لکوموتیو دیزل الکتریک

اجزا و مفاهیم

مولفان:

مهندس کوروش برارثانی، دکتر علی پرویزی، مهندس حسین غفوری کوهساره

مهندس علی صلح میرزایی، مهندس سهیل فدایی، مهندس علی مرادی پور

شرکت مدیریت پروژه‌های نیروگاهی ایران (مپنا)

انتشارات پندار پارس

عنوان و نام پدیدآور	:	لکوموتیو دیزل‌الکتریک، اجزا و مفاهیم/ مولفان کوروش برارثانی ... [و دیگران ؛ برای] شرکت مدیریت پروژه‌های نیروگاهی ایران (مپنا).
مشخصات نشر	:	تهران : پندار پارس، ۱۳۹۱.
مشخصات ظاهری	:	۲۳۴ ص.: مصور (بخشی رنگی) ،جدول (بخشی رنگی) ، نمودار (بخشی رنگی).
شابک	:	۹-۲۱-۶۵۲۹-۶۰۰-۹۷۸ : ۹۶۰۰۰ ریال
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
یادداشت	:	مولفان کوروش برارثانی، علی پرویزی، حسین غفوری‌کوهساره، علی صلح‌میرزایی، سهیل فدایی، علی مرادی‌پور.
یادداشت	:	کتابنامه.
موضوع	:	لوکوموتیوهای دیزل
موضوع	:	لوکوموتیوها
شناسه افزوده	:	برارثانی، کوروش، ۱۳۵۲ -
شناسه افزوده	:	گروه مپنا
رده بندی کنگره	:	TJ۱۳۹۱۶۱۹ ۸ل/
رده بندی دیویی	:	۲۶۶۲/۶۲۵
شماره کتابشناسی ملی	:	۲۹۹۷۳۸۶

انتشارات پندارپارس

دفتر فروش: انقلاب، ابتدای کارگرجنوبی، کوی رشتچی، شماره ۱٤، واحد ۱٦ **www.pendarepars.com**

تلفن: ٦٦٥٧٢٣٣٥ - تلفکس: ٦٦٩٢٦٥٧٨همراه: ۰۹۱۲۲٤٥۲۳٤۸ **info@pendarepars.com**

نام کتاب : **لکوموتیو دیزل الکتریک، اجزا و مفاهیم**

ناشر : **انتشارات پندار پارس، با همکاری شرکت مپنا**

تالیف : **کوروش برارثانی، علی پرویزی، حسین غفوری‌کوهساره، علی صلح‌میرزایی، سهیل فدایی، علی مرادی‌پور**

چاپ نخست : **زمستان ۹۱**

شمارگان : **۱۰۰۰ نسخه**

لیتوگرافی : **ترام‌سنج**

چاپ، صحافی : **صالحان، خیام**

قیمت : **۹٦۰۰ تومان** **شابک : ۹-۲۱-٦٥۲۹-٦۰۰-۹۷۸**

***هرگونه کپی برداری، تکثیر و چاپ کاغذی یا الکترونیکی از این کتاب بدون اجازه ناشر تخلف بوده و پیگرد قانونی دارد ***

***** تمامی حقوق مادی و معنوی این کتاب متعلق به شرکت مپنا می‌باشد *****

فهرست

فصل نخست لکوموتیو دیزل الکتریک..... ۹

۱-۱ مقدمه ۹

۱-۱-۱ انواع لکوموتیوهای دیزل الکتریک ۱۰

۱-۲ اجزاء اصلی لکوموتیو دیزل الکتریک ۱۱

موتور دیزل ۱۱

آلترناتور(ژنراتور) اصلی ۱۲

آلترناتور کمکی ۱۳

دمنده‌ها ۱۳

ورودی‌های هوا ۱۳

یکسوسازها/ اینورترها ۱۳

کنترلرهای الکترونیکی ۱٤

جایگاه کنترل ۱۵

باتری‌ها ۱٦

کابین راننده ۱٦

ترکشن موتور ۱۷

پینیون/چرخ‌دنده ۱۷

مخزن سوخت ۱۷

کمپرسور هوا ۱۸

رادیاتور و فن‌های خنک‌کننده ۱۸

جعبه‌ی شن ۱۹

۱-۳ موتور دیزل ۱۹

۱-۳-۱ انواع موتورهای دیزل ۲۰

۱-۳-۲ ملاحظات ابعادی در موتورهای دیزل ۲۱
۱-۳-۳ آرایش سیلندرها ۲۲
۱-۳-٤ نیروی مؤثر کششی، نیروی کشش قلاب و توان کششی ۲۳
۱-۳-٥ شروع به‌کار موتور دیزل ۲٤
۱-۳-٦ گاورنر ۲٤
۱-۳-۷ پاشش سوخت ۲٥
۱-۳-۸ کنترل سوخت ۲٦
۱-۳-۹ توربوشارژر (پر خوران) ۲۷
۱-۳-۱۰ توسعه‌ی سیستم‌های کنترل موتور ۲۸
۱-۳-۱۱ کنترل توان ۲۸
۱-۳-۱۲ سیستم خنک‌کننده ۳۰
۱-۳-۱۳ سیستم روغن‌کاری ۳۱
۱-۳-۱٤ سیستم‌های انتقال قدرت ۳۱
فصل دوم محاسبات نیروی کشش لکوموتیو ۳٥
۲-۱ مقدمه ۳٥
۲-۲مفاهیم فیزیکی حرکت لکوموتیو ۳٥
۲-۳ مفهوم "اسب بخار " ۳۷
۲-٤ قدرت در لکوموتیوها ۳۷
۲-٤-۱ قدرت ترمزی (BHP) ۳۹
۲-٤-۲ قدرت کششی (THP) ۳۹
۲-٤-۳ قدرت خالص کششی (NTHP) ٤۰
۲-٤-٤ قدرت روی ریل (RHP) ٤۰
۲-٤-٥ قدرت قلاب کشش (DBHP) ٤۱
۲-٥ مقاومت‌های حرکت قطار ٤۲

۲- ٥- ۱ مقاومت غلتشی ٤۲
فرمول دیویس ٤۳
۲-٥-۲ مقاومت فراز..... ٤٥
۲-٥-۳ مقاومت قوس..... ٤٦
شیب معادل قوس..... ٤۷
مثال‌هایی از محاسبه‌های قدرت قلاب کشش..... ٤۸
۲-٦ نیروی مؤثر کششی (T_{eff})..... ٥۱
۲-٦-۱ تأثیر قدرت ترمزی موتور دیزل (BHP) ٥۲
۲-٦-۲ تأثیر قابلیت‌های ژنراتور اصلی..... ٥۳
۲-٦-۳ ساختار و راندمان تراکشن موتورها..... ٥۳
۲-٦-٤ نسبت دنده‌ی گیربکس محور..... ٥٥
۲-٦-٥ ضریب چسبندگی ٥۸
۲-٦-٦ بار محوری مؤثر در محورهای محرک ٥۸
۲-٦-۷ وضعیت ریل ٥۹
۲-٦-۸ سیستم‌های کنترل لغزش چرخ..... ٥۹
۲-٦-۹ ویژگی‌های سیستم اینورتر..... ٥۹
۲-۷ نیروی کشش قلاب(DP) ٦۰
۲-۸ نیروی مؤثر ترمز دینامیک..... ٦۲
۲-۹ نمودارهای نیروی کشش و ترمز دینامیک..... ٦٥
۲-۹-۱ لکوموتیو AD43C ALSTOM..... ٦٥
ویژگی‌های فنی ٦٥
نمودارهای کارکردی..... ٦۷
۲-۹-۲ لکوموتیو ER24 PC..... ٦۹
فصل سوم بوژی و اجزای آن..... ۷۳

۳-۱ مقدمه ۷۳
۳-۲ نقش بوژی در واگن ۷۳
۳-۳ انواع بوژی‌ها ۷۵
۳-٤ اجزای بوژی ۷٦
۳-٥ سیستم‌های تعلیق بوژی ۷۹
۳-٥-۱ سیستم تعلیق اولیه ۸۰
۳-٥-۲ سیستم تعلیق ثانویه ۸۱
۳-٥-۳ بوژی‌های ساخته شده از فولاد ریختگی ۸۳
۳-٥-٤ سیستم تعلیق مجهز به تیر تعادلی ۸٦
۳-٥-٥ سیستم تعلیق لاستیکی ۸٦
۳-٥-٦ سیستم تعلیق هوایی ۸۸
۳-٦ فنرهای سیستم تعلیق ۹۱
۳-۷ تماس چرخ و ریل ۹۷
۳-۸ چرخ و محور ۱۰۳
۳-۹ جعبه یاتاقان ۱۰٤
فصل چهارم سیستم‌های ترمز ریلی ۱۱۱
٤-۱ مقدمه ۱۱۱
تاریخچه‌ی ترمز قطار ۱۱۱
٤-۲ کاربرد سیستم ترمز ۱۱٤
٤-۳ انواع سیستم‌های ترمز در وسایل نقلیه‌ی ریلی ۱۱٦
٤-۳-۱ ترمز هوایی ۱۱۷
٤-۳-۱-۱ ترمز پنوماتیک با کارکرد مستقیم ۱۱۹
٤-۳-۱-۲ ترمز پنوماتیک با کارکرد غیرمستقیم (ترمز اتوماتیک) ۱۲۰
٤-۳-۲ ترمز الکتروپنوماتیک ۱۲۲

٤-٣-٣ ترمز دینامیک ١٢٢
٤-٣-٤ ترمز ترکیبی ١٢٤
٤-٣-٥ ترمز دستی ١٢٦
٤-٤ تجهیزات ترمز هوایی ١٢٧
٤-٤-١ فریم ترمز ١٢٧
٤-٤-٢ سوپاپ توزیع (سوپاپ سه قلو) ١٢٧
٤-٤-٣ کمپرسور ١٣٠
٤-٤-٤ خشک کن هوا ١٣١
٤-٤-٥ مخازن هوای ترمز ١٣٢
٤-٤-٦ شیرهای هوا ١٣٣
٤-٤-٧ عملگرهای ترمزی ١٣٥
٤-٤-٨ لوله‌های هوا ١٣٧
٤-٤-٩ کنترل ترمز ١٣٨
٤-٤-٩-١ کنترل آنالوگ ترمز الکتروپنوماتیک ١٣٨
٤-٤-٩-٢ کنترل دیجیتالی ترمز الکتروپنوماتیک ١٣٨
٤-٤-٩-٣ ادوات کنترل ترمز ١٣٩
٤-٥ پاسخ زمانی سیستم ترمز هوایی اتوماتیک ١٤٠
٤-٦ وضعیت‌های مختلف کارکرد سیستم ترمز هوایی اتوماتیک ١٤١
٤-٧ سیستم ترمز دو لوله‌ای ١٤٤
٤-٨ ترمز الکتروپنوماتیک(EP) ١٤٦
٤-٨-١ ترمز الکتروپنوماتیک مستقیم ١٤٦
٤-٨-٢ ترمز الکتروپنیوماتیک غیر مستقیم ١٤٧
٤-٨-٣ اصول ترمز الکترو پنوماتیک ١٤٩
٤-٨-٤ سیستم ترمز الکتروپنوماتیک ساده ١٤٩

٤-٨-٥ کارکرد ترمز الکتروپنوماتیک ١٥٠
٤-٨-٦ آزادسازی ترمز الکتروپنوماتیک ١٥٢
٤-٨-٧ کنترل ترمز الکتروپنوماتیک ١٥٣
٤-٨-٨ سیر تکاملی ترمز الکتروپنوماتیک ١٥٤
٤-٩ سیستم کنترل الکتروپنوماتیک PBL90 ..... ١٥٧
٤-٩-١ قسمت‌های اصلی پانل کنترل ترمز ١٥٧
٤-٩-٢ کارکرد سیستم ترمز الکتروپنوماتیک PBL90 ..... ١٦٠
٤-١٠ ترمز مغناطیسی ١٦٧
٤-١٠-١ اصول علمی ترمز جریان گردابی ١٦٧
٤-١٣ ترمز خلائی ١٧١
٤-١٢ ویژگی‌های سیستم ترمز بر اساس UIC ١٧٣
٤-١٣ مفاهیم محاسبات ترمزی ١٧٤
آزمایش ترمز و عملیات مربوط ١٧٥
فصل پنجم ماشین‌های الکتریکی لکوموتیو ١٧٩
٥-١ مقدمه ١٧٩
٥-٢ نیروی کشش ١٨٠
٥-٣ تراکشن موتورها ١٨٢
٥-٤ انواع موتور و ژنراتور الکتریکی ١٨٤
٥-٤-١ موتورهای DC ١٨٥
٥-٤-١-١ دسته‌بندی موتورهای DC ١٩٠
٥-٤-١-٢ کنترل مقاومتی موتورهای DC ١٩١
٥-٤-١-٣ کنترل و حفاظت موتور DC ١٩٣
٥-٤-١-٤ مدار قدرت/کنترل موتور DC ١٩٤
٥-٤-٢ موتورهای AC تک‌فاز ١٩٤

۵-٤-۳ موتورهای AC سه فاز القایی ۱۹۵
۵-٤-۳-۱ میدان دوار مغناطیسی ۱۹۷
۵-٤-۳-۲ نحوه‌ی کارکرد موتورهای القایی در حالت کار عادی ۱۹۸
۵-٤-۳-۳ بررسی سه حالت موتوری، ژنراتوری و ترمزی در ماشین‌های... ..... ۱۹۹
۵-٤-۳-٤ مدار معادل ۲۰۰
۵-٤-۳-۵ گشتاور و توان ۲۰۲
۵-٤-۳-٦ کنترل و دسته‌بندی انواع موتورهای القایی ۲۰٤
۵-٤-٤ مولدهای هم‌زمان یا ژنراتورهای سنکرون ۲۰۹
۵-۵ ویژگی‌های تراکشن موتورهای مناسب برای حمل‌ونقل ریلی ۲۱۱
۵-٦ منحنی ویژگی (کارکرد) تراکشن موتورها ۲۱۳
۵-۷ کنترل دیزل الکتریک ۲۱٤
۵-۷-۱ کارکرد دریچه گاز ۲۱٦
۵-۷-۲ عملیات سیستم رانش ۲۱۸

دیباچه

در محوطه‌ی سازمان بنادر و کشتیرانی بندر انزلی، یک لکوموتیو بخار وجود دارد که بیش از یکصدوپانزده سال پیش در خط آهن برچیده شده‌ی پونل–انزلی حرکت داشته است. چند متر خط آهن باقیمانده در زیر این لکوموتیو، یادآور دو تعهدنامه ناصرالدین شاه و مظفرالدین شاه به تزار روس بود که در قبال دریافت وام قول دادند بیست سالی در ایران راه آهن ایجاد نکنند! پروژه راه آهن سراسری ایران در سال ۱۳۰۶ شروع شد اما ساخت نخستین لکوموتیو در کشور، هفتاد و شش سال بعد یعنی در سال ۱۳۸۲ توسط شرکت واگن پارس رقم خورد که به وارد شدن ۸۰ لکوموتیو به ناوگان حمل و نقل ریلی انجامید. در سال ۱۳۸۵ از طریق یک قرارداد، انتقال تکنولوژی ساخت و افزوده شدن ۱۵۰ دستگاه لکوموتیو سریع‌السیر مسافری به ناوگان ریلی کشور توسط گروه مپنا آغاز شد. این نخستین گام موثر برای تحقق چشم‌انداز توسعه‌ی ناوگان ریلی ایران از ٤٥٠ دستگاه کنونی به ۲۱۰۰ دستگاه در ١٤٠٤ است. واگذاری این پروژه به گروه مپنا مرهون دودهه تجربه‌ی مپنا در مدیریت و اجرای پروژه‌های مختلف صنعتی در داخل و خارج کشور و امکانات قابل ملاحظه در تأمین مالی پروژه‌های بزرگ و ملی توسط گروه مپنا بود.

گروه مپنا از آغاز تأسیس در سال۱۳۷۱، با مهندسی، ساخت تجهیزات و احداث نزدیک به ۵۲,۰۰۰ مگاوات پروژه‌های نیروگاهی در قالب پروژه‌های خاتمه یافته، در دست احداث و آتی خود که نزدیک به ٨٦ درصد از ظرفیت نصب شده‌ی نیروگاه‌های کشور را تشکیل می‌دهد، مشارکت داشته است. این گروه بیشترین نقش را در توسعه‌ی ظرفیت نیروگاهی به عهده گرفته و از این طریق امکان رشد و توسعه‌ی صنعتی را فراهم ساخته است. همچنین گروه مپنا تنها سازنده‌ی کلیه تجهیزات اصلی نیروگاه‌های حرارتی، از جمله توربین‌های گاز و بخار، تجهیزات جانبی توربین، پره توربین، ژنراتور، بویلرهای بازیاب حرارتی (HRSG)، بویلرهای معمولی و تجهیزات جانبی آنها تحت لیسانس شرکت‌های معتبر جهانی در ایران می‌باشد. در این حوزه‌ها، گروه مپنا نخستین و بزرگ‌ترین پیمانکار عمومی نیروگاهی در خاورمیانه و غرب آسیا، نخستین و بزرگ‌ترین سازنده‌ی تمامی تجهیزات اصلی نیروگاهی در این مناطق و نخستین و بزرگ‌ترین سرمایه‌گذار طرح‌های نیروگاهی خصوصی در کشور محسوب می‌گردد. جذب پیشرفته‌ترین فناوری و دانش فنی در تمامی حوزه‌های فعالیت صنعتی را می‌توان از دستاوردهای گروه مپنا برشمرد.

با وجود عمر بیش از یکصد ساله‌ی راه آهن در کشور، کتابی که زمینه‌ی آشنایی کارشناسان و عموم متخصصان صنعت حمل و نقل ریلی را با لکوموتیوهای دیزل الکتریک فراهم کند، در کشور وجود ندارد. گروه مپنا با برخورداری از توانمندی‌ها و فناوری‌های بیان شده و برای ایفای رسالت-های اجتماعی خویش از یک سو و توسعه‌ی کسب و کار در حوزه‌هایی که مزیت رقابتی دارد از سوی دیگر، کتاب "لکوموتیو دیزل الکتریک" را که توسط متخصصان شرکت لکوموتیوسازی مپنا

نوشته شده است، به جامعه‌ی علمی و تخصصی کشور تقدیم می‌کند. این کتاب به بیان اصول و مبانی عملکرد لکوموتیوهای دیزل الکتریک و تشریح اجزاء و مفاهیم آن می پردازد. گروه مپنا امیدوار است که این کتاب مورد استقبال مدیران و کارشناسان و متخصصان صنعت ریلی واقع گردد و ضمن آنکه زمینه‌ای برای تحقیق و انتشار بیشتر متون علمی در این زمینه را فراهم می‌کند به توسعه‌ی این فناوری حیاتی در داخل کشور کمک کند.

انتشار کتاب در زمینه‌ی فناوری‌هایی که گروه مپنا در آن سرآمدی ملی و منطقه‌ای دارد، ایفای بخشی از رسالت‌های اجتماعی سازمان از طریق نشر دانش است. معاونت تحقیق و توسعه گروه مپنا امیدوار است در انجام این وظیفه، با دریافت نظرها و پیشنهادها از حمایت جامعه‌ی علمی-تخصصی کشور بهره‌مند گردد.

دی ماه ۱۳۹۱

محسن حامدی

معاونت تحقیق و توسعه گروه مپنا

پیشگفتار

در میان انواع گوناگون روش‌های حمل‌ونقل، راه‌آهن به‌دلیل برتری‌های خاص آن از جمله قابلیت حمل انبوه بار و مسافر، ایمنی بسیار بالا و مصرف اندک سوخت، نقش ویژه‌ای در ترابری کشورها دارد. شاخص مصرف انرژی در بخش حمل‌ونقل ریلی به‌صورت چشم‌گیری کمتر از دیگر حوزه‌های حمل‌ونقل می‌باشد. جابه‌جایی مسافر به‌وسیله‌ی خطوط راه‌آهن بین شهری در سال ۹۰ برپایه‌ی آمار راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران، از مرز ۲۸ میلیون و ۵۰۰ هزار نفر گذشته است که نسبت به سال ۸۵ بیش از ۷ میلیون نفر افزایش را نشان می‌دهد. افزون بر این موارد، موقعیت جغرافیایی ایران برای حمل کالاهای ترانزیتی، بسیار ممتاز بوده و استفاده از خطوط ریلی برای حمل بارهای انبوه ترانزیتی در مسیرهای طولانی، مناسب‌تر است.

در میان انواع تجهیزات لازم در صنعت ریلی، لکوموتیوها جایگاه ویژه‌ای دارند. چرا که افزون بر وزن بالای تجهیزات کشنده، از پیچیدگی خاصی در طراحی برخوردارند. در این میان، لکوموتیوهای دیزل الکتریک، انواع بسیار متداولی از لکوموتیوها هستند که به‌ویژه در کشورهای فاقد سیستم‌های خطوط الکتریکی کاربرد گسترده‌ای دارند. این لکوموتیوها که مانند لکوموتیوهای الکتریکی مجهز به سیستم محرک الکتریکی از نوع موتورهای ترکشن هستند، با کنترلرهای الکترونیکی کنترل می‌شوند و گشتاور حرکتی را برای محورها تأمین می‌کنند. لکوموتیوهای دیزل الکتریک همچنین دارای تعداد زیادی از سیستم‌های جانبی همچون سیستم خنک‌کننده، سیستم ترمز، سیستم‌های مبدل الکتریکی (ترانسفورماتورها و اینورترها) و در برخی موارد، دارای سیستم تأمین توان الکتریکی برای واگن‌ها هستند. تجهیزات مولد توان الکتریکی شامل یک موتور دیزل با توان نسبتا بالا با اتصال مکانیکی مستقیم به یک ژنراتور است که خروجی آن، توان الکتریکی برای استفاده در الکتروموتورهای کشنده می‌باشد. همچنین تجهیزات دیگری از جمله مخزن سوخت و سیستم خنک‌کننده نیز در لکوموتیو دیزل الکتریک مورد نیاز است.

هدف از تالیف این کتاب توسط کارشناسان طراحی و توسعه شرکت مهندسی و ساخت لکوموتیو مپنا، آشنایی هر چه بیشتر دست‌اندرکاران صنعت حمل و نقل ریلی و به‌ویژه مدیران، کارشناسان و متخصصان این صنعت با اصول و مبانی عملکرد لکوموتیوهای دیزل الکتریک و اجزا و مفاهیم آنها می‌باشد. همچنین تدوین مطالب این کتاب به نحوی انجام گرفته است تا برای دانشجویان کارشناسی و کارشناسی‌ارشد مهندسی راه‌آهن، مکانیک، برق و همچنین مهندسان فعال در عرصه‌ی راه‌آهن قابل استفاده باشد.

فصل نخست کتاب به مرور اجزای تشکیل دهنده‌ی یک لکوموتیو دیزل الکتریک می‌پردازد. در این فصل افزون بر معرفی انواع سیستم‌های انتقال توان الکتریکی، توضیحاتی درباره‌ی زیرمجموعه‌ها و

اجزای اصلی یک لکوموتیو دیزل الکتریک ارائه می‌گردد. در فصل دوم، مبانی حرکت لکوموتیو شامل مفاهیم و محاسبات نیروی کشش، ارائه و چگونگی محاسبه‌ی نیروهای کششی و مقاوم، بررسی شده است. همچنین نمودارهای نیروی کشش و ترمز دینامیک برای دو لکوموتیو نمونه، ارائه و مورد بررسی قرار گرفته است. در فصل سوم در خصوص مفاهیم بوژی لکوموتیو و انواع مختلف سیستم‌های تعلیق در خودروهای ریلی، مباحث متنوعی ارائه شده است و به مفاهیم تماس چرخ و ریل در بوژی نیز پرداخته شده است. در فصل چهارم، مباحث گسترده‌ای درباره‌ی انواع سیستم‌های ترمز در خودروهای ریلی و محاسبات سیستم ترمز در لکوموتیو ارائه شده است. در فصل پنجم نیز مباحث مرتبط با سیستم‌های الکتریکی لکوموتیو با تمرکز بر مفاهیم عملکرد ماشین‌های الکتریکی ارائه گردیده است.

انتشار این اثر تلاشی است برای توسعه‌ی دانش در زمینه‌ی صنعت ریلی، و افزون بر تلاش‌های انجام شده برای رفع اشکال‌ها، به‌دور از کاستی نیست. از همه‌ی صاحب‌نظران صنعت حمل و نقل ریلی درخواست می‌شود تا با ارسال نظرهای اصلاحی و انتقادی خود به پست الکترونیک شرکت مهندسی و ساخت لکوموتیو مپنا به نشانی Office@Mapnalocomotive.com، نویسندگان را در جهت ارتقای کیفی این اثر یاری رسانند و این شرکت را برای اعتلای صنعت حمل و نقل ریلی در کشور یاری نمایند.

اسفند ۹۰

شرکت مهندسی و ساخت لکوموتیو مپنا

Diesel Electric
Locomotive

فصل اول

لکوموتیو دیزل الکتریک

فصل نخست

لکوموتیو دیزل الکتریک

۱-۱ مقدمه

لکوموتیوهای دیزل الکتریک، نوعی از لکوموتیوهای الکتریکی خودمولد[1] می‌باشند. این لکوموتیوها مانند لکوموتیوهای الکتریکی، مجهز به سیستم محرک الکتریکی از نوع موتورهای ترکشن هستند که با کنترلرهای الکترونیکی کنترل می‌شوند و گشتاور حرکتی را برای محورها تأمین می‌کنند.

لکوموتیوهای دیزل الکتریک امروزی از تکنولوژی بالایی برخوردارند و دارای سیستم‌های جانبی دیگری میباشند که توان عملیاتی خود را (مانند سرمایش، گرمایش، ترمز، روشنایی و سیستم تأمین توان الکتریکی(HEP[2]))، از مولد انرژی خود می‌گیرند. این لکوموتیوها را می‌توان در خطوط مشابه لکوموتیوهای برقی و با همان لکوموتیوران‌ها نیز، به‌کار گرفت؛ با این تفاوت که لکوموتیوهای دیزل الکتریک به‌جای اینکه توان الکتریکی مورد نیاز خود را به‌وسیله‌ی کابل‌های بالاسری[3] یا سیستم ریل سوم[4] از نیروگاه دریافت کنند، مجموعه مولد توان الکتریکی خود را از مجموعه تجهیزات درونی خود دریافت می‌کنند. تجهیزات مولد توان الکتریکی، شامل یک موتور دیزل با توان نسبتا بالا متصل به یک ژنراتور بوده، که خروجی آن توان الکتریکی برای استفاده در ترکشن موتورهای کشنده می‌باشد. همچنین تجهیزات دیگری از جمله مخزن سوخت و سیستم خنک‌کننده نیز در لکوموتیو دیزل الکتریک، مورد نیاز است. شکل‌های (۱-۱) و (۱-۲) دو نمونه از لکوموتیوهای دیزل الکتریک را نمایش می‌دهد.

---

[1] Self Powered
[2] Head End Power
[3] Overhead Wires
[4] Third Rail

شکل ۱-۱: لکوموتیو دیزل الکتریک مسافری مدل ER24PC (ایران سفیر) ساخته شده توسط شرکت مپنا لکوموتیو تحت لیسانس شرکت زیمنس

شکل ۱-۲: لکوموتیو باری دیزل الکتریک SD90MAC با توان کششی ۶۰۰۰ hp مجهز به ترکشن موتورهای AC ساخته شده در سال ۱۹۹۸ در آمریکا

۱-۱-۱ انواع لکوموتیوهای دیزل الکتریک

لکوموتیوهای دیزل الکتریک بسته به نوع سیستم انتقال قدرت، در سه دسته‌ی زیر جای می‌گیرند:

- سیستم DC-DC، که در آن ژنراتور DC، ترکشن موتورهای DC را تغذیه می‌نماید.
- سیستم AC-DC، که در آن ژنراتور (آلترناتور) از نوع AC بوده و پس از یکسوسازی جریان متناوب آنها، ترکشن موتورهای DC را تغذیه می‌کنند.

- سیستم AC-DC-AC، که دارای ژنراتورهای AC بوده و خروجی آن یکسو شده و به جریان مستقیم DC تبدیل می‌شود. در نهایت با اعمال کنترل‌های مناسب، دوباره به برق سه فاز AC تبدیل می‌شود، تا ترکشن موتورهای AC را تغذیه نماید.

مدرن‌ترین نوع سیستم انتقال قدرت الکتریکی در لکوموتیوهای دیزل الکتریک، سیستم AC-DC-AC می‌باشد. اگرچه این سیستم به‌دلیل به‌کارگیری ترکشن موتورهای AC پیچیده‌تر از دو سیستم دیگر است، اما مزیت استفاده از موتورهای AC، بر پیچیدگی آنها برتری دارد. در حقیقت در این سیستم، بیشتر تجهیزات کنترلی، از قطعه‌های الکترونیکی قدرت حالت جامد[1] به همراه کنترل‌های مبتنی بر میکروپروسسور بهره می‌برند.

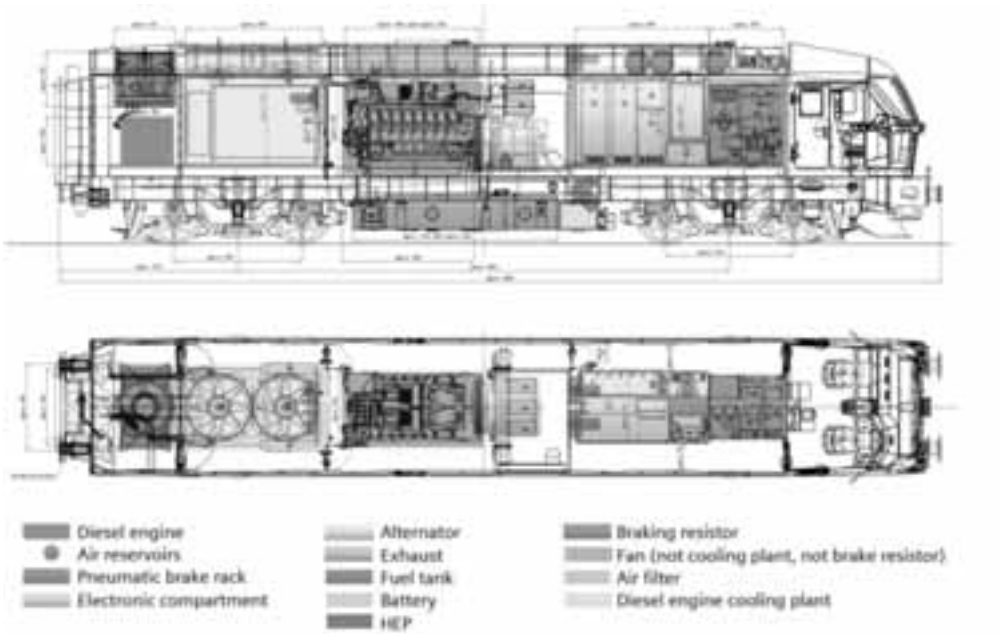
۱-۲ اجزاء اصلی لکوموتیو دیزل الکتریک

شکل (۱-۳) طرح شماتیک چیدمان اجزای اصلی لکوموتیو دیزل الکتریک ER24PC را، که در شرکت مپنا لکوموتیو و تحت لیسانس شرکت زیمنس آلمان ساخته می‌شود، نشان می‌دهد. واضح است که روش‌های متفاوتی در نحوه‌ی چیدمان اجزای لکوموتیو وجود دارد. برای نمونه، لکوموتیوهای اروپایی از این لحاظ، تفاوت‌هایی با انواع آمریکایی دارند.

- **موتور دیزل:**

موتور دیزل، منبع اصلی تأمین توان برای یک لکوموتیو است و از یک بلوک سیلندر بزرگ که در آن سیلندرهایی به صورت خطی و یا خورجینی قرار گرفته‌اند، تشکیل شده است. میل‌لنگ موتور با انتقال گشتاور به اجزای دیگر، موجب حرکت دیگر بخش‌هایی که برای ایجاد توان در لکوموتیو لازم است، می‌شود. در لکوموتیو دیزل الکتریک به سبب آنکه انتقال قدرت از نوع الکتریکی است، موتور به‌عنوان منبعی برای تأمین توان آلترناتور (ژنراتور) عمل می‌کند.

[1] Solid State Power Electronics



شکل ۱-۳: نمای شماتیک جانمایی اجزای لکوموتیو دیزل الکتریک ER24PC

- **آلترناتور(ژنراتور) اصلی:**

موتور دیزل، آلترناتوری را که توان حرکتی لکوموتیو را تأمین می‌کند، به حرکت درمی‌آورد. آلترناتور، جریان الکتریکی متناوب (AC) مورد نیاز برای تأمین توان موتورهای ترکشن نصب شده بر روی بوژی‌ها را، تولید می‌کند. در لکوموتیوهای قدیمی، آلترناتور یک ماشین DC بود که معمولا ژنراتور نامیده می‌شد و وظیفه‌ی آن، تولید جریان برق مستقیم بود که به مصرف موتورهای ترکشن DC می‌رسید. در گام بعدی، جایگزینی ژنراتور با آلترناتور انجام گرفت که البته همچنان از موتورهای ترکشن DC استفاده می‌شد؛ یعنی خروجی AC پس از یکسو شدن، به مصرف موتورها می‌رسید. تصویر یک آلترناتور مدرن در شکل (۱-٤) آمده است.

شکل (۱ - ٤): نمایی از یک آلترناتور مدرن لکوموتیو دیزل

- **آلترناتور کمکی:**

لکوموتیوهایی که برای کاربرد در قطارهای مسافری ساخته می‌شوند، به یک آلترناتور کمکی مجهز هستند که برق AC مورد نیاز برای روشنایی، گرمایش، تهویه، تجهیزات آشپزخانه و غیره را بر روی قطار فراهم می‌کند. جریان خروجی آلترناتور کمکی، به‌وسیله‌ی یک خط انتقال قدرت در طول قطار منتقل می‌شود. در آمریکای شمالی به این خط انتقال، "برق انتها سری[۱] " یا " برق هتل[۲] " گفته می‌شود. در انگلستان واگن‌های مسافری مجهز به تهویه‌ی مطبوع، توسط تغذیه‌ی برق قطار[۳] که از آلترناتور کمکی تأمین می‌شود، تغذیه می‌گردند.

- **دمنده‌ها:**

از توان موتور دیزل، برای به حرکت درآوردن الکتروموتور دمنده‌ها نیز استفاده می‌شود. همان‌گونه که از نام آن پیداست، وظیفه‌ی دمنده، فراهم‌نمودن جریان هوای لازم برای ترکشن موتورها، برای خنک‌کاری آنها در هنگام کارکرد آن می‌باشد. دمنده‌ها در درون بدنه‌ی لکوموتیو و ترکشن موتورها بر روی بوژی، جای می‌گیرند. بنابراین خروجی دمنده‌ها باید از راه کانال‌هایی به ترکشن موتور متصل باشد. خروجی دمنده در مواردی نیز به مصرف خنک‌کاری آلترناتور می‌رسد. در برخی طراحی‌ها به ازای هر بوژی و ژنراتور، از یک دمنده استفاده می‌شود. لکوموتیوهای مدرن امروزی از سیستم مدیریت هوای پیشرفته‌ای بهره می‌برند که دمای ماشین‌های دایره‌ای شکل مختلفی که بر روی آن نصب است را کنترل، و میزان جریان هوا را متناسب با کارکرد آنها، تنظیم می‌کند.

- **ورودی‌های هوا:**

هوای لازم برای خنک‌کاری موتورها، از هوای محیط تأمین می‌شود، بنابراین لازم است عملیات فیلترکردن برای آن صورت گیرد، تا گرد و غبار و دیگر ناخالصی‌ها جدا و میزان جریان آن نیز با توجه به دمای داخل و بیرون لکوموتیو تنظیم شود. برای نمونه ، سیستم مدیریت هوا، باید شرایط دمایی متفاوتی از مثبت ۵۵ درجه در تابستان تا منفی ۲۵ درجه در زمستان را، برای موتور MTU در لکوموتیو ایران سفیر پوشش دهد.

- **یکسوسازها/ اینورترها:**

جریان خروجی آلترناتور اصلی، از نوع متناوب (AC) است که می‌تواند در لکوموتیوهای مجهز به ترکشن موتورهای AC یا DC به مصرف برسد. موتورهای DC به طور سنتی تا حدود ۲۰ سال

---

[1]Head End Power
[2]Hotel Power
[3]Electric Train supply

پیش، انتخاب نخست برای لکوموتیوهای دیزل الکتریک بودند، که به تدریج با انواع AC در لکوموتیوهای جدید جایگزین شدند. موتورهای AC، ارزان‌تر بوده و هزینه‌ی نگهداری کمتری دارند و با کمک سیستم‌های مدیریت الکترونیکی، به دقت قابل کنترل هستند.

یکسوسازها برای تبدیل جریان خروجی AC آلترناتور اصلی به DC، مورد استفاده قرار می‌گیرند. اگر موتورهای کشش از نوع DC باشند، خروجی به‌دست آمده از یکسوسازها، به‌طور مستقیم استفاده می‌گردند و چنانچه موتورهای ترکشن از نوع AC باشند، خروجی یکسوسازها، به برق سه فاز AC تبدیل می‌شوند. در آمریکا نحوه‌ی آرایش و اختصاص اینورترها به ترکشن موتورها، انواع مختلفی دارد. لکوموتیوهای EMD محصول شرکت جنرال موتورز (GM)، به ازای هر بوژی، از یک اینورتر استفاده می‌کنند؛ درحالی‌که جنرال الکتریک (GE) به ازای هر محور (هر موتور)، از یک اینورتر بهره می‌برد. در سیستم‌های الکتریکی EMD، موتورها بر روی محورهای یک بوژی، به‌صورت موازی با هم به اینورتر متصل می‌شوند تا میزان کنترل لغزش چرخ در هر سه محور، مساوی و بیشینه باشد. اما بزرگ‌ترین ایراد این روش آن است که اگر یک اینورتر از کار بیفتد، لکوموتیو تنها قادر به تولید نصف نیروی کشش خود خواهد بود. از سوی دیگر، با اینکه استفاده از یک اینورتر به ازای هر محور پیچیده‌تر است، کمپانی GE بر این باور است که این روش بیشترین اندازه‌ی نیروی کششی را برای لکوموتیو فراهم می‌آورد. بنابراین چنانچه یک اینورتر از کار بیفتد، تنها نیروی کشش همان محور از دست می‌رود و می‌توان به‌وسیله‌ی پنج موتور ترکشن دیگر، به بخش عمده‌ای از نیروی کشش دست یافت. درضمن با کنترل جداگانه‌ی هر محور، دیگر نیازی به برابر بودن قطر چرخ‌ها برای دست‌یابی به کارکرد بهینه نیست. به طور معمول همه‌ی این تجهیزات در تابلوی الکترونیک لکوموتیو (مانند آنچه در شکل ۱– ۵ نشان داده شده) قرار می‌گیرند.

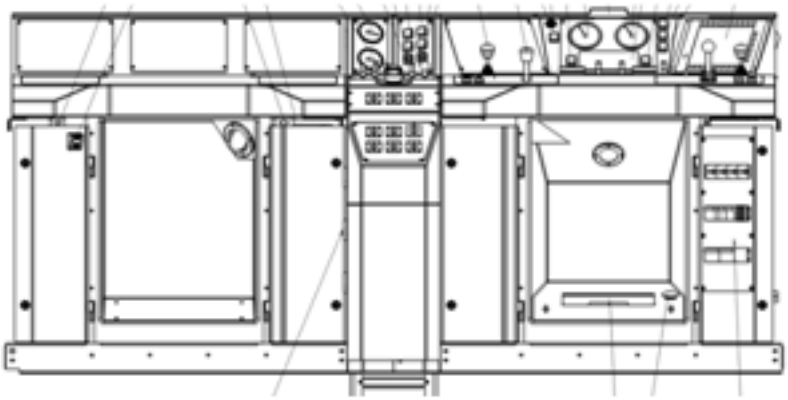
- **کنترلرهای الکترونیکی:**

به‌طور تقریب همه‌ی بخش‌های لکوموتیوهای مدرن امروزی، دارای واحدهای کنترل الکترونیکی است. برای دسترسی بهتر، معمولا همه‌ی آنها در یک محفظه‌ی کنترلی نزدیک کابین راننده، قرار می‌گیرند. این وسائل کنترلی، شامل یک سیستم مدیریت نگهداری هستند، که جابه‌جایی اطلاعات سیر لکوموتیو از آنها به یک کامپیوتر قابل حمل نیز، میسر می‌باشد.

شکل (۱-۵): تجهیزات الکترونیک لکوموتیو

- **جایگاه کنترل:**

این بخش، اصلی‌ترین محل ارتباطی بین ماشین و انسان در یک لکوموتیو است، که به آن میز کنترل[1] نیز می‌گویند. گفته می‌شود که رانندگان آمریکای شمالی، مدل آمریکایی این جایگاه را، نسبت به انواع اروپایی ترجیح می‌دهند. در مدل آمریکایی، میز کنترل به‌طور معمول به‌صورت زاویه‌دار و در سمت چپ محل جای‌گیری لکوموتیوران قرار گرفته و برعکس، در انواع اروپایی به‌صورت یک میز کنترل مدرن، مطابق شکل (۱-۶) در روبه‌روی لوکوموتیوران است.



شکل (۱-۶): میز کنترل لکوموتیو ER24PC

[1] Control Panel

- **باتری‌ها:**

درست مانند خودروها، موتور دیزل نیز برای راه‌اندازی، به یک باتری نیاز دارد. همچنین از برق باتری برای چراغ‌ها و نیز کاربردهای کنترلی در هنگام خاموشی موتور و عدم گردش ژنراتور، استفاده می‌شود. در لکوموتیوهای قدیمی از باتری‌های سرب اسیدی، و در مدل‌های مدرن‌تر از انواع نیکل-کادمیم استفاده می‌شود. لکوموتیو ایران سفیر مجهز به دو مجموعه باتری می‌باشد، که تصویر و مشخصات آنها در شکل (۱-۷) ارائه شده است.

باتری تغذیه ادوات کنترلی
(1×24V DC Approx. 200 Ah)

باتری استارت موتور دیزل
(1×24V DC Approx. 170 Ah)

شکل (۱-۷): باتری‌های لکوموتیو ER24PC

- **کابین راننده**[1]:

بیشتر لکوموتیوهای آمریکایی، یک کابین راننده دارند در حالی‌که شیوه‌ی رایج در اروپا، درج دو کابین در دو سمت است. لکوموتیوهای باری آمریکایی نیز به‌طور معمول دارای یک محفظه‌ی موتور باریک در وسط، و راهروهایی در دو سو هستند. این نوع جانمایی تجهیزات، سبب می‌شود راهبر لکوموتیوهای کابین جلو[2]، از دید مناسبی برخوردار باشد. از سوی دیگر لکوموتیوهای مسافری آمریکایی، دارای بدنه‌ای با پهنای زیاد و آیرودینامیک هستند، اما تنها دارای یک کابین می‌باشند. تفاوت لکوموتیوهای باری و مسافری در اروپا کمتر قابل تشخیص است، زیرا هر دو نوع آنها از بدنه‌ی پهنی برخوردارند و بیشتر به صورت دومنظوره (باری و مسافری) استفاده می‌شوند.

[1] Driver Cab
[2] Hood Forward

- **ترکشن موتور:**

از آنجایی که لکوموتیوهای دیزل-الکتریک از سیستم انتقال قدرت الکتریکی بهره می‌گیرند، ترکشن موتورها بر روی محورها درج شده است تا توان حرکتی نهایی را، فراهم سازد. این موتورها در طراحی‌های قدیمی به‌صورت DC بودند، اما پیشرفت در الکترونیک، قدرت و کنترل مدرن، باعث استفاده از موتورهای AC سه فاز القایی شد. به‌طور معمول چهار یا شش موتور ترکشن، بر روی هر لکوموتیو وجود دارد. یک موتور AC مدرن با دمنده‌های هوا برای خنک‌کاری، می‌تواند تا ۱۰۰۰ اسب بخار، توان تولید کند. ویژگی‌های عمومی ترکشن موتور لکوموتیو ایران سفیر، در جدول (۱-۱) ارائه شده است.

جدول (۱ - ۱): مشخصات ترکشن موتور ایران سفیر

نوع	1 TB 2421
توان اسمی کارکرد (در شرایط UIC)	500 kW at 1300 1/min
بیشینه‌ی توان پیوسته	650 kW at 1475 1/min
بیشینه‌ی گشتاور شروع	7400 Nm
بیشینه سرعت کارکرد	4,240 1/min
سرعت تست	4,240 x 1,2 = 5090 1/min
خنک کاری	forced air cooling with 0,9 m³/s
وزن	approx. 1,640 kg
نسبت دنده	107/21 = 5,0952
تعداد پل	4

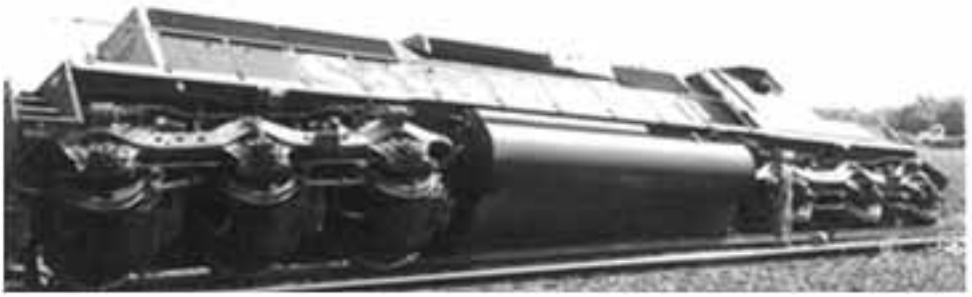
- **پینیون/چرخ‌دنده:**

به‌طورمعمول ترکشن موتورها، محورها را به‌وسیله‌ی دنده‌های کاهنده‌ی سرعت، به حرکت درمی‌آورند که این نسبت، تقریبا در مدل‌های باری ۱ به ٤ و در مسافری ۱ به ۳ است.

- **مخزن سوخت:**

یک لکوموتیو دیزل باید سوخت لازم را برای مسافتی مناسب، همراه با خود داشته باشد. مخزن سوخت، به‌طورمعمول زیر بدنه‌ی لکوموتیو قرار می‌گیرد و ظرفیتی بین ٤۰۰۰ لیتر (در لکوموتیوهای کوچک) تا ۲۲۰۰۰ لیتر (در لکوموتیوهای ٦۰۰۰ اسب بخاری) دارد. یک لکوموتیو افزون بر

سوخت،به‌طورمعمول مقداری در حدود ۱۰۰۰ لیتر آب برای خنک‌کاری موتور و ۸۰۰ لیتر روغن را نیز، با خود حمل می‌کند. همانند شکل (۱–۸) مخازن هوا نیز برای استفاده‌ی ترمز قطار و دیگر سیستم‌های پنوماتیک، در لکوموتیو درج شده‌اند که به‌طورمعمول در کنار مخزن سوخت در زیر بدنه، جانمایی می‌شوند.



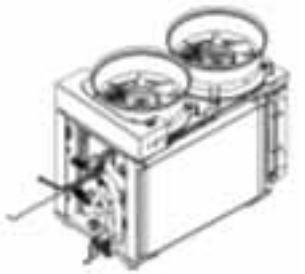
شکل (۱–۸): سبک قرارگیری مخازن سوخت و هوا در زیر شاسی لکوموتیو

- **کمپرسور هوا:**

برای ایجاد ذخیره‌ی ثابتی از هوای فشرده، جهت استفاده در سیستم ترمز لکوموتیو و قطار، نیاز به کمپرسور هوا می‌باشد. در آمریکا شیوه‌ی رایج برای تأمین انرژی دورانی کمپرسور هوا، کوپل کردن آن به میل لنگ موتور است. اما در اروپا بیشتر، کمپرسور به‌وسیله‌ی موتورهای برقی، به حرکت درمی‌آید و بنابراین می‌تواند در هر قسمتی از لکوموتیو مانند زیر بدنه و یا دماغه قرار گیرد.

- **رادیاتور و فن‌های خنک‌کننده:**

رادیاتور یک لکوموتیو دقیقا همانند آنچه بر روی یک خودرو نصب است، کار می‌کند. مایع خنک‌کننده در پیرامون بلوک سیلندر موتور جریان یافته، تا دمای آن را در سطحی که بیشینه‌ی بازده موتور به‌دست می‌آید، نگه‌دارد. این مایع با گذر از درون رادیاتوری مانند شکل (۱– ۹) به‌وسیله‌ی یک یا چند فن خنک‌کننده، خنک می‌شود.



شکل (۱– ۹): رادیاتور لکوموتیو دیزل الکتریک ER24PC

- **جعبه‌ی شن:**

لکوموتیوها برای تقویت چسبندگی در شرایطی که سطح ریل‌ها به‌دلیل رطوبت و آلودگی، لغزنده است، همواره ذخیره‌ای از شن همراه دارند. این وضعیت به‌طورمعمول در قطارهای چند واحدی (قطارهای خودکشش)، به‌دلیل نیاز به چسبندگی، به‌علت استفاده از چند محور کششی و توزیع نیروی کشش در محورهای واگن‌ها، بهتر است و در آنها استفاده‌ی شن، پایین است. اما در لکوموتیوها، به‌دلیل تمرکز گشتاور کششی کل قطار در محورهای لکوموتیو، در شرایط کاهش چسبندگی چرخ و ریل، باید از پاشش شن استفاده شود. تصویر یک جعبه‌ی شن به‌همراه لوله شن‌پاش، در شکل (۱-۱۰) آمده است.

شکل (۱-۱۰):تصویر یک جعبه شن به‌همراه لوله‌ی شن‌پاش

۱-۳ موتور دیزل

موتور دیزل نخستین بار به‌وسیله‌ی دکتر رودولف دیزل[۱]، در سال ۱۸۹۲ در آلمان ابداع شد. وی در ابتدا به‌کمک فردی به‌نام سولزر[۲] در سوئد تأسیساتی را برای تولید آن، بنا نهاده بود.

بر خلاف موتور بنزینی که از نوع احتراقی جرقه‌ای بوده و در آن احتراق مخلوط سوخت، به‌وسیله‌ی جرقه‌ی الکتریکی تولیدی از یک شمع انجام می‌شود، موتور دیزل، یک موتور احتراقی درون سوز تراکمی است. احتراق در یک موتور دیزل، به‌وسیله‌ی حرارت ایجاد شده در اثر تراکم تند و شدید هوا در سیلندر، و پاشش سوخت بر روی آن، شکل می‌گیرد. نسبت تراکم هوا در سیلندرهای موتور دیزل

[1] Dr Rudolf Diesel (1858-1913)
[2] Sulzer

متفاوت است، ولی به‌طورعموم در محدوده‌ی ۱/۱۵ تا ۱/۲۵ می‌باشد. در موتور دیزلی که هوا در حجمی برابر ۱/۲۵ حجم آغازین متراکم می‌شود، نسبت تراکم برابر با ۲۵:۱ می‌باشد. در تراکم ۱۶:۱، فشار هوای درون سیلندر به حدود lb/in^2 ۵۰۰ یا bar ۳۵.۵ و دمای آن به ۸۰۰ درجه‌ی فارنهایت یا ٤۲۷ درجه‌ی سانتیگراد می‌رسد.

برتری موتور دیزل در برابر موتور بنزینی، ارزش حرارتی بالاتر سوخت در آن است (با یک مقدار سوخت مصرفی معین، کار بیشتری را انجام می‌دهد). سوخت موتور دیزل به‌دلیل نیاز کمتر به پالایش، ارزان‌تر از بنزین است و قادر به تأمین انرژی مناسب، زیر بارهای سنگین در بازه‌های زمانی طولانی می‌باشد.

۱-۳-۱ انواع موتورهای دیزل

موتورهای دیزل به‌طورعموم در دو نوع کلی دو زمانه[۱] و چهار زمانه[۲] طراحی و ساخته می‌شوند. تفاوت این دو نوع سیستم احتراق، در تعداد جابه‌جایی‌های پیستون برای تکمیل هر سیکل است. ساختار موتور دو زمانه، ساده‌تر از موتور چهارزمانه است. در این موتور خروج دود از سوپاپ‌های سرسیلندر و ورود هوای تازه در مرحله‌ی بعد، به‌وسیله‌ی باز شدن دریچه‌ای در دیواره‌ی سیلندر، هنگامی که پیستون به نقطه‌ی مرگ پایین می‌رسد، انجام می‌شود. تراکم و احتراق، در نقطه‌ی مرگ بالا انجام می‌گیرد. همان‌گونه که می‌توان حدس زد، دور موتور دو زمانه با توان تولیدی مشابه، دو برابر موتور چهار زمانه است.

موتور احتراقی چهار زمانه، دارای چهار مرحله به صورت زیر می‌باشد:

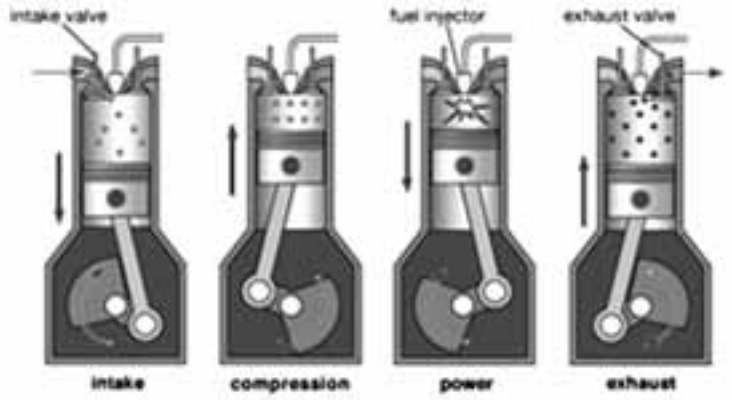
- مرحله‌ی مکش (Intake Stroke)
- مرحله‌ی تراکم (Compression Stroke)
- مرحله‌ی احتراق یا قدرت (Combustion or Power Stroke)
- مرحله‌ی تخلیه (Exhaust Stroke)

شکل (۱-۱۱)، نمای شماتیک چهار مرحله‌ی کارکردی را در یک موتور دیزل چهار زمانه‌ی دیزل نشان می‌دهد. در موتور چهار زمانه‌ی دیزلی، به‌طورمعمول دو سوپاپ برای هر سیلندر درج می‌گردد که از این لحاظ به موتورهای بنزینی دو زمانه شباهت دارد.

---

[1] Two-Stroke
[2] Four-Stroke

در بیشتر کشورها، از هر دو نوع موتور دیزل دوزمانه و چهارزمانه استفاده می‌شود، ولی کاربرد موتور چهار زمانه به‌صورت استاندارد، بیشتر متداول است. برای نمونه در انگلستان، قطار " Class 55Deltic" (که البته در حال حاضر از آن بهره‌برداری نمی‌شود) دارای موتور دیزل دو زمانه بوده است. لکوموتیوهای تولیدی کمپانی جنرال الکتریک (GE) آمریکا، مجهز به موتور دیزل چهار زمانه می‌باشند. درحالی‌که کمپانی جنرال موتورز (GM) تا پیش از تولید موتور دیزل چهار زمانه‌ی لکوموتیو SD90MAC با توان ۶۰۰۰ اسب بخار (سری H)، از موتورهای دیزل دو زمانه در لکوموتیوهای خود استفاده می‌نمود.



شکل (۱-۱۱): نمای شماتیک مراحل کارکرد یک موتور دیزل چهار زمانه

در هر حال انتخاب و استفاده از موتور دیزل چهارزمانه یا دو زمانه، وابسته به نیازها و شرایط کارکردی مورد انتظار از آن است. هرچند باید اشاره کرد که موتورهای دو زمانه، ساختار ساده‌تری دارند، ولی موتورهای چهار زمانه از راندمان بالاتری برخوردارند.

۱-۳-۲ ملاحظات ابعادی در موتورهای دیزل

موتورهای دیزل برای برخورداری از توان بالاتر، باید حجم بالاتری داشته باشند. این به‌آن معنا است که حجم کل محفظه‌های احتراق موتور، بالاتر است که می‌تواند با افزایش حجم یک سیلندر یا تعداد سیلندرها و یا هردو، شکل گیرد. بنابراین گاهی موتورهای دیزل، دارای تعداد زیادی سیلندر با حجم بالا می‌باشند که همین امر، ابعاد و وزن بالاتر موتور را سبب می‌گردد. موتورهای دیزل ابتدایی دارای توانی کمتر از ۱۰۰hp بودند، اما امروزه در آمریکا لکوموتیوهای دیزل الکتریک با موتور دیزل ۶۰۰۰ اسب بخاری، طراحی و ساخته شده‌اند. در یک لکوموتیو نمونه‌ی ۱۶ سیلندر انگلیسی با توان ۳۳۰۰ hp (کلاس ۵۸)، هر سیلندر توانی در حدود ۲۰۰ اسب بخار تولید می‌کند. این درحالی است که

در موتورهای دیزل مدرن که در آنها از توربوشارژ[1] استفاده می‌شود، با افزایش راندمان موتور، دستیابی به توان‌های بالاتر نیز امکان‌پذیر شده است.

در دسته‌بندی موتورهای دیزل لکوموتیوهای قدیمی، مقدار بیشینه‌ی سرعت دورانی موتور، در حدود ۱۰۰۰ rpm و دور آرام آن حدود ٤۰۰ rpm می‌باشد. این سرعت نسبتا پایین، نشانگر این است که موتور به‌صورت پرتوان[2] و سنگین (در مقایسه با موتورهای سبک پرسرعت[3]) طراحی شده است. در انگلستان موتورهای دیزل طراحی شده برای قطارهای تندرو در دهه ۷۰ میلادی، دارای سرعت دورانی ۱۵۰۰ rpm هستند که با این سرعت، در رده‌ی موتورهای دیزل پرسرعت یا دور بالا دسته‌بندی می‌شوند. موتورهای پرتوان که در لکوموتیوها به‌کار می‌روند، دارای هزینه‌های تعمیر و نگهداری پایین‌تر و طول عمر بالاتری می‌باشند.

با توجه به مقدارهای محدود ضریب چسبندگی چرخ و ریل و همچنین محدودیت در بار محوری و جرم و ابعاد موتور دیزل، بیشینه‌ی توان تولیدی لکوموتیو، اندازه‌ی مشخصی خواهد داشت. بنابراین برای جابه‌جایی یک قطار سنگین باری، به‌طورمعمول از اتصال چند لکوموتیو به یکدیگر استفاده می‌شود. در آمریکا که قطارهای باری، ده‌ها هزار تن بار را جابه‌جا می‌کنند، قراردادن چهار لکوموتیو در ابتدای قطار و چندین لکوموتیو در میانه و انتهای قطار، امری عادی است.

۱-۳-۳ آرایش سیلندرها

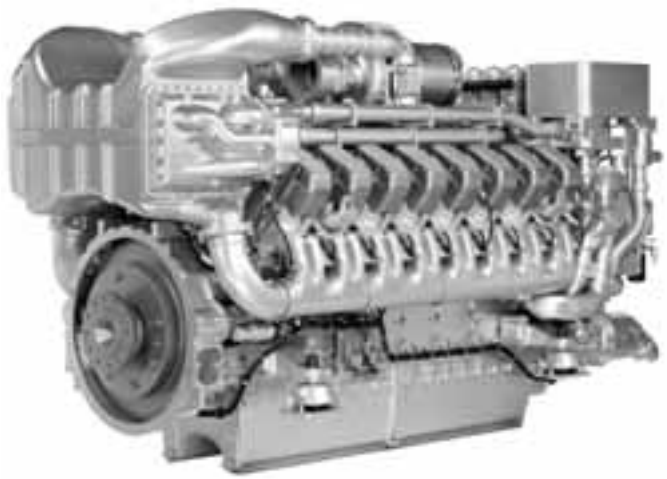
موتورهای دیزل به‌صورت خطی[4]، دو خطی[5] و V شکل طراحی می‌شوند. موتورهای دوخطی، دارای دو ردیف سیلندر خطی می‌باشند. بیشتر موتورهای دیزل، هم‌اکنون به‌صورت V شکل طراحی می‌شوند. این به‌آن معناست که سیلندرها، به دو مجموعه تقسیم می‌شوند که هر مجموعه یک سمت حرف V را، تشکیل می‌دهد. برای نمونه، یک موتور V8 دارای دو مجموعه‌ی چهار سیلندری می‌باشد که با یک زاویه‌ی مشخص نسبت به‌هم قرار گرفته‌اند. در انگلستان، V12 متداول‌ترین طراحی برای موتورهای سنگین دیزل است. در آمریکا V16 و در برخی موارد V20 نیز برای لکوموتیوهای باری، به‌کار می‌رود. نمایی از موتور دیزل لکوموتیو ER24PC در شکل (۱-۱۲) آورده شده است.

در انگلستان، موتورهای مورد استفاده برای قطارهای DMU (قطارهای چند واحدی یا خودکشش دیزلی[6]) بیشتر به‌صورت زیرواگنی[1] در زیر بدنه‌ی واگن، که فضای جای‌گیری مسافران می‌باشد،

[1] TurboCharger
[2] Heavy Engine
[3] High Speed
[4] In-Line
[5] Double Banked
[6] Diesel Multiple Unit

نصب می‌شوند. بنابراین فضای کم موجود در زیر واگن، با توجه به شمار بالای تجهیزات نصب شده، محدودیت‌هایی را از لحاظ ابعاد موتور و آرایش سیلندرها، ایجاد می‌کند.

موتور دیزل لکوموتیو انگلیسی "Class55" با توان ۳۳۰۰ hp، دارای یک طراحی غیر عادی است. چراکه سیلندرها در سه مجموعه و به صورت یک مثلث واژگون، درج شده‌اند. به‌همین دلیل آن را "Deltic" می‌نامند.



شکل(۱-۱۲): نمایی از موتور دیزل لکوموتیو ER24PC

۱-۳-۴ نیروی مؤثر کششی[۲]، نیروی کشش قلاب[۳] و توان کششی[۴]

نیروی مؤثر کششی یا T_{eff}، نیرویی است که در لبه‌های چرخ ناشی از گشتاور تولیدی ترکشن موتورها در چرخ و محور، وارد و بر حسب lbs و یا KN سنجیده می‌شود. زمانی که این نیروی کشنده در قلاب لکوموتیو اندازه‌گیری می‌شود، همان نیروی کشش قلاب خواهد بود که البته مقداری از آن برای غلبه بر نیروهای مقاوم لکوموتیو، استفاده می‌گردد. توان کششی نیز بر حسب اسب بخار (hp) یا کیلو وات (kw)، بیان و به‌صورت نرخ انجام کار تعریف می‌گردد.

رابطه‌ی میان توان کششی و نیروی کشش قلاب به‌گونه‌ای است که در یک توان مشخص، در سرعت‌های پایین، نیروی کشش زیاد، و در سرعت‌های بالا، نیروی کشش کمی در قلاب ایجاد

---

[1] Under floor
[2] Tractive Effort
[3] Drawbar Pull
[4] Traction Power

می‌شود. بنابراین برای افزایش نیروی کشش قلاب در یک توان مشخص، باید از سرعت پایین‌تری بهره گرفت. همچنین باید توجه داشت که برای دستیابی به مقادیر مناسب نیروی کشش و سرعت در یک لکوموتیو، باید سیستم انتقال قدرت مناسبی انتخاب، و به‌کار گرفته شود.

نکته‌ی دیگر آن است که هیچ‌گاه نمی‌توان از همه‌ی توان تولیدی موتور دیزل، برای سیستم کشش استفاده کرد؛ چرا که همواره مصرف‌کننده‌های جانبی، مانند دمنده‌ها، فن‌های رادیاتور، کمپرسور هوا و سیستم تأمین توان الکتریکی واگن‌ها (HEP) نیز، وجود خواهند داشت. برای نمونه، در یک لکوموتیو دیزل الکتریک با توان hp ۲۵۸۰، حدود hp ٤٥٠ آن برای تجهیزات جانبی استفاده می‌گردد.

۱-۳-۵ شروع به‌کار موتور دیزل

یک موتور دیزل، همانند موتور دیزل خودروها با گرداندن میل لنگ و تأمین شرایط احتراق، برای سیلندرها روشن می‌شود. موتور گردنده‌ی میل لنگ یا موتور استارت[1]، می‌تواند از نوع الکتریکی یا پنوماتیک باشد که این روزها در همه‌ی موتورهای دیزل نوع الکتریکی از آن استفاده می‌شود و انرژی خود را از باتری‌های لکوموتیو دریافت می‌کند. یک موتور دیزل، با ورود هوا به درون سیلندرها و پس از رسیدن دور میل لنگ به مقدار مشخص و تزریق سوخت در زمان مناسب، قادر به روشن شدن و ادامه‌ی حرکت خواهد بود. امروزه برای تأمین هوای مورد نیاز در لکوموتیوها، در موتورهای دیزل مدرن از سیستم‌های پرخورانی چند وضعیتی سوپر توربوشارژ پیشرفته استفاده می‌شود.

۱-۳-۶ گاورنر[2]

کنترل میزان سوخت و دور موتور، بسته به میزان تقاضای توان، به‌وسیله‌ی سیستمی به‌نام گاورنر شکل می‌گیرد. گاورنرهای قدیمی دارای یک سیستم گریز از مرکز مکانیکی بودند که نمای شماتیک آن در شکل (۱-۱۳) آمده است. گاورنر، تضمین‌کننده‌ی دور آرام مناسب، در وضعیت بی‌بار و دور مجاز بیشینه، در وضعیت تمام بار موتور دیزل می‌باشد. امروزه در موتورهای مدرن، به‌جای استفاده از گاورنررهای مکانیکی قدیمی، از سیستم‌های کنترل الکترونیکی موتور دیزل یا EDC[3] استفاده می‌شود. همان‌گونه که در شکل (۱-۱۳) دیده می‌شود، گاورنر مکانیکی دارای یک محور گردنده است که با دوران موتور دیزل، به گردش در می‌آید.

---

[1] Starter Motor
[2] Governor
[3] Electronic Diesel Control