بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی مکانیک و مکاترونیک

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی سیستم های انرژی

امکان سنجی فنی و اقتصادی استفاده از گاز طبیعی در لوکوموتیو

نگارنده:ایوب پاسبان

استاد راهنما:

دکتر محمود نوروزی

استاد مشاور:

دکتر علی خالقی

بهمن ۱۳۹۸

شماره: ۴د/۲۹۸/۱۶۶
تاریخ: ۹۸/۱۲/۱۰

باسمه‌تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای **ایوب پاسبان**
با شماره دانشجویی **۹٤۰٤۰۸٤** رشته **مهندسی مکانیک** گرایش **سیستم های انرژی** تحت عنوان

امکان سنجی فنی و اقتصادی استفاده از گازطبیعی در لوکوموتیو

که در تاریخ ۱۳۹۸/۱۱/۰۶ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

الف) درجه عالی: نمره ۲۰-۱۹ ☐ ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸/۹۹ – ۱۸ ☐
ج) درجه خوب: نمره۱۷/۹۹– ۱۶ ☑ د) درجه متوسط: نمره ۱۵/۹۹-۱۴ ☐
ه) کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد ☐
نوع تحقیق: **نظری** ■ **عملی** ☐

عضو هیأت داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبهٔ علمی	امضاء
۱ـ استادراهنمای اول	جناب دکتر محمود نوروزی	دانشیار	
۲- استادراهنمای دوم	ـــــ	ـــــ	ـــــ
۳- استاد مشاور	جناب دکتر علی خالقی	استادیار	
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	جناب دکتر احمد نظری	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	جناب دکتر کیهانی	استاد	
۶ـ استاد ممتحن دوم	جناب دکتر چهارطاقی	دانشیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر مهدی گردویی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده: ۹۸/۱۲/۹

سپاس گزاری:

لازم می‌دانم از زحمات استاد گران‌قدر دکتر محمود نوروزی و دکتر علی خالقی در طول مدت تحصیلی کارشناسی ارشد، تشکر و قدردانی نمایم چراکه همواره مشوق و معلم من بوده‌اند و در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند.

تقدیم به:

آنان که در تعریف نمی گنجند

پدرم، اول استادم که همواره نماد فداکاری و تلاش بوده است،

مادرم، بلند تکیه گاهم که دامان پر مهرش یگانه پناهم است،

بزرگواری که الفبای زندگی را از او آموختم.

مهربانی که عشق ورزیدن را از او آموختم.

تعهدنامه

این‌جانب ایوب پاسبان دانشجوی دوره‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی مکانیک-گرایش سیستم‌های انرژی دانشکده‌ی مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شاهرود، نویسنده‌ی پایان‌نامه‌ی **امکان سنجی فنی-اقتصادی استفاده از گاز طبیعی در لوکوموتیو**، تحت راهنمایی دکتر محمود نوروزی متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط این‌جانب انجام‌شده است و از صحّت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورداستفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- «دانشگاه صنعتی شاهرود» کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج بانام «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (بافتهای آنها) استفاده‌شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه‌ی اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده‌شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه‌ی حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته‌شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نیست.

چکیده

فناوری حمل‌ونقل همواره تأثیر بسزایی در توسعه تمدن‌ها دارد، با توجه به زیرساخت‌های کشور ایران و همچنین وسعت جغرافیایی، ظرفیت‌های زیای برای بررسی و تحلیل عوامل کاهش هزینه حمل‌ونقل دارد که سعی بر تحلیل این عوامل داریم. هدف از این تحقیق بررسی امکان استفاده گاز طبیعی به عنوان سوخت لوکوموتیو در ایران است. برای این منظور با شبیه سازی عملکرد لوکوموتیو و خط ریلی با مشخصات جغرافیایی مشخص بین دو ایستگاه راه‌آهن در نرم‌افزار متلب[1] به‌عنوان سیستم مورد آزمایش انتخاب می‌گردد، سناریو اول تلفیق سوخت مکمل با سوخت پایه لوکوموتیو GT_26 شرکت ای‌ام‌دی[2] می‌باشد و سناریو دوم استفاده از لوکوموتیو با موتور پایه گازسوز CG_260 شرکت کاترپیلار[3] ، بررسی شده است.

یکی از این عوامل تأثیرگذار قیمت تمام‌شده محصول نوع سوخت مصرفی شبکه سراسری حمل‌ونقل است که به‌طور موردی به شبکه ریلی اشاره می‌شود. در این پژوهش برای اولین بار مصرف سوخت قطار با توجه به مشخصات فیزیکی و روابط موجود در زمینه نیروهای موثر حرکت قطار شبیه سازی و محاسبه شده است، مصرف سوخت در حالت پایه دیزل اختلاف قابل قبول با داده‌های آماری دارد. استفاده از سوخت گازطبیعی مستلزم استفاده از مخازن خاص هستند، با بررسی شرکت‌های سازنده مخازن تحت فشار[4] و مخازن حمل گازطبیعی مایع[5] یک مورد به عنوان گزینه مناسب در نظر گرفته شد. در پایان با تحلیل اقتصادی طرح‌ها هزینه هر یک از سوخت‌های جایگزین محاسبه شده و در آن تاثیر حمایت دولتی کاملا مشهود است و در نهایت نتایج مورد بررسی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: حمل‌ونقل ریلی، لوکوموتیو، هزینه سوخت، نیروهای موثر حرکت قطار، سوخت دیزل، گاز طبیعی، مخازن تحت فشار، گازطبیعی مایع

[1] MATLAB
[2] EMD
[3] Caterpillar
[4] CNG
[5] LNG

فصل اول : مقدمه

۱-۱ بیان و تعریف مسئله و اهمیت موضوع ۲

۱-۲ تاریخچه ۵

۱-۳ هدف پژوهش ۱۰

۱-۴ معرفی تحقیق حاضر..... ۱۲

فصل دوم : سوخت‌های جایگزین

۲-۱ بیودیزل ۱۶

۲-۲ تفاوت‌های اساسی در ترکیب بیودیزل و گازوییل ۱۶

۲-۳ ترکیب زنجیرهای اسیدهای چرب ۱۷

۲-۴ تولید بیودیزل..... ۱۷

۲-۵ مشکلات استفادع از بیودیزل ۱۸

۲-۶ هیدروژن ۱۸

۲-۷ روش تولید ۱۸

۲-۸ ویژگی‌های هیدروژن ۲۰

۲-۹ سوخت‌های الکلی ۲۰

۲-۱۰ متانل ۲۱

۲-۱۱ اتانول ۲۲

فصل سوم : مبانی نظری مطالعات اقتصادی طرح‌ها

۳-۱ ضرورت ارزیابی اقتصادی طرح‌ها ۲۷

۳-۲ تحلیل هزینه-فایده اجتماعی ۲۸

۳-۳ ریسک و تورم در ارزیابی طرح‌ها ۳۰

۳-۴ خلاصه و نتیجه ۳۳

فصل چهارم : سیستم مورد مطالعه

۴-۱ سیستم لوکوموتیو پایه دیزل ۳۶

۴-۲ سیستم لوکوموتیو LNG ۳۶

۴-۳ روش فنی طراحی موتور گازسوز ۳۷

۴-۴ خلاصه آمار و وضعیت ناوگان ریلی کشور ۳۸

۴-۵ فرضیات عمومی برای سیستم‌ها ۴۰

فصل پنجم : نتایج

۵-۱ تحلیل اقتصادی..... ۶۹

۵-۲ نتیجه‌گیری ۷۳

منابع ۷۴

فهرست جداول

جدول ۲-۱ مقایسه خواص اتانول سوختنی با بنزینی..... ۲۳

جدول ۴-۱..... ۳۹

جدول ۴-۲ ..... ۳۹

جدول ۴-۳..... ۴۰

جدول۴-۴ ضرایب معادله دیویس..... ۴۴

جدول۴-۵ ارزش حرارتی سوخت..... ۵۰

جدول ۵-۱ مشخصات مخازن تحت فشار..... ۶۰

جدول ۵-۲ مخزن تحت فشار شرکت ژوان تیپ تاپ..... ۶۲

جدول ۵-۳ مشخصات فنی واگن‌های حمل‌ونقل ال‌ان‌جی..... ۶۸

جدول ۵-۴ هزینه سوخت در هر سناریو..... ۷۱

فهرست اشکال

شکل ۳-۱ یک نمونه درخت تصمیم..... ۳۲
شکل۴-۱ شماتیک چرخ..... ۴۶
شکل ۵-۱ مخزن فشار بالا Q914..... ۶۳
شکل۵-۲ مخزن ای‌ان‌جی..... ۶۸

فهرست نمودار

نمودار ۱ شیب و فراز مسیر اصفهان-شیراز..... ۴۳
نمودار۲ نیرو کشش لوکوموتیوGT_26..... ۴۷
نمودار۳. سرعت قطار در هر نقطه از مسیر برای لوکوموتیو GT_26..... ۵۵
نمودار۴. قدرت خروجی لوکوموتیو در هر نقطه از مسیر برای لوکوموتیو GT_26..... ۵۶
نمودار۵. نیروکشش لوکوموتیو در هر نقطه از مسیر برای لوکوموتیو GT_26..... ۵۶
نمودار۶. نیرو مقاومت زمین در هر نقطه از مسیر برای لوکوموتیو GT_26..... ۵۷
نمودار۷. نیرو مقاومت کل در هر نقطه از مسیر برای لوکوموتیو GT_26..... ۵۷
نمودار۸. شتاب قطار در هر نقطه از مسیر برای لوکوموتیو GT_26..... ۵۸
نمودار۹. زمان طی کردن مسیر برای لوکوموتیو GT_26..... ۵۸
نمودار ۱۰. مصرف سوخت دیزل بر حسب لیتر در هر مکان از مسیر برای لوکوموتیو GT_26..... ۵۹
نمودار۱۱. سرعت قطار در هر نقطه از مسیر برای لوکوموتیو GC_260..... ۶۴
نمودار۱۲. قدرت خروجی لوکوموتیو در هر نقطه از مسیر برای لوکوموتیو CG_260..... ۶۵
نمودار۱۳. نیروکشش لوکوموتیو در هر نقطه از مسیر برای لوکوموتیو CG_260..... ۶۶
نمودار ۱۴. مصرف سوخت گاز بر حسب مترمکعب در هر مکان از مسیر برای لوکوموتیو CG_260..... ۶۶

فصل اول:

مقدمه

۱-۱ آلایندگی ناشی از وسایل نقلیه ریلی

فنّاوری را می‌توان کاربرد دستاوردهای علمی و تجربی به‌منظور پاسخ به نیازهای اجتماعی تعریف نمود. نظر به اینکه نیازهای اجتماعی پیوسته در حال تغییرند، شاهد تغییر مداوم فنّاوری‌ها هستیم. تحولات فنّاورانه باهدف پاسخ به نیازهای جدید و برآورده کردن نیازهای موجود با اثربخشی و کارایی بالاتر صورت می‌گیرد. استفاده بهینه از منابع تجدید پذیر و حفظ محیط‌زیست ازجمله چالش‌های مهمی است که امروزه بشر با آن مواجه است.

اگرچه خودروها و وسایل نقلیه جدید به‌مراتب موارد آلاینده کمتری نسبت به وسایل اولیه تولید می‌کنند و مصرف سوخت پایین‌تری دارند، ولی گسترش روزافزون این وسایل و افزایش مسافت‌های طی شده، باعث شده است که درمجموع آلودگی هوا و مصرف سوخت افزایش یابد. اگرچه میدانیم که سهم آلایندگی و مصرف انرژی‌بخش حمل‌ونقل ریلی در مقایسه با سایر بخش‌ها کم است، ولی در دنیا پژوهشی‌های زیادی بر روی این موضوع انجام‌شده است و اگر به این بخش توجه کافی شود می‌تواند سهم عمده‌ای از نیازهای حمل‌ونقل کشور را برآورده سازد.

تاکنون مهم‌ترین و معمولی‌ترین سوخت جهت استفاده در سرویس‌های حمل‌ونقلی، در بسیاری از کشورهای دنیا بنزین و گازوئیل بوده است. وسایط نقلیه‌ای که سوخت بنزین یا گازوئیل مصرف می‌کنند موجب انتشار مواد مضر و آلاینده با ترکیبات شیمیایی پیچیده می‌شوند که به‌نوبه خود، سبب تولید گاز اوزون در سطح جوزمین می‌شوند. باآنکه تمهیدات مختلف جهت کاهش آلودگی اعم از برنامه‌های معاینه فنی خودروها یا نصب دستگاه‌های کنترل انتشار آلاینده در اگزوز خودروها در کشورهای پیشرفته بکار گرفته‌شده، لیکن این برنامه‌ها در شهرهای بزرگ مسئله تولید گاز اوزون و سایر آلاینده‌ها را به حد کافی کاهش نداده است.

وقتی سوخت‌های فسیلی با ترکیب هیدروکربورهای مختلف به‌طور کامل می‌سوزد یعنی با اکسیژن موجود در هوا ترکیب می‌شود، تولید دی‌اکسید کربن و آب می‌کنند. حال اگر واکنش احتراق کامل نباشد، بجای مقداری از دی‌اکسید کربن (CO_2)، منواکسید کربن (CO) تولید می‌شود که ماده‌ای بسیار سمی است.

همچنین برخی از اتم‌های کربن موجود در ترکیبات سوخت به‌صورت نسوخته و ذرات جامد کربن روی‌هم انباشته‌شده، همراه هیدروکربورهای نسوخته از اگزوز قطارها به‌صورت دوده خارج می‌شود. هیدروکربورهای نسوخته نیز به همراه مقادیری از سوخت که پیش از ورود به موتور تبخیر شده و به هوا منتشر می‌شود در مجاورت نور خورشید با ترکیبات اکسیدهای نیتروژن حاصل از عمل احتراق در موتور، ترکیب‌شده و تولید اوزون می‌کند. اوزون اگرچه در لایه استراتوسفر[1] مانع از عبور نور ماورای بنفش و رسیدن آن به سمت زمین می‌شود لیکن در سطح زمین از مهم‌ترین عواملی ایجاد مه دود شیمیایی (SMOG) و تولیدکننده مواد سمی مضر برای سلامتی انسان محسوب می‌گردد.

در این راستا، سوخت‌های پاک دارای خواص فیزیکی و شیمیایی ذاتی هستند که آن‌ها را پاک‌تر از گازوئیل با ساختار و ترکیبات فعلی در عملی احتراق می‌نماید. به‌طورکلی این سوخت‌ها حین احتراق، هیدروکربن (نسوخته) کمتری تولید می‌کنند و مواد منتشرشده حاصل از احتراق آن‌ها دارای فعالیت شیمیایی کمتر برای تشکیل اوزون و مواد سمی دیگر می‌باشند. استفاده از سوخت‌های جایگزین، همچنین شدت افزایشی و انباشته شدن دی‌اکسید کربن که سبب گرم شدن زمین می‌شود را نیز کاهش می‌دهد. با توجه به میزان مصرف سوخت ماشین‌آلات و وسایل نقلیه ریلی در سال ۱۳۹۶جمعاً ۴۶۷ میلیون لیتر گازوئیل بوده است[۱]. گرچه متوسط رشد مصرف انرژی در راه‌آهن نسبت به رشد انرژی در کشور کمتر هست ولی بحران بنزین ما را به چاره‌اندیشی و تأملی بیشتر در وضعیت مصرف انرژی بخشی‌های مختلف اقتصادی کشور واداشته است.

افزایش وسایل نقلیه و آلایندگی ناشی از آن و کاهش ذخایر نفتی و تصویب قانون‌های مبارزه با آلودگی محیط‌زیست مستلزم نیاز به ساخت و طراحی موتورهای کم‌مصرف با آلایندگی ناچیز است. در این رابطه از سال ۱۹۲۰ میلادی استفاده از گاز طبیعی به‌عنوان سوخت جایگزین مدنظر قرارگرفته است. عدم پیشرفت در این زمینه به دلایلی گوناگونی ازجمله سهولت استفاده از سایر سوخت‌های فسیلی مایع و بی‌توجهی به نابودی محیط‌زیست بوده ولی امروزه یکی از کانون‌های توجه دولت جمهوری اسلامی ایران و

[1] طبقه فوقانی جو که از سطح زمین ۱۱ کیلومتر به بالا فاصله دارد .

ستاد تبصره سیزده و سازمان مدیریت مصرف سوخت گازسوز کردن خودروها و کشنده‌های بخش حمل‌ونقل است. در این راستا تجربه گازسوز کردن اتوبوس‌ها و مینی‌بوسی‌ها به‌عنوان اولین تجارب ازاین دست در خصوصی ناوگان دیزلی با موتورهای سبک است که تاکنون ازلحاظ فنی با موفقیت نسبی به همراه بومی‌سازی کامل انجام‌یافته است.

با توجه به اقتصادی بودن حمل‌ونقل ریلی و اطمینان و دقت آن، به همراه خصوصیات منحصربه‌فرد دیگری مانند تعداد محدود و قابل‌کنترل لکوموتیوها و مسیرها و استقلال این بخش حمل‌ونقل و متکی‌به‌خود بودن آن، شرایطی مناسب‌تر از سایر بخش‌ها برای ایجاد تغییرات و آزمایش و استفاده از سامانه‌های جدید را فراهم می‌آورد. ضمناً ایجاد هرگونه تغییری که منجر به کاهش هزینه‌ها و یا بالا رفتن اطمینان و راندمان در این بخش شود، با توجه به اهمیت این بخشی در صنعت حمل‌ونقل و نیز برنامه‌های گسترده توسعه صنعت حمل‌ونقل ریلی کشور، می‌تواند اثرات مطلوبی برکل اقتصاد کشور داشته باشد و موجبات گسترش فنّاوری جدید در سایر بخشی‌ها را نیز فراهم آورد.

به‌این‌ترتیب، معرفی سوخت‌های جایگزین و مطالعه در خصوصی امکان استفاده و بهره‌برداری از سوخت‌های جایگزین، با توجه ملاحظات فنی -اقتصادی و منابع گسترده موجود برخی از آن‌ها در ایران، همچنین به دلیل روند رشد مصرف سوخت‌های مایع هیدروکربوری در کشور که هرساله موجب ضرر و زیان هنگفت به بودجه عمومی و محیط‌زیست کشور می‌شود از اهمیت قابل‌توجهی برخوردار شده است.

دلیل عمده و اصلی تمایل به استفاده از گاز طبیعی در راه‌آهن به‌عنوان سوخت جانشین، کاهش هزینه سوخت مصرفی و آلاینده‌های حاصل از موتورهای احتراق داخلی است که امروزه یکی از مهم‌ترین مسائل شهرهای بزرگ است. همچنین با توجه به افزایش شدت مصرف انرژی در کشور و تبدیل‌شدن آن به یک گلوگاه رشد توسعه، ابزاری برای تهدیدهای قدرت‌های بزرگ در مسائل سیاسی شده است. گرچه با توجه به وضعیت بحرانی هوای شهرهای بزرگ ایران و ضرورت تلاش در جهت کاهش آلاینده‌ها، استفاده از سوخت‌های جایگزین موردتوجه مسئولین امور قرارگرفته ولی شاید عامل تأمین امنیت انرژی کشور مهم‌تر از هر گزینه دیگری بحث

استفاده از گاز را اکنون در ایران رهبری می‌کند. این امر خود به خاطر ذخایر عظیم گاز طبیعی در کشور و جایگاه محوری و بالقوه‌ای که این سوخت می‌تواند در کشور ایفا کند.

۱-۲ مروری بر تحقیقات پیشین

در سال‌های اخیر شرکت ای‌ام‌دی و شرکت کاترپیلار موفق به تولید فناوری‌ای شده است که برای استفاده ازگاز ال‌ان‌جی در موتور دیزلی لوکوموتیو مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این فن‌آوری از ۱۰۰ درصد تا ۶۰ درصد گاز ال‌ان‌جی برای سوخت استفاده می‌شود[۴،۵]. در سال ۲۰۱۴ شرکت جنرال الکتریک[1] برای ایجاد ایستگاه‌های سوخت‌گیری کامیون در اروپا قراردادی امضا نمود[۶]. دقیقا یک سال بعد این شرکت پروژه‌ای مربوط به استفاده از گاز ال‌ان‌جی در حوزه حمل و نقل را شروع کرد[۷]. نوآوری محققان مناقصات ال‌ان‌جی را متحول کرده‌است. یکی از این مناقصات در شرکت ای‌ام‌دی منعقد شد که طبق آن تبدیل لوکوموتیو دیزل به لوکوموتیو خاص دوگانه سوخت با نسبت ترکیب مختلف بررسی شده است[۸]. راه‌آهن هند در سال ۲۰۱۴ اعلام کرد برنامه‌ریزی استفاده گاز ال‌ان‌جی در مقیاس آزمایشگاهی آغاز خواهد شد که در سال ۲۰۱۶ باید به فاز اجرایی برسد [۹،۱۰]. شرکت نفت و گاز روسیه با هم‌کاری راه‌آهن روسیه برای آزمایش تبدیل لوکوموتیو دیزلی به لکوموتیو توربین گاز طبیعی در سال ۲۰۱۳ هم‌کاری خود را آغاز کردند[۱۱]. اولین لوکوموتیو گاز سوز، توسط موسسه تحقیقات، طراحی و مطالعات فن‌آوری روسی (VNIKTI) توسعه یافت. این لوکوموتیو دارای ظرفیت گاز مایع ۳۹۰۰ کیلوگرم که خروجی آن ۸۸۰ کیلو وات بوده است[۱۲]. در همان سال، سازمان برنامه‌ریزی شهر شیکاگو برای تبدیل ۳۱ لوکوموتیو دیزلی به گاز طبیعی فشرده مبلغ ۳۴.۲۵ میلیون دلار برنامه‌ریزی کرد[۱۴،۱۳]. منطقه جنوب نورفولک در حال ساخت لوکوموتیوی است که موتور آن، در حال حرکت از گاز طبیعی استفاده می‌کند و در ایستگاه و یا شروع حرکت سوخت انرژی پایه دیزل مصرف می‌کند[۱۵]. در سال ۲۰۰۱، شرکت راه‌آهن دره ناپاوالی[2] یک لوکوموتیو را به لوکوموتیو دوگانه‌سوز با گاز طبیعی تبدیل کرد که با استفاده از ۶۰ درصد گاز طبیعی و ۴۰ درصد دیزل کار می‌کرد که در سال ۲۰۰۸،

[1] General Electric

[2] Napa valley

این تبدیل به ۱۰۰ درصد سی‌ان‌جی (CNG) رسید. در سال‌های اخیر، چندین اختراع مرتبط با ال‌ان‌جی، سوخت گاز برای لوکوموتیو ثبت شده است[۱۶]. شرکت نیروی برق وست پورت[1] در ۲۹ مارس ۲۰۱۳ دو سیستم موتور با سوخت گازی مایع ذخیره‌شده در محیط متخلخل و مخزن برودتی بررسی و تولید کرد. این موتور برای ایجاد توان پمپ برودتی از سیستم سوخت دیگری استفاده می‌کند و این پمپ برودتی، سوخت مورد نیاز موتور را تامین می‌کند. از ویژگی های آن می توان به ۱-بازده موتور کم‌تر از موتور اصلی،۲-ساده‌سازی سیستم که هزینه نگهداری کمتری نسبت به حالت اولیه دارد. ۳-۹۰ درصد کل برق مورد نیاز سیستم توسط موتور اول فراهم می‌شود و موتور دوم بیش از ۱۰ درصد کل توان سیستم را تامین می‌کند،۴-برای وسایل نقلیه بزرگ مانند لوکوموتیو، کشتی یا یک کامیون بزرگ مناسب است[۱۷].

در۱۴ دسامبر ۲۰۱۲ شرکت الکترو[2] سیستم پمپ برودتی را برای تبدیل سوخت ثبت اختراع کرد. این اختراع مستقیماً مربوط به تبدیل سوخت مایع به سوخت گازی با استفاده از پمپ برودتی و شامل کمپرسور، توربین، پمپ و مبدل حرارتی بوده است[۱۸]. روش کار آن به این صورت بود که اول مقداری سوخت مایع پمپ شده و با هوا ترکیب می‌شود، سپس احتراق در محفظه احتراق رخ می‌دهد که در آن گازهای خروجی گرم به توربین جریان خواهد یافت تا انرژی تولید کندکه بخشی از آن برای راه‌اندازی پمپ‌ها و کمپرسور مورد استفاده قرار می‌گیرد. سپس گازهای اگزوز برای گرم کردن میزان دوم گاز ال‌ان‌جی به کار می‌روند که پمپ برودتی را پمپاژ می‌کند[۱۸]. در همان سال(۱۵ اوت ۲۰۱۲) لوکوموتیو با نیروی سیکل ترکیبی نیز ثبت اختراع شد. این اختراع به استفاده از دو عامل اصلی برای تامین برق مورد نیاز اشاره می‌کند. اول اینکه محرک اصلی از توربین احتراق گاز طبیعی و اگزوز حاصل از آن توربین به عنوان منبع گرما محرک اصلی قرار می‌دهد. در مرحله دوم، توربین بخار را در نظر گرفته شده که با شفت توربین گاز به منظور فراهم کردن انرژی مورد نیاز در حرکت استفاده می‌شود. سیستم توربین بخار از یک ژنراتور بخار که به وسیله آب سرد شده و پمپ تغذیه را خنک می‌کند، تشکیل شده‌است. این سیستم باعث بهبود کارایی

[1] Westport
[2] Electro

سیستم انرژی لوکوموتیو می‌شود. این روش همچنین تولید گازهای گلخانه‌ای و هزینه سوخت را نسبت به روش‌های مرسوم را کاهش می‌دهد[۱۹].

تحقیقات دیگری که انجام شده است انرژی مستقیماً به توربین گاز طبیعی لوکوموتیو مربوط می‌شود. این پژوهش منجر به صرفه جویی قابل توجه‌ای در صنعت سوخت و کاهش گازهای گلخانه‌ای و هزینه‌های مربوط به آن می‌شود. هدف اصلی این پژوهش در مورد آرایش توربین گاز در لوکوموتیو بوده که در آن سه میله فشار برای توربین استفاده می‌شود. شفت فشار بالا، در بالای میله فشار متوسط قرار دارد و برای هر شفت یک کمپرسور وجود دارد که این کمپرسور فشار مربوطه را تولید می‌کند. مبدل گرمایی احیا کننده بین کمپرسور فشار بالا و توربین فشار بالا قرار داده شده که برای گرم کردن سوخت مورد استفاده نیز قرار می‌گیرد[۲۰]. روش دیگری برای تبدیل موتور دیزلی به موتور گاز طبیعی پیشنهادهایی شده است. مثلا تغییرات در چندین بخش مثل نصب یک بدنه گاز بر روی موتور دیزلی و قرار دادن یک جرقه با یک انژکتور سوخت دیزلی بر روی موتور دیزل؛ یک بدنه گاز و یک منیفولد اگزوز در موتور دیزل و تغییر پیستون نیز شامل این موارد هستند که باعث کاهش نسبت تراکم موتور می‌شود[۲۱].

پژوهشگران درباره جایگزینی سوخت وسیله نقلیه مبتنی بر نفت را با گاز طبیعی مایع مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها دریافتند در لوکوموتیو سوخت گاز طبیعی استفاده کنند که امکان پذیر و قابل اطمینان بیشتر دارد. این نویسندگان اشاره کردند که گاز ال‌ان‌جی از لحاظ اقتصادی بهتر و پایدارتر از گازهای سی‌ان‌جی است که می‌تواند علاوه بر این، در مخزن برودتی دوتا سه برابر بیشتر تولید کند. آنان به مطالعه بر خودروهایی که از گاز سی‌ان‌جی برای سوخت استفاده می‌کردند پرداختند و به نتیجه و راه حل مطلوبی رسیدند. این مطالعه نشان می‌دهد که می‌تواند جایگاه‌های توزیع گاز سی‌ان‌جی به ایستگاه‌های پر کننده گاز ال‌ان‌جی علاوه بر بنزین و دیزل، تبدیل شوند. پژوهشگران چرخه عمر تطبیقی گازهای گلخانه‌ای را برای ال‌ان‌جی و دیزل به عنوان سوخت وسایل نقلیه سنگین در اروپا بررسی کردند[۲۲].

در این مطالعه، دو امکان برای ال‌ان‌جی در نظر گرفته شدکه خرید ال‌ان‌جی از ترمینال (ال ان جی-terminal) و یا تولید آن در ایستگاه نیروگاه‌های مقیاس کوچک (ال‌ان‌جی – SSL)[1] امکان پذیر است. آن‌ها دریافتند که گازهای گلخانه‌ای ال‌ان‌جی در ترمینال خود۱۰ درصد کم‌تر از دیزل است، اما انتشار گازهای گلخانه‌ای در ال‌ان‌جی نیروگاه‌های کوچیک، تقریباً مشابه گازهای گلخانه‌ای دیزل است[۲۳]. در این باره برخی از افراد صاحب نظرمقاله هایی مربوط به این صنعت ارایه کرده اند. برای مثال: کومار و همکارانش[۲۴] مقاله ای مربوط به ویژگی‌های ال‌ان‌جی، تکنولوژی‌های جهانی آن و منابع و کاربرد آن در حمل و نقل و تولیدش را ارایه کرده‌اند. این مطالعه اثر گازهای گلخانه‌ای، نفت و زغال‌سنگ را با استفاده از تحلیل چرخه عمر مقایسه کرده است. دو سیستم جدید گاز ال‌ان‌جی و سیستم تولید همزمان گاز توسط موروسکو[2] و همکارانش[۲۵] نیز ارائه شدند. در این مطالعه، یک تحلیل اکسرژی[3] پیشرفته به یکی از این سیستم‌ها اعمال شد. این سیستم‌ها گاز ال‌ان‌جی و تولید الکتریسیته را به عنوان خروجی اصلی سیستم در نظر گرفته‌اند. سیستم مورد پایه متشکل از سه زیر سیستم می‌باشد. بازده سیستم کلی ۵۲.۶ درصد می‌باشد که بیش‌ترین تخریب اکسرژی در بسط[4] دهنده رخ می‌دهد. ارتکونی[5] و همکارانش[۲۶]، نیز پتانسیل ال‌ان‌جی را به عنوان سوخت خودرو در ایتالیا تحلیل کردند. این مطالعه عمدتاً بر روی مایع سازی در محل تمرکز می‌کند که نیاز به بازده مایع ۷۰ درصد و قیمت گاز طبیعی پایین دارد. تکنولوژی‌های مایع سازی که در این تحقیق مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند عبارت اند از چرخه لیند[6] و چرخه کلود بدون خنک‌کننده است. نتایج نشان می‌دهد که چرخه لیند بازده انرژی بالاتر از چرخه کلود[7] دارد و هزینه ال‌ان‌جی آن با خرید از ترمینال کمتر است[۲۶].

عمران و همکارانش[۲۷]، نیزعملکرد و انتشار گازهای احتراقی اشتعال تراکمی تزریق مستقیم را مورد بحث و بررسی قرار داده‌اندکه از گاز طبیعی، دیزل و عناصر نایاب به عنوان سوخت مورد استفاده قرار می‌گیرد. که آزمایش‌ها برای هر نوع سوخت انجام شد. در این مطالعه از چهار سیلندر واحد برای آزمایش استفاده شد.

[1] small-scale plants
[2] Morosuk
[3] Exergy
[4] Expander
[5] Arteconi
[6] Linde cycle
[7] Clade cycle

نویسندگان به این نتیجه رسیدند که سوخت دوگانه، موثرتر از حالت یک سوختی است. علاوه بر این، انتشار گلخانه‌ای در سوخت دوگانه خیلی بیشتر از سوخت تک شعله واحد است. با این حال، استفاده از گاز طبیعی در سوخت باعث کاهش قابل‌توجهی اکسیده‌ای نیتروژن در مقایسه با موارد پایه سوختی تنها، درتمام سوخت‌ها می‌شود.

چینکاچورن[1] و همکارانش[۲۸]، به طور تجربی عملکرد و انتشار موتور دیزل با عوارض سنگین را با استفاده از گاز طبیعی به عنوان سوخت آزمایشی با دیزل نیز بررسی کردند. آزمایش‌ها با تغییر سرعت موتور بین ۱۱۰۰ تا ۱۹۰۰ دور در دقیقه انجام شد. در این آزمایش، موتور ۶ سیلندر با سیستم تزریق مستقیم سوخت مورد استفاده قرار گرفت. تنها حالت دیزل به عنوان حالت پایه برای مقایسه آن با سوخت دوگانه استفاده شد. نویسندگان نتیجه گرفتند که عملیات سوخت ترکیبی دارای راندمان حرارتی و حجمی کمتری نسبت به عملیات سوخت منفرد است اما با این حال، برای سرعت ۱۷۰۰ دور در دقیقه و کم‌تر، عملیات سوخت ترکیبی در مقایسه با عملیات سوخت منفرد، مصرف سوخت کمتر را نشان می‌دهد. برای سوخت دیزل انتشار زنجیره هیدروکربن‌های نسوخته(THC) و کربن منوکسید بیشتر و برای سوخت ترکیبی، اکسید نیتروژن و کربن‌دی‌اکسید بیشتر تولید می‌شود.

یک بررسی توسط گومز و همکارانش[۲۹]، برای نشان دادن وضعیت فعلی چرخه‌های ترمودینامیکی که از گاز ال‌ان‌جی در فرآیند استفاده می‌کنند انجام شد. این مطالعه، چرخه‌های رانکین[2]، برایتون[3] و کالینا[4] و نیز چرخه‌های ترکیبی و سیکل‌های ترکیبی را تحت پوشش قرار داد. آن‌ها همچنین معیارهای انتخاب سوخت برای چرخه‌های بسته به منبع گرمایی آن چرخه با دمای پایین و بالا ایجاد کردند. نویسندگان نتیجه گرفتند که زمانی که منبع حرارتی کوچک باشد، سیکل رانکین بهترین انتخاب است که اتان و اتیلن بهترین گزینه برای این چرخه‌ها هستند. از سوی دیگر، وقتی یک منبع حرارتی متوسط یا بزرگ موجود باشد، چرخه برایتون مناسب‌ترین روش برای هلیوم و نیتروژن به عنوان بهترین گزینه برای این حالت است. با این حال، اگر

[1] Cheenkachorn
[2] Rankine
[3] Brayton
[4] Kalina

منبع دمایی بالا موجود باشد، یک گزینه مطلوب دیگری می‌تواند انتخاب شود که ترکیبی از چرخه‌های رانکین و برایتون است.

۱-۳ هدف تحقیق

حمل‌ونقل یکی از معیارهای توسعه‌یافتگی کشورها و یکی از عمده‌ترین عوامل تأثیرگذار بر رونق اقتصادی کشور است. توجه به استفاده بهینه از ظرفیت‌های این بخش و تعیین سیاست‌هایی در جهت افزایش کارایی آن از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. توسعه بخش حمل‌ونقل عموماً در چند دسته تقسیم‌بندی می‌گردد، توسعه زیرساخت‌ها و توسعه ناوگان حمل‌ونقل. در بخش حمل‌ونقل زمینی کشور هر دو مورد ذکر شده، ایجاد مشکلات و محدودیت‌های نموده‌اند. بررسی وضعیت فعلی حمل‌ونقل ریلی در کشور حاکی از آن است که علاوه بر فرسودگی زیرساخت‌های حمل‌ونقل ریلی، ناوگان مورداستفاده در این بخشی نیز فرسوده و دارای کارایی بسیار پایین‌تر از استانداردهای جهانی است [۲].

فرسودگی ناوگان آثار و عوارض جانبی زیادی را به همراه دارد و هرچه فرسودگی بیشتر باشد برشدت این آثار افزوده می‌شود. برخی از عوارض ناشی از فرسودگی ناوگان حمل‌ونقل عبارت‌اند از:

- ❖ افزایش مصرف سوخت
- ❖ افزایش هزینه‌های بهره‌برداری و درنتیجه افزایش هزینه‌های حمل‌ونقل (که خود به افزایش قیمت تمام‌شده خدمات و کالاها تأثیر می‌گذارد)
- ❖ کاهش ایمنی حمل‌ونقل
- ❖ افزایش زمان سفر و به‌طورکلی کاهش سطح و کیفیت سرویس
- ❖ افزایش آلودگی محیط‌زیست
- ❖ افزایش هزینه‌های وارده به زیرساخت‌ها
- ❖ ایجاد آلودگی صوتی

ارزیابی‌های جهانی نشان می‌دهد که جایگاه ایران در شاخص پایداری انرژی در سال ۲۰۱۳ میلادی در رتبه ۹۱ در بین ۱۲۹ کشور بوده است. ایران از نظر پایداری زیست محیطی در رتبه ۱۱۴، از لحاظ امنیت انرژی در مرتبه ۷۵ و از منظر برابری و عدالت انرژی در مقام ۴۴ قرار گرفته است[۳]. در تمام این موارد جایگاه ایران سیر نزولی پیموده است. عملکرد اقتصاد ایران از نظر انرژی نامطلوب است و به اصلاح نیاز دارد.

یارانه انرژی از موضوعات بحث برانگیز در اقتصاد کلان بوده و بیشترین یارانه به بخش انرژی اختصاص یافته است. بر اساس گزارش مرکز پژوهشی‌های مجلس شماری اسلامی در سال ۱۳۹۷ حدود ۴۵۵.۹۶۹ هزار میلیارد ریال درآمد حاصل از فروش فراورده‌های نفتی در داخل کشور بوده است. میزان سهم فروش گازوئیل به ازای هر لیتر ۳۰۰۰ ریال، ۷۸.۲۹۲ هزار میلیارد ریال بوده است[۳]. هزینه‌های انرژی یکی از مهم‌ترین اقلام هزینه‌ی عملیاتی وسایل نقلیه محسوب می‌شود. در نظر گرفتن هزینه‌های انرژی و حتی محور قرار گرفتن هزینه‌های انرژی در امر نوسازی امری منطقی و لازم است.

یکی از دلایل دوگانه‌سوز کردن وسایل نقلیه بحث آلودگی به‌خصوص در کلان‌شهرها هست، اما این موضوع تنها علت رفتن به سمت سوخت‌های جایگزین نیست و در کنار آن می‌توان به دلایل مهمی مانند کاهش منابع نفتی جهان، افزایش بی‌سابقه قیمت نفت و فرآورده‌های آن در بازارهای جهانی و ذخایر عظیم گاز برخی کشورها ازجمله ایران و قیمت پایین‌تر آن در مقایسه با نفت و محصولات آن را اشاره کرد، با توجه به موارد ذکرشده هدف از انجام این پروژه امکان‌سنجی و مطالعات فنی-اقتصادی دوگانه‌سوز کردن لکوموتیوها است. تفاوت اساسی بین لکوموتیوهای مانوری واصلی وجود دارد. این تفاوت‌ها شامل ابعاد و توان موتور محرکه لکوموتیو، میزان نیروی کشش تولیدی لکوموتیو، سیکل کاری لکوموتیو، الزامات سوخت‌رسانی و زیرساخت‌های آن و محدوده کاربردهای آن است. لکوموتیوهای مانوری در یک مکان بکار گرفته می‌شوند (مثلاً دپوی تعمیراتی) درحالی‌که لکوموتیوهای اصلی در مسیرهای طولانی و بین شهری بکار گرفته می‌شوند.

۱-۴ معرفی تحقیق حاضر

با توجه به بیشینه تحقیقات گذشته و زمینه، امکانات موجود در کشور ایران در بخش اول انواع سوخت‌های جایگزین مورد توجه محققین، مطالعه می‌شود. یک نمونه خط ریلی بامشخصات جغرافیایی مشخص و نمونه قطار با ظرفیت حمل مشخص در نرم افزار متلب شبیه‌سازی شده‌است. در نمونه اول همان حالت پایه دیزل که همچنان در این مسیر فعال بوده بررسی می‌شود و خروجی شبیه‌سازی همچون مدت زمان سیر مسیر و مقدار مصرف سوخت دیزل بدست آمده با داده‌های آماری گرفته شده از شرکت نیروکشش راه آهن ایران مقایسه و راستی آزمایی شده است.

در ادامه به بررسی نحوه جایگزینی سوخت گاز طبیعی در لوکوموتیو می‌پردازیم. یک سناریو با همان لوکوموتیو فعال در مسیر، ترکیب سوخت گاز و دیزل با نسبت ۴۰ به ۶۰ درصد، شبیه‌سازی شده‌است. در ادامه نحوه تعیین سوخت گاز در حالت گاز فشرده (**CNG**) و جایگذاری مخازن سی‌ان‌جی در خود لوکوموتیو ویا به صورت یک واگن جداگانه بیان می‌شود، در هرکدام نقاط قوت و ضعف و یا امکان بهره‌برداری مشخص شده و در نهایت روش بهینه تعیین شده است.

سناریو دوم استفاده از یک لوکوموتیو پایه‌گازسوز با توان و قدرت مشخص. در این حالت برای تامین سوخت مصرفی آن دو حالت گاز طبیعی فشرده (CNG) و گاز طبیعی مایع (LNG) مدنظر قرار گرفت، در هرکدام نیازمند تامین واگن حمل مخصوص است. این شبیه‌سازی و بررسی راه‌حل‌های کاربردی در تغییر سوخت قطار به نوبه خود منحصربه‌فرد بوده و در تصمیمات مدیریت مصرف سوخت می‌تواند بسیار موثر باشد. از نوآوری این تحقیق می‌توان به تعیین امکان تردد لوکوموتیو جدید در یک مسیر مشخص و یا تعیین سرعت در هر نقطه از مسیر وزمان سیر مسیر اشاره نمود. در این پژوهش سعی شده است کاربردی‌ترین روش در انتخاب گزینه‌های موجود و تعیین راه کارهای موثر مطالعه شود، در انتخاب مخازن تامین کننده سوخت یک حالت تولیدات شرکت‌های ساخت مخازن در داخل ایران مطالعه شده و در حالت بعد مخازن شرکت‌های پیشرو در این زمینه در سطح بین اللملل مطالعه و مقایسه شده‌است. در پایان با تحلیل اقتصادی قیمت سوخت در

هر طرح با توجه به میانگین نوسانات بازار ارز و قیمت نفت، تعیین شد. امید است محاسبات انجام شده و تحقیق حاضر راه روشنی برای تصمیم‌گیرندگان و محققین در این زمینه فراهم نماید.

فصل دوم:

سوخت‌های جایگزین

در این بخشی به بررسی سوخت‌های جایگزین و یا تجدید پذیر برای استفاده در صنعت حمل‌ونقل می‌پردازیم و فنّاوری‌های مورداستفاده در آن، مزایا و معایب و مثال‌هایی از کاربرد آن در دنیا را موردمطالعه قرار می‌دهیم. در مقدمه ابتدا انواع سوخت‌های جایگزین موردتوجه در دنیا را به‌صورت گذرا موردبررسی قرار می‌دهیم. سپس با توجه به مسائل اقتصادی و فنّاورانه و قابل‌دسترسی بودن در ایران، گاز طبیعی را در بخشی‌های جداگانه به‌صورت کامل‌تر مورد بررسی قرار خواهیم داد.

۲-۱ بیودیزل

بیودیزل عبارت است از استرهای منوالکیل اسیدهای چرب با زنجیر طویل که از منابع طبیعی تجدید پذیر مانند روغن‌های گیاهی یا چربی‌های حیوانی تهیه می‌شوند[۳۰]. مخلوط‌هایی تا ۲۰درصد بیودیزل و مابقی گازوئیل می‌توانند در کلیه تجهیزات مربوط به سوخت دیزل مورداستفاده قرار بگیرند. مخلوط‌هایی با نسبت‌های بالاتر بیودیزل تا صد در صد بیودیزلی خالصی در موتورهای ساخته‌شده از سال ۱۹۹۴ به بعد، با اندکی تغییرات و یا حتی بدون نیاز به تغییر، مورداستفاده قرار گرفت[۳۱]. گرچه حمل‌ونقل و ذخیره‌سازی آن‌ها نیازمند تمهیدات خاصی هست.

۲-۲ تفاوت‌های اساسی در ترکیب بیودیزل و گازوئیل

مهم‌ترین تفاوت اساسی در ترکیبات بیودیزل و گازوئیلی، محتوای اکسیژن می‌باشند. میزان اکسیژن موجود در گازوئیلی صفر است درحالی‌که بیودیزلی حاوی ۱۲ -۱۰ درصد وزنی اکسیژن هست که باعث کاهش دانسیته انرژی و انتشار ذرات معلق می‌گردد[۳۲]. علاوه بیودیزل عاری از گوگرد هست، درحالی‌که گوگردی که در گازوئیل وجود دارد، در سیستم اگزوز موتور به اکسیدهای گوگرد و سپس بخشی از آن به اسید سولفوریک تبدیل می‌گردد. این اسید خود منجر به تولید ذرات ریز می‌شود. گازوئیل معمولاً ۴۰-۲۰ درصد حجمی آروماتیک دارد که باعث افزایش انتشار آلاینده‌هایی نظیر NOx و ذرات معلق می‌گردد. بیودیزل اساساً عاری از آروماتیک‌ها هست. در گازوئیل هیچ پیوند دوگانه وجود ندارد درحالی‌که در بیودیزلی به‌واسطه حضور فراوان پیوندهای غیراشباع، پایداری در مقابل اکسیداسیون کمتری دارد[۳۲].

۲-۳ ترکیب زنجیرهای اسیدهای چرب

روغن‌های گیاهی شامل ترکیبات مختلفی از زنجیرهای اسیدهای چرب می‌باشند. خصوصیات سوخت بیودیزلی به‌طور عمده‌ای به زنجیرهای اسیدهای چرب موجود در خوراک مورداستفاده برای استریفیکاسیون بستگی دارد. سویا، بادام‌زمینی، پنبه‌دانه، گل آفتابگردان و کن ولا (گونه‌ای از دانه شلغم روغنی) از منابع روغن‌های گیاهی به شمار می‌روند. چربی‌های حیوانی و روغن مصرف‌شده در آشپزی (به‌عنوان شبه گریس شناخته می‌شود) نیز منابع تولید اسیدهای چرب موردنیاز بیودیزل می‌باشند[۳۳].

۲-۴ تولید بیودیزل

برای تهیه بیودیزلی، از روغن‌های گیاهی و چربی‌های حیوانی استفاده می‌شود. چربی‌ها و روغن‌ها با الکلی نظیر متانول واکنش کرده و ترکیبات شیمیایی به نام استرهای متیل اسید چرب را به وجود می‌آورند. گلسیرول، که در صنایع بهداشتی و آرایشی کاربرد دارد، نیز به‌عنوان محصول فرعی تولید می‌شود.

بیودیزل را می‌توان توسط فنّاوری‌های مختلف استریفکاسیون تولید نمود. در این فنّاوری‌ها، چربی‌ها و روغن پالایه شده و جهت جداسازی آب و آلودگی‌ها فراورش می‌گردند. درصورتی‌که اسیدهای چرب آزاد موجود باشند، می‌توان آن‌ها را جدا نموده و یا با استفاده از فنّاوری‌های پرتریتمنت[1] به بیودیزلی تبدیل نمود. این روغن‌ها و چربی‌ها سپس با الکلی نظیر متانول و کاتالیست (معمولاً هیدروکسید پتاسیم یا سدیم) مخلوط می‌گردد. سپس مولکول‌های روغن (تری گلیسیریدها) شکسته شده و به استرها و گلسیرول تفکیک‌شده و نهایتاً عمل خالص‌سازی انجام می‌پذیرد.

[1] Pretreatment

تاثیر استفاده از بیودیزل نسبت به سوخت دیزل

از مزایای بیودیزل نسبت به سوخت دیزل به موارد زیادی می‌توان اشاره نمود، تجزیه‌پذیری بیشتر، کاهش انتشار آلاینده‌های اکسید گوگرد و منواکسید کربن و ذرات معلق، کاهش بو، دوده و ایمنی بیشتر به هنگام استفاده و افزایش روان کاری موتور.

۲-۵ مشکلات استفاده از این سوخت عبارت‌اند از

میزان انتشار NOX غالباً افزایش می‌یابد. بیودیزل (بخصوصی در مورد خوراک‌های بسیار اشباع) در هوای سرد ممکن است منجر به تولید مشکلاتی در موتور گردد و پایداری در مقابل اکسیداسیون کم شود.

تحقیق بیشتری در خصوصی بسط مواد افزودنی و بهبود تأثیر بیودیزلی بر روی انتشارNOX ، ویسکوزیته و ناپایداری در مقابلی اکسیداسیون جهت تبدیل بیودیزلی به یک سوخت قابل‌قبول ازلحاظ تجاری باید انجام پذیرد. گرچه استفاده از بیودیزل بازار جدیدی برای کشاورزان ایجاد نموده و باعث کاهش انتشار آلاینده‌های حاصل از موتور دیزلی می‌گردد ولی هزینه‌های تولید بالا و همچنین وجود سایر بازارهای مصرف برای منابع مورداستفاده، مانع از تولید آن در مقیاس انبوه می‌گردد.

۲-۶ هیدروژن

هیدروژن سبک‌ترین گاز دواتمی است که در شرایط فشار و دمای عادی به‌صورت گاز هست، برای استفاده از آن به‌عنوان سوخت نیاز به انرژی اولیه جهت استخراج آن از سایر منابع طبیعی و تبدیل آن به شکل مناسب جهت استفاده در موتورهای احتراق درون‌سوز یا پیله‌ای سوختی هست.

۲-۷ روش‌های تولید

بسیاری از موارد شیمیایی و هیدروکربورها و آب دارای هیدروژن می‌باشند؛ بنابراین می‌توان هیدروژن را از بسیاری از منابع طبیعی ازجمله گاز طبیعی، آب و متانول استخراج نمود. متداول‌ترین روش تولید

هیدروژن، الکترولیز و تولید گاز سنتز از فرآیند ریفرمینگ بخار و اکسیداسیون جزئی است[۳۳]. در حال حاضر بیشترین مقدار هیدروژن تولیدی از منابع سوخت‌های فسیلی و فرآیندهای پتروشیمیایی به‌عنوان محصول فرعی هست.

ریفرمینگ گاز طبیعی توسط بخارآب

این فرآیند گرماگیر و با استفاده از کاتالیست در دمای ۸۵۰ C و در فشار ۲۵ bar مطابق معادلات شیمیایی زیر انجام می‌شود[۴]

$$CO + 3H_2 \rightarrow CH_4 + H_2O$$
$$CO_2 + H_2O \rightarrow CO + H_2O$$

منواکسید کربن به روش جذب یا جداسازی از طریق غشای نیمه‌تراوا از محیط واکنشی حذف می‌شود.

اکسیداسیون جزئی هیدروکربورها

اکسیداسیون جزئی هیدروکربورها واکنشی گرمازا همراه با تولید اکسیژن و بخار هست. مقدار اکسیژن و بخارآب به نحوی کنترل می‌گردد که پیشرفت واکنش بدون نیاز به افزایش انرژی خارجی باشد. معادله شیمیایی واکنش به‌طور مثال به‌صورت زیر است[۴].

$$6CO + 2CO_2 + 10H_2 \rightarrow C_8H_{18} + H_2O + 9\,20_2$$

روشPLASMA ARC PROCES:

در این روش با استفاده از الکتریسیته و به روش Pasmal arc از گاز طبیعی یا نفت دمای ۱۶۰۰ درجه سلسیوسی، کربن خالصی و هیدروژن تولید می‌شود. بر اساسی این روشی در یک واحد نیمه‌صنعتی با استفاده از گاز طبیعی به میزان۱۰۰۰ مترمکعب در ساعت و ۲۱۰۰کیلووات برق می‌توان ۵۰۰کیلوگرم برساعت کربن و ۲۰۰۰ مترمکعب بر ساعت، هیدروژن تولید نمود[۳۳]. علاوه بر روش‌های ذکرشده روش‌های متعدد دیگری برای تولید هیدروژن از منابع گیاهی و تجدیدپذیر، یا روش‌های بیولوژیک مانند فتوسنتز مصنوعی یا تخمیر

توسط باکتری‌ها وجود دارند که روشی‌های بیولوژیک از روشی‌های موردتوجه در تحقیقات اخیر به شمار می‌رود.

۲-۸ ویژگی‌های فنی سوخت هیدروژن

انرژی یک کیلوگرم هیدروژن معادل ۳/۵ لیتر نفت خام است.

نسبت انرژی به حجم هیدروژن$\frac{1}{4}$نفت و$\frac{1}{3}$گاز طبیعی است.

آب دارای$\frac{11}{2}$ درصد جرمی هیدروژن است.

دمای سوختن هیدروژن در اتمسفر اکسیژن به ۳۰۰۰ درجه سانتیگراد می‌رسد.

محدوده انفجاری هیدروژن در غلظت ۵۹ – ۱۳ درصد است.

ضریب نفوذ هیدروژن ۰/۶۱ سانتیمتر مربع بر ثانیه (چهار برابر متان) است.

حد پایین انرژی حرارتی هیدروژن معادل ۱۲۰کیلوژول بر کیلوگرم و نهایتاً اینکه محصول احتراق هیدروژن فقط آب است. هیدروژن بسیار قابل اشتعال بوده و خطر انفجار آن مشابه بنزین است. هیدروژن سوخت مناسب بدون آلودگی است. لیکن با فنّاوری موجود، تولید و ذخیره‌سازی آن مشکل و گران است. ابداع روش‌های تولید هیدروژن مایع با روش‌های اقتصادی مقرون به‌صرفه. در آینده امکان‌پذیر خواهد بود[۳۳].

۲-۹ سوخت‌های الکلی

استفاده از سوخت‌های الکلی در موتورهای احتراق داخلی به‌عنوان سوخت، موضوع جدیدی نیست. در سال ۱۸۷۲ موتورهای احتراق داخلی اختراع شد، بنزین به‌عنوان یک سوخت هنوز در دسترسی نبود و اتیل الکلی سوخت این موتور محسوب می‌گردید. سوخت‌های الکلی(متانول و اتانول)، سوخت‌های مایع باراندمان و عدد اکتان بالا می‌باشند که درعین‌حال میزان انتشار مواد آلاینده و ترکیبات تولیدکننده اوزون

در گازهای حاصل از احتراق آن‌ها در حد پایین است، لذا به‌عنوان سوخت‌های جایگزین مطرح و در مناطقی نیز مورداستفاده قرارگرفته‌اند.

گرچه الکل سوخت مناسبی برای موتور محسوب می‌گردد، لیکن برای مصارف خانگی یا مصرف‌کننده‌های غیر متحرک انرژی، سوخت جایگزین مناسبی نیست؛ زیرا برای تولید آن باید انرژی مصرف شود و در مصارف گرمایی بهتر است این انرژی به‌طور مستقیم مصرف شود[۳۳].

۲-۱۰ متانول

متانول سوخت الکلی است که از گاز طبیعی و سایر منابع طبیعی نیز تولید می‌شود. متانول یا الکل متیلیک که در آن عامل هیدروکسیدی (OH) جایگزین یک اتم هیدروژن شده است با وزن مولکول ۳۲/۰۴ و چگالی ۰/۷۹۶ سنگین‌تر از بنزین و دارای عدد اکتان ۱۰۷ هست. به لحاظ انرژی حرارتی ۱/۷ گالن متانول معادل یک گالن بنزین خواهد بود. متوسط قیمت تولید متانول از گاز طبیعی در جهان مشابه بنزین است. متانول از چوب و زغال‌سنگ نیز قابل‌تولید است البته تولید آن از منابع طبیعی و تجدیدشونده در مقایسه با گاز ازلحاظ اقتصادی گران‌تر است. ۸۵ - M ترکیب ۱۵ درصد بنزین و ۸۵ درصد متانول است و اولین ترکیبی است که به‌عنوان سوخت جایگزین مصرف‌شده است. این مخلوط در موتور خودروهای تولیدی مهم‌ترین تولیدکنندگان اتومبیل قابل‌استفاده بوده و در آینده اتومبیل‌هایی که قادر به استفاده از متانول خالصی باشند وجود خواهند داشت. از متانول ماده اکسیژنه MTBE برای مخلوط نمودن با بنزین جهت افزایش عدد اکتان و خوش سوزی آن به دست می‌آید.

روش تولید

ابتدا از گاز طبیعی، گاز سنتز (مخلوطی از H2 و CO) تهیه و سپس گاز سنتز در راکتور کاتالیستی، به متانول و بخارآب تبدیل می‌شود.

اثرات زیست‌محیطی

با استفاده از ۸۵ - M انتشار آلاینده‌های مولد مه - دود (SMOG) ۳۰ الی ۵۰ درصد کمتر است. انتشار NOX و هیدروکربورها، مشابه یا کمی پایین‌تر است. البته انتشار مونوکسیدکربن معمولاً مساوی یا کمی بیشتر از خودروهای استاندارد بنزینی خواهد بود.

ملاحظات ایمنی

متانول نسبتاً سمی بوده و تماس مستقیم آن باپوست و استنشاق آن در دستگاه تنفسی ایجاد اختلال می‌نماید. به علت درخشندگی و نور کم شعله متانول در روز، تشخیص آن سخت هست. لذا با افزایش بنزین به آن، رنگ و بوی قابل‌تشخیص به سوخت داده می‌شود.

چون سوخت‌های الکلی دارای عدد اکتان بالا هستند استفاده از آن‌ها در موتورهای احتراق از نوع جرقه‌ای، موجب افزایش قدرت موتور و راندمان حرارتی بیشتر در مقایسه با بنزین خواهد شد. معایب اصلی در کاربرد متانولی که در بازده و عملکرد آن مؤثر است، سختی روشن شدن اتومبیل در حالت سرد و بد سوختن آن در حالت داغ کردن هست.

۲-۱۱ اتانول

اتانول یا الکل اتیلیک با ترکیب شیمیایی C_2H_5OH مایعی روشن، بی‌رنگ و با بوی قابل‌تحمل است .در حال حاضر این ماده به‌صورت خالصی و یا مخلوط آن با بنزین به‌عنوان سوخت مورداستفاده قرار می‌گیرد. این ماده با عدد اکتان ۱۱۳ سوختی مرغوب محسوب شده و به‌عنوان یک ترکیب اکسیژن‌دار با اضافه شدن به بنزین می‌تواند عدد اکتان را افزایش داده و انتشار آلاینده‌هایی نظیر مونوکسیدکربن را کاهش دهد.

اتانول می‌تواند در موتورهای جدید بنزین سوز، بدون هیچ تغییری در سیستم موتور از ۳ تا ۲۴ درصد در اختلاط با بنزین مصرف شود، اما استفاده از این ماده با درصدهای بالاتر نیازمند استفاده از موتورهای اختصاصی و یا دومنظوره است [۳۳].

جدول ۲-۱ مقایسه خواص اتانول سوختنی با بنزینی

	اتانول	بنزین
درصد وزنی اکسیژن	۳۴/۸	۰
نقطه‌جوش (C)	۷۸	۳۵-۲۱۰
ارزش حرارتی خالصMJ/kg	۲۶/۸	۴۲/۷
حرارت حاصل از تبخیرMJ/kg	۰/۹۳	۰/۱۸
نسبت استوکیومتری هوا/سوخت	۹:۱	۱۴/۶ :۱
عدد اکتان موتور	۹۶	۸۲

اگر فقط ارزش حرارتی اتانول مدنظر باشد با توجه به اینکه حدود ۳۵ درصد این ماده را اکسیژن تشکیل می‌دهد، لذا ارزش حرارتی آن به همین نسبت از بنزین کمتر است.

اما از سوی دیگر با توجه به نسبت استوکیومتری هوای موردنیاز جهت احتراق ملاحظه می‌گردد که برای سوختن کامل یک کیلوگرم بنزین نیاز به ۱۵ کیلوگرم هوا هست، درحالی‌که برای همین مقدار هوا مقدار ۶/۱ کیلو اتانول لازم است. لذا راندمان موتور در حالت استفاده از الکل بالاتر است. با مقایسه انرژی در واحد حجم مخلوط بنزین و اتانول با هوا اعداد تقریباً مشابه ۸/۹۴ (بنزین) و ۷/۹۴ (اتانول) حاصل می‌گردد؛ بنابراین ارزش حرارتی هر دو تقریباً مشابه خواهد بود. نهایتاً با توجه به اینکه حرارت نهان تبخیر الکل‌ها بیشتر از بنزین است که این مسئله به‌نوبه خود به سرد شدن بیشتر مخلوط (هوا - سوخت) و درنتیجه افزایش دانسیته مخلوط شده و قدرت بیشتری در موتور تولید می‌گردد.

تبخیر مخلوط بنزین و هوا منجر به کاهش دمای ۴۰ درجه فارنهایت می‌شود و در شرایط مشابه این کاهش دما برای اتانول بیش از دو برابر بنزین خواهد بود. این کاهش شدید دما منجر به ورود بیشتر مخلوط سوخت و هوا به درون موتور می‌گردد، بنابراین راندمان حجمی اتانول به‌طور فراوان افزایش می‌یابد. استفاده از اتانول با ترکیب ۱۰ درصد اتانول و ۹۰ درصد بنزین بیشتر رایج هست که به نام سوخت E۱۰ معروف

گردیده است. در برزیل، این ترکیب شامل ۲۲ درصد تا ۲۴ درصد اتانول است. اتانول به‌عنوان سوخت خالصی نیز به‌عنوان جایگزین بنزین مصرف می‌شود. در امریکا مخلوط‌هایی از ۸۵ درصد اتانول و ۱۵ درصد بنزین و ۹۵ درصد اتانول و ۵ درصد بنزین به‌عنوان سوخت‌های جایگزین مورداستفاده قرار می‌گیرند.

افزودن مقدار جزئی بنزین به اتانولی، از خوردگی قسمت‌های موتور جلوگیری نموده و به احتراق در هوای سرد کمک می‌کند. در سال ۲۰۱۴، تنها ۲ /۴ درصد از اتانول تولیدی در امریکا به‌صورت سوخت جایگزین مصرف‌شده است. مانع بزرگ استفاده از سوخت‌های E۸۵ وE۹۵ (۸۵ درصد اتانول و ۱۵ درصد بنزین و ۹۵ درصد اتانول و ۵ درصد بنزین)، گران‌بهاتر بودن قیمت خودروهای مخصوصی این سوخت‌ها نسبت به خودروهای متداول هست. این اختلاف قیمت با ابداع فنّاوری‌های جدید کاهش‌یافته است، از سایر عوامل محدودکننده مصرف اتانول به‌صورت سوخت جایگزین می‌توان به موارد بیشتری اشاره نمود.

روش‌های تولید

اتانول از زمان‌های قدیم توسط تخمیر شکر تهیه می‌شده است. در حال حاضر حدود ۹۱ درصد تولید اتانول از طریق تخمیر منابع کربنی (فرمانتاسیون) و ۹ درصد به روشی‌های سنتزی تولید می‌شود. ازجمله منابع کربنی متعددی که در کشورهای مختلف یافت می‌شود می‌توان به نیشکر، چغندرقند، ملاس، ذرت، گندم و دیگر ترکیبات نشاسته‌دار و کلیه ترکیبات سلولزی مانند ضایعات چوب، ضایعات کشاورزی، کاغذ زباله و حتی خود زباله اشاره نمود[۳۳].

نتیجه : علیرغم تجدید پذیر بودن سوخت اتانول و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از احتراق آن نسبت به بنزین، به‌واسطه محدودیت منابع تولید و همچنین مشکلات توزیع و عرضه و بالا بودن هزینه‌های تولید، امکان جایگزینی بنزین توسط اتانول در مقیاسی وسیع در داخل وجود ندارد.

فصل سوم :

مبانی نظری مطالعات

اقتصادی طرح‌ها

مبانی تئوریک تحلیل هزینه - فایده و ارزیابی اقتصادی طرح‌ها

مقدمه

تحلیل اقتصادی طرح‌ها عبارت است از به‌کارگیری فن‌های مقایسه و تصمیم‌گیری و انتخاب بهترین طرح از میان گزینه‌های ممکن بر اساس شرایط مطلوب اقتصادی. در حقیقت هر چه فن‌آوری اطلاعات و ارتباطات گسترده‌تر شود تصمیم‌گیری و ارائه مدلی برای تصمیم‌گیری و همچنین ارزیابی گزینه‌های تصمیم نیز پیچیده‌تر خواهد گردید. در فرآیند بررسی اقتصادی مراحل زیر انجام می‌گیرد:

-تعیین اهداف

-فرمول‌بندی معیارهای تأثیرپذیر

-ارائه راه‌حل‌های مسئله

-ارزیابی راه‌حل‌های ارائه‌شده

-انتخاب اقتصادی‌ترین راه‌حلی با توجه به ارزیابی‌های انجام‌شده

ازآنجاکه ارزیابی اقتصادی طرح‌ها به‌منظور تعیین بهترین طرح که در آینده اجرا خواهد گردید، مورداستفاده قرار می‌گیرد طبیعتاً مبتنی بر تحلیل وقایعی خواهند بود که در آینده رخ خواهند داد. توجه شود که ارزیابی اقتصادی گزینه‌ها در اصلی مبتنی بر نتایج گذشته بوده و درنتیجه لازم است که سامانه‌های ثبت سوابق آماری و اقتصادی در ارتباط تنگاتنگ با سامانه‌های ارزیابی اقتصادی باشند.

تنها در صورتی نیاز به تصمیم‌گیری وجود دارد که دو یا چند روشی برای انجام فعالیتی وجود داشته باشد و فقط درصورتی‌که یک‌راه برای انجام فعالیت وجود داشته باشد، نیازی به ارزیابی اقتصادی وجود ندارد چراکه چاره‌ای جز انجام فعالیت وجود ندارد، البته این حالت به‌ندرت اتفاق میافتد چراکه در اکثر پروژه‌ها حداقل دو گزینه انجام پروژه و عدم انجام پروژه وجود خواهد داشت که انجام پروژه را توجیه‌پذیر نماید.

سه سؤال اصلی زیر در ارزیابی اقتصادی طرح‌ها همواره مدنظر قرار می‌گیرد:

- اصولاً چرا باید این طرح انجام گردد؟
- چه زمانی برای انجام این طرح مناسب است؟
- چه روشی برای انجام آن مناسب است؟

در حقیقت پاسخ به سه سؤال فوق ارائه‌دهنده مناسب‌ترین روش انجام فعالیت بر اساسی کلیه پارامترهای تصمیم‌گیری است. پاسخ به اولین سؤال ضرورت اجرای طرح را مشخص می‌کند درحالی‌که پاسخ به سؤال دوم و سوم چگونگی انجام فعالیت و همچنین زمان مناسب برای آن را تعیین می‌کند. در حقیقت بررسی‌های اقتصادی ضرورت انجام فعالیت را مشخص نموده و با مدل‌سازی اقتصادی، زمان و روشی‌های مناسب انجام فعالیت مشخصی گردیده و درنهایت با ارزیابی اقتصادی گزینه‌های انجام فعالیت، بهترین روش انجام آن مشخص می‌گردد.

۳-۱ ضرورت ارزیابی اقتصادی طرح‌ها

با توجه به اینکه در اغلب طرح‌ها حداقل دو گزینه انجام پروژه و عدم انجام پروژه وجود دارد، نیاز به تصمیم‌گیری ایجاد می‌گردد. پایه و اساسی تصمیم‌گیری در پروژه‌ها، اغلب بر اساسی مفاهیم اقتصادی بوده و ازآنجاکه به‌منظور سنجش میزان اقتصادی بودن طرح‌ها و پروژه‌ها نیاز به ارزیابی اقتصادی آن‌ها وجود دارد، ضرورت توجه به ارزیابی طرح‌ها قبل از تصمیم‌گیری در مورد انتخاب طرح نهایی مشخص می‌گردد. فرآیند ارزیابی اقتصادی باکمی کردن مفهوم‌های اقتصادی و با بکار بردن مفهوم ارزشی زمانی پول، گزینه‌های مختلف پیش رو را با یکدیگر مقایسه نموده و بر اساس نتایج حاصل از ارزیابی هریک بهترین گزینه را انتخاب می‌کند و در مواردی که یک روش برای انجام طرح وجود دارد، ارزیابی اقتصادی در مورد انجام یا عدم انجام طرح صورت می‌گیرد به‌نحوی‌که نتایج ارزیابی به نحوی توجیه اقتصادی طرح به شمار می‌رود.

مسئله اصلی موردبحث در فرآیند ارزیابی اقتصادی طرح‌ها، تعیین چگونگی قضاوت درباره انجام یک طرح پیشنهادی در مقایسه با سایر گزینه‌های ممکن در درازمدت و تعیین میزان اقتصادی بودن هریک از

طرح‌ها هست. در حقیقت مطالعه اقتصادی را می‌توان مقایسه‌ای بین گزینه‌های مختلف که تفاوت‌های این گزینه‌ها تا حد ممکن بر اساسی مقادیر مالی بیان‌شده است، تعریف کرد.

در هر طرح بدون توجه به منبع تأمین مالی آن، هدف اصلی سرمایه‌گذاری، دستیابی به سود است که در بخش‌های خصوصی سود بیشتر شامل جنبه مالی و اقتصادی آن می‌گردد و در بخش‌های دولتی علاوه بر سود مالی، اهداف اجتماعی نیز دنبال می‌شود. ارزیابی اقتصادی در سرمایه‌گذاری‌های بخش خصوصی باکمی کردن مقادیر گزینه‌های مختلف و استفاده از روش‌های مناسب ارزیابی اقتصادی طرح‌ها به‌آسانی امکان‌پذیر است و این در حالی است که ارزیابی اقتصادی طرح‌های دولتی با توجه به اهداف آن‌ها که در برخی موارد شامل اهداف سیاسی، اجتماعی، فرهنگی و ...است، می‌بایست انجام گردد و در بسیاری موارد کمی کردن این اهداف و در حقیقت کمی کردن میزان سودآوری طرح بسیار مشکل بوده و در موارد بسیاری بدون توجه به کمی کردن سودهای ناشی از انجام یک طرح دولتی انجام آن ازلحاظ مالی توجیه‌پذیر نمی‌نماید درحالی‌که تنها در صورت کمی کردن کلیه جنبه‌های سودآوری طرح میزان سودآوری آن مشخص می‌شود. توجه شود که در هنگام اتخاذ تصمیمات به‌صورت منفرد و جدا از یکدیگر، اغلب اثرات جانبی هریک از تصمیمات بر سایر تصمیمات نادیده گرفته می‌شود بنابراین ضرورت دارد که روابط متقابل بین تصمیمات مختلف در حوزه موردمطالعه، و اثرات و نتایج حاصل از آن‌ها بررسی‌شده و تجزیه وتحلیل گردید.

در حقیقت میزان سودآوری طرح در مقابل سرمایه‌گذاری انجام‌شده بر روی طرح سنجیده می‌شوند. معیار میزان سودآوری اجتماعی طرح در مقابل هزینه‌های انجام‌شده توسط بخش دولتی از معیارهای اصلی بررسی اقتصادی طرح‌ها خصوصاً در بخشی دولتی است. روش‌هایی مانند محاسبه دوره برگشت سرمایه، آنالیز نقطه سربِ سر، محاسبه ارزش آینده و... وجود دارند.

۳-۲ تحلیل هزینه - فایده اجتماعی

در طرح‌ها و پروژه‌های دولتی مسئله مهمی که اغلب موردنظر قرار می‌گیرد، میزان بازدهی کیفی طرح است .تعیین منافع ناشی ازاین‌گونه طرح‌ها تا حدودی مشکل است چراکه استفاده از تسهیلات ایجادشده

که به‌نوعی سود طرح است به‌وسیله اجتماع صورت می‌گیرد و مستقیماً سود ناشی از آن به دولت نمی‌رسد. اساساً می‌توان گفت که ازنظر مفهومی، ارزیابی پروژه‌های عمومی (که هزینه‌های آن اغلب دولتی و سود آن مستقیماً به دولت نرسیده و جامعه سود ناشی از اجرای طرح را خواهند برد) به دلیل مشخص نبودن مرزهای هزینه و فایده اغلب پیچیده‌تر از پروژه‌ها و طرح‌های بخش خصوصی است.

در تجزیه‌وتحلیل اقتصادی طرح‌های مربوط به فعالیت‌های همگانی، ضروری است قضاوتی در مورد پیامدهایی که می‌بایست در نظر گرفته شوند و پیامدهایی که می‌بایست صرف‌نظر شوند، انجام گیرد. تجزیه‌وتحلیل هزینه فایده از دیدگاه اجتماعی در طرح‌های ملی که منافع آن به اجتماع برمی‌گردد الزامی است چراکه این طرح‌ها ازنقطه نظر سود مالی چندان جذاب نبوده ولی ممکن است از دیدگاه اجتماعی دارای منافع بسیار باشند. استفاده از کلمه منفعت در عوضی سود در بخشی اجتماعی به این معنی است که منفعت مفهومی وسیع‌تر از سود است و بنابراین درحالی‌که یک طرح یا پروژه دارای منافعی است می‌تواند سود مالی نداشته باشد مواردی همچون اشتغال‌زایی، بالا بردن سطح درآمد مردم، ایجاد رفاه، افزایش سطح خدمات به مردم، رضایتمندی مردم و ...جزو منافع طرح‌های دولتی بوده درحالی‌که ممکن است سودآوری مالی چندانی نداشته و حتی از یک دیدگاه دارای هزینه‌هایی نیز باشد.

در حقیقت توجه به منافع اجتماع در کنار سود در طرح‌های عمومی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است چراکه اغلب سودهای غیرمستقیم ناشی از منافع اجتماعی در نظر گرفته نشده و این‌گونه تصور می‌شود که این دسته از طرح‌ها فقط دارای هزینه بوده و سود ناشی از آن بسیار اندک است، طرح‌هایی همچون احداث پارک‌ها، فضای سبز، احداث بزرگراه‌ها، بهسازی راه‌های کشور و ...ازاین‌دست طرح‌ها می‌باشند.

یکی از فن‌های ارزیابی اقتصادی که برای مقایسه اقتصادی طرح‌ها استفاده می‌شود نسبت منافع به مخارج است و یک روش کاربردی در ارزیابی طرح‌های دولتی است. همان‌گونه که ذکر شد طرح‌های دولتی از آن‌ها که عام‌المنفعه هستند و نتایج حاصل از آن‌ها عاید اجتماع می‌گردد تعیین نتایج آن برحسب سود مالی پیچیده است. درروش نسبت منافع به مخارج از فرمول زیر استفاده می‌شود[۳۴و۳۵].

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{ضرر} - \text{منافع اجرا طرح}}{\text{هزینه}} \qquad (۳-۱)$$

همان‌طور که از رابطه فوق مشخص است، ضررها به هزینه‌ها اضافه نمی‌شوند بلکه از منافع کاسته می‌شوند . Bمعرف منافع و C معرف هزینه‌ها است؛ به‌منظور محاسبه نسبت B به C می‌توان ارزشی فعلی منافع به هزینه‌ها را در نظر گرفت یا همسنگ جریان یکنواخت سالانه آن را محاسبه کرد، اگر نسبت B به C بزرگتر از یک بود طرح مقرون به صرفه است در غیر این صورت طرح مقروم به صرفه نیست.

نکته جالب‌توجه در اینجاست که در اینجا هزینه‌هایی که مربوط به دولت است با علامت مثبت در مخرج ظاهر می‌شود و هزینه‌هایی که مربوط به اجتماع در بهره‌برداری از طرح است در صورت با علامت مثبت ظاهر می‌شود .

به‌منظور مقایسه بین دو طرح نمی‌توان گفت طرحی که دارای نسبت منافع به مخارج بیشتری است، بهتر است بلکه می‌بایست مقایسه دوبدو بدین‌صورت انجام گیرد که تفاضل دو طرح در نظر گرفته‌شده و نسبت منافع به مخارج تفاضل محاسبه می‌شود. در این حالت قانون زیر برقرار است[۳۴و۳۵].

$$\begin{cases} \dfrac{\Delta B}{\Delta C} \geq ۱ \implies \text{طرح با هزینه اولیه بیشتر انتخاب می‌شود} \\ \dfrac{\Delta B}{\Delta C} \leq ۱ \implies \text{طرح با هزینه اولیه کمتر انتخاب می‌شود} \end{cases}$$

۳-۳ ریسک و تورم در ارزیابی طرح‌ها

در مفاهیم اقتصادی، ریسک در ارتباط با حالاتی است که یک فرآیند مالی به‌صورت پیش‌بینی‌شده رفتار نکند. با توجه به اینکه در کلیه فرآیندها عدم قطعیت تا حدودی وجود داشته و فرآیندهای مالی و اقتصادی نیز از این امر در سرمایه‌گذاری‌های بلندمدت مشهودتر است چراکه هر چه فاصله زمانی بین نقطه تصمیم‌گیری پروژه بیشتر باشد تغییرات و نامعینی‌ها خود را بیشتر نشان داده و فرآیند مالی را تحت تأثیر

بیشتری قرار می‌دهند. تحلیل ریسک در فرآیندهای مالی و اقتصادی زمانی امکان‌پذیر است که احتمال تغییر پارامترهای مؤثر بر جریان مالی طرح قابل‌تعیین باشد؛ به‌عبارت‌دیگر تجزیه‌وتحلیل ریسک در ارزیابی اقتصادی طرح‌ها بر مبنای اصول احتمالات انجام می‌گردد[۳۵].

عوامل سیاسی، اقتصادی، پیشرفت فنّاوری، فن‌آوری اطلاعات و... می‌توانند ازجمله عوامل تأثیرگذار بر پارامترهای یک فرآیند مالی باشند. در جهت مطالعات اقتصادی هر طرح مراحل به ترتیب زیر پیشنهاد می‌شود:

- تعریف مسئله

- جمع‌آوری اطلاعات موردنیاز

- فرموله کردن مسئله

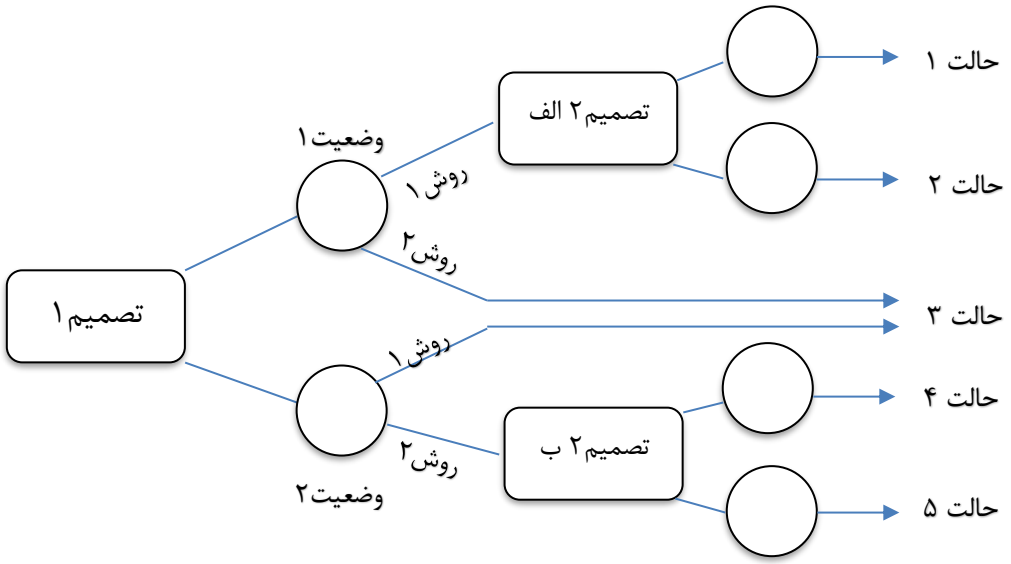
- ارزیابی

در تعریف مسئله به این نکته توجه می‌شود که آیا واردکردن ریسک در ارزیابی اقتصادی طرح موردبررسی الزامی است یا خیر و در جواب به این سؤال می‌توان گفت که اصولاً ریسک زمانی وارد مسئله می‌شود که پاره‌ای از فعالیت‌ها و عوامل تعیین‌کننده تحت شرایط آینده غیرقابل‌پیش‌بینی و در معرض تغییرات نامشخصی باشند و درصورتی‌که در مسئله موردبررسی چنین شرایطی حاکم است تجزیه‌وتحلیل ریسک در مورد آن الزامی است. جمع‌آوری اطلاعات در مسائل غیرقطعی در فرآیندهای اقتصادی شامل تعیین شرایطی است که در آینده احتمال رخداد آن‌ها وجود دارد و همچنین تعیین احتمال رخداد هریک از این شرایط.

پس از جمع‌آوری اطلاعاتی در مورد شرایط آتی نیاز به فرمول‌بندی مسئله است. در فرمول‌بندی مسئله اغلب حالت محافظه‌کارانه اتخاذ می‌شود به این مفهوم که بدترین شرایطی که احتمال بروز دارد موردبررسی قرار می‌گیرد .

توجه شود در حالتی که سرمایه‌گذاری‌های اولیه طرح‌ها متفاوت باشند، لازم است از مفهومی به نام ضریب تغییرات[1] طرح با توجه به مبلغ سرمایه‌گذاری شده استفاده نمود .ضریب تغییرات از تقسیم واریانس طرح بر امید ریاضی آن حاصل می‌شود.

ازآنجاکه ریسک ترکیبی از احتمال و شدت عواقب است درمجموع به دو صورت امکان کاهش ریسک وجود دارد؛ درروش اول لازم است شدت ریسک یا به عبارت بهتر شدت عواقب و نتایج وجود ریسک کاهش داده می‌شود درحالی‌که درروش دوم می‌بایست احتمال بروز ریسک یا به‌عبارت‌دیگر تعداد دفعات وقوع شرایط ریسک کاهش یابد. سرمایه‌گذاری‌های انجام‌شده به‌منظور کاهش ریسک هزینه سرمایه لازم برای کاهش ریسک نامیده می‌شود. درخت تصمیم[2] یکی شیوه‌های معمول در ارزیابی پروژه‌های اقتصادی است، این روش بر پایه شناسایی تصمیم در یک طرح فرضی که امکان دو انتخاب در هر حالت وجود دارد، هست[۳۶].



شکل ۳-۱ یک نمونه درخت تصمیم

[1] Coefficient of Variation

[2] Decision Tree

با در دست داشتن احتمال بروز هر یک از وضعیت‌ها ناشی از تصمیم‌گیری، به‌راحتی می‌توان احتمال بروز هر یک از حالات نهایی را محاسبه نمود. با توجه شرایط قابل دسترس، اقتصادی‌ترین حالت انتخاب گردیده و سپس با حرکت رو به عقب تصمیمات لازم در هر وضعیت مشخص می‌گردد.

۳-۴ خلاصه و نتیجه‌گیری

ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها و طرح‌ها علاوه بر توجه خاص به مبانی نظری اقتصاد مهندسی و ارزیابی اقتصادی طرح‌ها نیازمند استفاده از تجربیات و نظرات افراد خبره و کارشناسان متخصص می‌باشد چراکه استفاده از تکنیک‌های اقتصادی با استفاده از مفاهیم اقتصادی قابل انجام است ولیکن تخمین‌های مورد نیاز در جریان‌های نقدی طرح‌ها و همچنین مشکلاتی که در حین اجرای طرح امکان بروز دارند با استفاده از این روش‌ها قابل تعیین نبوده و نیازمند استفاده از نظرات کارشناسان و متخصصان مربوطه است. در این بخش مبانی نظری و تئوریک ارزیابی اقتصادی طرح‌ها و همچنین مفاهیم و تعاریف ریاضی و اقتصادی موردنیاز به منظور انجام فرآیند ارزیابی اقتصادی طرح‌ها بیان شد؛ با این حال وسعت و دامنه کاربرد مفاهیم اقتصادی آنچنان وسیع است که تحقیقات انجام گرفته در این زمینه و همچنین مقالات و کتب منتشر شده هر کدام گوشه‌ای از این علم وسیع را پوشانده و همه روزه می‌توان شاهد انتشار مقالات علمی جدید و نوآوری‌های جدید در این زمینه بود. سعی شده است که مطالب و موضوعات ارایه شده در این بخش به اندازهای جامع و کامل باشد که مفاهیم ضروری مورد نیاز سایر بخش‌های این تحقیق در زمینه اقتصاد و ارزیابی طرح‌ها را پوشش دهد.

فصل چهارم:

سیستم مورد مطالعه

۴-۱ سیستم ۱: سیستم لوکوموتیو پایه (diesel – تنها)

سیستم لوکوموتیو پایه با گازوییل بسیار کم سولفور (ULSD) کار می‌کند. موتور اشتعال تراکمی با یک توربوشارژر استفاده می‌شود. ابتدا هوا وارد کمپرسور می‌شود و فشار و دما آن بالا می‌رود، سپس هوا خنک می‌شود تا چگالی و جرم خود را قبل از ورود به منیفولد ورودی افزایش دهد. سپس هوای سرد به موتور احتراق داخلی منتقل شد تا نیروی مورد نیاز برای عملیات لوکوموتیو را تولید کند. گازهای اگزوز موتور از طریق توربین توربوشارژر برای انبساط که کمپرسور نیاز دارد، عبور می‌کند. سیستم خنک‌کننده از مخلوطی از آب و اتیلن گلیکول[1] به عنوان ضد یخ‌ها استفاده می‌کند. سیال خنک‌کننده از مخزن خنک‌کننده گرفته می‌شود و برای خنک کردن موتور احتراق داخلی و هوای خارج از کمپرسور و ورود به منیفولد ورودی موتور مورد استفاده قرار می‌گیرد. سیستم روغنکاری از یک روغن پایه نفتی استفاده می‌کند تا موتور را خنک کند. دو مخزن برای سیستم روغن‌کاری مورد استفاده قرار می‌گیرند که در یکی از آن‌ها برای جمع‌آوری روغن و دیگری برای خنک کردن و پاک روغن مورد استفاده قرار می‌گیرد. موتور دیزلی پرقدرت گشتاور مورد نیاز جهت چرخاندن یک مولد برق یا ژنراتور را ایجاد می‌نماید. برق تولید شده توسط ژنراتور پس از عبور از کنترل‌کننده‌ها به موتورهای الکتریکی که روی چرخ‌ها نصب گردیده‌اند منتقل و نیروی لازم جهت حرکت لوکوموتیو ایجاد می‌گردد.

۴-۲ سیستم ۲: سیستم لوکوموتیو ULSD – LNG

در این سیستم، یک عملیات دوگانه از ال‌ان‌جی و دیزل به عنوان سوخت پیشنهاد شده‌است این اگر ال‌ان‌جی در دسترس نباشد، سیستم می‌تواند با سوخت دیزل کار کند. در این حالت سوختی که موتور اصلی را اجرا می‌کند شامل ۶۰ درصد دیزل و ۴۰ درصد ال‌ان‌جی می‌شود. در طی این عملیات، ال‌ان‌جی توسط پمپ برودتی از مخزن برودتی به مبدل حرارتی پمپ می‌شود تا دمای آن را افزایش داده و آن را به گاز طبیعی تبدیل کند. سپس گاز طبیعی با هوا مخلوط شده و وارد منیفولد ورودی موتور اصلی می‌شود. احتراق گاز طبیعی به همراه گازوییل در سرعت های مختلف موتور رخ می‌دهد.

[1] Glycol Ethylene

سیستم خنک‌کننده دارای وظایف مشابه سیستم اصلی دارد، انرژی خنک کردن موتور اصلی و هوای ورودی، می‌توان از تبخیر گاز مایع گرفته شود که این موجب کاهش کارکرد مبدل حرارتی مورد نیاز برای افزایش دمای سوخت گازی شده در نهایت باعث کاهش خرابی و هزینه تعمیر و نگهداری مبدل می‌شود.

۳-۴ روش فنی طراحی موتور گاز طبیعی سوز

اصلاح و تغییر موتور برای استفاده از گاز طبیعی به طور مشخص بر روی سر سیلندر و سیستم سوخت می‌باشد. بدنه سیلندر را می‌توان تقریبا بدون تغییر برای موتور گازسوز مورد استفاده قرار داد، اکثر قطعات دیگر (بجز در مواردی) جهت تبدیل موتور به گاز طبیعی به صورت اصلی و به همان صورت باقی می‌مانند. بدنه سیلندر بگونه‌ای تقویت می‌گردد که بتواند نسبت فشار و ماکزیمم فشار احتراق را که برای موتورهای با شمع بیشتر است، تحمل کند. در ارتباط با بدنه موتور مسئله اتلاف حرارت از شمع موتور دارای اهمیت می‌باشد، این اتلاف تا زمانیکه انرژی حرارتی توسط پیستون، سر سیلندر و منیفولد اگزوز جذب گردد، ادامه دارد.

سرسیلندر به تغییرات و اصلاحات زیادی همچون توپی جرقه جهت جایگزینی با انژکتور، لازم دارد. یک راه حل مناسب که مورد توجه قرار گرفته است اینکه سوراخ و گمانه اصلی در سر انژکتور اصلاح گشته تا تیوب ماشین‌کاری شده جایگزین انژکتور گردد. دیواره خارجی تیوب ماشین کاری می‌شود تا بتواند روغن خنک کاری و سوخت موجود و عبوری از مسیر انژکتور که جهت تغذیه موتور مورد استفاده قرار می گیرد را سیل کرده باشد. داخل تیوب نیز جهت نصب توپی جرقه در قسمت پایینی آن، ماشین کاری شده است. الکترود توپی جرقه به اندازه کافی با برآمدگی ساخته می شود تا جهت انفجار مناسب بی‌حفاظ بماند ولی تیوب در مقابل سطح آتش حفاظت شده است[۳۷].

تغییر دیگر در سر سیلندر شامل جایگزینی دریچه‌ها و محل آن‌ها با مواد سخت‌تر جهت جلوگیری از ضربه در دریچه‌ها می‌باشد. آزمایشات بر روی موتورهای با سوخت‌های دیگر (غیر از فسیلی) نشان می‌دهد که محتوای گازهای خروجی دارای مقدار خیلی کمی از هیدروکربن‌های رسوبی و دوده که توسط سوخت‌های

رایج بوجود می‌آید، می‌باشد. این محصولات حاصله از احتراق در دریچه‌های روانسازی و روغنکاری وارد می‌گردند و این دریچه‌ها که از مواد مرسوم قدیمی ساخته شده‌اند، دچار سایش غیر قابل قبول در موتورهای گاز سوز می‌شوند. راه حل این مسئله افزایش محتوای کرم و نیکل سرشیرها و دریچه‌ها می‌باشد[۳۷].

یکی از مشخصه‌های موتورهای گازسوز نسبت فشار پایین‌تر می‌باشد. نسبت فشار موتورهای دیزل برای موتورهای خود اشتعال در حدود ۱:۱۵ می‌باشد. این نسبت فشار بالا برای موتورهای گاز طبیعی نامناسب می‌باشد زیرا این نسبت فشار بالا باعث خود اشتعالی و ضربه در موتور می‌گردد. نسبت فشار ۱:۱۰ جهت انجام اشتعال متعادل در محفظه احتراق مناسب می‌باشد. طراحی و ساخت پیستون و تاج پیستون مناسب برای کار با نسبت فشار کم بسیار سخت و پرهزینه می‌باشد[۳۷].

راه حل عملی استفاده از شاتون کوتاه‌تر در حدود ۶ میلیمتر برای دست‌یابی به نسبت فشار ۱:۱۰ می‌باشد. البته به نحوی که در مقاومت آن تاثیر نگذارد. تغییر پروسه حداقل بوده تا فقط یک اندازه در ماشین کاری محور تغییر کند، این اندازه شعاع پین تا مرکز سوراخ میل‌لنگ می‌باشد. تنها قطعه دیگری که از مجموعه قطعات سیلندر جهت تطبیق با نسبت فشار پایین و اصلاح شاتون تغییر می کند، فضا انداز مهره پین می‌باشد. جهت نگهداشتن مهره پین مشابه، یک مهره پین بلندتر طراحی می‌گردد. استفاده از مهره پین بلندتر باعث می‌شود که بار وارده بر مهره پین در همه جهات یکسان باشد[۳۷].

۴-۴ خلاصه آمار و وضعیت ناوگان ریلی و مصرف انرژی کشور

طبق گزارش سالیانه مرکز تحقیقات راه آهن جمهوری اسلامی ایران جدول زیر نشانگر کل خطوط راه آهن و تعداد لوکوموتیوهای فعال در سال ۱۳۹۵ و۱۳۹۶ می‌باشد. تنها سوخت مصرفی در بخش کلان گازوییل است، روند مصرف سوخت افزایشی بوده که بخشی از آن مربوط به افزایش تردد و تعداد لوکوموتیوهای فعال می‌باشد و بخشی مربوط به مستحلک بودن بخش‌های مختلف حمل و نقل کشور می‌باشد.

جدول ۴-۱[۱]

	۱۳۹۵	۱۳۹۶
طول خطوط اصلی (کیلومتر)	۱۰۴۷۵	۱۱۰۶۱
لوکوموتیو(عدد)	۴۵۹	۴۷۵
مصرف سوخت(میلیون لیتر)	۴۳۲	۴۶۷

جدول زیر نشان دهنده تعداد لوکوموتیو با توجه به سال بهره برداری و همچنین سهم آن از تعداد کل.

جدول ۴-۲ [۲]

تاریخ بهره برداری	تعداد	درصد از کل ناوگان
۱۳۹۶-۱۳۹۴	۴۰	۷.۲
۱۳۹۳-۱۳۸۹	۹۸	۱۷.۷
۱۳۸۸-۱۳۸۴	۲۹	۵.۲
۱۳۸۳-۱۳۷۹	۱۶	۲.۹
۱۳۷۳-۱۳۶۹	۴۴	۸.۱
۱۳۶۳-۱۳۵۹	۷۶	۱۳.۷
قبل از ۵۹	۲۵۰	۴۵.۲
جمع کل	۵۵۳	٪۱۰۰

۴۵.۲درصد لوکوموتیوهای موجود در کشور عمر بالای ۴۰ سال دارند و نشان دهنده سیستم مستحلک و با هزینه نگهداری زیاد میباشد، همین امر سبب می‌شود فرصتی مناسب برای تغییر اساسی در موتور و نوع سوخت مصرفی به وجود آید. قالباً لوکوموتیوهای قبل از سال ۵۹ از نوع GT26ccw می‌باشد که مورد مطالعه قرار گرفت.

برای بررسی ظرفیت‌های توسعه ناوگان ریلی در هر کشور، شاخص‌هایی معرفی شده است. طبق گزارش سازمان بین اللملل راه آهن‌ها (UIC[1])، نسبت طول خطوط راه آهن به مساحت و جمعیت کشور، شاخص قابل استناد برای مقایسه کشورهای مختلف از لحاظ بهرمندی و ظرفیت‌های توسعه این ناوگان است.

جدول ۴-۳[۵و۶]

کشور	شاخص کیلومتر بر مساحت (km/km^2)	شاخص کیلومتر بر جمعیت (km/Mn)
ایران	۰.۰۰۵۲	۱۳۲
استرالیا	۱.۱۴۰۵	۳۶۴.۸
عراق	۵.۴۴۸۲	۶۳.۷
روسیه	۵.۰۰۳۹	۵۹۲.۸
بلغارستان	۳۶.۳۰۶۳	۵۵۹.۷
ترکیه	۱۳.۰۰۲۵	۱۲۸.۳
آذربایجان	۲۳.۸۳۹۰	۲۱۱.۶

سعی شده است کشورهای انتخاب شده در جدول۴ وجه مشترک بیشتری از لحاظ جمعیتی، وسعت با ایران داشته باشند. این آمار در سال ۲۰۱۷ منتشر شد و وضعیت تمامی کشورهای در حال توسعه بیان شده است.

نسبت طول خطوط راه آهن به مساحت کشور نشان میدهد ایران ظرفیت زیادی برای توسعه خطوط ریلی دارد و همواره تحقیق و پژوهش امری ضروری برای توسعه این ناوگان بوده است.

۴-۵ مصرف فرآورده های نفتی انرژی‌زا و گاز طبیعی در سال۱۳۹۵

در سال ۱۳۹۵ حدود ۸۹ درصد انرژی مورد نیاز کشور با مصرف فرآورده های نفتی شامل گاز مایع، بنزین موتور، نفت سفید، نفت‌گاز، نفت‌کوره، سوخت‌های هوایی و گاز طبیعی تامین شده است. مصرف

[1] Union International of Railways

فرآورده‌های نفتی در این سال مقدار ۴۵۶۲ هزاربشکه معادل نفتخام بوده است که سهم گاز طبیعی ۳۴۲۳ هزار بشکه معادل نفتخام (۵۷ درصد)، بنزین موتور ۴۲۸ هزار بشکه معادل نفتخام (۹/۴ درصد)، نفت سفید ۵۰ هزار بشکه معادل نفتخام (۱/۱ درصد)، نفت گاز ۴۹۲ هزار بشکه معادل نفتخام (۱۰/۸ درصد)، نفتکوره ۸۹ هزار بشکه معادل نفتخام (۲ درصد)، سوخت های هوایی ۳۲ هزار بشکه معادل نفتخام (۰/۷ درصد) و گاز مایع ۴۸ هزار بشکه معادل نفتخام (۱ درصد) بوده است.

در سال ۱۳۹۵ مصرف فرآورده های نفتی و گازطبیعی نسبت به سال قبل رشدی در حدود ۳/۲ درصد داشته است که افزایش مصرف گاز طبیعی، بنزین موتور و سوخت های هوایی سهم بیشتری در این رشد داشته اند.

مصرف گاز طبیعی کل کشور

در سال ۱۳۹۵ مصرف گاز طبیعی در بخش‌های خانگی، تجاری، نیروگاه‌ها، صنایع عمده و غیر عمده با رشد۹ /۳ درصدی به سطح۵۲۹/۱ میلیون متر مکعب در روز رسید که از این میزان۵۰/۹ درصد در بخش خانگی، تجاری و صنایع غیر عمده، ۱۳/۵ درصد در بخش نیروگاهی و۷۱/۷ درصد در صنایع عمده به مصرف رسیده‌است.

مصرف گاز طبیعی (CNG) در خودروها

در سال ۱۳۹۵ مصرف گاز طبیعی (CNG) در خودروها روزانه۲۰/۶ میلیون مترمکعب بوده است که نسبت به سال گذشته۱/۵ درصد رشد داشته است.

همچنین تعداد جایگاه های عرضه کننده این فرآورده تا پایان سال ۹۵ در مجموع تعداد ۲۳۷۴ باب بوده است که نسبت به سال قبل۲/۳ درصد رشد داشته است.

مصرف سوخت نیروگاه ها

در سال ۱۳۹۵ مصرف سوخت معادل نیروگاه ها برابر با ۶۸/۳ میلیارد مترمکعب شامل ۵۸/۱ میلیارد مترمکعب گازطبیعی،۵/۷ میلیارد لیتر نفت گاز و۴/۵ میلیارد لیتر نفتکوره بوده است که نسبت به سال قبل۴ /۰ درصد رشد داشته است.

مصرف نفتگاز نیروگاه ها

در سال ۱۳۹۵ مصرف نفتگاز نیروگاه ها با۴ /۱ درصد کاهش نسبت به سال قبل به مقدار۵/۷ میلیارد لیتر(۱۵/۷ میلیون لیتر در روز) رسید که دارای ارزشی بالغ بر ۲ میلیارد دلار بـــوده اســـت.

۴-۵ فرضیات عمومی برای سیستم‌ها

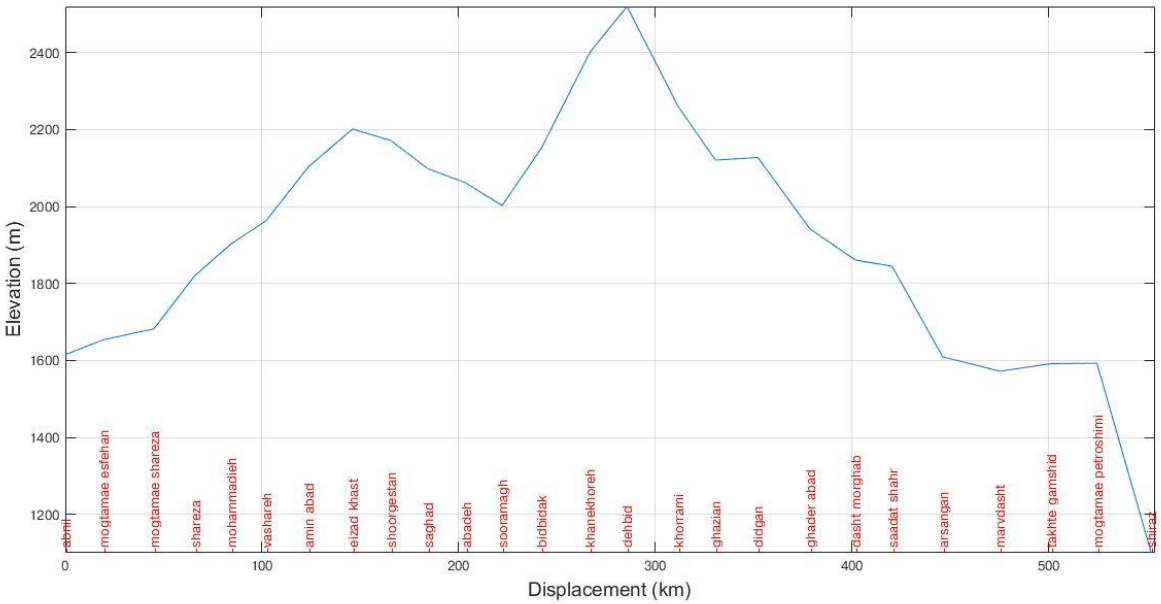
فرض می‌شود که تمام سیستم‌های مورد مطالعه دارای خروجی قدرت یکسان برای اجرای لوکوموتیو هستند که در آن مقایسه در مقدار ورودی انرژی برای اندازه‌گیری بازده سیستم‌ها رخ می‌دهد. همه فرایندها پایا و جریان پایدار هستند و تغییرات در انرژی‌های جنبشی و پتانسیل نادیده گرفته می‌شوند. هیچ افت فشار در تمام مبدل‌های حرارتی و لوله‌ها وجود ندارد.

لوکوموتیو GT-26 با وزن ۱۲۰ تن دارای ۶ محور محرک و سطح مقطع ۱۰مترمربع

۱۵ عدد واگن متحرک ۴محوره با وزن میانگین ۴۷تن و سطح مقطع ۱۰مترمربع

مسیر مورد مطالعه اصفهان – شیراز به طول ۵۴۷ کیلومتر با شیب و فراز مطابق نمودار۱

نمودار ۱ شیب و فراز مسیر اصفهان-شیراز



نیروی محرک

نیرویی که از طرف موتور لوکوموتیو برای حرکت قطار تأمین می شود.

نیروهای مقاوم

نیروهایی که در مقابل حرکت قطار، عکس العمل منفی از خود بروز می دهند.

نیروهای مقاوم بر دو دسته تقسیم می شوند:

۱- نیروهای مقاوم اصلی

۲- نیروهای مقاوم مربوط به ساختمان خط

نیروهای مقاوم اصلی

زمانی که واگن ها و واحدهای متحرک در مسیری بر فراز صفر (سطح افق) و بدون قوس حرکت می‌کنند.

نیروهای بازدارنده که به آنها نیروهای مقاوم اصلی گویند بر آنها مؤثر هستند:

- ❖ نیروی اصطکاک بین چرخ‌ها و ریل‌ها
- ❖ نیروی اصطکاک در یاتاقان ها و سر محورها
- ❖ نیروی اصطکاک هوا
- ❖ نیروی اصطکاک ناشی از ضربه چرخ ها و در درزها

در همه کشورها فرمول‌های حاصله برای نیروهای مقاوم اصلی یک تن وزن قطار ارائه شده که بر حسب کیلوگرم بر تن است. معروفترین فرمول برای محاسبه نیروی مقاومت اصلی: فرمول دیویس[1]

$$R_w = A + \frac{B}{W} + CV + \frac{Da}{W \times n}V^2 \qquad (۱-۴)$$

جدول۴-۴ ضرایب معادله دیویس

نوع وسیله نقلیه	A	*B*	*C*	*D*
لوکوموتیو	۰.۶۵	۱۳.۲	۰.۰۰۹۳۱	۰.۰۰۴۵۳
واگن باری	۰.۶۵	۱۳.۲	۰.۰۱۳۹۵	۰.۰۰۰۹۴۴
واگن مسافری	۰.۶۵	۱۳.۲	۰.۰۰۹۳۱	۰.۰۰۰۶۴۲

R_w : مقدار نیروی مقاوم اصلی برای واحد وزن قطار (کیلوگرم-نیرو بر تن)

W : مقدار بار هر محور (تن)

n : تعداد کل محور وسیله نقلیه

a : سطح مقطع وسیله نقلیه در مقابل حرکت (متر مربع)

V : سرعت قطار (کیلومتر در ساعت)

ظرایب A, B, C, D, ضرایبی هستند که بستگی به نوع وسیله نقلیه دارند .

[1] DAVIS

نیروهای مقاوم مربوط به ساختار خط ریلی

- ❖ نیروی مقاوم در فرازها
- ❖ نیروی مقاوم در قوس ها
- ❖ نیروی مقاوم در سوزن ها
- ❖ نیروی مقاوم در تونل ها

نیروی مقاوم فراز(نشیب)

عامل ایجاد این مقاومت شیب مسیر خط است که مقدار آن از رابطه زیر به دست می آید:

$$W_i = G \times \sin\alpha \cong G \times \tan\alpha \cong G.\alpha \qquad (۲-۴)$$

W_i : نیروی مقاوم فراز

G : وزن قطار

α : زاویه سطح شیبدار که ریل گذاری انجام شده است.

نیروی مقاوم قوس ها

فرمول کامپساکس برای شرایط ریلی ایران $W = \frac{441}{R-45}$ $(۳-۴)$

نیروی مقاوم سوزن‌ها

مقدار نیروی مقاوم سوزن ها: ۰.۵ تا ۱ کیلوگرم به ازای هر تن وزن قطار

نیروی مقاوم تونل ها

$$R_{Tunnel} = 2.7 + 0.9 \times \frac{V}{W_t} \qquad (۴-۴)$$

R_{Tunnel} : نیروی مقاوم تونل‌ها بر حیب کیلوگرم فورس

V : سرعت بر حسب کیلومتردرساعت

W_t : وزن کل قطار برحسب تن

توان کششی لوکوموتیو از حاصل ضرب ضرایب تاثیر موتورها، چرخ دندهها و بازده ژنراتورها در توان تولیدی موتور دیزل بدست می آید

$$N_k = \eta_G \times \eta_b \times \eta_d \times N_e \qquad (۵-۴)$$

N_k : توان کششی لوکوموتیو

η_G : بازده ژنراتور

η_b : بازده موتور دیزل

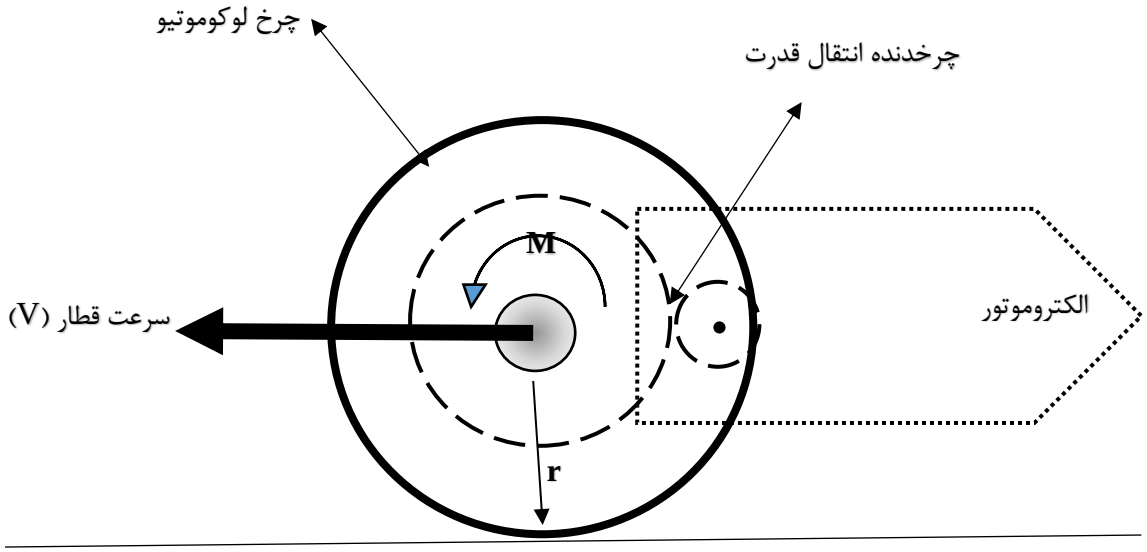
η_d : بازده چرخ دندها و سیستم انتقال قدرت

N_e : توان کل لوکوموتیو

نیرو کشش لوکوموتیو

نیرو کشش بر اساس رابطه دیویس $(۴-۶)$

$$F_k = \frac{270 \times N_k}{V}$$

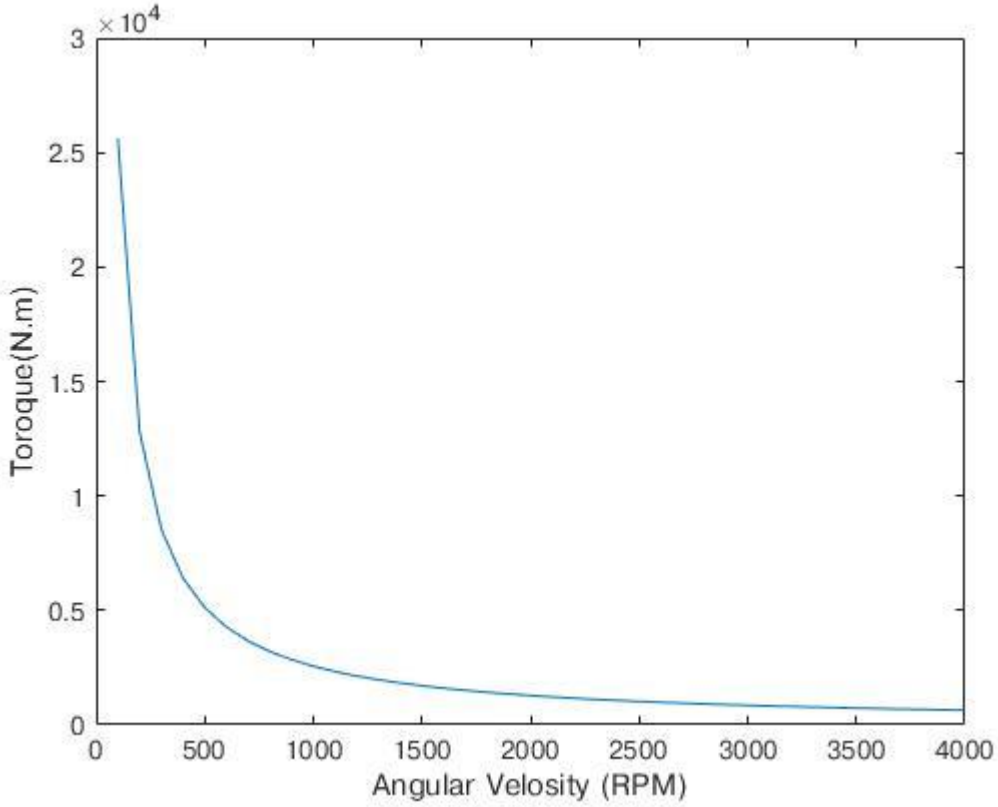


شکل۴-۱ شماتیک چرخ

با استفاده از سرعت هرلحظه لوکوموتیو میتوان مقدار دور بر دقیقه چرخش الکتروموتور بدست آورد

$$M = \frac{V}{r \times \frac{2\pi}{60}} \rightarrow RPM_e = GearRation \times M \qquad (۷-۴)$$

نمودار نیروکشش بر حسب دور بر دقیقه هر الکتروموتور از اطلاعات اولیه لوکوموتیو موجود است. این اطلاعات از شرکت نیرو کشش راه آهن جمهوری اسلامی ایران گرفته شده است نمودار۲.



نمودار۲ نیرو کشش لوکوموتیوGT_26

از درون یابی مقدار نیروی کشش(F_k) با استفاده از دور موتور محاسبه شده، مقدار نیروی کشش مورد نیاز در هر سرعت بدست آمده است.

F_k نیروی داخلی لوکوموتیو است که خود به تنهایی نمی تواند موجب حرکت لوکوموتیو شود، این نیروی کششی در هر حالت باید از نیروی چسبندگی بین چرخ و ریل کمتر باشد زیرا در غیر این صورت باعث درجا حرکت کردن چرخ می‌شود.

$$F_a = 1000 \times \Psi_k \times \sum_{i=1}^{n} \pi_i \qquad (۸-۴)$$

F_a : نیروی چسبندگی (kgf)

Ψ_k : ضریب چسبندگی بین ریل و چرخ‌ها

$\sum_{i=1}^{n} \pi_i$: مجموع فشار روی چرخ‌های لوکوموتیو

نیروی کششی محرک لوکوموتیو

$$T_f = Min(F_a \times F_k) \qquad (۹-۴)$$

T_f : بر حسب کیلوگرم‌فورس (kgf)

شتاب در هر لحظه

مجموعه نیروهای مقاوم موثر بر حرکت قطار از نیروی کشش کم شود و در وزن کل قطار ضرب شود شتاب لحظه‌ای بدست می‌آید

$$a(i) = (T_f - R_w) \div TMass \qquad (۱۰-۴)$$

$TMass$: وزن کل قطار(کیلوگرم)

سرعت در هر لحظه

$$V_2^2 - V_1^2 = 2 \times a(i) \times \Delta x \rightarrow V_2 = \sqrt{2a(i)\Delta x + V_1^2} \qquad (۱۱-۴)$$

Δx : جابجایی در هر گام (متر)

V_2: سرعت در هر لحظه

V_1: سرعت در گام قبلی

زمان طی هر گام

$$t_2 = \frac{V_2 - V_1}{a(i)} + t_1 \qquad (۱۲ - ۴)$$

توان خروجی

$$P_{out} = T_f \times V \qquad (۱۳ - ۴)$$

V : سرعت در هر لحظه (کیلومتر بر ساعت)

P_{out} : بر حسب وات (ژول بر ثانیه)

برای بدست آوردن توان تولیدی موتور دیزل باید توان خروجی بر ضریب بازده ژنراتور و سیستم انتقال قدرت تقسیم شود تا به توان تولیدی موتور دیزل برسیم

توان ورودی

$$P_{in} = \frac{\mathrm{P_{out}}}{\eta_G \times \eta_d} \qquad (۱۴ - ۴)$$

با توجه به مشخصات موتور دیزل تولید این مقدار توان در مدت زمان مشخصی صورت میگیرد، از ضرب این مدت زمان در توان تولیدی مقدار انرژی بر حسب ژول محاسبه شده و در نهایت با توجه به ارزش حرارتی سوخت مصرفی مقدار سوخت بر حسب محاسبه می‌شود.

$$E_C = \frac{P_{in} \times dt}{C_e} \qquad (۱۵ - ۴)$$

E_C : مقدار سوخت بر حسب لیتر

C_e : ارزش حرارتی سوخت بر حسب ژول بر لیتر

جدول۴-۵ ارزش حرارتی سوخت

	بازار خلیج فارس		بازار شرق آسیا	
سوخت	کمترین ارزش حرارتی (مگاژول بر کیلوگرم)	بیشترین ارزش حرارتی (مگاژول بر کیلوگرم)	کمترین ارزش حرارتی (مگاژول بر کیلوگرم)	بیشترین ارزش حرارتی (مگاژول بر کیلوگرم)
گازوییل	۴۲	۴۶	۴۱	۴۶
گاز طبیعی	۴۲	۵۵	۴۷	۵۲
ال‌ان‌جی	۴۸	۵۵	۴۷	۵۵

انرژی مصرفی در هر لحظه **E** حاصلضرب توان ورودی در مدت زمان تولید آن است.

$$E = P_{in} \times dt \qquad (۱۶-۴)$$

در بررسی اول در نظر میگیرم ۴۰درصد از انرژی مورد نیاز توسط گاز طبیعی تامین شود. از تقسیم این مقدار بر ارزش حرارتی گاز طبیعی مقدار حجم گاز مصرفی حاصل میشود.

$$V_g = \frac{E \times 0.4}{C_g} \qquad (۱۷-۴)$$

مقدار انرژی باقیمانده سهم گازوییل می‌باشد.

$$V_d = \frac{E \times 0.6}{C_d} \qquad (۱۸-۴)$$

برای موتور پایه گازسوز CG_260 شرکت کاترپیلار محاسبات با همان روابط و در همان مسیر اصفهان_ شیراز انجام می‌شود و در نهایت مقدار سوخت مصرفی بر حسب متر مکعب بدست آمده است. لوکوموتیو CG_260، موتور ۱۲ سیلندر با حجم موتور ۲۰۳.۹ لیتر داراری قدرت ۴۴۷۰ اسب بخار می‌باشد[۴۵]. این لوکوموتیو شامل شش محور محرک و وزن ۹۸ تن بوده است.

در شبیه سازی فرض بر این شده‌است که لوکوموتیوران یک کیلومتر جلوتر از مسیر را مشاهده کرده و بر اساس شرایط محیطی تصمیم به تغییر سرعت می‌کند. در ابتدای ایستگاه سرعت و شتاب صفر است، معادلات

نیرو برمبنای وزن کل، نیروهای محیطی و استحکاک چرخ و ریل محاسبه شده‌است. با اعمال نیرو کشش، لوکوموتیو شروع به شتاب‌گیری می‌کند تا به سرعت تعیین شده برسد، در صورتی که سرعت قطار به بیشینه حد مشخص رسید لوکوموتیوران تصمیم به کاهش نیروکشش کرده و یا در صورت نیاز نیروی ترمز اعمال می‌کند. این محاسبات در هر ۵۰ متر تکرار شده است. در معادله $\sum F = Ma$، مجموعه نیروها وابسته سرعت قطار است، برای مشخص شدن سرعت و شتاب معادله دیفرانسیل حاصل از روابط مربوطه تعیین شده و در هر ۵۰ متر سرعت و شتاب قطار مشخص شده‌است.

به علت محدودیت‌های فنی قطار، همچون تکانه زیاد (حاصل ضرب سرعت در وزن) تغییر سرعت ناگهانی غیرممکن و خطرناک است لذا لوکوموتیوران از یک کیلومتر قبل‌تر تصمیم‌گیری کرده تا به سرعت مطلوب در محل مورد نظر برسد.

برای مثال قطار از ایستگاه اول حرکت کرده و در فاصله ۵کیلومتری از مبدا به بیشینه سرعت تعیین شده می‌رسد، لوکوموتیوران نیروکشش قطار را کاهش می‌دهد تا با سرعت ثابت مسیر را طی کند. با نزدیک شدن قطار به ایستگاه بعدی، لوکوموتیوران باید تصمیم به کاهش سرعت بگیرد و این تصمیم یک کیلومتر قبل از ایستگاه گرفته‌شده تا در صورت نیاز با کاهش کل توان کشش و یا اعمال نیروی ترمز الکتریکی و در مواقع اضطراری استفاده از ترمز مکانیکی، سرعت قطار کاهش می‌یابد.

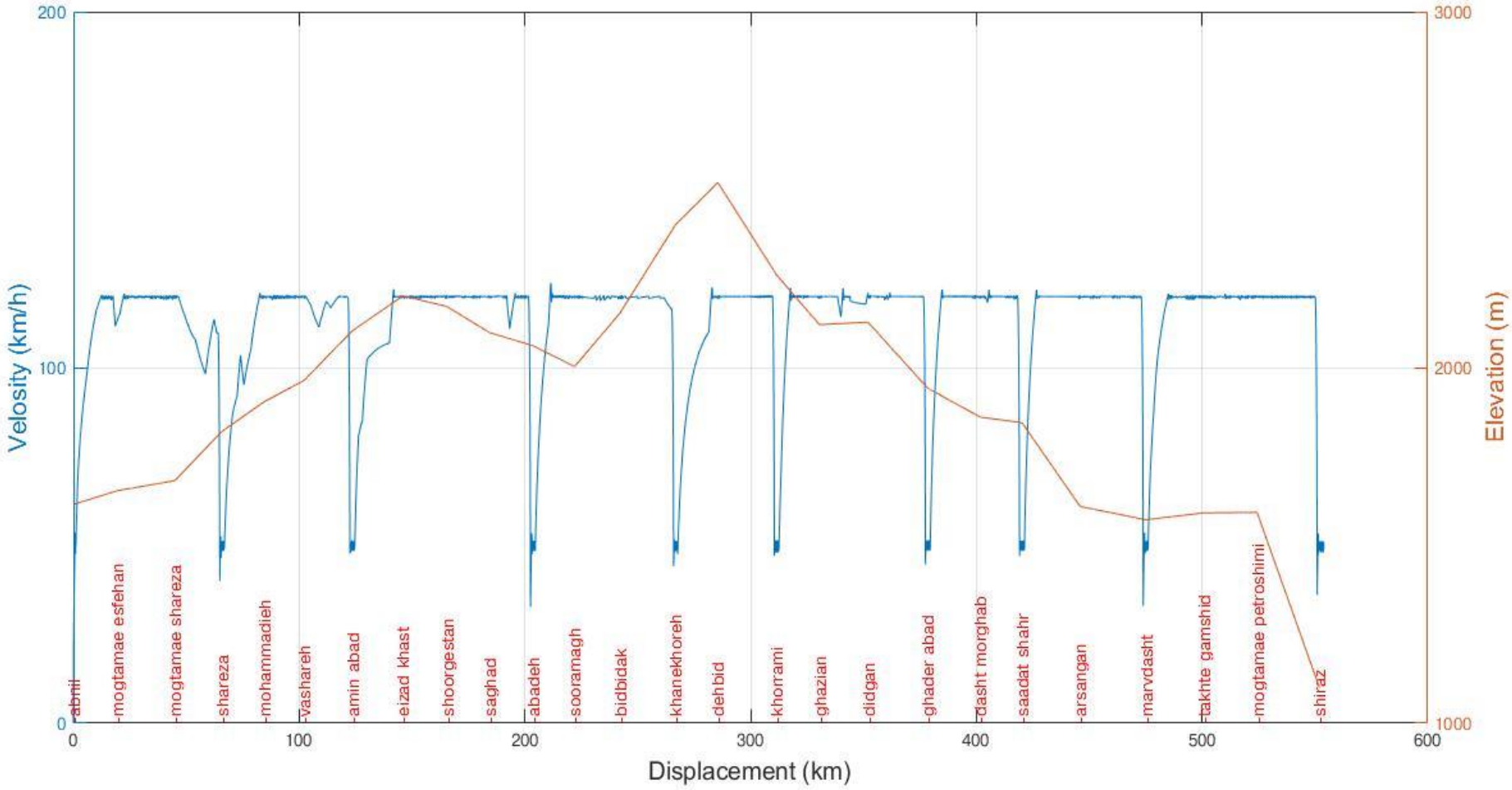
در فصل بعدی نتایج بدست آمده برای هر لوکوموتیو با شرایط یکسان بررسی و ارائه می‌شود.

فصل پنجم:

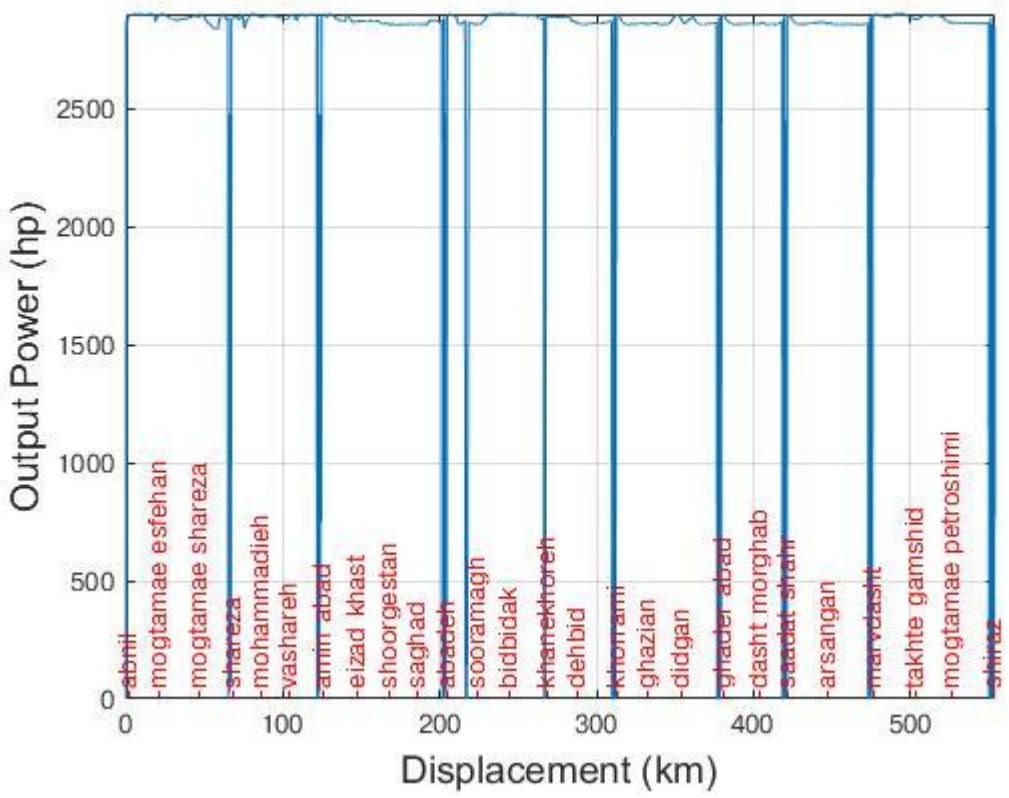
نتایج

شبیه سازی خط ریلی و لوکوموتیو با ۱۵ واگن در نظر گرفته شده است. خروجی برنامه نشان می‌دهد محدودیت حداکثر سرعت ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت در طول مسیر و حداقل سرعت ۵۰ کیلومتر بر ساعت در ایستگاه، رعایت شده و قطار قادر به پیمودن مسیر شبیه سازی، است. نمودار ۳ نشان دهنده سرعت قطار با توجه به شیب و فراز مسیر می‌باشد.

لوکوموتیو GT_26 شرکت ای‌ام‌دی دارای توان خروجی ۳۰۰۰ اسب بخار بوده که نتایج شبیه سازی حداکثر توان خروجی در همان محدوده قرار دارد. نمودار ۴ توان خروجی در هر مکان را نشان می دهد.

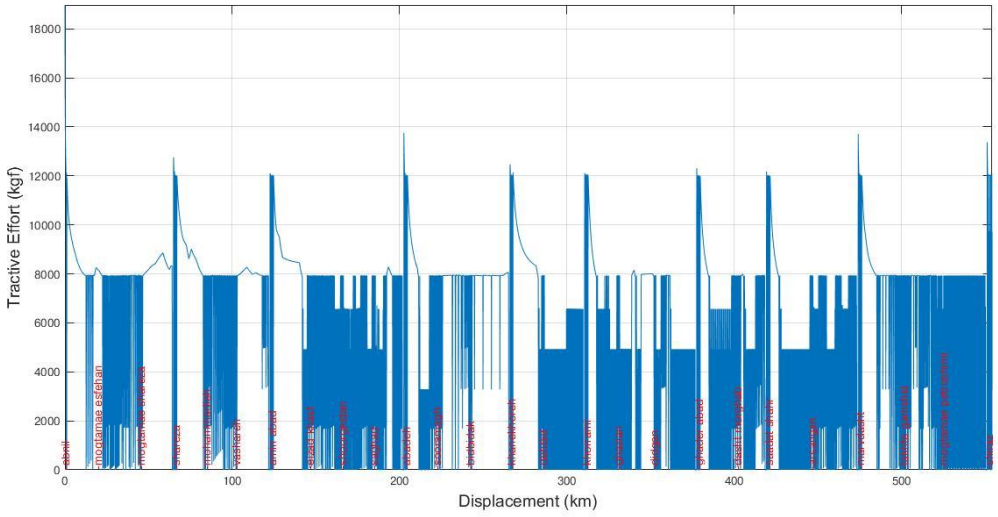


نمودار۳. سرعت قطار در هر نقطه از مسیر برای لوکوموتیو GT_26



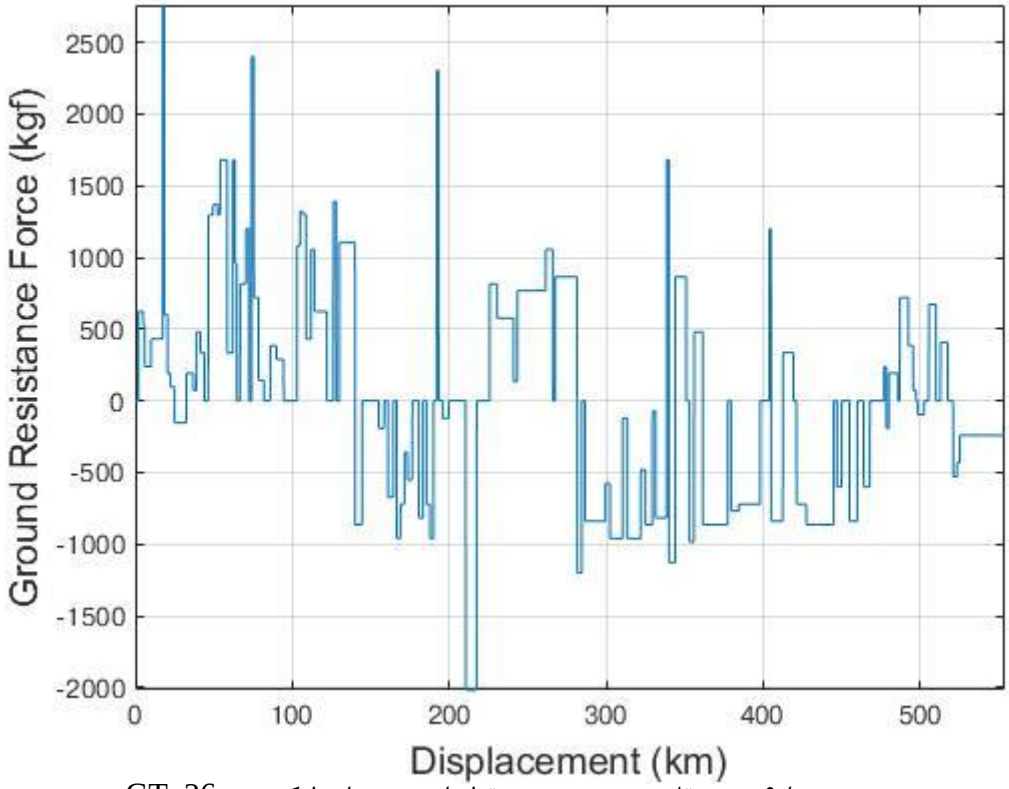
نمودار۴. قدرت خروجی لوکوموتیو در هر نقطه از مسیر برای لوکوموتیو GT_26

نیرو کشش لوکوموتیو در هر مکان باتوجه به نیروهای مقاوم شیب و فراز و شتاب مثبت یا منفی قطار متفاوت است. در نمودار ۵ نیرو کشش بر حسب کیلوگرم فورس در هر مکان نشان داده شده است.

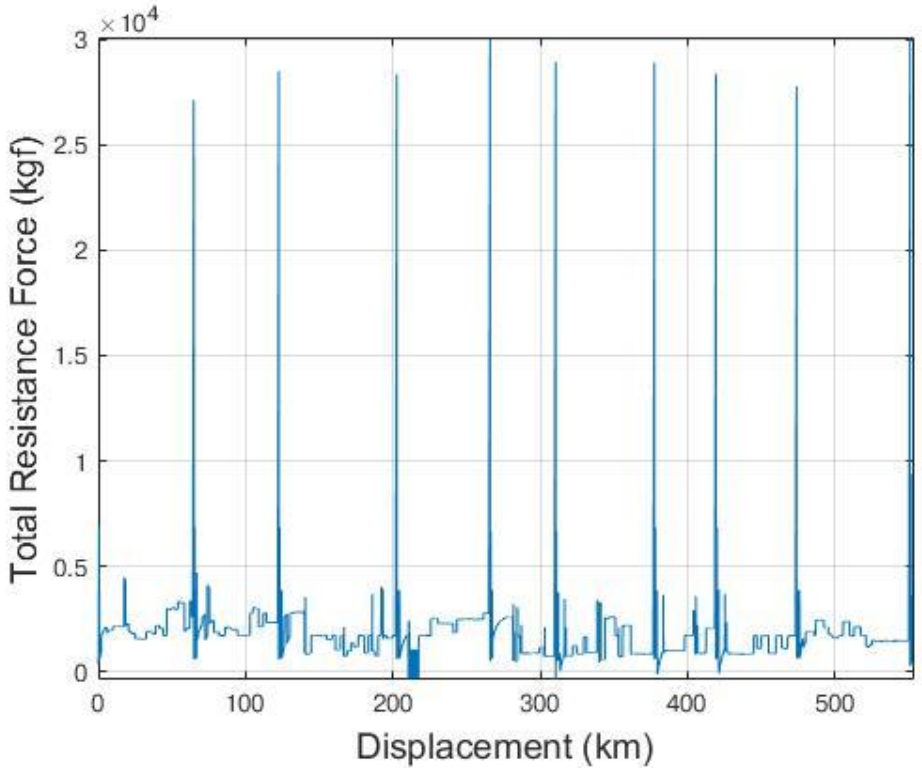


نمودار۵. نیروکشش لوکوموتیو در هر نقطه از مسیر برای لوکوموتیو GT_26

نمودار نیروهای مقاوم زمین و مقاومت کل در هر نقطه از مسیر مشخص شده است.

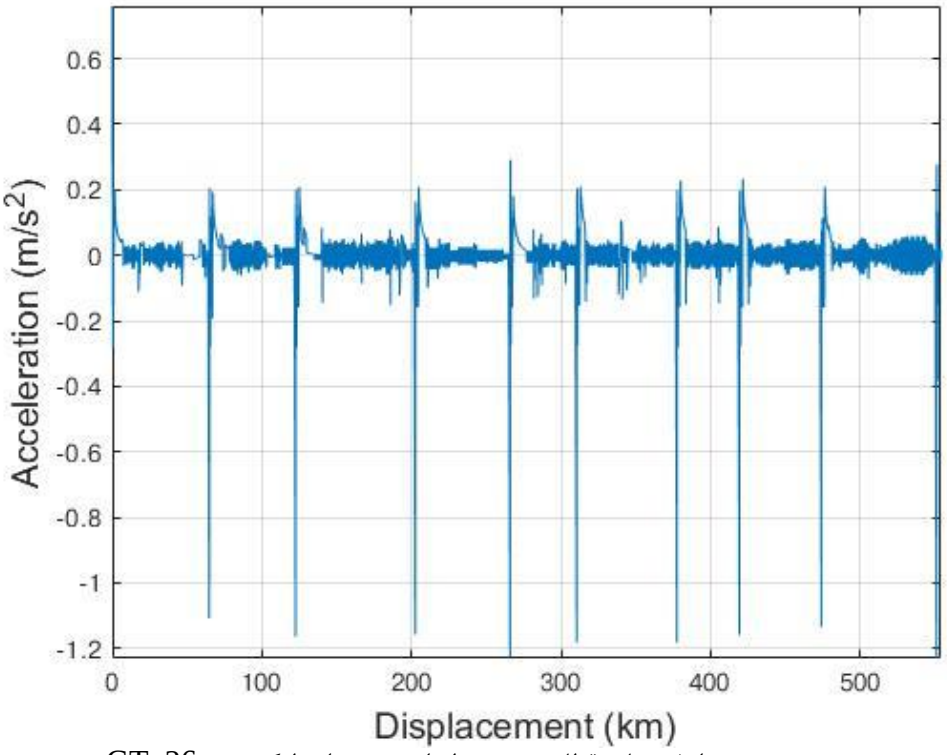


نمودار۶. نیرو مقاومت زمین در هر نقطه از مسیر برای لوکوموتیو GT_26

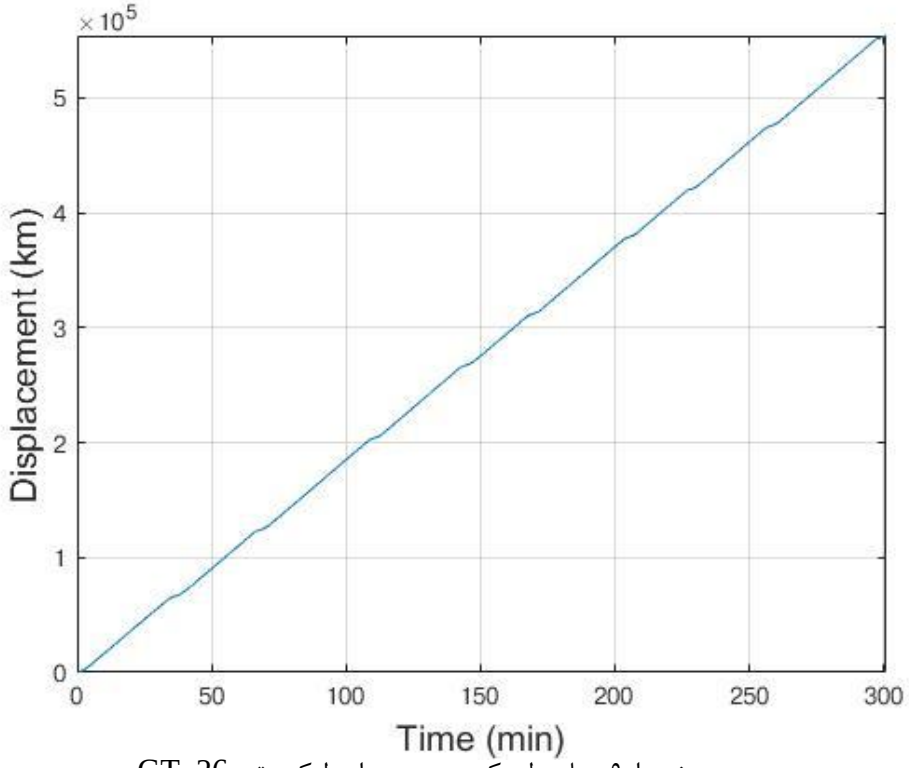


نمودار۷. نیرو مقاومت کل در هر نقطه از مسیر برای لوکوموتیو GT_26

نمودار ۸. با توجه به نیروهای مقاوم کل و نیرو کشش در هر لحظه شتاب محاسبه شده است.



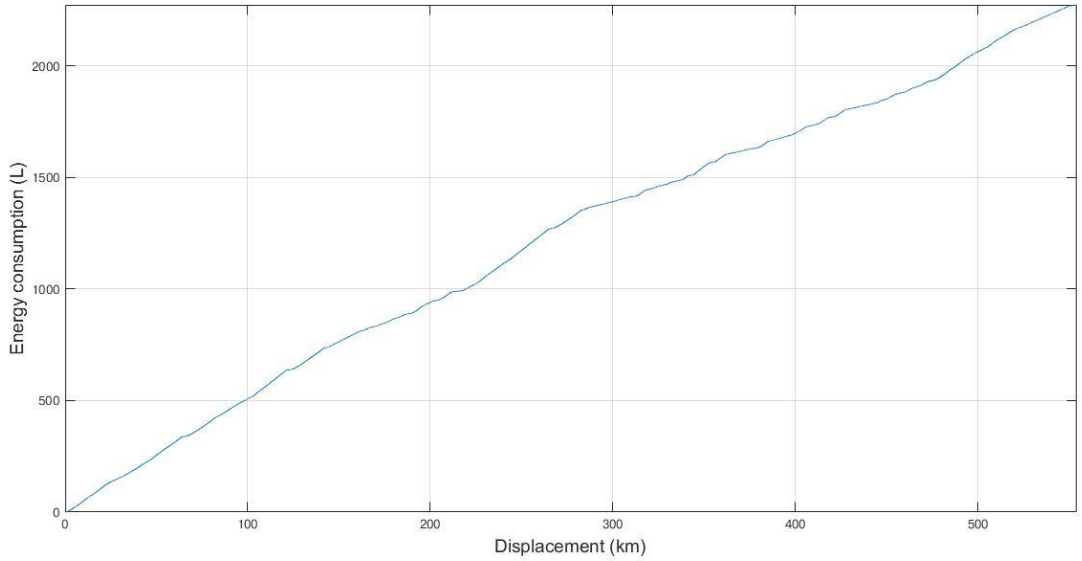
نمودار۸. شتاب قطار در هر نقطه از مسیر برای لوکوموتیو GT_26



نمودار۹. زمان طی کردن مسیر برای لوکوموتیو GT_26

قطار مسیر اصفهان-شیراز در مدت ۴ساعت‌و۵۰ دقیقه طی می‌کند.

در نهایت میزان مصرف سوخت لوکوموتیو در حالت پایه دیزل محاسبه شده است. این مقدار مصرف بر حسب لیتر با دادهای آماری شرکت راه آهن جمهوری اسلامی ایران با اختلاف ۵ درصد مطابقت دارد.



نمودار ۱۰. مصرف سوخت دیزل بر حسب لیتر در هر مکان از مسیر برای لوکوموتیو GT_26

سوخت محاسبه شده از خروجی شبیه سازی ۲۴۱۲ لیتر و میزان مصرف بر اساس داده‌های آماری ۲۵۳۰ لیتر بوده است.

$$\frac{2530 - 2412}{2530} \times 100 = 4.66\%$$

در قسمت قبل بیان شد مقدار انرژی مصرفی بر حسب ژول از رابطه توان تولیدی و زمان تولید آن محاسبه می‌شود.

$$\mathrm{E} = \mathrm{P_{in}} \times \mathrm{dt} = 93151.44\ \mathrm{Mj}$$

با احتساب ارزش حرارتی گاز طبیعی و گازوییل مقدار حجم مورد نیاز بدست آمد.

$$\mathrm{C_g} = 34.31 Mj/m^3 \implies \mathrm{V_g} = \frac{\mathrm{E} \times 0.4}{\mathrm{C_g}} = 1085.99\ m^3$$

$$\mathrm{C}_d = 38.62 Mj/\mathrm{L} \implies \mathrm{V_d} = \frac{\mathrm{E} \times 0.6}{\mathrm{C_d}} = 1447.2\ \mathrm{L}$$

با توجه به زیرساخت‌های کشور پیشنهاد می‌شود این حجم گاز با مخازن فولادی سی ان جی تامین شود. شرکت سازنده مخازن تحت فشار (کاوش) با ظرفیت تولید سالیانه ۲۰۰هزار انواع مخازن تحت فشار یکی از شرکت های داخلی تولید مخازن تحت فشار است. در جدول زیر مشخصات مخازن تولیدی بیان شده است.

جدول ۵-۱ مشخصات مخازن تحت فشار[۳۸]

ردیف	ظرفیت گاز(متر مکعب)	وزن واقعی(کیلوگرم)	طول واقعی(میلیمتر)	حجم(لیتر)	قطر(میلیمتر)
۱	۷	۳۱	۸۵۱	۲۸	۲۳۲
۲	۸.۸	۳۹	۱۰۳۵	۳۵	
۳	۱۳.۲	۵۹	۸۵۵	۵۲	۳۲۴
۴	۱۳.۶	۶۲	۷۱۳	۵۴	۳۵۶
۵	۱۵.۲	۶۵	۷۸۰	۶۰	
۶	۱۵.۷	۶۶	۸۰۲	۶۲	
۷	۱۷.۲	۷۱	۸۶۹	۶۷	
۸	۱۸.۹	۷۶	۹۴۷	۷۵	
۹	۱۹.۵	۷۸	۹۶۹	۷۷	
۱۰	۲۰.۷	۸۴	۱۰۲۴	۸۲	
۱۱	۲۶.۵	۹۸	۱۲۸۰	۱۰۵	
۱۲	۲۸.۵	۱۰۷	۱۳۶۹	۱۱۳	
۱۳	۱۸.۹	۸۲	۷۶۳	۷۶	۴۰۶
۱۴	۲۱.۸	۹۰	۸۵۶	۸۶	
۱۵	۲۲.۸	۹۲	۸۹۰	۹۰	
۱۶	۲۵.۵	۱۰۱	۹۸۳	۱۰۱	
۱۷	۲۸.۳	۱۱۰	۱۰۷۶	۱۱۲	
۱۸	۳۳.۶	۱۲۵	۱۲۵۴	۱۳۳	

برای لوکوموتیو شبیه سازی شده ۱۰عدد مخزن تحت فشار شرکت کاوش با ظرفیت ۱۳۳ لیتری (ردیف ۱۸ جدول ۴) در نظر گرفته می‌شود.

$$\frac{1085.99}{33.6} = 32.32$$

تعداد مخازن پر برای طی مسیر در نظر گرفته شده (۵۴۷ کیلومتر) ۳۲.۳۲ عدد می‌باشد، جایگذاری این تعداد مخزن در لوکوموتیو غیرممکن است، برای هر لوکوموتیو ۱۰ عدد مخزن استفاده می‌شود که از تقسیم این عدد بر تعداد مخازن، تعداد سوخت گیری مورد نیاز در این مسیر محاسبه می‌شود.

$$\frac{32.32}{10} = 3.232 \Longrightarrow 4 \text{ تعداد سوخت گیری}$$

برای تعیین ایستگاه سوخت گیری گاز ارزش حرارتی گاز را در حجم ظرفیت پر مخازن ضرب می‌کنیم و از نمودار انرژی مصرفی (E)، مکان دقیق اتمام سوخت گاز تعیین می شود.

ایستگاه اول شیراز- ایستگاه دوم امین آباد (فاصله از مبدا ۱۲۳.۵کیلومتر) - ایستگاه سوم خانه‌خوره (فاصله از مبدا ۲۶۶.۷۵ کیلومتر) - ایستگاه سوم دشت مرغاب (فاصله از مبدا ۴۰۱.۷۵ کیلومتر).

راه کار دیگر استفاده از یک واگن به عنوان حمل مخازن تحت فشار است. در این شرایط می‌توان از مخازن با حجم بالاتر استفاده کرد. در ادامه مخازن با ظرفیت بیشتر بررسی می‌شود.

شرکت ژان‌تیپ‌تاپ ماشین[1] چین، شرکت تخصصی تولید مخازن بدون درز لوله‌های پتروشیمی و پالایشگاه است. این شرکت از سال ۲۰۰۶ میلادی فعالیت حرفه ای خود را در زمینه تولید و صادرات مخازن تحت فشار آغاز نموده است**[۳۹]**. در جدول ۵ یک نمونه مخزن تحت فشار از تولیدات این شرکت نشان داده می‌شود.

این شرکت برای حمل گاز تحت فشار با کامیون به علت محدودیت وزنی و ابعادی از ۴ مخزن به طول ۱۱.۷ متر استفاده کرده است[۴۰]. در طراحی واگن حمل سوخت لوکوموتیو می‌توان از ۶ عدد مخزن استفاده نمود.

جدول ۵-۲ **[۴۰]**مخزن تحت فشار شرکت ژوان تیپ تاپ

نام مخزن	**Q914**
فشار کاری (بار)	۲۵۰
ضخامت بدنه (میلیمتر)	۲۲.۵
طول (متر)	۱۱.۷
وزن (تن)	۵.۸۴
حجم (لیتر)	۶۷۵۰
ظرفیت گاز(مترمکعب)	۱۷۰۴.۵۴

[1] Xi'an Tiptop Machinery Co

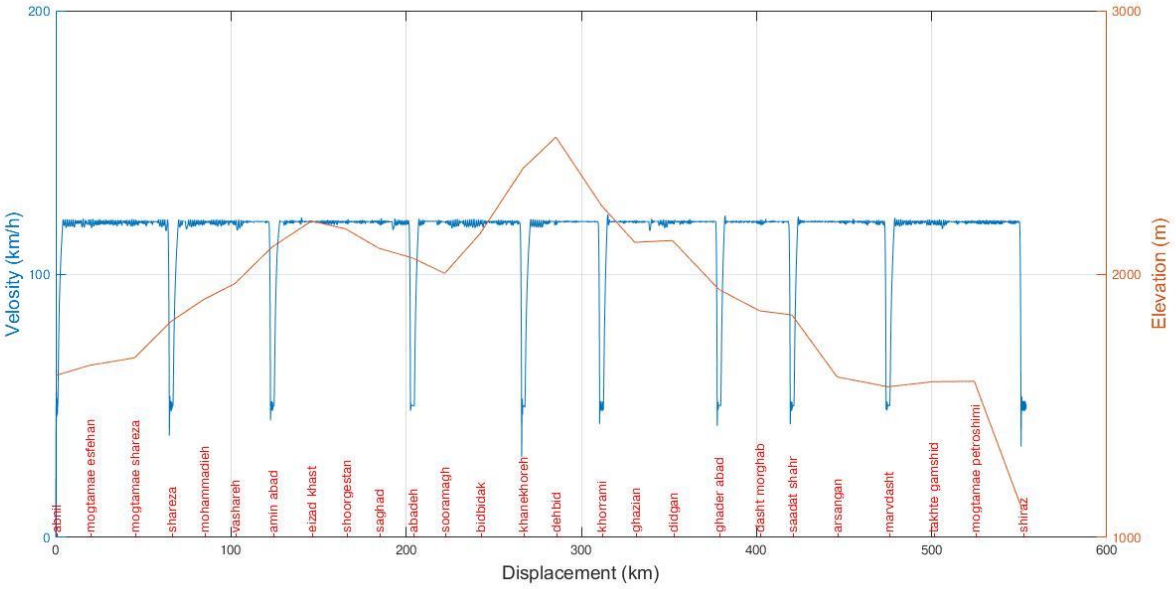
شکل ۵-۱ [۴۰]مخزن فشار بالا Q914

با در نظر گرفتن ۶ مخزن **Q914** وزن مخازن به تنهایی و در حالت خالی ۳۵ تن خواهد شد، حجم مجموع مخازن در نظر گرفته ۴۰۵۰۰ لیتر، و ظرفیت گازی آن ۱۰۲۷۷ مترمکعب است. چگالی گاز فشرده در فشار ۲۵۰بار در مراجع مختلف متفاوت بوده، چگالی بین ۰.۷ تا ۰.۹ کیلوگرم بر مترمکعب بیان شده است[۴۱]، با در نظر گرفتن این حجم از گاز فشرده، وزن گاز معادل ۸۱۸۰ کیلوگرم خواهد شد. مجموعه وزن مخازن و گاز تزریق شده در آن ۴۳.۱۸ تن محاسبه شده است که وزن واگن خالی و یا شاسی مخصوص حمل بر روی ریل، با این عدد جمع می‌شود. پیشبینی میشود وزن کل واگن حمل سوخت حدود ۵۰تن خواهد بود که این وزن تقریبا معادل یک واگن مسافربری در حالت بیشترین ظرفیت وزنی آن است.

محاسبات برای ۱۵ واگن مسافری با میانگین وزنی ۴۷ تن انجام شده است. با اضافه شدن واگن حمل سوخت می‌توان آن را جایگزین یک واگن مسافری کرد، در نهایت ۱۴ واگن مسافری و یک واگن مخزن سوخت و لوکوموتیو همان وزن کل را خواهد داشت. در حالت دیگر می‌توان محاسبات برای ۱۵ واگن مسافری و یک ولگن حمل سوخت تکرار کرد. در این حالت بدیهی است وزن کل افزایش یافته و در نتیجه میزان مصرف سوخت بیشتر شود. میزان مصرف سوخت ۳۲۴۶ لیتر بدست آمد که افزایش ۲۵.۷درصدی را نشان می‌دهد. این افزایش زیاد به علت توان پایین لوکوموتیو می‌باشد.

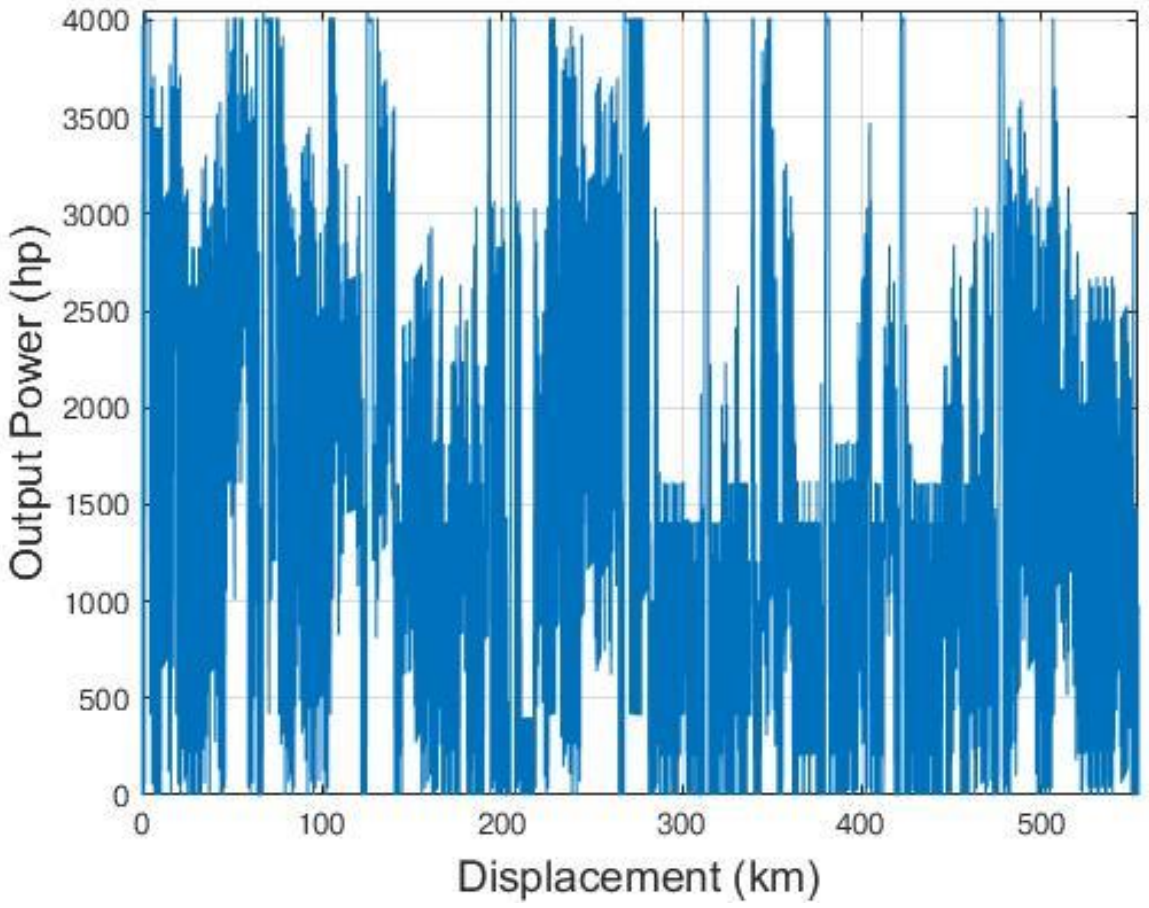
با در نظرگرفتن این مخزن حمل سوخت مشکل سوخت گیری مداوم در مسیر حل شده و با هر بار سوخت گیری این واگن، قطار می‌تواند حداقل ۹ مرتبه این مسیر را بدون سوخت گیری مجدد طی کند.

لوکوموتیو **CG_260** دارای قدرت بیشتر است و توانایی حمل وزن بیشتری کالا در زمان کمتر بوده اما برای مقایسه مقدار سوخت مصرفی با همان شرایط قبل بررسی شده است. نمودار ۱۱ نشان دهنده سرعت قطار با توجه به شیب و فراز مسیر می‌باشد.



نمودار۱۱. سرعت قطار در هر نقطه از مسیر برای لوکوموتیو GC_260

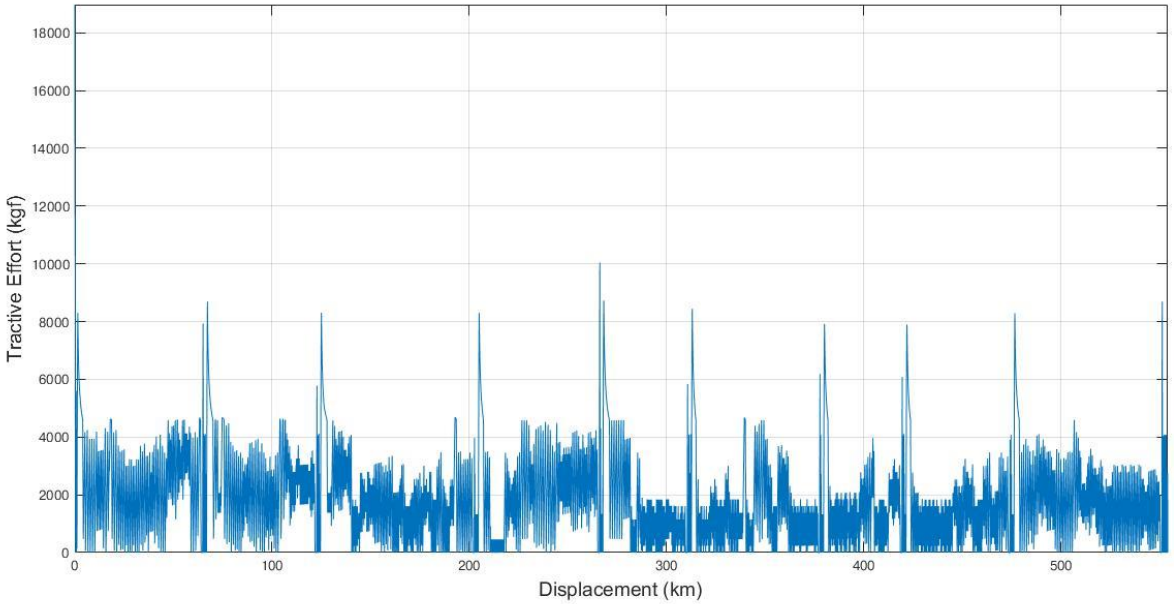
نمودار ۱۲ مقدار توان خروجی قطار در هر نقطه از مسیر نشان داده شده است.



نمودار۱۲. قدرت خروجی لوکوموتیو در هر نقطه از مسیر برای لوکوموتیو CG_260

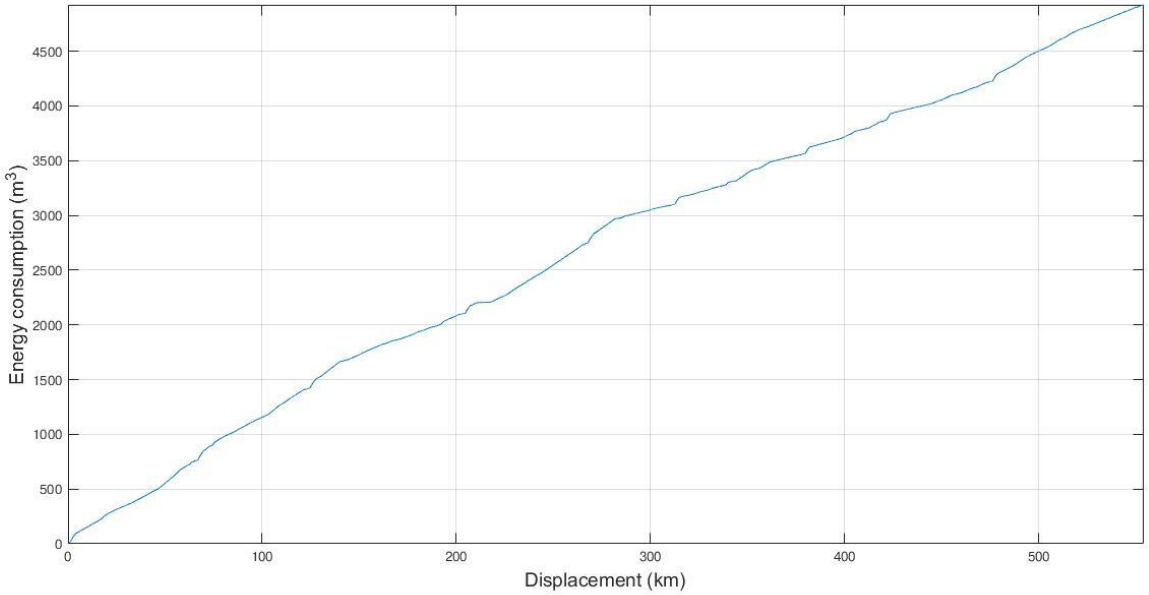
همانطور که در نمودار ۱۲ مشخص است لوکوموتیو در طی مسیر از تمام قدرت خود استفاده نمی‌کند، چون قابلیت حمل وزن بیشتری را دارد.

نمودار ۱۳ مقدار نیرو کشش قطار در هر نقطه از مسیر را نشان می‌دهد.



نمودار۱۳. نیروکشش لوکوموتیو در هر نقطه از مسیر برای لوکوموتیو CG_260

نمودار ۱۴ میزان مصرف سوخت گاز در هر مکان بر حسب مترمکعب مشخص است.



نمودار ۱۴. مصرف سوخت گاز بر حسب مترمکعب در هر مکان از مسیر برای لوکوموتیو CG_260

مقدار ۴۷۲۰مترمکعب برای حالت اولیه با جایگزینی واگن حمل سوخت به جای یک واگن مسافری محاسبه شد. در حالتی که ۱۵ واگن مسافری و یک مخزن حمل سوخت، درنظر گرفته شود ۴۹۷۰ مترمکعب نیاز است. نسبت به حالت قبل ۵درصد افزایش خواهد یافت. می‌توان گفت این افزایش وزن در تغییر مصرف سوخت لوکوموتیو CG_260 تاثیر به مراتب کمتر نسبت تغییر مصرف با افزایش وزن در لوکوموتیو GT_26 نشان می‌دهد و علت اصلی آن می‌تواند توان بالای لوکوموتیو CG_260 باشد زیرا با تولید ۴۴۷۰ اسب بخار قدرت توانایی حمل وزن بیشتری خواهد داشت.

شرکت وی‌تی‌جی[1] ، شرکت بین المللی، متخصص در حمل‌ونقل مایعات و کالاهای خطرناک مستقر در هامبورگ آلمان بوده که از شرکت های معتبر طراحی و ساخت واگن‌های حمل ال‌ان‌جی است. از فعالیت‌های مهم آن می‌توان به طراحی، ساخت و تعمیر و نگهداری واگن‌ها و تانکرهای حمل سوخت، فروش و یا اجاره آن اشاره کرد. این شرکت فعالیت گسترده در سطح اروپا و جهان دارد**[۴۲]**.

جدول ۵ مشخصات فنی چند تانکر حمل سوخت ال‌ان‌جی برگرفته از آرشیو این شرکت است.

[1] VTG

جدول ۵-۳ مشخصات فنی واگن‌های حمل‌ونقل ال‌ان‌جی[۴۳]

	Zags 103	Zags 106	Zags 123	G91.111D
ماکزیمم سرعت در حال پر (کیلومتر بر ساعت)	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
ماکزیمم سرعت در حالت خالی (کیلومتربر ساعت)	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰
حداقل شعاع پیچ مسیر (متر)	۳۵	۳۵	۷۵	۷۵
ظرفیت موثر (مترمکعب)	۱۰۲	۱۰۶	۱۲۳	۱۲۰
طول واگن (متر)	۱۷.۳۹	۱۷.۰۹	۲۲	۲۴.۴۸
وزن خالی (تن)	۳۵.۳	۳۴.۴	۳۳.۹	۴۵
وزن پر (تن)	۵۳.۵۵	۵۵.۶	۵۶	۶۰
محدوده دمای طراحی شده (درجه سانتیگراد)	۵۰+ تا ۱۹۶-	۵۰+ تا ۱۹۶-	۵۰+ تا ۱۹۶-	۵۰+ تا ۱۹۶-

واگن تانکر G91.111D گزینه مناسبی است در تصویر زیر این واگن مشاهده می‌شود.

شکل۵-۲ [۴۳]مخزن ای‌ان‌جی

ظرفیت موثر این مخزن ۱۲۰ مترمکعب گاز طبیعی مایع شده است. ال‌ان‌جی حجمی معادل ۱به ۶۰۰ حجم گاز طبیعی در حالت گازی دارد، با این توصیف ظرفیت این مخزن معادل ۷۲۰۰۰ مترمکعب گاز طبیعی در دما و فشار استاندارد است. محاسبات نشان می‌دهد با یک مرتبه سوخت گیری این مخزن قطار می‌تواند مسیر اصفهان به شیراز را حداقل ۱۴ مرتبه طی کند.

در این لوکوموتیو نیز می‌توان از مخازن تحت فشار سی‌ان‌جی برای تامین سوخت استفاده کرد، در این حالت با توجه به حداکثر ظرفیت گاز واگن سوخت (۱۰۲۷۷مترمکعب)، با هر بار سوخت گیری می‌تواند حداقل ۲ مرتبه مسیر اصفهان به شیراز را طی کند.

۵-۱تحلیل اقتصادی

قیمت روز نفت خام و فراورده‌های نفتی بر اساس ارزه و تقاضا هر روزه در حال نوسان است، بر اساس گزارش شرکت ملی پخش فراورده‌های نفتی ایران قیمت فوب گازوییل هر لیتر ۵۰۶۴۱ ریال و برای ارزه داخلی هر لیتر ۳۰۰۰ ریال می‌باشد[۴۴]. در مراجع دیگر هر تن گازوییل حدود ۴۸۰دلار قیمت‌گذاری شده‌است. با احتساب ارز نیمایی ۱۳۰،۰۰۰ریال قیمت هر لیتر گازوییل ۶۲۴۰۰ ریال می‌شود. با فرض این قیمت، هزینه سوخت در حالت پایه دیزل (۲۴۱۲لیتر) مبلغ ۱۵۰۵۰۸۸۰۰ریال برای بازار جهانی و با قیمت داخلی ۷۲۳۶۰۰۰ریال می‌شود.

قیمت ارزه داخلی گاز طبیعی فشرده (**CNG**) هر مترمکعب ۳۰۰۰ ریال است**[۴۴]**. در حالت دوگانه سوز بودن لوکوموتیو هزینه سوخت دیزل آن به ازای مصرف ۱۴۴۷.۲ لیتر، ۹۰،۳۰۵،۲۸۰ریال و برای قیمت ارزه داخلی ۴،۳۴۱،۶۰۰ریال و هزینه گاز مصرفی آن با قیمت داخلی ۳،۲۵۷،۹۷۰ریال می‌شود.

قیمت گاز تابعی از قیمت نفت خام است. به گزارش شرکت ملی نفت ایران قیمت هر مترمکعب صادرات گاز به کشور ترکیه حدود ۳۳ سنت می‌باشد که با احتساب قیمت ارز نیمایی معادل ۲۲۰۰۰ریال است[۴۶]. هزینه سوخت مصرفی در حالت دوگانه سوز بودن لوکوموتیو بر اساس قیمت گاز صادراتی ۲۳،۹۹۱،۶۸۰ ریال است.

لوکوموتیو پایه گاز سوز **CG_260** مصرف سوخت فقط گاز طبیعی است و برای تامین این سوخت حالت گاز طبیعی فشرده (**CNG**) و گاز طبیعی مایع (**LNG**) بررسی شد. مقدار مصرف سوخت قطار ۴۷۲۰مترمکعب محاسبه شد و هزینه سوخت با قیمت ارزه داخلی معادل۱۴،۱۶۰،۰۰۰ریال می‌باشد و به ازای قیمت گاز صادراتی ۱۰،۳۸۴،۰۰۰ریال خواهد بود.

در ایران به دلیل نبود فناوری تولید و ارزه گاز طبیعی مایع (**LNG**) وجود ندارد و به قیمت گذاری نشده است. در بازار جهانی قیمت گاز طبیعی مایع بر اساس ارزش حرارتی گاز تعیین می‌شود. بسته به مبدا و مقصد صادرات گاز قیمت متفاوتی دارد میانگین قیمت در بازار جنوب غربی اروپا در مهر ماه سال ۹۸ (سپتامبر ۲۰۱۹) ۴.۵۵ دلار برای هریک میلیون بی‌تی‌یو[1] بوده است. در همین زمان در بازار شرق آسیا ۵.۲۷ دلار در هر میلیون بی‌تی‌یو قیمت گزاری شده است. ارزش حرارتی گاز طبیعی در مراجع مختلف بسته به درصد متان متفاوت است، به ازای احتراق یک مترمکعب متان خالص ۸۶۰۰کیلوکاری انرژی آزاد می‌کند که معادل ۳۴۱۰۴بی‌تی‌یو خواهد بود. اگر قیمت دادوستد گاز مایع ای‌ان‌جی را حدود ۵ دلار در هر یک میلیون بی‌تی‌یو در نظر بگیریم و قیمت هر دلار بر اساس ارز نیمایی آذرماه سال ۱۳۹۸، ۱۲۹،۷۰۰ریال محاسبه کنیم ارزش ۴۷۲۰ مترمکعب گاز مصرفی قطار در مسافت طی شده ۱۰۴،۳۸۹،۶۱۵.۶۸ریال می‌شود. جدول ۶ خلاصه هزینه سوخت در هر حالت نشان داده است. طبق گزارش شرکت ملی گاز ایران، تعرفه ارزه گاز برای واحدهای صنعتی از ۱۰۰۰ ریال تا ۱۳۲۰ ریال در هر متر مکعب قیمت گذاری شده‌است. این مبلغ تقریبا یک-سوم قیمت گاز در جایگاه‌های **CNG** می‌باشد.

برای مصارف عمومی و یا مشترکین خانگی بسته به میزان مصرف از ۴۱۴ریال تا ۴۸۳۰ ریال متغیر است که در همین گزارش میانگین ۱۶۵۶ریال در هر متر مکعب تعیین شده‌است. برای حالت اول دوگانه‌سوز با مصرف ۱۰۸۵.۹۹ مترمکعب گاز با احتساب این مبلغ ۱،۷۹۸،۳۹۹/۴۴ ریال هزینه گاز مصرفی می‌شود. در حال دوم پایه گازسوز با مصرف ۴۷۲۰ متر مکعب، ۷،۸۱۶،۳۲۰ریال می‌شود.

[1] mBTU

جدول ۵-۴ هزینه سوخت در هر سناریو

		عرضه داخلی (ریال)	عرضه صادراتی (ریال)	هزینه به دلار
لوکوموتیو GT_26	پایه دیزل	۷،۲۳۶،۰۰۰	۱۵۰،۵۰۸،۸۰۰	۱۱۵۷.۶
	دوگانه سوز	۷،۵۹۹،۵۷۰*	۱۱۴،۲۹۶،۹۶۰	۱۰۵۳.۰۳
		۵،۴۲۷،۵۹۰**		
		۶،۱۳۹،۹۹۹***		
لوکوموتیو CG_260	مخزن سی‌ان‌جی	۱۴،۱۶۰،۰۰۰*	۱۰۳،۸۰۴،۰۰۰	۷۹۸.۵
		۴،۷۲۰،۰۰۰**		
		۷،۸۱۶،۳۲۰***		
	مخزن ال‌ان‌جی	----	۱۰۴،۳۸۹،۶۱۵	۸۰۴.۸۵

* قیمت گاز طبیعی در ایستگاه CNG هرمترمکعب ۳۰۰۰ریال

** قیمت گاز اختصاص داده شده به صنعت و نیروگاه هرمترمکعب ۱۰۰۰ریال

*** قیمت گاز اختصاص داده شده به بخش خانگی هر مترمکعب ۱۶۵۶ریال

محاسبات نشان می‌دهد تعرفه‌های حمایتی دولت می‌تواند تعیین کننده اجرای طرح‌ها باشد، هر طرح با منفعت عمومی نیازمند هزینه‌هایی همچون تعرفه دولتی تخصیص ارز دولتی و یا حمایت غیر مستقیم دولت دارد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد ساختار حمل‌ونقل ریلی ایران نیاز فوری به ترمیم و بهبودی دارد.

هر یک از گزینه‌های موجود نقاط قوت و ضعف قابل توجهی دارند. در تحلیل اقتصادی وضعیت منافع اجرای طرح و هزینه اجرای آن رابطه مستقیم با روابط سیاسی، قیمت ارز و امکان ساخت و یا واردات تجهیزات دارد. از منافع اجرای این طرح می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

– نوسازی و افزایش قابلیت اطمینان حمل کالا و مسافر

- کاهش آلودگی زیست محیطی

- کاهش هزینه تعمیر و نگهداری

- افزایش رفاه و کاهش زمان تاخیر در حرکت قطارهای مسافری

هزینه اجرای طرح وابستگی زیادی به قیمت ارز و زمان اجرای طرح دارد، برخی از این هزینه همچون هزینه خرید لوکوموتیو پایه‌گازسوز ، خرید و یا ساخت واگن حمل سوخت و ایجاد ایستگاه‌های سوخت‌گیری می‌باشد.

۵-۲ نتیجه‌گیری

استفاده از گاز طبیعی در صنعت حمل‌ونقل ایران افق روشنی دارد مطالعات نشان می‌دهد یکی از کارآمدترین و کم هزینه‌ترین روش، روش دوگانه سوز کردن لوکوموتیوهای موجود است.

استفاده از ترکیب‌های مختلف برای مخلوط گاز طبیعی و سوخت دیزل با توجه به محدودیت‌های فنی می‌تواند متفاوت باشد. از نتایج به دست آمده در این پژوهش می‌توان به شبیه سازی خط ریلی و پیشبینی زمان سیر مسیر و مقدار مصرف سوخت اشاره نمود. این دست‌آوردها می‌تواند در تصمیم‌گیری جایگزینی لوکوموتیو جدید و یا سیاست‌های کلان مدیریتی موثر باشد.

نتایج نشان می‌دهد استفاده از سی‌ان‌جی در سوخت لوکوموتیو به علت سوخت گیری مدام مستلزم ایجاد زیر ساخت سوخت‌گیری در اکثر ایستگاه‌ها می‌باشد که این هزینه قابل توجه‌ای نیاز دارد. جایگزینی لوکوموتیو پایه‌گازسوز هزینه اولیه زیادی صرف می‌کند اما در صورت گسترش خطوط ریلی و افزایش ظرفیت حمل‌ونقل ریلی توجه پذیر خواهد بود. واگن‌های تانکر، حمل ال‌ان‌جی دارای ظرفیت بالای هستند که موجب کاهش دفعات سوخت گیری و در نتیجه محدود شدن ایستگاه‌های سوخت گیری در سطح کشور می‌شود. تا زمانی که یارانه‌های سنگین بر حامل‌های انرژی اعمال شود دوگانه سوزکردن سیستم حمل و نقل کلان مقرون به صرفه نخواهد بود اما با قیمت جهانی روابط نشان می‌دهد سیستم باید به سمت بهینه‌سازی انرژی و جایگزینی سوخت‌های ارزان‌تر کشانده شود. با دوگانه‌سوز کردن لوکوموتیو حدود ۱۵ درصد از هزینه جاری کسر می‌شود. تحلیل اقتصادی نشان می‌دهد دوگانه‌سوز کردن لوکوموتیو با قیمت جهانی مقرون به صرفه است، با تخصیص حمایت دولتی و ارزه گاز با قیمت دولتی بازگشت سرمایه خیلی کوتاه خواهدبود. مقایسه هزینه‌ها به دلار این امکان را فراهم می‌کند در هر زمان قیمت سوخت مصرفی محاسبه شده و در اجرای طرح کمک موثری دارد.

در پایان پیشنهاد می‌شود تحقیقاتی در زمینه ایجاد ایستگاه سوخت گیری ال‌ان‌جی در ایران انجام شود. همچنین طرح توجیهی اجرای سوخت جایگزین جای تحقیقات گسترده‌ای دارد.

منابع

[1] کوروش مظفربیگی، زلیخا محمدی،۱۳۹۷،"سالنامه آماری ۱۳۹۶ حمل ونقل ریلی کشور"، معاونت برنامه ریزی و اقتصاد حمل ونقل شرکت راه آهن ج.ا.ا، ص۲۰

[2] دفتر فناوری ارتباطات و اطلاعات، ۱۳۹۶، "تحلیلی بر روند آماری و شاخص‌های حمل ونقل ریلی در سال‌های اخیر" گروه آمار واطلاعات شرکت راه آهن ج.ا.ا، ص۹

[3] فیروزه خلعتبری، ۱۳۹۵، "مدیریت بازار انرژی"، مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ص ۱۰

[4] علی صابری مقدم وحید خبری ۱۳۹۳ " همایش ملی تکنولوژی های نوین در شیمی و پتروشیمی" دانشگاه صنعتی مالک اشتر

[4] M Lenz, "Natural gas goes on trial" International Railway Journal, pp 69, 2014.

[5] CSX, "CSX and GE Transportation Partner to Pilot Liquefied Natural Gas Locomotives" Available:http://www.csx.com/index.cfm/media/press-releases/csx-and-ge-transportation-partner-to-pilot-liquefied-natural-gas-locomotives/[Accessed 2014].

[6] Diesel Fuel News, "GE Inks Deal with Gasfin for LNG Truck Fuelling in Europe" Hart Energy, pp 9, 2013.

[7] K Smith, "Westport delivers LNG loco tenders to EMD" International Railway Journal, pp 8, 2014.

[8] Diesel Fuel News, "Indian Railways Eyes LNG Locomotive Test" Hart Energy, pp 15, 2014.

[9] Global Refining and Fuels Today, "Indian Railways Eyes LNG Locomotive Test" Hart Energy, pp 5, 2014.

[10] Diesel Fuel News, "Gazprom, Russian Railways to Test Natural Gas Turbine-Power Locomotives" Hart Energy, pp 17, 2013.

[11] K Barrow, "LNG locomotive technology on test in Russia" International Railway Journal, pp 74, 2014.

[12] Global Refining and Fuels Today, "Indiana Harbor Belt Railroad to Convert 31 Locomotives to CNG" Hart Energy, pp 6, 2014.

[13] NGV Global News, "Indiana Harbor Belt to Convert 31 Locomotives to CNG" Available: http://www.ngvglobal.com/indiana-harbor-belt-to-convert-31-locomotives-to-cng-0102[Accessed 2014].

[14] Diesel Fuel News, "Norfolk Southern Testing CNG Switcher Locomotive" Hart Energy, pp 7, 2014.

[15] Marbek, "Study of Opportunities for Natural Gas in the Transportation Sector" Natural Resources Canada, 2010.

[16] M. E. Dunn, and V. N. LeBlanc, "Two engine system with a gaseous fuel stored in liquefied form" U.S. Patent 8,763,565, issued July 1, 2014.

[17] A. Foege, "Cryogenic pump system for converting fuel" U.S. Patent Application 13/715,456, filed December 14, 2012.

[18] J. Kipping, "Combined cycle powered railway locomotive" U.S. Patent 8,667,899, issued March 11, 2014.

[19] A. G. Foege, and E. J. Cryer, "Fuel distribution system for multi-locomotive consist" U.S. Patent Application 13/563,220, filed July 31, 2012.

[20] E. I. Nesterov, "Gas turbine arrangement for a locomotive" European Patent Application 12807474.7, filed February 2, 2012. 93

[21] J. H. Burkhart, "Method of converting diesel engine to natural gas engine" U.S. Patent 8,011,094, issued September 6, 2011.

[22] V. A. Peredelskii, Y. V. Lastovskii, R. V. Darbinyan, A. I. Savitskii, and A. A. Savitskii, "Analysis of the desirability of replacing petroleum-based vehicle fuel with liquefied natural gas" Chemical and Petroleum Engineering 41, no. 11-12: 590-595, 2005.

[23] Al. Arteconi, C. Brandoni, D. Evangelista, and F. Polonara, "Life-cycle greenhouse gas analysis of LNG as a heavy vehicle fuel in Europe" Applied Energy 87, no. 6: 2005-2013,2010.

[24] S. Kumar, H. T. Kwon, K. Ho. Choi, W. Lim, J. H. Cho, K. Tak, and I. Moon, "LNG: An eco-friendly cryogenic fuel for sustainable development" Applied Energy 88, no. 12: 4264-4273, 2011.

[25] T. Morosuk, and G. Tsatsaronis, "Comparative evaluation of LNG–based cogeneration systems using advanced exergetic analysis" Energy 36, no. 6: 3771-3778, 2011.

[26] A. Arteconi, and F. Polonara,"LNG as vehicle fuel and the problem of supply: The Italian case study" Energy Policy 62:503-512, 2013.

[27] S. Imran, D. R. Emberson, A. Diez, D. S. Wen, R. J. Crookes, and T. Korakianitis, "Natural gas fuelled compression ignition engine performance and emissions maps with diesel and RME pilot fuels" Applied Energy 124: 354-365, 2014

[28] K. Cheenkachorn, C. Poompipatpong, and C. G. Ho, "Performance and emissions of a heavy-duty diesel engine fuelled with diesel and LNG (liquid natural gas)" Energy 53: 52-57, 2013.

[29] M. R. Gómez, R. F. Garcia, J. R. Gómez, and J. C. Carril, "Review of thermal cycles exploiting the exergy of liquefied natural gas in the regasification process" Renewable and Sustainable Energy Reviews 38: 781-795, 2014.

[30] Barnwal BK, Sharma MP. Prospects of biodiesel production from vegetable oils in India. Renew Sust Energy,Rev 2005;9:363–78.

[31] H. Sun, H. Zhu, F. Liu, and H. Ding, "Simulation and optimization of a novel Rankine power cycle for recovering cold energy from liquefied natural gas using a mixed working fluid" Energy ,2014.

[32] Martini N and Schell S, Plant oils as fuels: present state of future developments. In Proceeding of the symposium, Berlin: Springer, p.6., Potdam, Germany 1997

[33] Eales, B.A., Financial risk management. 1995, London: McGraw-Hill.

[34]https://www.vtg.com/fileadmin/vtg/dokumente/waggon-datenblaetter/Fluessiggas-Kesselwagen-tiefkalte-Gase-LNG-G91.111D.pdf

[35] http://seamlessalloysteelpipe.sell.everychina.com/aboutus.html

[36] Park, C.S. and G.P. Sharp-Bette, Advanced engineering economics. 1990, New York: Wiley.

[37] Demirbas A. Current advances in alternative motor fuels. Energy Explor Exploit 2003.

[38]http://seamlessalloysteelpipe.sell.everychina.com/p-108054282-715mm-cng-gas-cylinder-pressure-vessel-compressed-natural-gas-containers.html

[39]khc-co.com/Fa_production.htm.

[40] https://en.wikipedia.org/wiki/Compressed_natural_gas

[41] Kurtz ,M., Handbook of engineering economics: guide for engineers, technicians, scientists, and managers, with a section on linear programming coauthored by Ruth I. Kurtz. 1984, New York: McGraw-Hill.

[42] . vtg.com/about-vtg

[43] M.Frailey, "Using LNG as a Fuel in Heavy Duty Engine" National Renewable Energy Laboratory, NREL/SR-540-24146-July 1999.

[44] https://www.niopdc.ir/

[45] https://www.cat.com/en_US/products/new/power-systems/electric-power-generation/gas-generator-sets/2661581332381461.html

[46] https://www.nioc-intl.com/FA/

Abstract

Transportation technology has always had significant impact on the development of civilizations, given Iran's infrastructure as well as geographical extent, there are many capacities to analyze and also analyzing transportation cost reduction factors that we are trying to analyze. The aim of this study is to investigate the possibility of using natural gas in locomotive fuel in Iran. For this aim, specific geographical characteristics between the two railway stations are selected in MATLAB software as the test system by simulating the locomotive performance and the rail line with. The first scenario is to combine the complementary fuel with locomotive fuel base GT_26 from EMD Company, and the second scenario is the usage of locomotive with CG_260 gasoline engine base from Caterpillar Company, and both scenarios have been investigated.

One of the impressive factors in final price of product is the type of fuel consumption in the national transportation network that will be mentioned to the rail network case by case. In this study, the fuel consumption of the train is simulated and calculated according to the physical characteristics and relationships in the field of effective forces of train movement for the first time. There is acceptable difference in fuel consumption in diesel base mode with statistical data. The use of natural gas fuel requires the use of particular vessels, one item was considered as an appropriate option by examining manufacturers of CNG tanks and Shipping Tanks of LNG. Finally, with the economic analysis of the plans, the cost of each alternative fuels are calculated, it should be mentioned that the impact of government support is quite evident in that and the results are finally examined.

Keywords: Rail Transport, Locomotive, Fuel Cost, Effective Train Forces, Diesel Fuel, Natural Gas, Pressure vessels, Liquid Natural Gas

Faculty of Mechanical and Mechatronics Engineering

M.Sc. Thesis in Energy Systems Engineering

Technical and economic feasibility of using natural gas in locomotives

By: Ayoub Paseban

Supervisor:

Dr. Mahmood Norouzi

Advisor:

Dr. Ali Khaleghi

January2020