش، ایستگاه راه‌آهن بافق و ایستگاه راه‌آهن شاهرود صورت پذیرفت که خلاصه اطلاعات مربوط به این جایگاه‌ها مطابق جدول زیر می‌باشد.

جدول ۱-۲ اطلاعات مربوط به سه جایگاه توزیع سوخت

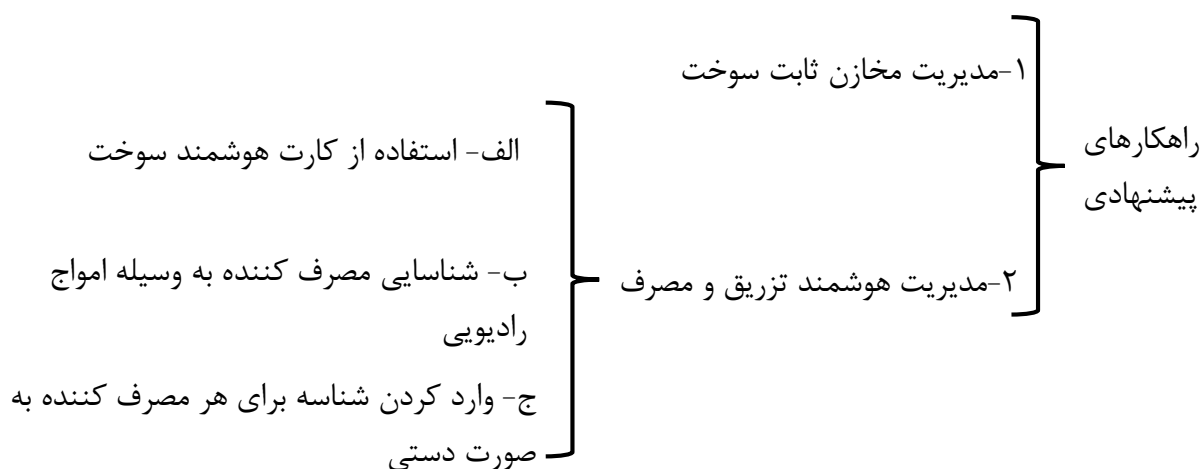
نام جایگاه	ظرفیت کل	میانگین مصرف روزانه سوخت	دوره زمانی تحویل سوخت از پالایشگاه
کارخانجات تعمیرات جاری لکوموتیو اداره کل نیروی کشش	یک میلیون و پانصد هزار لیتر	دویست هزار لیتر	یک روز در میان
ایستگاه راه‌آهن بافق	سه میلیون و هفتصد و پنجاه هزار لیتر	پنجاه و هشت هزار لیتر	روزانه
ایستگاه راه‌آهن شاهرود	پانصد و پنجاه و پنج هزار لیتر	بیست و دو هزار لیتر	روزانه

طبق بازدیدهای صورت گرفته از تاسیسات سوخت‌گیری دیزلهای راه‌آهن در شهرهای تهران، شاهرود و بافق در خصوص تاسیسات و استانداردهای سوخت‌رسانی، موارد و مشکلات ذیل مشاهده گردیده است:

- سنجش کمیت سوخت
- سنجش کیفیت سوخت
- اتلاف سوخت
- تخلیه و بارگیری
- ایمنی و زیست‌محیطی
- غیراستاندارد بودن تجهیزات و تاسیسات
- مشکلات موجود در مدیریت مخازن ذخیره‌سازی در سیستم سوخت‌رسانی
- مشکلات موجود در بخش تزریق

۲-۱-۱ ارائه راهکارهای پیشنهادی به منظور اصلاح سیستم توزیع و تزریق سوخت در راه آهن

بازدیدها و بررسی‌های میدانی انجام شده مبین آن است که سیستم‌های سوخت‌رسانی لکوموتیوها در اکثر جایگاه‌ها عمدتاً سنتی بوده و از تجهیزات قدیمی و فاقد استانداردهای روز استفاده می‌شود. در این بخش به شرح راهکارهای پیشنهادی به منظور اصلاح سیستم‌های توزیع و تزریق سوخت در راه آهن پرداخته می‌شود. این راهکارها عبارتند از:



۲-۱-۱-۱ مدیریت مخازن ثابت سوخت

در این راهکار با استفاده از نصب سه دسته حسگر میزان سوخت ورودی و خروجی به مخازن ثابت جایگاه‌ها مدیریت می‌شود. این حسگرها عبارتند از: حسگرهای داخل مخازن ثابت، حسگر دهانه نازل، حسگرهای سنجش میزان نشستی از مخازن. با استفاده از حسگر سنجش میزان ارتفاع که در داخل مخازن ثابت نصب می‌گردد، میزان حجم سوخت موجود به صورت لحظه‌ای اندازه‌گیری می‌شود. همچنین دما، فشار و کیفیت سوخت مخزن به وسیله حسگرها قابل اندازه‌گیری می‌باشد.

۲-۱-۱-۲ مدیریت هوشمند تزریق و مصرف

با بکارگیری سیستم مدیریت هوشمند تزریق و مصرف سوخت، میتوان بر میزان تزریق سوخت بر روی هر لکوموتیو، میزان مصرف روزانه یا ماهانه، زمان‌ها و مکان‌های تزریق سوخت و ... نظارت نمود. طبیعتاً این نظارت می‌تواند میزان هدررفت سوخت را در این فرایند کاهش دهد.

	فصل دوم: بررسی راهکارهای کاهش و مدیریت مصرف	
--	---	--

• **با استفاده از کارت هوشمند:**

کارت هوشمند سوخت به نام هر لکوموتیو یا مصرف کننده‌ی دیگر صادر می‌گردد. با وارد کردن کارت به داخل دستگاه کارت خوان، ID آن مصرف کننده به مرکز کنترل و مدیریت سوخت ارسال می‌گردد. این مرکز ضمن بررسی صحت ID ارسالی، آن را با موقعیت فعلی مصرف کننده (از سیستم گراف راه آهن و اطلاعات ارسالی از GPS مصرف کننده) تطبیق می‌دهد. همچنین حجم باک، سوخت موجود، میزان نیاز مصرف کننده به سوخت برای سیر در مسیر مقرر و فاصله تا جایگاه بعدی سوخت گیری کنترل شده و مجوز سوخت گیری تا میزان مورد نیاز صادر می‌گردد.

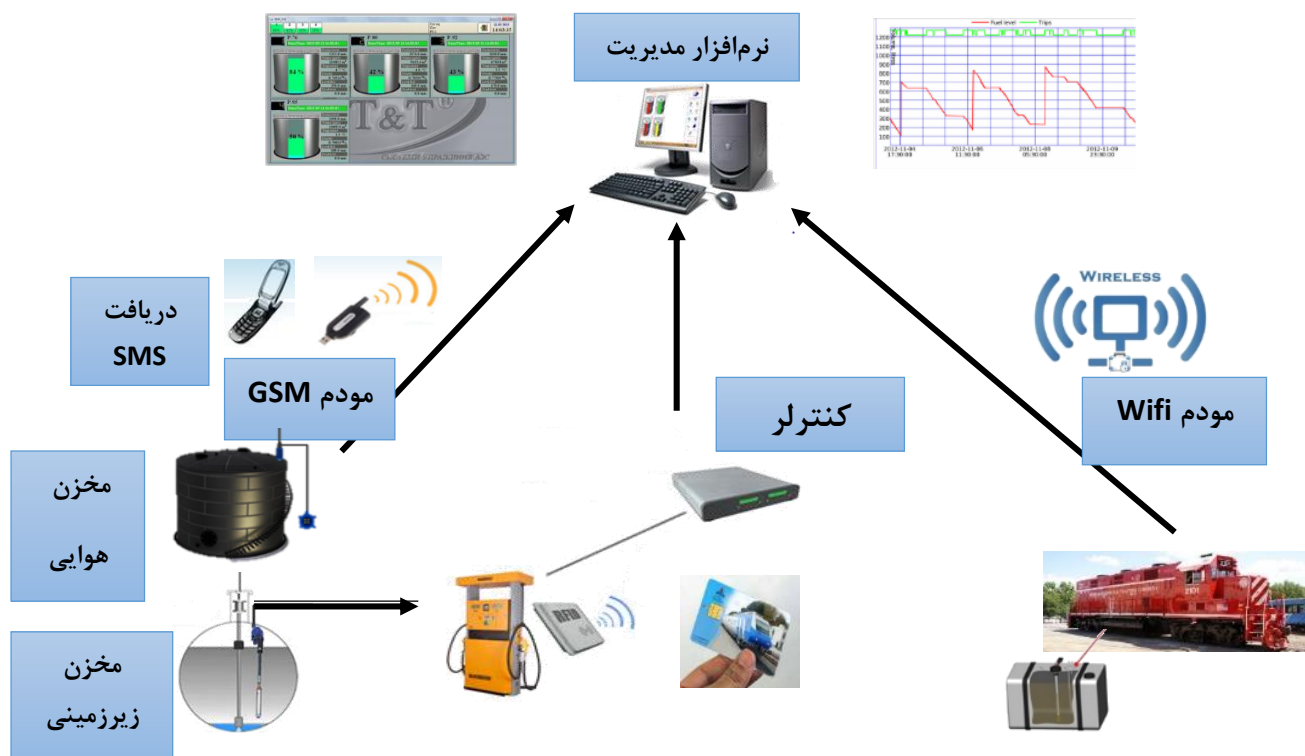
• **با استفاده از سیستم RFID**

در این راهکار بر روی بدنه هر یک از مصرف کنندگان سوخت کد شناسایی فرکانسی نصب می‌گردد. در ورودی و خروجی جایگاه‌های سوخت گیری، ابزارهای خواندن ID هر مصرف کننده از روی کد شناسایی آن مستقر می‌گردد (Reader). با عبور هر مصرف کننده از مقابل دستگاه «کد خوان» ID آن برای مرکز کنترل و مدیریت سوخت ارسال خواهد شد.

• **با استفاده از ورود کد مشخصه مصرف کننده به صورت دستی (صفحه کلید داخل لکوموتیو**

یا پیام کوتاه):

در این روش اپراتور هر مصرف کننده (لکوموتیوران، راننده ترن ست/ ریل باس/ درزین و ...) قبل از ورود به جایگاه سوخت گیری کد شناسایی وسیله نقلیه خود را در قالب از پیش تعیین شده به صورت پیام کوتاه (SMS) یا از طریق صفحه کلید موجود در داخل جایگاه یا کابین راننده برای اخذ تاییدیه از مرکز کنترل و مدیریت سوخت ارسال می‌نماید.



شکل ۲-۲ سیستم مدیریت سوخت

۲-۲ بررسی راهکارهای بهبود مصرف سوخت با استفاده از تجهیزات کمکی دیزل

در این بخش به بررسی فرصت‌هایی پرداخته می‌شود که در سطح راه آهن دنیا جهت بهینه‌سازی و کاهش مصرف سوخت به مرحله تجاری شدن رسیده است و با توجه به ظرفیت و پتانسیل راه آهن ایران امکان مطالعه و پیاده‌سازی آن وجود دارد. اطلاعات فرصت‌های صرفه‌جویی مصرف سوخت بر اساس فناوری‌های راه آهن‌های توسعه‌یافته تا سال میلادی ۲۰۱۵ می‌باشد. اطلاعات راه آهن ایران نیز مطابق آخرین وضعیت ناوگان شامل ظرفیت‌های ارتقا و بهینه‌سازی و نیز سوابق پروژه‌هایی که قبلاً انجام شده و یا در دست انجام می‌باشد. در پایان هر بخش ظرفیت پیاده‌سازی و یا سوابق مربوط به راه آهن ایران آورده شده است.

شایان ذکر است برخی از راهکارهای ارائه شده را می‌توان در راستای پروژه‌های ارتقا و بهسازی بکار گرفت و برخی دیگر که نیاز به تغییرات پایه‌ای‌تر می‌باشد بهتر است در پروژه‌های بازسازی لکوموتیو و یا نوسازی لکوموتیوهای فرسوده استفاده شود. لازمه موفق بودن طرح‌ها توجه به نیاز صنعت و انتخاب راهکاری مناسب با شرایط بهره‌برداری راه آهن می‌باشد. همچنین این بخش مرجع مناسبی برای ملاحظه آخرین دستاورد

	فصل دوم: بررسی راهکارهای کاهش و مدیریت مصرف	
--	---	--

های کاهش مصرف سوخت در سفارش خرید و یا ساخت لکوموتیو محسوب می گردد. در ضمن راهکارهای ارائه شده علاوه بر کاهش مصرف سوخت دارای مزایای دیگری چون بالا بردن قابلیت اعتماد و آماده به کاری، کاهش هزینه های نگهداری و تعمیرات و کاهش استهلاک ناوگان می باشد.

۲-۲-۱ سیستم شروع/توقف خودکار AESS

این سیستم پس از سپری شدن زمان بی باری تعریف شده برای لکوموتیوهای اصلی و مانوری به صورت خودکار موتور لکوموتیو را خاموش می کند. همچنین براساس اطلاعات مربوط به دمای آب، فشار ترمز و سطح شارژ باتری که از طریق حسگرها دریافت می کند فرمان روشن شدن موتور را در زمان مشخص صادر می کند. با این روش می توان تا ۵۰٪ برای لکوموتیو های اصلی و تا ۷۰٪ برای لکوموتیو های مانوری کاهش زمان بی باری داشت. با توجه به روش کار این سیستم که لازم است در دماهای پایین موتور روشن شود، این سیستم در مناطق گرم کارایی بیشتری دارد.

این سیستم در راه آهن ایران بر روی ۳۰ دستگاه لکوموتیو GM نصب شده است. برای این منظور از محصول اسمارت استارت سیستم کنترلی ZTR استفاده شد. این پروژه به دلیل پاره ای مشکلات در بهره برداری لکوموتیو از جمله ایمنی متوقف گردید.

۲-۲-۲ سیستم های APU

بهره گیری از سیستم های APU از جمله راهکارهای کاهش زمان بی باری می باشد که موجب کاهش این زمان تا حد مطلوب و جلوگیری از اتلاف انرژی می گردد. سیستم واحد توان کمکی APU با توان ۴۸ تا ۶۰ اسب بخار به طور خودکار موتور بی بار را خاموش می کند و توانایی آن را دارد که تمام کارکرد های موتور اصلی را در حالت بی بار از جمله گرم نگهداشتن آب و روغن، مصارف کابین، تجهیزات کنترلی، شارژ باتری و تامین فشار هوای ترمز را داشته باشد. این دستگاه فضای کمی برای نصب نیاز دارد و می تواند تا ۸۰٪ مصرف سوخت و تا حدود ۹۰٪ آلاینده NO_x حالت بی باری موتور لکوموتیو را کاهش دهد. همچنین آلودگی صوتی در محل ایستگاه ها و دپو های تعمیراتی را به میزان قابل توجهی کاهش می دهد.

۲-۲-۳ استفاده از بازیافت انرژی

از جمله انرژی های قابل بازیافت در لکوموتیو عبارتند از:

	فصل دوم: بررسی راهکارهای کاهش و مدیریت مصرف	
--	---	--

- ۱- انرژی ترمز.
- ۲- انرژی گازهای خروجی از اگزوز.
- ۳- انرژی حرارتی حاصله از احتراق.

انرژی ترمز: در لکوموتیوهای دیزل الکتریک واگن‌ها مجهز به ترمز دینامیک می‌باشند. در لحظه ترمزگیری، تراکشن موتورها (که انرژی الکتریکی تولیدی لکوموتیو را به حرکت دورانی چرخ و محور تبدیل می‌کنند) با تغییر کارکرد به ژنراتور تبدیل می‌شوند. به عبارتی از توان حرکتی محور و چرخ بهره گرفته و انرژی الکتریکی تولید می‌کنند که سبب مقاومت در حرکت قطار می‌شوند. این انرژی الکتریکی تولیدی به صورت حرارت در شبکه های مقاومت تلف می‌شود. بازیافت انرژی الکتریکی ترمز دینامیک جهت استفاده مزایای قابل توجهی دارد. هنگامی که انرژی ترمز دینامیک بازیافت و استفاده می‌شود، این امر سبب کاهش انرژی خالص دریافتی از موتور دیزل می‌شود و بنابراین سبب کاهش مصرف سوخت و آلاینده ها می‌شود.

انرژی گازهای خروجی از اگزوز: در لکوموتیوهای دیزل- الکتریکی که مجهز به توربوشارژر می‌باشند، گازهای حاصل از احتراق به وسیله یه منیفولد به سمت توربوشارژر هدایت می‌شوند. توربوشارژر از دو بخش توربین و کمپرسور تشکیل شده‌است که به وسیله یک محور به یکدیگر متصل شده‌اند. گازهای حاصل از احتراق که دما و انرژی بالایی دارند از طریق منیفولد به پره‌های توربین برخورد میکنند و باعث چرخش توربین و محور کمپرسور می‌شوند. با چرخش کمپرسور هوای بیرون به داخل موتور مکش و باعث افزایش توان موتور در دورهای بالا می‌گردد.

انرژی حرارتی حاصله از احتراق: در زمان وقوع احتراق در محفظه سیلندر، انرژی حرارتی بالایی تولید شده و دمای سیلندر بالا می‌رود. این حرارت توسط مدار خنک‌کاری اطراف سیلندرها موتور به رادیاتورها منتقل و اتلاف می‌شود.

	فصل دوم: بررسی راهکارهای کاهش و مدیریت مصرف	
--	---	--

۳-۲ بررسی راهکارهای قابل اعمال در بخش علائم الکتریکی و برآورد نتایج آن

۳-۲-۱ تاثیر چیدمان چراغ‌های علائم در مسیر

علائم الکتریکی برای ایمنی حرکت قطار در فواصل مشخصی از هم قرار گرفته‌اند. از میان این علائم سیگنال‌های فاصله و ورود تأثیر قابل توجهی بر مصرف انرژی دارند. فاصله سیگنال‌های فاصله D و ورود H معمولاً معادل خط ترمز قطار تعریف می‌گردد. مطابق آیین نامه های مورد استفاده در راه آهن ج.ا.ا این فاصله برای تمامی خطوط ۱۳۰۰ متر در نظر گرفته میشود.

با رویت سیگنال فاصله راهبر قطار ملزم به اعمال ترمز است تا از توقف در پشت سیگنال ورود (در صورت قرمز بودن آن) اطمینان حاصل شود.

از آنجا که خط ترمز قطار وابسته به نوع قطار، میزان بار، نوع و شتاب ترمز و همچنین سرعت حرکت قطار قبل از ترمز گیری است، برای قطارهای مختلف باری یا مسافری و در شرایط و سرعت‌های مختلف میتوان خطوط ترمز متفاوت و متعاقباً فاصله متفاوتی بین سیگنالهای فاصله و ورود در نظر گرفت.

در خطوط ریلی معمولاً فاصله دو سیگنال بر حسب طولانی ترین خط ترمز، از بین خط ترمزهای قطارهای حرکت کننده در مسیر اختیار میشود. این موضوع میتواند برای قطارهای با خط ترمز کوتاه، موجبات افزایش مصرف سوخت در لحظات ورود به ایستگاه گردد.

محاسبه طول خط ترمز در مسیر و نصب سیگنالها با توجه به طولانی ترین خط ترمز میتواند اولین قدم در بهبود وضعیت باشد.

۳-۲-۲ استفاده از سیستم ATP

در این راهکار با استفاده از سیستم ATP در خطوط شبکه، محدوده همپوشانی (Overlap) سیگنالها در ورودی ایستگاه‌ها کاهش می‌یابد. همچنین محل ترمز گیری قطار در ورودی ایستگاه میتواند بطور دقیق اعلام گردد تا از اتلاف سوخت، به لحاظ طولانی تر شدن طول خط ترمز قطار اجتناب شود.

	فصل دوم: بررسی راهکارهای کاهش و مدیریت مصرف	
--	---	--

۳-۳-۲ استفاده از سیستم ATO

راهبری اتوماتیک قطار در شرایط مختلف مسیر به منظور حذف خطای انسانی منجر به استفاده بهینه از سوخت و انرژی می‌گردد. در این راهکار، عملاً راهبری قطار میتواند به سیستم کنترل اتوماتیک واگذار گردد. در صورت استفاده از اطلاعات مسیر و بکارگیری الگوریتمهای بهینه سازی مصرف، این سیستم میتواند نقش بسزایی در کاهش مصرف سوخت داشته باشد. هم اکنون از این سیستم در ایران (مترو و راه آهن) استفاده نمی‌گردد.

۴-۲ بررسی تاثیر سیستم کنترل اتوماتیک کروز بر مصرف

۲-۴-۱ مطالعه و بررسی راهکارهای بکارگیری سیستم کنترل کروز

کروز کنترل یا به عبارتی سیستم کنترل سرعت، سیستمی است که قادر است سرعت وسیله نقلیه را در حول و حوش سرعت مطلوب نگه دارد. این سیستم که جهت سهولت رانندگی در مسیرهای طولانی به کار می‌رود امکان تثبیت سرعت در شرایط مختلف مسیر و آب و هوایی را با کنترل میزان تزریق سوخت به موتور انجام می‌دهد.

۲-۴-۱-۱ ساختار سیستم کنترل سرعت

سیستم کروز کنترل از سه قسمت اصلی تشکیل شده است:

- واحد کنترل الکترونیکی (ECU)
- واحد فرمان (Command Module)
- عملگر (Actuator)

۲-۴-۱-۲ مزایا و معایب کنترل سرعت

سیستم کنترل سرعت نیز همانند سایر سیستمهای ساخت بشر حاوی مزایا و معایبی است. در صورت استفاده درست از این سیستم مطابق دستورالعملهای ارائه شده برای آن، مزایای آن پررنگتر خواهد بود. در غیر اینصورت معایب این سیستم است که می‌تواند خودنمایی کند.

	فصل دوم: بررسی راهکارهای کاهش و مدیریت مصرف	
--	---	--

مزایا:

- ا. مناسب برای مسافتهای طولیل بطوریکه موجب کاهش خستگی راننده و افزایش راحتی وی می‌شود.
- ب. کاهش مصرف سوخت بواسطه جلوگیری از تغییرات ناگهانی سرعت و ارائه نوعی رفتار خاص در سربالایی ها و سر پایینی ها.
- ج. برخی از رانندگان از این سیستم برای جلوگیری از افزایش ناخواسته سرعت استفاده می‌کنند.
- د. در صورتیکه راننده پا را بر روی پدال ترمز نگه دارد موجب کاهش مسافت توقف می‌شود.

معایب:

- ا. استفاده ناصحیح از سیستم کنترل سرعت می‌تواند منجر به بروز تصادف گردد. مواردی چون:
 - ✓ عدم نیاز به فشار پدال ممکن است منجر به خواب راننده شود که خود موجب ایجاد سانحه خواهد شد.
 - ✓ هنگام حرکت در شرایط بد آب و هوایی (بارندگی، برف، زمین یخ زده و ...) ممکن است منجر به بروز سانحه و برخورد گردد.
- ب. این سیستم در جاده‌های با ترافیک سنگین، جاده‌های پر پیچ و خم، جاده‌های لغزنده یا خاکی، مسیرهای با شیب زیاد مناسب نیست.
- ج. در حمل و نقل ریلی نسبت به حمل و نقل جاده‌ای فعالیتها محدودتر می‌باشد. شاید پایین بودن مصرف سوخت و هزینه های نگهداری و تلفات در حمل و نقل ریلی نسبت به جاده‌ای، از دلایل عمده این محدودیت بوده است.

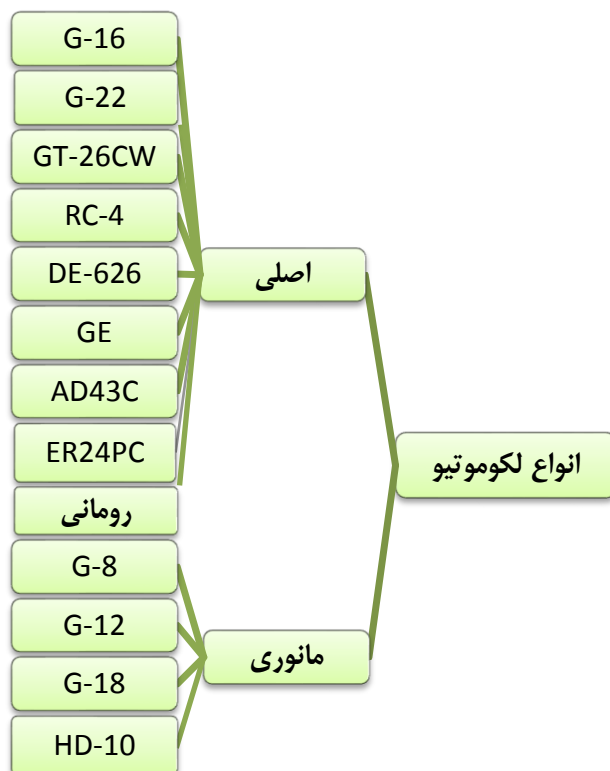
۲-۴-۲ ارائه تحلیل از لکوموتیوهای موجود در شبکه و

جهت بررسی امکان اعمال یک سیستم کنترل سرعت بر روی لکوموتیوهای موجود ابتدا لازم است تا ساختار این لکوموتیو ها بررسی گردد. در این بخش ابتدا انواع لکوموتیوهای موجود در راه آهن ج. ا. معرفی شده،

سپس زیرسیستم‌های این لکوموتیوها به صورت اجمالی معرفی می‌گردد. در نهایت نیز یکایک المانهای لکوموتیو که در سیستم کنترل سرعت نقش دارند، بررسی می‌شوند.

۲-۴-۱-۲ شناسایی انواع لکوموتیوهای موجود در ناوگان راه آهن ج.ا.ا.

لکوموتیوهای تشکیل دهنده ناوگان راه آهن ج.ا.ا. از نظر ماموریت در دو دسته: اصلی و مانوری تقسیم می‌شوند. لکوموتیوهایی که در دسته لکوموتیوهای اصلی قرار می‌گیرند خود به دو دسته باری و مسافری تقسیم می‌شوند. لکوموتیوهای اصلی بیشتر در خطوط بین شهری سیر می‌کنند و وظیفه حمل بار و مسافر را بر عهده دارند. لکوموتیوهای مانوری بیشتر در ایستگاههای تشکیلاتی عملیات مانور را انجام می‌دهند. از اهم لکوموتیوهای اصلی می‌توان خانواده لکوموتیوهای GM، لکوموتیوهای GE و لکوموتیوهای آلستوم و زیمنس را نام برد. در شکل ۲-۳ انواع لکوموتیوهای راه آهن بر اساس نوع ماموریت محوله تقسیم بندی شده است.



شکل ۲-۳ تقسیم بندی ناوگان کشش راه آهن

	فصل دوم: بررسی راهکارهای کاهش و مدیریت مصرف	
--	---	--

از آنجاکه این لکوموتیوها از نسل های مختلفی هستند هر یک ساختار سخت افزاری متفاوتی دارند. قدیمی ترین این لکوموتیوها از خانواده GM با سخت افزار رله – کنتاکتوری و جدیدترین آنها از لکوموتیوهای آلستوم و زیمنس با سخت افزاری میکروپروسسوری هستند.

۲-۴-۲ زیر سیستم های لکوموتیوهای دیزل – الکتریک در یک نگاه

در یک نگاه اجمالی شاید بتوان سیستم های تشکیل دهنده لکوموتیو دیزل – الکتریک را بصورت زیر دسته بندی و خلاصه نمود:

- مدار اصلی: مداری با ولتاژ و جریان زیاد که مسیر انتقال توان الکتریکی مورد نیاز موتورهای کششی را فراهم می کند و شامل موتور دیزل، ژنراتور اصلی، یکسو ساز، کانورتر و موتورهای کششی می باشد.
- مدار کمکی: این مدار جهت تغذیه تجهیزات کمکی مورد استفاده قرار می گیرد که شامل موتورهای خنک کننده، دمنده ها، موتور کمپرسور و است.
- مدارات کنترل و حفاظت: این مدارات جهت کنترل گشتاور، توان، سرعت و تجهیزات کمکی و نیز اعمال حفاظت های لازم برای حفاظت ادوات و تجهیزات استفاده می شوند.
- سیستم های مکانیکی: این سیستم ها دارای عملکردی مکانیکی بوده و از اجزای آن می توان سیستم تعلیق تراکشن موتور، بوژی، شاسی و بدنه را نام برد.
- سیستم ترمز: جهت کنترل لکوموتیو و توقف کامل قطار از سیستم ترمز استفاده می شود. این سیستم شامل کمپرسور هوا، مخازن اصلی و فرعی لوله اصلی (لوله های توزیع هوا)، شیرها و می باشد.
- سیستم تهویه و خنک کاری: جهت تأمین هوای مورد نیاز در لکوموتیو برای استفاده در کابین لکوموتیوران و همچنین خنک کاری ادوات لکوموتیو از سیستم و مداراتی جهت تهویه و خنک کاری استفاده می شود.
- سیستم ذخیره و مانیتورینگ: این سیستم یکی از سیستم هایی است که ضمن ذخیره اطلاعات کنترلی، هنگام بروز خطر در قطار و بوجود آمدن مشکل، هشدار لازم را از طریق چراغ ها یا آلارم های خاص یا از طریق صفحه نمایشی که در کابین لکوموتیوران وجود دارد اطلاع رسانی می کند.

	فصل دوم: بررسی راهکارهای کاهش و مدیریت مصرف	
--	---	--

۲-۴-۳ تحلیل و انتخاب لکوموتیو بهینه جهت سیستم کنترل کروز

۲-۴-۳-۱ انتخاب لکوموتیو مناسب جهت تجهیز به سیستم کنترل سرعت

لکوموتیوهای ناوگان راه آهن ج.ا.ا از نظر نوع به دو دسته تقسیم می شوند:

- ✓ لکوموتیوهای برقی: منبع قدرت در این نوع لکوموتیو، انرژی برق خط بالاسری می باشد. این نوع لکوموتیو بواسطه تعداد محدود (RC۴) در اسکوپ این پروژه قرار نمی گیرد.
- ✓ لکوموتیوهای دیزل-الکتریک: منبع قدرت در این نوع لکوموتیو، موتور دیزل لکوموتیو می باشد. این نوع از نظر ماموریت خود به دو دسته اصلی و مانوری تقسیم می شوند. لکوموتیوهای مانوری بدلیل نوع ماموریت خود از اسکوپ پروژه حذف و فقط لکوموتیوهای اصلی در بررسی قرار می گیرند.

لکوموتیوهای دیزل-الکتریک اصلی:

لکوموتیوهای G۱۶: فقط یک دستگاه در ناوگان موجود است. بنابراین حذف می شود.

لکوموتیوهای G۲۲: حاوی مدارات رله ای و قدیمی است و به تعداد ۲۱ دستگاه در ناوگان موجود است. بنابراین یکی از گزینه های انتخاب است.

لکوموتیوهای GT۲۶CW: این لکوموتیو ساختاری مداری که بیشتر به صورت آنالوگ است داراست که به سهولت قابلیت کنترل مدارات کنترلی و اعمال تغییر در عملکرد رفتار لکوموتیو را داراست. به تعداد ۲۴۸ دستگاه در ناوگان موجود است بنابراین یکی از گزینه های اصلی انتخاب است.

لکوموتیوهای DE۶۲۶: از این نوع هیچ لکوموتیوی در سیر وجود ندارد.

لکوموتیوهای GE: این لکوموتیو از مدارات دیجیتال و میکروپروسسوری برخوردار است. ساختار میکروپروسسوری این لکوموتیو امکان اعمال فرامین را برای آن بسیار مشکل می کند. البته در صورتیکه اعمال فرامین کنترلی فقط تغییر دنده گاز باشد، امکان اعمال فرامین ممکن است اما در صورتیکه نیاز باشد تا بین هر دو دنده متوالی اعمال کنترل نمود، لکوموتیوهای خانواده GM مناسبتر هستند. علی ایحال این لکوموتیو نیز می تواند کاندید باشد اما در اولویت پایینی قرار دارد.



فصل دوم: بررسی راهکارهای کاهش و مدیریت مصرف



لکوموتیوهای AD۴۳C: سیستم های کنترلی این لکوموتیو بصورت پکیج و عموماً "میکروپروسسوری هستند. محدودیت در اطلاعات موجود در جهت شناسایی نحوه عملکرد ادوات و سیستم های کنترلی این لکوموتیو موجب شده تا براحتی نتوان سیستم کنترل سرعت را بر روی این لکوموتیو پیاده سازی کرد.

لکوموتیوهای ER۲۴PC: این لکوموتیو نیز همانند لکوموتیو آلتوم از تکنولوژی روز برخوردار بوده و مجهز به سیستم کنترل سرعت با هدف ثابت نگه داشتن سرعت قطار است. بنابراین در برنامه تجهیز قرار نمی گیرد.

لکوموتیوهای چینی: این لکوموتیوها به تمامی در اختیار بخش خصوصی است. از تکنولوژی روز برخوردار است و اطلاعات از ساختار سیستم کنترل آن بسیار محدود می باشد. نداشتن اطلاعات کافی و نیز عدم امکان در اختیار داشتن یک دستگاه از این خانواده، موجب می شود که این لکوموتیو نیز از هدف پروژه خارج گردد. با توجه به توضیحات داده شده، لکوموتیو GT۲۶CW که بیشترین تعداد و نیز سهولت کنترل بیشتر را در مقایسه با سایر انواع داراست، انتخاب گردیده است.

۲-۴-۴ استخراج توپوگرافی یک مسیر کوتاه نمونه

۲-۴-۴-۱ مقدمه

به منظور تعیین شیب و فراز مسیر با استفاده از سیستم های ناوبری، در ابتدا لازم است تعدادی از سیستم های ناوبری شرح داده شود که این سیستم ها را می توان به دو دسته سیستم های ناوبری متکی به خود و غیر متکی به خود تقسیم کرد. سیستم های ناوبری که متکی به خود باشند، دارای سنسور های مختلفی برای ثبت تغییر موقعیت ها می باشند و با توجه به مشخص بودن موقعیت اولیه ی خود، می توانند با استفاده از داده های سنسور ها، مکان لحظه ای خود را اعلام نمایند. سیستم های غیر متکی به خود، نیاز به یک عامل خارجی برای تعیین موقعیت خود دارند، که از این سیستم ها می توان به سیستم ناوبری ماهواره ای اشاره کرد، یکی از انواع سیستم های ناوبری ماهواره ای سیستم جی پی اس متعلق به ایالات متحده آمریکا است که مخفف، سیستم تعیین موقعیت جهانی است. بوسیله سیستم جی پی اس، موقعیت دستگاه گیرنده در سه جهت شرقی و شمالی و ارتفاعی قابل محاسبه خواهد بود که در ادامه گزارش به آن پرداخته خواهد شد. در تعیین موقعیت بوسیله سیستم جی پی اس، خطاهایی وجود دارد که دقت تعیین موقعیت را پایین می آورد. یکی از راه های کاهش

	فصل دوم: بررسی راهکارهای کاهش و مدیریت مصرف	
--	---	--

خطا و رسیدن به دقت در مقیاس سانتی متر، استفاده از جی پی اس دو فرکانسه و تعیین موقعیت با استفاده از جی پی اس تفاضلی می‌باشد که در گزارش به آن پرداخته خواهد شد.

یک روش جدید برای تعیین شیب و فراز خطوط راه آهن استفاده از جی پی اس دو فرکانسه است. به منظور صحت سنجی این روش یک تست در مسیر تهران-پرنده بوسیله لکوموتیو ۸۲۲ انجام گرفت که بر روی لکوموتیو یک جی پی اس دو فرکانسه نصب شد و در نهایت شیب و فراز مسیر تهران-پرنده بوسیله آن استخراج شد. به منظور تعیین صحت داده های جی پی اس، در محل مورد نظر، نقشه برداری مستقیم از خط راه آهن صورت گرفت که نتیجه نزدیک بودن داده های جی پی اس و نقشه برداری مستقیم با دقت حدود ۱۰ سانتی متر اعلام گشت و سپس مقایسه ای بین شیب و فراز استخراج شده بوسیله جی پی اس و شیب و فراز اعلام شده از سوی راه آهن صورت گرفت که در ادامه دیده خواهد شد که این داده ها در موقعیت هایی اختلاف های بسیاری با یکدیگر دارند و در مواقعی شبیه به یکدیگر هستند.

۲-۴-۵ صحت سنجی روش جدید توپوگرافی مسیر های راه آهن با استفاده از جی پی اس دو فرکانسه در مسیر تهران پرنده و مقایسه آن با داده های راه آهن

در این گزارش روش جدید توپوگرافی مسیر ریلی تهران-پرنده با استفاده از نصب دستگاه حساس GPS و پردازش دقیق اطلاعات بررسی می‌شود.

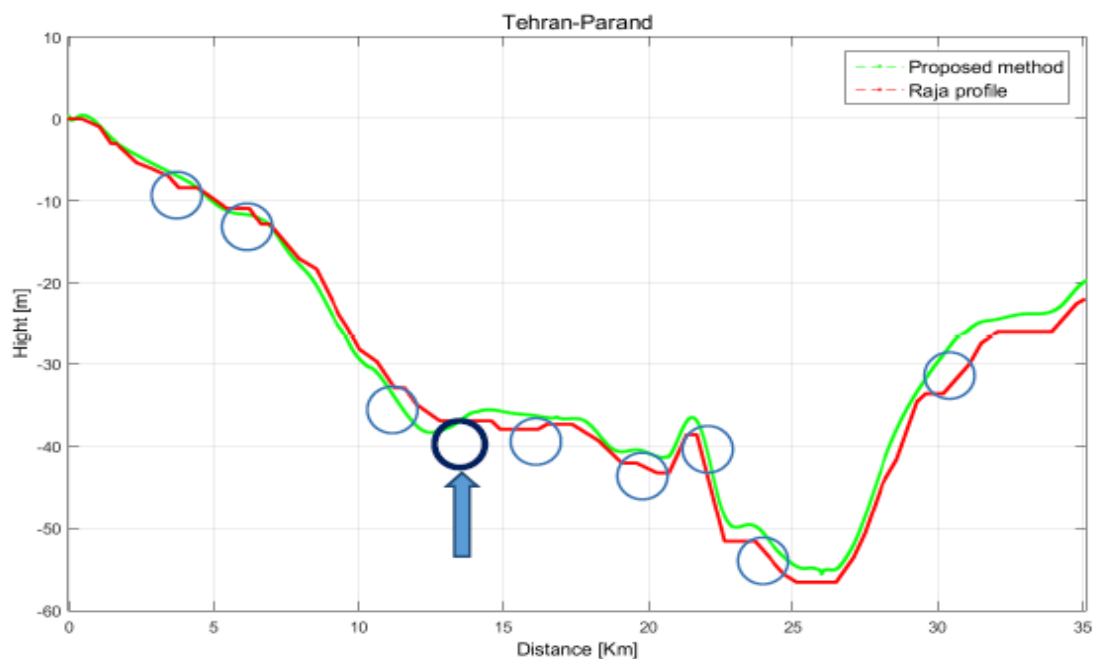
در این روش با استفاده از نصب دستگاه حساس GPS در لکوموتیو و تحلیل دقیق داده های آن، شیب و فراز مسیری که لکوموتیو در آن سیر نموده است، استخراج می‌گردد. به منظور صحت سنجی این روش، تستی در مسیر تهران-پرنده صورت گرفت که در داخل لکوموتیو آن، دستگاه GPS قرار داده شده است، فرکانس داده

برداری در این تست بر روی یک هرتز قرار داده شده است. مسیری که لکوموتیو طی کرده است در تصویر ماهواره ای زیر مشخص شده است



شکل ۴-۲ مسیر طی شده توسط لکوموتیو

در قسمت بزرگنمایی شده بالا ، دقت بسیار بالای دستگاه در مکان یابی ریل مشخص است. در ادامه نتیجه شیب و فراز مسیر نشان داده شده در بالا بوسیله داده های GPS آورده شده است:



شکل ۲-۵ شیب و فراز مسیر تهران- پرند

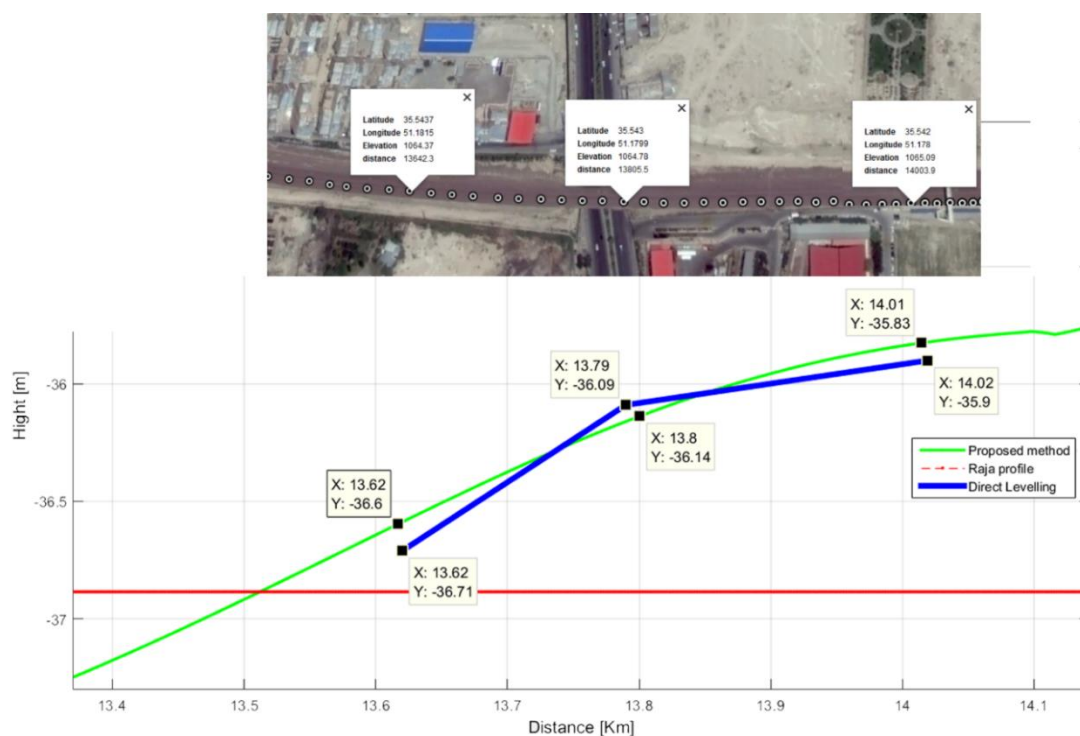


فصل دوم: بررسی راهکارهای کاهش و مدیریت مصرف



در نمودار فوق دو نوع داده ترسیم شده است، داده سبز رنگ متعلق به داده برداری GPS می‌باشد و داده ی قرمز رنگ با استفاده از شیب و فراز اعلام شده از سوی راه آهن در مسیر تهران-پرنده می‌باشد. محل هایی که اختلافات نتایج جدید با داده های راه آهن بسیار محسوس است با نشان گر آبی مشخص شده است.

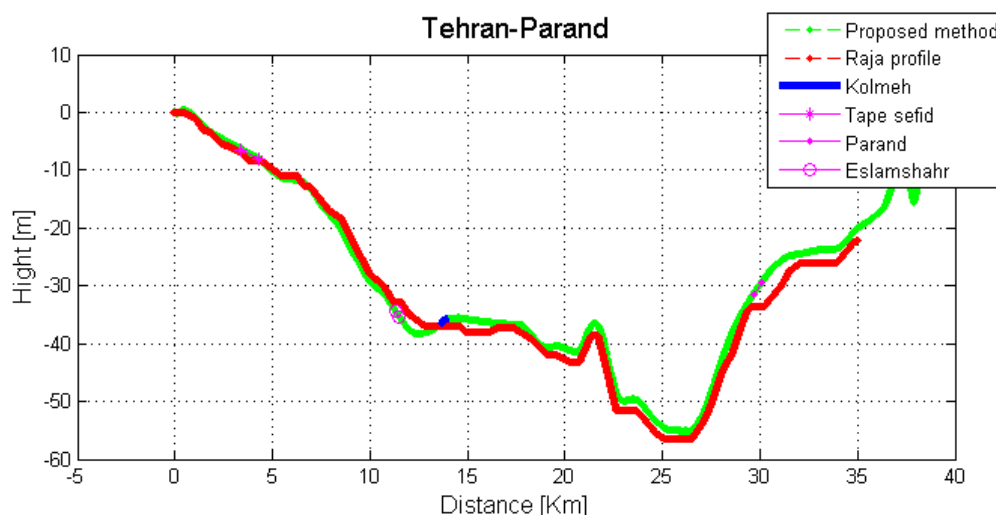
به منظور صحت سنجی داده های بالا، از محلی که با پیکان در بالا مشخص شده است، نقشه برداری مستقیم به عمل آمد. این مکان در محل تقاطع خط راه آهن با پل بزرگراه تهران-ساوه می‌باشد. در زیر این مسیر مشخص شده است:



شکل ۲-۶ مقایسه پروفیل نقشه برداری و پروفیل راه آهن

در شکل فوق، نمودار پروفیل نقشه برداری مستقیم از خط که با رنگ آبی مشخص شده است بر روی پروفیل مسیر GPS با رنگ سبز و نمودار پروفیل راه آهن با رنگ قرمز، ترسیم شده است، همان طور که مشاهده می گردد، پروفیل نقشه برداری مستقیم با پروفیل GPS همخوانی با دقت حدود ۱۰ سانتی متر در سطح تراز

ارتفاع دارد و این تکه از مسیر دارای شیب متوسط ۲ در هزار می باشد ولی راه آهن این شیب را صفر در هزار اعلام کرده است.



شکل ۲-۷ شیب و فراز مسیر تهران- پرند

در نمودار فوق، دو نوع داده ترسیم شده است، داده سبز رنگ متعلق به داده برداری GPS می باشد، و داده ی قرمز رنگ با استفاده از شیب و فراز اعلام شده از سوی راه آهن در مسیر تهران-پرند می باشد. در این نمودار ۴ نقطه کلمه، تپه سفید، پرند و اسلامشهر مشخص شده اند.

همان طور که در قسمت قبل مشاهده شد، تعیین شیب و فراز خطوط راه آهن با استفاده از روش پیشنهادی جدید استفاده از سیستم ناوبری ماهواره ای بوسیله دستگاه جی پی اس دو فرکانسه، قدرت بالایی در تعیین شیب و فراز خط در حدود ۱۰ سانتی متر در مدت زمان بسیار کوتاه را داراست و نیاز به عملیات هزینه بر و طولانی در نقشه برداری مستقیم را از بین می برد و همین طور خطای انسانی را به حداقل می رساند. همین طور مشاهد گشت که شیب و فراز اعلامی توسط راه آهن در مسیر تهران پرند با شیب و فراز استخراج شده از جی پی اس، در موارد متعدد اختلافات بسیار محسوسی با یکدیگر دارند و در مواردی مشابه یکدیگر می باشد. از دیگر مزایای این روش ، تعیین فاصله بسیار دقیق بین دو بلاک می باشد، مشخص بودن فاصله دقیق بین بلاک های راه آهن سبب می گردد خطای ارایه شده در آمار ها نظیر تن کیلومتر و غیره کاهش یابد.



**فصل سوم: مدلسازی و شبیه‌سازی مسیر و قطار با هدف
استخراج شاخصهای علمی و تجربی مصرف سوخت و انرژی**



فصل سوم:

مدلسازی و شبیه‌سازی مسیر و قطار با هدف استخراج شاخصهای علمی و تجربی مصرف سوخت و انرژی (فاز ۳)

۳-۱ مدلسازی مسیر و قطار

۳-۱-۱ مدلسازی کامپیوتری مسیر

در این بخش مدل نرم افزاری حرکت قطار استخراج و شبیه سازی شده است. این مدل تحت نرم افزار متلب بدست آمده است. به کمک mfile نرم افزار متلب امکان شبیه سازی سیستم های خطی و غیر خطی وجود دارد. این بخش نرم افزار با کد نویسی و اجرای الگوریتم های مختلف مانند الگوریتم بهینه، در مدل سازی به کمک ما می آید. پروفیل شیب و قوس مسیر و پارامترهای قطار به کمک فایل های اکسل به عنوان بخشی از ورودی نرم افزار به آن داده می شود. بخش دیگر و مهمتر ورودی توان ناچ ها و مقادیر نیروی ترمز می باشند که مقادیر آن به نرم افزار داده می شود.



فصل سوم: مدلسازی و شبیه‌سازی مسیر و قطار با هدف استخراج شاخصهای علمی و تجربی مصرف سوخت و انرژی



برای مدلسازی مسیر از داده‌های سیر و حرکت استفاده شده‌است. این داده‌ها به شکلی نوشته شده‌اند که مکان شروع و پایان هر شیب یا قوس و میزان آن را می‌دهند. جدول زیر نمونه‌ای از داده‌های سیر و حرکت برای فراز و نشیب را در مسیر تهران پیشوا نشان می‌دهد که در آن میزان شیب در هزار و مکان شروع و پایان آن نمایش داده شده‌است.

در مدل‌سازی مسیر مسأله‌ی دیگری که در نظر گرفته شد بحث ایستگاه است. مدل ایستگاه در واقع به معنی در نظر گرفتن مکان سیگنال‌هاست. سیگنال‌هایی در مدلسازی مسیر نقش دارند که بر نحوه حرکت قطار اثر می‌گذارند.

۳-۱-۲ مدلسازی لکوموتیوها و قطارهای فعال در مسیر

در این بخش بر روی نحوه مدل‌سازی قطار و مدل‌سازی واقعی قطار دارای لکوموتیو کشنده GT۲۶ پرداخته شده‌است. بدین منظور مدل شبیه‌سازی به نحوی انجام گرفته است که هر کدام از بخش‌های پارامترهای قطار، شرایط اولیه، مسیر ساز، و مدل قطار در یک بسته قرار گیرد. محدودیت‌های سرعت در بخش بعد توضیح داده شده سایر محدودیت‌ها شامل: بار، دینامیکی و محور مدلسازی مشابه آن هستند.

۳-۱-۲-۱ دسته‌بندی پارامترهای قطار

بخش Train Parameter شامل پارامترهای قطار از قبیل وزن لکوموتیو، تعداد واگن‌ها، تعداد محوره‌های لکوموتیو، طول لکوموتیو، طول واگن‌ها، وزن هر واگن و وزن کل قطار، جرم موثر، سطح جلوی لکوموتیو و معادله نیروهای مقاوم می‌باشد. در این بخش داده‌های لکوموتیو و واگن‌ها به برنامه شبیه‌ساز وارد می‌گردد و برنامه شبیه‌ساز با توجه به این داده‌ها و سایر داده‌هایی که در بخش‌های بعد ارائه می‌شوند حرکت قطار را مدلسازی می‌نماید.

بخش Initial State شامل زمان نهایی برنامه (که با توجه به زمان کل سفر تنظیم می‌گردد)، زمان شروع شبیه‌سازی (برای مثال شبیه‌سازی این قابلیت را دارد تا از میانه مسیر نیز حرکت قطار را مدل‌سازی نماید)، زمان نمونه برداری، مقادیر اولیه پارامترهای شیب مسیر، قوس مسیر، سرعت قطار، مکان قطار، نیروی ترکشن، نیروی دیویس، نیروی مقاوم ناشی از شیب و نیروی مقاوم ناشی از قوس است که این پارامترها در بخش مدلسازی مشخصات دینامومتری کشنده بیشتر شرح داده می‌شود.

بخش Rout Generator شامل اطلاعات مسیر است و در واقع وظیفه ساخت مسیر را در برنامه به عهده دارد.



فصل سوم: مدلسازی و شبیه‌سازی مسیر و قطار با هدف استخراج شاخصهای علمی و تجربی مصرف سوخت و انرژی



بخش Track Restriction شامل محدودیت‌های مسیر است که باید در حرکت قطار لحاظ گردند. در سیستم کنونی راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران اطلاعات این محدودیت‌ها بوسیله یک فیش در اختیار راهبر قرار می‌گیرد. بخش Movement Scheduling شامل برنامه زمانی حرکت قطار است و در واقع حاوی اطلاعات جدول زمانی می‌باشد.

در بخش آخر، با استفاده از دریافت و ترکیب اطلاعات سایر قسمت‌ها پروفیل حرکت قطار تعیین شده و سپس به وسیله کد نویسی سیستم حرکت قطار مدلسازی می‌شود.

۳-۱-۳ مدلسازی مشخصات دینامومتری کشنده

هر وسیله نقلیه و محرکی، در هنگام حرکت، توان مخصوصی را صرف غلبه بر نیروهای مقاوم حرکت خود میکند. با پی بردن به میزان این نیروها می‌توان تخمینی از مقدار انرژی اتلافی در طی مسیر حرکت را استخراج نمود، استخراج نیروهای مقاوم و پارامترهای تاثیر گذار بر آن، می‌تواند انطباق آن وسیله نقلیه را با استاندارد ها مشخص نماید. در هر وسیله نقلیه ای می‌توان نیروهای مقاوم را حاصل سه مجموعه در نظر گرفت که در ارتباط مستقیم با یکدیگرند، اولین مجموعه، خود وسیله نقلیه است که خود دارای یک سری از اتلافات می‌باشد تا توان تولید شده در محرک را به حرکت تبدیل نماید، مجموعه دوم، آن مسیری است که محرک در آن حرکت می‌نماید، یک سری از نیروهای مقاوم بواسطه ی شرایط مسیر به محرک وارد می‌گردد که تحت تاثیر خود محرک نیز می‌باشد، مجموعه سوم، محیطی است که محرک در آن حرکت می‌کند، که در شرایط مختلف جوی و دمایی و وجود هوا، یک سری از نیروهای مقاوم نیز از محیط به محرک وارد می‌گردد که این نیروها نیز در ارتباط با خود محرک می‌باشد.

۳-۱-۴ مدلسازی بار شامل بار و مسافر، توزیع بار، بار محوری

در این بخش بر روی استخراج نیروهای مقاوم مربوط به لکوموتیو GT۲۶ کار شده است، در ادامه این گزارش، ابتدا خلاصه ای از کارهای انجام شده بر روی بدست آوردن معادلات حاکم بر نیروهای مقاوم در قطار های مختلف در کشورهای گوناگون آورده شده است، سپس مراحل بدست آوردن معادله دیویس مربوط به لکوموتیو GT۲۶ و شرایط تست آن شرح می‌گردد و در نهایت معادله دیویس مخصوص به لکوموتیو GT۲۶ ارائه می‌گردد. با عوض شدن مقادیر کافیست مقادیر پارمترهای آن بروز گردد.

	فصل سوم: مدل‌سازی و شبیه‌سازی مسیر و قطار با هدف استخراج شاخصهای علمی و تجربی مصرف سوخت و انرژی	
--	---	--

۳-۱-۵ شبیه‌سازی حرکت قطار

در این قسمت از مدل‌سازی قطار و مسیر که در قسمت‌های قبل ارزیابی گردید، استفاده شده‌است و حرکت قطار در مسیرها و تعداد واگن‌های مختلف با توجه به الزامات بهره‌برداری، فنی و اقتصادی، شبیه‌سازی گردیده‌است. در این جدول t_1 زمان پایان شتاب‌گیری و آغاز مود سرعت ثابت، t_2 زمان پایان مود سرعت ثابت و آغاز مود خلاص و t_3 زمان پایان مود خلاص و آغاز ترمزگیری است. همچنین W_{tr} کار نیروی کشش است.

	فصل سوم: مدلسازی و شبیه‌سازی مسیر و قطار با هدف استخراج شاخصهای علمی و تجربی مصرف سوخت و انرژی	
--	--	--

جدول ۱-۳ مقایسه انرژی مصرفی و زمان تغییر مود قطار در شیب‌های مختلف

W_{tr}	t_3	t_2	t_1	مسیر	نوع وسیله
$1,9508e+08$	442,3327	369,0430	42,0142		لکوموتیو
$2,4623e+08$	442,1971	364,2090	57,8741		لکوموتیو و یک واگن
$4,1139e+08$	444,8536	356,7313	154,2500		لکوموتیو و شش واگن
$6,4327e+08$	454,0835	363,7695	264,4832		لکوموتیو و ده واگن
$2,7110e+08$	442,7713	394,9707	45,0841		لکوموتیو
$3,4684e+08$	443,4723	391,0156	63,9558		لکوموتیو و یک واگن
$6,9595e+08$	459,7064	408,1543	217,1918		لکوموتیو و شش واگن
$9,2311e+08$	503,7468	469,2383	469,9912		لکوموتیو و ده واگن
$1,1723e+08$	449,7883	162,5000	39,3828		لکوموتیو
$1,4262e+08$	448,8674	232,8125	53,0676		لکوموتیو و یک واگن
$2,5758e+08$	441,3230	170,4102	122,8400		لکوموتیو و شش واگن
$3,3650e+08$	433,5197	171,5088	171,6231		لکوموتیو و ده واگن
$2,3212e+08$	441,7188	398,0469	42,0142		لکوموتیو
$2,9488e+08$	441,8048	393,6523	60,4226		لکوموتیو و یک واگن
$5,8489e+08$	449,2363	397,6074	154,2500		لکوموتیو و شش واگن
$7,8962e+08$	464,1713	413,8672	412,0507		لکوموتیو و ده واگن
$2,3400e+08$	443,4730	368,6035	45,0841		لکوموتیو
$2,9791e+08$	443,3742	365,5273	63,9558		لکوموتیو و یک واگن
$5,9263e+08$	455,3236	367,2852	217,1918		لکوموتیو و شش واگن
$7,8478e+08$	486,1577	399,5850	399,2468		لکوموتیو و ده واگن
$1,5664e+08$	442,5082	367,2852	40,8056		لکوموتیو
$1,9473e+08$	441,5105	361,1328	53,0676		لکوموتیو و یک واگن
$3,6636e+08$	437,6706	351,4648	122,8400		لکوموتیو و شش واگن
$4,8508e+08$	438,3050	347,0703	180,8057		لکوموتیو و ده واگن
$1,5597e+08$	450,3145	162,5000	42,0142		لکوموتیو
$1,9421e+08$	449,5540	248,1934	57,8741		لکوموتیو و یک واگن
$3,7317e+08$	445,3405	234,3506	154,2500		لکوموتیو و شش واگن
$4,9853e+08$	445,5476	253,5767	253,6194		لکوموتیو و ده واگن

	فصل سوم: مدلسازی و شبیه‌سازی مسیر و قطار با هدف استخراج شاخصهای علمی و تجربی مصرف سوخت و انرژی	
--	--	--

جدول ۱-۳ مقایسه انرژی مصرفی و زمان تغییر مود قطار در شیب‌های مختلف

W_{tr}	t_3	t_2	t_1	مسیر	نوع وسیله
$1,9462e+08$	449,7006	294,3359	45,0841		لکوموتیو
$2,4643e+08$	449,9464	285,7666	63,9558		لکوموتیو و یک واگن
$4,8775e+08$	451,6712	293,8965	211,3480		لکوموتیو و شش واگن
$6,5529e+08$	464,9473	332,6233	332,6410		لکوموتیو و ده واگن
$1,9389e+08$	441,8942	391,0156	60,9519		لکوموتیو
$2,4322e+08$	440,8238	392,3340	53,0676		لکوموتیو و یک واگن
$4,7094e+08$	443,0274	389,2578	335,5272		لکوموتیو و شش واگن
$6,3271e+08$	448,7809	395,4102	366,2722		لکوموتیو و ده واگن

با مقایسه جدول فوق مشاهده می‌شود که در شبیه‌سازی حرکت قطار مقادیر زمان‌های تغییر ناچ با تغییر تعداد واگن و همچنین با تغییر مسیر عوض می‌شود. برای مثال با افزایش شیب مسیر برای رسیدن به سرعت مورد نظر زمان بیشتری صرف شد. هدف اصلی این بخش تست مدل حرکت قطار در حالات مختلف بود.

۳-۱-۶ بررسی سناریوهای مختلف بار و مسافر

در این قسمت ابتدا به بررسی دستورالعمل‌ها و آئین‌نامه‌های مربوط به شرایط و نحوه تنظیم و تشکیل قطارهای باری و مسافری پرداخته شده‌است. سپس با بهره‌گیری از اطلاعات موجود در سامانه سیر و حرکت راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران، سناریوهای واقعی آرایش، تشکیل و سیر قطارهای باری و مسافری در چند محور مشخص بررسی شده و تحلیل‌های مختلفی انجام گردیده‌است.

۳-۱-۷ بررسی سناریوهای مختلف حرکتی قطار بین دو ایستگاه

در این بخش ابتدا به معرفی ملزومات و محدودیت‌های حرکتی قطار بین دو ایستگاه پرداخته شده‌است و سپس سناریوهای مختلف حرکتی بررسی شده‌اند.

	فصل سوم: مدلسازی و شبیه‌سازی مسیر و قطار با هدف استخراج شاخصهای علمی و تجربی مصرف سوخت و انرژی	
--	--	--

۳-۱-۷-۱ انواع الزامات و محدودیت‌های حرکت قطارها

به هنگام حرکت قطار بین دو ایستگاه، الزامات و محدودیت‌هایی وجود دارد که راهبر قطار ملزم به رعایت آنها بوده و سناریوهای حرکتی قطار در مسیرهای مختلف بر اساس آنها شکل می‌گیرد. این الزامات و محدودیت‌ها عبارتند از:

- شرایط و مقررات حرکت قطارها طبق سیگنالینگ مسیر
- شرایط حرکت قطارها با توجه به محدودیت سرعت مسیر
- شرایط و محدودیت‌های حرکت از لحاظ طول قطارها

۳-۱-۸ برون‌رسانی و تکمیل اطلاعات توپوگرافی

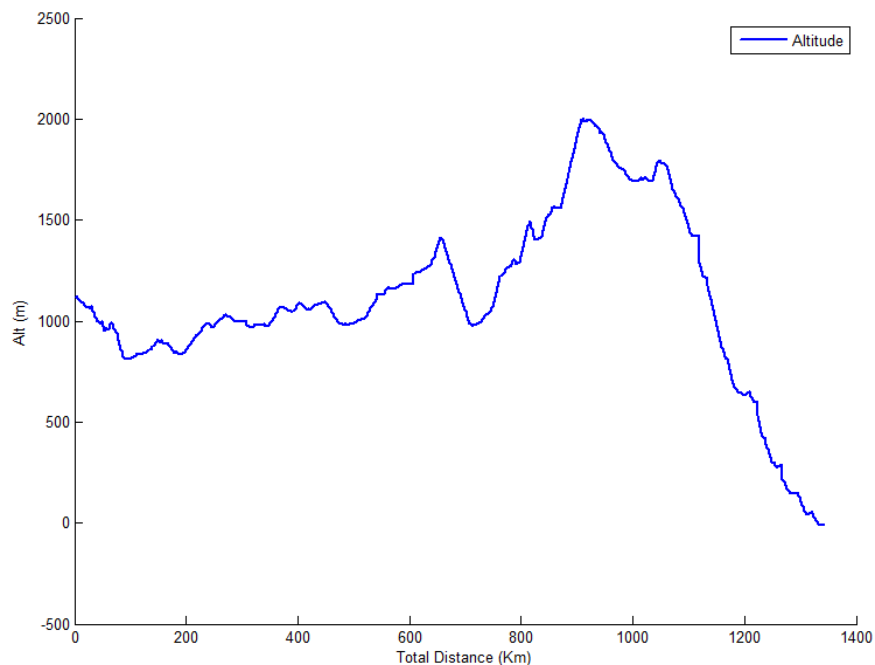
همان‌گونه که در بخش ۲-۴-۴ (استخراج توپوگرافی یک مسیر کوتاه نمونه) از فاز ۲ ذکر گردید، شیب و فراز مسیر از روش‌های مختلفی تعیین می‌گردد. انواع این روشها عبارتند از : ۱- سیستم ناوبری اینرسیایی (NIS)، ۲- سیستم ناوبری ماهواره‌ای (GPS) و جی پی اس دوفرکانسه. به دلیل خطای کم در استفاده از جی پی اس دوفرکانسه این روش به عنوان مطمئن‌ترین روش می‌باشد. در این بخش داده‌های شیب و فراز مسیرهای تهران- بندرعباس و تهران- مشهد با استفاده از جی پی اس دوفرکانسه استخراج گردیده و پروفیل مسیر بدست آمده‌است.

۳-۱-۸-۱ استخراج داده‌های توپوگرافی مسیر تهران- بندرعباس

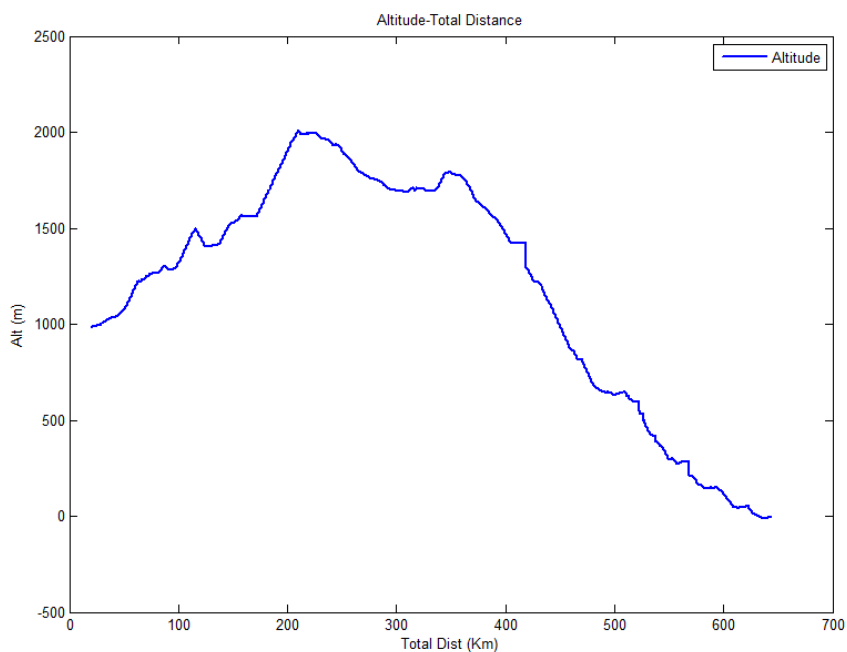
پروفایل مسیرهای تهران- بندرعباس و بافق- بندرعباس با استناد به داده‌های استخراج شده، به ترتیب مطابق شکل ۳-۱ و شکل ۳-۲ می‌باشند. در این نمودارها محور عمودی، ارتفاع هر نقطه از مسیر و محور افقی نمایانگر کیلومتر از مسیر می‌باشد:



**فصل سوم: مدلسازی و شبیه‌سازی مسیر و قطار با هدف
استخراج شاخصهای علمی و تجربی مصرف سوخت و انرژی**



شکل ۳-۱ نمودار شیب و فراز مسیر تهران- بندرعباس



شکل ۳-۲ نمودار شیب و فراز مسیر بافق- بندر عباس

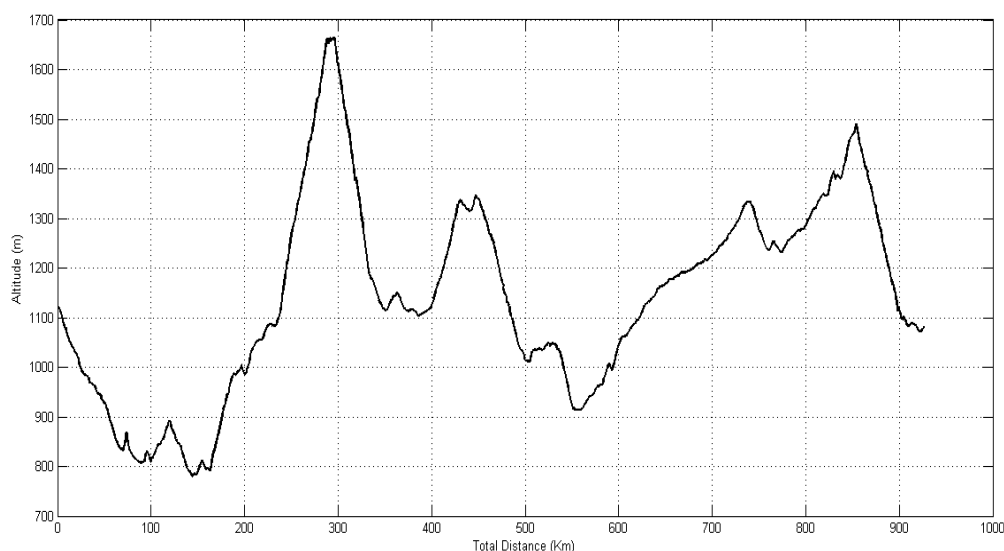


فصل سوم: مدلسازی و شبیه‌سازی مسیر و قطار با هدف استخراج شاخصهای علمی و تجربی مصرف سوخت و انرژی



۳-۱-۱-۲ استخراج داده‌های توپوگرافی مسیر تهران- مشهد

پروفایل مسیر تهران- مشهد با استناد به داده‌های استخراج شده، مطابق شکل ۳-۳ می‌باشد. در این نمودار محور عمودی، ارتفاع هر نقطه از مسیر و محور افقی نمایانگر کیلومتر از مسیر می‌باشد:



شکل ۳-۳ نمودار شیب و فراز مسیر تهران- مشهد

۲-۳ مطالعات تطبیقی داده‌های میدانی و نتایج شبیه‌سازی

۳-۲-۱ بررسی داده‌های میدانی مصرف سوخت

در این بخش، میزان مصرف سوخت و برخی از پارامترهای مرتبط لکوموتیو شماره ۸۲۲، مدل Gt۲۶ از سری لکوموتیوهای GM استخراج شده است.

اطلاعات و تحلیل‌های ارائه شده در این بخش بر اساس اندازه‌گیری‌های واقعی انجام شده بر روی لکوموتیو مورد اشاره و با استفاده از سنسورهای مختلفی همچون سنسور اندازه‌گیری مصرف لحظه‌ای سوخت موتور دیزل لکوموتیو، سنسور توان ژنراتور، سنسور تشخیص ناچ و حرکت خلاص لکوموتیو در حین کنترل قطار و سنسور تعیین موقعیت لکوموتیو تهیه گردیده است.

	فصل سوم: مدلسازی و شبیه‌سازی مسیر و قطار با هدف استخراج شاخصهای علمی و تجربی مصرف سوخت و انرژی	
--	--	--

اطلاعات ارائه شده بر اساس داده های خام اخذ شده از سنسورهای مزبور در طی بیش از سه ماه سیر لکوموتیو ۸۲۲ در شبکه و در مسیر های مختلفی که لکوموتیو در سرتاسر کشور با وضعیت آب و هوایی گوناگون، محاسبه شده است.

اطلاعات فنی ارائه شده در این گزارش شامل موارد زیر می باشند:

- مشخصات مسیرهای طی شده
 - توان لکوموتیو در هر ناچ
 - مصرف سوخت هر ناچ
 - مصرف سوخت ویژه
 - میزان سوخت مصرفی لکوموتیو به ازای تن-کیلومتر
 - میزان سوخت مصرفی لکوموتیو به ازای نفر-کیلومتر
- این اطلاعات برای سیر لکوموتیو در دو بخش مسیرهای حمل مسافر و حمل بار ارائه شده است.

جدول ۲-۳ جمع‌بندی اطلاعات مسیرهای حمل مسافر

مسیر	تاریخ	طول مسیر (کیلومتر)	شیب متوسط (در ۱۰۰۰ متر)	مدت زمان حرکت (ساعت)	سرعت متوسط (کیلومتر بر ساعت)	حجم کل سوخت مصرفی (لیتر)	مجموع نفر- کیلومتر	میزان مصرف سوخت به ازای یک نفر کیلومتر (سی سی)
پرنده-تهران	۹۴/۲/۲۱	۴۷,۳	۰,۸۵	۱	۴۴,۷	۱۰۰	۱۸۱۶۳	۵,۵
تهران-پرنده	۹۴/۲/۲۱	۴۷,۱۴	-۰,۸۵	۱	۵۱,۲۳	۸۵	۱۸۱۶۳	۴,۶
تهران-یزد	۹۴/۳/۳	۶۰,۷	۰,۲	۹	۸۲	۲۰۸۰	۲۶۷۰۸۰	۷,۷
یزد-تهران	۹۴/۳/۴	۶۰,۴,۴	-۰,۲	۹	۸۹	۱۸۰۹	۲۶۷۰۸۰	۶,۷
مشهد-کرمان	۹۴/۳/۱۹	۱۰۹۸,۲	۰,۷	۱۸	۶۸	۵۲۷۴	۴۸۳۱۲۰	۱۰,۹
کرمان-مشهد	۹۴/۳/۲۰	۱۰۹۸,۲	-۰,۷	۱۹,۵	۷۱	۴۶۳۰	۴۸۳۱۲۰	۹,۵
اصفهان-مشهد	۹۴/۳/۱۸	۱۱۸۷	۰,۵۲	۲۰	۷۱	۴۹۳۷	۴۲۷۳۲۰	۱۱,۵

جدول ۳-۳ جمع‌بندی اطلاعات مسیرهای حمل بار

مسیر	تاریخ	طول مسیر (کیلومتر)	شیب متوسط (در ۱۰۰۰ متر)	زمان حرکت (ساعت)	سرعت متوسط (کیلومتر بر ساعت)	نوع بار	کل سوخت مصرفی (لیتر)	مجموع تن-کیلومتر	میزان مصرف سوخت به ازای تن-کیلومتر (سی سی)
آپرین- کهندژ	۹۴/۴/۱۶	۱۲۲,۵	۱,۷	۳	۴۵,۲	بدون بار	۸۰۶	۷۳۵۰۰	۱۰,۹
میانه- زنجان	۹۴/۴/۱۶	۱۲۴,۳	۴,۴۸	۳ ساعت و ۱۳ دقیقه	۳۸,۵۱	کانتینر باردار- سنگ روی	۱۱۳۶	۱۷۱۷۴۰	۶,۶
گرمسار- فیروزکوه	۹۴/۴/۱۱	۸۹,۶۷	۱۲	۴	۲۴,۵۴	-	۱۳۱۱	۱۲۸۱۶۰	۱۰,۲

۳-۲-۲ اندازه‌گیری میزان تاثیر سناریوهای راهبردی قطار بر میزان مصرف سوخت در شرایط

واقعی

۳-۲-۲-۱ مقدمه

منظور از سناریوی راهبردی قطار در یک مسیر، نحوه گاز دهی به موتور و ترمز کردن لکوموتیو در طی مسیر و همچنین تعداد توقف های لکوموتیو در مسیر می‌باشد.

در این قسمت، مصرف سوخت لکوموتیو با سناریوهای مختلف حرکت در یک مسیر مشخص مقایسه گردیده است. بدین منظور لکوموتیو یک مسیر را چندین بار با سناریوهای مختلف طی کرده و به طور همزمان مقدار مصرف سوخت لکوموتیو در طی کردن مسیر ثبت گردیده است. مسیر تهران-پرنده برای تحلیل تاثیر سناریوهای مختلف راهبردی قطار بر میزان مصرف سوخت انتخاب شده است، و نحوه تحلیل به این صورت بوده است که مطابق جداول ۳-۴ و ۳-۵ داده های سرعت و مصرف سوخت لکوموتیو با چهار واگن مسافری اتوبوسی در طی ۴ بار پیمودن مسیر تهران-پرنده و ۴ بار مسیر پرنده-تهران، ثبت گردیده است.

جدول ۳-۴ مقایسه میزان سرعت متوسط و مصرف سوخت سناریوهای رفت مسیر تهران-پرنده

ردیف	مسافت طی شده (km)	شیب در هزار	سرعت متوسط (km/h)	مصرف سوخت (Lit)	تعداد گازدهی گسترده	زمان سیر (دقیقه)	تعداد توقف	تعداد کاهش سرعت
۱	۱۰,۴	-۲,۹	۵۶,۴	۱۳,۱	۲	۱۵	۰	۳
۲	۱۰,۵	-۲,۹	۴۹,۶	۱۸,۵	۳	۱۵	۰	۵
۳	۱۰,۴	-۲,۹	۵۸,۵	۱۴,۱	۲	۱۵	۰	۲
۴	۱۰,۴	-۲,۹	۳۹,۳	۱۶,۴	۳	۱۵	۰	۳

جدول ۳-۵ مقایسه میزان سرعت متوسط و مصرف سوخت سناریوهای برگشت مسیر تهران-پرنده

ردیف	مسافت طی شده (km)	شیب در هزار	سرعت متوسط (km/h)	مصرف سوخت (Lit)	زمان سیر حدودی (دقیقه)	تعداد توقف	تعداد کاهش سرعت	تعداد افزایش سرعت
۱	۱۰,۴	۲,۹	۶۶,۹	۲۸,۱	۱۵	۰	۱	۲
۲	۱۰,۵	۲,۹	۴۳,۴	۲۲,۶	۱۵	۱	۳	۳
۳	۱۰,۳	۲,۹	۴۹,۲	۲۲,۸	۱۵	۰	۴	۴
۴	۱۰,۴	۲,۹	۶۶,۳	۲۵,۳	۱۵	۰	۲	۲

	فصل سوم: مدل‌سازی و شبیه‌سازی مسیر و قطار با هدف استخراج شاخصهای علمی و تجربی مصرف سوخت و انرژی	
--	---	--

۳-۲-۲-۲ تحلیل نتایج

از مقایسه دو جدول ۳-۴ و ۳-۵ تاثیر شیب و فراز و مشخصات مسیر را بر روی میزان مصرف سوخت قطار را دریافت گردید. در مسیر رفت که مسیر سرازیری است و شیب منفی است، میزان مصرف سوخت قطار تقریباً نصف میزان مصرف سوخت در مسیر برگشت است. به این دلیل که در مسیر برگشت، مسیر به صورت سربالایی است. و قطار میزان سوخت بیشتری مصرف کرده است. و این مهم، اهمیت شیب و فرار بر میزان مصرف سوخت را یاد آور می‌شود.

در کل پارامترهایی چون سرعت متوسط، تعداد توقف، تعداد شتاب گیری ها، وزن قطار، زمان سیر (که البته در این ۵ سناریو زمان سیر تقریباً ثابت است) و غیره بر میزان مصرف سوخت تاثیر می‌گذارند.

۳-۲-۲-۳ نتیجه‌گیری

از آنچه که در سناریوهای مطرح شده در قسمت های قبل نتیجه گرفته شد که با افزایش کاهش سرعت و توقف ها مصرف سوخت افزایش می‌یابد، همچنین در مسیرهای مسطح و یا مسیرهای با شیب منفی، هر چه میزان گازدهی بیشتر باشد به معنای آن است که میزان ترمز گیری و اتلاف در طول مسیر بالاتر رفته است و از انرژی ذخیره شده در قطار به درستی استفاده نشده است. در هر کدام از ۱۸ سناریوی مطرح شده در قسمت های قبل، سناریوهایی که میزان گازدهی در آنها کمتر بوده است، دارای مصرف سوخت پایین تری بوده اند و سناریوهایی که میزان گازدهی در آنها بیشتر رخ داده است، دارای مصرف سوخت بالاتری بوده اند، همچنین در سناریوهایی که نیاز به کاهش سرعت بوده است، در مواردی که سرعت لکوموتیو خیلی بیشتر از سرعتی بوده است که باید به آن می‌رسده است، اتلاف انرژی بیشتر رخ داده است و به منظور اتلاف این انرژی و سرعت از دست رفته می‌بایست میزان گازدهی بیشتر انجام گیرد، پس در مواردی که لکوموتیو باید در ادامه ی مسیر، سرعت خود را کاهش دهد و یا متوقف شود نباید قبل از این کاهش سرعت، با گازدهی نامناسب سرعت خود را افزایش دهد و می‌تواند با نیروهای مقاوم معمول قطار و یا ترمز گیری جزئی به سرعتی که مورد نظر است برسد و یا حتی متوقف شود. در هر صورت ترمز گیری بیش از اندازه، همان طور که در سناریوهای توضیح داده شده آورده شد، دارای هدر رفت انرژی می‌باشد و به منظور آنکه سرعت از دست رفته قطار باز گردد، می‌بایست انرژی مضاعفی مصرف گردد.



**فصل چهارم: پیاده سازی و تست سیستم راهنمای
لکوموتیوران و طراحی سیستم کنترل کروز**



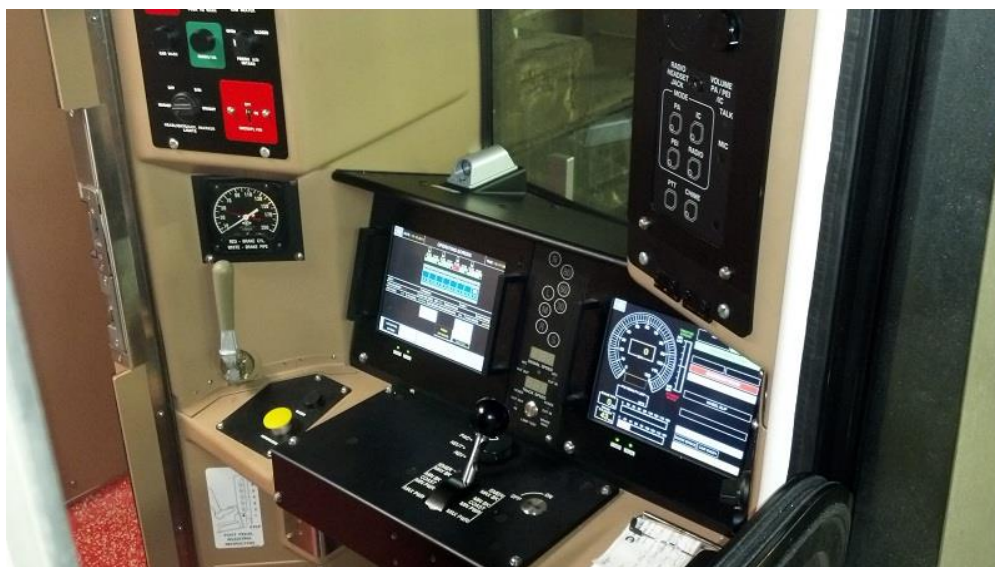
فصل چهارم:

پیاده سازی و تست سیستم راهنمای لکوموتیوران و طراحی سیستم کنترل کروز (فاز ۴)

۴-۱ بررسی راهکارها (راهنما)

۴-۱-۱ معرفی سیستم راهنمای لکوموتیوران و روش‌های طراحی و توسعه آن

برای ارتباط راهبر با سیستم‌های مدیریت مصرف سوخت و برای نمایش زمانبندی و حفظ ایمنی، به زیرسیستمی تحت عنوان راهنمای راهبر، درون لکوموتیو نیاز می‌باشد. نصب این زیر سیستم ایمنی بیشتر، مدیریت عملکرد راهبر، بهینه سازی مصرف انرژی و در نتیجه کاهش هزینه‌ها را نتیجه می‌دهد. با توجه به انواع سیستم‌های راهنمای راهبر، این سیستم‌ها مواردی چون اطلاعات خط و مسیر، اطلاعات عملکردی و مدیریتی، اخطارها، توصیه‌های راهبری، ارتباط با سایر اجزای سیستم‌های داخل کابین و در برخی حالات دخالت در راهبری و اعمال کنترل لکوموتیو را شامل می‌شوند.



شکل ۴-۱ نمونه یک راهنمای راهبر داخل کابین

پیشنهادهای راهبری در این سیستم‌ها معمولاً شامل نمایش یک سرعت پیشنهادی و یا یک پروفایل سرعت در طی مسافت و زمان حرکت و یا نمایش زمان مناسب برای افزایش سرعت، کاهش سرعت یا خلاصی می‌شود. اطلاعات زمانبندی در سیستم راهنمای راهبر، به راهبر اطلاع خواهند داد که قطار، با توجه به پروفایل سرعت بهینه ارائه شده، در زمانی زودتر و یا دیرتر از موعد به مقصد خواهد رسید.

در کنار این اطلاعات، مواردی چون پروفایل شیب و فراز، مصرف انرژی و در برخی سیستم‌ها موقعیت قطارهای دیگر و اطلاعات خرابی‌ها و هشدارهای حرکتی برای راهبر نمایش داده می‌شوند.



فصل چهارم: پیاده سازی و تست سیستم راهنمای لکوموتیوران و طراحی سیستم کنترل کروز



۴-۱-۲ طراحی و پیاده سازی پایلوت راهنمای لکوموتیوران

با توجه به تعریف و نیازهای سیستم بهینه سازی مصرف سوخت، لازم است تا مواردی مانند شیب و فراز، مکان سیگنال‌ها، سرعت مجاز خط، نام بلاک، سرعت کنونی قطار، نمودار سرعت _ مسافت کنونی قطار و نمودار سرعت _ مسافت پیشنهادی سیستم بهینه سازی، برای راهبر قطار نمایش داده شود.

همچنین در مواقع خاص، ورودی‌هایی نظیر نوع قطار (مسافری یا باری)، تعداد واگن‌ها و انتخاب مسیر نیز باید از راهبر به عنوان ورودی سیستم اخذ شده و سیستم مطابق آنها خود را به روز رسانی کند.

اطلاعات باید به صورت بلادرنگ^{۱۲} و بدون خطا در صفحه نمایشی رنگی با شفافیت بالا نمایش داده شده و صفحه نمایش طوری نصب شود که مانع دید راهبر قطار نشده و در حین حال به آسانی در دیدرس راهبر باشد. صفحه نمایش مورد نظر باید دارای مشخصات سخت افزاری مناسب بوده تا بتواند نمایش بلادرنگ و بدون عقب افتادگی^{۱۳} اطلاعات را به درستی انجام داده و در حین کار متوقف^{۱۴} نشود. ورودی‌های اخذ شده از راهبر به صورت لمسی و یا ترجیحاً کلیدهای مکانیکی، بعد از ذخیره سازی در خود صفحه نمایش و سیستم باید در تمام طول مسیر معتبر بوده و به جز با اراده راهبر، تغییر نکند.

با توجه به محیط خشن و حاوی نویز لکوموتیو، صفحه نمایش مورد استفاده باید کاملاً صنعتی با معیارهای IP بالا و قابلیت تحمل شوک و لرزش‌های بسیار بالا باشد. پیوند ارتباطی بین صفحه نمایش و سیستم بهینه سازی مصرف سوخت نیز باید تحمل دریافت نویز و طویل بودن فاصله ارتباطی را داشته تا در انتقال اطلاعات خدشه ای وارد نشود.

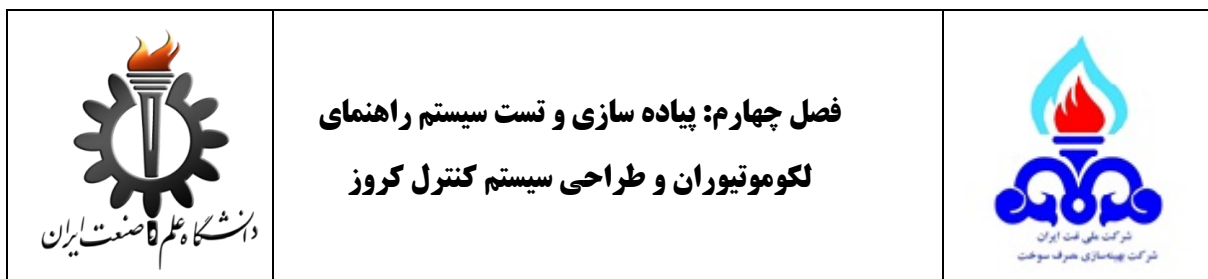
تنظیم صفحه نمایش و سیستم مرتبط با آن باید به گونه ای باشد که حین راه اندازی مجدد و یا راه اندازی در بین مسیر، سریعاً مکان یابی قطار را انجام داده و اطلاعات مرتبط با آن مسیر را با توجه به موقعیت کنونی قطار نمایش دهد.

محل نصب صفحه نمایش باید از نظر ایمنی و امنیت مورد بررسی قرار گیرد طوری که در اثر لرزش‌های قطار، صفحه نمایش لرزشی نداشته که به سبب آن، اتصالات الکتریکی و ارتباطی جدا شود و همینطور قابلیت

^{۱۲} Real-time

^{۱۳} Lag

^{۱۴} Freeze



جداسازی صفحه نمایش از محل نصب و دسترسی به محتویات و برنامه ریزی آن برای کاربران (به غیر از مهندسين مربوطه) وجود نداشته باشد.

محیط گرافیکی طراحی شده برای صفحه نمایش باید دارای وضوح بالا و قابل درک برای تمام کاربران باشد. در محیط گرافیکی طراحی شده ترجیحاً از رنگ‌های مختلف جهت تفکیک عناصر مختلف نمایش داده شده در صفحه استفاده شود. نیاز است تا در کنار اطلاعات کنونی قطار، اطلاعات مسیر پیش رو نیز در فواصل ثابت و مشخص برای راهبر نمایش داده شود؛ از جمله اطلاعاتی مثل شیب و فراز پیش رو، سیگنال‌های پیش رو و پروفایل سرعت پیشنهادی.

۴-۱-۲-۱ توصیف سیستم راهنمای راهبر مورد استفاده

با استفاده از سیستم ارتباط با راهبر تعریف شده، راهبر می‌تواند به صورت بلادرنگ از اطلاعات شیب و فراز و مکان سیگنال‌های پیش رو مطلع شده و همین‌طور می‌تواند سرعت کنونی واقعی خود را با توجه به پروفایل سرعت ارائه شده، به سرعت پیشنهادی نزدیک کند.

سیستم ارتباط با راهبر مورد استفاده در این پروژه، دستگاه HMI ساخته شرکت Delta بوده که دارای صفحه نمایش ۷ اینچی و دارای قابلیت ارتباط RS۴۸۵ با سیستم اصلی است.



شکل ۴-۲ صفحه نمایش Delta DOP-B ۱۵.۴۰"ک

اطلاعات نمایش داده شده در این صفحه نمایش به صورت زیر است:



فصل چهارم: پیاده سازی و تست سیستم راهنمای لکوموتیوران و طراحی سیستم کنترل کروز

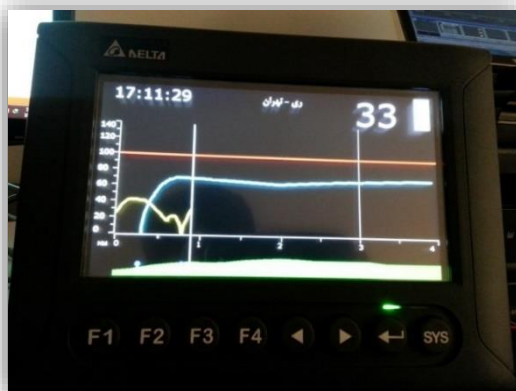


- سرعت کنونی قطار
- حداکثر سرعت مجاز بلاک (به رنگ قرمز)
- نام بلاک کنونی
- مسافت کل طی شده
- پروفایل سرعت پیشنهادی (به رنگ آبی)
- پروفایل سرعت کنونی (به رنگ زرد)
- شیب و فراز (به رنگ سبز)
- مکان سیگنال‌ها
- ساعت

همچنین اطلاعات زیر از راهبر به عنوان ورودی سیستم به صورت لمسی دریافت می‌شوند.

- نوع قطار (مسافری یا باری)
- تعداد واگن‌ها
- مسیر حرکت مورد نظر

اطلاعات شیب و فراز، پروفایل سرعت پیشنهادی و سرعت مجاز خط استخراج شده از پایگاه داده سیستم بهینه‌سازی مصرف سوخت، برای هر ۴ کیلومتر برای راهبر نمایش داده شده و راهبر پس از طی ۳ کیلومتر از این مسافت می‌تواند از اطلاعات ۴ کیلومتر بعدی مسیر، با تغییر صفحه در HMI، مطلع شود. اطلاعات سرعت و پروفایل سرعت کنونی قطار هر یک ثانیه با توجه به داده‌های GPS به روز رسانی می‌شود.



شکل ۴-۳ صفحه نمایش تنظیم و نصب شده در لکوموتیو

در صورت قطع ارتباط صفحه نمایش با سیستم بهینه سازی مصرف سوخت و یا GPS، همچنین به هنگام به روز رسانی اطلاعات روی صفحه نمایش، عبارت "لطفاً صبر کنید" برای کاربر نمایش داده می شود و سرعت و مسافت طی شد در این حالت محو خواهند شد تا خطایی در راهبری به هنگام در دسترس نبودن اطلاعات در صفحه نمایش ایجاد نشود.

۴-۱-۳ پیاده سازی سیستم در یک مسیر

سیستم راهنمای راهبر معرفی شده در بخش قبل بر روی لکوموتیو ۹۸۸ و لکوموتیو ۵۴۲ (مدل GT۲۶ از سری لکوموتیوهای GM) در مسیر تهران- سپهرستم پیاده سازی شده است. این مسیر در محور تهران- قم قرار دارد و دارای ۶ بلاک می باشد. میانگین شیب و فراز در این مسیر ۲,۴۵- در هزار متر است.

اطلاعات مربوط به تعداد بلاک ها و طول هر بلاک در این مسیر در جدول ۴-۱ آورده شده است. اطلاعات مربوط به مسافت ها و طول هر بلاک با استفاده از اطلاعات GPS بدست آمده است. لازم به ذکر است فواصل از ایستگاه تا ایستگاه در نظر گرفته شده است.

جدول ۴-۱ فاصله بلاک های مسیر تهران- سپهرستم

نام بلاک	طول بلاک (کیلومتر)
تهران- تپه سفید	۹,۹
تپه سفید- اسلامشهر	۱۰,۳۱
اسلامشهر- فرودگاه	۲۲,۶۹
فرودگاه- علی آباد	۱۸,۸
علی آباد- دریاچه نمک	۳۲,۲۵
دریاچه نمک- سپهرستم	۲۱,۸۵



فصل چهارم: پیاده سازی و تست سیستم راهنمای لکوموتیوران و طراحی سیستم کنترل کروز



۴-۱-۴ تحلیل نتایج بکارگیری سیستم راهنمای لکوموتیوران در مسیر

۴-۱-۴-۱ تحلیل داده‌های واقعی سیر و تست لکوموتیو ۹۸۸

در این بخش میزان مصرف سوخت و برخی از پارامترهای مرتبط لکوموتیو شماره ۹۸۸ استخراج شده است. اطلاعات و تحلیل‌های ارائه شده در این گزارش بر اساس اندازه‌گیری‌های واقعی انجام شده بر روی لکوموتیو مورد اشاره و با استفاده از سنسورهای مختلفی همچون سنسور اندازه‌گیری مصرف لحظه‌ای سوخت موتور دیزل لکوموتیو، سنسور توان ژنراتور، سنسور تشخیص ناچ و حرکت خلاص لکوموتیو در حین کنترل قطار و سنسور تعیین موقعیت لکوموتیو تهیه گردیده است.

اطلاعات ارائه شده بر اساس داده‌های خام اخذ شده از سنسورهای مزبور در طی سه ماه دی، بهمن و اسفندماه در طول سیر لکوموتیوهای صورت گرفته ۹۸۸ است. اطلاعات فنی ارائه شده شامل تحلیل داده‌های حاصل از سنسورهای مذکور برای مسیر تهران- سپهرستم در سناریوهای مختلف می‌باشد و در کل شامل موارد زیر می‌باشد:

- مشخصات مسیرهای طی شده
- مصرف سوخت قطار در هر بلاک
- مدت زمان طی مسیر در هر بلاک
- میانگین سرعت
- متوسط شیب مسیر
- پروفیل باربر حسب زمان
- پروفیل بار بر حسب مسافت
- پروفیل سرعت

مطابق جدول ۴-۲ داده‌های واقعی سیر لکوموتیو در مسیر تهران- سپهرستم در حالت عادی و تست الگوریتم بهینه سازی لکوموتیو ۹۸۸ تحلیل و مقایسه شده‌اند.

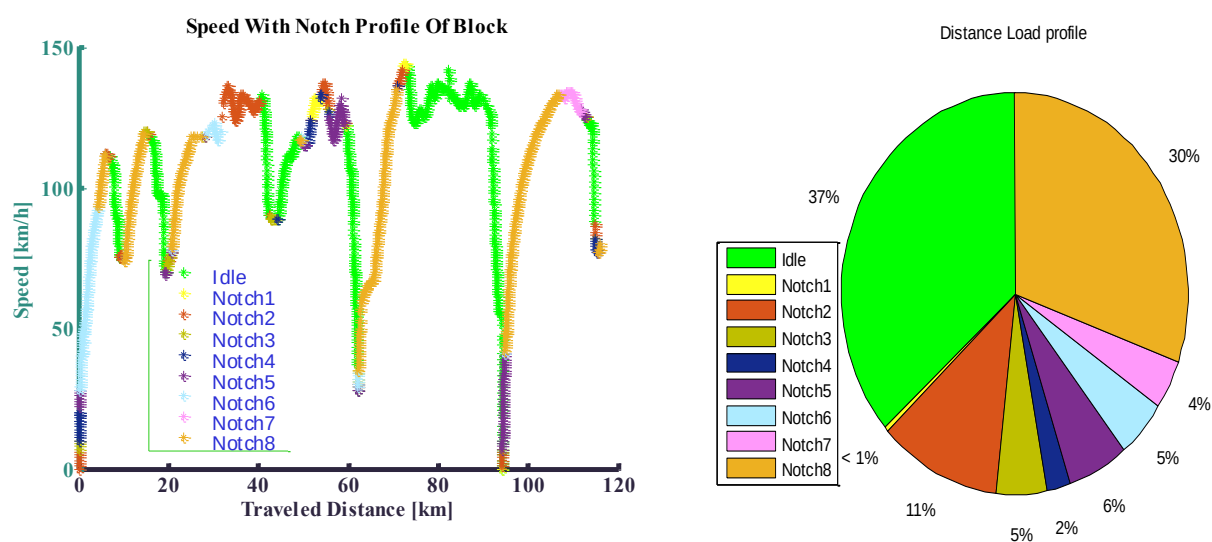
	فصل چهارم: پیاده سازی و تست سیستم راهنمای لکوموتیوران و طراحی سیستم کنترل کروز	
--	--	--

جدول ۲۴- مقایسه مصرف سوخت در شرایط عادی و تست لکوموتیو ۹۸۸

تاریخ سیر	مدت زمان حرکت (دقیقه)	میانگین سرعت متوسط (کیلومتر/ساعت)	حجم کل سوخت مصرفی (لیتر)
سیر عادی ۹۴/۱۱/۲۶	۷۱,۵	۹۷,۲۸	۳۳۹,۴۲
سیر عادی ۹۴/۱۱/۳۰	۷۳,۴۳	۹۵,۰۲	۲۹۷,۵
سیر عادی ۹۴/۱۲/۲	۷۴,۷۶	۹۱,۳۸	۲۹۳,۵
سیر عادی ۹۴/۱۲/۵	۶۸,۱	۱۰۳,۱	۳۰۸,۱۶
سیر عادی ۹۴/۱۲/۷	۶۶,۸	۱۰۲,۳	۳۱۳,۳
سیر تست ۹۴/۱۲/۱۰	۷۴,۷	۹۳,۸۹	۱۹۱,۰۳
سیر تست ۹۴/۱۲/۱۷	۷۴,۷	۹۳,۳۹	۱۹۸,۰۶

۴-۱-۱-۱-۱ تحلیل نتایج سیر عادی قطار در مسیر - تاریخ ۹۴/۱۱/۲۶

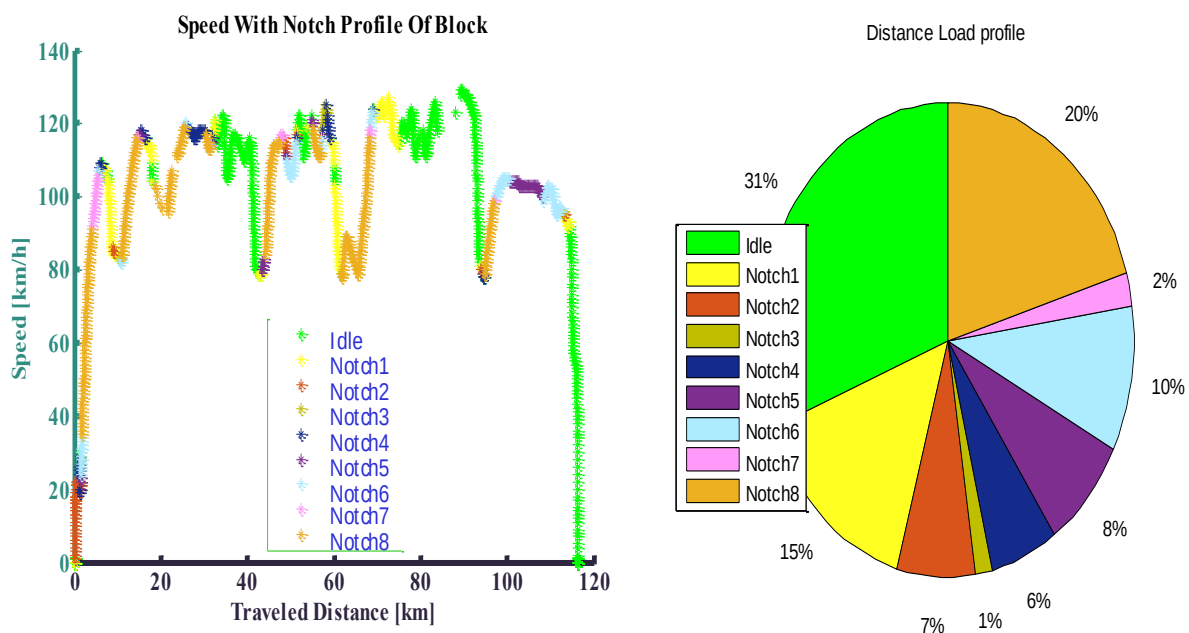
در زیر نمودار پروفیل بار که مشخص کننده درصد میزان استفاده از ناچ‌های مختلف در طی مسیر است و پروفیل سرعت کل مسیر به همراه ناچ آورده شده است.



شکل ۴-۴ نمودار پروفیل بار و سرعت لکوموتیو ۹۸۸ در تاریخ ۹۴/۱۱/۲۶

۴-۱-۴-۲ تحلیل نتایج سیر عادی قطار در مسیر - تاریخ ۹۴/۱۱/۳۰

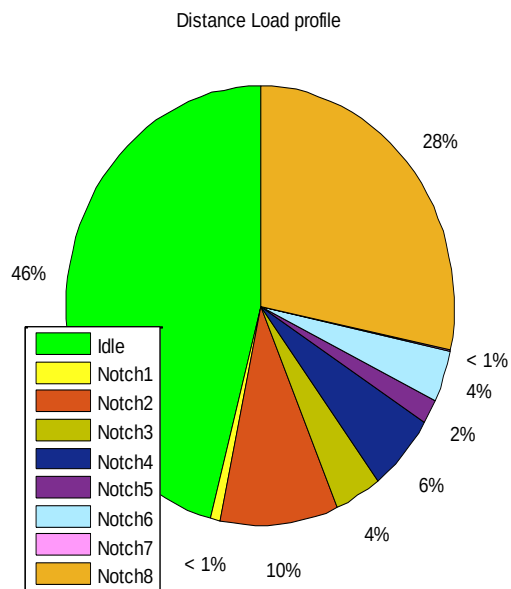
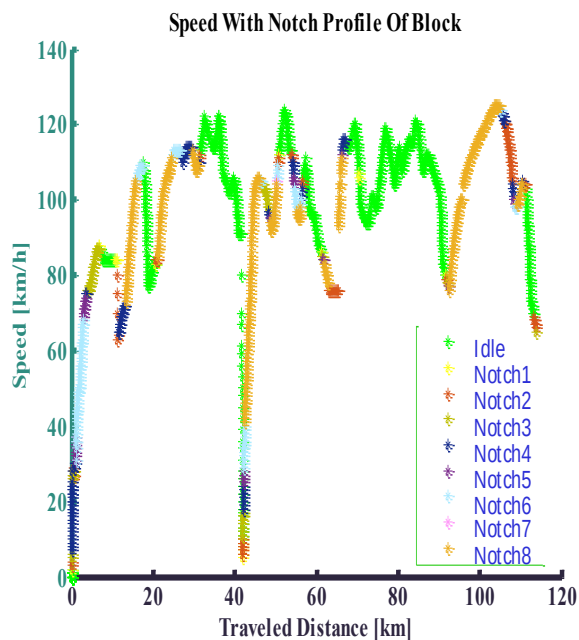
در زیر نمودار پروفیل بار که مشخص کننده درصد میزان استفاده از ناچ‌های مختلف در طی مسیر است و پروفیل سرعت کل مسیر به همراه ناچ آورده شده است.



شکل ۴-۵ نمودار پروفیل بار و سرعت لکوموتیو ۹۸۸ در تاریخ ۹۴/۱۱/۳۰

۴-۱-۴-۳ تحلیل نتایج سیر عادی قطار در مسیر - تاریخ ۹۴/۱۲/۲

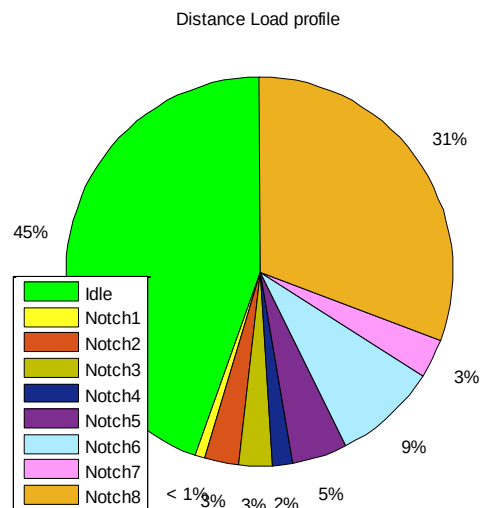
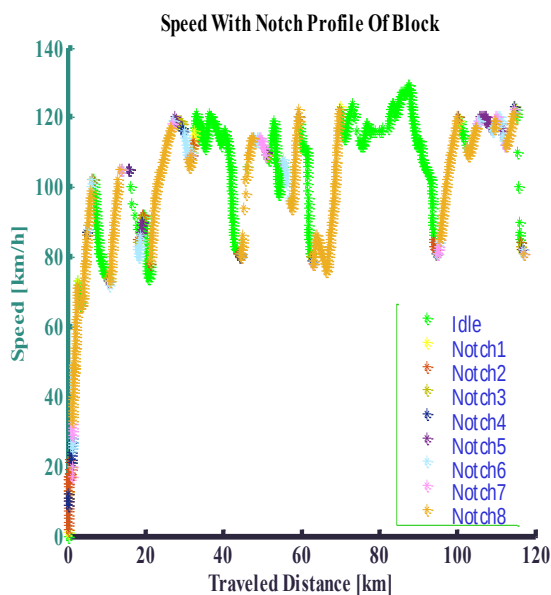
در زیر نمودار پروفیل بار که مشخص کننده درصد میزان استفاده از ناچ‌های مختلف در طی مسیر است و پروفیل سرعت کل مسیر به همراه ناچ آورده شده است.



شکل ۴-۶ نمودار پروفیل بار و سرعت لکوموتیو ۹۸۸ در تاریخ ۹۴/۱۲/۲

۴-۱-۴-۱-۴ تحلیل نتایج سیر عادی قطار در مسیر - تاریخ ۹۴/۱۲/۵

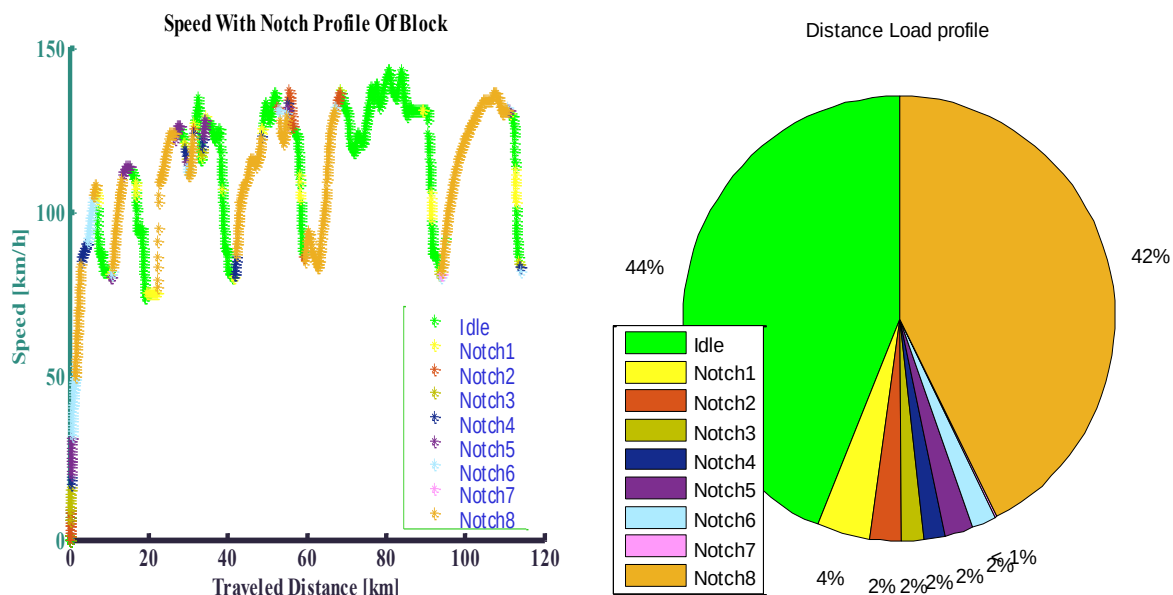
در زیر نمودار پروفیل بار که مشخص کننده درصد میزان استفاده از ناچ‌های مختلف در طی مسیر است و پروفیل سرعت کل مسیر به همراه ناچ آورده شده است.



شکل ۴-۷ نمودار پروفیل بار و سرعت لکوموتیو ۹۸۸ در تاریخ ۹۴/۱۲/۵

۴-۱-۴-۱-۵ تحلیل نتایج سیر عادی قطار در مسیر - تاریخ ۹۴/۱۲/۷

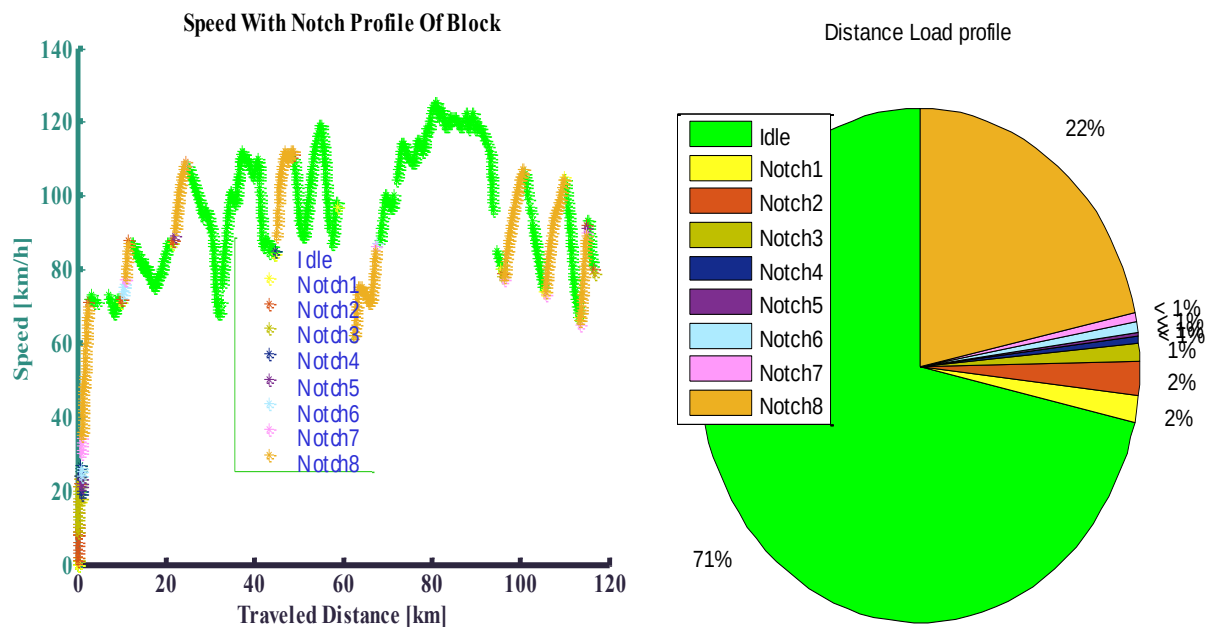
در زیر نمودار پروفیل بار که مشخص کننده درصد میزان استفاده از ناچ‌های مختلف در طی مسیر است و پروفیل سرعت کل مسیر به همراه ناچ آورده شده است.



شکل ۴-۸ نمودار پروفیل بار و سرعت لکوموتیو ۹۸۸ در تاریخ ۹۴/۱۲/۷

۴-۱-۴-۶ تحلیل نتایج بکارگیری سیستم راهنمای لکوموتیوران در مسیر - تاریخ ۹۴/۱۲/۱۰

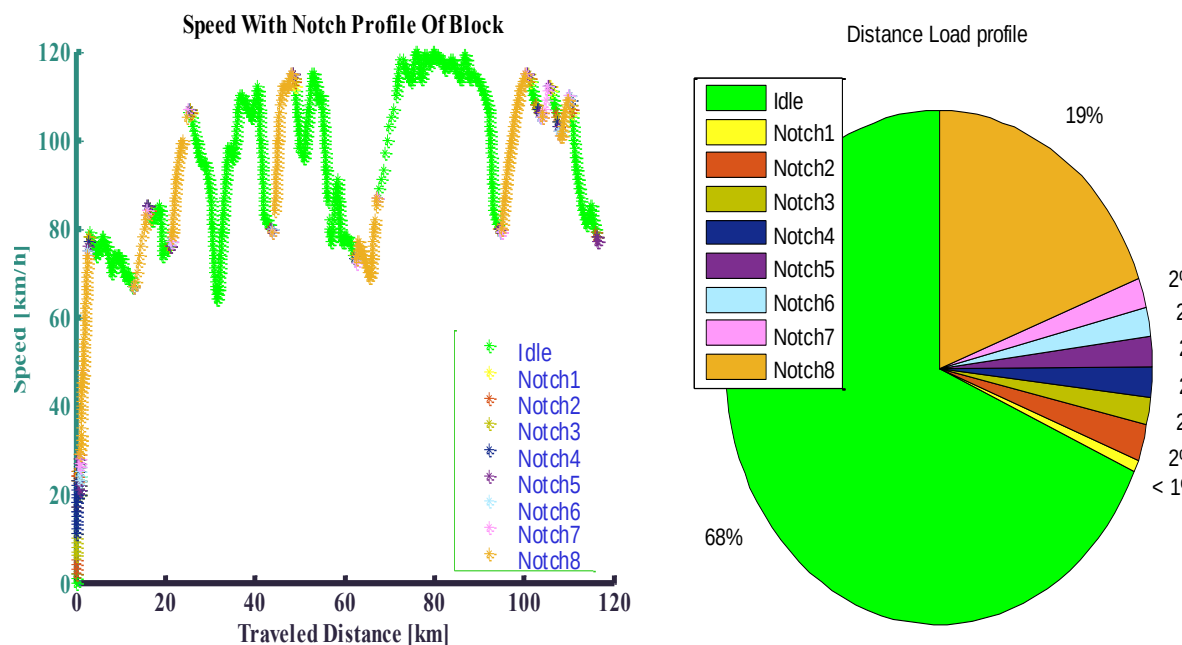
در زیر نمودار پروفیل بار که مشخص کننده درصد میزان استفاده از ناچ‌های مختلف در طی مسیر است و پروفیل سرعت کل مسیر به همراه ناچ آورده شده است.



شکل ۹-۴ نمودار پروفیل بار و سرعت لکوموتیو ۹۸۸ در تاریخ ۹۴/۱۲/۱۰

۴-۱-۴-۷ تحلیل نتایج بکارگیری سیستم راهنمای لکوموتیوران در مسیر - تاریخ ۹۴/۱۲/۱۷

در زیر نمودار پروفیل بار که مشخص کننده درصد میزان استفاده از ناچ‌های مختلف در طی مسیر است و پروفیل سرعت کل مسیر به همراه ناچ آورده شده است.



شکل ۴-۱۰ نمودار پروفیل بار و سرعت لکوموتیو ۹۸۸ در تاریخ ۹۴/۱۲/۱۷

۴-۱-۲ تحلیل داده‌های واقعی سیر و تست لکوموتیو ۵۴۲

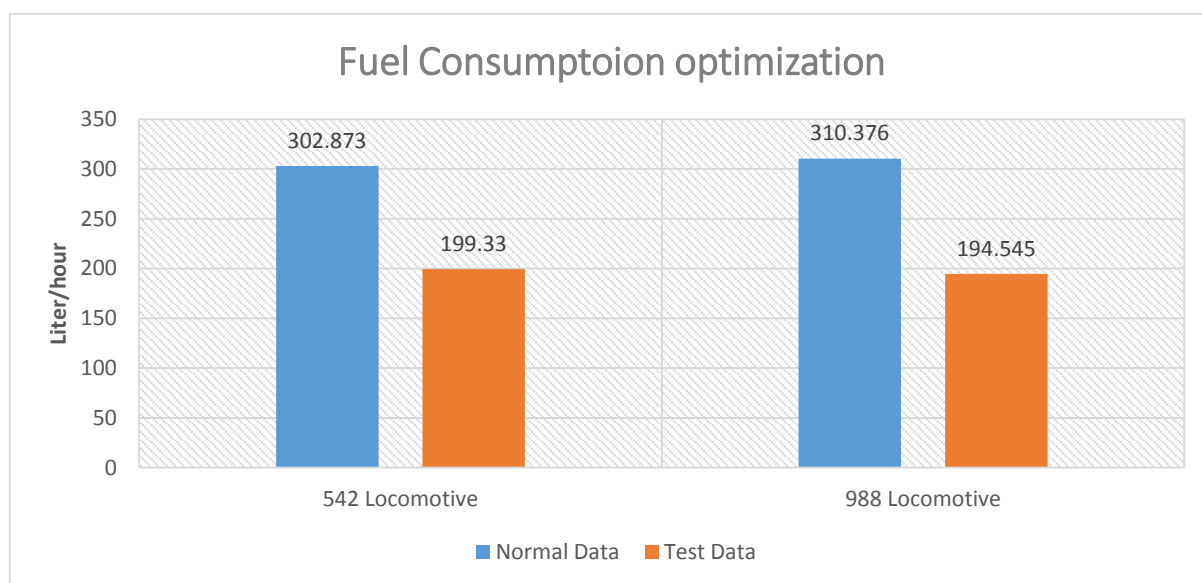
مطابق جدول ۴-۳ داده‌های واقعی سیر لکوموتیو در مسیر تهران - سپهرستم در حالت عادی و تست الگوریتم بهینه سازی لکوموتیو ۵۴۲ تحلیل و مقایسه شده‌اند.

جدول ۴-۳ مقایسه مصرف سوخت در شرایط عادی و تست لکوموتیو ۵۴۲

تاریخ سیر	مدت زمان حرکت (دقیقه)	میانگین سرعت متوسط (کیلومتر/ساعت)	حجم کل سوخت مصرفی (لیتر)
سیر عادی ۹۴/۱۰/۲۹	۹۴،۴۳	۷۳،۷۸	۳۰۸،۰۱
سیر عادی ۹۴/۱۲/۱	۸۲،۴۵	۱۱۲،۱۲	۲۹۳،۶۱
سیر عادی ۹۴/۱۲/۱۲	۶۸،۶	۱۰۲،۱۴	۳۰۷
سیر تست ۹۴/۱۲/۱۳	۷۱،۲۶	۹۷،۶۵	۱۹۹،۳۳

۴-۱-۳ جمع بندی و نتیجه گیری

با توجه به تحلیل نتایج انجام گرفته در شرایط سیر واقعی و تست لکوموتیوهای ۹۸۸ و ۵۴۲ جمع بندی میزان درصد کاهش مصرف سوخت مطابق نمودار و جدول ذیل می باشد:



شکل ۴-۱۱ میزان درصد کاهش مصرف سوخت

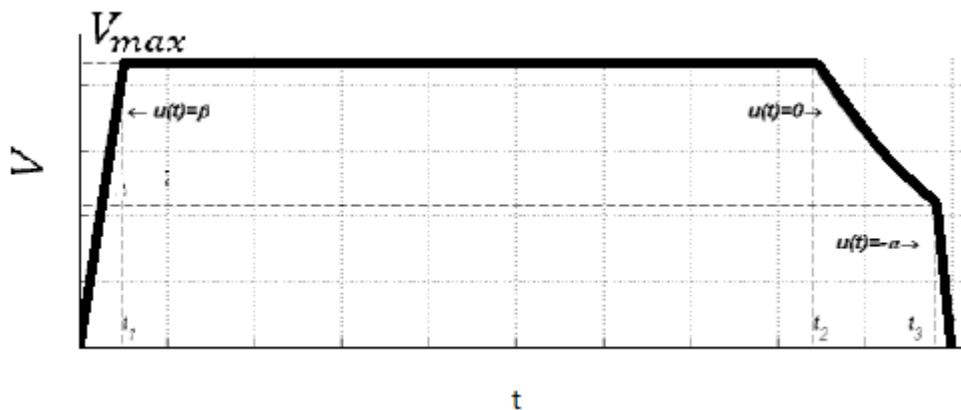
جدول ۴-۴ نتایج میزان درصد کاهش مصرف سوخت

میزان درصد کاهش مصرف سوخت	شماره لکوموتیو
۳۷,۳۱	لکوموتیو ۹۸۸
۳۴,۱۸	لکوموتیو ۵۴۲

۴-۲ سیستم کنترل کروز

۴-۲-۱ تحلیل تاثیر بکارگیری سیستم کنترل کروز بر مصرف سوخت

قطار در حرکت، همواره در یکی از فازهای حرکتی شتابگیری، حرکت با سرعت ثابت، حرکت خلاص و یا ترمزگیری قرار دارد. به فاز حرکتی سرعت ثابت کروزینگ گفته می شود.



شکل ۴-۱۲ پروفیل سرعت با مودهای شتابگیری، حرکت با سرعت ثابت، حرکت خلاص و ترمزگیری

در حرکت کروز سیستم کنترل با شتابگیری و یا ترمزگیری در شرایط مختلف مسیر، سرعت قطار را در میزان ثابت تعیین شده حفظ می کند. میزان نزدیکی به سرعت تعیین شده، به دقت و نوع سیستم کنترل قطار وابسته است. در واقع حرکت کروز با توجه به نوع سیستم کنترل ممکن است به شکل های مختلفی انجام شود.

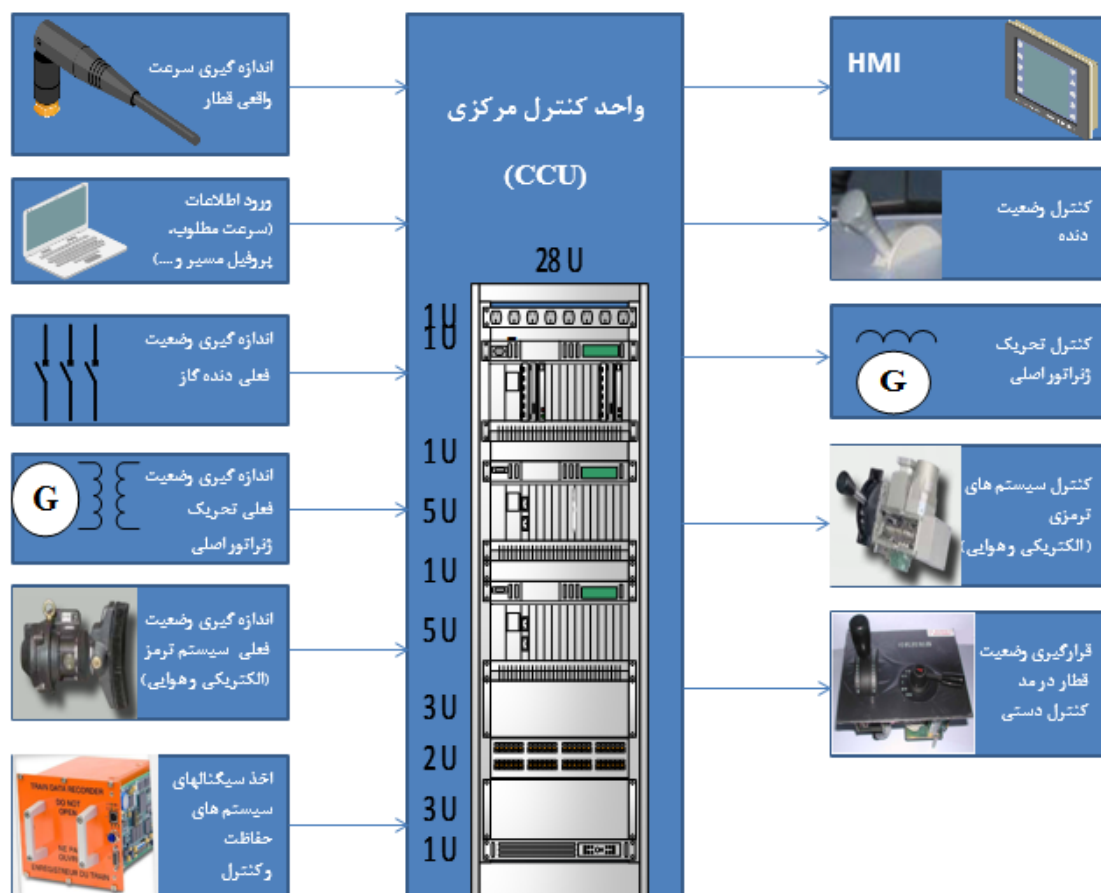
در این گزارش استراتژی حرکت قطار شامل مود کروزینگ در چند حالت تعریف می شود. بعد از آن الگوریتم بهینه با ترکیب روش مترومایزر و ژنتیک به طور مختصر تعریف می گردد و در نهایت به مقایسه استراتژی بهینه با استراتژی شامل مود کروزینگ می پردازیم.

۴-۲-۱-۱ مقایسه انرژی مصرفی در حالت های مختلف

استراتژی بهینه حرکت برای زمان مشخص تعریف می شود. هنگام طراحی این استراتژی برای مسیرهای واقعی از داده های سیر و حرکت استفاده می کنیم. برای مسیر فرضی ده کیلومتری بدون شیب و قوس که شبیه سازی های بخش های قبل در آن انجام شده بود زمان سیر را ۵۳۰ ثانیه در نظر گرفته شده و پروفیل حرکت بهینه را در این مسیر به شکل زیر بدست آمده است. در این قسمت با استراتژی حرکت با سناریوهای مختلف شبیه سازی شده و میزان مصرف سوخت این سناریوها استراتژی حرکت بهینه مقایسه گردیده است.

جدول ۴-۵ مقایسه انواع استراتژی حرکت با حالت بهینه

استراتژی حرکت	زمان تغییر ناچ	مصرف سوخت	مصرف سوخت اضافی
بهینه	۳ ثانیه	۲۰,۳۰۴۵	-
شتاب-کروز-ترمز	۳ ثانیه	۲۲,۵۷۵۳	۱۱,۱۸٪
شتاب-کروز-خلاص-ترمز	۳ ثانیه	۲۱,۵۳۲۱	۶,۰۴٪
شتاب-کروز-خلاص-ترمز	۱۰ ثانیه	۲۱,۵۵۵۶	۶,۱۶٪
شتاب-کروز-خلاص-ترمز	۲۰ ثانیه	۲۱,۵۲۳۱	۶,۰۴٪
شتاب-کروز-خلاص-ترمز	۶۰ ثانیه	۲۰,۸۳۰۰	۲,۵۸٪



شکل ۴-۱۳ بلوک دیاگرام سیستم کنترل سرعت لکوموتیو

	فصل چهارم: پیاده سازی و تست سیستم راهنمای لکوموتیوران و طراحی سیستم کنترل کروز	
--	--	--

۴-۲-۲ جمع بندی

در این بخش طراحی تفصیلی سیستم کنترل سرعت لکوموتیو ارائه شد. در ابتدای این بخش، قسمت‌های برقی مرتبط با سیستم کنترل سرعت از لکوموتیو GT۲۶CW معرفی شد. پس از آن خصوصیات سیستم کنترل لکوموتیو جمع بندی و در نهایت سیستم کنترل سرعتی که برای لکوموتیو GT۲۶CW در نظر گرفته شده است ابتدا در قالب فلوچارت و سپس در قالب بلوکهای سخت افزاری معرفی شد.



فصل پنجم: ارائه شاخصهای مصرف سوخت با استفاده از نتایج ممیزی انرژی و سوخت



فصل پنجم:

ارائه شاخصهای مصرف سوخت با استفاده از نتایج ممیزی انرژی و سوخت (فاز ۵)

۵-۱ ارائه نتایج حاصل از ممیزی انرژی و سوخت

در این پروژه، با نصب تجهیزات اندازه‌گیری بر روی ۲۰ دستگاه لکوموتیو در انواع ۷ گانه $G12, G22, GT26CW$ (ساخت کارخانجات جنرال موتورز) $GE-C-Vi$ (ساخت کارخانجات جنرال الکتریک)، $AD43C-2$ (ساخت کارخانجات آلستوم)، $ER24PC$ (ساخت کارخانجات زیمنس) و $HD10C$ (ساخت کارخانجات هیتاچی)، میزان مصرف سوخت لکوموتیوها به صورت منفرد و در آرایش قطارهای مسافری و باری، در شرایط متفاوت دما، رطوبت، بدون بار/باردار و شیب و فراز محورهای ریلی کشور اندازه‌گیری گردید.

	فصل پنجم: ارائه شاخصهای مصرف سوخت با استفاده از نتایج ممیزی انرژی و سوخت	
--	--	--

۵-۲ شاخص میزان مصرف سوخت

همانگونه که در قسمتهای قبلی ذکر شد مقادیر شاخص مصرف سوخت به عوامل زیادی از جمله پارامترهای زیر بستگی دارد:

- پروفیل طولی و عرضی مسیر
 - نحوه بهره برداری (تناژ و آرایش قطار و میزان ترافیک عبوری، مدت زمان سیر و توقف لکوموتیو)
 - شرایط آب و هوایی و محیطی
 - نحوه راهبری قطار (پروفیل سرعت و بار سیر)
 - تنوع پارامترهای فنی ناوگان مورد بررسی مانند: میزان نیروی کشش لکوموتیوها و ...
 - کیفیت سوخت مصرفی
 - وضعیت سلامت و فرسودگی ناوگان
- با توجه به متغیر بودن این پارامترها در ناوگان مورد بررسی تدوین و ارائه مقداری واحد و معین برای شاخص مصرف سوخت به طور دقیق امکان پذیر نمی باشد. البته با انجام ساده سازی میتوان مقادیر میانگین شاخص سوخت مصرفی را در مسیرهایی با شیب صفر (خط مستقیم) به شرح ذیل ارائه داد:

میانگین شاخص مصرف سوخت در مسیرهای مختلف حمل مسافر

با توجه به نتایج حاصل شده از اندازه گیری ها، متوسط سوخت مصرفی لکوموتیوهای GM در آرایش قطار مسافری در مسیرهای مختلف برابر $0,0076$ لیتر بر نفر- کیلومتر اندازه گیری شد.

با توجه به نتایج حاصل شده از اندازه گیری ها، متوسط سوخت مصرفی لکوموتیوهای زیمنس در آرایش قطار مسافری در مسیرهای مختلف برابر $0,00708$ لیتر بر نفر- کیلومتر اندازه گیری شد.

میانگین شاخص مصرف سوخت در مسیرهای مختلف حمل بار

با توجه به نتایج حاصل شده، متوسط سوخت مصرفی لکوموتیوهای GM در آرایش قطار باری در مسیرهای مختلف با میانگین شیب صفر (خط مستقیم) برابر $0,0056$ لیتر بر تن- کیلومتر اندازه گیری شد.

همچنین متوسط سوخت مصرفی لکوموتیوهای GE در آرایش قطار باری در مسیرهای مختلف با میانگین شیب صفر (خط مستقیم) برابر ۰,۰۵۲ لیتر بر تن- کیلومتر و متوسط سوخت مصرفی لکوموتیو آلستوم ۰,۰۵۱ لیتر بر تن- کیلومتر اندازه‌گیری شد

۵-۳ تدوین شاخصهای مصرف سوخت

با توجه به مطالعات انجام شده پیرامون تحقیقات و پروژه‌های اجرایی در جهت بررسی کنترل میزان مصرف سوخت در سایر کشورهایی که ناوگان حمل و نقل ریلی آنها از سیستم دیزل-الکتریک (مشابه سیستم حمل و نقل ریلی ایران) استفاده می‌کند، شاخص‌های اصلی زیر در این پروژه انتخاب گردید. همچنین توصیه‌های اتحادیه بین‌المللی راه‌آهن‌ها (UIC^{۱۵}) در فیش شماره ۳۳۰ شاخص‌هایی را برای میزان مصرف انرژی در قطارهای دیزل-الکتریک و برقی معرفی نموده است که در این پروژه مورد استناد قرار گرفت.

۵-۳-۱ شاخص مصرف سوخت در قطارهای مسافری

مراجعی که از سیستم دیزل-الکتریک برای تشکیل و اعزام قطارهای مسافری (مركب از لکوموتیو، واگن حمل مسافر، واگنهای خدماتی مثل رستوران، مولد برق و ...) استفاده می‌کنند، شاخص میزان مصرف سوخت بر حسب مسافر جابجا شده را در نظر می‌گیرند. واحدهای اندازه‌گیری این شاخص در جدول زیر ارائه گردیده‌است:

جدول ۵-۱ شاخص مصرف سوخت در قطارهای مسافری برگرفته از چند مرجع

ردیف	مرجع	شاخص مورد استفاده برای مصرف سوخت در قطارهای مسافری
۱	انجمن راه‌آهن‌های آمریکا (AAR)	$\text{Passenger.miles/US gallon}^{۱۶}$ (معادل ۰/۰۱ Lit/Passenger.km) Lit/۱۰۰ Passanger.km
۲	دپارتمان حمل و نقل کارولینای شمالی آمریکا	$\text{gr/Sec}^{۱۷}$
۳	UIC	Lit/Passenger.km
۴	اتحادیه اروپا (پروژه Rail Energy)	Lit/Seat.km

^{۱۵} UIC code ۳۳۰, ۱st edition, August ۲۰۰۸

^{۱۶} ۱ US gallon = ۳,۷۸۵۴۱ liter

^{۱۷} میزان گرم سوخت مصرفی بر ثانیه

در این پروژه به پیروی از اتحادیه بین المللی راه آهن ها، شاخص مصرف سوخت برای قطارهای مسافری با کشنده دیزل-الکتریک را با واحد

(لیتر سوخت مصرفی بر نفر-کیلومتر مسافر جابجا شده) Lit/Passenger.km

سنجیده می شود. بدیهی است برای انجام مقایسه میزان سوخت مصرفی قطارهای مسافری در کشور با سایر کشورها، واحدهای مندرج در جدول فوق به Lit/Passenger.Km تبدیل می گردد.

۵-۳-۲ شاخص مصرف سوخت در قطارهای باری

شاخص اصلی مورد استفاده در کشورهایی که حمل بار ریلی در آنها توسط لکوموتیوهای دیزل-الکتریک انجام می پذیرد شاخص میزان مصرف سوخت بر حسب بار جابجا شده می باشد. واحدهای مندرج در جدول ذیل را برای مصرف سوخت بر حسب بار جابجا شده در قطارهای باری (شامل لکوموتیو، انواع واگن های حمل بار و واگن انتهایی) به کار می برند.

جدول ۵-۲ شاخص مصرف سوخت در قطارهای باری برگرفته از چند مرجع

ردیف	مرجع	شاخص مورد استفاده برای مصرف سوخت در قطارهای باری
۱	انجمن راه آهن های آمریکا (AAR)	km/Lit
۲	دپارتمان حمل و نقل کارولینای شمالی آمریکا	g/Sec
۳	استرالیا (ARTC)	Lit/(Gross Tonne.km×۱۰۰۰)
۴	راه آهن هندوستان	Lit / Net Tonne.km
۵	UIC	Lit/Tonne.km
۶	اتحادیه اروپا (پروژه Railenergy)	Lit/Tonne .km



فصل پنجم: ارائه شاخصهای مصرف سوخت با استفاده از نتایج ممیزی انرژی و سوخت



در پروژه ممیزی سوخت و انرژی در حوزه ناوگان ریلی کشور و ارائه راهکارهای کاهش مصرف سوخت با توجه به عضویت راه‌آهن ایران در اتحادیه بین‌المللی راه‌آهن‌ها شاخص مصرف سوخت برای قطارهای باری با کشنده دیزل-الکترونیک با واحد

(لیتر سوخت مصرفی بر تن-کیلومتر بار جابجا شده) Lit/Tonne.km

انتخاب گردیده‌است. به جهت انجام ممیزی مصرف سوخت در قطارهای باری سایر واحدهای مندرج در جدول فوق به Lit/Tonne.km هم‌واحد شده‌اند. در این تعریف منظور از بار جابجا شده، بار ناخالص قطار می‌باشد.

۳-۳-۵ شاخص مصرف سوخت در موتور لکوموتیوها

با بررسی مشخصات فنی و کاتالوگ‌های هفت نوع لکوموتیو مورد مطالعه در این پروژه و فراهم آوردن قابلیت مقایسه سوخت مصرفی آنها شاخص مصرف سوخت موتور لکوموتیوها انتخاب گردید. کارخانه‌های سازنده لکوموتیو این شاخص را با واحد gr/kwh اندازه‌گیری می‌کنند.

۴-۵ تحلیل و جمع‌بندی راهکارهای کاهش مصرف

در این بخش به تحلیل خلاصه راهکارهای ارائه شده در فازهای قبل و جمع‌بندی راهکارها در جدول پایان فصل پرداخته شده‌است. راهکارهای مذکور در سه حوزه اصلی:

- فنی و زیربنایی
- ناوگان
- بهره‌برداری
- دسته‌بندی شده‌اند.

راهکارهای مندرج در جدول علاوه بر شرح مختصر از لحاظ نوع راهکار نیز به سه دسته اساسی، کمکی و جنبی تقسیم شده‌اند. همچنین راهکارهایی که روش اجرای آنها از طریق ارتقا و بهسازی میسر است با حرف (ب) و راهکارهایی که از روش اجرایی نوسازی و بازسازی انجام پذیرند، با حرف (ن) مشخص گردیده‌اند.

جدول ۳-۵ جمع بندی راهکارهای ارائه شده برای کاهش مصرف سوخت در راه آهن

حوزه اجرای راهکار	زمینه اجرای راهکار	عنوان راهکار	شرح مختصر راهکار	سطح اهمیت			روش اجرایی
				اساسی	کمکی	جنبی	
فنی و زیربنایی	خطوط	اصلاح شیب و فراز	کاهش تغییرات شدید و مکرر شیب و فراز در طراحی مسیرهای جدید		*		ب
		اصلاح طراحی ایستگاه	طراحی ایستگاه‌ها با شیب صفر تا ۲ در هزار و در موقعیت مرتفع‌تر نسبت به سایر نقاط مسیر		*		ن
		جداسازی خطوط باری و مسافری	کاهش ترافیک ترکیبی و توقفهای طولانی در یک مسیر	*			ن
		دو خطه کردن مسیر	جلوگیری از توقف متناوب جهت سبقت قطارهای پر سرعت و یا عبور قطارهای روبرو از کنار یکدیگر	*			ن
	علائم الکتریکی	جانمایی صحیح محل استقرار چراغ‌های علائم ورودی ایستگاه	محاسبه فاصله سیگنالهای Home و Distance متناسب با نوع بهره‌برداری، حداکثر سرعت و طول خط ترمز مجاز در محور		*		ب
		استفاده از سیستم ATP	کاهش محدوده همپوشانی (Overlap) مدارهای خط در داخل ایستگاه‌ها			*	ن
		استفاده از سیستم ATO	راهبری هوشمندانه قطار در شرایط مختلف مسیر	*			ن
		استفاده از Cab-signal	اعلام موقعیت سیگنالهای مسیر (نمای سیگنال) به لکوموتیوران در داخل کابین		*		ن
	توزیع و تزریق سوخت	مدیریت مخازن ثابت سوخت	استفاده از حسگرهای سطح سنج و کنترل نشستی سوخت از مخزن	*			ب
		استفاده از سیستم قطع کن در دستگاه‌های تزریق سوخت (دیسپنسر)	نصب شمارنده حجم سوخت تزریقی روی نازل و سیستم حسگر سطح سوخت داخل باک		*		ن
		مدیریت هوشمند تزریق و مصرف سوخت با استفاده از کارت هوشمند	کنترل وسیله نقلیه دریافت‌کننده سوخت و حجم سوخت تحویلی		*		ن
		مدیریت هوشمند تزریق و مصرف سوخت با استفاده از بارکد فرکانسی نصب شده روی بدنه مصرف‌کننده RFID	کنترل وسیله نقلیه دریافت‌کننده سوخت و حجم سوخت تحویلی		*		ن
		مدیریت هوشمند تزریق و مصرف سوخت با استفاده از ورود کد مشخصه مصرف‌کننده به صورت دستی (صفحه کلید داخل لکوموتیو یا پیام کوتاه)	کنترل وسیله نقلیه دریافت‌کننده سوخت و حجم سوخت تحویلی		*		ن

حوزه اجرایی راهکار	زمینه اجرایی راهکار	عنوان راهکار	شرح مختصر راهکار	سطح اهمیت			روش اجرایی
				اساسی	کمکی	جنبی	
ناوگان	طراحی موتور	استفاده از سیستم APU	کاهش زمان بی‌باری موتور و تامین تمام کارکرد های موتور اصلی		*		ن
		بهره‌گیری از سیستم AESS	صدور فرمان خودکار خاموش و روشن کردن موتور پس از زمان بی‌باری		*		ن
		استفاده از سیستم Plug-in	خاموش کردن موتور در زمان بی‌باری و تامین توان مورد نیاز موتور از شبکه برق ایستگاه		*		ن
		استفاده از باز یافت انرژی	باز یافت انرژی‌های حاصل از ترمز، گازهای خروجی ناشی از احتراق و گازهای خروجی از اگزوز	*			ن
		بهره‌گیری از فناوری هیبرید (ترکیبی) در لکوموتیو	استفاده از موتورهای ترکیبی (برق و گازوئیل)	*			ن
		استفاده از لکوموتیو چند موتوره	جایگزینی چند موتور احتراقی کوچک با توان پایین برای احتراق بهینه	*			ن
		بهره‌گیری از فناوری لکوموتیوهای سرباره	استفاده از یک لکوموتیو مازاد خاموش برای افزایش وزن و نیروی کشش	*			ن
		استفاده از سیستم کنترل پاشش سوخت و احتراق	جایگزینی سیستم انژکتوری بجای کاربراتور		*	*	ب
		استفاده از سیستم پایش وضعیت لکوموتیو	مانیتورینگ پارامترهای اصلی لکوموتیو		*	*	ن
	طراحی بوژی و جرخ و محور	روانکاری فلنچ چرخ	کاهش سایش چرخ و ریل با استفاده از پاشش روانکار		*	*	ب
		اصلاح پروفیل چرخ	بهبود دینامیک حرکت قطار و کاهش نیروهای مقاوم با اصلاح پروفیل چرخ		*	*	ب
		بهبود سیستم تعلیق	کاهش نیروهای مقاوم قطار و افزایش نیوی کشش لکوموتیو با بهینه‌سازی سیستم تعلیق		*	*	ب
		استفاده از بوژی‌های فرمان‌پذیر	کاهش نیروهای جانبی در قوس‌ها و عدم نیاز به تغییرات شدید سرعت		*	*	ن
		کاهش مقاومت غلتشی برای یاتاقان‌های سرمحور	کاهش نیروی اصطکاک بین محور و سرمحور		*	*	ب
	طراحی بدنه	اصلاح آیرودینامیک ناوگان	کاهش اثر نیروهای مقاوم هوا در برابر حرکت قطار		*	*	ب

روش اجرایی	سطح اهمیت			شرح مختصر راهکار	عنوان راهکار	زمینه اجرایی راهکار	حوزه اجرایی راهکار
	جنبی	کمکی	اساسی				
ن		*		محدود کردن دامنه تغییرات سرعت و تطبیق توان با این تغییرات	استفاده از سیستم کنترل اتوماتیک کروز	راهبری قطار	بهره برداری
ن			*	ارائه پروفیل سرعت در مسیرهای مختلف و راهنمایی راهبر	استفاده از سیستم راهنمای راهبر		
ب		*		طراحی متناسب و هوشمندانه زمانبندی حرکت قطارها	اصلاح زمانبندی حرکت قطارها		
ب		*		برنامه ریزی حرکت برای قطارهای باری، مانند قطارهای مسافری	برنامه‌ای کردن قطارهای باری		
ب			*	انجام نگهداریهای دوره ایی و سیستمهای نگهداری بر اساس وضعیت condition based maintenance	اصلاح سیستم نگهداری و تعمیر		
ب		*		آموزش لکوموتیورانان برای مسیرهای مختلف شبکه با نحوه تاثیر راهبری بر مصرف	آموزش لکوموتیورانان		

	فصل پنجم: ارائه شاخصهای مصرف سوخت با استفاده از نتایج ممیزی انرژی و سوخت	
--	--	--

۵-۵ ارائه نتایج حاصل از ممیزی انرژی و سوخت

در این بخش راهکارهای کاهش مصرف سوخت که در فصل چهارم در سه حوزه فنی و زیربنایی، ناوگان و بهره‌برداری جمع‌بندی شده بودند از نظر قابلیت اقدام به سه گروه ذیل تقسیم گردیدند.

- ۱- راهکارهای تجربه شده و دارای قابلیت صدور دستورالعمل به منظور اجرا در طراحی و توسعه شبکه و ناوگان
- ۲- راهکارهای تجربه و تأیید شده در راه‌آهن‌های سایر کشورها که به منظور اجرا در راه‌آهن ایران نیاز به انجام مطالعات اقتصادی دارند.
- ۳- راهکارهایی که جنبه مطالعاتی، پژوهشی و آزمایشگاهی داشته و هنوز در دنیا بصورت عملیاتی تجربه نشده‌اند. توصیه به انجام مطالعات فنی و اقتصادی این گروه می‌گردد.

۵-۵-۱ دسته‌بندی راهکارها از لحاظ قابلیت اقدام

راهکارهای جمع‌بندی شده در فصل چهارم، از نظر قابلیت اقدام (صدور دستورالعمل به منظور اجرا، دستورالعمل اجرا در سیستمهای فعلی و توصیه برای انجام مطالعات اقتصادی، توصیه برای انجام مطالعات فنی و اقتصادی) در جدول ذیل دسته‌بندی شده‌اند. مطابق جدول ۵-۴ هر یک از راهکارها از لحاظ زمان اجرا و هزینه و میزان اثربخشی دارای یک ایندکس ۱ الی ۱۰ می‌باشند و اولویت‌بندی آنها براساس ضرب عدد این دو ستون انجام گرفته‌است. در این روش هرچه زمان اجرای راهکار کمتر و میزان اثربخشی راهکار بیشتر باشد، عدد ایندکس بالاتر بوده و در نتیجه ضرب این دو عدد رقم بیشتری شده و اولویت بالاتری را به خود اختصاص می‌دهد.

 دانشگاه علم و صنعت ایران	فصل پنجم: ارائه شاخصهای مصرف سوخت با استفاده از نتایج ممیزی انرژی و سوخت	 شرکت ملی نفت ایران شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت
--	--	--

جدول ۴-۵ دسته‌بندی راهکارهای کاهش مصرف سوخت از نظر قابلیت اقدام

قابلیت اقدام			اولویت	میزان اثر بخشی	زمان اجرا و هزینه	عنوان راهکار
نیاز به انجام مطالعات فنی و اقتصادی	دستورالعمل اجرا در سیستمهای فعلی	دستورالعمل جهت پروژه های آتی				
	*		۷۲	۹	۸	مدیریت هوشمند تزریق و مصرف سوخت
	*	*	۷۲	۸	۹	آموزش لکوموتیورانان
	*		۶۴	۸	۸	استفاده از سیستم راهنمای راهبر
	*		۴۸	۸	۶	برنامه ای کردن قطارهای باری
	*		۴۲	۷	۶	اصلاح سیستم نگهداری و تعمیر
	*		۴۲	۷	۶	اصلاح زمانبندی حرکت قطارها
	*	*	۴۲	۷	۶	مدیریت مخازن ثابت سوخت
*			۳۵	۷	۵	استفاده از سیستم ATO
	*	*	۳۵	۷	۵	جانمایی صحیح محل استقرار چراغ‌های علائم ورودی ایستگاه
	*		۲۸	۴	۷	اصلاح پروفیل چرخ
	*		۲۸	۴	۷	روانکاری فلنج چرخ
	*	*	۲۸	۴	۷	استفاده از سیستم پایش وضعیت لکوموتیو
*			۲۵	۵	۵	استفاده از سیستم کنترل پاشش سوخت و احتراق
*			۲۵	۵	۵	بهره‌گیری از فناوری لکوموتیوهای سرباره
	*	*	۲۴	۴	۶	استفاده از سیستم Plug-in
*	*		۲۴	۴	۶	استفاده از سیستم کنترل Idle شامل APU, AESS
*			۲۴	۴	۶	استفاده از Cab-signal

 دانشگاه علم و صنعت ایران	فصل پنجم: ارائه شاخصهای مصرف سوخت با استفاده از نتایج ممیزی انرژی و سوخت	 شرکت ملی نفت ایران شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت
--	---	--

قابلیت اقدام			اولویت	میزان اثربخشی	زمان اجرا و هزینه	عنوان راهکار
نیاز به انجام مطالعات فنی و اقتصادی	دستورالعمل اجرا در سیستمهای فعلی	دستورالعمل جهت پروژه های آتی				
*		*	۲۴	۸	۳	دو خطه کردن مسیر
*			۲۰	۴	۵	استفاده از سیستم کنترل اتوماتیک کروز
	*		۲۰	۴	۵	کاهش مقاومت غلتشی برای یاتاقانهای سرمحور
		*	۱۸	۶	۳	اصلاح آیرودینامیک ناوگان
*			۱۸	۶	۳	استفاده از لکوموتیو چند موتوره
*			۱۸	۶	۳	بهره‌گیری از فناوری هیبرید(ترکیبی) در لکوموتیو
*			۱۶	۴	۴	استفاده از بوژی‌های فرمان‌پذیر
*			۱۶	۴	۴	استفاده از بازیافت انرژی
		*	۱۶	۸	۲	خرید و جایگزینی لکوموتیو با مصرف سوخت کم
*		*	۱۶	۸	۲	جداسازی خطوط باری و مسافری
*			۱۵	۵	۳	استفاده از سیستم ATP
*	*	*	۱۵	۵	۳	اصلاح شیب و فراز
*		*	۱۴	۷	۲	اصلاح طراحی ایستگاه
*			۱۰	۲	۵	بهبود سیستم تعلیق
	*		۹	۱	۹	استفاده از سیستم قطع کن در دستگاه‌های تزریق سوخت(دیسپنسر)



فصل پنجم: ارائه شاخصهای مصرف سوخت با استفاده از نتایج ممیزی انرژی و سوخت



۵-۶ تدوین دستورالعملهای طراحی و توسعه شبکه و ناوگان با هدف کاهش مصرف سوخت

توسعه شبکه ریلی و احداث محورهای جدید (قزوین- رشت- انزلی، شیراز- عسلویه، ملایر- خسروی، همدان- سنندج و ...) توسط شرکت ساخت و توسعه زیربنای حمل و نقل ریلی انجام می‌پذیرد. در این محورها تمامی امکانات حوزه فنی و زیربنایی از قبیل احداث ایستگاه‌ها، نصب سیستم‌های علائم الکتریکی و ارتباطات، احداث جایگاه‌ای سوخت و غیره از طریق این شرکت اجرا می‌شود. به همین سبب ضرورت دارد تا در کمیته‌های تخصصی تدوین دستورالعمل‌های طراحی و توسعه شبکه ریلی نمایندگان شرکت مذکور حضور داشته باشند. همچنین شرکت ساخت و توسعه زیربنای حمل و نقل کشور باید مجری دستورالعمل‌های تدوین شده با هدف کاهش مصرف سوخت باشد.

با عنایت به اینکه تدوین دستورالعمل‌های اجرایی با هدف کاهش مصرف سوخت باید در کمیته‌های تخصصی با حضور کارشناسان صاحب نظر مورد بحث و بررسی قرار گرفته و با لحاظ نمودن محدودیت‌های عملیاتی به انجام رسد، در این بخش ترکیب کمیته‌های تخصصی و رؤس دستورالعمل‌ها قابل تدوین پیشنهاد شده‌است. راهکارهای مندرج در جدول ۴-۵ در قالب ۴ کمیته تخصصی و عناوین دستورالعمل‌های قابل تدوین در هر کمیته به شرح ذیل پیشنهاد می‌گردد.

۵-۶-۱ دستورالعمل‌هایی جهت احداث خطوط و تاسیسات جنبی در محورهای جدید

کمیته تخصصی مرکب از کارشناسان شرکت ساخت و توسعه زیربنای حمل و نقل کشور، حوزه فنی و زیربنایی شرکت راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران و مشاورین ذیصلاح دستورالعمل‌هایی جهت احداث خطوط و تاسیسات جنبی در محورهای جدید با رؤس عناوین ذیل تدوین نمایند:

- متناسب با حداکثر سرعت سیر قطارها در هر مسیر و نوع کاربری آن مسیر (مسافری/باری/مختلط) و همچنین ملاحظات ایمنی، جانمایی چراغ‌های علائم الکتریکی ورودی ایستگاه‌ها به گونه‌ای طراحی گردد که حداکثر صرفه جویی در مصرف سوخت محقق شود.
- حتی المقدور خطوط باری و مسافری به جهت پرهیز از بروز تلاقی‌های مکرر و اتلاف زمان و سوخت در توقف‌های ناشی از تلاقی‌های قطارها به صورت مجزا و دو خطه مورد مطالعه قرار گیرد و به تناسب منابع تخصیص داده شده اجرا شود.
- طراحی محورهای جدیدالاحداث به نحوی انجام گیرد که حداقل شیب و فراز ممکنه در طول بلاک‌ها و شیب صفر در ایستگاه‌ها با در نظر گرفتن محدودیت‌های بهره‌برداری و اجرایی محقق گردد.



فصل پنجم: ارائه شاخصهای مصرف سوخت با استفاده از نتایج ممیزی انرژی و سوخت



- طراحی ایستگاه‌ها با اولویت قرار دادن طول بهینه خطوط برای دگاژ اکثریت قطارهای مورد بهره‌برداری در آن محور، تناسب تعداد خطوط به منظور پرهیز از توقف‌های غیر ضروری و امکان انجام عملیات مانور، تلاقی و سبقت و مکان یابی مناسب محل ایستگاه‌ها با توجه به طول بلاک‌های طرفین و شیب و فراز محل ایستگاه انجام پذیرد.
- جایگاه‌های تزریق سوخت در محورهای جدید به صورت استاندارد و مجهز به سیستم مدیریت مخازن سوخت (سطح‌سنج، دبی‌سنج، نشت‌یاب مخازن، دیسپنسر مجهز به قطع کن جریان سوخت و ...) طراحی و اجرا گردد.
- طراحی و اجرای سیستم ترمینال‌های برق‌رسانی روی سکو (Plug-in) برای تامین برق مورد نیاز سالن‌های مسافری (روشنایی، تهویه، صوتی و تصویری) در زمان توقف قطار در ایستگاه و خاموش بودن لکوموتیو در دستور کار قرار گیرد.

۵-۶-۲ دستورالعمل‌هایی جهت ناوگان موجود و جدید

کمیته تخصصی مرکب از کارشناسان حوزه ناوگان شرکت راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران، انجمن صنفی شرکت‌های حمل و نقل ریلی، مالکین و تولیدکنندگان ناوگان و مشاورین ذیصلاح دستورالعمل‌هایی جهت ناوگان موجود و جدید با رئوس عناوین ذیل تدوین نمایند:

- تامین ناوگان جدید مجهز یا تجهیز ناوگان موجود به سیستم پایش وضعیت با هدف تقلیل میزان خرابی‌ها و هزینه‌های تعمیر و نگهداری و صرفه جویی در مصرف سوخت در اولویت نخست قرار گیرد.
- تامین ناوگان جدید مجهز یا تجهیز ناوگان موجود به سیستم‌های کنترل زمان بی‌باری لکوموتیو (Idle) شامل AES و APU صورت پذیرد.
- تامین ناوگان جدید با در نظر گرفتن حداقل میزان مصرف سوخت انجام شود.
- تامین ناوگان جدید مجهز به سیستم کنترل پاشش سوخت و احتراق اجرا گردد.
- تامین ناوگان جدید با در نظر گرفتن حداقل مقاومت‌های آیرودینامیکی لحاظ شود.

	فصل پنجم: ارائه شاخصهای مصرف سوخت با استفاده از نتایج ممیزی انرژی و سوخت	
--	--	--

۵-۶-۳ دستورالعمل‌هایی جهت ارتقاء بهره‌برداری از ناوگان موجود و جدید

کمیته تخصصی مرکب از کارشناسان حوزه ناوگان، بهره‌برداری و آموزش شرکت راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران و مشاورین ذیصلاح دستورالعمل‌هایی جهت ارتقاء ناوگان موجود و جدید با رؤس عناوین ذیل تدوین نمایند:

- آموزش لکوموتیورانان با هدف راهبری بهینه قطار و حداقل مصرف سوخت در هر محور مورد بازنگری قرار گیرد.
- تجهیز لکوموتیوهای در دست بهره‌برداری به سیستم راهنمای راهبر و الزام لکوموتیورانان به تبعیت از آن به طور جدی انجام شود.
- با هدف کاهش توقف‌های قطارهای باری در طول مسیر و تقلیل مصرف سوخت، سیر برنامه‌ای آنها اجرایی گردد.
- سیستم تعمیر و نگهداری ناوگان با هدف کاهش خرابی‌ها و به تبع آن کاهش مصرف سوخت اصلاح شود.
- به منظور تقلیل اختلالات در برنامه سیر قطارهای باری و مسافری در شبکه نسبت به اصلاح زمان‌بندی حرکت قطارها و بکارگیری سیستم تنظیم ترافیک اقدام گردد.
- پایش و اصلاح دوره‌ای پروفیل چرخ ناوگان با هدف کاهش اصطکاک چرخ و ریل و درپی آن کاهش مصرف سوخت اجرایی شود.
- روانکاری دوره‌ای فلنج چرخ در طول مسیر با هدف کاهش اصطکاک چرخ و ریل و درپی آن کاهش مصرف سوخت انجام گردد.

۵-۶-۴ پیشنهاد مطالعات فنی-اقتصادی در خصوص میزان اثربخشی راهکارهای کاهش مصرف سوخت

کمیته تخصصی مرکب از کارشناسان حوزه ناوگان، فنی و زیربنایی و مرکز تحقیقات شرکت راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران، مراکز تحقیقاتی و پژوهشی، دانشکده مهندسی راه‌آهن دانشگاه علم و صنعت و نمایندگان انجمن صنفی صنایع حمل و نقل ریلی بررسی‌هایی برای هریک از محورهای در دست بهره‌برداری و در دست احداث، مطالعات فنی-اقتصادی در خصوص میزان اثربخشی راهکارهای کاهش مصرف سوخت با رؤس عناوین ذیل را به انجام رساند:

	فصل پنجم: ارائه شاخصهای مصرف سوخت با استفاده از نتایج ممیزی انرژی و سوخت	
--	--	--

- استفاده از سیستم راهبری اتوماتیک قطار (APO)
- استفاده از سیستم حفاظت اتوماتیک قطار (ATP) و یا علائم الکتریکی داخل کابین لکوموتیوران (Cab-Signal)
- استفاده از سیستم بازیافت انرژی در حین ترمز گیری قطار (Regenerative system)
- تامین ناوگان جدید مانوری دارای فناوری هیبرید
- تامین ناوگان جدید دارای سیستم تعلیق بهینه با هدف اصلاح فنربندی و افزایش ضریب چسبندگی و کارایی کشش لکوموتیو
- استفاده از لکوموتیوهای سرباره با هدف افزایش نیروی کشش لکوموتیوها در قطارهای طولی
- تامین ناوگان جدید مجهز به سیستم کروز کنترل
- تامین ناوگان جدید با سیستم چند موتور
- بهره‌گیری از فناوری یاتاقان‌های سرمحور مجهز به سیستم روغن کاری با هدف خودروانکاری اجزای یاتاقان و سرمحور و کاهش اصطکاک و مصرف سوخت