

افزایش بهره‌وری وسایل نقلیه ریلی با استفاده از سیستم های ترمو الکتریک

نام محور مقاله: نقش فناوری‌های نوین در ناوگان باری و مسافری (شهری و بین شهری)

یعقوب محمدی^۱

چکیده

امروزه موتورهای دیزل هنوز بسیاری از قطارهای جهان را به حرکت در می‌آورند و کارایی پایین این موتورها نیز بر کسی پوشیده نیست به طوریکه بازدهی موتورهای مدرن نیز کمتر از ۴۰٪ می‌باشد. ناگفته پیداست علاوه بر تلفاتی که بر سر راه انرژی مکانیکی تولید شده توسط سیستم محرکه نظیر تلفات مقاومت هوا و اصطکاک‌ها، اینرسی و فراز قرار دارد، قسمت بسیار زیادی از انرژی تولید شده از احتراق سوخت به صورت گرما در گازهای حاصل از احتراق موتور بی‌هیچ بهره‌ای به محیط اطراف تخلیه می‌گردد. در نتیجه، میزان بسیار بالای این تلفات به خودی خود انگیزه بسیار بالایی را برای احیای این قسمت از انرژی تلف شده و بالطبع بالابردن بازده این موتورها ایجاد نموده است که با توجه به میزان مصرف سوخت و تبعات زیست محیطی مربوطه اهمیت این موضوع چندین برابر می‌گردد. با توجه به تمرکز شرکت صنایع ریلی ایران خودرو بر مدرن نمودن و افزایش کارایی محصولات تولیدی خود، در این مقاله سعی گردیده است نتایج حاصل از تحقیقی که بر روی موضوع احیای انرژی تلف شده در وسایل نقلیه ریلی با سیستم محرکه دیزل توسط سیستم ترمو الکتریک صورت پذیرفته و پتانسیل استفاده از این سیستم در ریل‌باس تولیدی این شرکت مورد بررسی قرار گیرد.

کلمات کلیدی

احیای انرژی، بهره‌وری انرژی، سیستم ترمو الکتریک، اثر پلتیر، موتور دیزل، گازهای خروجی حاصل از احتراق

^۱ کارشناس طراحی محصول- شرکت صنایع ریلی ایران خودرو (ایریکو)- آدرس کیلومتر ۱۴ اتوبان کرج- ابتدای آزادشهر- ساختمان سریر- تلفن ۰۲۱-۴۴۱۸۲۱۳۱-۷

۱- مقدمه

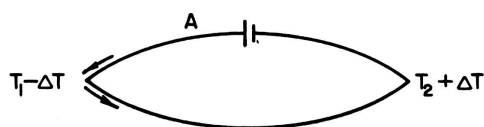
منبع انرژی یک سیستم محرکه دیزل، سوخت موجود در تانک سوخت می‌باشد که انرژی شیمیایی آن در موتورهای احتراقی به انرژی مکانیکی تبدیل می‌شود که عموماً بازدهی این پروسه ۳۰٪ تا ۴۰٪ می‌باشد (یعنی میزان محتوای انرژی سوخت به انرژی مکانیکی مفید خروجی سیستم محرکه) و حدود ۶۰٪ تا ۷۰٪ انرژی به صورت گرما تلف می‌گردد. علاوه بر افت‌های موجود در موتور، افت‌های دیگری نیز نظیر افت انرژی در ادامه زنجیره توان یعنی از موتور به چرخ‌ها (سیستم انتقال قدرت الکتریکی، هیدرولیک و یا مکانیکی) وجود دارد، همچنین مقداری از انرژی نیز صرف مصارف کمکی از قبیل سیستم خنک‌کن سیستم محرکه خواهد شد. از سوی دیگر با نگاهی اجمالی به ترازنامه انرژی معاونت امور برق و انرژی دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی وزارت نیرو می‌توان دریافت میزان مصرف حامل‌های انرژی نفتی در بخش حمل و نقل به شدت در حال رشد می‌باشد به طوری که این میزان در سال ۸۴ معادل ۲۵۲.۳ میلیون بشکه نفت خام بوده که حدود ۵۲٪ درصد کل مصرف در کشور می‌باشد و به تنهایی از مصرف تمامی بخش‌های دیگر نظیر خانگی، نیروگاهی، صنعت و کشاورزی بیشتر است. این اعداد و ارقام به خودی خود انگیزه بسیار بالایی را برای تحقیق برای کاهش میزان مصرف انرژی بوجود آورده است که نتیجه آن نشان می‌دهد که پتانسیل بسیار بالایی در زمینه کاهش مصرف و افزایش بهره‌وری در این بخش وجود دارد که باید توسط همگان مورد توجه قرار گیرد.

۲- پدیده پلتیر و ترموالکتریک

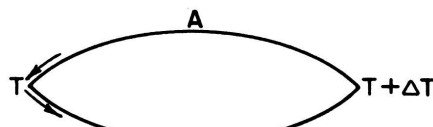
یکی از آخرین پیشرفت‌های سیستم‌های تبرید و تولید توان، پدیده ترموالکتریک می‌باشد که در آن اختلاف دما مستقیماً به الکتریسیته تبدیل گشته و بالعکس اختلاف پتانسیل الکتریکی باعث ایجاد اختلاف دما می‌گردد. این پدیده دارای مزایای فوق‌العاده‌ای نسبت به سیستم‌های مشابه می‌باشد نظیر عدم وجود قطعات متحرک، بدون لرزش و صدا بودن، یکپارچگی و عدم وجود المانهای زیاد، عدم نیاز به سرویس و نگهداری، همچنین یکی از مزایای بسیار جذاب آن برای صنعت ریلی عدم حساسیت این سیستم‌ها به لرزش و شتاب می‌باشد و به علت حذف سیستم لوله کشی و هدایت گاز مبرد به راحتی می‌توان تولید انرژی الکتریکی و سرمایه‌ش را به صورت موضعی انجام داد، بعلاوه پدیده نشت مبرد و پایین آمدن کارایی سیستم نیز حذف خواهد گردید، این سیستم‌ها در مقایسه با سیستم‌های مولد انرژی دیگر و سیستم‌های سرمایه‌ش تراکمی در ظرفیت‌های مشابه، حجم بسیار پایینی را اشغال می‌نمایند. تمامی این مزایا و شواهد نشان‌دهنده توسعه روز افزون این تکنولوژی در گستره وسیعی از کاربردها می‌باشد و نگاهی به تحقیقات در حال انجام بر روی این سیستم توسعه روزافزون آن را نشان داده و افق روشنی در زمینه این تکنولوژی ترسیم می‌نماید.

۱-۲- تاریخچه و مقدمه‌ای بر سیستم‌های ترموالکتریک

این اثر ابتدا در سال ۱۸۲۰ توسط Seebeck دانشمند آلمانی کشف گردید. مطابق تصویر شماره ۱، او کشف کرد که اگر دو فلز غیر همجنس را به هم متصل کرده و یک مدار بسته را تشکیل دهیم و محل اتصال را در معرض حرارت قرار دهیم، جریان الکتریکی در مدار برقرار خواهد شد [1]، بعدها این اثر مبنای عملکرد بسیاری از ترموکوپل‌ها گردید. با وجود این کشف بزرگ، نه خود او و نه دیگران تا سالها پی به اهمیت آن نبردند، تا اینکه در سال ۱۸۳۴ دانشمند فرانسوی کشف وی را کاملتر نمود، بدین معنا که او کشف کرد، وقتی جریان مستقیم از مداری که دو فلز غیر همجنس آنرا تشکیل داده‌اند می‌گذرد محل اتصال سرد یا گرم می‌شود (با تغییر قطب‌ها) (تصویر شماره ۲) [1].

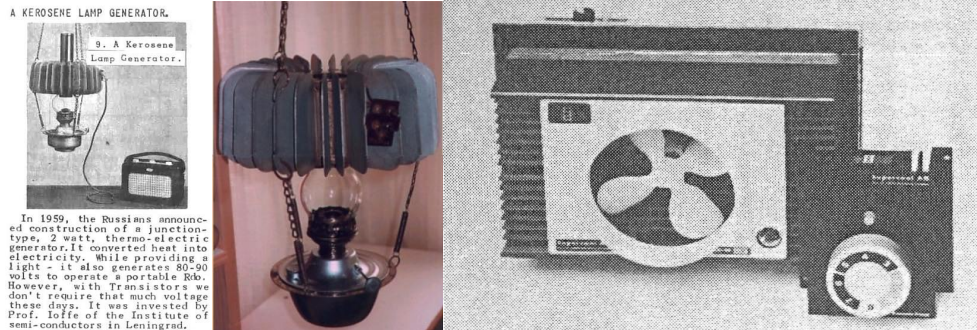


تصویر شماره ۲ [1]



تصویر شماره ۱ [1]

اما Peltier نیز موضوع را دنبال نکرد و پس از این دو، دانشمندان دیگری نیز بر روی این پدیده کار کردند ولی هیچکدام پی به اهمیت این پدیده نبردند و جهان از استفاده از این پدیده بی بهره ماند تا زمان تولد نیمه‌هادی‌ها. در سالهای ۱۹۶۰ عملاً کمپانی‌هایی وارد ساخت تجاری برخی محصولات بر اساس پدیده ترمو الکتریک شدند که در تصویر شماره ۳ می‌توان برخی از آنها را دید.



تصویر شماره ۳- نمونه‌هایی از محصولات ترموالکتریک تولید شده. از راست به چپ: سیستم خنک کننده LK03 ساخت شرکت Supercool با توان 25 وات و 30 درجه اختلاف دما، سیستم تامین توان با استفاده از چراغ نفتی [2].

در یک سیستم ترموالکتریکی مقدار انرژی الکتریکی تولید شده به نوع مواد نیمه هادی، تعداد ترموکوپل‌ها و همچنین اختلاف درجه حرارت منبع سرد و گرم بستگی دارد. در حقیقت استفاده از نیمه‌هادی‌ها به این دلیل بسیار جذاب می‌باشد که این مواد عموماً قابلیت انتقال حرارت پایین و انتقال الکتریکی بسیار بالایی دارند. محدوده توان قابل ارائه توسط سیستم‌های ترموالکتریک از چند میلی‌وات در سیستم‌های مینیاتوری تا چند مگاوات در راکتورهای هسته‌ای نظیر پروژه SP-100 می‌باشد، که بسیار گسترده می‌باشد [1],[3].

۲-۲- سیستم تامین توان ترموالکتریک

۲-۲-۱- مکانیزم تولید توان ترموالکتریک

سیستم‌های ترموالکتریک امروزی به صورت ماژول‌های بسیار کوچک تشکیل یافته از آرایه‌ای از ترموکوپل‌ها می‌باشند. ماژول‌های ترموالکتریک از دو نوع المان تشکیل شده‌اند، نیمه‌هادی نوع p و نیمه‌هادی نوع n. همانطور که در تصویر شماره ۴ مربوط به مکانیزم تولید توان بوسیله پدیده ترموالکتریک می‌توان به صورت شماتیک مشاهده نمود در نیمه‌هادی نوع n (موادی که در آن تعداد الکترون‌ها از تعداد حفره‌ها بیشتر است) الکترون‌ها در ناحیه گرم، برانگیخته (فعال) شده (انرژی جنبشی افزایش می‌یابد) و این الکترون‌ها به ناحیه سرد انتقال پیدا کرده و باعث تولید نیروی محرکه الکتریکی گرمایی می‌گردد و بالطبع ناحیه گرم آن به پتانسیل الکتریکی بالایی می‌رسد. در سوی دیگر در نیمه‌هادی نوع p (موادی که تعداد حفره‌ها بیشتر از تعداد الکترون‌ها می‌باشد) حفره‌ها در ناحیه گرم فعال گردیده و این حفره‌ها به سمت ناحیه سرد مهاجرت کرده و نیروی محرکه الکتریکی گرمایی را باعث می‌شوند که در نتیجه در سمت سرد پتانسیل بالایی ایجاد می‌گردد [4].

همانطور که در تصویر شماره 4 مشاهده می‌گردد، هنگامی که دو نیمه‌هادی با هم ترکیب می‌گردند جریانی بین المان‌های نوع n و p برقرار می‌گردد که این پدیده همان پدیده Seebeck می‌باشد. ارزش و کارایی مواد ترموالکتریک با Z یا فیگور مریت^۲ بیان می‌گردد که مطابق فرمول زیر محاسبه می‌شود. Z وابسته به مشخصات الکترونیکی و ترمودینامیکی مواد می‌باشد و مواد با Z بزرگتر کارایی بهتری دارند. [5]

$$ZT = S^2 \sigma T / k$$

[5]

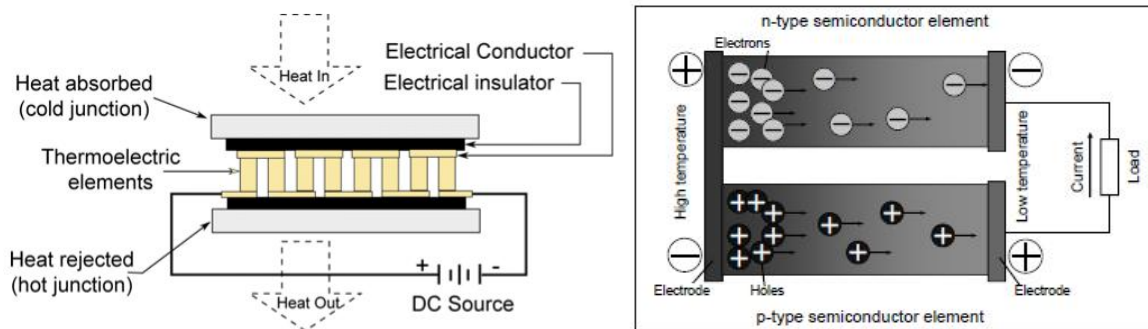
² Figure of merit

S ضریب Seebeck نامیده می‌شود که معادل میزان نیروی محرکه الکتریکی تولید شده به ازای ۱ درجه کلوین اختلاف دمای سطوح گرم و سرد می‌باشد (V/K). σ میزان هدایت الکتریکی ماده است $(\frac{1}{\Omega \cdot cm})$. k ضریب هدایت گرمایی $(\frac{W}{cm \cdot K})$ و T نیز دمای مطلق می‌باشد (K).

همانطور که مشاهده می‌گردد ZT یک واحد بدون بعد می‌باشد و موادی که دارای ضریب Seebeck و ضریب هدایت الکتریکی بالاتر و ضریب هدایت گرمایی پایین‌تری داشته باشند برای این مقصود ایده‌آل‌ترند. توان بدست آمده از این ماژول‌ها به میزان جریان گرما از منبع دما بالا و همچنین اختلاف دمای سمت گرم و سرد در خلال تولید توان و مشخصات ترموالکتریک مواد بستگی دارد. حداکثر کارایی سیستم‌های ژنراتور ترموالکتریک، معادل کارایی چرخه کارنو می‌باشد که موتور حرارتی ایده‌آل محسوب می‌شود.

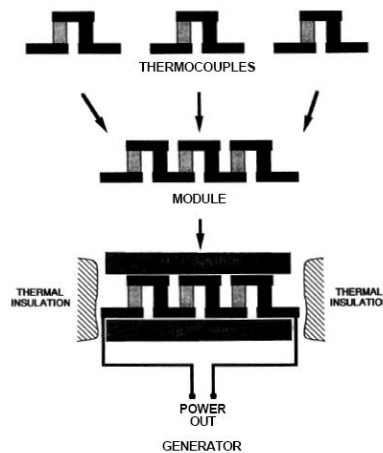
۲-۲-۲- پروسه ساخت ماژول‌های ترموالکتریک

سیستم‌های ژنراتور ترموالکتریک شامل سه بخش منبع گرم، ماژول‌های ترموالکتریک و منبع سرد می‌باشند. همانطور که در تصاویر شماره ۵ و ۶ مشاهده می‌گردد ماژول‌های ترموالکتریک انواع مختلفی دارند و از کنار هم گذاشتن و اتصال سری ترموکوپل‌ها ساخته می‌شوند که عموماً به علت مشخصات الکتریکی خاصشان ولتاژهای پایین و جریان‌های بالایی تولید می‌کنند.



تصویر شماره 4 (سمت راست) - مکانیزم تولید توان بوسیله پدیده ترموالکتریک با مواد نیمه‌هادی [4]

تصویر 5 (سمت چپ) - المان‌های یک ژنراتور ترموالکتریک



تصویر شماره 6 (سمت چپ) - نحوه اتصال ترموکوپل‌ها و

ساخت ماژول ترموالکتریک

۳-۲-۲- شرایط گسترش ژنراتورهای ترموالکتریک

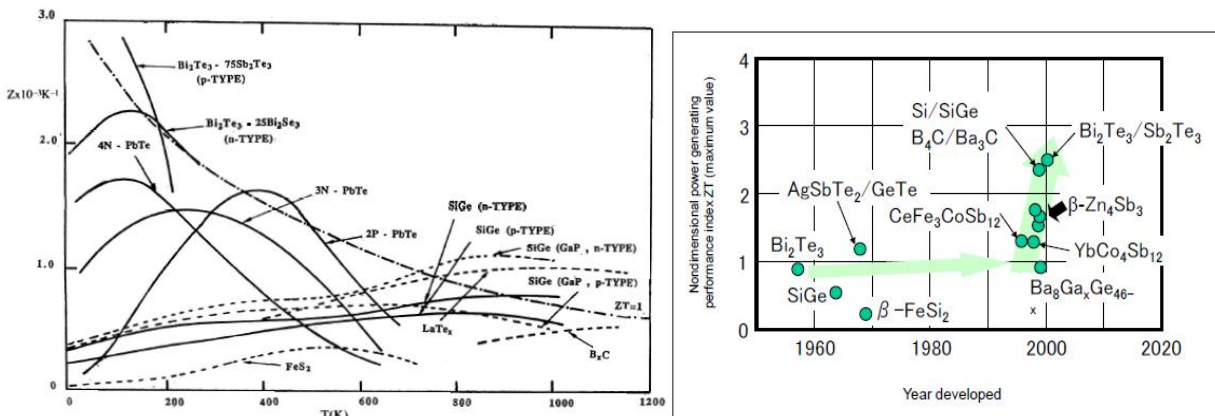
گسترش این سیستم تولید توان به هزینه و کارایی آن وابسته است، به طوری که با توجه به هزینه‌های موجود اگر کارایی کل سیستم به ۱۰٪ برسد توجه اقتصادی کافی وجود خواهد داشت [5]. بنابراین استفاده از موادی با ZT بزرگتر از ۲ با کارایی المان‌های حرارتی ۱۵٪ که توان 1 W/cm^2 را تضمین کند برای عمومیت یافتن این تکنولوژی لازم به نظر می‌رسد.

۴-۲-۲- مواد ترموالکتریک و کارایی آنها

همانطور که در بخش ۳-۲-۲ توضیح داده شد، مواد با ZT بالاتر از ۲ برای تولید توان ایده‌ال به شمار می‌رود. تصویر شماره ۷ تاریخچه مختصری از توسعه مواد ترموالکتریک از نقطه نظر ZT را نشان می‌دهد.

تا به امروز مواد نیمه‌هادی‌هایی نظیر بیسموت تلوراید (Bi_2Te_3)، سرب تلوراید ($PtTe$)، روی آنتیموان ($ZnSb$)، سیلیکون ژرمانیوم ($SiGe$)، آهن سیلیسید ($FeSi_2$) و ... برای کاربردهای ترموالکتریک معرفی گردیده‌اند، در میان این مواد بیسموت تلوراید دارای بالاترین کارایی می‌باشد، اما مشکلی که وجود دارد، محدوده پایین دمای کارکرد این ماده است یعنی ۲۵۰ درجه سانتیگراد، با این حال این ماده بیشترین گستره استفاده را دارد. تصویر شماره ۸ کارایی مواد مختلف در دماهای مختلف و همچنین محدوده تقریبی دمایی کارکرد این مواد را نشان می‌دهد. همانطور که در این تصویر مشاهده می‌گردد میزان کارایی این مواد با بالا رفتن دما بالا رفته و پس از یک پیک، کاهش می‌یابد.

این مواد را می‌توان بر اساس محدوده دمایی کارکردشان به سه گروه اصلی تقسیم کرد. بیسموت تلوراید بالاترین Z را داراست ولی فقط تا دمای ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌توان از آن استفاده نمود، پس از آن سرب تلوراید بالاترین Z را دارد و تا دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد از آن استفاده می‌شود و پس از آن در نهایت سیلیکون ژرمانیوم کمترین Z را دارد که تا دمای ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد قابلیت کارکرد را دارد. علاوه بر مسائل فوق آیت‌های دیگری نظیر ولتاژ خروجی، افت حرارت و قابلیت اعتماد مواد را نیز هنگام انتخاب مواد برای موارد مختلف باید در نظر گرفت.



تصویر شماره ۷ (سمت راست) - تاریخچه توسعه مواد ترموالکتریک [5]، تصویر شماره ۸ (وسط) - کارایی مواد ترموالکتریک در دماهای مختلف،

یکی از مهمترین خصوصیات مواد ترموالکتریک متداول، ولتاژ پایین و جریان بالای تولیدی آنها می‌باشد که می‌توان هنگام نیاز به ولتاژهای بالا به راحتی با اتصال سری این ترموکوپل‌ها به این هدف دست یافت.

۴-۲-۵- استفاده‌های متداول از ژنراتورهای ترموالکتریک

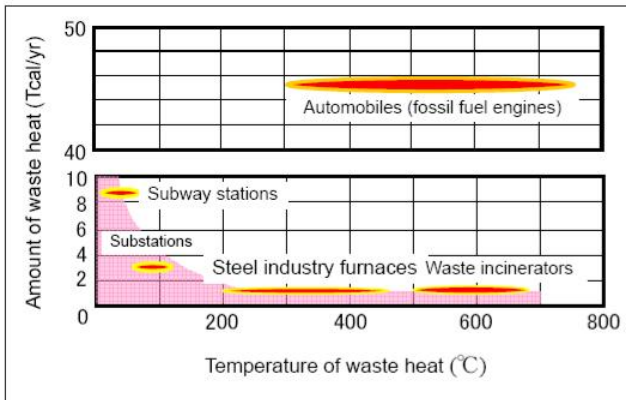
بیشترین تلاش بشریت برای استفاده صنعتی از ژنراتورهای ترموالکتریک در زمینه نظامی و دریایی بوده است اما از این سیستم‌ها در بخش پزشکی نیز هنوز استفاده می‌گردد به عنوان مثال باطری‌های ترموالکتریک هسته‌ای (پلوتونیوم ۲۸۳) مورد استفاده در سیستم‌های تنظیم ضربان قلب بیمارانی که گره سینوسی-دهلیزی یا پیشاهنگ آنها دچار مشکل می‌گردد. بعلاوه سیستم تامین توان ماهواره‌های تحقیقاتی نیز از نوع ترموالکتریک رادیوایزوتوپ می‌باشد که یک نمونه از آن را می‌توان در تصویر شماره ۹ مشاهده نمود که مربوط به ماهواره پلوتو می‌باشد و سیستم ژنراتور آن، سیلندر فین دار در سمت چپ ماهواره می‌باشد که شامل صدها ترموکوپل از نوع سیلیکون ژرمانیوم می‌باشد و وزنی حدود ۵۵ کیلوگرم دارد که می‌تواند تا سالها توان ۲۴۰ وات مورد نیاز ماهواره پلوتو را با بازده ۷٪ و بدون وقفه تامین نماید درحالتیکه دمای سطح گداخته گرافیتی راکتور آن به ۱۰۳۰ درجه سانتیگراد رسیده و دمای سطح خارجی فین ۳۳۰ درجه سانتیگراد می‌باشد. شاید بتوان گفت در شرایط بسیار دشوار فضا هیچ سیستم تامین توان دیگری قابلیت رقابت با ترموالکتریک را نداشته باشد، البته نباید از نظر دور داشت که ناسا

به علت بالا بودن کارایی این سیستم از آن استفاده نمی‌کند بلکه قابلیت اعتماد بالا و وزن سبک آن باعث انتخاب این سیستم گشته است. موضوعات و مثال‌های مطرح گردیده سندی بر بالا بودن قابلیت اعتماد این سیستم‌ها می‌باشد [6].

بعلاوه بسیاری از تجهیزات رادیویی نظیر ایستگاه‌های هواشناسی خودکار در جنگل‌ها و بیابان‌های دورافتاده از خطوط برق و یا رله‌های رادیو و تلویزیونی در مناطق صعب‌العبور جهان وجود دارند که بدون وجود این ژنراتورها باید سیستم‌های دیگری با هزینه‌های بسیار بالا و قابلیت اعتماد بسیار پایینتر به کار گرفته شود. بعلاوه سالهاست این سیستم در سیگنالینگ راه‌آهن‌های دور از منابع برق استفاده شده است.

۳- سیستم ترموالکتریک و موتورهای درونسوز

با نگاهی به تصویر شماره ۱۰ که ارتباط بین دما و میزان انرژی تلف شده سالانه در کشور ژاپن را که کشوری با منابع فقیر محسوب می‌شود، مشاهده می‌گردد که میزان انرژی تلف شده از موتورهای اتوموبیل‌ها در ژاپن به تنهایی حدود ۴۵.۸ ترا کالری در سال می‌باشد که بیشتر این انرژی از طریق گازهای خروجی حاصل احتراق تلف می‌گردد [4].

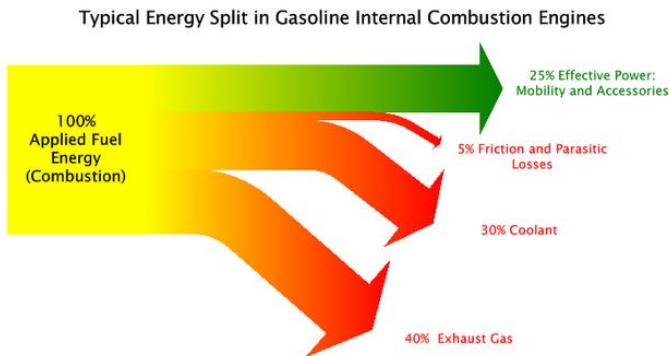


تصویر شماره 11- ارتباط بین دما و میزان انرژی تلف شده سالانه در کشور ژاپن [4]

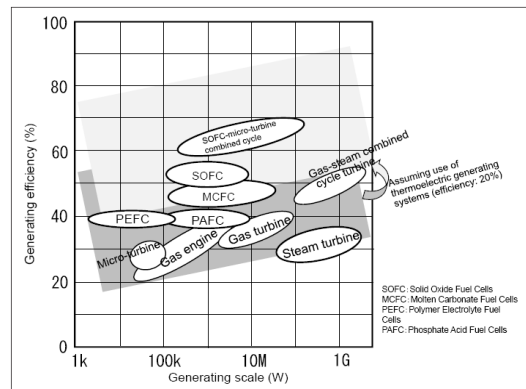


تصویر شماره 9- ماهواره پلوتو

شاید بتوان گفت بیش از ۱۰۰ سال است که موتورهای درونسوز بدون تغییرات و بهسازی عمده هنوز تولید می‌شوند و کارایی آنها در طول سالیان زیاد هنوز به طور چشمگیری افزایش نیافته است. تصویر شماره ۱۱ بازده انواع سیستم‌های تولید توان متداول امروزی را برای توان‌های متفاوت نشان می‌دهد که موتورهای درونسوز در این میان بازدهی بین ۲۰٪ تا ۴۰٪ دارند [7]. در حقیقت همانطور که در تصویر شماره ۱۲ نیز می‌توان مشاهده نمود در موتورهای امروزی حدود ۲۰٪ تا ۴۰٪ از کل انرژی به انرژی مفید خروجی تبدیل می‌گردد و باقی انرژی همراه با انرژی گازهای خروجی و سیستم خنک‌کاری تلف می‌گردد [8].

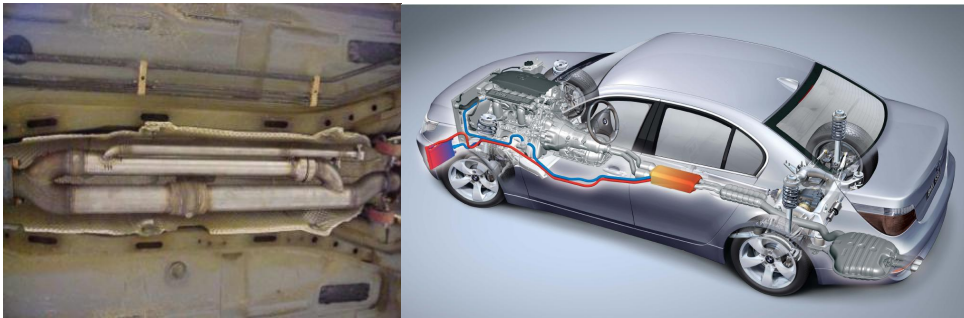


تصویر شماره 11 (سمت راست) - بازده انواع سیستم‌های تولید توان متداول امروزی برای توان‌های متفاوت [7]



تصویر شماره 12 (سمت چپ) - بخش‌های مختلف انرژی در یک موتور احتراق داخلی نمونه [8]

لذا بسیاری از شرکت‌های بزرگ در این زمینه سرمایه‌گذاری کرده و در حال تحقیق می‌باشند، به عنوان نمونه شرکت BMW اتوموبیل‌های سری ۵ و ۷ مجهز به ژنراتور ترموالکتریک با حجم موتور ۳ لیتر خود در سال ۲۰۱۵ روانه بازار خواهد نمود (تصویر شماره ۱۳)، که از یک مبدل حرارتی پوسته لوله با گاز هلیوم یا زنون استفاده می‌کند. علاوه بر BMW کمپانی‌های بزرگ دیگری نیز نظیر Ford و GM نیز برای سال ۲۰۱۵ برنامه‌هایی از این دست دارند و به نظر می‌رسد شرکت BMW با همکاری شرکت BSST^۳ در این زمینه پیش‌تاز باشد. بعلاوه تلاش‌هایی نیز برای اجرای این طرح بر روی کامیونهای دیزل صورت پذیرفته است که نتیجه آن حذف کامل آلترناتور و کاهش میزان مصرف سوخت تا حدود ۱۰٪ می‌باشد. [9].



تصویر شماره ۱۳- طرح سیستم ترموالکتریک و مبدل حرارتی پوسته لوله مورد استفاده در خودرو BMW 530i

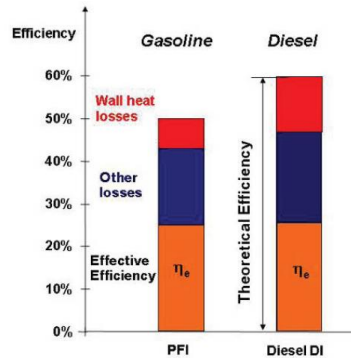
۳-۱- سیستم‌های ترموالکتریک و موتورهای دیزل

مطالعات صورت پذیرفته نشان می‌دهد انرژی تلف شده از دیواره سیلندرها در موتور دیزل بسیار بیشتر از موتورهای بنزینی می‌باشد که این موضوع را می‌توان در تصویر شماره ۱۴ مشاهده نمود [10].

با توجه به میزان بالای انرژی تلف شده از دیواره موتور در موتورهای دیزل دو استراتژی مهم برای دستیابی به حداکثر میزان انرژی بازیافتی را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

۱- افزایش ZT مواد ترموالکتریک برای کارکرد در دماهای پایین (۵۰۰-۲۵۰).

۲- بازیافت انرژی گرمایی از سایر بخش‌های سیستم به جز اگزوز، نظیر سیستم خنک کننده سیستم محرکه. [10]



تصویر شماره ۱۴- مقایسه بخش‌های مختلف انرژی در موتورهای دیزل و بنزینی [10]

۴- استفاده از سیستم ژنراتور ترموالکتریک در ناوگان ریلی

با توجه به اینکه هنوز نگرش جدی به الکتریکی کردن خطوط ریلی در کشور وجود ندارد و نزدیک به تمام ترن‌های موجود در کشور با سیستم محرکه دیزل الکتریک و یا دیزل هیدرولیک می‌باشد که بیشتر آنها را ترن‌های با توان متمرکز تشکیل داده و تعداد کمی نیز از نوع توان گسترده می‌باشد و اهمیت موضوع افزایش بهره‌وری محصولات تولیدی شرکت ایریکو^۴ که یکی از

^۳ BSST's parent company is Amerigon Incorporated

^۴ صنایع ریلی ایران خودرو

محورهای مهم تحقیقاتی این سازمان می‌باشد، تحقیقات متعددی توسط شرکت ایریکو در این راستا صورت پذیرفته که نتایج برخی از آنها به صورت مقالات متعددی انتشار یافته است و بر این اساس مطالعاتی به منظور بکارگیری این سیستم در ریل‌باس ساخت این شرکت انجام گردیده است. علاوه بر ترن‌های با سیستم محرکه دیزل که در کشور ما بسیار متداول می‌باشد، ترن‌های هیبرید نیز که ترکیبی از باتری و موتور درونسوز را به کار می‌گیرند امروزه بسیار مورد توجه پژوهشگران می‌باشد، زیرا پتانسیل بسیار بالایی برای استفاده از سیستم ژنراتور ترموالکتریک در آنها وجود دارند. باید توجه نمود که برای رقابتی کردن ترن‌های مجهز به این سیستم، توسعه تکنولوژی‌های مربوط به بالابردن کارایی سیستم‌های تولید و به‌کارگیری انرژی بسیار حائز اهمیت می‌باشند. مطالعات اخیر نشان می‌دهد که میزان مصرف سوخت ترن‌های دیزل الکتریک را می‌توان تا ۲۰٪ با استفاده از بازیافت انرژی گازهای خروجی اگزوز و سیستم خنک کننده و تبدیل ۱۰٪ آن به انرژی الکتریکی افزایش داد که رقم بسیار بزرگی بوده و می‌توان آن را انقلابی در عرصه موتورهای دیزل و راه‌آهن دانست. انرژی که بدون وارد آوردن کوچکترین بار اضافی به موتور استحصال می‌گردد [11]. این میزان انرژی را می‌توان برای مصارف داخلی ترن نظیر سرمایش یا گرمایش، سیستم کنترل، سایر مصارف یا ذخیره در باتری‌ها استفاده نمود. نتیجه آن نه تنها کاهش میزان انرژی مصرفی قطار است بلکه اثرات زیست‌محیطی آن را نمی‌توان نادیده گرفت. با توجه به تحقیقات صورت پذیرفته دمای خروجی گازهای خروجی موتورهای دیزل بین ۷۰۰ تا ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که عموماً این مقدار در حالت بدون بار و زیر بار تا ۱۰۰ درجه تغییر می‌کند بعلاوه موقعیت و نحوه نصب سیستم بر روی اگزوز نیز مساله بسیار مهمی بشمار می‌رود که باید با توجه به محدوده دمایی مورد نظر و کارایی سیستم طراحی گردد.

۱-۴- بهره‌گیری از سیستم ژنراتور ترموالکتریک در ریل‌باس تولیدی شرکت ایریکو

۱-۴-۱ مشخصات کلی ریل‌باس

همانگونه که در تصویر شماره ۱۵ می‌توان مشاهده نمود، ریل‌باس یک ترن خودکشش ۴ واگنه با چینش Mc-T-T-Mc و سیستم محرکه دیزل هیدرولیک می‌باشد. در این ترن دو واگن نوع A مجهز به موتور MAN D2842 LE602 و گیربکس^۵ VOITH 312bre بوده و واگن نوع B ترلیبر می‌باشد. علاوه بر موتورهای اصلی تمامی واگن‌ها به یک سیستم دیزل ژنراتور مدل SDV 40.28-4 ساخت شرکت Lechmotoren که سیستم محرکه آن یک موتور Perkins 1104C-44TAG2 می‌باشد مجهز می‌باشند که مشخصات کلی آنها در جدول شماره ۱ ارائه شده است.



تصویر شماره ۱۵- چینش واگن‌های ریل‌باس تولیدی شرکت ایریکو

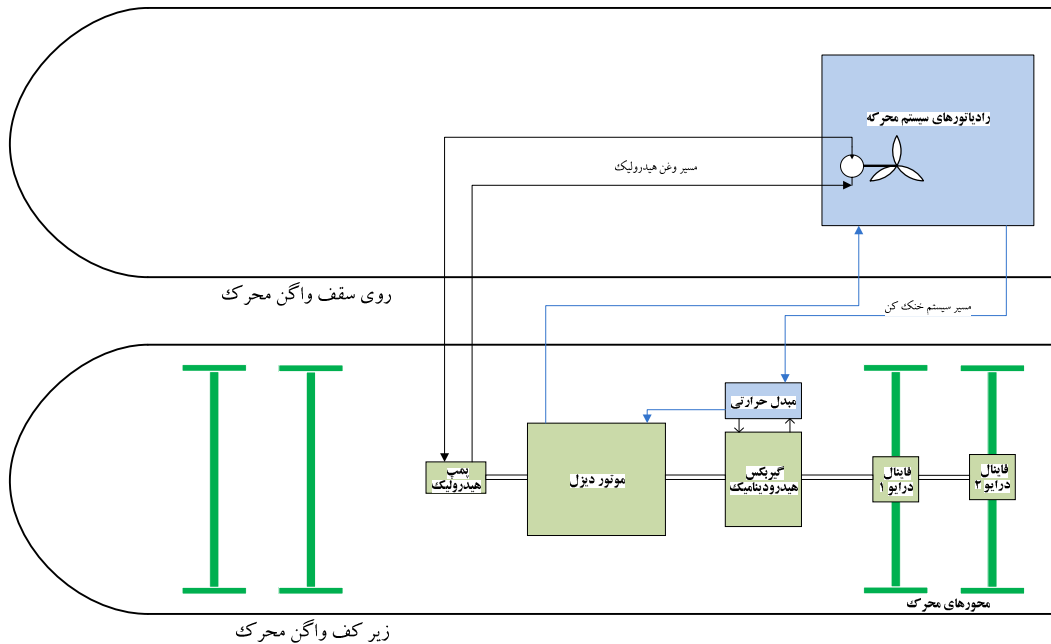
	Engine Model	Power
Main Engine	MAN D2842 LE 602	588 kW
Auxiliary Power Unit	Perkins Engines SDV 40.28-4	56kW

جدول شماره ۱- مشخصات کلی موتورهای مورد استفاده در ریل‌باس

همانطور که در تصویر شماره ۱۶ نشان داده شده است سیستم خنک کننده سیستم محرکه بوسیله یک پمپ هیدرولیک کوپل شده به موتور با توان ۶۰ کیلووات، توان مورد نیاز برای به حرکت درآوردن سه عدد موتور هیدرولیک نصب شده در سیستم خنک کن که بر روی سقف تعبیه گردیده است را مهیا می‌کند. همانطور که در مشخصات موتورها ارائه شد توان خروجی مفید موتور ۵۸۸Kw می‌باشد که ۶۰ Kw از این میزان صرف به حرکت در آوردن موتورهای هیدرولیک سیستم خنک کننده می‌گردد. علاوه بر این مقادیر ۵۳۰Kw از انرژی حاصل از احتراق (۳۸۰ Kw از موتور و ۱۵۰ Kw از گیربکس هیدرودینامیک) توسط سیستم خنک کننده موتور و گیربکس تلف می‌گردد و حدود ۴۰۰ Kw از آن نیز از طریق گازهای

⁵ Transmission

خروجی آگزوز خارج می‌گردد. این بدان معنا می‌باشد که توانی معادل 930 Kw کیلووات از کل 1520 Kw تلف می‌گردد که میزان بسیار قابل ملاحظه‌ای می‌باشد و اگر بتوان تنها 10% از این توان را احیا نمود توانی معادل 90 Kw به سیستم باز خواهد گشت (به ازاء هر سیستم محرکه)، توانی که می‌توان از آن برای به حرکت درآوردن موتورهای سیستم خنک کننده و یا حتی سیستم تهویه مطبوع واگن‌ها بهره‌برد و از دیزل ژنراتور موجود نیز بی‌نیاز بود. ناگفته پیداست که میزان صرفه جویی در سوخت و کاهش میزان تعمیرات و نگهداری این سیستم‌ها، در کوتاه مدت قابلیت اعتماد و قابلیت دسترسی را بالا برده و در درازمدت اثرات اقتصادی ناشی از کاهش میزان مصرف سوخت و کاهش هزینه تعمیرات و نگهداری مزایای بسیار زیادی را به همراه خواهد داشت.



تصویر شماره 16- سیستم محرکه و سیستم خنک کن ریل‌باس به صورت شماتیک

۲-۴- با توجه به موضوعات مطرح گردیده و مشخصات فنی ریل‌باس، برای استفاده از تکنولوژی ژنراتور ترموالکتریک در ریل‌باس ایریکو دو طرح مورد بررسی قرار گرفته:

۱- تعویض صدا خفه‌کن با صداخفه‌کن مجهز به ماژول‌های ترموالکتریک از نوع سیلیکون ژرمانیوم.

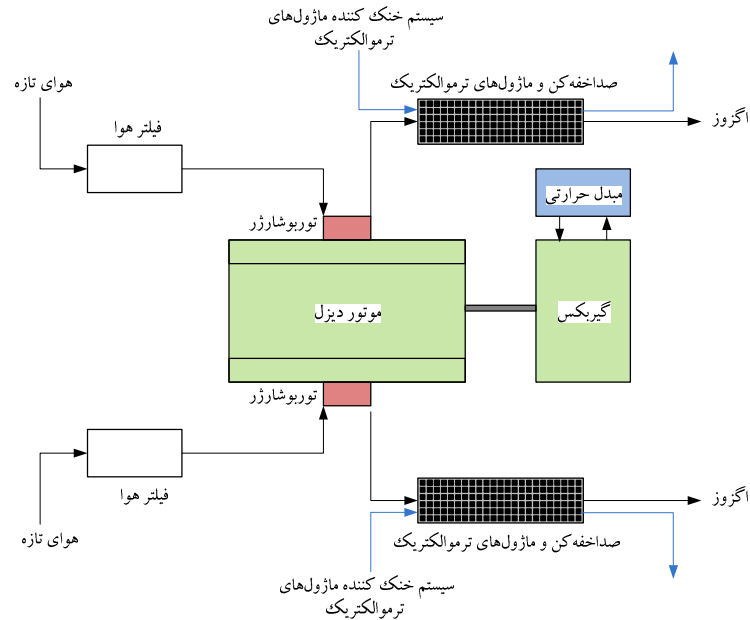
۲- نصب یک مبدل حرارتی در مسیر آگزوز و سیستم خنک کننده و استفاده از مواد ترموالکتریک با فیگور مریت بالاتر نظیر بیسموت تلوراید یا سرب تلوراید.

در هر دو طرح با توجه به سرعت بالای گازهای خروجی آگزوز باید سطح حرارتی مبدل نصب شده در مسیر گازهای آگزوز را به اندازه کافی بزرگ در نظر گرفت، پره‌دار کردن آن نیز در افزایش کارایی مبدل بسیار حائز اهمیت می‌باشد. بعلاوه طراحی آن را باید به صورتی انجام داد که رژیم جریان متلاطم باشد. همچنین نباید اثرات نامطلوب فشار متقابل آگزوز (Back pressure) که می‌تواند ناشی از طولانی کردن و پر پیچ کردن و پره‌دار کردن آگزوز بوجود می‌آید را بر کارایی موتور از نظر دور داشت، لذا جذب حداکثر انرژی گرمایی گازهای خروجی موتور باید در کوتاهترین مسیر ممکن صورت پذیرد.

۲-۴-۱- طرح اول: در این طرح صدا خفه‌کن‌ها تعویض شده و یک سیستم مجهز به ماژول‌های ترموالکتریک به همراه سیستم خنک‌کننده مربوطه به جای آن نصب می‌گردد که در شکل ۱۷ به صورت شماتیک نشان داده شده است. در سال ۱۹۵۵ دپارتمان انرژی امریکا^۶ پروژه‌ای را برای استفاده از گازهای خروجی آگزوز کامیون دیزل کلاس ۷ و ۸ با موتور کامینز و با استفاده از سیستم ژنراتور ترموالکتریک آغاز نمود که در آن از ماژول‌های از جنس بیسموت تلوراید استفاده شده بود که

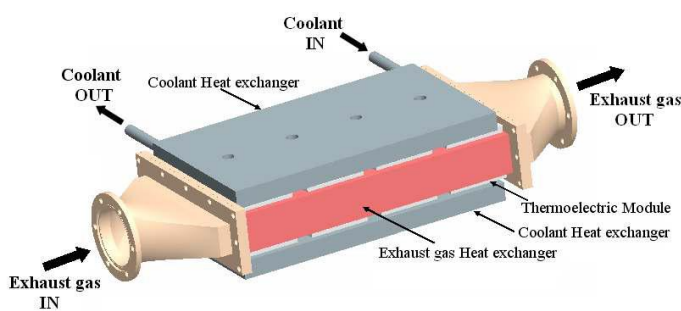
⁶ U.S. Department of Energy - USDOE

نتیجه آن بدست آوردن توان ۱ کیلووات بود که این کامیون را از وجود آلترناتور بی‌نیاز می‌نمود. در این پروژه برای خنک کردن طرف دما پایین ماژول‌ها از مبدل حرارتی به همراه سیستم رادیاتور خنک کننده با دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد استفاده گردید. نتیجه نهایی نصب این سیستم ۱۰٪ کاهش میزان مصرف سوخت بوده است [12]. در تصویر شماره ۱۸ می‌توان مقطع برش خورده سیستم اگزوز نصب شده در پروژه مشابه را مشاهده نمود.

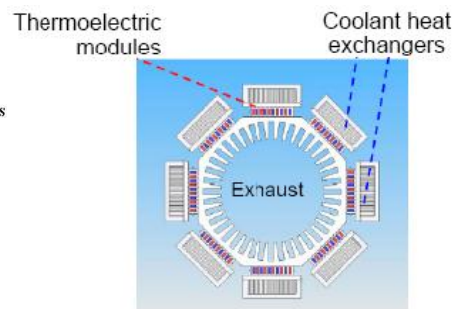


تصویر شماره ۱۷- طرح اول

۲-۲-۴- طرح دوم: در این طرح نیز همانطور که به صورت شماتیک در تصویر شماره ۱۹ نشان داده شده است، انرژی گرمایی توسط مبدل حرارتی تعبیه شده در مسیر گازهای خروجی مشابه طرح مورد استفاده توسط شرکت BMW بر روی خودرو 530i جذب شده و یک مبدل حرارتی نیز برای جذب گرمای تلف شده از سیستم خنک کننده در نظر گرفته شده است که گرمای جذب شده توسط سیستم به بانک ماژول‌های ترموالکتریک انتقال می‌یابد و یک سیستم خنک کننده نیز برای طرف سرد ماژول‌ها در نظر گرفته شده. در تصویر شماره ۲۰ نمونه‌ای از مبدل‌های حرارتی مسیر اگزوز نشان داده شده است [13].



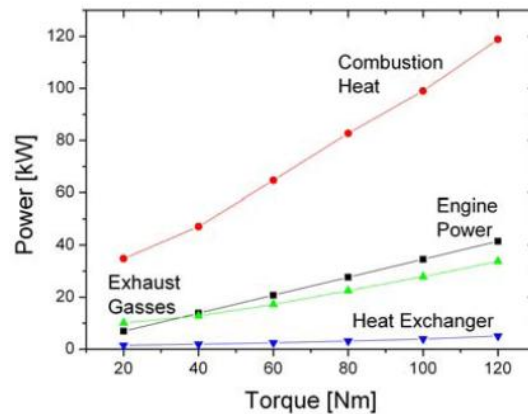
تصویر شماره ۲۰ [14]



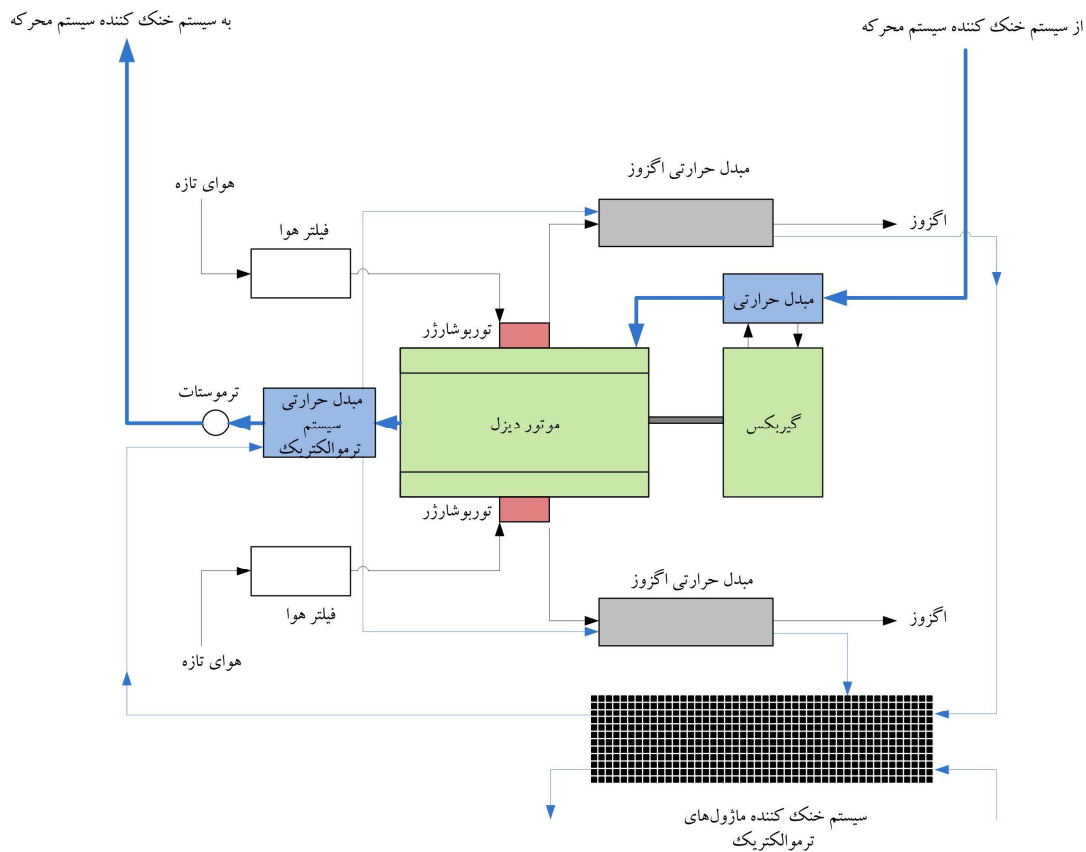
تصویر شماره ۱۸ [13]

نتایج حاصل شده از آزمایشات صورت پذیرفته بر اساس طرحی که بر روی یک موتور چهار سیلندر با حجم موتور ۱.۳ لیتر و توان ۵۱ Kw در دور ۴۰۰۰ و گشتاور ۱۸۰ N.m در دور ۱۷۵۰ انجام پذیرفته، نشان می‌دهد که میزان انرژی گرمایی حاصل شده از احتراق به دور موتور و بار بستگی دارد. این آزمایشات نشان داده است که در دور ۳۳۰۰، کل گرمای حاصل از احتراق

۱۲۰ Kw می باشد که این میزان بعد از کاتالیست ۳۵ Kw می باشد که نتایج این آزمایش در تصویر شماره ۲۱ نشان داده شده است. [13]



تصویر شماره 21- توازن انرژی موتور 1.3 JTD در دور 3300 و بارهای مختلف [13]



تصویر شماره 19

۵- نتیجه گیری

در این پروژه سعی گردیده پتانسیل استفاده از سیستم‌های ژنراتور ترموالکتریک بر روی محصول تولیدی شرکت ایریکو مورد بررسی امکانسنجی قرار گرفته و روش‌های متفاوت استفاده از سیستم ترموالکتریک مورد بررسی قرار گیرد که خلاصه‌ای از این تحقیق در مقاله حاضر ارائه گردیده است. با توجه به مواردی که در بخش‌های گذشته در خصوص بالا بودن میزان انرژی تلف شده از دیواره موتورها خصوصاً موتورهای دیزل عنوان گردید و عدم استفاده از این بخش از انرژی تلف شده در طرح اول، انرژی

قابل جذب در این طرح کمتر از طرح دوم می‌باشد اما عملاً سیستم بسیار ساده و کم حجم خواهد بود و طبیعتاً طراحی، ساخت و نگهداری و تعمیرات آن نیز هزینه کمتری نسبت به طرح دوم خواهد داشت. در طرح دوم علی‌رغم توان استحصال شده بسیار بالاتر نسبت به طرح اول که قابلیت استفاده از آن را با توجه به کارایی‌اش بالا می‌برد، وزن و حجم سیستم بالاتر بوده و نسبت به طرح اول گرانتر و پیچیده‌تر می‌باشد. نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر نشان می‌دهد با استفاده از انرژی بازیافتی توسط سیستم ژنراتور ترموالکتریک در ریل‌باس می‌توان چند دیزل ژنراتور موجود را حذف کرد. لازم به ذکر است یکی دیگر از کاربردهای اصلی این تکنولوژی سیستم‌های تبرید و تهویه مطبوع می‌باشد که به علت محدودیت‌های موجود اشاره‌ای به آن نگردید. با این حال بسیاری از دانشمندان بر این عقیده‌اند که وقت آن رسیده است که با دستیابی به مواد ترموالکتریک با ZT بالاتر از ۳ باید به فکر حذف موتورهای درون‌سوز متداول بود و آن را با یک محفظه احتراق با کارایی بالا که توانایی سوزاندن طیف بسیار وسیعتری از سوخت‌های ارزان را داشته و سیستم ژنراتور ترموالکتریک و بانک باتری‌های الکترونیکی که تشکیل یک سیستم هیبرید را می‌دهند جایگزین نمود، سیستمی که با داشتن دمایی پایینتر از ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد میزان تولید اکسیدهای نیتروژن نیز در آن به میزان قابل توجهی کاهش یافته و قابلیت اعتماد بسیار بالاتری خواهد داشت. شاید در آینده نزدیک این سیستم جایگزین موتورهای سنگین و پر سروصدای امروزی گردد، تصویری که حتی امروز نیز دور از ذهن نبوده و تیم‌های مختلفی بر روی آن در حال تحقیق می‌باشند و انقلابی بزرگ در موتورهای درون‌سوز خواهد بود [15].

۶-مراجع

- [1] Daniel D. Pollock; *Handbook of THERMOELECTRICS*.
- [2] Jhon G. Philippe M. Schlicklin, *Industrial Thermoelectric Colling and Electricity Generation Between 200K and 500K*, 1987.
- [3] V. C. Truscello and L. L. Rutger, "The SP-100 power system" Proceedings of the ninth symposium on space nuclear power systems, 1992.
- [4] T. Shindo et al., "Thermoelectric Generating System for Effective Use of Unutilized Energy" Toshiba Review, Vol. 63, No. 2, pp.7-10.
- [5] Nikkan Kogyo Shimbun, *Thermoelectric Conversion Materials*. By The Ceramic Society of Japan/Thermoelectrics Society of Japan, Ltd. 2005.
- [6] Johns Circle, *The Limited Role for Thermoelectrics in the Climate Crisis* Cronin B. Vining ZT Services 2203.
- [7] H. Kawamoto, "Research and Development Trends in Solid Oxide Fuel Cell Materials From the Viewpoint of Electrolyte-Related R&D as Key" Science & Technology Trends, July 2007, No. 82, pp. 10-22.
- [8] Xiaodong Zhang, K. T. Chau 2, and C. C. Chan, *Overview of Thermoelectric Generation for Hybrid Vehicles*.
- [9] U.S. Department of ENERGY- DOE/GO-102009-2762. *Vehicle Technologies Program*. March 2009.
- [10] Eder, Bertram, Liebl: *Vision of thermoelectric in vehicle applications*, DoE Thermoelectricity Workshop, Son Diago, 2004.
- [11] Yang, J., *Potential Applications of Thermoelectric Waste Heat Recovery in the Automotive Industry*, Proceedings of International Conference on Thermoelectrics, 170-174, 2005.
- [12] Fairbanks, J., "Overview of High Efficiency Thermoelectrics and Potential plications," presented at the High Efficiency Thermoelectrics Workshop, San Diego, CA, February 17–20, 2004 .
- [13] K. Wojciechowski¹, J. Merkisz², P. Fuć² , P. Lijewski², M.Schmidt, *Study of Recovery of Waste Heat From the Exhaust of Automotive Engine*, Faculty of Materials Science and Ceramics, Poland.
- [14] Xiaodong Zhang 1, K. T. Chau 2, and C. C. Chan, *Overview of Thermoelectric Generation for Hybrid Vehicles*,
- [15] John Fairbanks, *THERMOELECTRIC APPLICATIONS IN VEHICLES STATUS 2008*, U.S. Department of Energy, Washington, D.C., U.S.A. 20585 .