بسم الله الرحمن الرحيم

مرکز توسعه، آموزش و
فن‌آوری راه‌آهن

کلیات سیستم ترمز لکوموتیوهای ایران

گردآوری و تألیف:

سیروس تقی‌زاده

گروه آموزشی ناوگان

مرکز توسعه، آموزش و فن‌آوری راه‌آهن

پاییز ۱۳۹۷

سرشناسه : تقی‌زاده، سیروس، ۱۳۵۷–
عنوان و نام پدیدآور کلیات سیستم ترمز لکوموتیوهای ایران/ گردآوری و تالیف سیروس تقی‌زاده؛ [به سفارش] گروه آموزشی ناوگان مرکز توسعه، آموزش و فن‌آوری راه آهن.
مشخصات نشر تهران : جهانتاب، ۱۳۹۷.
وضعیت‌فهرست‌نویسی : فیپا
مشخصات ظاهری : ۲۵۰ ص.: مصور.
شابک : 978-964-8247-95-4
موضوع : لوکوموتیوها – Locomotives
شناسه افزوده : راه آهن جمهوری اسلامی ایران. مرکز توسعه، آموزش و فناوری. گروه آموزش ناوگان
رده بندی دیویی : ۶۲۵/۲۶
رده بندی کنگره : TJ۶۰۵/ت۷ک۸ ۱۳۹۷
شماره‌کتابشناسی‌ملی : ۵۵٤۸۹۵۲

مرکز توسعه، آموزش و فن‌آوری راه‌آهن

به سفارش مرکز توسعه، آموزش و فن‌آوری راه‌آهن:
نشانی: میدان راه‌آهن، خیابان دشت آزادگان، درب غربی راه‌آهن، حوزه ۶، ساختمان مرکز تحقیقات و آموزش راه‌آهن
☐ سایت مرکز توسعه، آموزش و فن‌آوری: http:///www.raitc.rai.ir
☐ پست الکترونیکی : Rwamaouzesh@rai.ir

عنوان کتاب: کلیات سیستم ترمز لکوموتیوهای ایران
تألیف: سیروس تقی‌زاده
ناشر: انتشارات جهانتاب
ویرایش فنی: علیرضا فتاحی، علیرضا صادق‌زاده، مصطفی رستم‌لو
ویرایش ادبی و و آماده‌سازی نهایی: ناصر مجیدی‌فرد
صفحه‌آرایی: فریبا نظری
نوبت چاپ: اول ۱۳۹۷
شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه
قیمت: ۴۲۰۰۰ تومان
شابک: ۴-۹۵-۸۲۴۷-۹۶۴-۹۷۸

کلیهٔ حقوق قانونی این اثر برای مرکز توسعه، آموزش و فن‌آوری راه‌آهن محفوظ می‌باشد.

پیش‌گفتار

رشد و بالندگی هر سازمان مرهون فراوانی گنجینه‌های دانش فنی و منابع انسانی متخصص و ماهر آن است.

مرکز توسعه، آموزش و فناوری راه‌آهن ج.ا.ا با برخورداری از سالها تجربه و بهره‌گیری از جدیدترین روش‌ها و یافته‌های علمی و تخصصی، آموزش‌های علمی و کاربردی مدیران و کارکنان شبکهٔ گستردهٔ راه‌آهن را همراه با عرضهٔ خدمات آموزشی به کارکنان سایر سازمان‌ها و نهادهای مرتبط با صنعت حمل و نقل ریلی و دانشگاهی عهده‌دار است و در راستای ارتقای سطح دانش علمی و تخصصی کارکنان و پژوهشگران همواره تلاش می‌نماید به‌روزترین منابع علمی _ آموزشی در عرصهٔ تخصص‌های گوناگون راه‌آهن را ارائه و معرفی نماید.

کتاب حاضر تحت عنوان "کلیات سیستم ترمز لکوموتیوهای راه‌آهن ایران" ضمن دسته‌بندی انواع سامانه‌های ترمز لکوموتیوها و پرداختن اجمالی به علم پنوماتیک و مبانی سامانهٔ ترمز، به مباحث تخصصی هر یک از انواع این سیستم‌ها در لکوموتیوهای موجود راه‌آهن جمهوری ا.ا می‌پردازد.

تألیف این اثر ارزشمند و ماندگار توسط آقای مهندس سیروس تقی‌زاده از ادارهٔ کل نیروی کشش(گروه مطالعات و تدوین استانداردها) صورت پذیرفته که پس از تأییدیه کمیتهٔ تخصصی و مصوبهٔ هیأت تحریریهٔ این مرکز، چاپ و تقدیم کارشناسان، تکنسین‌ها و سایر علاقه‌مندان این حوزه می‌گردد.

امید است تألیف و نشر این اثر بتواند در استفادهٔ حداکثری از ظرفیت ناوگان، کاهش تعمیرات و صرفه‌جویی اقتصادی گامی مؤثر در مسیر شکوفاهی سازمان متبوع خویش برداشته باشد.

مرکز توسعه، آموزش و فناوری
راه آهن جمهوری اسلامی ایران

سخن مولف

با توجه به تنوع لکوموتیوها در ایران و عدم وجود کتابی که بـه صـورت کلـی بـه سیسـتم ترمـز همـهٔ لکوموتیوهای کشور پرداخته باشد بر آن شدم با توجه به اندوخته‌های علمی و تجربی خود، کتابی در این حوزه به رشتهٔ تحریر در آورم. در کتاب حاضر سعی نموده‌ام در عین پرداختن به مطالب تخصصی، مباحث کتاب به صورتی ساده نگاشته شود تا گسترهٔ وسیع‌تری از فراگیران را در برگیرد. برای تهیهٔ این کتاب از مطالب و دستورالعمل سازندگان لکوموتیو و همچنین تجارب همکاران و اساتید امـر بهـره گرفتـه شـده است؛ از جمله مدیر و معاونان محترم ادارهٔ کل نیروی کشش، ریاست محترم گروه مطالعات جناب آقای مهندس ثانی و مسئول محترم واحد آموزش جناب آقـای ایروانـی، همکـاران محتـرم گـروه مطالعـات، همکاران محترم در کارخانهٔ جاری لکوموتیوها، همکاران محترم کارخانـهٔ اساسـی لکوموتیوهـا، مـدیر و همکاران محترم در مرکز توسعه، آموزش و فن‌آوری به‌ویژه آقای غلامرضا آقاجانی که مرا در تهیهٔ ایـن مجموعه یاری نمودند، همچنین از آقای ناصر مجیدی‌فرد که در لحظه لحظهٔ فرآیند به ثمر رسیدن این اثر در ویرایش و بهبود کیفیت آن همراه بنده بودند، تشکر ویژه دارم.

امید است کتاب حاضر سهمی در ارتقای علمی فراگیران صنعت ریلی کشور داشته باشد.

سیروس تقی‌زاده – پائیز ۹۷

فهرست

عنوان **صفحه**

مقدمه..... ۱۵

فصل اول: مقدمه‌ای بر علم پنیوماتیک..... ۱۷

۱-۱ هوا..... ۱۷

۱-۱-۱- هوای مرطوب ۱۷

۱-۱-۲- فشار اتمسفر..... ۱۷

۱-۱-۳- اتمسفر و خلاء ۱۷

۱-۱-۴- واحدهای فشار ۱۹

۱-۱-۵- فشار و نیرو ۲۰

۱-۱-۶- نیروی وارده به پیستون..... ۲۱

۱-۱-۷- نیروی وارده به سطح دیوارهٔ سیلندر ۲۱

۱-۱-۸- قانون گازها ۲۳

۱-۱-۹- مسأله آب در هوای فشرده ۲۵

۱-۱-۱۰- واحدهای مربوط به جریان هوا..... ۲۶

۱-۱-۱۱- کیفیت هوای فشرده ۲۷

۱-۱-۱۲- عناصر مدارهای پنوماتیک..... ۲۷

فصل دوم: مبانی سیستم ترمز در راه‌آهن ۳۷

۲-۱ ترمز چیست؟..... ۳۷

۲-۲- انرژی جنبشی ۳۷

۲-۳- ترمزگیری در راه‌آهن..... ۳۷

۲-۴- تاریخچهٔ ترمز در راه‌آهن ۳۸

۲-۵- اتلاف انرژی جنبشی به صورت اصطکاک ۴۳

۲-۵-۱- ترمز اصطکاک ریلی ۴۴
۲-۵-۲- ترمزهای اصطکاکی کفشکی..... ۴۴
۲-۶- اصطکاک ترمزی..... ۴۵
۲-۷- زمان اعمال ترمز..... ۴۶
۲-۸- نحوه اعمال ترمز ۴۶
۲-۹- سیستم‌های پنیوماتیک..... ۴۷
۲-۹-۱-دلایل کاربرد پنیوماتیک درصنایع و وسایل نقلیهٔ ریلی..... ۴۸
۲-۹-۲- سیستم ترمز پنیوماتیک..... ۴۹
۲-۹-۲-۱- ترمز پنیوماتیک با عملکرد مستقیم ۵۰
۲-۹-۲-۲- ترمز پنیوماتیک با عملکرد غیر مستقیم..... ۵۱
۲-۹-۲-۳- ترمز الکتروپنیوماتیک ۵۷
۲-۹-۲-۴- ترمز الکترونیکی – پنیوماتیکی با کنترل کامپیوتری ۵۸
۲-۹-۲-۴-۱- اهرم ترمز ۵۹
۲-۹-۲-۴-۲- واحد کنترل الکترونیکی..... ۶۰
۲-۹-۲-۴-۳- واحد الکترو پنیوماتیک..... ۶۰

فصل سوم: تولید وتوزیع هوای فشرده..... ۶۱

۳-۱- مقدمه‌ای بر سیستم‌های هوای فشرده..... ۶۱
۳-۲- کمپرسورها ۶۳
۳-۲-۱- کمپرسورهایرفت و برگشتی..... ۶۵
۳-۲-۱-۱- اجزای کمپرسورهای رفت و برگشتی لکوموتیوهای ایران ۶۹
۳-۲-۱-۲- انواع کمپرسورهای پیستونی راه‌آهن..... ۶۹
۳-۲-۱-۳- مدار بی‌بارکننده کمپرسورهای پیستونی ۷۴
۳-۲-۲- کمپرسورهای پیچشی ۷۵
۳-۳- مخازن هوای فشرده ۷۸
۳-۳-۱- مخازن هوای فشرده در لکوموتیوهای مختلف..... ۷۹
۳-۴- مدار بی‌بارکننده درلکوموتیوها ۸۵

۳-۴-۱- شرح مدار بی‌باری لکوموتیو GM ۸۶
۳-۴-۲- مدار عملکرد کمپرسور لکوموتیوهای زیمنس ۸۶
۳-۵- خشک‌کن هوای فشرده..... ۸۷
۳-۶-سوپاپ‌های اطمینان در مدار تولید هوای فشرده..... ۹۰
۳-۶-۱- سوپاپ‌های اطمینان در لکوموتیوهای ایران ۹۱
۳-۷- خنک کننده‌ها..... ۹۴
۳-۸- شیرهای تخلیه اتوماتیک مخازن هوا..... ۹۴
۳-۸-۱- شیرهای تخلیه اتوماتیک درلکوموتیوهای موجود در ایران ۹۵
۳-۹- توزیع هوای فشرده درلکوموتیوها..... ۹۷
۳-۹-۱- لکوموتیوهای GM،GE، ALESTOM ۹۷
۳-۹-۲- لکوموتیو زیمنس ۹۸
۳-۹-۳- لکوموتیوهای هیتاچی..... ۹۸
۳-۱۰-سیستم هوای فشرده لکوموتیوهای DF8(چینی) ۹۹
۳-۱۰-۱- واحد کمپرسور هوا..... ۱۰۰
۳-۱۰-۱-۱- چیدمان سیستم کمپرسور هوا..... ۱۰۱
۳-۱۰-۱-۲- سوپاپ ورودی..... ۱۰۳
۳-۱۰-۲- سپراتور(جداکننده) آب و روغن..... ۱۰۴
۳-۱۰-۳- خشک‌کن هوا ۱۰۴
۳-۱۰-۳-۱- اصول کار خشک‌کن ۱۰۵
۳-۱۰-۴- سوپاپ اطمینان فشار بالا..... ۱۰۵

فصل چهارم: سیستم‌های کنترل پنیوماتیک ترمز لکوموتیوها..... ۱۰۷

۴-۱- کلیات..... ۱۰۷
۴-۲- سیستم ترمز لکوموتیوهای ایران..... ۱۰۸
۴-۲-۱-لکوموتیوGM و GE ۱۰۸
۴-۲-۲- لکوموتیو DF8..... ۱۰۹
۴-۲-۳- لکوموتیو هیتاچی HD10C ۱۰۹

۴-۲-۴- لکوموتیو آلستوم AD43C ۱۱۱
۴-۲-۵-لکوموتیو زیمنس ER24PC ۱۱۲
۴-۳- ترمز مستقیم لکوموتیوها..... ۱۱۳
۴-۳-۱- لکوموتیوهای GMوGE..... ۱۱۴
۴-۳-۲- لکوموتیو چینی DF8..... ۱۱۷
۴-۳-۳-لکوموتیو آلستوم..... ۱۱۹
۴-۳-۴- لکوموتیو زیمنس..... ۱۲۰
۴-۳-۵- لکوموتیوهای هیتاچی..... ۱۲۲
۴-۴- سیستم کنترل ترمز غیرمستقیم قطار در لکوموتیوها ۱۲۳
۴-۴-۱- کنترل فشار لوله اصلی در لکوموتیوهای ایران ۱۲۶
۴-۴-۱-۱- لکوموتیوهای GMو GE..... ۱۲۶
۴-۴-۱-۲- لکوموتیو چینیDF8 ..... ۱۳۵
۴-۴-۱-۳- لکوموتیو آلستوم..... ۱۳۷
۴-۴-۱-۴- لکوموتیو زیمنس..... ۱۴۲
۴-۴-۱-۵- لکوموتیوهای هیتاچی..... ۱۴۸
۴-۵- سیستم ترمز اتوماتیک لکوموتیوها..... ۱۵۲
۴-۵-۱- سیستم ترمز اتوماتیک لکوموتیوهای ایران..... ۱۵۳
۴-۵-۱-۱- لکوموتیوهای GMوGE..... ۱۵۳
۴-۵-۱-۲- لکوموتیو چینی DF8..... ۱۵۷
۴-۵-۱-۳- لکوموتیو آلستوم ۱۵۹
۴-۵-۱-۴- لکوموتیو زیمنس..... ۱۶۲
۴-۵-۱-۵- لکوموتیو هیتاچی..... ۱۶۵
۴-۶- سیستم ترمز بوژی در لکوموتیوهای ایران ۱۶۸
۴-۶-۱- لکوموتیوهایGMوGE ۱۶۸
۴-۶-۱-۱- لکوموتیوهای GM ۱۶۸
۴-۶-۱-۲ لکوموتیوهای GE ۱۶۹
۴-۶-۱-۳- تجهیزات ترمزی بر روی بوژی لکوموتیوهای GM و GE ایران ۱۷۲

۴-۶-۲- لکوموتیوهای چینی DF8 ..... ۱۷۶
۴-۶-۳- لکوموتیوهای آلستوم ۱۷۹
۴-۶-۴ لکوموتیوهای زیمنس ۱۸۶
۴-۶-۵- لکوموتیوهای هیتاچی..... ۱۹۳
۴-۷- سیستم‌های ایمنی لکوموتیوهای ایران ۱۹۴
۴-۷-۱- سیستم حفاظت از گسیختگی..... ۲۰۰
۴-۸- مدار اتصال هوایی چند لکوموتیو..... ۲۰۶
۴-۸-۱- لوله‌های رابط بین لکوموتیوها..... ۲۰۷
۴-۸-۱-۱- لوله اصلی ترمز..... ۲۰۷
۴-۸-۱-۲- لوله مخزن اصلی ۲۱۰
۴-۸-۱-۳- لوله تعادل سیلندرهای ترمز ۲۱۰
۴-۸-۲- مدار دوبله کردن لکوموتیوهای GMوGE ۲۱۳
۴-۸-۳- حمل لکوموتیو خاموش..... ۲۱۹
۴-۹- سیستم EP و EBO در لکوموتیوهای زیمنس..... ۲۲۸
۴-۹-۱- سیستم EP ۲۲۸
۴-۹-۲- سیستم EBO ۲۳۱
پیوست ۲۳۵
منابع..... ۲۴۳
کتاب‌های منتشرشده مرکز توسعه، آموزش و فن‌آوری راه‌آهن ۲۴۵

مقدمه

یکی از مهم‌ترین مباحث در حمل و نقل ریلی، بحث پیرامون سیستم‌های ترمز در وسایل نقلیهٔ ریلی است. آشنایی هر چه بیشتر کارکنان مرتبط با وسایل نقلیهٔ ریلی با سیستم ترمز آن‌ها می‌تواند تأثیر بسزایی در افزایش ایمنی در راه‌آهن، کاهش سوانح و افزایش بهره‌وری داشته باشد. در باب سیستم ترمز لکوموتیوها چندین کتاب تدوین و انتشار یافته است؛ ولی با توجه به تنوع لکوموتیوهای موجود در ایران کتابی که مشمول سیستم ترمز کلیهٔ لکوموتیوها باشد، تاکنون تهیه نشده است. در این کتاب سیستم ترمز لکوموتیوهای ایران به صورت کلی دسته بندی و مورد بحث قرار گرفته است. سیستم ترمز هوایی لکوموتیوها مبنای یکسانی دارد و تنها تجهیزات آن‌ها با هم متفاوت است. با توجه به مشابهت سیستم‌های پایه، یادگیری و آموزش سیستم‌های ترمزی کلیهٔ لکوموتیوها با متد ارائه شده در این کتاب ساده شده است.

در فصل اول این کتاب با عنوان مقدمه‌ای بر علم پنوماتیک، به موضوع سیال هوا، خواص آن و عناصر مدارهای پنوماتیک اشاره می‌کند. فصل دوم با عنوان مبانی سیستم ترمز راه‌آهن به تاریخچه‌ای از سیستم‌های ترمز ریلی در جهان و مبانی سیستم ترمز پنوماتیک می‌پردازد. فصل سوم با عنوان تولید و توزیع هوای فشرده، روش‌های فشرده‌سازی هوا و تجهیزات بکار رفته و همچنین انواع سیستم‌های فشرده‌سازی در لکوموتیوهای ایران را تشریح می‌نماید. فصل چهارم کتاب با عنوان سیستم‌های کنترل پنوماتیک ترمز لکوموتیوها مدارات سیستم ترمز در انواع لکوموتیوهای ایران را بررسی می‌نماید.

در کتاب حاضر، سیستم ترمز لکوموتیوهای GE،GM، آلستوم ، زیمنس، هیتاچی و لکوموتیوهای چینی DF8BI موجود در ایران شرح داده می‌شود و رنگی بودن شکل‌ها و نقشه‌ها به درک هر چه بهتر فراگیران کمک می‌کند.

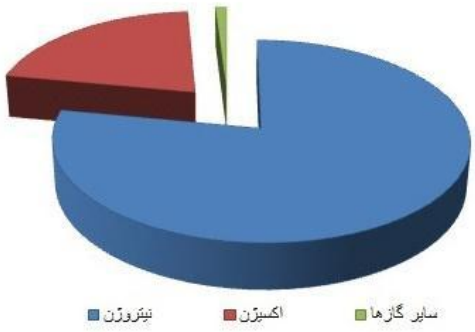
فصل ۱

مقدمه‌ای بر علم پنیوماتیک

۱-۱- هوا

هوا ترکیب گازی بی‌رنگ، بی‌بو و بی‌مزه است. هوا از گازهای بسیاری تشکیل شده اما عمده گازهای تشکیل‌دهندهٔ آن اکسیژن و نیتروژن است. در بیشتر محاسبات هوا را می‌توان به‌عنوان یک ترکیب گازی کامل در نظر گرفت. ترکیب هوا از سطح دریا تا ارتفاع ۲۵ کیلومتری نسبتاً ثابت است. هوا، کم و بیش با ذرات جامدی مثل گرد و غبار، شن، دوده و کریستال‌های نمک، آلوده می‌شود که میزان آلودگی آن در نواحی پرجمعیت، بالاتر و در روستاها و ارتفاعات کمتر است.

هوا، ماده‌ای است که به‌طور مکانیکی ترکیب شده و یک مادهٔ شیمیایی نیست؛ به همین دلیل می‌توان اجزای سازندهٔ آن را (برای مثال با سرد کردن) از یکدیگر جدا کرد.



شکل ۱- ۱) ترکیبات تشکیل دهندهٔ هوا

۱-۱-۱- هوای مرطوب (moist air)

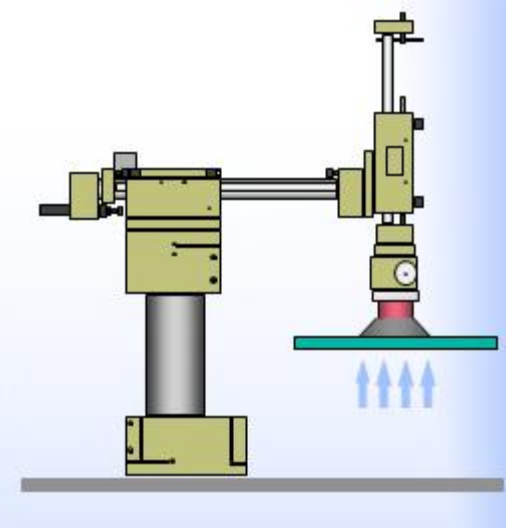
هوا را می‌توان ترکیبی از هوای خشک و بخار آب در نظر گرفت. هوایی که حاوی بخار آب است، هوای مرطوب نامیده می‌شود که می‌تواند در محدودهٔ گسترده تغییر کند. هوا می‌تواند خشک و یا از رطوبت اشباع شده باشد. حداکثر فشار بخار آبی که هوا می‌تواند در خود نگه دارد با ازدیاد دما افزایش می‌یابد. نقطهٔ شبنم دمایی است که در آن هوا از بخار اشباع شده است. بدین ترتیب با کاهش درجه حرارت، میعان آب صورت می‌گیرد.

۱-۱-۲- فشار اتمسفر

فشار اتمسفر به دلیل وزن هوایی ایجاد می‌شود که در بالای سطح زمین وجود دارد. لذا این فشار در کوهستان پایین‌تر و در چاه‌های زیر زمین بیشتر است. فشار اتمسفر با تغییر شرایط جوی تغییر می‌کند. فشار استاندارد اتمسفر توسط سازمان جهانی هوانوردی (غیر نظامی) تعیین می‌گردد. فشار و دمای سطح دریا ۱۰۱۳٫۲۵ میلی بار و ۲۸۸ کلوین (۱۵ درجه سانتیگراد) است.

۱-۱-۳- اتمسفر و خلاء

قدرت فشار اتمسفر وقتی نمود پیدا می‌کند که بخواهیم در صنعت، جسمی را با نیروی مکش برداشته و جابجا نماییم. در این شرایط هوا از یک طرف مکش شده و در یک سمت جسم خلاء ایجاد می‌شود و فشار اتمسفر در سمت دیگر باعث چسبیدن جسم به بازوی دستگاه‌های مخصوص (مانند رباتها) می‌گردد.



شکل ۱-۲) نحوهٔ استفاده از نیروی خلاء در یک سیستم پنوماتیکی

۱-۱-۴- واحدهای فشار

فشار، یک موضوع مکانیکی است و در سیال‌ها بر اثر برخورد مولکول‌های یک گاز یا مایع با اطرافشان به‌ویژه دیوارهٔ ظرف محتوی آن‌ها به‌وجود می‌آید. بنا به تعریف، به نیرویی که به‌طور عمود بر واحد سطح یک جسم وارد می‌شود، فشار می‌گویند. فشار را با "P" نمایش می‌دهند و دارای واحدهای مختلفی است که متداول‌ترین آن‌ها پاسکل، بار، نیوتن بر مترمربع، کیلوگرم نیرو بر سانتی‌مترمربع می‌باشند.

جدول (۱-۱) تبدیل واحدهای مختلف فشار به یکدیگر را نشان می‌دهد.

رابطهٔ فشار عبارت است از : $P = \frac{F}{A}$ که در آن:

F : نیرو بر حسب نیوتن

A: سطح مقطع بر حسب متر مربع

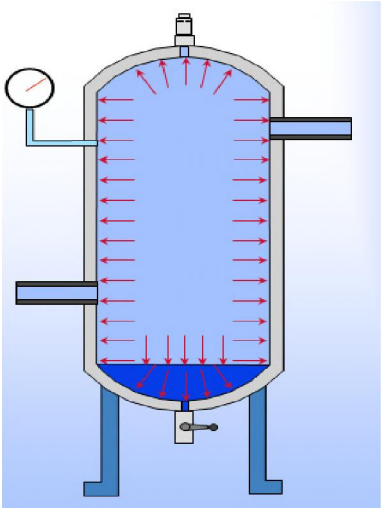
P: فشار بر حسب نیوتن بر مترمربع

جدول ۱-۱. تبدیل واحد فشار

Psi	Atmosphere	Kgf.sqcm	In.H2o	mm.Hg	In.Hg	Kpa	Bar
1	0.6804	0.07031	27.70	51.71	2.036	6.895	0.0689
14.696	1	1.0333	407.2	760	29.92	101.325	1.0132
14.22	0.9678	1	394.0	735.5	28.96	98.067	0.9806
0.03610	0.002465	0.0002538	1	1.867	0.07349	0.2489	2.487*10-3
0.1934	0.001316	0.001360	0.5367	1	0.03937	0.1333	0.00133
0.4912	0.003342	0.03453	13.61	25.40	1	3.387	0.03386
0.1450	0.00987	0.010197	4.0186	7.5006	0.2953	1	0.01
14.504	0.98692	1.0197	402.09	751.879	29.53	100	1

۱-۱-۵- فشار و نیرو

هوای فشرده، نیروی یکسانی را به تمام نقاط داخلی تجهیزاتی وارد می‌کند که هوا وارد آن‌ها می‌شود. از طرفی، مایع موجود در محفظه‌های هوای فشرده، تحت فشار قرار گرفته و نیرو را منتقل می‌کند. هر"یک بار" فشار، ۱۰ نیوتن نیرو بر هر سانتی‌متر مربع وارد می‌کند.



شکل ۱-۳) مخزن هوای فشرده

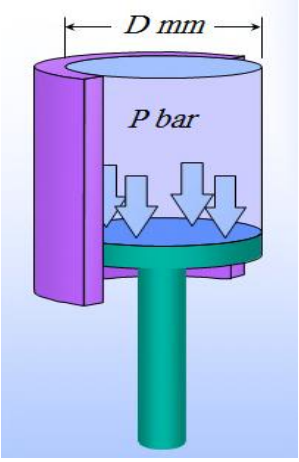
۱-۱-۶- نیروی وارده به پیستون

نیروی رانشی که هوای فشرده بر سطح یک پیستون وارد می‌کند، برابر است با سطح مـؤثر پیسـتون × فشـار هوا

$$\text{Thrust} = \frac{\pi D^2 P}{40} [\text{Newtons}]$$

D : قطر سیلندر با واحد میلیمتر

P : فشار هوا با واحد بار



شکل ۱-۴) نیروی رانشی وارده به پیستون

۱-۱-۷- نیروی وارده به سطح دیواره سیلندر

نیروی وارده بر سطح دیوارهٔ سیلندر نیز برابر است با فشار هوا × مساحت دیوارهٔ سیلندر :

$$\text{Force} = \frac{D.l.P}{10} [\text{Newtons}]$$

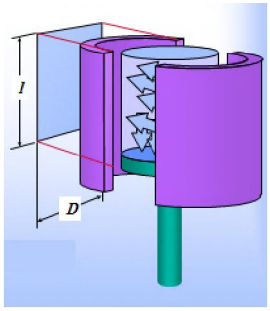
که در این فرمول:

D : قطر سیلندر با واحد میلی‌متر

L : طول کورس پیستون با واحد میلی‌متر

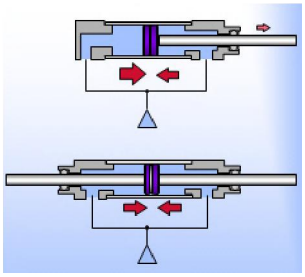
P : فشار هوا با واحد بار

با تبدیل واحدها برای به نتیجه رسیدن فرمول با واحد نیوتن، عدد ۱۰ در مخرج قرار می‌گیرد.



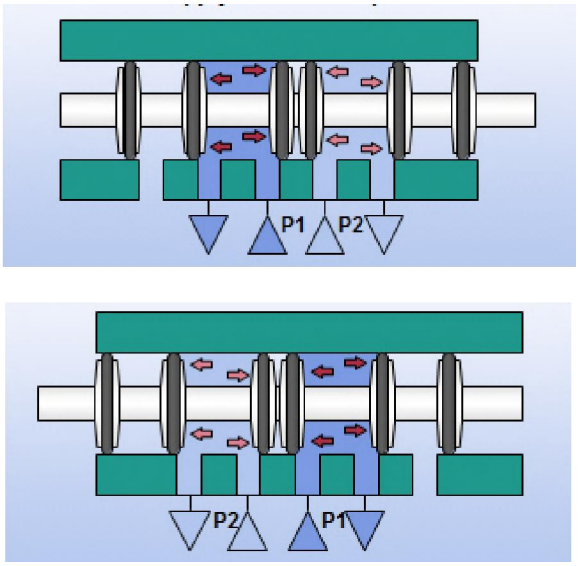
شکل ۱-۵) نیروهای وارده به دیواره سیلندر

به عنوان مثال، در صورتی که در یک سیلندر با دو ورودی هوا، سطح مؤثر پیستون متفاوت باشد، پیستون به‌سمتی حرکت خواهد کرد که سطح پیستون کمتر باشد و اگر سطح موثر پیستون یکسان باشد، پیستون حرکتی نخواهد داشت .



شکل ۱-۶) نمایی از پیستون یک طرفه و دوطرفه

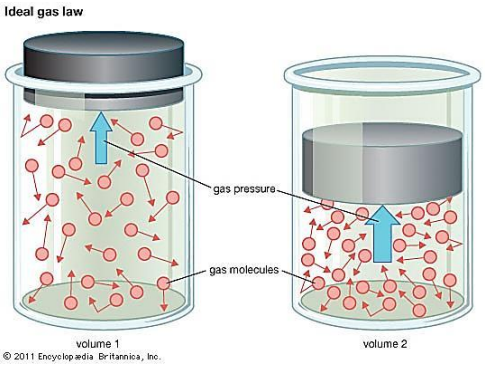
از این خاصیت فشار در سوپاپ‌های قرقره‌ای (اسپولی) استفاده می‌شود. در این سوپاپ‌ها که عمدتاً برای تغییر مسیر هوا استفاده می‌شود، اسپول سوپاپ (که مانند یک پیستون است) با عبور هوای فشرده حرکت نمی‌کند و در حالت تعادل قرار می‌گیرد؛ مگر این‌که با یک مکانیزم خارجی به حرکت درآید.



شکل ۱-۷) نمای داخلی یک سوپاپ قرقره‌ای (اسپول‌دار)

۱-۱-۸- قانون گازها

برای مقدار معینی از هوا، خواص متغیری از پارامترهایی همچون فشار، حجم و دما وجود دارد. با ثابت نگه داشتن یکی از این سه پارامتر، روابط بین دو پارامتر دیگر قابل بررسی است.



شکل ۱-۸) تأثیر کاهش حجم هوا بر مولکول‌های هوا

- **پروسهٔ دما ثابت (قانون بویلز):**

درصورتی‌که دما را ثابت فرض کنیم، حاصل ضرب فشار در حجم، عددی ثابت خواهد بود.

constant temperature : $P1.V1 = P2.V2 = CONSTANT$ ،Boyle's law

پروسهٔ دما ثابت را آیزوترمال نیز می‌نامند.

- **پروسهٔ فشار ثابت (قانون چارلز):**

درصورتی‌که فشار را ثابت فرض کنیم، نسبت حجم به دما عددی ثابت خواهد بود.

constant pressure : $\frac{V1}{T1[K]} = \frac{V2}{T2[K]} = CONSTANT$، Charles law

- **پروسهٔ حجم ثابت**

از بررسی قانون بویلز و چارلز به این نتیجه می‌رسیم که چنانچه یک گاز را در محفظه‌ای ثابت نگه داریـم، در صورت تغییر درجه حرارت داخل محفظه، فشار گاز داخل محفظه تغییر می‌کند و در نهایت نسبت فشار به دما ثابت باقی می‌ماند.

$$\frac{\mathbf{P1}}{\mathbf{T1[K]}} = \frac{\mathbf{P2}}{\mathbf{T2[K]}} = \mathbf{C}$$

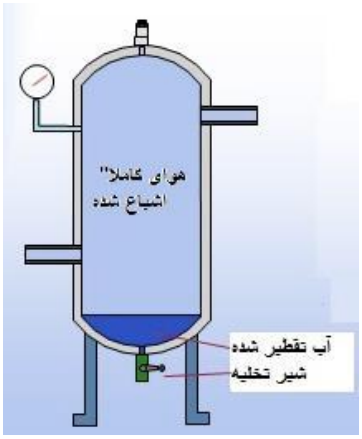
○ قانون عمومی گازها

با ترکیب قانون بویلز و چارلز در شرایطی که فشار، حجم و دما مقدار ثابتی از یک گاز متغیر می‌باشند، با این‌حال رابطهٔ آن‌ها همواره ثابت است.

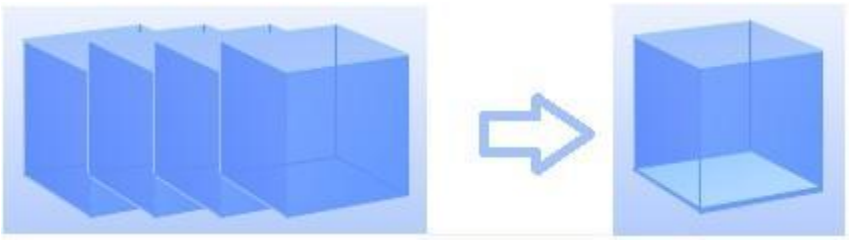
$$\frac{P1.V1}{T1} = \frac{P2.V2}{T2} = CONSTANT$$

۱-۱-۹- مسأله آب در هوای فشرده

وقتی‌که مقدار زیادی هوا را فشرده کنیم، میزان قابل توجهی آب تشکیل می‌شود. رطوبت موجود در هوا، مانند اسفنجی که با فشار دست آب آن را خارج می‌نماییم، تبدیل به آب می‌شود و علیرغم تشکیل آب، هوای تحت فشار هنوز هم دارای ۱۰۰٪ رطوبت است .



شکل ۱-۹) جمع شدن آب در ته مخازن هوای فشرده



شکل ۱-۱۰) تشکیل آب با کاهش حجم هوا

میزان آب موجود در مقدار معینی از هوا با پارامتر رطوبت نسبی و به درصد بیان می‌شود. این درصد بیانگر نسبت حداکثر مقدار آبی است که در دمای معینی می‌تواند در هوا معلق باشد.

۱-۱-۱۰- واحدهای مربوط به جریان هوا (دبی)

میزان حجم هوای آزاد عبوری از یک سطح مقطع در واحد زمان را "دبی هوا" می‌نامند. واحدهای متداول جریان هوا عبارتند از: لیتر بر دقیقه، مترمکعب بر ساعت، فوت مکعب بر دقیقه. جدول (۱-۲) تبدیل واحدهای مختلف دبی را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۲. واحدهای مختلف حجم هوا

دبی		
تبدیل از	به	ضرب در
l/s (لیتر بر ثانیه)	m^3/h (مترمکعب در ساعت)	3.6
l/min (لیتر بر دقیقه)	m^3/h (مترمکعب در ساعت)	0.06
m^3/min (مترمکعب بر دقیقه)	m^3/h (مترمکعب در ساعت)	60
gal/min (GPM) (گالن امریکایی بر دقیقه)	m^3/h (مترمکعب در ساعت)	0.227
m^3/s (مترمکعب بر ثانیه)	m^3/h (مترمکعب در ساعت)	3600
ft^3/s (فوت مکعب بر ثانیه)	m^3/h (مترمکعب در ساعت)	101.9
ft^3/min (فوت مکعب بر دقیقه)	m^3/h (مترمکعب در ساعت)	1.7
ft^3/h (فوت مکعب بر ساعت)	m^3/h (مترمکعب در ساعت)	0.0283

۱-۱-۱۱- کیفیت هوای فشرده

استاندارد ISO 8573-1 در خصوص کیفیت هوای فشرده است. در این استاندارد میزان مجاز آلاینده‌ها در هوای فشرده در رده‌ها (کلاس‌ها)ی مختلف تعیین شده است. آلاینده‌ها شامل ذرات جامد، آب و روغن هستند. با توجه به محل مصرف هوای فشرده و با توجه به ضرورت‌ها و اهمیت محل مصرف، کلاس مورد نظر تعیین می‌شود و با توجه به کلاس تعیین شده، تجهیزات لازم برای مدار هوای فشرده نصب می‌گردد.

جدول۱-۳. کلاس‌های مختلف کیفیت هوای فشرده مطابق با استاندارد ISO 8573-1

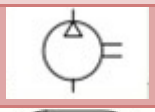
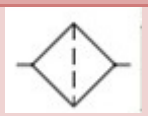
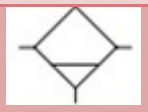
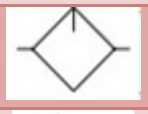
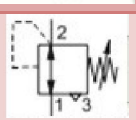
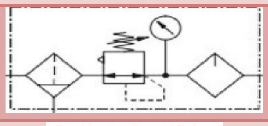
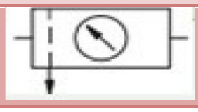
کلاس	ذرات جامد		آب	روغن
	حداکثر قطر ذرات (میکرومتر)	حداکثر غلظت با واحد mg/m3	حداکثر میزان نقطه شبنم(درجه سانتیگراد)	حداکثر غلظت با واحد mg/m3
۱	۰/۱	۰/۱	-۷۰	۰/۰۱
۲	۱	۱	-۴۰	۰/۱
۳	۵	۵	-۲۰	۱
۴	۱۵	۸	+۳	۵
۵	۴۰	۱۰	+۷	۲۵
۶	-	-	+۱۰	-
۷	-	-	-	-

۱-۱-۱۲- عناصر مدارهای پنیوماتیک

مدارهای پنوماتیک از عناصر متعددی تشکیل می‌شوند که هر کدام از آن‌ها با یک شکل به نمایش در می‌آیند که اصطلاحاً "سمبل پنیوماتیکی" گفته می‌شوند.

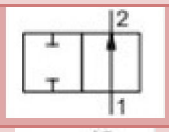
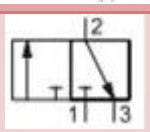
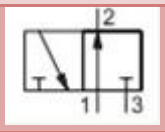
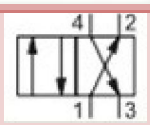
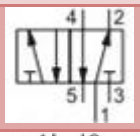
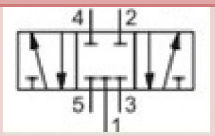
- **المان‌های قدرت:** شامل تجهیزات تولید ، تصفیه و ذخیرهٔ هوای فشرده است.

جدول ۱-۴. المان‌های قدرت

شکل المان	شرح المان
	کمپرسور با دبی ثابت
	مخزن هوای فشرده
	منبع فشار
	فیلتر
	تله آب‌گیر
	تله آب‌گیر با تخلیه اتوماتیک
	روغن‌زن
	منظم‌کننده فشار با دریچهٔ تخلیه
	سمبل ترکیبی فیلتر و منظم‌کننده
	سمبل ساده شده واحد مراقبت هوای فشرده
	سمبل ساده شده واحد مراقبت هوای فشرده بدون روغن‌زن

- **شیرهای راه‌دهنده:** تجهیزاتی هستند که برای تغییر مسیر جریان هوا استفاده می‌شوند.

جدول ۱-۵. شیرهای راه‌دهنده

شکل المان	شرح المان
	شیر راه‌دهنده ۲/۲ نرمال باز
	شیر راه‌دهنده ۳/۲ نرمال بسته
	شیر راه‌دهنده ۳/۲ نرمال باز
	شیر راه‌دهنده ۴/۲
	شیر راه‌دهنده ۵/۲
	شیر راه‌دهنده ۵/۳ حالت وسط بسته

- تحریک شیرها:

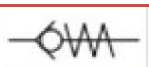
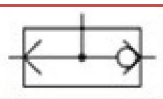
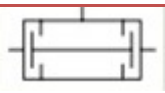
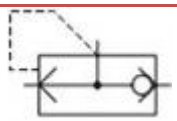
شیرها برای تغییر حالت به نیروی خارجی نیاز دارند . این نیرو می‌تواند به‌صورت دستی، پنیوماتیکی و یا برقی اعمال شود.

جدول ۱-۶. انواع تحریک شیرها

شکل المان	شرح المان
	تحریک دستی(شیر دستی)
	دکمهٔفشاری(پوش‌باتن)
	اهرم دستی(شیر اهرمی)
	تحریک هوایی
	تحریک برقی(شیر برقی)

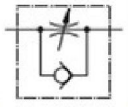
- **شیرهای یکسوکننده:** برای محدودکردن مسیر حرکت هوا استفاده می‌شوند.

جدول ۱-۷. شیرهای یکسوکننده

شکل المان	شرح المان
	شیر یک‌طرفه بدون‌فنر
	شیر یک‌طرفه بافنر
	شیر دوطرفه(شیر یا)
	شیر دوفشاره(شیر و)
	شیر تخلیهٔ سریع

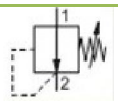
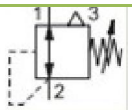
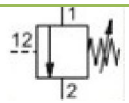
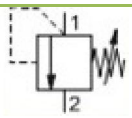
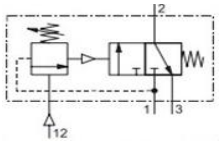
- **شیرهای کنترل جریان:** برای تنظیم میزان جریان عبوری استفاده می شوند.

جدول ۱-۸. شیرهای کنترل جریان

شکل المان	شرح المان
	شیر کنترل‌جریان قابل‌تنظیم یک‌طرفه
	شیر کنترل‌جریان دوطرفه

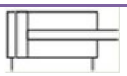
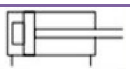
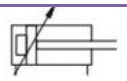
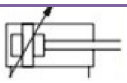
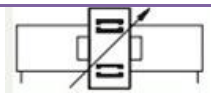
- **شیرهای کنترل فشار:** برای تنظیم فشار خروجی مطابق با نیاز سیستم‌های پنیوماتیک استفاده می‌شوند.

جدول ۱-۹. منظم‌کننده‌های فشار

شکل المان	شرح المان
	منظم‌کننده بدون دریچهٔ تخلیه
	منظم‌کننده با دریچهٔ تخلیه
	منظم‌کننده با فرمان هوایی خارجی
	منظم‌کننده نرمال بسته
	شیر تابع فشار ترکیبی

- **عمل‌گرها یا سیلندرهای هوا:** نیروی پنیوماتیکی را به نیروی مکانیکی، برای انجام کار مشخصی، تبدیل می‌کنند.

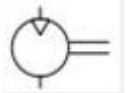
جدول ۱-۱۰. عمل‌گرها

شکل المان	شرح المان
	سیلندر یک‌طرفه
	سیلندر دوطرفه
	سیلندر دوطرفه با میله‌پیستون دوطرفه
	سیلندر دوطرفه با ضربه‌گیر
	سیلندر دوطرفه با ضربه‌گیر قابل‌تنظیم در یک‌سمت
	سیلندر دوطرفه با ضربه‌گیر قابل‌تنظیم در دوسمت
	عمل‌گر خطی با پیستون مغناطیسی

- **سمبل های فرعی و عمل‌گر های دورانی:**

عمل‌گرهای دورانی نیروی هوا را به نیروی چرخشی تبدیل می کنند تا به عنوان یک موتور از آن استفاده شود.

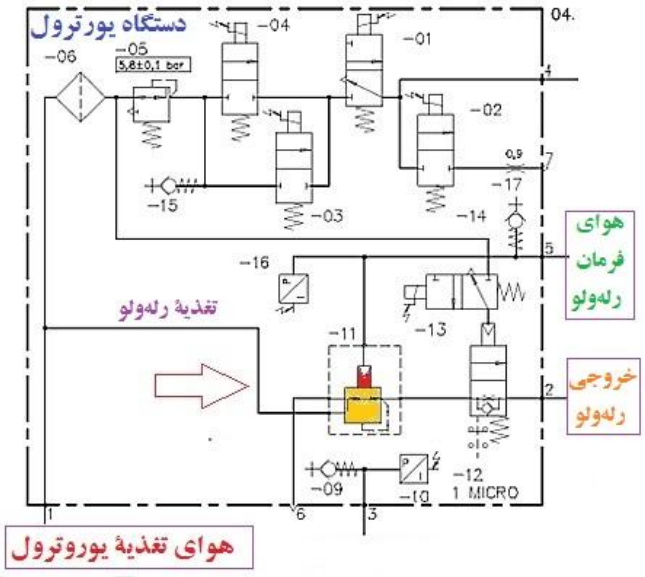
جدول ۱-۱۱. عمل‌گرهای دورانی

شکل المان	شرح المان
	موتور پنیوماتیکی ثابت با یک جهت جریان
	موتور پنیوماتیکی قابل تنظیم با یک جهت جریان
	موتور پنیوماتیکی قابل تنظیم با دو جهت جریان
	عمل‌گر دورانی با حوزهٔ نوسانی محدود

جدول ۱-۱۲. سمبل‌های فرعی

شکل المان	شرح المان
	دریچهٔ تخلیه
	دریچهٔ تخلیه با صداخفه‌کن
	صداخفه‌کن
	اتصال دو خط لوله
	عبور دو خط لوله از روی هم
	فشارسنج
	نشان‌گر پنیوماتیکی

نکته: *در سیستم پنوماتیک ترمز لکوموتیوهاتجهیزات خاصی وجود دارد که دارای سمبل‌های استاندارد موجود نیستند که از آن جمله می‌توان به سوپاپ کنترل و سوپاپ رله اشاره کرد. سوپاپ کنترل خود مبحث مفصلی داشته و در فصل‌های بعد توضیح داده خواهد شد. سوپاپ رله‌ها، سوپاپ‌هایی هستند که عمدتاً دارای چهار پورت می‌باشند. یک پورت به مخزن هوای تغذیه متصل است و پورت دیگر به هوای فرمان متصل شده است. هوای خروجی سوپاپ رله از هوای مخزن تغذیه ارسال می‌شود ولی مقدار آن متناسب با هوای فرمان است؛ بدین صورت که فشار هوای مدار فرمان به هر میزانی که باشد، فشار خروجی سوپاپ رله به همان میزان خواهد بود. یک پورت نیز برای تخلیهٔ هوای پورت خروجی در نظر گرفته شده است. از این سوپاپ رله‌ها در قسمت‌های مختلف سیستم ترمز لکوموتیو استفاده می‌شود و در مدار ترمز لکوموتیوها نقش بسیار مهمی دارند. در شکل(۱-۱۱) یک نمونه سوپاپ رله به همراه مدار مربوطه نشان داده شده است.*



شکل ۱-۱۱) یک نمونه سوپاپ رله ای در مدار ترمز لکوموتیو زیمنس

سوپاپ شماره ۱۱، یک نمونه سوپاپ رله‌ای است. هوای لولهٔ شماره ۱ هوای تغذیه، هوای لولهٔ شماره ۵ هوای فرمان بوده و هوای خروجی از سوپاپ (لولهٔ شماره ۲) متناسب با هوای روی سوپاپ رله‌ای از هوای لولهٔ شماره ۱ تغذیه می‌شود که مقدار آن با مقدار هوای لولهٔ شماره ۵ برابر است. در صورت نیاز، هـوای لولـهٔ شـماره ۲ از طریق پورت تخلیه سوپاپ رله‌ای از لولهٔ شماره۶ تخلیه می‌گردد.

فصل ۲

مبانی سیستم ترمز در راه‌آهن

۲-۱- ترمز چیست؟

رسیدن به هر مقصدی نیازمند حرکتی هدف‌دار و کنترل شده است. هر حرکت کنترل‌نشده‌ای می‌تواند به سردرگمی و یا حتی حوادث تلخ تبدیل شود. حرکت در وسایل نقلیه نیز از این قاعده مستثنی نبوده و برای جلوگیری از سردرگمی و بالاتر از آن، وقوع حادثه باید به نحو احسن کنترل شده و ایمن باشد. بخش مهمی از کنترل حرکت در وسایل نقلیه به عهدهٔ تجهیزاتی به نام ترمز است، به نحوی که بدون آن امکان کنترل وسیله تقریباً به صفر می‌رسد.

بنابراین می‌توان گفت حرکت یک وسیلهٔ نقلیه هدف‌دار است و با توجه به این‌که رسیدن به هدف بدون کنترل حرکت، ممکن نیست، پس حرکت بدون ترمز معنایی ندارد.

۲-۲- انرژی جنبشی

می‌دانیم که هر جسم دارای حرکت ، از انرژی جنبشی برخوردار است. بر این اساس، از بین بردن حرکت یک جسم با از بین بردن انرژی جنبشی آن مفهومی یکسان دارد؛ و می‌دانیم که انرژی در طبیعت از بین نمی‌رود و تنها می‌توان آن را از صورتی به صورت دیگر تبدیل کرد.

بنابراین فرآیند ترمزگیری که هدف آن کاهش سرعت و یا متوقف کردن یک وسیله‌ی نقلیه است نیز یک فرآیند تبدیل انرژی محسوب می‌شود. ساده‌ترین راه کاهش انرژی جنبشی یک وسیله، تبدیل آن به حرارت به‌واسطهٔ یک نیروی مقاوم است.

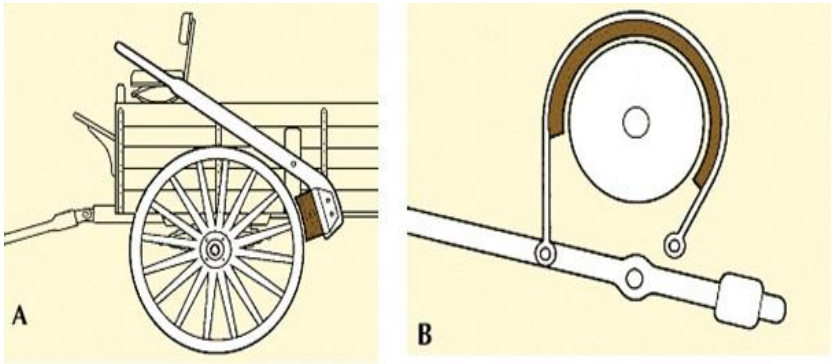
با توجه به این‌که انرژی جنبشی با جرم و توان دوم سرعت رابطه‌ی مستقیم دارد، پس مقدار این نیروی مقاوم نیز باید متناسب با همین دو پارامتر باشد.

۲-۳- ترمز گیری در راه‌آهن

در وسایل حمل و نقل ریلی (صنعت راه‌آهن) از ابتدا تاکنون کنترل حرکت یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های دست‌اندرکاران این صنعت بوده است. برای دست‌یابی به این مقصود با توجه به سرعت و وزن قطارها، روش‌های مختلفی به‌کارگرفته شده است. در تمامی این روش‌ها نیروی مقاوم در برابر حرکت عمدتاً نیروی اصطکاک بوده است. در اثر اعمال این نیرو، انرژی جنبشی قطار به انرژی حرارتی تبدیل شده و سبب کنترل حرکت می‌گردد.

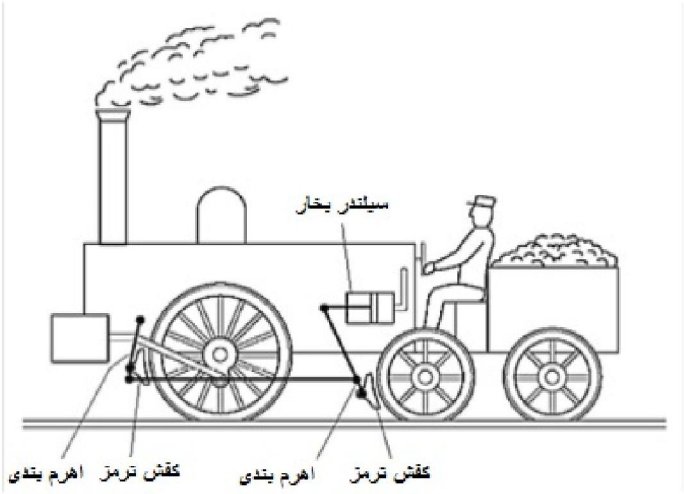
۲-۴- تاریخچهٔ ترمز در راه‌آهن

- اولین ترمزهایی که برای گاری‌ها طراحی شدند به‌صورت مکانیکی- اصطکاکی عمل می‌کردند.



شکل ۲-۱) ترمزهای ابتدایی از نوع مکانیکی

- در قطارهای ابتدایی که با لکوموتیو بخار حرکت می‌کردند فقط لکوموتیو دارای ترمز بود.

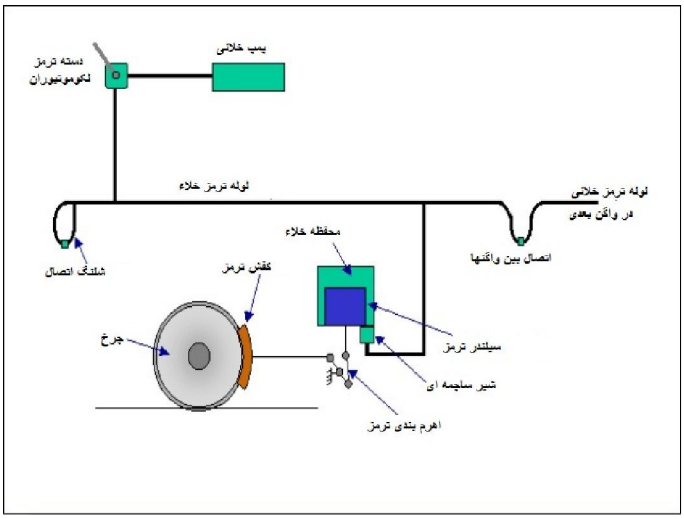


شکل ۲-۲) ترمز بخار برای لکوموتیوهای بخار

- با سنگین‌تر شدن قطارها، نیاز به ترمز واگن اجتناب ناپذیر بود.

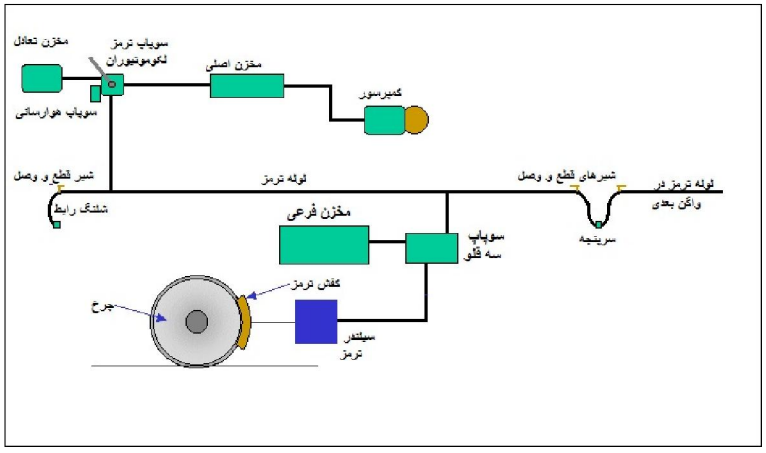
شکل ۲-۳) ترمز ابتدایی برای واگن‌ها از نوع دستی

- سیستم ترمز خلاء برای از بین بردن مشکلات ناشی از اعمال ترمز به‌صورت دستی ابداع شد.



شکل ۲-۴) ترمز خلایی

- سیستم ترمز هوایی، ترمزی قوی‌تر و مطمئن‌تر از سیستم خلاء بود.

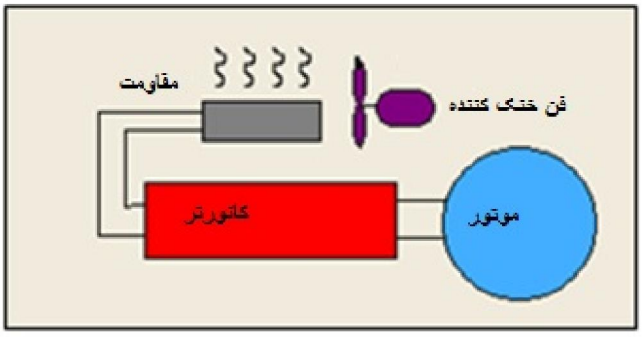


شکل ۲-۵) ترمز هوای فشرده

- ترمز آیرودینامیک برای قطارهای سرعت بالا با ایجاد مقاومت در برابر عبـور هـوا از روی قطـار باعث کاهش سرعت قطار می‌گردد.

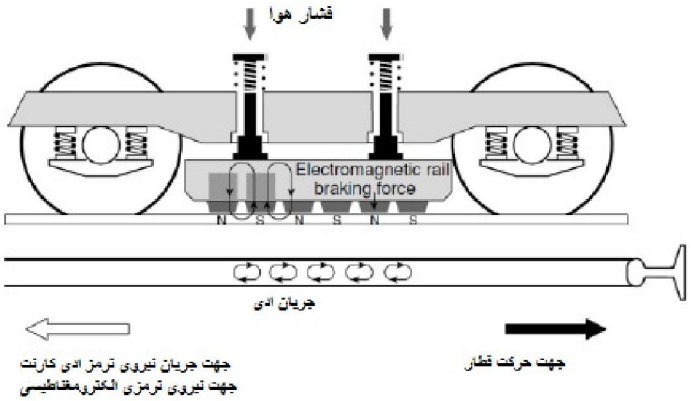
شکل ۲-۶) ترمز آیرودینامیک

- ترمز دینامیک برای کاهش استفاده از ترمز اصطکاکی به‌کار برده می‌شود. ایـن ترمـز بـا جـذب انرژی جنبشی تراکشن موتورها باعث کاهش سرعت لکوموتیو می‌گردد.

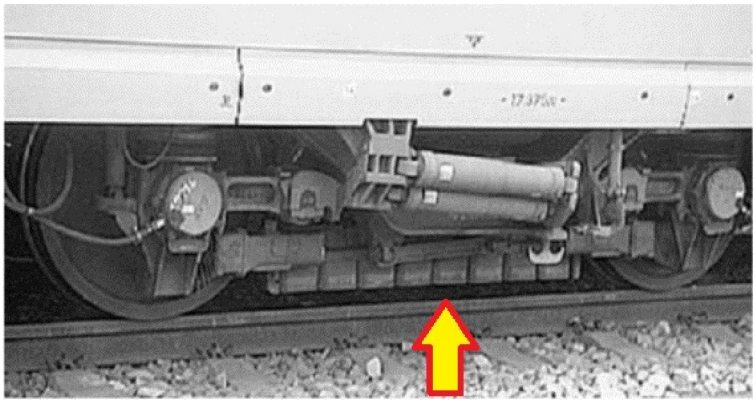


شکل ۲-۷) ترمز الکترودینامیک

ترمز ادی کارنت (EDDY CURRENT) برای کاهش استفاده از ترمز اصطکاکی استفاده می‌شود. در این مکانیزم با نزدیک نمودن بلوک‌های مغناطیسی به ریل و ایجاد میدان مغناطیسی، سرعت وسیله نقلیه کاهش می‌یابد؛ بدین صورت که بلوک‌های مغناطیسی مانند یک آهن‌ربا عمل کرده و تمایل به جذب ریل دارد؛ لذا به‌دلیل نیروی مغناطیسی ایجاد شده بین ریل و بلوک مغناطیسی، سرعت حرکت قطار کاهش می‌یابد.



شکل ۲-۸) ترمز مغناطیسی

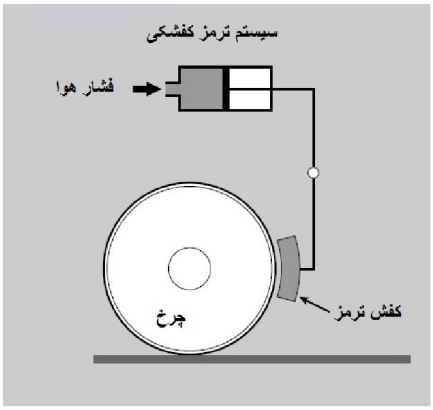


شکل ۲-۹) ترمز مغناطیسی

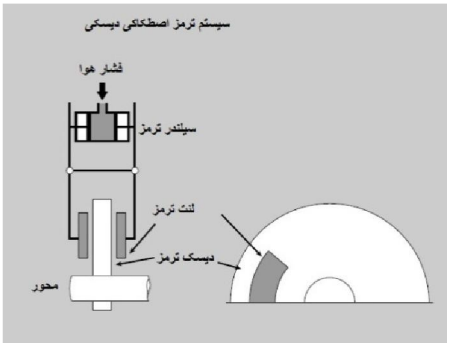
۲-۵- اتلاف انرژی جنبشی به صورت اصطکاک

در ترمزهای اصطکاکی معمولاً با استفاده از تماس دادن یک جسم اصطکاکی با سطح غلتش چرخ و یـا دیسک متصل به آن، نیروی مقاومی در برابر دوران چرخ حاصل می‌شود که به‌مرور از سرعت دورانی آن می‌کاهد. در برخی از ترمزهای اصطکاکی، جسم اصطکاکی بر روی ریل سوار شده و به این ترتیب مانع ادامهٔ سیر قطار می‌گردد.

می‌دانیم که برای تولید نیروی اصطکاک دو عامل ضریب اصطکاک و نیروی عمود بـر سـطح دخیـل هستند. ضریب اصطکاک به وسیلهٔ جسم اصطکاکی تولید می‌شود و نیروی عمود بر سطح با اسـتفاده از هوای فشرده و یا نیروی مغناطیس حاصل می‌گردد.



شکل ۲-۱۰) ترمز اصطکاکی کفشکی



شکل ۲-۱۱) ترمز اصطکاکی دیسکی

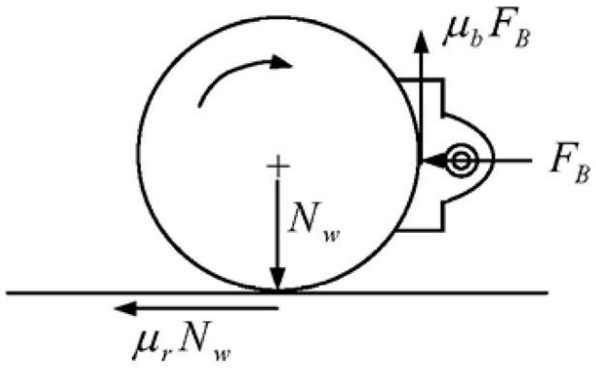
۲-۵-۱- ترمز اصطکاکی ریلی

در این نوع ترمز اصطکاکی، بلوک‌های اصطکاکی به ریل چسبیده و باعث ایجاد نیروی اصطکاک بین ریل و بلوک اصطکاکی می‌گردند. این سیستم به‌دلیل امکان خسارت به ریل چندان مورد استقبال قرار نگرفته است.

شکل ۲-۱۲) ترمز اصطکاکی ریلی

۲-۵-۲- ترمزهای اصطکاکی کفشکی

در سیستم‌های ترمز واگن‌های باری رایج‌ترین نوع ترمز، ترمز اصطکاکی کفشکی است. در این سیستم با قرار گرفتن کفشک‌های ترمز بر روی سطح غلتش چرخ و اعمال نیرو بر آن، متناسب با قطر چرخ، گشتاوری در خلاف جهت دوران به‌وجود می‌آید. این گشتاور در واقع توان ترمزی بوده و عامل توقف و یا کاهش سرعت وسیله است.



شکل ۲-۱۳) گشتاور حاصل از اصطکاک در ترمزهای کفشکی

در شکل فوق در صورتی ترمز مناسب وجود خواهد داشت که رابطهٔ زیر همواره برقرار باشد:

$$\mu_b F_B < \mu_r N_w$$

*این رابطه نشان می‌دهد همواره گشتاور حاصل از نیروی وارده از چرخ به ریل در ضریب اصطکاک ریل و چرخ باید بیشتر از گشتاور حاصل از نیروی وارده بر کفش ترمز در ضریب اصطکاک کفش ترمز و چرخ باشد؛ در غیر این‌صورت چرخ بر روی ریل خواهد لغزید که اصطلاحاً پدیده " لغزش چرخ " رخ می‌دهد و این پدیده باعث خساراتی بر روی چرخ و ریل خواهد شد. از این رابطه این‌گونه نتیجه می‌شود که همواره نیروی ترمزی قوی‌تر، برای قطارها مناسب‌تر نیست و این نیرو باید کاملاً محاسبه شده، در نظر گرفته شود. در سیستم‌های ترمزی جدید به‌دلیل افزایش سرعت سیر و نیاز به نیروی ترمزی بیشتر، از سیستم ضد لغزش چرخ(WSP) استفاده می‌گردد تا در صورت کاهش اصطکاک سطح ریل، ترمز را آزاد و از لغزش چرخ بر روی ریل جلوگیری نماید.

۲-٦- اصطلاحات ترمزی

- راه ترمز (مسافت ترمز): مسافتی است که وسیله از لحظهٔ شروع ترمزگیری تا توقف کامل طی می‌کند.

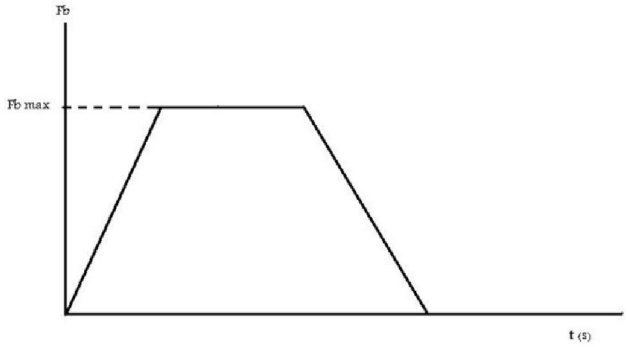
- خط ترمز: اثری است که چرخ وسیله به‌دلیل اعمال نیروی ترمز زیاد و قفل شدن روی ریل بـه جـا می‌گذارد.
- میدان ترمز: به فاصلهٔ میان حداقل ترمز و ترمز کامل بر روی دسته فرمان ترمز گفته می‌شود.
- زمان ترمزگیری: به زمان پر شدن سیلندر ترمز در حالـت ترمزگیـری یکنواخـت، زمـان ترمزگیـری می‌گویند.
- زمان آزادسازی: به زمان تخلیهٔ سیلندر ترمز به‌صورت یکنواخت اتلاق می‌شود.
- هواگیری: پر نمودن مخازن هوا ، لوله‌ها و سوپاپ‌های ترمز از هوای فشرده را هواگیری می‌نامند.

۲-۷- زمان اعمال ترمز

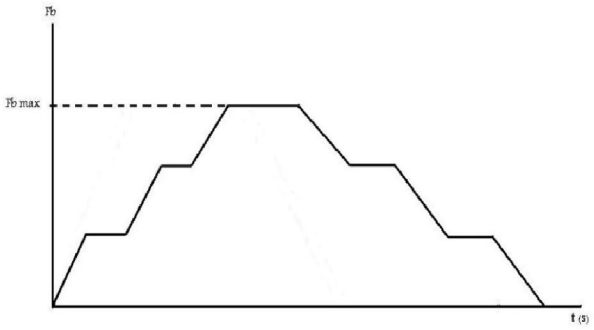
زمان اعمال ترمز باید با نوع وسیله‌ی نقلیه از نظر باری یا مسافری متناسب باشد. در قطارهای باری با توجه به وزن زیاد محموله و با درنظر گرفتن رابطه‌ی $F=m\times a$، شتاب ترمزی بایـد کمتـر از قطارهـای مسافری باشد تا به باربندی محموله آسیبی نرسد و از شدت ضربات واگن‌ها به‌یکدیگر کاسته شود. ایـن شتاب کمتر با افزایش زمان ترمزگیری حاصل می‌شود. از طرفی در زمان حرکت نیز بـا توجـه بـه وزن بالای قطار باری و افزایش تدریجی نیروی کشش، زمان صدور فرمان حرکت تا شروع حرکت طولانی‌تر است. لذا باید زمان آزاد شدن ترمزها نیز طولانی‌تر باشد تا در صورت قرار گرفتن قطار در فراز، موجـب فرار قطار به عقب نگردد.

۲-۸- نحوهٔ اعمال ترمز

از آنجا که همیشه برای کنترل سرعت و یا متوقف کردن قطار تمام توان ترمزی مورد نیاز نیست، و یا اگر تمام این توان مورد نیاز باشد با توجه به نوع بار، سرعت، شرایط آب و هوایی و ... استفاده از آن به یکباره خطرآفرین است، لذا نحوهٔ اعمال ترمز نیز باید با شرایط سیر متناسب باشـد. ترمزگیـری و آزادسـازی را می‌توان به‌صورت تدریجی و با توجه به نیازهای حرکتی انجام داد و یا این‌که با استفاده از مشخصات فنی تجهیزات ترمز با یک سرعت یکنواخت به یکباره آن را به انجام رساند.



شکل ۲- ۱۴) ترمزگیری و آزادسازی یکنواخت



شکل ۲- ۱۵) ترمزگیری و آزادسازی تدریجی

۲-۹- سیستم‌های پنیوماتیک

سیستم‌های کنترل و تجهیزاتی که از هوای فشرده به‌عنوان سیال کارانداز استفاده می‌نمایند « سیستم‌های پنیوماتیکی » می‌نامند.

در سیستم‌های پنیوماتیکی، مقدار و فشار هوا باید متناسب با ظرفیت سیستم باشد. بنابراین، هنگام بررسی یک سیستم پنیوماتیکی، مهم‌ترین مسئله هوای فشردهٔ مورد نیاز آن است که توسط یک

تولیدکنندهٔ هوای فشرده، به نام « کمپرسور» تأمین می‌گردد. فشارنرمال یک سیستم کنترل پنیوماتیکی معمولاً ۶ بار است، که می‌تواند بین ۳ تا ۱۵ بار تغییر نماید.

۲-۹-۱- دلایل کاربرد پنیوماتیک در صنایع و وسایل نقلیه ریلی

هنوز ربع قرن از عمر تکنیک جدید پنیوماتیک نمی‌گذرد، اما مشاهده می‌شود که پنیوماتیک تقریباً در تمام زمینه‌های صنعت در امر سیستم‌های کنترل و راه‌اندازی نفوذ کرده و هرچه می‌گذرد برشتاب گسترش آن افزوده می‌شود.

شاید چند آیتمی‌که در ادامه آمده است، تا حدودی علل پیشرفت سریع چنین تکنیکی را روشن نموده و نشان دهد چرا استفاده از صنعت پنیوماتیک به‌ویژه در بخش سیستم ترمز وسایل نقلیه ریلی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و دارای امتیازات بی‌شماری نسبت به سایر تکنیک‌های کنترل و راه‌اندازی است. این امتیازات را می‌توان به‌صورت زیر دسته بندی نمود:

۱) سیال عامل این تکنیک، هوا است که درهمه جا به مقدار کافی در دسترس است.

۲) انتقال این سیال یعنی هوا، از ساده‌ترین روش انتقال، یعنی خطوط لوله‌کشی امکان پذیر بوده و از این طریق می‌توان هوا را در مسیرهای طولانی انتقال داد.

۳) استفاده از هوای فشرده، همواره متضمن داشتن کمپرسور برای تولید آن نیست، بلکه می‌توان از مخازن محتوی هوای فشرده استفاده نمود.

۴) تغییرات و نوسانات درجه حرارت محیط، تأثیری بر روی سیستم‌های پنیوماتیکی ندارد.

۵) هوای فشرده، ایجاد انفجار وآتش‌سوزی نمی‌کند؛ از این رو احتیاج به تأسیسات حفاظتی ندارد.

۶) هوای فشرده شده را می‌توان بسیار تمیز و دور از آلودگی، از سیستم عبور داد.

۷) ساختمان عناصر پنیوماتیکی بسیار ساده بوده و از این نظر قیمت آنها بسیار مناسب است.

۸) سرعت هوای فشرده بسیار زیاد بوده و به حدود ۱ الی ۲متر برثانیه می‌رسد.

۹) سرعت و نیرو درعناصر پنیوماتیکی قابل تنظیم هستند.

۱۰) عناصر پنیوماتیکی در مقابل اضافه بار مقاوم بوده و به آن‌ها صدمه‌ای وارد نمی‌آید؛ مگر آنکه افزایش بار باعث توقف آنها گردد.

۱۱) اگرچه هوای فشرده، خود به تنهایی یک انرژی بسیارگرانی است، اما به خاطر ارزانی قطعات پنیوماتیکی و بالا بودن راندمان عمل سیستم‌های پنیوماتیکی درمقایسه با سایر سیستم‌های کنترل و راه‌اندازی، بسیار اقتصادی بوده و مقرون به‌صرفه هستند.

۱۲) محاسبات به عمل آمده، نشان می‌دهد که هزینه نصب و نگهداری سیستم‌های پنیوماتیکی درمجموع بسیار اندک بوده و از طریق آن‌ها می‌توان کارهایی را انجام داد که از طریق سیستم‌های دیگر بسیار مشکل و پرهزینه است.

۲-۹-۲- سیستم ترمز پنیوماتیک

طبق آنچه در رابطه با پنیوماتیک بیان شد، سیستم ترمز واگن‌ها به‌صورت پنیوماتیکی طراحی و بر روی آن‌ها نصب گردیدند تا علاوه برایجاد قدرت ترمزی زیاد، بتوانند شرایط ترمز را در حالت اضطراری وگسیختگی قطار به‌راحتی امکان‌پذیر سازند.

از آنجایی‌که تمام واگن‌ها به ترمز هوایی مجهز هستند، لذا هر لکوموتیو علاوه بر داشتن بعضی از سیستم‌هایی که به‌صورت پنیوماتیکی عمل می‌کنند، باید به‌صورت الزامی دارای یک سیستم ترمز هوایی نیز باشد تا بتواند شرایط مورد نیاز در یک سیستم کنترل ترمز به شرح زیر را دارا باشد:

۱) انجام سریع ترمز و آزادسازی آن
۲) ترمزگیری و آزادسازی یکنواخت در سراسر قطار
۳) سهولت در اتصال واگن‌ها، حتی در شرایط سخت
۴) عدم حساسیت نسبت به نشتی هوا
۵) حفظ نیروی ترمز برای مدت طولانی
۶) زمان سرویس‌دهی بالا، مقاومت زیاد قطعات و سهولت درتعمیر و نگهداری
۷) ذخیرهٔ نیروی ترمز هر واگن برای مقاصد اضطراری
۸) کنترل قطارهایی به طول ۷۰۰ تا ۳۰۰۰ متر
۹) قابلیت ترمز تدریجی
۱۰) انجام ترمز به‌صورت اتوماتیک درهنگام بریده شدن قطار
۱۱) قابلیت تنظیم ترمز متناسب با وزن واگن

ترمز هوایی بر اساس میزان فشار هوا در لولهٔ اصلی ترمز عمل می‌کند؛ بدین ترتیب که متناسب با هر فشار خاص در لولهٔ اصلی ترمز، یک حالت ترمز به‌وجود می‌آید. بنابراین برای انجام ترمز، فرمان راننده باید به فشار هوای مناسب در لوله اصلی ترمز تبدیل شود. این وظیفهٔ مهم به عهدهٔ سیستم ترمز لکوموتیو است؛ به عبارت دیگر سیستم ترمز لکوموتیو دو وظیفه مهم برعهده دارد:

الف- تبدیل فرمان راننده به میزان فشار هوای مناسب در لولهٔ اصلی ترمز

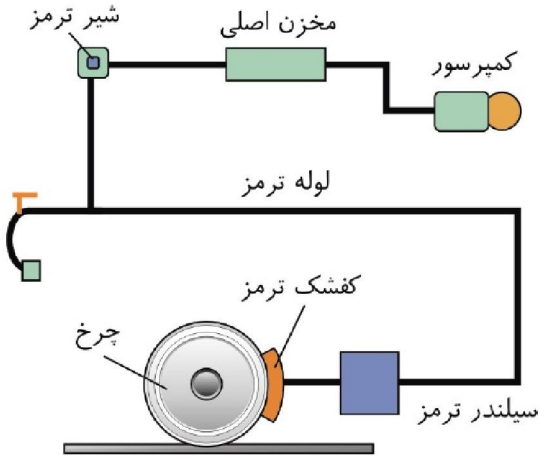
ب- انجام عمل ترمز درخود لکوموتیو

مهم‌ترین وظیفهٔ یک سیستم ترمز، تبدیل فرمان راننده به میزان فشار هوای مناسب در لولهٔ اصلی ترمز است. براساس این‌که، این عمل به چه صورتی انجام می‌شود، ترمزهای پنیوماتیک مختلفی به‌وجود آمده‌اند که به انواع زیر تقسیم بندی می‌شوند:

- ترمز پنیوماتیک با عملکرد مستقیم
- ترمز پنیوماتیک با عملکرد غیرمستقیم (اتوماتیک)
- ترمز الکتروپنیوماتیک
- ترمز الکترونیکی ـ پنیوماتیکی با کنترل کامپیوتری

۲-۹-۲-۱- ترمز پنیوماتیک با عملکرد مستقیم

ساده‌ترین نوع ترمز هوایی، ازنوع ترمز پنیوماتیک با عملکرد مستقیم است. این سیستم در سال‌های اولیهٔ صنعت راه‌آهن ابداع شده و مطابق شکل (۲-۱۶) که طرح ساده‌ای از ترمز پنیوماتیک با عملکرد مستقیم را نشان می‌دهد، هوای فشرده به‌طور مستقیم در هنگام ترمزگیری به لولهٔ اصلی ترمز هدایت شده و از آنجا به سیلندرهای ترمز، برای عمل ترمزگیری منتقل می‌شود.



شکل ۲-۱۶) سیستم ترمز مستقیم

از معایب این سیستم ترمز آن است که عمل ترمزگیری درطول قطار یکنواخت نبوده و ترمزگیری در واگن‌های انتهایی خیلی دیرتر انجام می‌شود. از معایب دیگر این سیستم، اتوماتیک نبودن عمل ترمزگیری درهنگام بریده شدن قطار است. به همین دلیل این سیستم نتوانست بسیاری از احتیاجات اولیه، در یک سیستم ترمز را برآورده نماید. ترمز پنیوماتیک با عملکرد مستقیم امروزه فقط برای عمل ترمزگیری در لکوموتیو استفاده می‌شود.

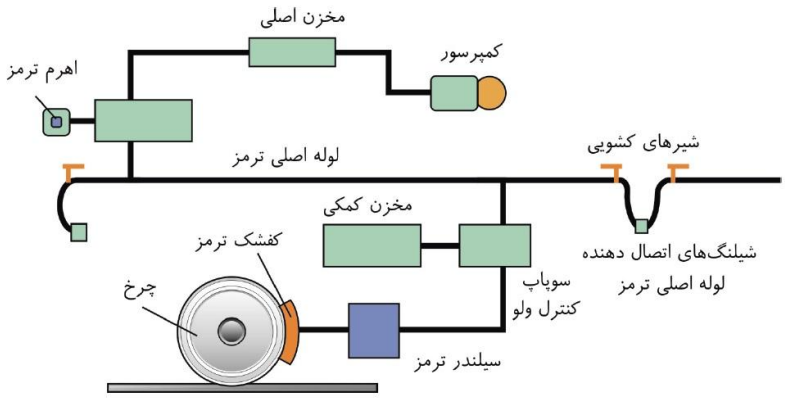
۲-۹-۲-۲- ترمز پنیوماتیک با عملکرد غیرمستقیم (ترمز اتوماتیک)

در این روش بهبودهای قابل توجهی در مقایسه با روش قبلی صورت گرفته است؛ بدین صورت که با کاهش فشار هوا در لولهٔ اصلی ترمز، عمل ترمزگیری انجام می‌شود و در هنگام آزادسازی ترمز، فشار هوای لوله اصلی ترمز در فشار ۵ بار نگه داشته می‌شود. جدول (۲-۱) حالت ترمز را نسبت به فشار هوا درلولهٔ اصلی ترمز نشان می‌دهد:

جدول۲-۱. رابطه فشار هوای لولهٔ اصلی ترمز با حالت ترمز

فشار هوا درلوله اصلی ترمز	حالت ترمز
۵ بار	آماده حرکت
۴/۸ - ۳/۵ بار	ترمز تدریجی
۰ بار	ترمز اضطراری

در شکل (۲-۱۷) که طرح ساده‌ای از یک سیستم ترمز پنیوماتیک با عملکرد غیرمستقیم را نشان می‌دهد، تنظیم فشار هوا در لولهٔ اصلی ترمز به عهدهٔ واحد پنیوماتیکی است. این واحد، فرامینی را که توسط فشار هوا از اهرم ترمز فرستاده می‌شود، حس نموده و به همان اندازه فشار هوا در لولهٔ اصلی ترمز را تنظیم می‌کند. اهرم ترمز راننده نیز یک وسیلهٔ « مکانیکی ـ پنیوماتیکی » است که ما بین مخزن اصلی و واحد پنیوماتیکی قرار دارد و میزان فشار هوای پشت واحد پنیوماتیکی را کنترل می‌کند.

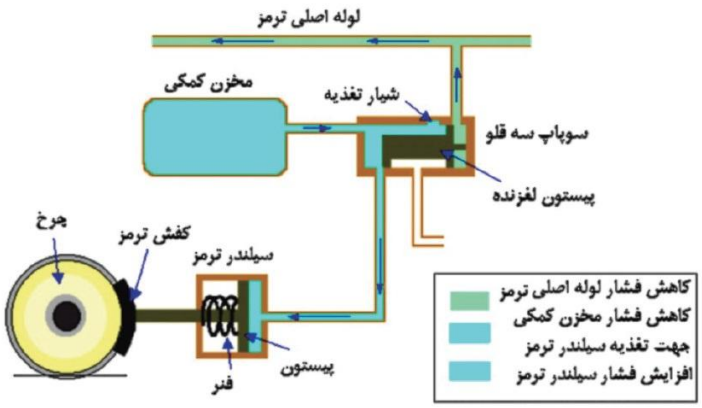


شکل ۲-۱۷) سیستم ترمز غیرمستقیم

زمانی که اهرم ترمز برای عمل ترمزگیری حرکت داده می‌شود، فشار هوای ارسالی از اهرم ترمز به واحد پنیوماتیکی کاسته می‌شود که، در نتیجه واحد پنیوماتیکی، این کاهش فشار را حس نموده و به همان نسبت، فشار هوای لولهٔ اصلی ترمز را کاهش می‌دهد.

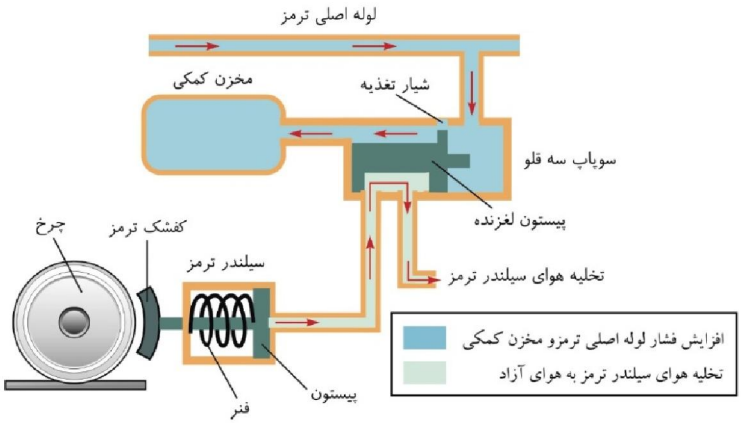
هنگامی‌که اهرم ترمز به وضعیت « هواگیری » برگردانده می‌شود، ارتباط لولهٔ هوای مخزن اصلی با واحد پنیوماتیکی برقرار شده و فشار ارسالی به پشت واحد پنیوماتیکی افزایش می‌یابد. واحد پنیوماتیکی نیز این افزایش فشار را حس نموده و ارتباط لولهٔ هوای مخزن اصلی را با لولهٔ اصلی ترمز برای هواگیری سیستم برقرار می‌کند. زمانی که فشار هوای لولهٔ اصلی ترمز به سطح ۵ بار رسید، واحد پنیوماتیک مسیر لولهٔ هوای مخزن اصلی را به لولهٔ اصلی ترمز مسدود می‌کند؛ اما دستگاهی که برای این نوع از سیستم ترمز طراحی گردیده تا بتواند بر اساس کاهش و یا افزایش فشار هوا در لولهٔ اصلی ترمز، عملکرد سیلندر ترمز را بر روی لکوموتیو و واگن کنترل نماید، سوپاپ توزیع یا سوپاپ سه قلو است. این سوپاپ به همراه مخزن کمکی (که وظیفهٔ تأمین هوای فشردهٔ سیلندر ترمز را به عهده دارد) سیستم اتوماتیکی را تشکیل می‌دهند که نسبت به فشار هوای لولهٔ اصلی ترمز حساس هستند. سوپاپ سه قلو مطابق شکل(۲-۱۷) از یک طرف به لولهٔ اصلی ترمز و از طرف دیگر به لوله‌های سیلندرترمز و مخزن کمکی متصل است. در داخل آن پیستون لغزنده‌ای وجود دارد که می‌تواند ارتباط سیلندر ترمز را به مخزن کمکی و یا به هوای آزاد برقرار نماید و از وظایف اصلی آن «آزادسازی ترمز» ، «عمل ترمز» و «ثابت نگه‌داشتن ترمز در سطح عملکرد» می‌باشد.

عملکرد سوپاپ سه قلو بدین صورت است که درهنگام عمل ترمزگیری، فشار لولۀ اصلی ترمزکاهش یافته و پیستون لغزنده مطابق شکل (۲-۱۸) تحت فشار هوای مخزن کمکی به سمت راست حرکت می‌کند؛ در نتیجه ارتباط سیلندر ترمز به مخزن کمکی برقرار شده و هوای فشرده از مخزن کمکی وارد سیلندر ترمز می‌شود.



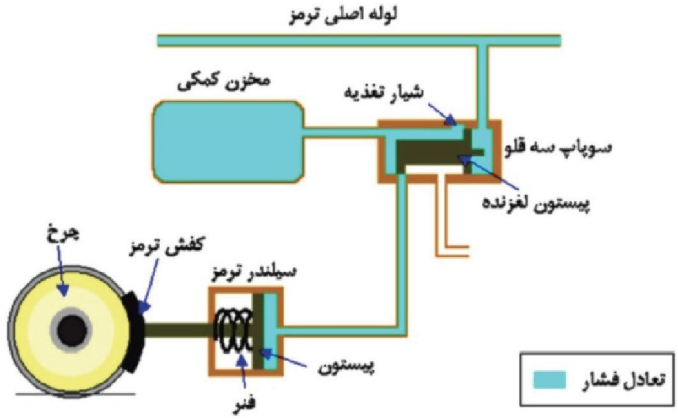
شکل ۲-۱۸) عملکرد سوپاپ سه قلو در وضعیت ترمزگیری

درهنگام آزادسازی ترمز، فشار لولۀ اصلی ترمز افزایش می‌یابد؛ در نتیجه پیستون لغزنده مطابق شکل (۲-۱۹) به سمت راست حرکت کرده و ضمن هواگیری مخزن کمکی که از طریق لولۀ اصلی ترمز انجام می‌شود، ارتباط سیلندرترمز به مخزن کمکی را قطع و به هوای آزاد مرتبط می‌کند.



شکل ۲-۱۹) عملکرد سوپاپ سه قلو در وضعیت آزادسازی

چنانچه فشار مخزن کمکی در هنگام «*آزاد سازی ترمز* » و یا به‌دلیل «*ثابت نگه‌داشتن سطح عملکرد ترمز* » با فشار لولهٔ اصلی ترمز برابر شود، پیستون لغزنده مطابق شکل (۲-۲۰) در وسط قرار گرفته و تمام مسیرها را مسدود می‌کند؛ در نتیجه یک حالت تعادل و پایداری را در سیستم به‌وجود می‌آورد.



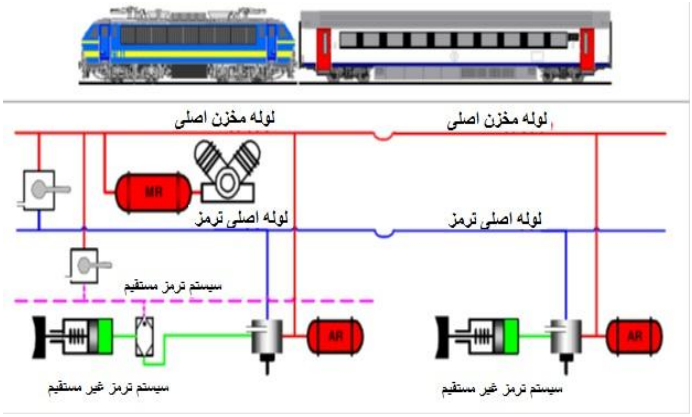
شکل ۲-۲۰) عملکرد سوپاپ سه قلو در وضعیت تعادل فشار

مهم‌ترین مزیت این نوع سیستم ترمز، اتوماتیک بودن آن‌ها است که در هنگام بریده شدن قطار، فشار لولهٔ اصلی ترمزکاهش یافته و ترمزها فعال می‌شوند. از آنجایی‌که فشار لولهٔ اصلی ترمز به سرعت کاهش

می‌یابد، سرعت ترمزگیری نیز بالا است. در این سیستم‌ها نیز عمل ترمزگیری به‌صورت یکنواخت در طول قطار انجام نمی‌شود، اما اختلاف زمانی در این سیستم‌ها درمقایسه با ترمزهای مستقیم خیلی کمتر است.

از مهم‌ترین معایب این سیستم ترمز وجود لوله‌های متعدد هوا، سر و صدای ناشی از تخلیهٔ هوا در کابین لکوموتیو، نشتی زیاد و هزینهٔ تعمیرونگهداری بالای آن است.

نکته ۱) *در لکوموتیوها هر دو سیستم ترمز مستقیم و ترمز اتوماتیک استفاده می‌شود. جداکنندهٔ این دو سیستم برای عدم اختلال در هوای سیلندرهای ترمز، شیر دوطرفه (Double check valve) است. در شکل (۲-۲۱) ترکیبی از ترمز مستقیم و اتوماتیک نشان داده شده است.*



شکل ۲- ۲۱) ترکیب ترمز مستقیم و اتوماتیک در لکوموتیوها

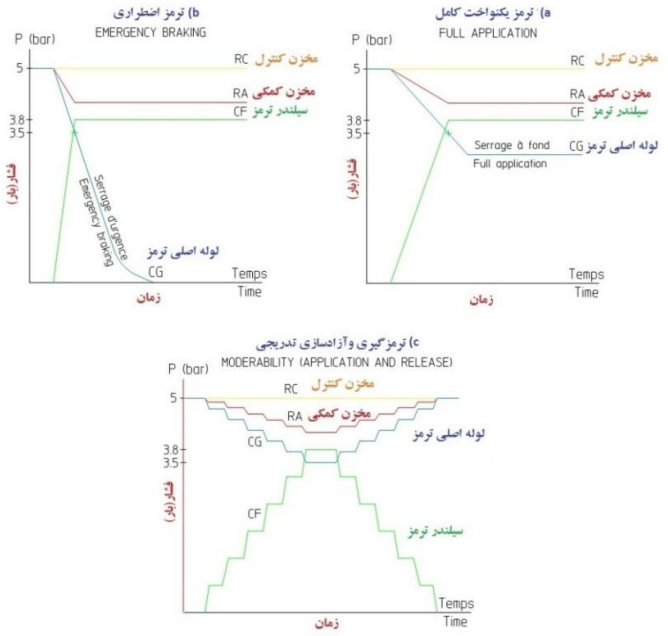
همان‌طور که ملاحظه می‌شود ، خطچین به رنگ صورتی مدار ترمز مستقیم و خط سبز مدار ترمز اتوماتیک است که توسط یک شیر دوطرفه به سیلندر ترمز متصل شده‌اند؛ لذا هوای سیلندر ترمز یا از مدار ترمز مستقیم و یا از ترمز اتوماتیک ارسال می‌شود. ضمناً همان‌طور که مشاهده می‌شود، واگن‌های متصل به لکوموتیو تنها دارای ترمز غیرمستقیم هستند.

نکته ۲): *شکل (۲-۲۱) یک سیستم ترمز دو لوله‌ای را نشان می دهد. در این سیستم ترمز برای کاهش اختلاف زمانی در آزادسازی ابتدا و انتهای قطار، لولهٔ مخزن اصلی نیز در سرتاسر قطار کشیده می‌شود تا مخزن فرعی در*

هنگام هواگیری از این لوله شارژ گردد. با توجه به این‌که لولهٔ مخزن اصلی همیشه دارای هوای پرفشار (عمدتاً ۸/۵ تا ۱۰ بار) است، می‌تواند مخازن فرعی را بدون اتلاف زمانی شارژ نماید؛ با این‌حال در این سیستم‌ها نیز ترمزگیری ابتدا و انتهای قطار با تأخیر زمانی انجام می‌شود.

**** تفاوت ترمز اضطراری و ترمز تدریجی در سیستم ترمز غیر مستقیم:***

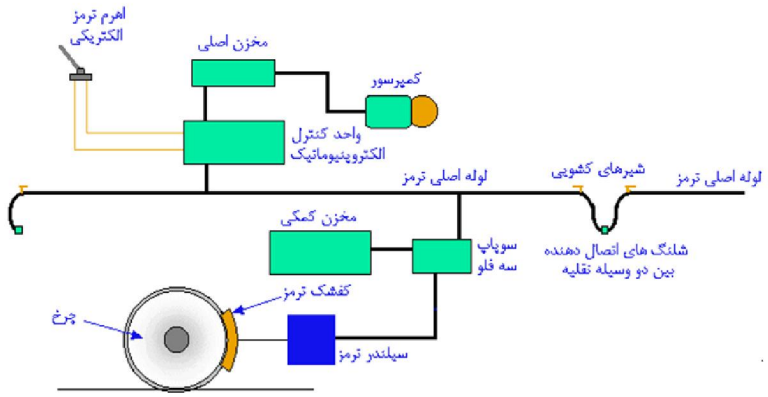
در شکل (۲-۲۲) سه نمودار نشان داده شده است. نمودار "a" ترمز کامل، نمودار "b" ترمز اضطراری و نمودار "c" ترمز تدریجی را نشان می دهد. در این نمودارها، CF نشان‌گر فشار هوای سیلندر ترمز و CG نشان‌گر فشار هوای لوله اصلی ترمز می‌باشد. فشار سیلندر ترمز CF در ترمز کامل و ترمز اضطراری برابر با ۳٫۸ بار نشان داده شده است؛ ولی تفاوت در زمان ترمزگیری است. در ترمز اضطراری زمان رسیدن فشار سیلندر ترمز از ۰ تا ۳٫۸ بار تقریباً نصف حالت ترمز کامل است.



شکل ۲-۲۲) نمودار فشار- زمان مربوط به مقایسهٔ ترمز کامل- ترمز اضطراری و ترمز تدریجی

۲-۹-۲-۳- ترمز الکتروپنیوماتیک

عملکرد این سیستم ترمز شبیه به سیستم ترمز پنیوماتیک با عملکرد غیرمستقیم است با این تفاوت که فرمان راننده از اهرم ترمز به‌صورت سیگنال‌های الکتریکی و از طریق کابل به یک واحد الکتروپنیوماتیک فرستاده می‌شود. این واحد با استفاده از جریان الکتریکی و توسط شیرهای الکترومغناطیس، میزان فشار هوای مورد نیاز در لولهٔ اصلی ترمز را تأمین می‌کند. درشکل (۲-۲۳) طرح ساده‌ای از ترمز الکتروپنیوماتیک نشان داده شده است.



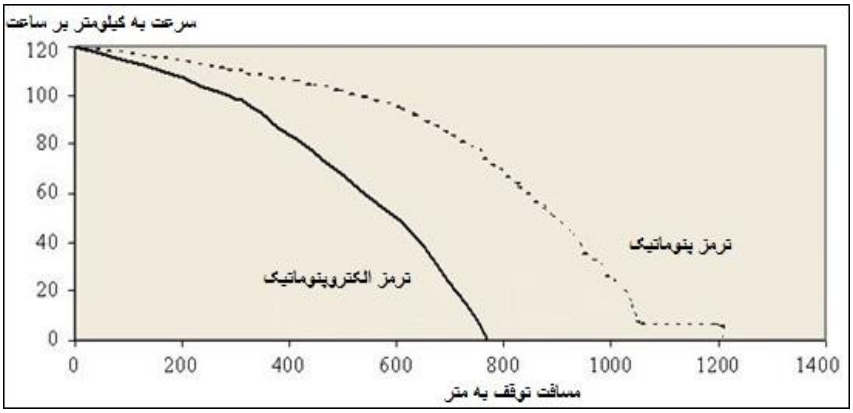
شکل ۲-۲۳) عملکرد سیستم ترمز الکتروپنیوماتیک

از مزایای این نوع سیستم ترمز، کاهش نشتی زیاد و از بین رفتن سروصدای ناشی از تخلیهٔ هوا درکابین راننده به‌دلیل استفاده ازکابل به جای لوله‌های متعدد هوا است. این سیستم از نظر حجم قطعات، نسبت به سیستم قبلی فضای کمتری را اشغال نموده و در طراحی کابین لکوموتیو بسیار مؤثر است.

از این سیستم ترمز می‌توان برای کنترل قطارهای باری یا مسافری که ترمز آن‌ها از نوع الکتروپنیوماتیک است، استفاده نمود تا زمان ترمزگیری در آن‌ها کاهش یابد(شکل ۲-۲۴). از آنجایی‌که سیگنال ترمز به‌وسیله جریان هوا در طول قطار انتشار می‌یابد، لذا زمان ترمزگیری در واگن‌های انتهای قطار، دیرتر از واگن‌های جلویی است که این امر باعث ایجاد شوک و ضربه در طول قطار می‌گردد. به‌منظور حذف اثر چنین مسائلی و همچنین کاهش زمان ترمزگیری در حالت کلی، سیستم ترمز الکتروپنیوماتیکی در قطارهای مسافری و باری استفاده شده است. در این روش سیگنال‌های ترمز توسط جریان الکتریکی و از طریق یک کابل در سرتاسر قطار منتشر می‌شود؛ در نتیجه باعث حصول یک ترمز

سریع و یکنواخت در سرتاسر قطار می‌گردد و علاوه بر کاهش مسافت توقف، احتمال خروج ازخط قطار را نیز کاهش می‌دهد.

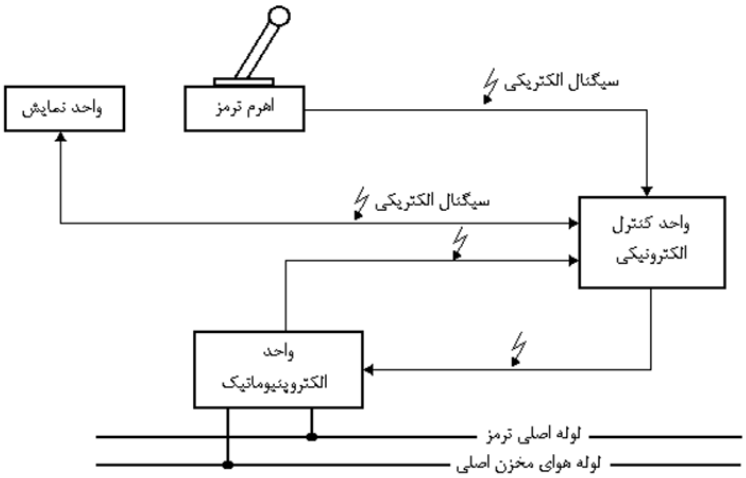
لکوموتیوهای آلستوم ایران، مجهز به این نوع سیستم ترمز هستند که در فصل بعد به‌طورکامل به آن پرداخته می‌شود.



شکل ۲-۲۴- تفاوت مسافت ترمز سیستم ترمز پنیوماتیک و الکتروپنیوماتیک

۲-۹-۲-۴- ترمزالکترونیکی ـ پنیوماتیکی با کنترل کامپیوتری

در سال‌های اخیر، بواسطهٔ پیشرفت قابل ملاحظه در ساخت میکروپروسسورها، سیستم‌های ترمز الکتریکی با کنترل میکروپروسسوری به‌وجود آمده‌اند. این سیستم‌ها درحقیقت همان سیستم الکتروپنیوماتیکی هستند که با استفاده از یک میکروپروسسورکنترل می‌شوند. بلوک دیاگرام این سیستم درشکل (۲-۲۵) نشان داده شده است.



شکل ۲-۲۵) سیستم ترمز الکتروپنیوماتیک با واحد کنترل الکترونیکی

در این سیستم فشار لولهٔ اصلی ترمز به‌وسیله میکروپروسسور (CPU) کنترل می‌شود. این واحد همچنین شیرهای مغناطیسی به‌کار رفته در قسمت‌های مختلف مدار را چک می‌کند و از قسمت‌های زیر تشکیل شده است:

ـ تجهیزات داخل کابین راننده (اهرم ترمز و واحد نمایش)

ـ واحد کنترل الکترونیکی (میکروپروسسور)

ـ واحد الکترو پنیوماتیک

از این نوع سیستم ترمز در لکوموتیوهای زیمنس ایران استفاده شده است.

۲-۹-۲-۴-۱- اهرم ترمز

وظیفهٔ این قسمت تبدیل فرمان راننده به سیگنال‌های الکتریکی از قبل تعریف شده می‌باشد. عملکرد این واحد درحالت استاندارد به زمان وابسته است و به‌صورت اختیاری می‌تواند وابستهٔ مکانی نیز باشد.

۲-۹-۲-۴-۲- واحدکنترل الکترونیکی

این واحد از یک کابین، یک میکروکنترلر وتعداد زیادی مدار واسطه تشکیل شده است که هر کدام وظیفهٔ خاصی را به‌عهده دارند. ورودی این سیستم سیگنال‌های الکتریکی است که از طریق کنترلر (فرمان راننده) و همچنین ترانسدیوسرهای فشار دریافت می‌شود. این واحد، فشار لولهٔ اصلی ترمز را با دستور راننده کنترل می‌کند و پیکربندی آن از نوع مدولار است که سبب سهولت در امر تعمیر و نگهداری می‌شود.

۲-۹-۲-۴-۳- واحد الکتروپنیوماتیک

این واحد سیگنال‌های الکتریکی ارسال شده از طرف واحد الکترونیکی را با استفاده از شیرهای مغناطیسی به فشار مناسب در لولهٔ اصلی ترمز تبدیل می‌کند.

این نوع سیستم ترمز درقطارهای سریع‌السیر، متروها، ترنست‌ها و غیره استفاده می‌شود که به‌صورت کامپیوتری کل ترمز واگن‌ها را کنترل می‌کند.

فصل ۳

تولید و توزیع هوای فشرده

۳-۱- مقدمه‌ای بر سیستم‌های هوای فشرده

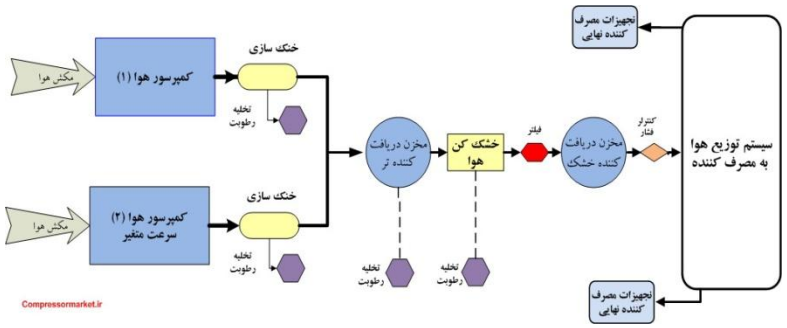
سیستم تولید و توزیع هوای فشرده، سیستمی است که وظیفهٔ جذب و فشرده‌سازی، تصفیه و سپس نگهداری هوای اتمسفر در مخزن مناسب را به‌عهده دارد.

سیستم‌های هوای فشرده به دو قسمت تولید و تقاضا تقسیم می‌شوند. قسمت تولید هوای فشرده شامل فیلتر مکش هوا، کمپرسور هوا (دور ثابت و یا دور متغیر)، خنک‌کننده، موتور، سیستم‌کنترل، تجهیزات و لوازم تصفیه و ذخیره می‌شود.

سیستم‌کنترل برای تنظیم‌کردن مقدار هوای فشرده در حال تولید برای ثابت باقی‌ماندن فشار سیستم و مدیریت فعل و انفعالات اجزای سیستم استفاده می‌شود. فیلترها و خشک‌کن‌های هوا، رطوبت، روغن و آلودگی را از هوای فشرده حذف می‌کنند. هوای فشرده در ظروف مستحکمی (که مخزن هوا می‌نامند) نگهداری می‌گردد تا در هنگام لزوم استفاده شوند. آب انباشته‌شده در ته مخازن به‌صورت دستی یا اتوماتیک از طریق شیرهای تخلیه خارج می‌شود.

قسمت تقاضا شامل: سیستم لوله‌کشی توزیع هوا، ذخیره ثانویه و مصرف‌کنندگان نهایی است.

نمودار ساده شدهٔ شکل(۳-۱) چگونگی اتصال بعضی از اجزای کلی سیستم هوای فشرده را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱) نمودار تجهیزات رایج سیستم هوای فشرده

با توجه به توضیحات فوق، بخش تولید و توزیع هوای فشرده شامل تجهیزات زیر است:

۱- کمپرسور (COMPRESSOR)

۲- خنک‌کننده‌ها (Coolers)

۳- مخازن هوا (Reservoirs)

۴- فیلترها (Filters)

۵- خشک‌کن هوا (Air Dryer)

۶- لوله‌ها (Pipes)

۷- سوپاپ‌های اطمینان (Safety valves)

۸- سوپاپ‌های کنترلی (Valves)

۹- شیرهای دستی (Air cock)

۱۰- شیرهای تخلیه اتوماتیک مخزن (Automatic drain valves)

۱۱- مخزن روغن (Oil tank)

۱۲- جداکنندهٔ روغن (Oil Seperator)

۱۳- فشارسنج (Air pressure Gauges)

۱۴- مدار بی بارکنندهٔ کمپرسور (Compressor Unloading system)

۱۵- مدار فرمان و قدرت الکتریکی (Electrical Circuits)

۳-۲-کمپرسورها

اولین و مهم‌ترین بخش از مدار تولید هوای فشرده، کمپرسور است. کمپرسور قلب هر سیستم پنیوماتیک می‌باشد که هوای فشرده شده را تأمین و در اختیار سیستم‌های پنیوماتیک قرار می‌دهد.

به‌طورکلی کمپرسورها به دو دستهٔ اصلی تقسیم می‌شوند:

۱-کمپرسورهای دینامیکی

کمپرسورهای دینامیکی را می‌توان به سه نوع مختلف تقسیم نمود:

- کمپرسورهای گریز از مرکز (centrifugal)
- کمپرسورهای جریان محوری (Axial Low compressor)
- فن‌ها (Fans)

۲-کمپرسورهای جابجایی مثبت

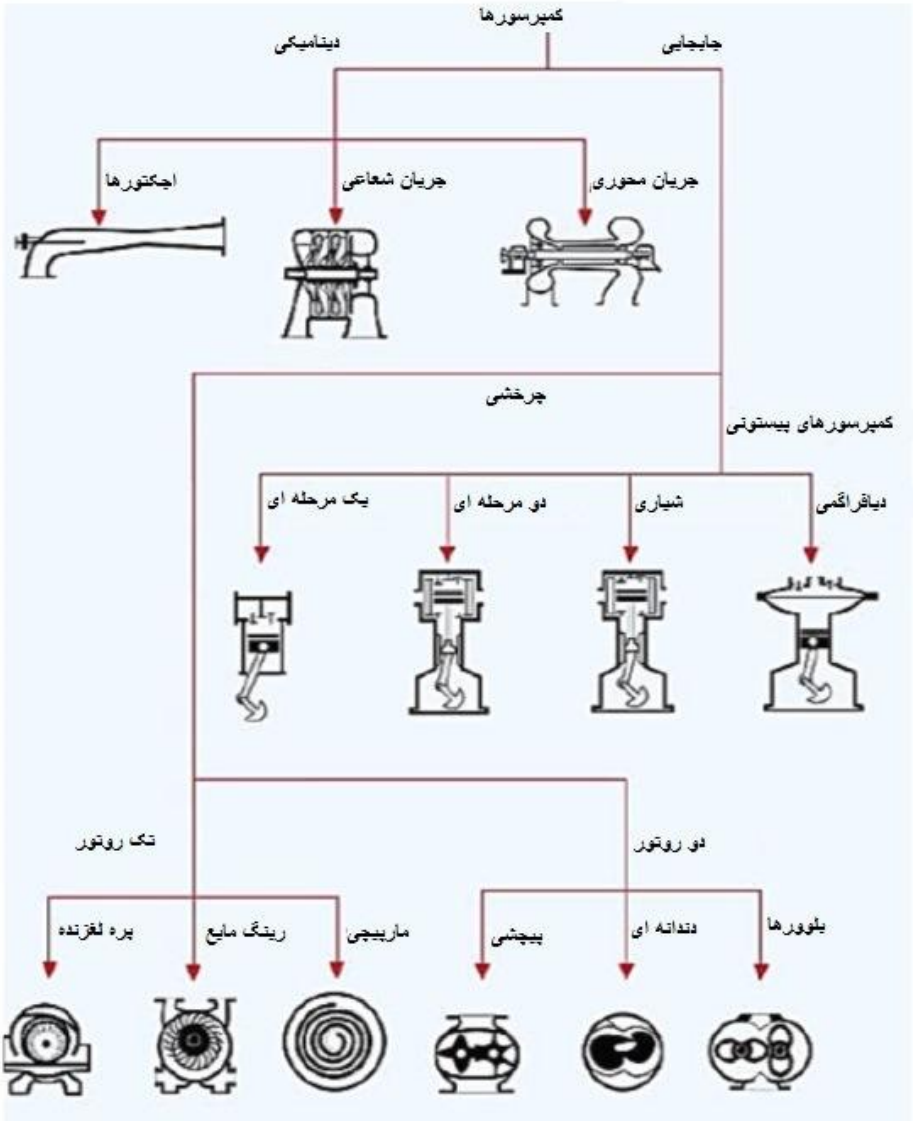
کمپرسورهای جابجایی مثبت نیز بر اساس نوع مکانیزم حرکت به دو دسته تقسیم می‌شوند:

- رفت و برگشتی (reciprocating)
- چرخشی (rotary)

کمپرسورهای رفت و برگشتی به انواع سیلندر پیستونی (single acting high pressure)وکمپرسورهای دیافراگمی (diaphragm compressor) تقسیم‌بندی می‌شوند.

کمپرسورهای چرخشی نیز به نمونه‌های تیغه لغزنده (sliding vane)، رینگ مایع (liquid ring)، و شواره‌ای(Lobe)،کمپرسورهای پیچشی (screw) و دمنده‌ها (blowers) تقسیم می‌شوند.

شکل(۳-۱) متداول‌ترین انواع کمپرسور را براساس اصول کاری‌شان نشان‌می‌دهد. همچنین می‌توان آن‌ها را براساس اصول دیگری تقسیم‌کرد؛ برای مثال هوا یا مایع خنک، ثابت یا قابل‌حمل و ...



شکل۳-۱) انواع کمپرسور

نکته: *در لکوموتیوهای ایران تنها از دو نوع کمپرسور جابجایی مثبت استفاده می‌شود که عبارتند از کمپرسورهای سیلندر و پیستونی و کمپرسورهای پیچشی؛ به همین دلیل فقط این دو کمپرسور مورد بررسی قرار می‌گیرند.*

۳-۲-۱- کمپرسورهای رفت و برگشتی (سیلندر پیستونی)

در این نوع کمپرسورها حرکت رفت و برگشتی پیستون در داخل سیلندر باعث تغییر حجم در سیلندر می‌شود و افزایش حجم سیلندر باعث کاهش فشار در آن و در نهایت منجر به مکش گاز به داخل سیلندر می‌شود. در مرحلهٔ تراکم کاهش حجم سیلندر در اثر حرکت پیستون به سمت جلو باعث افزایش فشار داخل سیلندر (متراکم شدن گاز) و نهایتاً خارج شدن گاز با فشار بالا از داخل سیلندر در مسیر لاین خروجی کمپرسور می‌شود. کنترل اتوماتیک ورود و خروج گاز به داخل سیلندرها توسط ولوهای کمپرسور یا شیرهای ورودی و خروجی(Compressor Valves) انجام می‌شود.

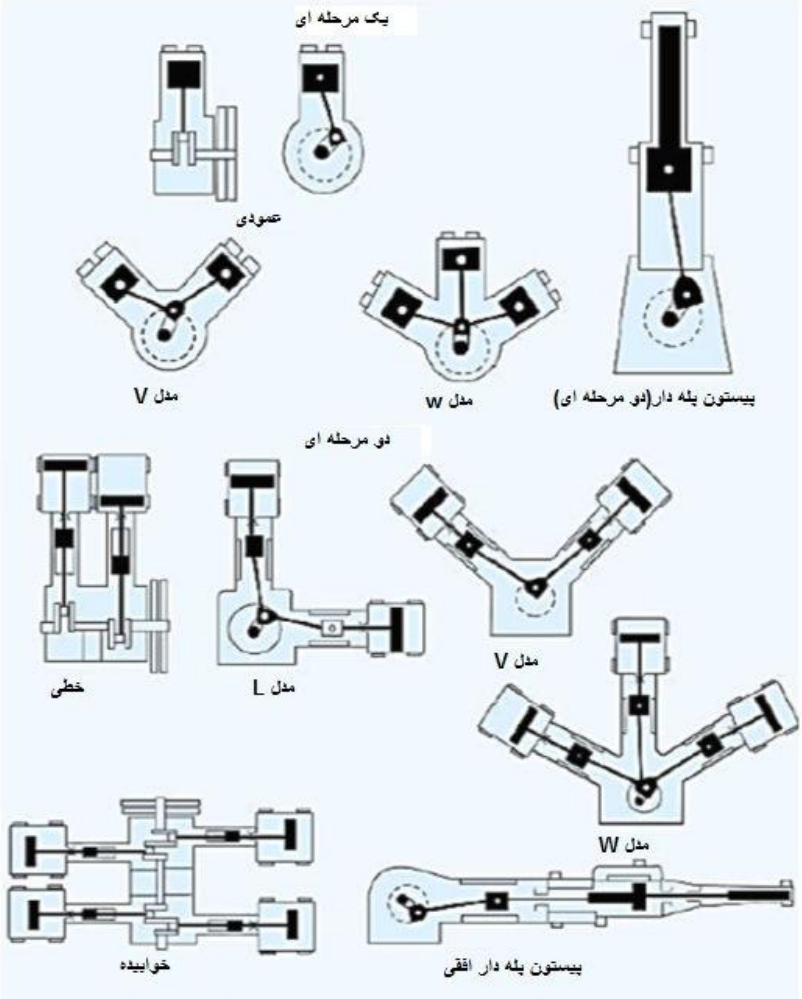
حرکت دورانی الکتروموتور یا توربین بخار توسط میل‌لنگ به حرکت رفت و برگشتی تبدیل می‌شود و ازطریق مجموعه شاتون کاملاً خطی شده و روی پیستون اعمال می‌گردد. کمپرسورهای رفت و برگشتی به دو دسته زیر تقسیم بندی می‌شوند:

الف) کمپرسورهای یک طرفه(Single Acting)

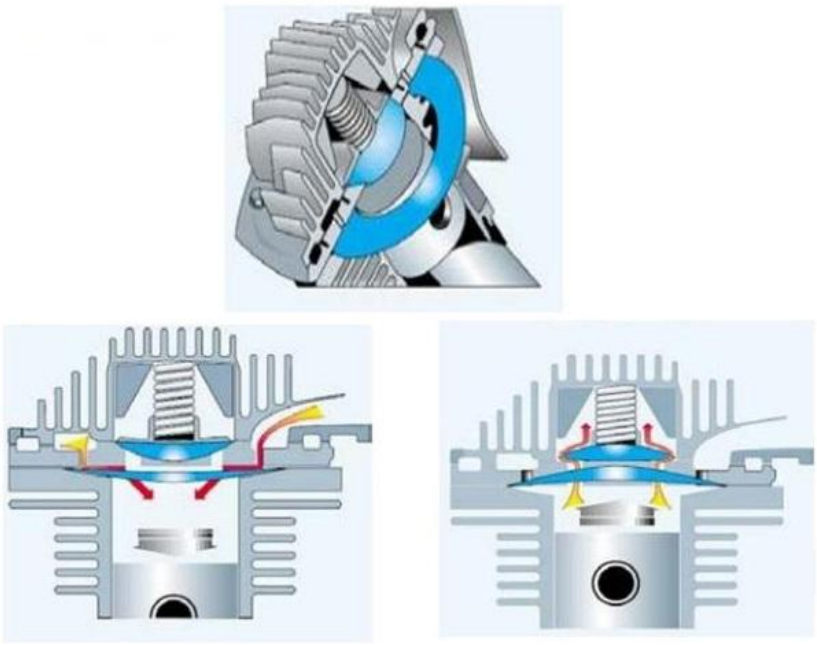
ب) کمپرسورهای دو طرفه(Double Acting)

در کمپرسورهای یک‌طرفه عملیات تراکم گاز فقط در قسمت جلوی پیستون یا سر سیلندر انجام می‌شود و در نوع دوطرفه هم قسمت جلوی پیستون (سرسیلندر) و هم قسمت عقب آن (ته سیلندر) انجام می‌شود که به‌عنوان دو کمپرسور موازی عملیات مکش و تراکم را با تأخیر زمانی ۱۸۰ درجه‌ای انجام می‌دهند. کمپرسورهای نوع دوطرفه که غالباً در اکثر صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرند، علاوه بر بالا بردن ظرفیت کمپرسور، ضمن این‌که باعث کم شدن نیروهای لرزاننده(Shaking Force) به بدنهٔ کمپرسور و میل‌لنگ نیز می‌شود، باعث افزایش طول عمر قطعات و کمپرسور نیز می‌گردد.

در شکل(۳-۲) مثال‌هایی از موقعیت سیلندر در کمپرسورهای پیستونی نشان داده شده است.



شکل ۳-۲) موقعیت سیلندرها در کمپرسورهای پیستونی

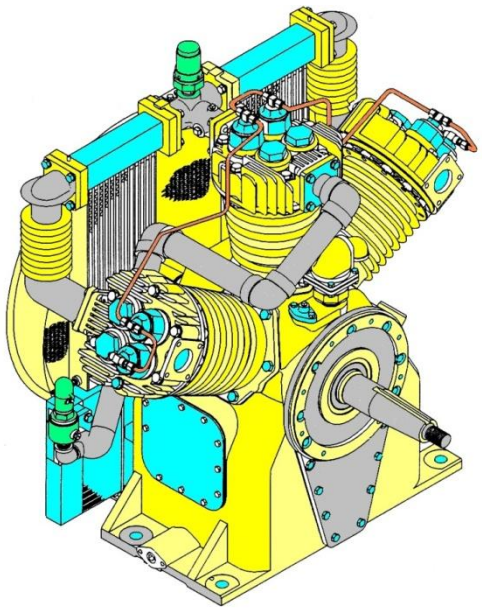


شکل۳ -۳) عملکرد یک کمپرسور پیستونی

همان‌طور که در شکل(۳-۳) ملاحظه می‌شود، وقتی پیستون به سمت پایین حرکت می‌کند، بشقابک فولادی بزرگتر (که سوپاپ ورود نامیده می‌شود) به سمت پایین انحنا پیدا کرده و راه ورود هوا به داخل سیلندر را باز می‌کند. لذا هوای اتمسفر در داخل سیلندر پر می‌شود و در مرحلهٔ بعد پیستون به سمت بالا حرکت می‌کند. در این هنگام با توجه به کاهش حجم داخل سیلندر، هوا تحت فشار قرار می‌گیرد. از شروع حرکت پیستون به سمت بالا، بشقابک فولادی بزرگتر (سوپاپ ورود) بسته می‌شود؛ زیرا دیگر مکشی وجود ندارد، ولی هنوز بشقابک کوچکتر بسته است؛ چراکه فشار هوا به اندازه‌ای نیست که بتواند آن را به سمت بالا خم نماید تا این‌که پیستون نزدیک به نقطهٔ مرگ بالا می‌رسد. در این هنگام با توجه به افزایش فشار، بشقابک کوچکتر (سوپاپ خروج) باز شده و هوای فشرده شده خارج می‌گردد.

کمپرسورهای پیستونی موجود در لکوموتیوهای ایران (به استثنای لکوموتیوهای برقی RC4) همگی از نوع W-type می‌باشد که دو سیلندر کناری به‌عنوان سیلندر فشار ضعیف و سیلندر وسط به‌عنوان سیلندر فشار قوی است. بنابراین این کمپرسورها دومرحله‌ای هستند. این کمپرسورها در مرحلهٔ اول هوای اتمسفر را تا حدود ۵۵psi در سیلندرهای فشار ضعیف، فشرده نموده و هوای فشردهٔ مرحلهٔ اول با فشار ۵۵psi وارد سیلندر فشار قوی شده و در این سیلندر تا فشار ۱۴۰ psi فشرده می‌شود.

نکته: *در این کمپرسورها هوای سیلندرهای فشار ضعیف قبل از ورود به سیلندر فشار قوی، وارد خنک‌کننده میانی(Intercooler) می‌شود و گرمای هوای فشرده را جذب می‌نماید تا هوای خنک وارد سیلندر فشار قوی گردد. علت این امر در وهلهٔ اول افزایش راندمان فشرده‌سازی و سپس کمتر گرم شدن سیلندر فشار قوی است. برخی از خنک‌کننده‌های میانی آب‌خنک هستند که از آب موتور دیزل استفاده می‌کنند و برخی هوا- خنک هستند که مجهز به فن خنک‌کننده می‌باشند.*



شکل ۳-۴) نمونه‌ای از کمپرسورهای رفت و برگشتی لکوموتیوها

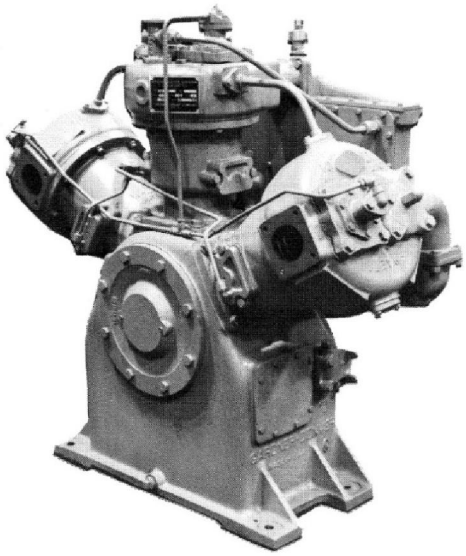
۳-۲-۱-۱- اجزای کمپرسورهای رفت و برگشتی لکوموتیوهای ایران

این کمپرسورها عمدتاً از تجهیزاتی به شرح ذیل تشکیل شده‌اند:
سیلندر – پیستون – شاتون – میل‌لنگ – کارتل روغن – پمپ روغن – فیلتر روغن – گیج روغن – سرسیلندر- رینگ های روغن و کمپرس – گژن پین – یاتاقان‌های ثابت و متحرک- مدار روغن‌کاری – مدار خنک‌کاری – خنک‌کنندهٔ میانی – سوپاپ‌های ورود – سوپاپ‌های خروج – سوپاپ بی‌بارکننده.

پمپ روغن این کمپرسورها نیروی حرکت خود را از میل‌لنگ کمپرسور می‌گیرد و دارای دو نوع پلانجری و چرخ دنده‌ای هستند.

۳-۲-۱-۲- انواع کمپرسورهای پیستونی راه‌آهن

۱- کمپرسور لکوموتیوهای GM مدل‌های(GT26CW،GT26CW-2 ، GT26CW-2A ،G8 ، G18W،G22W) از نوع WBO ساخت شرکت Gardner Denver است که آب- خنک هستند. ظرفیت هوادهی(دبی) این کمپرسورها در دور ۹۰۰ rpm ، حداکثر ۷۱۰۰l/m و فشارکاری آنها در محدودهٔ ۱۴۰psi- ۱۳۰ تنظیم شده است. ولی کمپرسور لکوموتیوهای GM مدل‌های G12 و G16 از نوع WXO و ساخت همین کمپانی (Gardner Denver) است که هوا- خنک می‌باشد. روش تشخیص این کمپرسورها از پره‌های خنک‌کنندهٔ دور سیلندرهای کمپرسور است. در این کمپرسورها گرمای سیلندرها به پره‌های دور سیلندر منتقل شده و این گرما به‌صورت تبادل حرارتی به هوای محیط منتقل می‌شود . دبی هوای این کمپرسورها در دور ۸۴۰rpm حدود ۶۲۰۰ l/m و فشار کاری آن‌ها در محدودهٔ ۱۴۰psi- ۱۳۰ تنظیم شده است .



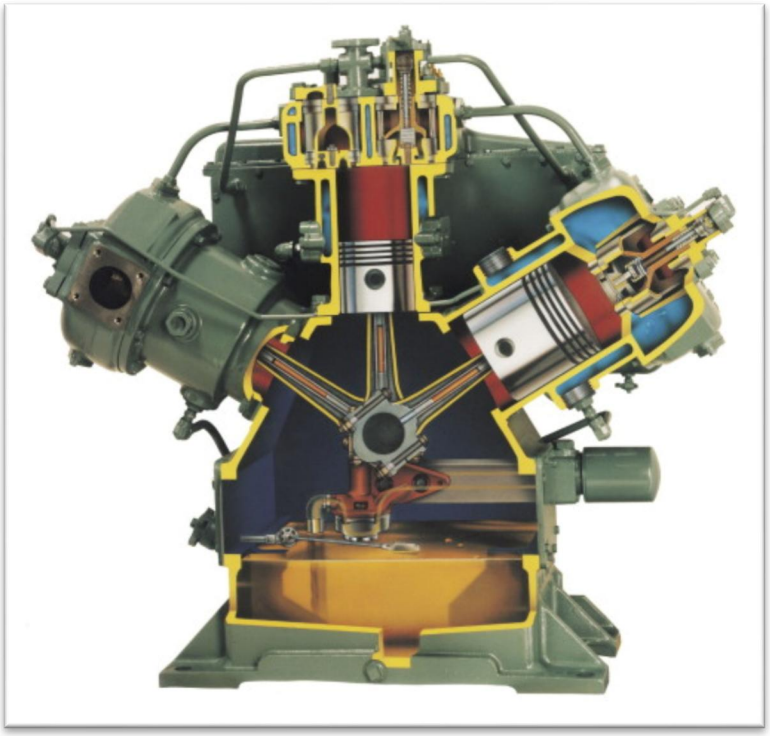
شکل ۳-۵)کمپرسور WBO

شکل ۳-۶) کمپرسور WXO

۲- کمپرسور لکوموتیوهای GE از نوع 3CDC ساخت شرکت WABCO و هوا- خنک است. دبی هوای این کمپرسورها در دور ۱۰۰۰rpm موتور دیزل حدود ۶۴۰۰l/m است. فشار کاری آن‌ها در محدودهٔ ۱۴۰psi- ۱۳۰ تنظیم شده است.

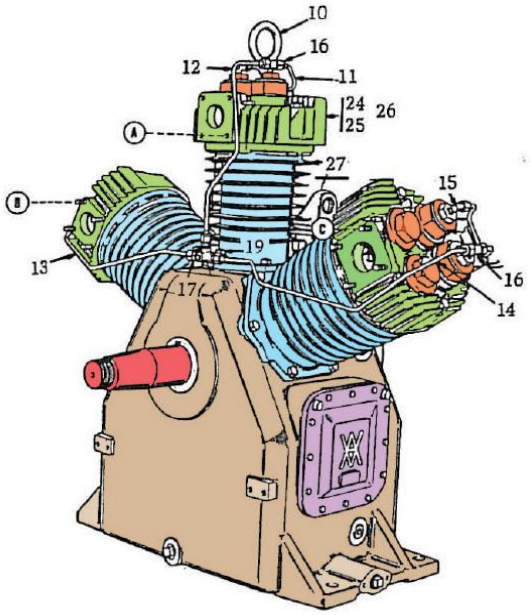
شکل ۳-۷) کمپرسور 3CDC لکوموتیو GE

۳- کمپرسور لکوموتیوهای آلستوم ایران از نوع WLN ساخت شرکت Gardner Denver و آب- خنک است. دبی هوای این کمپرسورها در دور ۱۰۰۰rpmحدود ۶۲۳۳ l/m و فشار کاری آن‌ها ۷/۸-۹bar تنظیم شده است. این کمپرسورها به یک سوییچ فشاری bar ۱/۴-۱ مجهز شده‌اند تا در صورت کاهش فشار روغن، عمل نموده و علاوه بر آلارم خطای کاهش فشار روغن کمپرسور، از ادامه کار موتور دیزل لکوموتیو و آسیب به کمپرسور جلوگیری کند.



شکل ۳-۸) کمپرسور WLN

۴- کمپرسور لکوموتیوهای هیتاچی موجود در ایـران از نـوع 3CDC سـاخت شـرکت WABCO و هوا- خنک می‌باشد. دبی هوای این کمپرسورها در حداکثر دور موتـور دیـزل $5/58\ m^3/m$ و فشار کاری آن‌ها در محدودهٔ $6/5-8kg/cm^2$ (معادل $6/4-7/85\ bar$) تنظیم شده است.



شکل ۳-۹) کمپرسور 3CDC لکوموتیو

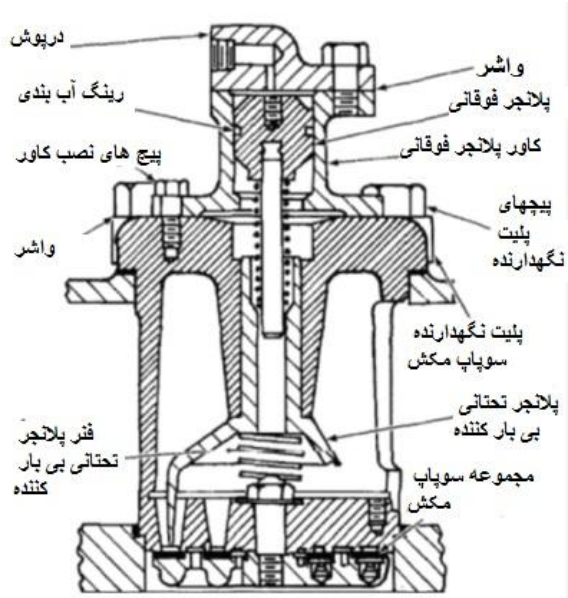
پس به‌طور کلی دو نوع کمپرسور پیستونی در لکوموتیوهـای ایـران اسـتفاده شـده اسـت. کمپرسـورهای شرکت گاردنر دنور شامل مدل‌های WBO ،WLN،WXO و کمپرسورهای شرکت وابکو مـدل 3CDC . کمپرسورهای شرکت وابکو تنها هوا- خنک ولی کمپرسورهای شرکت گاردنر دنور شامل هر دو سیسـتم خنک‌کننده (آب- خنک و هوا- خنک) هستند. سرسیلندر کمپرسورهای 3CDC ایـران دارای دو سـوپاپ ورودی و دو سوپاپ خروجی ولی سرسیلندر کمپرسـورهای WLN،WXO،WBO دارای یـک سـوپاپ ورودی و یک سوپاپ خروجی است.

کمپرسورهای پیستونی لکوموتیوهای ایران به موتور دیزل، کوپل می‌گردنـد. لـذا هرگـاه موتـور دیـزل لکوموتیو روشن باشد کمپرسور نیز روشن خواهد بود و بـالا- پـایین رفـتن پیسـتون در ایـن کمپرسـورها هیچ‌گاه متوقف نمی‌شود. حال سؤالی که مطرح می‌شود این اسـت کـه در صـورت افـزایش فشـار هـوا و

رسیدن آن به فشار مدنظر، چگونه کمپرسور عملیات فشرده کردن هوا را متوقف می‌کند. پاسخ این سوال در مدار بی‌بارکنندهٔ کمپرسور است.

۳-۲-۱-۳- مدار بی‌بارکننده کمپرسورهای پیستونی

در این کمپرسورها یک سوپاپ بی بارکننده بر روی سوپاپ مکش (ورود) کمپرسور نصب شده است که دارای یک پیستون بی‌بارکننده است. این پیستون به سه شاخه‌هایی متصل است که مماس به دیسک سوپاپ ورودی است. هر گاه فشار مخازن هوا به فشار تنظیم شده، رسید مدار بی‌بارکننده، هوای مخزن اصلی را به روی پیستون بی‌بارکننده می‌فرستند و این پیستون، سه شاخه را بر روی دیسک سوپاپ مکش فشار می‌دهد و آن‌را دائماً باز نگه می‌دارد. لذا سه مرحلهٔ کاری کمپرسور شامل: مکش، تراکم و تخلیه مختل شده و مرحلهٔ تراکم انجام نمی‌شود؛ لذا کمپرسور بی‌بار کار می‌کند.



شکل ۳-۱۰) نمونه ای از سوپاپ بی‌بار کننده کمپرسورهای پیستونی

۳-۲-۲- کمپرسورهای پیچشی

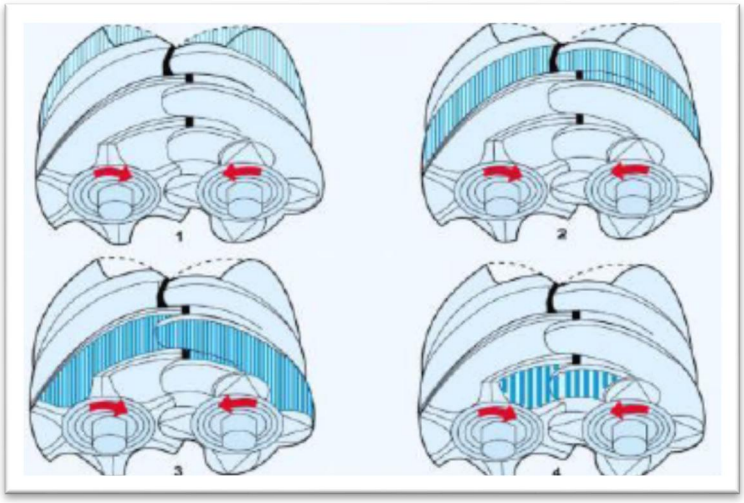
با توجه به شباهت رتور این نوع کمپرسورها به پیچ اصطلاحاً به این نوع کمپرسورها، کمپرسورهای نوع پیچی یا پیچشی (Compressor Screw) گفته می‌شود. نحوهٔ کار این کمپرسورها بر اساس حبس شدن گاز بین رتورهای مارپیچ که به‌صورت نر و ماده در داخل هم می‌چرخند و بدنه (سیلندر) است. حرکت دورانی رتورها باعث جلو راندن گاز از مسیر ورودی تا خروجی می‌شود و هرچه گاز به طرف خروجی کمپرسور نزدیکتر می‌شود، انرژی بیشتری دریافت می‌کند و با کاهش حجم آن، فشارش افزایش پیدا می‌کند.

حرکت چرخشی رتورها از طریق الکتروموتور و چرخدنده‌هایی که در قسمت انتهایی محور قرار دارد (Timing Gear) به رتور دیگر منتقل و باعث می‌شود رتورها در خلاف جهت یکدیگر بچرخند. برای جلوگیری از نشتی‌های داخلی باید همواره فاصلهٔ کمی بین رتورها و محفظه‌هایی که رتورها در آن حرکت می‌کنند (Cylinder) وجود داشته باشد که با توجه به زیاد بودن طول رتور امکان کم کردن این فواصل، دشوار است. در بعضی از انواع این کمپرسورها برای جلوگیری از تماس مستقیم قطعات ثابت و متحرک با ایجاد یک فیلم نازک روغن روان‌کاری که همراه گاز وارد کمپرسور می‌شود از تماس و اصطکاک قطعات ثابت و متحرک ممانعت می‌شود.

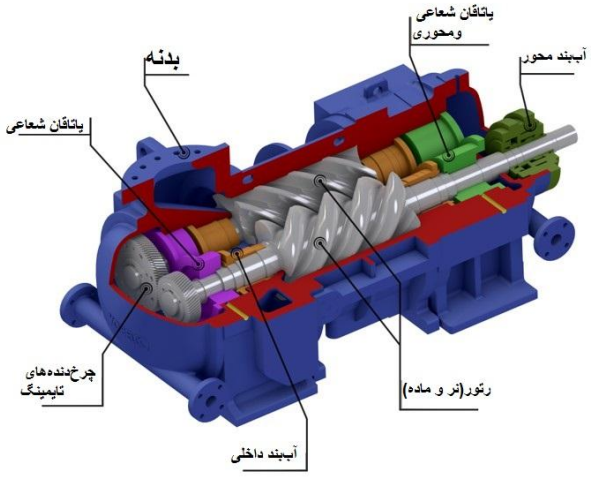
بر این اساس این نوع کمپرسورها در دو دسته زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

۱- کمپرسورهای نوع بدون روغن (Oil Free Compressor)
۲- کمپرسورهای نوع روغنی(Oil Compressor)

در کمپرسورهای نوع روغنی به‌دلیل کمتر بودن فاصلهٔ بین قطعات ثابت و متحرک (رتورها و سیلندر) به گازی (هوایی) که وارد کمپرسور می‌شود، روغن تزریق می‌کنند تا یک فیلم روغن بین قطعات ثابت و متحرک به‌وجود آید و از تماس قطعات جلوگیری کند. روغن تزریق‌شده مجدداً در قسمت خروجی کمپرسور توسط سیستم‌های جداکنندهٔ روغن و هوا(Oil Separator) از هوای فشرده جدا شده و مجدداً وارد سیکل اصلی خود برای روغن‌کاری قطعات می‌شود.

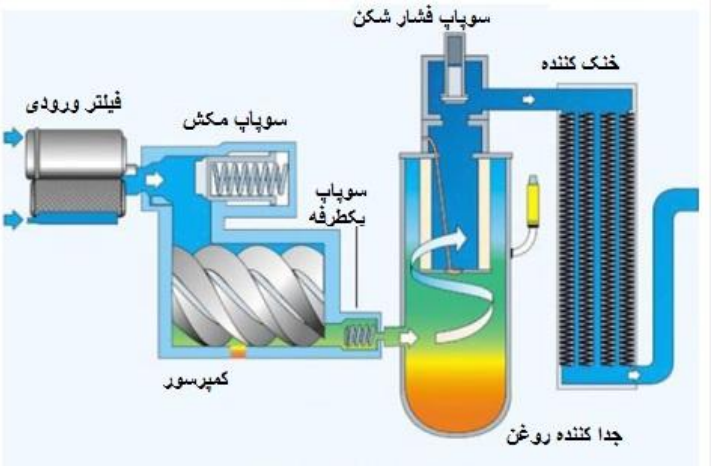


شکل ۳–۱۱) مراحل عملکرد کمپرسورهای مارپیچی



شکل ۳–۱۲) تجهیزات کمپرسورهای مارپیچی

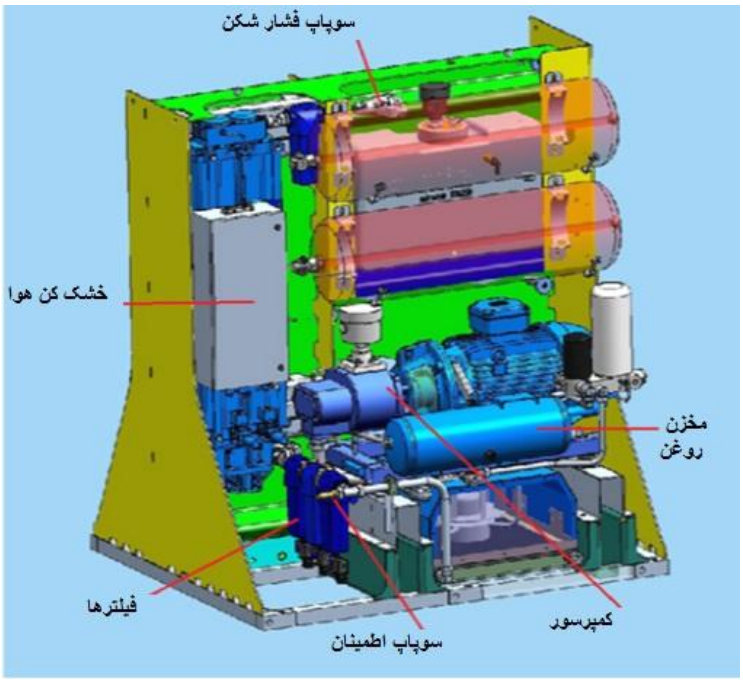
عمدتاً کمپرسورهای پیچشی با تزریق روغن استفاده می‌شوند؛ به این نحو که از یک طرف روغن به داخل محفظهٔ کمپرسور تزریق شده و هوا از سمت دیگری مکیده می‌شود؛ لذا مخلوطی از هوا و روغن در داخل کمپرسور فشرده می‌شود. روغن در این پروسه سه وظیفهٔ اصلی به‌عهده دارد که عبارتند از: روان‌کاری، آب‌بندی و خنک‌کاری. در خروجی کمپرسور، هوای فشرده به‌همراه روغن خارج می‌شود. با توجه به عدم نیاز به روغن در هوای فشرده خروجی (و حتی مضر بودن آن برای سیستم‌های مصرف‌کننده)، این روغن باید از هوای فشرده جدا شود. برای جداسازی روغن از فیلترهای جداکنندهٔ روغن استفاده می‌شود. در نهایت هوای فشرده باید خنک شود تا به‌طور کامل برای مصرف بهینه شود(شکل ۳-۱۳).



شکل ۳-۱۳) تجهیزات کمپرسورهای مارپیچی

❖ کمپرسور لکوموتیوهای زیمنس ایران از نوع پیچی(SCREW) است. دبی هوای این کمپرسورها ۲۱۰۰l/m بوده و فشار کاری آن بر روی ۸/۵-۹/۹bar در لکوموتیو راهنما و ۷/۵-۹/۹ bar در لکوموتیو یدک تنظیم شده است. هم‌چنین در این لکوموتیوهاکمپرسور دارای یک موتور برقی مستقل است و به موتور دیزل کوپل نمی‌شود. موتور این کمپرسور دارای دو دور است؛ در دور بالا سرعت

چرخش موتور ۲۹۳۰rpm و دبی کمپرسور ۲۱۰۰l/m است؛ در دور پایین سرعت چرخش موتور ۱۴۸۰rpm و دبی کمپرسور ۹۰۰ l/m می‌باشد. تغییر حالت بین دور بالا و پایین بر اساس دمای کمپرسور (دمای روغن) توسط سیستم کنترل لکوموتیو انجام می‌شود.

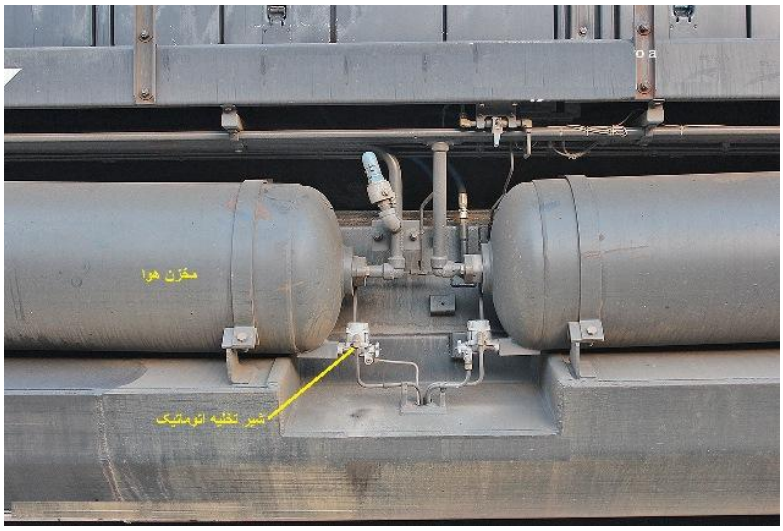


شکل۳-۱۴) اجزای سیستم تولید هوای فشرده لکوموتیو زیمنس

۳-۳- مخازن هوای فشرده

پس از تولید هوای فشرده نیاز به ذخیره‌سازی آن در محفظه‌های مناسب است تا در زمان لازم از هوای فشرده استفاده شود. این محفظه‌ها باید توان نگهداری هوای تحت فشار را داشته باشند. عمدتاً محفظه‌های نگهداری هوای فشرده را از فولاد و به شکل استوانه می‌سازند که به آن‌ها مخزن هوای فشرده می‌گویند. این مخازن باید مجهز به سیستم تخلیهٔ مایعات جمع شده در کف مخزن باشند؛ چرا که رطوبت هوای فشرده ساکن در مخازن به‌تدریج ته‌نشین می‌شود و در صورت عدم تخلیه وارد مدارات

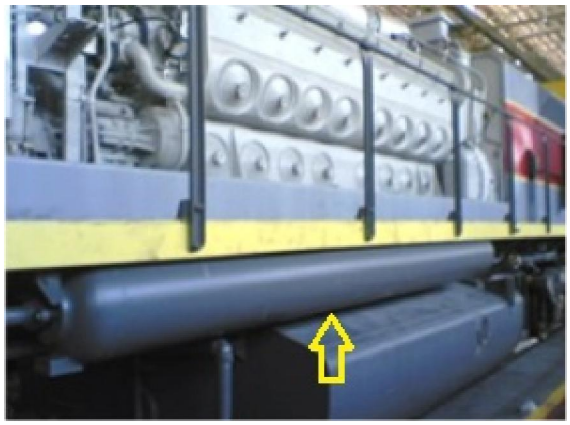
مصرف‌کننده می‌گردد. برای این منظور از شیرهای تخلیهٔ اتوماتیک استفاده می‌شود که عمدتاً دارای تحریک برقی می‌باشند(شیر برقی یا مگنت ولو). فرمان فعال‌شدن این شیرها از تایمرها یا سیستم کنترل لکوموتیو صادر می‌شود.



شکل ۳-۱۵) مخزن هوای فشرده

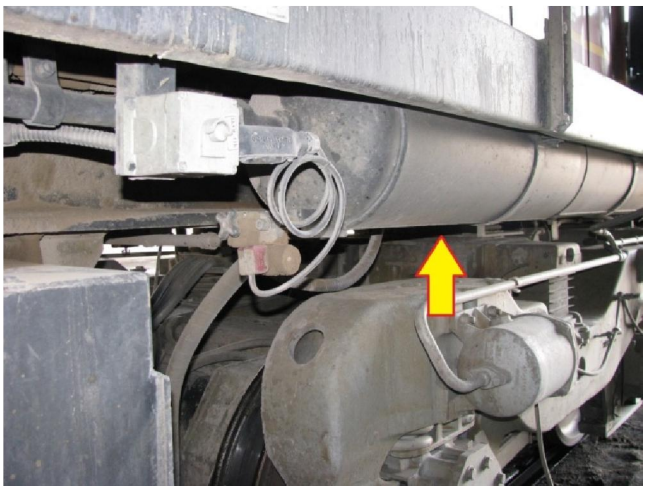
۳-۳-۱- مخازن هوای فشرده در لکوموتیوهای مختلف

لکوموتیوهای GM موجود در ایران دارای دو مخزن فولادی ۴۰۰ لیتری در زیر شاسی لکوموتیو هستند که هر مخزن مجهز به شیر تخلیهٔ اتوماتیک است.



شکل ۳-۱۶) مخزن اصلی هوای فشرده لکوموتیو GT26 ایران

لکوموتیوهای GE موجود در ایران دارای یک مخزن فولادی ۶۰۶ لیتری در داخل لکوموتیو و یک مخزن فولادی ۲۱۳ لیتری زیر شاسی لکوموتیو است که هر دو مخزن مجهز به شیر تخلیهٔ اتوماتیک می‌باشند.



شکل ۳-۱۷) مخزن اصلی هوای فشرده شماره ۲ لکوموتیوهای GE موجود در ایران

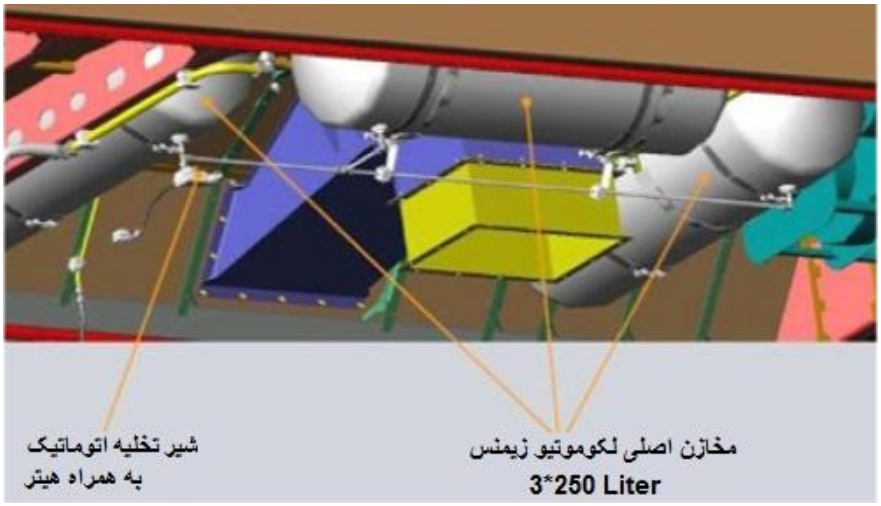
شکل ۳-۱۸) مخزن اصلی هوای فشرده شماره ۱ لکوموتیوهای GE موجود در ایران

لکوموتیوهای آلستوم موجود در ایران دارای دو مخزن فولادی ۴۰۰ لیتری در زیر شاسی لکوموتیو هستند که تنها یک مخزن مجهز به شیر تخلیه اتوماتیک است و مخزن شماره یک فقط مجهز به شیر تخلیه دستی است. البته با اصلاحات انجام شده، یک عدد شیر اتومات بر روی مخزن شماره دو نیز نصب شده است.

شکل ۳-۱۹) مخزن اصلی هوای فشرده لکوموتیو آلستوم ایران

لکوموتیوهای هیتاچی مجهز به ۲ مخزن ۶۰۰ لیتری در زیر شاسی لکوموتیو هستند. برخی از لکوموتیوهای هیتاچی ایران نیز مجهز به سه عدد مخزن ۶۰۰ لیتری هستند که در زیر شاسی نصب شده‌اند.

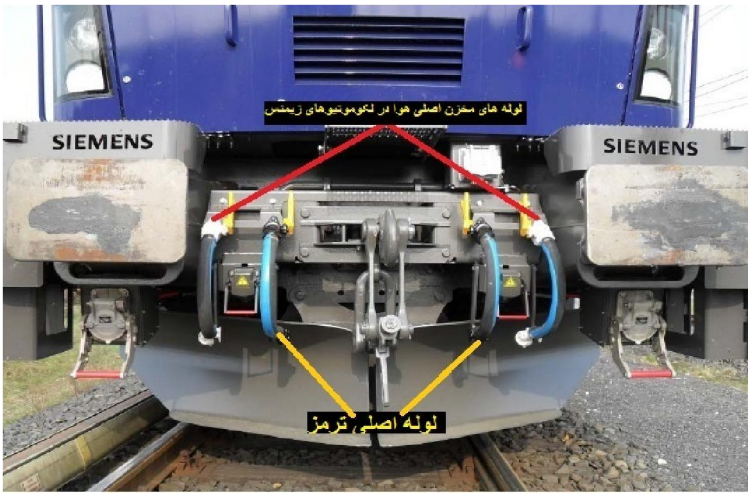
لکوموتیوهای زیمنس مجهز به ۳ مخزن ۲۵۰ لیتری در داخل لکوموتیو (کابین ترمز و برق در زیر سقف لکوموتیو نصب شده است) که سه مخزن به‌صورت مشترک یک شیر تخلیهٔ اتوماتیک دارند.



شکل ۳-۲۰) مخازن اصلی هوای فشرده لکوموتیوهای زیمنس ایران

❖ **نکته مهم:** *در لکوموتیوهای GE،GM و ALSTOM هوای لولهٔ مخزن اصلی (به لولـهٔ تعـادل بزرگ مشهور است) از ما بین مخزن اصلی شـماره ۱ و ۲ لکوموتیـو گرفتـه مـی‌شـود، ولـی در لکوموتیوهای زیمنس هوای این لوله پس از مخازن اصلی لکوموتیو گرفته می‌شـود. لکوموتیـو HITACHI فاقد لولهٔ تعادل بزرگ است.*

شکل ۳-۲۱) لولهٔ مخزن اصلی در لکوموتیوهای GE و GM

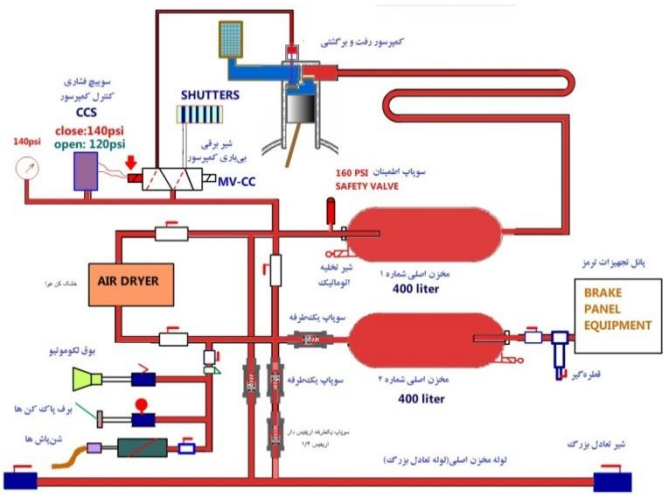


شکل ۳-۲۲) لولهٔ مخزن اصلی در لکوموتیوهای زیمنس (لکوموتیوهای آلستوم نیز چیدمان مشابهی دارند)

۳-۴- مدار بی‌بارکننده در لکوموتیوها

به‌طور کلی در لکوموتیوهای ایران دو نوع مکانیزم برای قطع هوای فشرده کمپرسورها استفاده می‌شود.

- در کمپرسورهای پیستونی لکوموتیوهای GM، GE، ALSTOM و HITACHI هـوای مخـزن اصلی با سیستم کنترل بی‌باری به روی سوپاپ بی‌بارکننده ارسال می‌شود و سوپاپ ورود کمپرسور باز می‌ماند؛ لذا هوا فشرده نمی‌شود وکمپرسور بی‌بار کار می‌کند. در این مکانیزم کمپرسور در حـال کـار اسـت، ولـی هـوا فشـرده نمـی‌شـود؛ لـذا مقـداری از انـرژی موتـور دیـزل تلـف می‌شود.
- در کمپرسور پیچشی لکوموتیو زیمنس، پس از رسیدن فشار هوا به حـد تنظـیم شـده (۱۰ بـار) در مرحلهٔ اول سوپاپ ورود بسته می‌شود؛ لذا هوایی به داخل کمپرسـور مکیـده نمـی‌شـود و بـه‌طبـع هوایی فشرده نمی‌شود که چنانچه این وضعیت تا ۶۰ ثانیـه بـه طـول بیانجامـد موتـور الکتریکـی کمپرسور خاموش می‌شود. بنابراین در حالـت بـی‌بـاری، انـرژی موتـور دیـزل در کمپرسـور تلـف نمی‌شود.



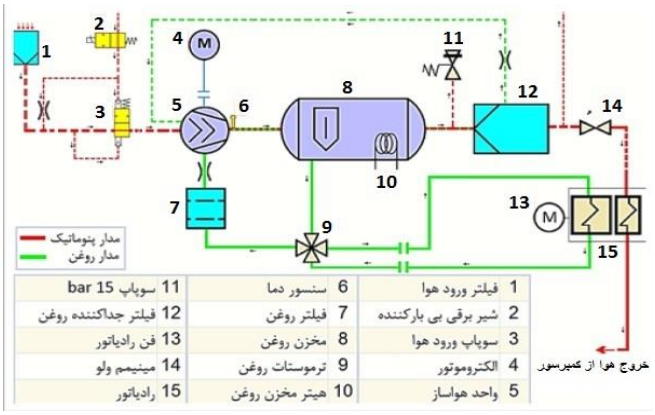
شکل ۳-۲۳) تجهیزات تولید هوای فشرده لکوموتیو GT26 و مدار بی‌بارکننده

۳-۴-۱- شرح مدار بی باری لکوموتیو GM

همان‌طور که در شکل(۳-۲۳) مشاهده می‌گردد هوای مخزن شماره یک به شیر برقی MV-CC و همچنین سوئیچ فشاری CCS متصل شده است. وقتی فشار هوای مخزن به ۱۴۰psi برسد زبانه‌های برقی سوئیچ فشاری CCS وصل شده و برق شیر برقی MV-CC متصل می‌شود. با تحریک این شیر برقی هوای مخزن اصلی به روی سوپاپ بی‌بارکنندهٔ کمپرسور منتقل می‌شود. پیستون سوپاپ بی‌بارکننده، سوپاپ ورود کمپرسور را در حالت باز نگه می‌دارد و از فشرده شدن هوا جلوگیری می‌کند. با کاهش هوای مخزن اصلی به ۱۲۰psi زبانه‌های برقی سوییچ فشاری CCS قطع شده و مسیر برقی MV-CC نیز قطع می‌شود. لذا هوای ارسال شده به سوپاپ‌های بی‌بارکننده از طریق همین شیر برقی تخلیه شده و کمپرسور مجدداً زیر بار می‌رود.

لازم به ذکر است مدار بی‌بارکنندهٔ کمپرسورهای پیستونی مشابه این مدار است. در لکوموتیوهای آلستوم به‌جای سوییچ فشاری CCS، سنسور فشار مخزن اصلی CA(PRN)CP و سیستم کنترل لکوموتیو، فرمان لازمه را به شیر برقی بی‌بارکنندهٔ کمپرسور VE(DEC)CPR صادر می‌کنند.

۳-۴-۲- مدار عملکرد کمپرسور لکوموتیوهای زیمنس



شکل ۳-۲۴) تجهیزات کمپرسور پیچشی لکوموتیوهای زیمنس ایران

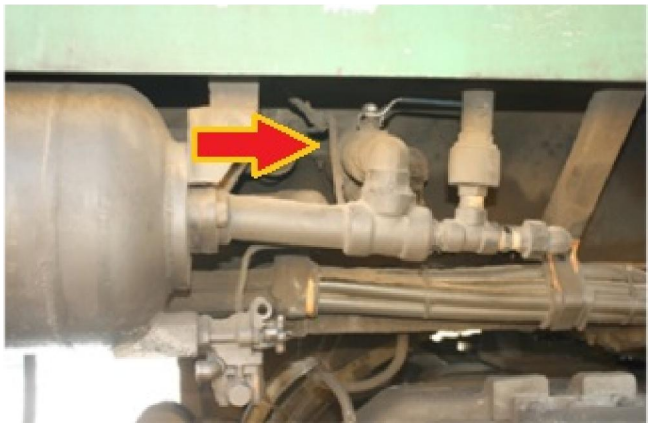
برای بی‌بارکردن این کمپرسورها، در مرحلهٔ اول شیر برقی شمارهٔ ۲ (شکل ۳-۲۴) با فرمان سیستم کنترل لکوموتیو فعال شده و سوپاپ ورودی شماره ۳ را می بندد؛ بنابراین از ورود هوا به کمپرسور جلوگیری می‌شود. پس از ۶۰ ثانیه و در صورت عدم افت فشار هوا، موتور برقی کمپرسور (شماره ۴ در شکل ۳-۲۴) خاموش می‌شود.

۳-۵- خشک کن هوای فشرده(AIR DRYER)

خشک‌کن هوای فشرده دستگاهی است که رطوبت هوا را جذب می‌کند و در نهایت رطوبت نسبی هوای فشرده کاهش می‌یابد. خشک‌کن‌هایی که برای لکوموتیوها استفاده می‌شوند از نوع جذبی است. خشک‌کن‌های جذبی دارای دو برج خشک‌کننده می‌باشند که در داخل این برج‌ها از مواد جاذب، پر شده است. این برج‌ها هر کدام در یک مرحله در مدار بوده و برج دیگر عملیات تخلیه رطوبت جمع شده را انجام می‌دهد و پس از زمان معینی برج‌ها تغییر وضعیت می‌دهند و این پروسه دائماً در حال تکرار است. در ورودی خشک‌کن‌ها تلهٔ آبگیر و فیلتر روغن نصب می‌شود. در خروجی خشک‌کن‌ها نیز از فیلتر غبارگیر استفاده می‌شود تا غبار ایجاد شده از سایش مواد جاذب به همدیگر، وارد مصرف‌کننده‌های هوای فشرده نشود.

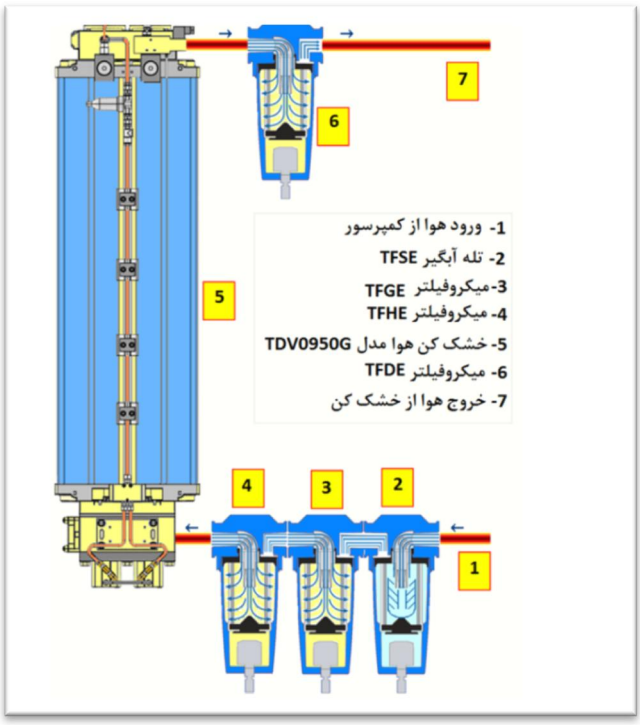
لکوموتیوهای GM به‌تازگی به خشک‌کن مجهز شده‌اند که ما بین مخزن شماره یک و دو نصب می‌شود. همچنین دو شیر دستی ورودی و خروجی و یک شیر کنارگذر(BY-PASS) برای از مدار خارج کردن این خشک‌کن‌ها تعبیه شده است. در صورت خرابی خشک‌کن می‌توان با بستن شیرهای ورود و خروج و بازکردن شیر کنارگذر، این دستگاه را از مدار خارج نمود.

شکل ۳-۲۵) خشک‌کن و شیرهای ورود و خروج خشک‌کن لکوموتیو GM



شکل ۳-۲۶) شیر کنارگذر خشک‌کن لکوموتیو GM که در کنار سوپاپ اطمینان ۱۶۰psi نصب شده است.

خشک‌کن لکوموتیوهای زیمنس پس از کمپرسور و قبل از مخازن اصلی هوا نصب شده است و شیر دستی برای از مدار خارج کردن ندارد. مکانیزم این خشک‌کن به‌نحوی طراحی شده است که در صورت خرابی و قطع برق آن به‌صورت اتوماتیک بای‌پس می‌گردد.



شکل ۳-۲۷) خشک‌کن و فیلترهای هوای لکوموتیوهای زیمنس

لازم به ذکر است لکوموتیوهای آلستوم و GE فاقد خشک‌کن بوده ولی در عوض مجهز به فیلترهای سانتریفیوژ هستندکه تا حدی به تخلیهٔ رطوبت موجود در هوای فشرده کمک می‌کنند.

شکل ۳-۲۸) فیلتر سانتریفیوژ لکوموتیو GE

۳-۶- سوپاپ‌های اطمینان در مدار تولید هوای فشرده

برای جلوگیری از افزایش احتمالی فشار در تجهیزات مختلف تولید هوای فشرده و آسیب‌رسانی به این تجهیزات به‌دلیل فشار بیش از حد در اثر عمل نکردن سیستم بی‌بارکنندهٔ کمپرسور از سوپاپ‌های اطمینان استفاده می‌شود. سوپاپ‌های اطمینان در واقع سوپاپ‌های یک‌طرفه‌ای هستند که یک سمت آن‌ها به هوای محیط راه دارد. این سوپاپ‌ها دارای فنر پرقدرتی هستند و بسته به فشار مورد نظر، فشردگی متفاوتی دارند؛ هرچه فنر فشرده‌تر شود، عملکرد سوپاپ در فشار بالاتری انجام خواهد گرفت و باعث تخلیه هوا می شوند؛ به طور مثال در لکوموتیوهای GM حداکثر فشار هوای تنظیم‌شدهٔ مخزن اصلی ۱۴۰psi است. سوپاپ اطمینان مخزن اصلی بر روی ۱۶۰psi تنظیم می‌شود تا اولاً در فشارهای نزدیک به ۱۴۰psiعمل نکند، ثانیاً در صورت افزایش فشار و رسیدن آن به ۱۶۰psi هوا را تخلیه و از انفجار مخازن و لوله ها جلوگیری نماید.

۳-۶-۱- سوپاپ‌های اطمینان در لکوموتیوهای ایران

لکوموتیوهای GM: یک سوپاپ اطمینان بر روی رادیاتور خنک‌کنندهٔ کمپرسور با فشار psi ۶۵ و یک سوپاپ اطمینان psi۱۶۰ بعد از مخزن اصلی شماره یک

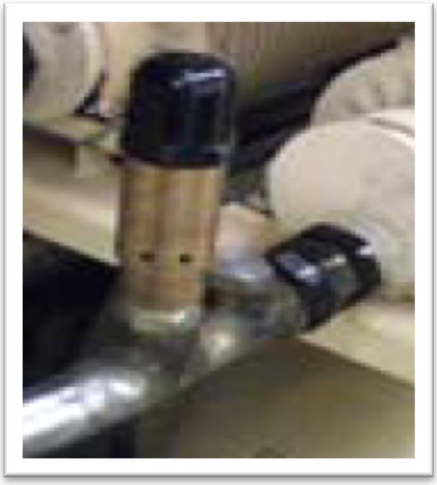
لکوموتیوهای GE: با توجه به اینکه رادیاتور خنک‌کنندهٔ کمپرسور این لکوموتیوها دو تکه است هر رادیاتور دارای یک سوپاپ اطمینان psi ۶۵ می‌باشد. همچنین یک سوپاپ اطمینان psi ۱۶۰بر روی لولهٔ خروجی از سر سیلندر فشار قوی بالای کمپرسور و یک عدد سوپاپ اطمینان psi۱۵۰ بر روی لولهٔ خروجی مخزن شمارهٔ یک نصب شده است.

لکوموتیو آلستوم: این لکوموتیو دارای یک سوپاپ اطمینان ۱۱ باری است که در مسیر لوله خروجی خنک‌کنندهٔ هوا (Aftercooler) نصب شده است و همچنین دارای یک سوپاپ اطمینان ۴/۵ باری است که بر روی خنک‌کنندهٔ میانی (Intercooler) کمپرسور نصب شده است.

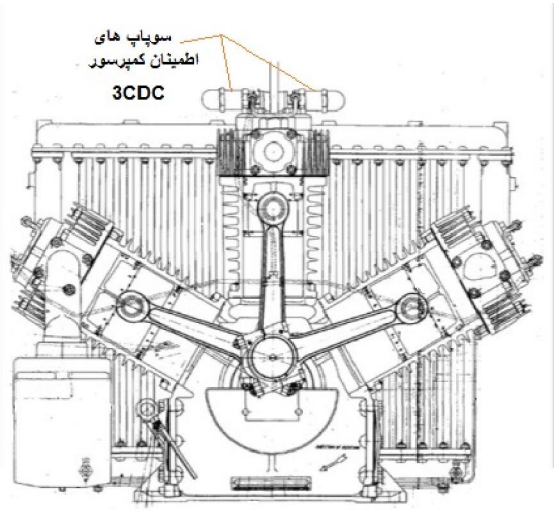
لکوموتیو زیمنس: این لکوموتیوها دارای سه عدد سوپاپ اطمینان هستند. یک سوپاپ اطمینان ۱۵ بار قبل از جداکنندهٔ روغن، سوپاپ اطمینان ۱۲ باری قبل از فیلترهای خشک‌کن و یک سوپاپ اطمینان ۱۰/۵ باری قبل از مخازن اصلی هوا نصب شده است.

لکوموتیوهای هیتاچی: با توجه به اینکه رادیاتور خنک‌کنندهٔ کمپرسور این لکوموتیوها دو تکه است، هر رادیاتور دارای یک سوپاپ اطمینان kg/cm2 ۴/۵ می‌باشد. همچنین دو سوپاپ اطمینان قبل و بعد از مخزن اصلی شماره یک با فشارهای kg/cm2 ۸/۷ و kg/cm2 ۹/۵ نصب شده است.

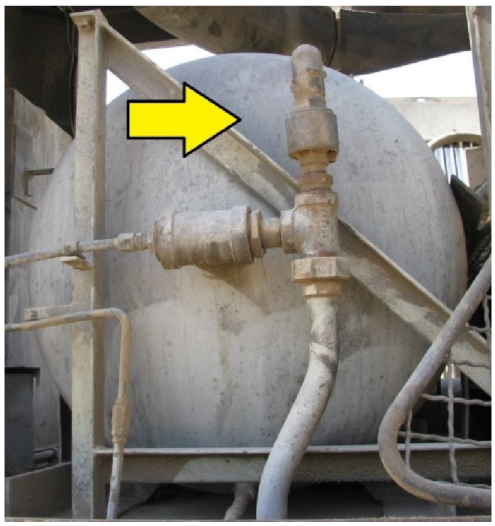
شکل ۳-۲۹) سوپاپ اطمینان ۱۰/۵ باری لکوموتیو زیمنس



شکل ۳-۳۰) سوپاپ اطمینان لکوموتیو آلستوم



شکل ۳–۳۱) سوپاپ اطمینان خنک‌کنندهٔ میانی (اینترکولر) کمپرسورهای 3CDC مربوط به لکوموتیو هیتاچی ایران



شکل ۳–۳۲) سوپاپ اطمینان هوای مخزن اصلی لکوموتیوهای GE

۳-۷- خنک‌کننده‌ها

تمام کمپرسورهای پیستونی لکوموتیوهای موجود در ایران دارای یک خنک‌کنندهٔ میانی ما بین سیلندر فشار ضعیف و فشار قوی هستند که هوای فشردهٔ خروجی از سیلندر فشار ضعیف که قصد ورود به سیلندر فشار قوی را دارد، خنک می‌کند. اینترکولر کمپرسورهای هوا- خنک دارای یک فن خنک‌کننده هستند تا حرارت هوای ورودی به اینترکولر را دفع نماید. هوای خروجی از کمپرسور نیز توسط یک خنک‌کنندهٔ دیگر (که عمدتاً به‌صورت لوله‌های مارپیچ طراحی شده و در زیر شاسی لکوموتیو نصب می‌شود تا هوای آزاد به آن بر خورد کرده و گرمای آن را بگیرد) خنک می‌شود تا هوای داغ وارد سیستم پنیوماتیک ترمز نگردد.

در کمپرسور پیچشی لکوموتیو زیمنس دو خنک‌کننده وجود دارد. یک خنک‌کننده مربوط به روغن و یکی مربوط به هوای خروجی از کمپرسور. هر دو این خنک‌کننده‌ها در کنار هم و به هم چسبیده‌اند و توسط یک فن ثابت خنک می‌شوند. هوای فشرده دائماً از داخل خنک‌کننده عبور می‌کند ولی روغن تنها زمانی از خنک‌کننده عبور می‌کند که دمای آن بالا باشد؛ در غیر این صورت بدون عبور از خنک‌کننده، وارد کمپرسور می‌شود.

۳-۸- شیرهای تخلیه اتوماتیک مخازن هوا

رطوبت موجود در هوا، زمانی‌که فشرده شده و در مخزن نگهداری می‌شود، به‌تدریج تقطیر شده و در ته مخازن ته‌نشین می‌شود. عدم تخلیهٔ رطوبت مخازن باعث تجمیع آب در کف مخازن و ورود این آب به مدار پنیوماتیک می‌شود. برای تخلیهٔ رطوبت کف مخازن در تمام لکوموتیوهای ایران از شیرهای تخلیه اتوماتیک استفاده می‌شود. این شیرها در زمان‌بندی از پیش‌تعیین شده‌ای، چند ثانیه باز شده و رطوبت به‌همراه مقداری هوای فشرده از این شیرها تخلیه می‌گردد.

۳-۸-۱- شیرهای تخلیه اتوماتیک در لکوموتیوهای موجود در ایران

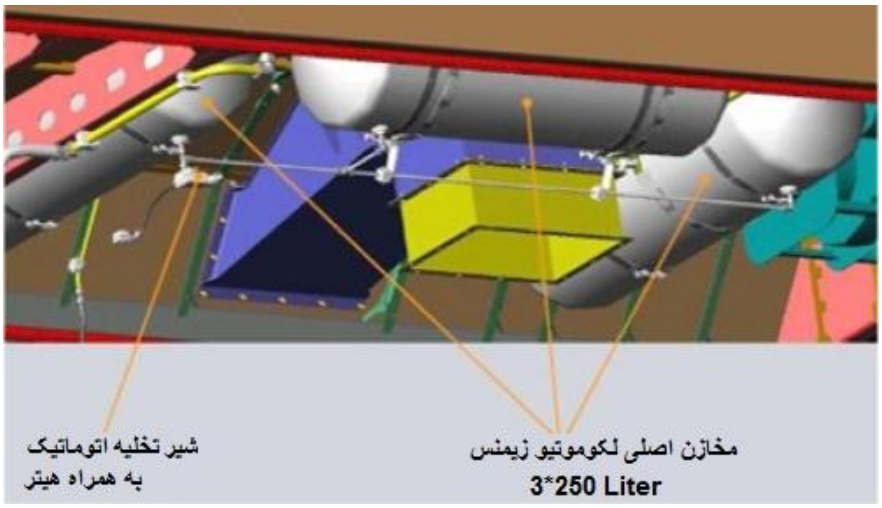
لکوموتیوهای GM: در این لکوموتیوها از دو نوع شیر تخلیهٔ اتوماتیک استفاده شده است. ۱- شیر برقی یا مگنت‌ولو: این شیرها با توجه به تایمر نصب شده در لکوموتیو هر ۳ دقیقه یک بار عمل می‌کند ۲- شیرهای تحریک هوایی: هوای لازم برای تحریک این شیرها از مخزن شماره یک و از مدار بی‌بارکننده گرفته می‌شود و یک بار در هنگام بی‌بار شدن کمپرسور و یک بار نیز در هنگام زیر بار آمدن کمپرسور عمل می‌کند. لازم به ذکر است شیرهای تخلیهٔ اتوماتیک این لکوموتیوها به‌صورت دستی نیز عمل می‌کند.

لکوموتیوهای GE: این لکوموتیوها دارای شیرهای تخلیهٔ اتوماتیک خودتحریک هوایی هستند و به‌صورت مرتب در حال تخلیهٔ لحظه‌ای هوا هستند. وقتی کنار یک لکوموتیو GE بایستیم، صدای تخلیهٔ هوا مدام به گوش می‌رسد که از خصوصیات این لکوموتیوها به شمار می‌آید. البته این شیرها به‌نحوی طراحی شده‌اند که مقدار بسیار کمی از هوا را به‌همراه رطوبت تخلیه می‌کنند تا باعث افت فشار هوای مخازن اصلی لکوموتیو نگردند. لازم به ذکر است شیرهای تخلیهٔ اتوماتیک این لکوموتیوهابه صورت دستی نیز عمل می‌کنند.

لکوموتیوهای آلستوم: دارای شیر تخلیه اتوماتیک برقی (VE(PU)RP) فقط برای مخزن شماره ۲ هستند و مخزن شماره یک دارای شیر تخلیهٔ دستی است (البته طی اصلاحات انجام شده یک عدد شیر اتومات بر روی این مخازن نیز نصب شده است). تایمینگ شیر تخلیهٔ اتوماتیک از مدار کنترل لکوموتیو فرمان گرفته و هر ۳ دقیقه، ۳ ثانیه تخلیه می‌کند. شیر مغناطیسی VE(PU)SEP نیز توسط فرمان ارسالی از MPU تحریک شده و آب جمع شده در سپراتور را به هوای آزاد تخلیه می‌کند (این عمل تا پایان زمان بی‌باری کمپرسور ادامه دارد).

لکوموتیوهای زیمنس : هر سه مخزن اصلی این لکوموتیوها فقط دارای یک شیر تخلیه اتوماتیک برقی مشترک هستند و توسط سیستم کنترلی لکوموتیو فرمان می‌گیرند.

لکوموتیوهای هیتاچی: در برخی از لکوموتیوهای هیتاچی ایران مخازن مجهز به شیر تخلیهٔ اتوماتیک و برخی مجهز به شیر تخلیه دستی هستند.

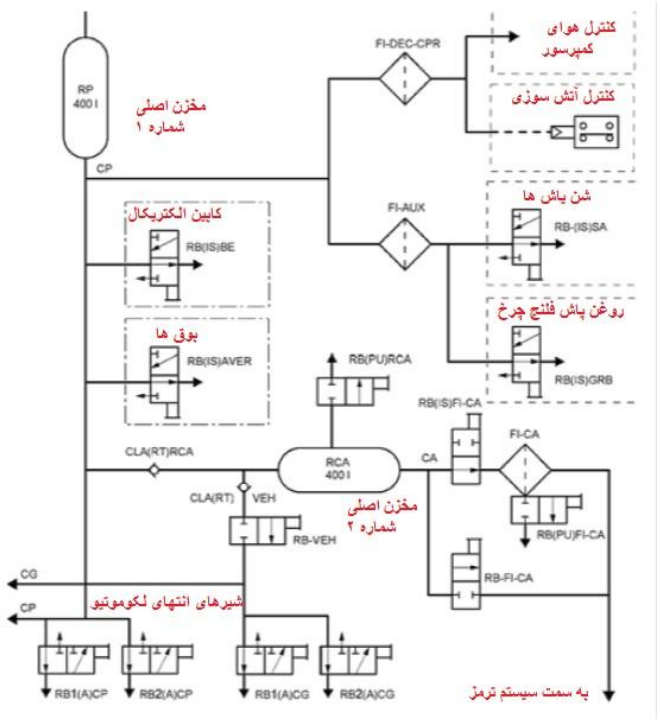


شکل ۳-۳۳) مخازن و شیر تخلیهٔ اتوماتیک در لکوموتیوهای زیمنس

۳-۹- توزیع هوای فشرده در لکوموتیوها

۳-۹-۱- لکوموتیوهای GM، GE وALSTOM

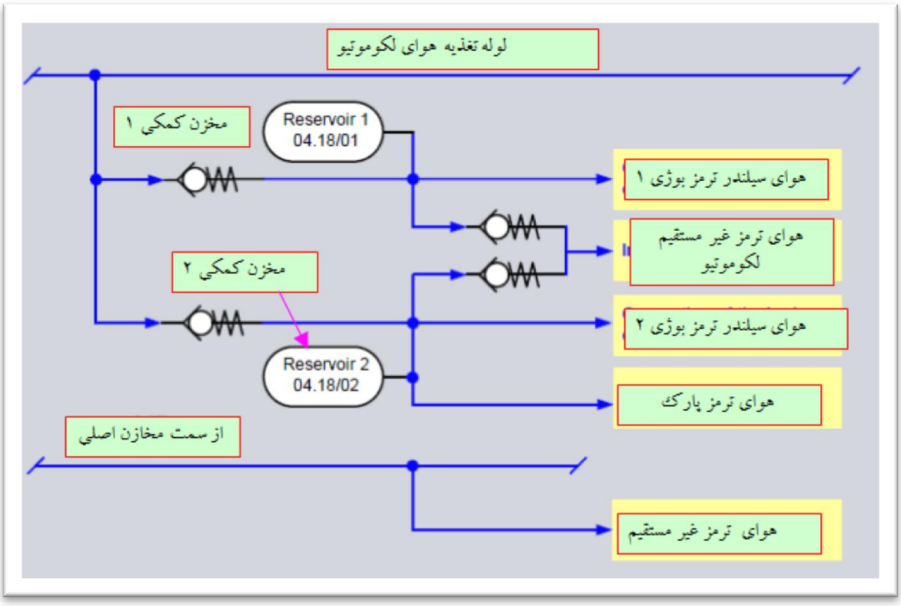
در این لکوموتیوها هوای مصارف جانبی همچون بوق، شن‌پاش، برف‌پاک‌کن، جک کرکره‌ای رادیاتورها، مدار بی‌بارکننده، مدار آشکارساز آتش(آلستوم)، مدار روغن پاش فلنچ چرخ(آلستوم) و همچنین هوای لولهٔ مخزن اصلی (تعادل بزرگ) از ما بین مخزن شماره یک و دو گرفته می‌شود و هوای سیستم ترمز از مخزن شماره دو است.



شکل ۳-۳۴) شکل مدار توزیع هوای فشرده در لکوموتیو آلستوم

۳-۹-۲- لکوموتیو زیمنس

در این لکوموتیوها انشعاب کلیهٔ تجهیزات جانبی از جمله بوق، شن‌پاش، روغن‌پاش فلنج چرخ، صندلی لکوموتیوران، لولهٔ مخزن اصلی (۱۰بار) و سیستم ترمز، پس از مخازن اصلی لکوموتیو است. توزیع هوای فشرده این لکوموتیوها در شکل (۳-۳۵) مشخص است.

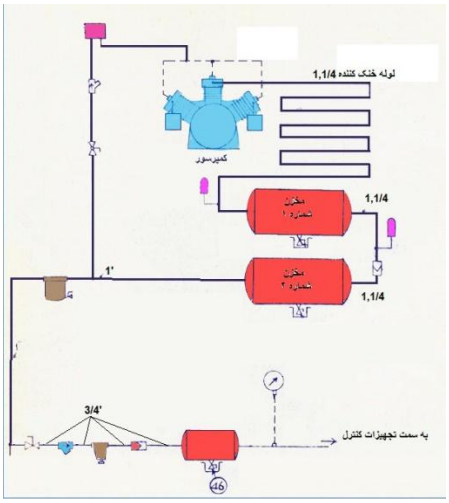


شکل ۳-۳۵) مدار توزیع هوای فشردهٔ لکوموتیو زیمنس

۳-۹-۳- لکوموتیوهای هیتاچی

در لکوموتیوهای هیتاچی تجهیزات جانبی هوای فشرده مانند بوق با روش متفاوتی نسبت به سایر لکوموتیوهای ایران از هوای فشردهٔ مخزن اصلی تغذیه می‌شوند. در این لکوموتیوها از مخزن شماره ۲ انشعابی به یک مخزن واسط ۵۰ لیتری به‌نام مخزن تجهیزات جانبی داده می‌شود. بین مخزن شماره ۲ و

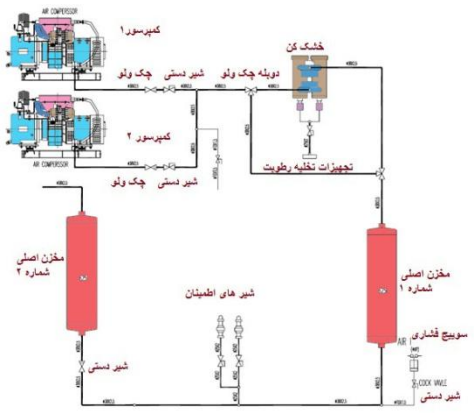
مخزن تجهیزات جانبی یک شیر دستی، یک فیلتر، یک منظم‌کننده KG/cm2 ۵ (حدود ۴/۹ بـار) و یـک سوپاپ یک‌طرفه نصب شده است. هوای مدار کنترل فشار هوای کمپرسـور در ایـن لکوموتیـو از مخـزن شماره ۲ مستقیماً گرفته می‌شود (شکل۳-۳۶).



شکل ۳-۳۶) توزیع هوای فشرده لکوموتیوهای هیتاچی

۳-۱۰- سیستم هوای فشرده لکوموتیوهای DF8 (چینی)

سیستم تأمین هوای فشرده این لکوموتیوها (شکل ۳-۳۷) از واحد کمپرسور هوا، سپراتور(جداکننده) آب و روغن، خشک‌کن هوا، مخازن اصلی، سوپاپ اطمینان و سنسور فشار هوا تشکیل شده است .

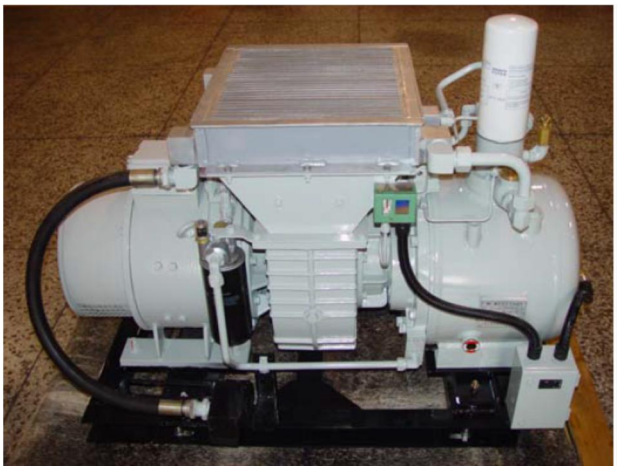


شکل ۳-۳۷) سیستم تأمین هوای لکوموتیو DF8

همان‌طور که در شکل(۳-۳۷) ملاحظه می‌شود این لکوموتیوها دارای دو عدد مخزن ۶۲۵ لیتری هستند.

۳-۱۰-۱- واحد کمپرسور هوا

دوکمپرسور هوای نوع پیچشی مدل TSA-230 DII با ظرفیت تولیدی هر کدام ۲/۴ m3/min در کابین خنک‌کنندهٔ لکوموتیو تعبیه شده است (شکل ۳-۳۸). فشار کاری کمپرسور ۹۰۰kpa- ۷۵۰ (معادل۹bar-۷/۵) است.

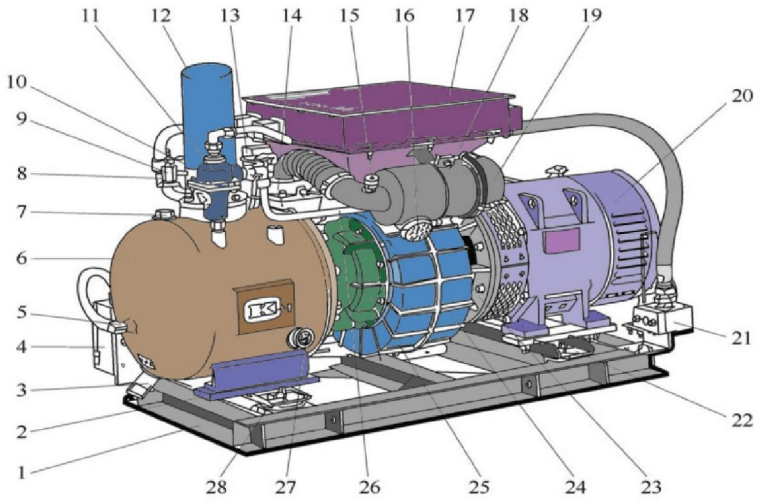


شکل ۳-۳۸) ساختار کمپرسور هوای نوع پیچشی مدل TSA-230D

۳-۱۰-۱-۱- چیدمان سیستم کمپرسور هوا

سیستم کمپرسور هوای نوع پیچشی TSA – 230D II شامل سیستم هوا، سیستم روغن، سیستم خنک‌کاری مطابق شکل (۳- ۳۹) است.

۱- پایهٔ اصلی
۲- پایهٔ کمپرسور
۳- دریچهٔ تخلیه
۴- جعبهٔ کنترل الکتریکی
۵- سوییچ دما
۶- مخزن روغن
۷- دریچهٔ روغن
۸- سوپاپ تثبیت فشار
۹- سوپاپ اطمینان
۱۰- سوپاپ یک‌طرفه
۱۱- سوپاپ کنترل دما
۱۲- جداکنندهٔ روغن
۱۳- سوییچ فشاری
۱۴- سوپاپ ورودی
۱۵- نشانگر خلایی
۱۶- ورودی هوا
۱۷- خنک‌کنندهٔ روغن و هوا
۱۸- دیفیوزر
۱۹- مجموعه فیلتر هوا
۲۰- موتور الکتریکی
۲۱- خروجی هوای فشرده
۲۲- پایه موتور
۲۳- نگهدارنده
۲۴- حلزونی
۲۵- درپوش انتهای بلوور
۲۶- فیلتر روغن
۲۷- نشانگر روغن
۲۸- ضربه‌گیر



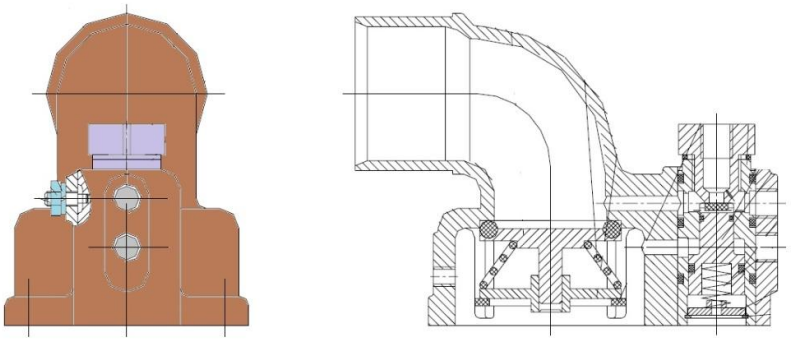
شکل ۳-۳۹) چیدمان سیستم کمپرسور لکوموتیو DF8

- سیستم هوا شامل فیلتر هوا، سوپاپ ورودی، مخزن روغن ، سپراتور (جداکننده) ذرات ریـز روغـن، سوپاپ اطمینان، سوپاپ تثبیت‌کنندهٔ فشار و افترکولر است.
- سیستم روغن شامل سپراتور (جداکننده) ذرات ریـز روغـن، سـوپاپ کنتـرل دمـا، فیلتـر روغـن و خنک‌کنندهٔ روغن است.
- سیستم خنک‌کاری شامل فن سانتریفیوژ (گریز از مرکز)، حلزونی، خنک‌کننـدهٔ روغـن و افترکـولر است.

۳-۱۰-۱-۲- سوپاپ ورودی

هنگامی که کمپورسور هوا کار می‌کند، دریچهٔ سوپاپ هوا باز می‌شود تا هوا به داخـل کمپرسـور جریـان پیدا کند.

هنگامی که کمپورسور هوا خاموش است، دریچه سوپاپ ورودی بسته می‌شود تا از ورود هوا و روغن به داخل کمپرسور جلوگیری نماید. ضمناً قطعات فشارشکن این سوپاپ شروع به‌کار می‌کنند و فشار داخـل مخزن روغن درکوتاهترین مدت به زیر kpa ۳۰۰ کاهش می‌یابد؛ با این کار از روشن شـدن کمپرسـور در فشار پایین جلوگیری می‌شود.



شکل ۳-۴۰) سوپاپ ورودی کمپرسور TSA-230D

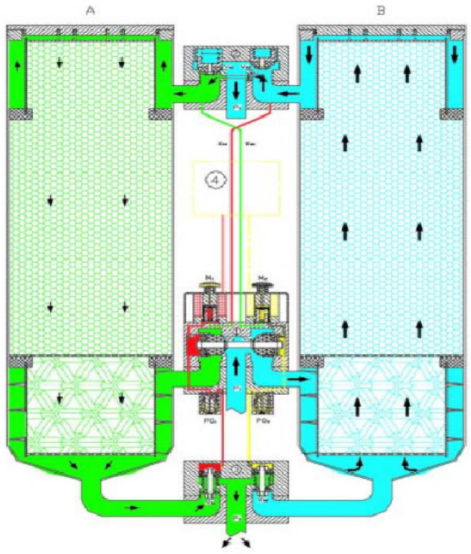
۳-۱۰-۲- سپراتور(جداکننده) آب و روغن

سپراتور آب و روغن در حد فاصل بین کابین رادیاتور وکابین تجهیزات کمکی (روی دیوارهٔ سمت کابین رادیاتور) قرار گرفته و بین خشک‌کن هوا وکمپرسور هوا نصب شده است. شیر دستی زیر سپراتور آب و روغن باید در طی بهره‌برداری به‌طور منظم بازشود تا آب و روغن تخلیه گردد.

۳-۱۰-۳- خشک کن هوا

خشک‌کن مدل SJKG-C1 دارای دو برجک است که یکی برای جذب رطوبت و دیگری برای احیاء تعبیه شده است.

این خشک‌کن شامل قسمت‌های مکانیکی و برقی است. در شکل (۳-۴۱) قطعات اصلی خشک‌کن نمایش داده شده است. قسمت مکانیکی اساساً شامل برجک خشک‌کن، اتصالات، سوپاپ ورودی، سوپاپ تخلیه و سوپاپ یک طرفهٔ خروجی است.



شکل۳-۴۱) ساختار خشک‌کن SJ KG-C1

۳-۱۰-۳-۱- اصول کار خشک‌کن

واحد خشک‌کن به‌همراه کمپرسور هوا عمل می‌کند؛ بدین معنا که با روشن و خاموش شدن کمپرسور، خشک‌کن نیز خاموش و روشن می‌شود. کنترل این امر توسط سنسور هوای لکوموتیو صورت می‌گیرد. این سنسور می‌تواند فشار هوای مخزن اصلی را به سیگنال الکتریکی تبدیل‌کند. هنگامی که فشار مخزن اصلی به کمتر از ۷۵۰kpa افت نماید، سنسور فشار، یک سیگنال فعال‌سازی(activation) به کمپرسور ارسال می‌کند.

هنگامی‌که فشار مخزن اصلی به ۹۰۰kpa برسد، سنسور فشار، یک سیگنال خاموش (deactivation) را ارسال می‌کند.

راه‌اندازی و توقف خشک‌کن و کمپرسور هوا توسط این سیگنال‌ها انجام می‌شود که به رلهٔ مربوطه ارسال می‌گردد.

۳-۱۰-۴- سوپاپ اطمینان فشار بالا

دو عدد سوپاپ اطمینان فشار بالا ما بین دو مخزن اصلی نصب شده‌اند. هنگامی که کمپرسور به‌دلیل خرابی سنسور فشار، از کنترل خارج می‌گردد (و فشار هوا بی‌وقفه افزایش می‌یابد)، این سوپاپ‌ها از افزایش فشار بیش از حد در مخزن اصلی جلوگیری می‌کنند.

وقتی فشار مخزن اصلی تا ۰/۹۵±۰/۰۲MPa (معادل ۹/۵ بار با تلرانس ۰/۲± بار) افزایش می‌یابد، سوپاپ اطمینان با صدای جریان هوای شدید به‌منظور هشدار به راننده عمل می‌کند. با وجود این، سوپاپ‌ها حتی چنانچه کمپرسور هوا به‌طور پیوسته کار کند، فشار مخزن اصلی بالاتر از حد مجاز نخواهد رفت. فشار سوپاپ اطمینان باید در فشار کمتر از ۰/۹۵MPa تنظیم و با مهر و موم آلومینیومی پلمپ شود.

فصل ۴

سیستم‌های کنترل پنیوماتیک ترمز لکوموتیوها

۴-۱-کلیات

هدف نهایی سیستم ترمز هوایی لکوموتیو، ارسال هوای فشرده با فشار تنظیم شده و تحت کنترل به سیلندرهای ترمز لکوموتیو و واگن‌ها و یا تخلیهٔ هوای ارسال شده به سیلندرها پس از عملیات ترمزگیری برای آزادسازی ترمز است. برای این منظور سیستم‌های ترمزی مختلفی در لکوموتیوها وجود دارد تا هم بتوانند سیستم ترمز را فعال یا غیرفعال‌کرده و در شرایط خاص ایمنی قطار را حفظ نمایند و هم در هنگام توقف طولانی‌مدت، یک ترمز مطمئن و ثابت برای قطار فراهم کنندکه برای رسیدن به این اهداف در هر لکوموتیو، سیستم‌های ترمزی زیر مورد نیاز است:

۱- سیستم ترمز مستقیم لکوموتیو فقط برای ترمزگیری و آزادسازی لکوموتیو (DIRECT BRAKE SYSTEM)

۲- سیستم ترمز غیرمستقیم برای ترمزگیری و آزادسازی ترمز اتوماتیک لکوموتیو و واگن‌ها (INDIRECT BRAKE SYSTEM)

۳- سیستم ترمز اتوماتیک لکوموتیو (AUTOMATIC BRAKE SYSTEM)

۴- سیستم ترمز پارک یا ترمز دستی لکوموتیو (PARKING BRAKE OR HAND BRAKE SYSTEM)

۵- سیستم ترمز اضطراری لکوموتیو (EMERGENCY BRAKE SYSTEM)

۶- سیستم ترمز جریمه به واسطهٔ عمل‌کردن پدال ایمنی

۷- سیستم ترمز جریمه به واسطهٔ عمل‌کردن سیگنال

۸- سیستم ترمز نصب شده بر روی بوژی‌ها

۹- سیستم ضد لغزش چرخ (WHEEL SLIDE PROTECTION SYSTEM)

۱۰- سیستم قطع اتوماتیک ترمز هوایی (INTERLOCK BRAKE SYSTEM)

۴-۲- سیستم ترمز لکوموتیوهای ایران

۴-۲-۱- لکوموتیو GM و GE (مدل‌های GT26CW، U30C و C30-7i)

سیستم ترمز لکوموتیوهای GM و GE ساخت شرکت وابکو (WABCO) و مدل آن L-26 است. این سیستم در کشور آمریکا طراحی و ساخته شده است. سیستم ترمز L-26 جزء سیستم‌های قدیمی شرکت وابکو و از موفق‌ترین سیستم‌های قدیمی ترمز دنیا است. سیستم ترمز L-26 به‌صورت پنیوماتیکی – مکانیکی عمل می‌کند و در آن از شیرهای برقی (به جز چند مورد) استفاده نشده است. دسته‌های کنترل ترمز در این سیستم با مکانیزم جابجایی عمل می‌کند؛ به این معنا که هر چه دستهٔ ترمز در میدان ترمز بیشتر جابجا شود، عمل ترمزگیری یا آزادسازی بیشتری صورت خواهد گرفت.

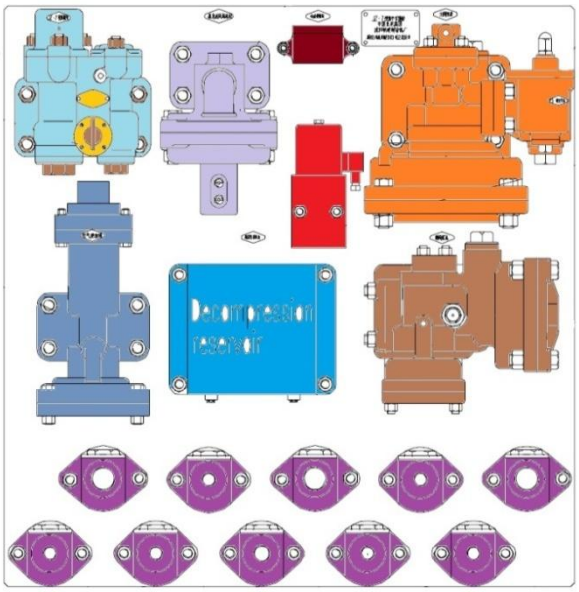
دسته های ترمز

پانل ترمز

شکل۴- ۱) تجهیزات ترمز لکوموتیوهای GE ایران

۴-۲-۲- لکوموتیو DF8

سیستم ترمز این لکوموتیوها مشابه لکوموتیوهای GM و GE از نوع پنیوماتیکی- مکانیکی است. مدل سیستم ترمز این لکوموتیوها JZ7 و ساخت کشور چین است. سیستم ترمز JZ7 مشابه سیستم ترمز 26-L است. دستگاه شش دنده و سه دندهٔ این لکوموتیوها در کابین لکوموتیو جلوی لکوموتیوران و سوپاپ‌های دیگر ترمز در پانل ترمز پشت کابین لکوموتیو نصب شده‌اند.



شکل ۴-۲) پانل ترمز لکوموتیو DF8

۴-۲-۳- لکوموتیو هیتاچی HD10C

سیستم ترمز لکوموتیوهای هیتاچی ایران توسط شرکت NIPPON AIR BRAKE کشور ژاپن طراحی و مونتاژ شده است ولی قطعات سیستم ترمز این لکوموتیوها ساخت شرکت وابکو است. مدل سیستم ترمز لکوموتیو هیتاچی، 27-LA و از جمله طرح‌های قدیمی شرکت وابکو است. سیستم ترمز 27-LA به‌صورت

پنیوماتیکی – مکانیکی عمل می‌کند و در آن از شیرهای برقی (به جز چند مورد) استفاده نشده است. دسته‌های کنترل ترمز در این سیستم ترمز با مکانیزم جابجایی عمل می‌کند؛ به این معنا که هر چه دستهٔ ترمز را بیشتر جابجا کنیم، عمل ترمزگیری یا آزادسازی بیشتری صورت خواهد گرفت.

دسته‌های ترمز

تجهیزات پانل ترمز

شکل ۴-۳) تجهیزات ترمز لکوموتیوهای هیتاچی ایران

۴-۲-۴- لکوموتیو آلستوم AD43C

سیستم ترمز این لکوموتیو ساخت شرکت ساب وابکو (SAB-WABCO) و مدل آن PBL3 است که در کشور فرانسه طراحی و ساخته شده است. سیستم ترمز PBL3 به‌صورت الکتروپنیوماتیکی عمل می‌کند و تجهیزات ترمز آن ترکیبی از سوپاپ‌های برقی و هوایی است. دسته‌های کنترل در این سیستم ترمز به‌صورت برقی عمل می‌کنند و مکانیزم زمانی دارند؛ به این معنی که هر چه دستهٔ ترمز را زمان بیشتری در وضعیت ترمز یا آزادسازی نگه داریم، میزان ترمزگیری یا آزادسازی بیشتری رخ می‌دهد. دستهٔ ترمز در این لکوموتیو ظریف‌تر است و از این‌رو نیازی به نیروی زیاد برای تغییر وضعیت آن‌ها نیست.

دسته‌های ترمز

پانل تجهیزات ترمز

شکل ۴-۴) تجهیزات ترمز لکوموتیوهای آلستوم

۴-۲-۵- لکوموتیو زیمنس ER24PC

سیستم ترمز این لکوموتیو ساخت شرکت فوله (FAIVELEY) و مدل آن ER24PC (با مدل لکوموتیو شناخته می‌شود) است. این سیستم در کشور فرانسه طراحی و ساخته شده است. سیستم ترمز زیمنس به صورت الکتروپنیوماتیکی عمل می‌کند و تجهیزات ترمز آن ترکیبی از سوپاپ‌های برقی و هوایی است. دسته‌های کنترل در این سیستم ترمز به‌صورت برقی عمل می‌کنند و مکانیزم زمانی دارند؛ به این معنی که هر چه زمان بیشتری دستهٔ ترمز را در وضعیت ترمز یا آزادسازی نگه داریم، میزان ترمز یا آزادسازی بیشتری رخ می‌دهد. دستهٔ ترمز در این لکوموتیو ظریف‌تر است و لذا نیازی به نیروی زیاد برای تغییر وضعیت آن‌ها نیست. تفاوت سیستم ترمز لکوموتیوهای آلستوم و زیمنس در این است که لکوموتیو زیمنس دارای یک واحد کنترل الکترونیکی سیستم ترمز به نام BCU است و مجهز به سیستم ضدلغزش چرخ WSP و قطع اتوماتیک ترمز هوایی INTERLOCK است؛ ضمن این‌که دارای سیستم کنترل EP برای کنترل الکترونیکی ترمز واگن‌ها نیز است.

دسته‌های ترمز

پانل تجهیزات ترمز

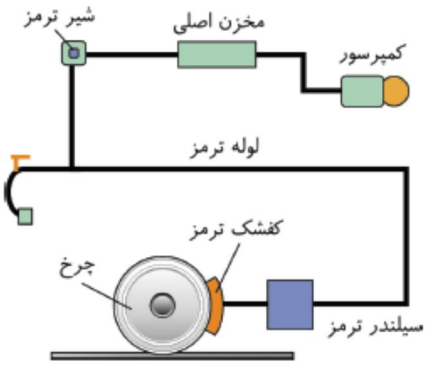
شکل ۴-۵) تجهیزات ترمز لکوموتیوهای زیمنس ایران

۴-۳ - ترمز مستقیم لکوموتیوها (LOCOMOTIVES DIRECT BRAKE)

همان‌طور که در فصل ۲ اشاره گردید ترمز مستقیم، ترمزی است که هوای فشرده را بـا فرمـان لکوموتیـوران به‌صورت مستقیم به سیلندرهای ترمز ارسال می‌کند. این سیستم به‌دلیل ضعف در فراهم‌سازی ایمنی قطار، در قطار کاربردی ندارد و تنها برای ترمزگیری لکوموتیو استفاده می‌شود. عمدتاً این سیستم برای مـانور لکوموتیـو منفرد استفاده می‌شود و در هنگام سیر با قطار استفاده از این سیستم مجاز نیست؛ چرا که با اعمال ایـن ترمـز در قطار فقط ترمز لکوموتیو فعال می‌شود و ترمز واگن‌ها آزاد هستند. لذا اینرسی حرکتی واگن‌ها علی‌رغم ترمز بودن لکوموتیو باعـث خسـارت‌هـای شـدیدی بـه چـرخ لکوموتیـو، ریـل و حتـی خـروج از خـط لکوموتیـو می‌شود.

هر سیستم ترمز مستقیمی نیاز به تجهیزات اصلی زیر را دارد:

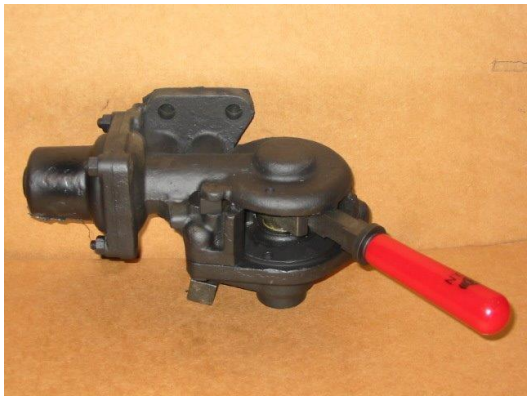
- دستهٔ ترمز مستقیم
- منظم‌کنندهٔ فشار هوا
- یک سوپاپ برای ارسال و قطع ارسال هوا به سیلندرها
- یک سوپاپ برای تخلیهٔ هوای ارسال شده به سیلندرهای ترمز
- شیر دستی برای قطع و وصل مدار ترمز مستقیم لکوموتیو (این شیر در سیستم‌های ترمزی جدید تعبیه شده است که به‌صورت الکتروپنیوماتیک عمل می‌کند)



شکل ۴-۶) سیستم ترمز مستقیم

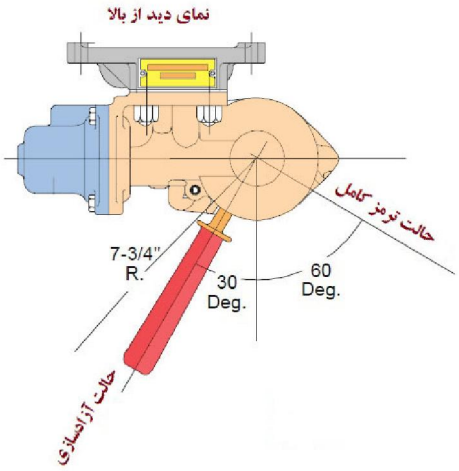
۴-۳-۱- لکوموتیوهای GM و GE

در این لکوموتیوها دستهٔ ترمز، منظم‌کننده، سوپاپ ترمزگیری و آزادسازی ترمز مستقیم در داخل یک مجموعه قرار گرفته‌اند که در راه‌آهن ایران به دستگاه سه دنده معروف است. مدل این دستگاه SA-26 است. هوای مخزن اصلی با فشار ۱۴۰PSI– ۱۳۰ وارد این سوپاپ شده و در منظم‌کنندهٔ این سوپاپ به حداکثر ۵۰PSI تقلیل می‌یابد و به سمت مدار کنترل سیلندرهای ترمز ارسال می‌شود. در صورت فرمان آزادسازی از طرف لکوموتیوران هوای ارسالی به مدار کنترل سیلندرهای ترمز از طریق همین سوپاپ تخلیه می‌شود.

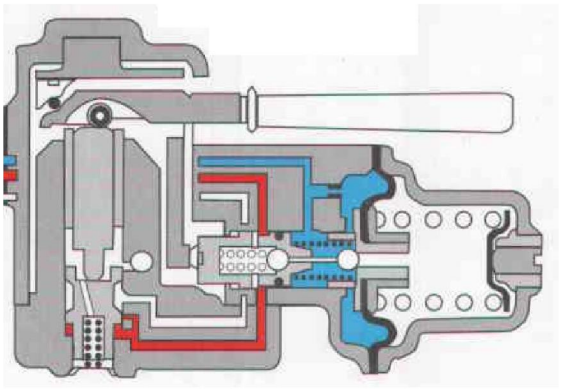


شکل ۴-۷) نمایی از دستگاه سه‌دنده مدل SA-26

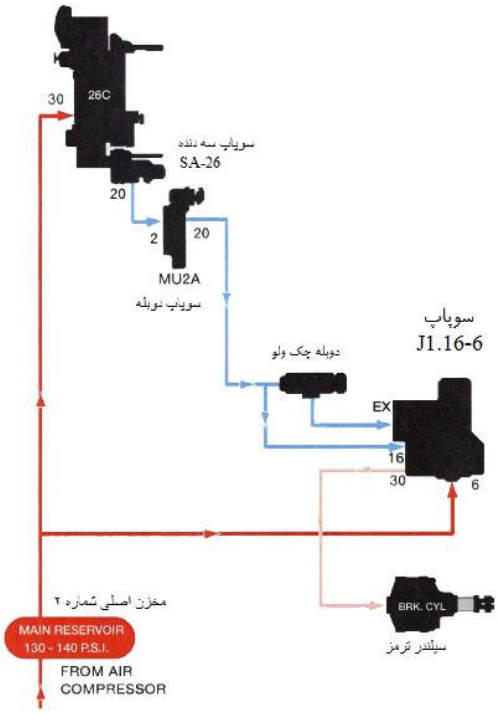
تفاوت ترمز مستقیم در لکوموتیوهای GM و GE در مدار کنترل سیلندرهای ترمز است. در لکوموتیوهای GM از سوپاپ J-1 برای کنترل هوای سیلندرهای ترمز بوژی‌ها استفاده می‌شود؛ در حالی که در لکوموتیوهای GE از سوپاپ‌های J1.6-16 برای لکوموتیوهای سری بالا (C30-7i) و از سوپاپ‌های J1.4-14 برای لکوموتیوهای سری پایین (U30C) استفاده شده است. در سوپاپ‌های J1 به میزان حداکثر ۵۰PSI از هوای مخزن اصلی به سیلندرهای ترمز ارسال می‌شود؛ در حالی‌که در سوپاپ‌های J1.6-16 به میزان ۱/۶ برابر بیشتر از سوپاپ J-1 و در سوپاپ‌های J1.4-14 به میزان ۱/۴ برابر بیشتر از سوپاپ‌های J-1 به سیلندر ترمز تزریق می‌گردد. لذا فشار ترمز مستقیم در لکوموتیوهای GE به میزان ۱/۴ و ۱/۶ برابر بیشتر از لکوموتیوهای GM است (فشار سیلندر ترمز در لکوموتیوهای GM برابر با ۵۰psi است).



شکل ۴– ۸) حالت‌های دسته سه دنده (آزادسازی– میدان ترمز– ترمز کامل)



شکل۴– ۹) نمای تجهیزات داخلی سوپاپ سه دنده



شکل ۴–۱۰) مدار ترمز مستقیم در سیستم ترمز L-26

همان‌طور که در شکل(۴– ۱۰) مشخص است فرمان هوای ارسالی از سوپاپ ترمز مستقیم ابتدا از شیر دوبله MU-2A عبور می‌کند تا در صورت یدک شدن لکوموتیو، ترمز مستقیم قطع گردد. سپس وارد یک دوبله چک‌ولو (سوپاپ OR) می‌شود. علت استفاده از این سوپاپ این است که دو مسیر فرمان برای ترمز بوژی‌ها وجود دارد. یکی از طرف ترمز مستقیم و یکی از سمت ترمز غیرمستقیم یا اتوماتیک لکوموتیو که از هر دو امکان فرمان‌گیری وجود دارد. در مرحلهٔ بعد هوای فرمان سوپاپ سه دنده وارد رله‌ولوJ (در لکوموتیوهای ایران

از رله‌ولوهای J-1 یا J1.16-6 و یا J1.14-4 استفاده شده است) می‌شود. در این رله‌ولو با توجه به میزان فشار فرمان، فشار قدرت از مخزن اصلی به سیلندرهای ترمز ارسال می‌گردد.

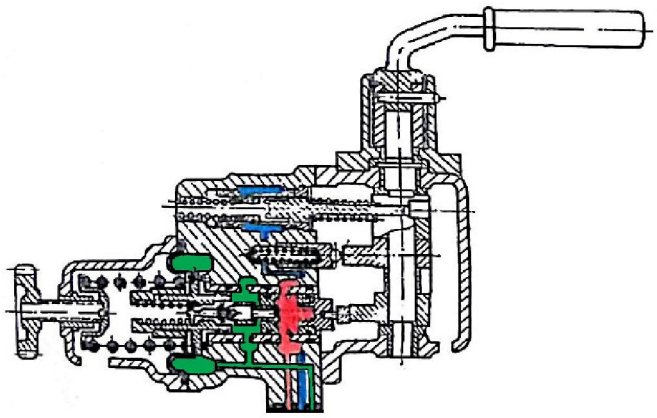
از دیگر کاربردهای دستهٔ سه دنده، لغو ترمز اتوماتیک لکوموتیو است(به این عمل اصطلاحاً Bail-off گفته می‌شود). در صورتی‌که با دستهٔ ترمز قطار، لکوموتیو ترمز شده باشد، برای آزادسازی ترمز اتوماتیک لکوموتیو در حالی‌که دستهٔ سه دنده در وضعیت آزادسازی قرار دارد، آن‌را به سمت پایین فشار می‌دهیم و نگه داشته تا ترمز لکوموتیو آزاد شود؛ کاربرد آن در شرایطی است که قطار ترمز شده است و لکوموتیوران نیاز می‌داند که ترمز لکوموتیو آزاد شود، ولی ترمز قطار (واگن‌ها) همچنان فعال باقی بماند. عمدتاً در شیب‌ها از این امکان استفاده می‌شود تا شوک ناشی از ترمز به لکوموتیو انتقال نیابد. در ادامه روش آزادسازی در سیستم ترمز اتوماتیک لکوموتیوها توضیح داده خواهد شد.

۴-۳-۲- لکوموتیو چینی DF8

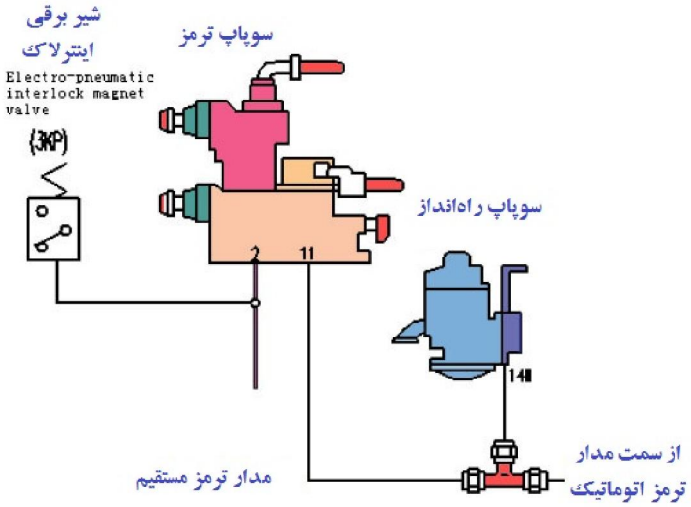
عملکرد سیستم ترمز مستقیم این لکوموتیوها مشابه سه دنده لکوموتیوهای GM و GE است. دستگاه سه دنده و شش دندهٔ این لکوموتیو در یک مجموعه به نام سوپاپ ترمز اتوماتیک مدل JZ-7GYV نصب شده‌اند. در این لکوموتیوها دستهٔ ترمز، منظم‌کنندهٔ فشار هوا، سوپاپ ترمزگیری و آزادسازی ترمز مستقیم در داخل یک مجموعه قرار گرفته‌اند(شکل ۴- ۱۱). هوای مخزن اصلی با فشار Kpa ۹۰۰ وارد این سوپاپ شده و با فرمان ترمزگیری در منظم‌کنندهٔ این سوپاپ به حداکثر ۳۰۰kPa تقلیل می‌یابد و از طریق لولهٔ شمارهٔ ۱۱ به سمت دوبله‌چک‌ولو و از آنجا به رله‌ولو کنترل ترمز بوژی‌ها ارسال می‌شود. در صورت فرمان آزادسازی از طرف لکوموتیوران هوای ارسالی به مدار کنترل سیلندرهای ترمز از طریق همین سوپاپ تخلیه می‌شود. دستهٔ ترمز مستقیم این لکوموتیوها دارای سه وضعیت ترمز کامل، میدان ترمز تدریجی و آزادسازی است.

حداکثر فشار سیلندرهای ترمز در حالت ترمز مستقیم ۳۰۰kPa است. زمان افزایش فشار سیلندر ترمز از صفر تا ۲۸۰kpa در حالت ترمز مستقیم معادل ۲ الی ۳ ثانیه است.

مدت زمان کاهش فشار سیلندر ترمز از فشار ۳۰۰kPa تا kpa ۳۵ با قرار دادن دستهٔ ترمز مستقیم در حالت آزادسازی کمتر از ۴ ثانیه است.



شکل ۴-۱۱) سوپاپ ترمز مستقیم لکوموتیو چینی DF8

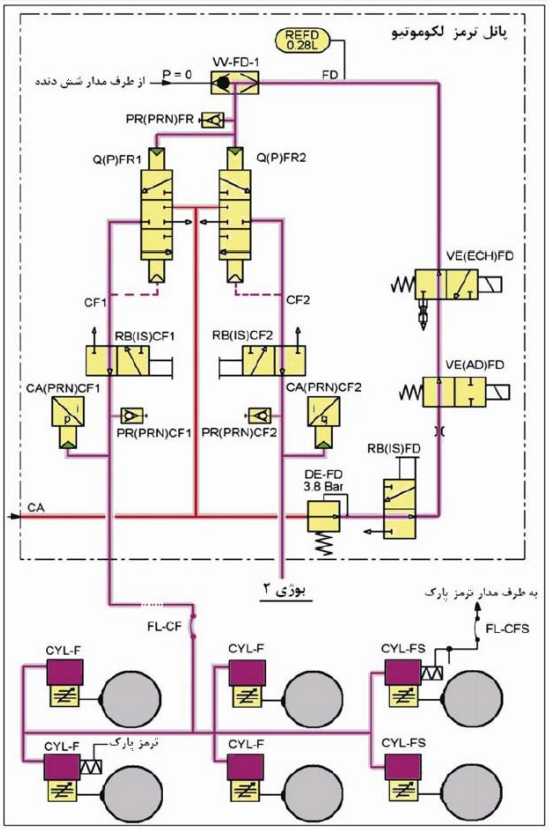


شکل ۴-۱۲) مدار ترمز مستقیم لکوموتیو چینی DF8

۴-۳-۳- لکوموتیو آلستوم

ترمز مستقل این لکوموتیوها از یک منظم‌کنندهٔ فشار مدل DE(FD) (10bar to 3.8bar max)، یک شیر دستی برای قطع و وصل مدار ترمز مستقیم مدل RB(IS)FD ، یک شیر برقی برای اعمال ترمز مستقیم مدل VE(AD)FD ، یک شیر برقی برای آزادسازی ترمز مستقیم مدل VE(ECH)FD و یک مخزن ضربه‌گیر فشار ۰/۲۸ لیتری استفاده شده است. فرمان ترمز مستقیم از دستهٔ ترمز مستقیم که به‌صورت الکتریکی فرمان ترمز مستقیم را صادر می‌کند و دارای سه وضعیت: آزادسازی، خنثی و ترمزگیری است به شیرهای برقی (magnet valves) ترمز مستقیم، ارسال و شیرهای برقی مطابق با فرمان داده شده توسط لکوموتیوران عمل ترمزگیری و یا آزادسازی را انجام می‌دهند. فرمان هوایی ترمز مستقیم به مدار کنترل ترمز بوژی‌ها شامل یک دوبله چک‌ولو و دو عدد رله‌ولو برای هر بوژی ارسال می‌شود و رله‌ولوها هوای مدار قدرت را از مخزن اصلی به سیلندرهای ترمز ارسال می‌کنند.

شکل ۴-۱۳) دستهٔ ترمز مستقیم لکوموتیو آلستوم (دستهٔ ترمز در وضعیت ترمزگیری کامل قابلیت قفل شدن دارد)



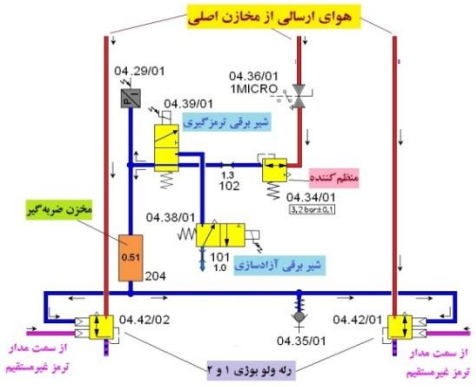
شکل۴-۱۴) مدار ترمز مستقیم لکوموتیو آلستوم

۴-۳-۴- لکوموتیو زیمنس

در این لکوموتیوها مدار ترمز مستقیم شامل: شیر دستی برای قطع و وصل مدار ترمز مستقیم، منظم‌کنندهٔ فشار که فشار هوای مخزن اصلی به میزان ۸/۵–۹/۹bar را تا حداکثر ۳/۲bar تقلیل می‌دهد، یک شیر برقی برای اعمال ترمز مستقیم، یک شیر برقی برای آزادسازی ترمز مستقیم و یک مخزن ضربه‌گیر ۰/۵ لیتری است. در این لکوموتیوها از دوبله چک‌ولو برای جداسازی ترمز مستقیم و غیرمستقیم لکوموتیو استفاده نشده،

در عوض از رله‌ولو با دو ورودی فرمان هوا استفاده شده است. یک ورودی برای ترمز مستقیم و دیگری برای ترمز اتوماتیک در نظر گرفته شده است. فرمان ترمز مستقیم از مدار مذکور به رله‌ولوهای بوژی یک و دو صادر شده و با توجه به میزان فرمان ارسالی، به همان میزان از هوای مخزن اصلی به سیلندرهای ترمز شارژ می‌شود. دستهٔ ترمز مستقیم نیز در این لکوموتیوها دارای سه وضعیت ترمزگیری، آزادسازی و خنثی است. دستهٔ ترمز در وضعیت ترمزگیری کامل، قابلیت قفل شدن دارد.

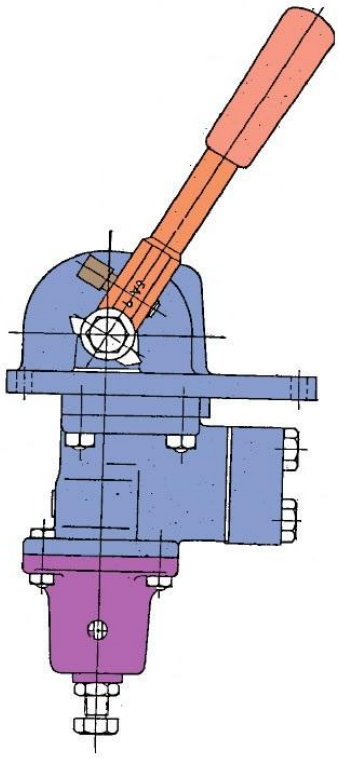
شکل ۴-۱۵) دستهٔ ترمز مستقیم لکوموتیو زیمنس ایران



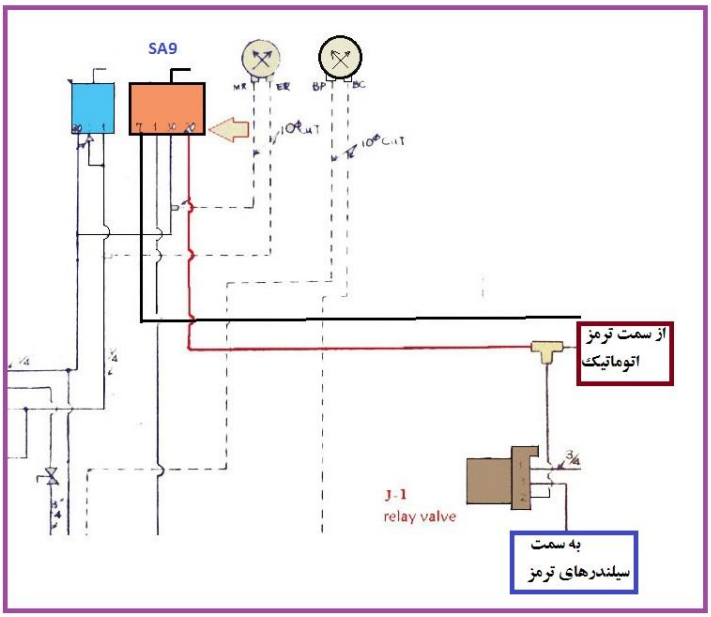
شکل ۴-۱۶) مدار ترمز مستقیم لکوموتیو زیمنس

۴-۳-۵- لکوموتیوهای هیتاچی

سیستم ترمز این لکوموتیوها از لحاظ مکانیزم عمل مشابه لکوموتیوهای GM است با این تفاوت که این لکوموتیوها شیر دوبله ندارند، لذا مدار فرمان ترمز مستقیم بدون عبور از شیر دوبله به دوبله چک‌ولو و از آنجا به سوپاپ j-1 ارسال می‌شود. سوپاپ ترمز مستقیم این لکوموتیوها مدل SA-9 است و عملکردی مشابه سوپاپ‌های SA-26 دارند. تنها تفاوت این سوپاپ با سوپاپ SA-26 در طریقهٔ آزادسازی ترمز اتوماتیک (BAIL-OFF) است. روش این کار در لکوموتیو هیتاچی بردن دستهٔ سه دنده در منتها علیه سمت چپ است؛ در حالی‌که در لکوموتیو GM باید دستهٔ سه دنده را به سمت پایین فشار دهیم.



شکل ۴-۱۷) دستهٔ ترمز مستقیم لکوموتیو هیتاچی



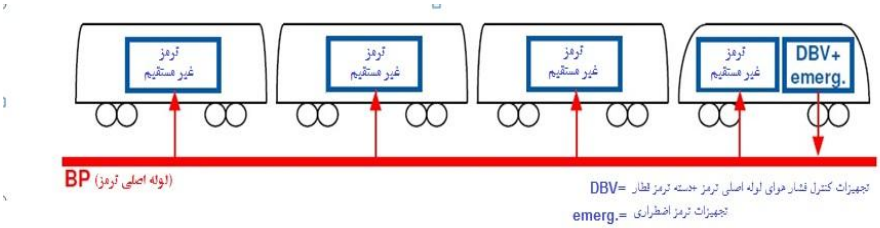
شکل۴-۱۸) مدار ترمز مستقیم لکوموتیو هیتاچی

۴-۴- سیستم کنترل ترمز غیرمستقیم قطار در لکوموتیوها

همان‌طور که در فصل ۲ اشاره شد ترمز مستقیم به‌دلیل ضعف شدیدی که در تأمین ایمنی قطار دارد، در واگن‌ها استفاده نمی‌شود و تنها برای وسایل نقلیهٔ محرک منفرد مانند لکوموتیو و جرثقیل ریلی استفاده دارد. مهم‌ترین ترمز هوایی قطار ترمز غیرمستقیم است که روز به روز پیشرفته‌تر و بهینه‌تر می‌شود. ترمز غیرمستقیم، ایمنی قطار را تضمین می‌کند به‌نحوی که در صورت رعایت دستورالعمل‌ها و سالم بودن تجهیزات، امکان فرار قطارها به‌دلیل ترمز نداشتن به صفر می‌رسد (در صورت گسیخته شدن یک قسمت از قطار، به‌دلیل پاره شدن لولهٔ اصلی قطار، فشار لولهٔ اصلی افت نموده و با عملکرد معکوس سوپاپ سه قلو، کل قطار ترمز می‌شود). علاوه بر آن با سیستم‌های ترمزی جدید، یک ترمز یکنواخت، یکسان و قوی در سرتاسر قطار خواهیم داشت.

همان‌طور که اشاره شد برای ترمزگیری و آزادسازی ترمز قطار فشار لولهٔ اصلی باید تغییر کند. در بیشتر کشورها فشار لولهٔ اصلی ترمز در حالت آزادسازی ترمز ۵ بار است. حال هر چه از این فشار کاسته شود، قدرت ترمزی بیشتر می‌شود و در فشار صفر بار، ترمز اضطراری خواهیم داشت. ترمز تدریجی از فشار ۴٫۸ بار تا ۳٫۵ بار در لولهٔ اصلی است. فشار ۴٫۸ بار شروع ترمزگیری و فشار ۳٫۵ بار در لولهٔ اصلی، ترمز تدریجی کامل است.

لذا برای کنترل ترمز کل قطار، کافی است فشار لولهٔ اصلی کنترل شود. برای کنترل فشار لولهٔ اصلی در همهٔ لکوموتیوها از یک مخزن معیار به نام مخزن تعادل (equalizing reservoir) استفاده می‌شود. فشار مخزن تعادل در هر سطحی باشد، فشار لولهٔ اصلی نیز به همان سطح خواهد رسید و این دو همیشه با یکدیگر به تعادل می‌رسند. برای کنترل فشار مخزن تعادل نیز از سوپاپ ترمز اتوماتیک (Driver's Brake valve) استفاده می‌شود.

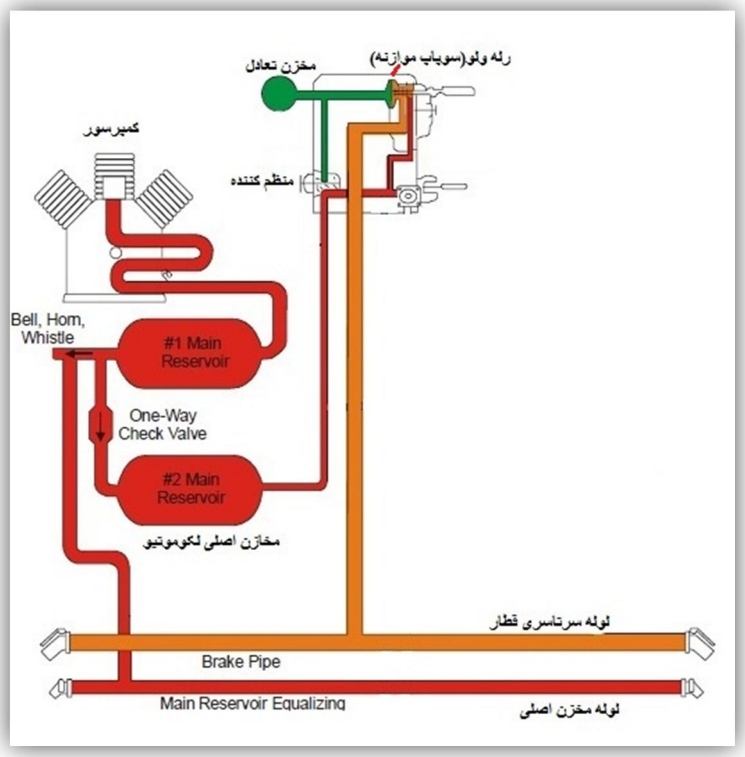


شکل ۴-۱۹) نمایش لولهٔ اصلی در قطار

به‌دلیل نقش مهم کنترل فشار لولهٔ اصلی قطار، از تجهیزات بسیار دقیق و با ضریب ایمنی بالا برای این امر استفاده می‌شودکه عبارتند از:

- منظم‌کننده (Regulating valve)
- مخزن تعادل (equalizing reservoir)
- رله‌ولو یا سوپاپ موازنه (Relay valve)
- اهرمی برای شارژ یا تخلیهٔ هوای لولهٔ اصلی(train brake handle)

- یک سوپاپ برای تخلیهٔ هوای مخزن تعادل
- یک سوپاپ برای شارژ هوای مخزن تعادل



شکل ۴- ۲۰) مدار شماتیک و ساده‌ای از کنترل فشار هوای لولهٔ اصلی

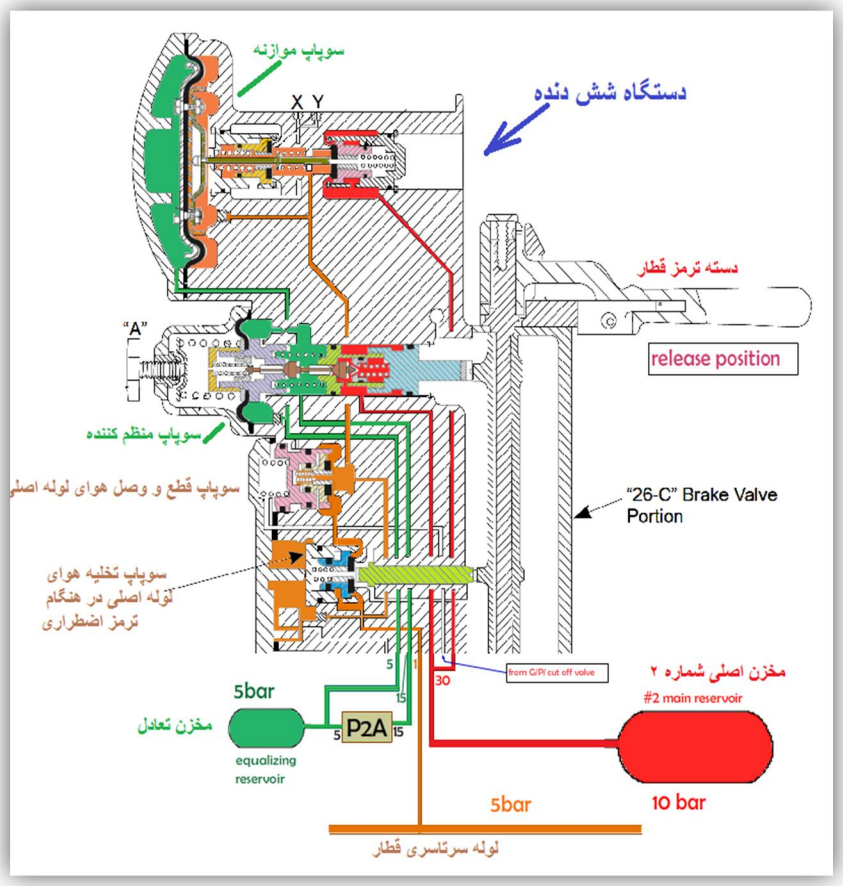
همان‌طور که در شکل(۴-۲۰) مشاهده می‌شود، هوای لولهٔ سرتاسری قطار از مخزن اصلی لکوموتیو تأمین می‌شود. چگونگی شارژ و تخلیهٔ هوای لولهٔ اصلی به‌شرح زیر است:

- شارژ و تخلیهٔ هوای لولهٔ سرتاسری قطار بر اساس میزان فشار هوای سمت چپ سوپاپ موازنه (رله‌ولو) که برابر با فشار مخزن تعادل نیز است، تعیین می‌گردد. فشار مخزن تعادل (به رنگ سبز) به هر میزان که باشد، فشار لولهٔ سرتاسری قطار نیز به همان میزان خواهد بود.
- مخزن تعادل توسط منظم‌کننده، شارژ و یا تخلیه می‌گردد. منظم‌کننده، هوای مخزن اصلی را گرفته و پس از تبدیل به فشار مد نظر (با توجه به استانداردهای هر کشور) به داخل مخزن تعادل می‌فرستد.
- شارژ و یا تخلیهٔ مخزن تعادل با حرکت دادن دستهٔ ترمز قطار و توسط سوپاپ‌های تخلیه و شارژ مخزن تعادل انجام می‌گیرد که در شکل(۴- ۲۰) این سوپاپ‌ها در داخل منظم‌کننده تجمیع شده‌اند؛ ولی در سیستم‌های ترمز جدید به‌صورت شیرهای برقی تعبیه می‌شوند.

۴-۴-۱-کنترل فشار لولهٔ اصلی در لکوموتیوهای ایران

۴-۴-۱-۱- لکوموتیوهای GM و GE

با توجه به این‌که سیستم ترمز این لکوموتیوها از نوع پنیوماتیکی – مکانیکی است، کل تجهیزات کنترل فشار لولهٔ اصلی قطار در یک مجموعه به‌نام دستگاه شش دنده (26-CAUTOMATIC BRAKE VALVE) شرکت وابکو قرار دارند. به شکل(۴-۲۱) توجه کنید.



شکل ۴-۲۱) مدار کنترل فشار هوای لولهٔ اصلی در لکوموتیوهای GMوGE (حالت هواگیری لولهٔ اصلی)

- **هواگیری لولهٔ اصلی قطار(آزادسازی ترمز)**

همان‌طور که در شکل (۴-۲۱) مشخص است، هوای مخزن اصلی وارد سوپاپ منظم‌کننده و سوپاپ موازنه می‌گردد. وقتی دستهٔ ترمز قطار در حالت آزادسازی قرار می‌گیرد، هوای مخزن اصلی وارد سوپاپ منظم‌کننده شده و از آنجا پس از عبور از سوپاپ P2A ، مخزن تعادل را شارژ می‌کند. هوای مخزن تعادل مجدداً وارد دستگاه شش‌دنده شده و به محفظهٔ سمت چپ دیافراگم سوپاپ موازنه جریان می‌یابد. لذا دیافراگم به سمت راست حرکت می‌کند و اسپول این سوپاپ راه هوای مخزن اصلی به لولهٔ سرتاسری قطار را باز می‌کند و هوای مخزن اصلی وارد لولهٔ اصلی می‌شود. براساس فشار تنظیم شده با فلکه A در سوپاپ منظم‌کننده و همچنین دیافراگم موجود در این سوپاپ حداکثر فشار مخزن تعادل و محفظهٔ سمت چپ دیافراگم سوپاپ منظم‌کننده تعیین می‌شود (که طبق توضیحات قبلی در ایران باید ۵ بار یا 70PSI باشد).

در هنگام شارژ لولهٔ اصلی در سوپاپ موازنه، مقداری از هوای لولهٔ اصلی به سمت راست دیافراگم سوپاپ موازنه جریان می‌یابد. هنگامی که فشار سمت چپ و راست دیافراگم موازنه برابر شد، دیافراگم و اسپول سوپاپ موازنه به سمت چپ حرکت نموده و از شارژ بیشتر لولهٔ اصلی جلوگیری می‌کند و سوپاپ‌ها به‌حالت تعادل می‌رسند. در صورت هرگونه نشتی از لولهٔ سرتاسری قطار، فشار سمت راست دیافراگم موازنه کاهش می‌یابد و مجدداً دیافراگم به سمت راست حرکت نموده و لولهٔ اصلی را شارژ و نشتی را جبران می‌کند. به این حالت سوپاپ، حالت خود آب‌بندی (SELF-LAPPING) گفته می‌شود که یکی از مهم‌ترین مزایای تجهیزات سیستم ترمز است و برای طراحی آن باید دقت کافی به‌عمل آید.

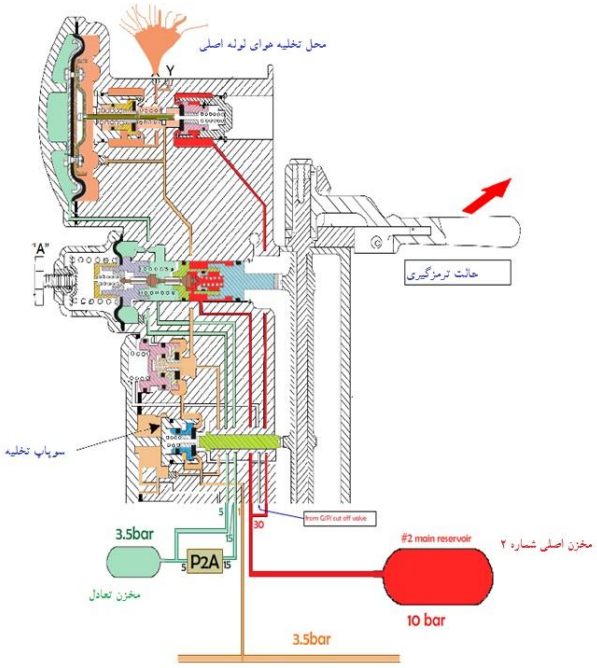
- **تخلیهٔ هوای لولهٔ اصلی (حالت ترمز تدریجی)**

برای تخلیهٔ هوای لولهٔ اصلی کافی است دستهٔ ترمز قطار در وضعیت ترمز قرار گیرد. با این کار سوپاپ منظم‌کننده هوای مخزن تعادل را به میزانی که لکوموتیوران درخواست نموده، تخلیه می‌کند. با کاهش فشار مخزن تعادل، فشار سمت چپ دیافراگم سوپاپ موازنه کاهش یافته و دیافراگم و اسپول سوپاپ موازنه به سمت چپ حرکت می‌کند. لذا سوپاپ تخلیهٔ موازنه باز شده و هوای لولهٔ اصلی همان‌طور که در شکل(۴-۲۲) مشخص است به هوای آزاد تخلیه می‌گردد. تخلیهٔ هوای لولهٔ اصلی تا جایی ادامه خواهد داشت که فشار لولهٔ

اصلی و فشار هوای سمت چپ دیافراگم موازنه به تعادل برسند؛ به‌عنوان مثال اگر لکوموتیوران دستهٔ ترمز را در وضعیت حداقل ترمز قرار دهد ۷PSI از هوای مخزن تعادل از طریق سوپاپ منظم‌کننده تخلیه می‌شود. لذا به همین میزان از فشار لولهٔ اصلی تخلیه شده تا فشار سمت چپ و راست دیافراگم موازنه به ۷۰–۷=۶۳PSI برسند.

در شکل(۴–۲۲) هوای مخزن تعادل و لولهٔ اصلی به میزان ۱/۵ بار کاهش یافته و هر دو در فشار ۳/۵ بار متعادل شده‌اند.

سوپاپ‌های دیگر دستگاه شش‌دنده شامل سوپاپ قطع ارتباط (برای قطع ارتباط شارژ لولهٔ اصلی قطار توسط مخزن اصلی در هنگام قرار دادن شیر خروسکی در حالت قطع ارتباط) و همچنین سوپاپ تخلیه (برای تخلیهٔ سریع هوای لولهٔ اصلی در هنگام ترمز اضطراری) می‌باشند.

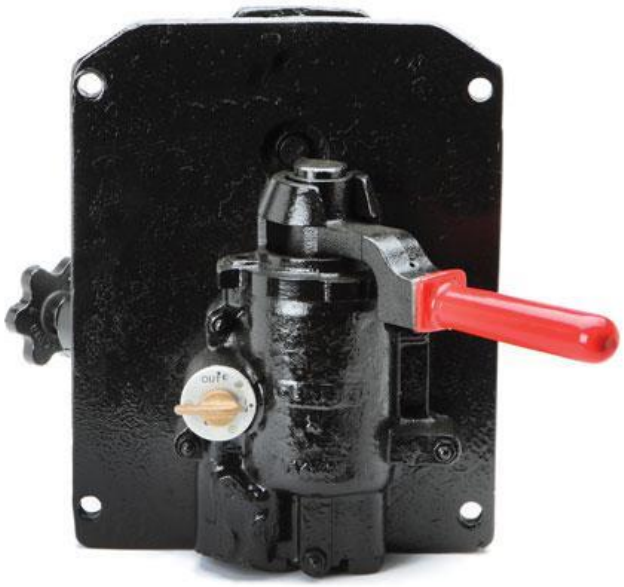


شکل ۴–۲۲) مدار کنترل فشار لولهٔ اصلی ترمز در لکوموتیوهای GMوGE ایران (حالت ترمزگیری)

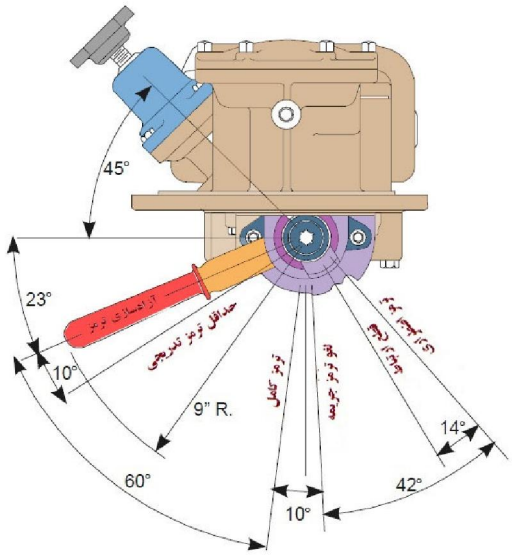
برای تخلیهٔ کامل هوای لولهٔ اصلی (برای ترمز اضطراری) کافی است دستهٔ ترمز در وضعیت ترمـز اضـطراری قرار گیرد. با این عمل هوای لولهٔ اصلی مستقیماً توسط سوپاپ تخلیـه (VENT VALVE) و هـوای مخـزن تعادل توسط سوپاپ ترمز اضطراری (EMERGENCY VALVE) به‌طور کامل به هوای آزاد تخلیه خواهد شد و فشار لولهٔ اصلی به صفر بار تقلیل خواهد یافت.

- **دستهٔ ترمز شش‌دنده**

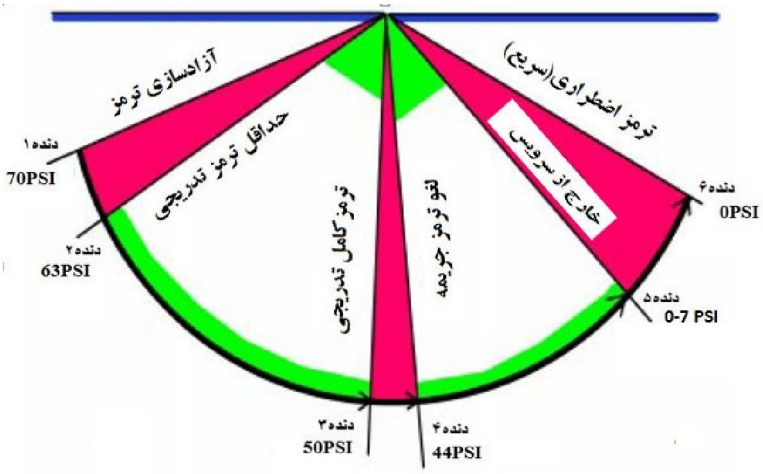
دستهٔ ترمز قطار در لکوموتیوهای GMوGE دارای ۶ وضعیت ترمزی و یک میدان ترمز است. به شکل‌هـای (۴-۲۳)، (۴-۲۴) و (۴-۲۵)توجه کنید:



شکل۴-۲۳) نمای کلی از دستگاه شش دنده



شکل۴-۲۴) وضعیت‌های مختلف دستهٔ شش دنده



شکل ۴-۲۵) فشار هوای لولهٔ اصلی در دنده‌های مختلف دستگاه شش دنده

وضعیت‌های مختلف دستهٔ شش‌دنده به‌شرح ذیل است:

دنده ۱ : آزادسازی: در این وضعیت لولهٔ ترمز قطار، لکوموتیو و تجهیزات ترمز هواگیری می‌شوند. در این حالت سیستم ترمز آزاد می‌شود.

دنده ۲ : حداقل ترمز تدریجی: وقتی سیستم ترمز به‌طور کامل شارژ است با قرار گرفتن دستهٔ ترمز در این دنده، هوای لولهٔ ترمز به میزان PSI ۹-۶ تخلیه می‌شود.

دنده ۳ : ترمز کامل: در این حالت حداکثر فشار ممکنه در سیلندر ترمز با کاهش PSI ۲۶-۲۳ یا ۱/۵ بار از لولهٔ ترمز ایجاد می‌شود.

دنده ۴ : لغو ترمز جریمه: با قرار دادن دستهٔ ترمز در این حالت، ترمز از حالت جریمه (به‌عنوان مثال عمل کردن پدال ایمنی)، خارج و لغو می‌شود.

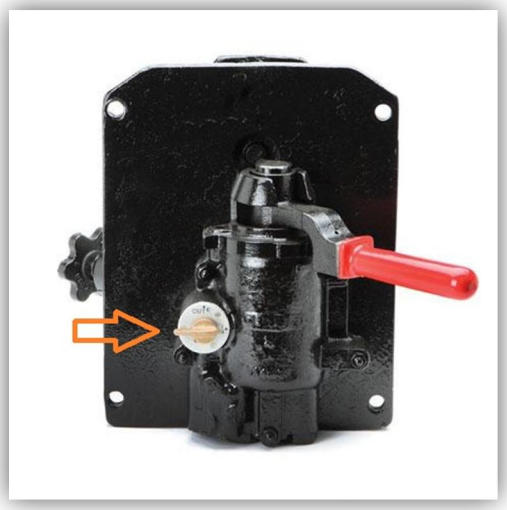
دنده ۵ : قطع ارتباط: در این حالت می‌توان دستهٔ شش‌دنده را از محل خود خارج نمود. برای دوبله کردن لکوموتیو یا حمل سرد، دستهٔ ترمز باید در این وضعیت قرار گیرد.

دنده ۶: ترمز اضطراری: در این وضعیت هوای لولهٔ اصلی به‌سرعت تخلیه شده و فشار سیلندر ترمز در بیشترین حد خود قرار می‌گیرد. در برخی مدارهای مجهز به سوپاپ A-1 در صورتی که مدار گسیختگی عمل نماید برای بازگشت به حالت نرمال، دستهٔ ترمز در این دنده قرار می‌گیرد (در بخش مدار حفاظت از گسیختگی توضیح داده می‌شود).

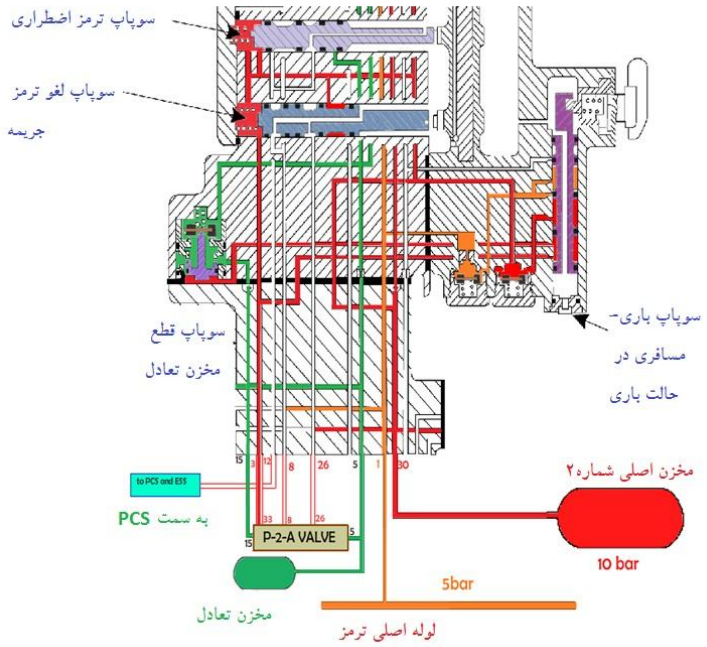
مسیر حرکت دستهٔ ترمز قطار از دنده ۲ تا دنده ۳ را "میدان ترمز" می‌گویند؛ به این معنی که دستهٔ ترمز در این میدان قابلیت توقف داشته و به‌میزان حرکت دستهٔ شش دنده، ترمزگیری و یا آزادسازی تدریجی انجام می‌شود. آزادسازی تدریجی در لکوموتیوهای GM هنگامی‌که شیر خروسکی در حالت مسافری قراردارد، امکان‌پذیر می‌باشد. وقتی شیر خروسکی در حالت باری باشد، آزادسازی ترمز فقط در حالت اول دستهٔ شش‌دنده صورت می‌گیرد و آزادسازی تدریجی نداریم.

نکته (۱): *سوپاپ ترمز شش‌دنده C-26 در لکوموتیوهای GM موجود در ایران دارای شیر تغییر وضعیت باری- مسافری- قطع ارتباط است. تفاوت قرار دادن سوپاپ شش‌دنده در حالت باری و مسافری در این است که در حالت مسافری ترمزگیری و آزادسازی به‌صورت تدریجی انجام می‌گیرد ولی در حالت باری، ترمزگیری به‌صورت تدریجی انجام می‌شود اما آزادسازی به‌صورت تدریجی قابل اعمال نیست و باید حتماً دستهٔ ترمز قطار در وضعیت آزادسازی کامل (دنده ۱) قرار گیرد. حالت قطع ارتباط برای قطع رابطهٔ بین مخزن اصلی و لولهٔ سرتاسری قطار است؛ به این نحو که با قرار دادن شیر باری- مسافری در وضعیت قطع ارتباط سوپاپ قطع‌کننده عمل نموده و راه شارژ هوای مخزن اصلی به لولهٔ سرتاسری در داخل شش‌دنده مسدود می‌گردد. هدف از این وضعیت، ابتدا تست نشتی قطار می‌باشد و در وهلهٔ دوم برای دوبله نمودن و حمل سرد لکوموتیوها، لکوموتیو یدک یا سرد در این وضعیت قرار می‌گیرد.*

نکته(۲): *در لکوموتیوهای GE دستگاه شش‌دنده (C-26) فقط دارای حالت باری و قطع ارتباط و فاقد حالت مسافری است.*



شکل ۴-۲۶)محل شیر خروسکی دستگاه شش دنده



شکل۴- ۲۷) هواگیری سوپاپ شش دنده در حالت باری

در صورتی که شیر خروسکی در حالت باری باشد، هوای زیر سوپاپ قطع‌کننده هواگیری مخزن تعادل (Equalizing reservoir cut off valeve) تا زمانی‌که دستهٔ شش‌دنده در حالت آزادسازی کامل قرار نگرفته باشد، تأمین نمی‌گردد و لذا ترمز آزاد نمی‌شود. به محض قرار دادن دستهٔ شش‌دنده در حالت آزادسازی کامل (دنده ۱) هوای مخزن اصلی به زیر سوپاپ فوق هدایت شده و باعث شارژ مخزن تعادل و آزادسازی ترمز قطار می‌شود(شکل۴-۲۷).

سوپاپ‌های دیگر دستگاه شش‌دنده در شکل(۴-۲۷) شامل سوپاپ اضطراری (emergency valve) برای تخلیهٔ سریع هوای مخزن تعادل در هنگام ترمز اضطراری و سوپاپ لغو ترمز جریمه (suppression valve) برای لغو ترمز جریمه در هنگام عمل کردن پدال ایمنی با قرار دادن دستهٔ ترمز در دنده ۴ می‌باشند.

پورت‌های دستگاه شش دنده شامل: ۱– لولهٔ اصلی قطار، ۳۰ – لولهٔ مخزن اصلی، ۵ – مخزن تعادل، ۱۵ – منظم‌کننده، ۱۲– لولهٔ راه‌انداز PCS (سوییچ قطع قدرت) و ESS (سوییچ شن‌پاش) ۳، ۸،۲۶– مربوط به لغو ترمز جریمه سوپاپ P2A می‌باشند.

۴-۴-۱-۲- لکوموتیو چینی DF8

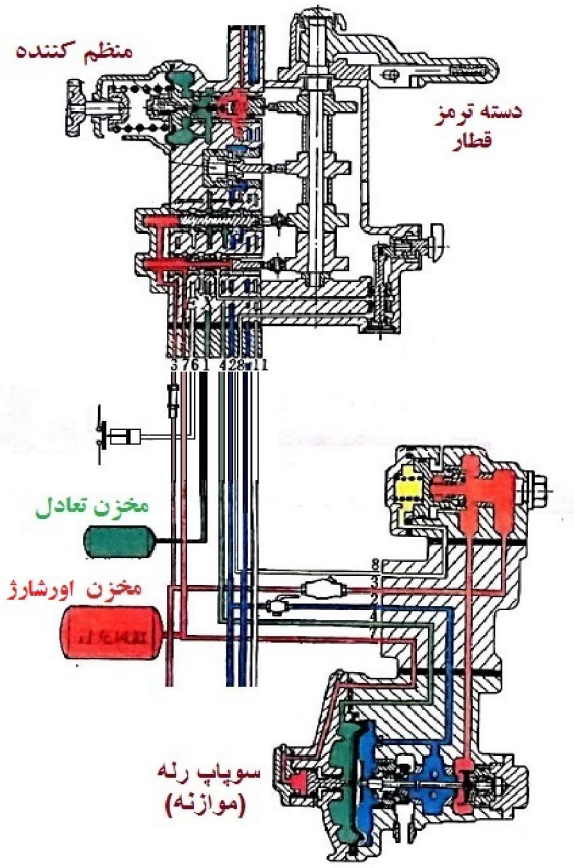
سیستم ترمز غیرمستقیم این لکوموتیوها نیز مشابه لکوموتیوهای GMوGE است، با این تفاوت که بخش سوپاپ موازنه از دستگاه شش‌دنده جدا نصب می‌شود و در یک مجموعه نمی‌باشند (شکل ۴–۲۸). کل دستگاه شش‌دنده و سه‌دندهٔ این لکوموتیو در یک مجموعه به نام سوپاپ ترمز اتوماتیک مدل JZ-7GYV قرار دارد.

دستهٔ سوپاپ ترمز اتوماتیک لکوموتیو چینی دارای شش حالت: آزادسازی کامل، حداقل ترمز تدریجی، ترمز کامل، لغو ترمز جریمه، قطع ارتباط و ترمز اضطراری است. همچنین این دسته دارای میدان ترمز تدریجی است.

فشار تنظیمی سوپاپ ترمز اتوماتیک در این لکوموتیوها برای لولهٔ اصلی ترمز ۵۰۰ kpa معادل ۵bar است. امکان افزایش فشار لولهٔ اصلی ترمز برای اورشارژ هوای لولهٔ اصلی به میزان ۴۰kpa–۳۰ معادل ۰/۴bar–۰/۳ وجود دارد. برای بازگشت از حالت اورشارژ دستهٔ ترمز قطار باید به مدت ۱۵۰ الی ۱۸۰ ثانیه در وضعیت آزادسازی قرار گیرد تا برای سیر قطار فشار لولهٔ اصلی به فشار نرمال برسد.

حداقل کاهش فشار لولهٔ اصلی برای شروع ترمز ۵۵ kpa–۴۵ است و حداکثر ترمز وقتی اعمال می‌شود که کاهش فشار ۱۴۰kpa را در لولهٔ اصلی ترمز داشته باشیم. زمانی حدود ۶ الی ۹ ثانیه طول می‌کشد تا بر اثر فعال شدن سیستم ترمز غیرمستقیم، فشار سیلندر ترمز به حداکثر مقدار خود یعنی ۳۸۰kpa–۳۴۰ برسد. برای آزادسازی ترمز از این حالت ۵ الی ۹ ثانیه طول می‌کشد تا فشار سیلندر ترمز از حداکثر مذکور به ۳۵kpa برسد.

در حالت ترمز اضطراری در کمتر از ۳ ثانیه فشار لولهٔ اصلی ترمز به صفر تقلیل می‌یابد. ۴ الی ۷ ثانیه طـول می‌کشد تا فشار سیلندر ترمز به حداکثر میزان خود یعنی kpa ۴۷۰–۴۲۰ برسد.

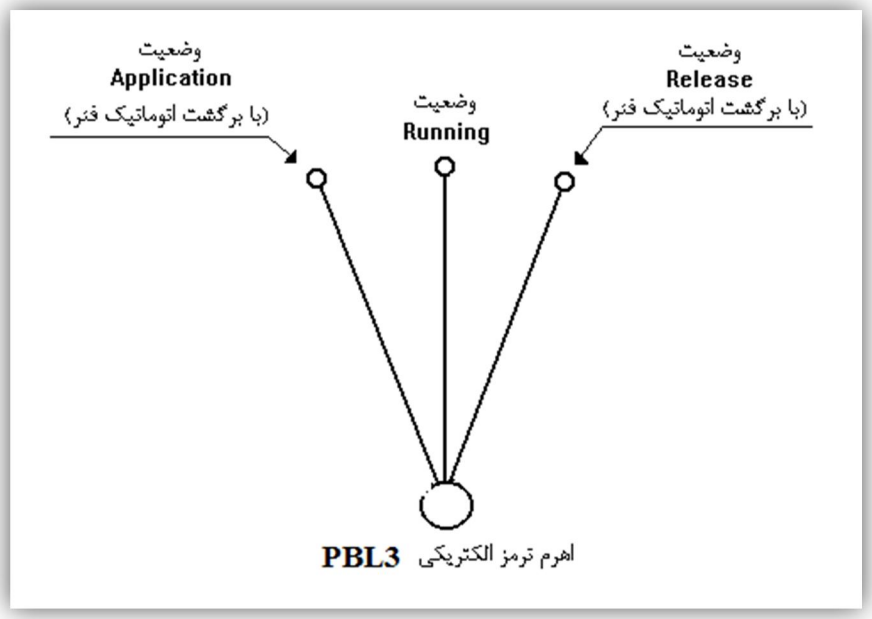


شکل ۴–۲۸) سوپاپ ترمز اتوماتیک (شش دنده) لکوموتیو چینی DF8 (سوپاپ موازنه از دستگاه شش دنده جدا نصب می شود)

۴-۴-۱-۳- لکوموتیو آلستوم

اهرم ترمز قطار در سیستم الکتروپنیوماتیک، از نوع الکتریکی است که در اثر قرارگیری آن در یک موقعیت خاص، کنتاکت‌هایی را قطع و یا وصل می‌کند؛ در نتیجه فرامینی که لکوموتیوران برای ترمز و یا آزادسازی ترمز احتیاج دارد، به‌صورت سیگنالهای الکتریکی به واحد کنترل الکتروپنیوماتیک ارسال می‌شود و واحد کنترل نیز فشار لولهٔ اصلی ترمز را نسبت به فرمان خواسته شدهٔ لکوموتیوران تنظیم می‌کند. عملکرد اهرم ترمز الکتریکی تابع زمان است؛ بدان معنی که مقدار فشار در لولهٔ ترمز، بستگی به زمان نگه‌داشتن اهرم ترمز در موقعیت ترمز و یا آزادسازی ترمز دارد.

دستهٔ ترمز غیرمستقیم(ترمز قطار)در لکوموتیوهای آلستوم ایران دارای سه وضعیت: آزادسازی، خنثی و ترمز تدریجی است که در شکل(۴-۲۹) نشان داده شده است.



شکل ۴-۲۹) حالت‌های دستهٔ ترمز قطار در لکوموتیوهای آلستوم

شکل ۴-۳۰) اهرم ترمز قطار در لکوموتیوهای آلستوم

کنترل فشار لولهٔ اصلی ترمز در لکوموتیوهای آلستوم

تجهیزات کنترل فشار لولهٔ اصلی در این لکوموتیوها مطابق با شکل(۴-۳۱) به‌شرح ذیل است:

– منظم‌کننده (DE(PI))10bar to 5 bar: هوای مخزن اصلی را برای هواگیری مخزن تعادل تنظیم می‌کند.

– شیر برقی تخلیهٔ هوای مخزن تعادل (اعمال ترمز) (VE(SG: باعث تخلیهٔ هوای مخزن تعادل مطابق با فرمان ترمز لکوموتیوران می‌شود.

– شیر برقی شارژ مخزن تعادل (آزادسازی ترمز) (VE(DG): باعث هواگیری مخزن تعادل مطابق با فرمان آزادسازی ترمز توسط لکوموتیوران می‌شود.

– سوییچ فشاری برای کنترل شارژ اولیهٔ لولهٔ سرتاسری قطار در هنگام روشن شدن لکوموتیو تا ۳ بار(MD(IN: این سوییچ در هنگام روشن شدن لکوموتیو هوای لولهٔ اصلی را به‌صورت اتوماتیک تا ۳ بار هواگیری می‌کند.

– سوئیچ فشاری برای اعمال حداقل ترمز(نیش ترمز)(MD(PD: وقتی لکوموتیوران بـه دسـتهٔ ترمـز قطـار در جهت ترمزگیری (به سمت لکوموتیوران) یک ضربه می‌زند، هوای لولهٔ اصـلی ۰/۲ بـار بـه‌صـورت اتوماتیـک توسط این سوییچ کاهش می‌یابد و اصطلاحاً نیش ترمز زده می‌شود.

– مخزن تعادل(۴لیتر) RE: برای کنترل رله‌ولو هواگیری و تخلیهٔ هوای لولهٔ اصلی استفاده می‌شود.

– رله‌ولو با دو ورودی هوا (ورودی دوم برای هواگیری سـریع لولـهٔ اصـلی) (Q(P)CG): ایـن رلـه‌ولـو مشـابه سوپاپ موازنه شش‌دنده اجازهٔ شارژ و یا تخلیهٔ هوای لولهٔ اصلی را مطـابق بـا فشـار مخـزن تعـادل مـی‌دهـد. ورودی دوم این سوپاپ برای شارژ با دبی و فشار بیشتر(تا۵/۴بار) لولهٔ اصلی قطار است.

– شیر رله‌ای قطع ارتباط لولهٔ اصلی (VV(IS)CG): با فرمان شیر برقی قطع ارتباط، راه شـارژ لولـهٔ اصـلی را سد می‌کند(برای تست نشتی لولهٔ اصلی).

– شیر برقی قطع ارتباط لولهٔ اصلی(VE(N: با فشردن پوش‌باتن قطع ارتباط در کابین لکوموتیوران این مگنت ولو فعال شده و هوای لازم برای شیر رله‌ای قطع ارتباط را فراهم می‌کند.

– شیر برقی هواگیری سریع لولهٔ اصلی(VE(SUR: با فشردن پوش‌باتن هواگیری سریع (اورشـارژ) ایـن شـیر برقی فعال شده و هوای لازم برای ورودی دوم رله‌ولو شارژ لولهٔ اصـلی و همچنـین شـارژ مخـزن هـواگیری سریع را فراهم می‌کند.

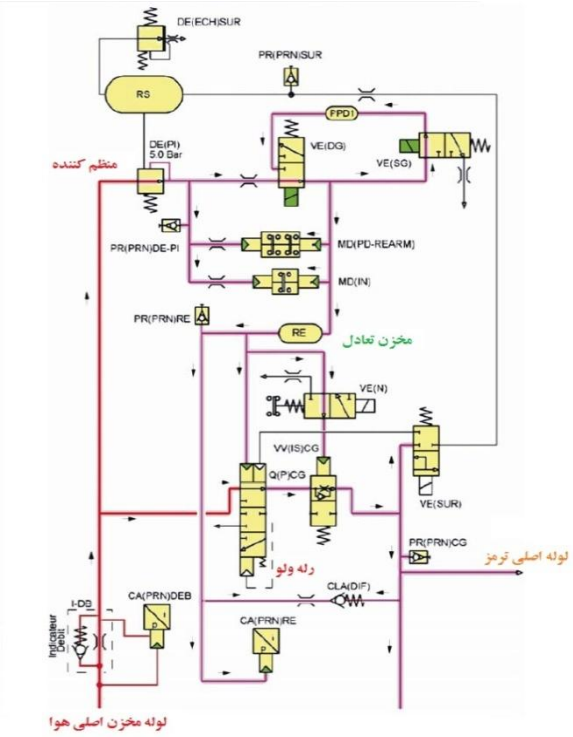
– مخزن هواگیری سریع RS: این مخزن بر روی منظم‌کنندهٔ لولهٔ اصلی قطار قرار گرفتـه و در صـورت شـارژ شدن، خروجی منظم‌کننده را از ۵ بار به ۵/۴ بار افزایش می‌دهد.

– سوپاپ منظم‌کنندهٔ هواگیری سریع (DE(ECH)SUR): فشار مخزن اورشارژ را برای کنترل فشار در سطح تنظیمی ۵/۴ بار سوپاپ منظم‌کننده (DE(PI) ثابت نگه می‌دارد و فشار اضافی داخل مخزن را بـه هـوای آزاد تخلیه می‌کند.

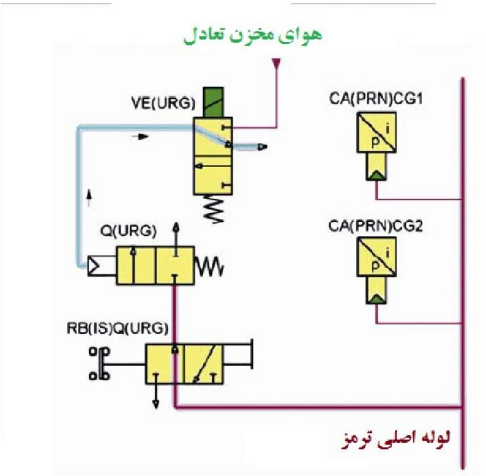
– رله‌ولو ترمز اضطراری(Q(URG: با فعال شدن این رله‌ولو، هوای لولهٔ اصلی به‌طور کامل بـه هـوای آزاد راه یافته و فشار لولهٔ اصلی به صفر کاهش می‌یابد؛ در نتیجه ترمز اضطراری رخ می‌دهد. هوای تغذیهٔ این رله‌ولـو از مخزن تعادل گرفته می‌شود. طبیعی است که ترمز اضطراری وقتی عمل می‌کند که مخزن تعادل دارای هوا باشد.

– شیر برقی ترمز اضطراری(VE(URG: با فرمان ترمز اضطراری از تجهیزات ایمنی لکوموتیو، این شیر برقی باز شده و راه هوای تغذیهٔ رله‌ولو ترمز اضطراری را باز می‌کند و باعث ترمزگیری اضطراری در قطار می‌شود.

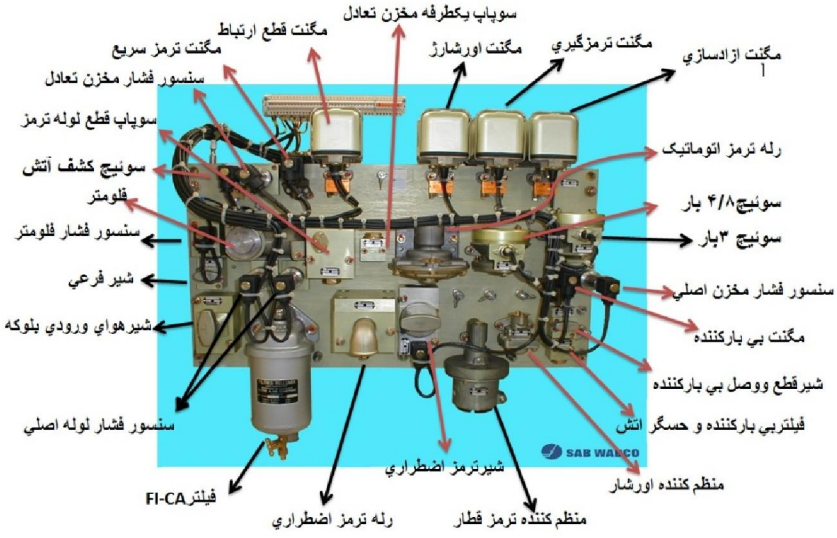
– شیر دستی قطع و وصل مدار ترمز اضطراری(RB(IS)Q(URG: با بستن این شـیر، مـدار ترمـز اضـطراری لکوموتیو قطع می‌شود.



شکل ۴-۳۱) مدار کنترل فشار هوای لولهٔ اصلی لکوموتیو آلستوم



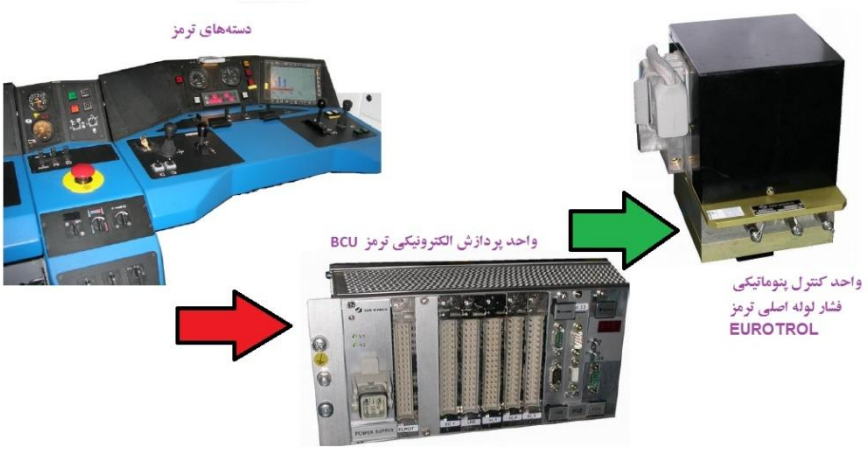
شکل ۴-۳۲) مدار ترمز اضطراری اتوماتیک لکوموتیو آلستوم



شکل ۴-۳۳) پانل تجهیزات کنترل فشار لولهٔ اصلی ترمز لکوموتیو آلستوم

۴-۴-۱-۴- لکوموتیو زیمنس

در ایـن لکوموتیوهـا کنتـرل فشـار هـوای لولـهٔ اصـلی قطـار توسـط واحـد کنتـرل الکترونیکـی ترمز (BRAKE CONTROL UNIT) تحت کنترل است؛ بدین صورت که فرمان لکوموتیـوران بـه‌وسـیله سیگنال‌های الکتریکی به واحد الکترونیکی ترمز صادر و پـس از پـردازش در ایـن واحـد، فرمـان مناسـب بـه شیرهای برقی ارسال می‌گردد. شیرهای برقی مطابق با فرمان واصله از BCU عملیات شارژ و یا تخلیهٔ هـوای لولهٔ اصلی را انجام می‌دهند. تجهیزات پنیوماتیکی کنترل فشار لولهٔ اصلی در لکوموتیوهای زیمـنس بـه‌دلیـل اهمیت این مدار، در داخل یک مجموعهٔ بسته به نام یوروترول(EUROTROL) قرار گرفته‌اند.



شکل ۴-۳۴) ارتباط بین دستهٔ ترمز قطار، واحد کنترل الکترونیکی ترمز BCU و یوروترول

شکل ۴-۳۵) حالت‌های دستهٔ ترمز قطار در لکوموتیو زیمنس

مدار کنترل فشار هوای لولهٔ اصلی در لکوموتیو زیمنس (یوروترول)

این مدار شامل تجهیزات مشروحهٔ ذیل است (شکل ۴- ۳۶):

- فیلتر ۰۶ : برای جلوگیری از ورود هرگونه آلودگی به داخل یوروترول

- منظم‌کننده ۰۵ (10bar to 5.8 bar): تنظیم فشار مخزن اصلی برای شارژ مخزن تعادل

- شیر برقی ۰۴ : شیر یدکی در صورت خراب شدن شیر برقی ۰۳

- شیر برقی ۰۳ : شیر برقی برای شارژ هوای مخزن تعادل (آزادسازی ترمز یا شارژ لولهٔ اصلی ترمز)

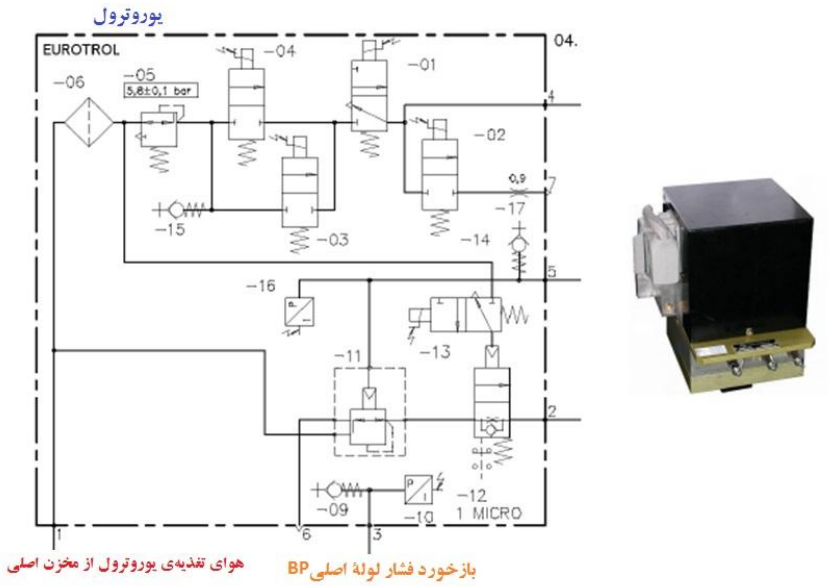
– شیر برقی ۰۱ : برای تخلیهٔ سریع هوای مخزن تعادل (اعمال ترمزسریع یا تخلیهٔ سریع هوای لولهٔ اصلی)

نکته: *در هنگام ترمز تدریجی در ابتدا این شیر فعال می‌شود تا در کمتر از ۰/۵ ثانیه ۰/۵ بار از هوای مخزن تعادل و به‌طبع آن لولهٔ اصلی را کاهش دهد که به آن حداقل ترمزی یا نیش ترمز گفته می‌شود. هدف از این موضوع ایجاد شوک به سوپاپ‌های سه قلو است. در هنگام ترمز اضطراری و همچنین خاموش نمودن لکوموتیو، این شیر هوای مخزن تعادل را به‌طور کامل تخلیه می‌کند.*

– شیر برقی ۰۲ : برای تخلیهٔ تدریجی هوای مخزن تعادل (اعمال ترمز تدریجی یا تخلیهٔ تدریجی هوای لولهٔ اصلی قطار)

– رله‌ولو ۱۱: با توجه به فشار مخزن تعادل، فشار لولهٔ اصلی قطار را تنظیم می‌کند. تغذیهٔ این رله‌ولو همانند سایر لکوموتیوها از مخزن اصلی است و مطابق با فشار مخزن تعادل از مخزن اصلی به لولهٔ اصلی قطار هوارسانی می‌کند. در هنگام ترمز نیز از همین رله‌ولو هوای لولهٔ اصلی تخلیه می‌شود.

– شیر هوایی ۱۲ و شیر برقی ۱۳: برای افزایش دبی هوای ارسالی از مخازن اصلی به‌سمت لولهٔ اصلی ترمز با فرمان لکوموتیوران، سیگنالی به BCU ارسال می‌شود. BCU نیز فرمان تحریک شیر برقی ۱۳ را صادر می‌کند و موجب فعال شدن شیر هوایی ۱۲ می‌شود. با قرار گرفتن شیر هوایی در حالت دوم خود، هوای ارسالی برای تغذیهٔ لولهٔ اصلی، دیگر از چوک داخل شیر هوایی عبور نمی‌کند و مستقیماً لولهٔ اصلی را از مسیر قطورتر شارژ می‌کند؛ لذا شارژ لولهٔ اصلی با سرعت بیشتر انجام می‌شود. به این عمل اورشارژ لولهٔ اصلی نیز گفته می‌شود.



شکل ۴– ۳۶) مدار کنترل فشار لولهٔ اصلی ترمز در لکوموتیوهای زیمنس ایران

پورت‌های یوروترول مطابق با شکل (۴-۳۶):

پورت شماره ۱ : به مخازن اصلی هوا

پورت شماره ۲ : به لولهٔ اصلی ترمز (لولهٔ سرتاسری قطار ۵ بار)

پورت شماره ۳ : بازخورد(feedback) فشار هوای لولهٔ اصلی در یوروترول

پورت شماره ۴ : مسیر شارژ و یا تخلیهٔ مخزن تعادل

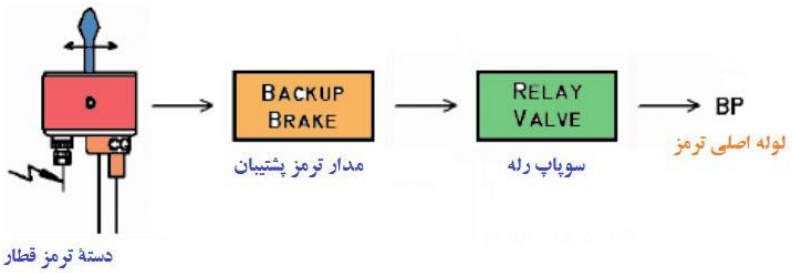
پورت شماره ۵ : هوای ارسالی از مخزن تعادل برای کنترل رله‌ولو یوروترول

پورت شماره ۶ : تخلیهٔ رله‌ولو

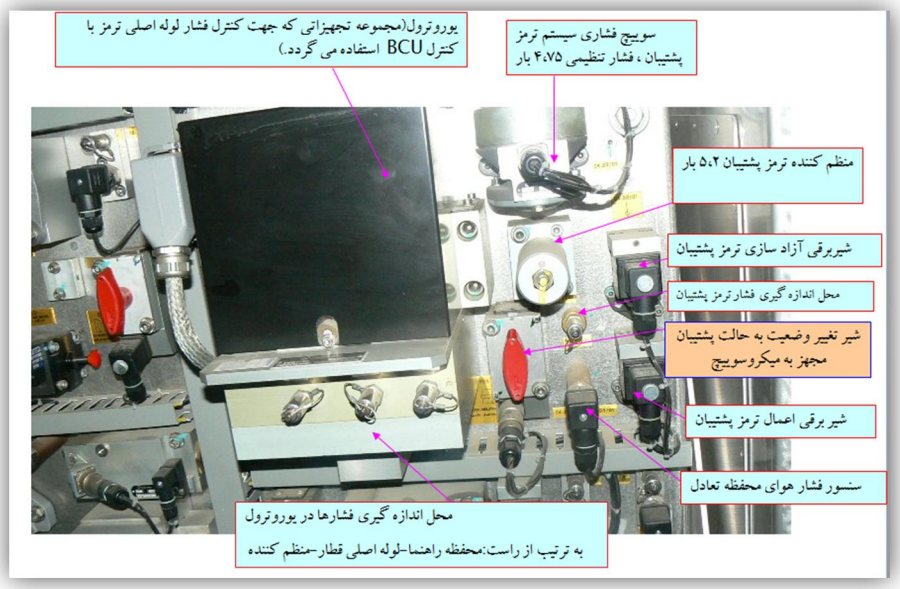
پورت مشاره ۷ : تخلیهٔ ترمز تدریجی

- **سیستم ترمز پشتیبان BACKUP در لکوموتیو زیمنس**

با توجه به اهمیت سیستم کنترل فشار لولهٔ اصلی و با توجه به امکان خرابی سیستم کنترل الکترونیکی ترمز، یک سیستم پشتیبان برای کنترل الکترونیکی در لکوموتیوهای زیمنس در نظر گرفته شده است که به آن سیستم ترمز پشتیبان(backup) گفته می‌شود. روش کار این سیستم به این نحو است که در صورت خرابی سیستم کنترل الکترونیک شیر تغییر وضعیت دستی از حالت الکترونیکی به حالت الکتریکی (که در کنار یوروترول قرار دارد) را تغییر وضعیت می‌دهیم. با این کار سیستم ترمز الکترونیکی قطع و ترمز یدک وارد مدار می‌شود. نحوهٔ کنترل این مدار تقریباً شبیه به لکوموتیوهای آلستوم است و فرمان ترمزی لکوموتیوران مستقیماً به شیرهای برقی کنترل فشار هوای لولهٔ اصلی منتقل می‌شود. از این به بعد این شیرهای برقی وظیفهٔ شارژ و یا تخلیهٔ مخزن تعادل را به‌عهده می‌گیرند و واحد کنترل الکترونیکی ترمز BCU از مدار خارج می‌شود. در شکل‌های (۴-۳۷) و(۴-۳۸) نحوهٔ ارتباط دستهٔ ترمز قطار با سیستم ترمز پشتیبان و تجهیزات این مدار نشان داده شده است.



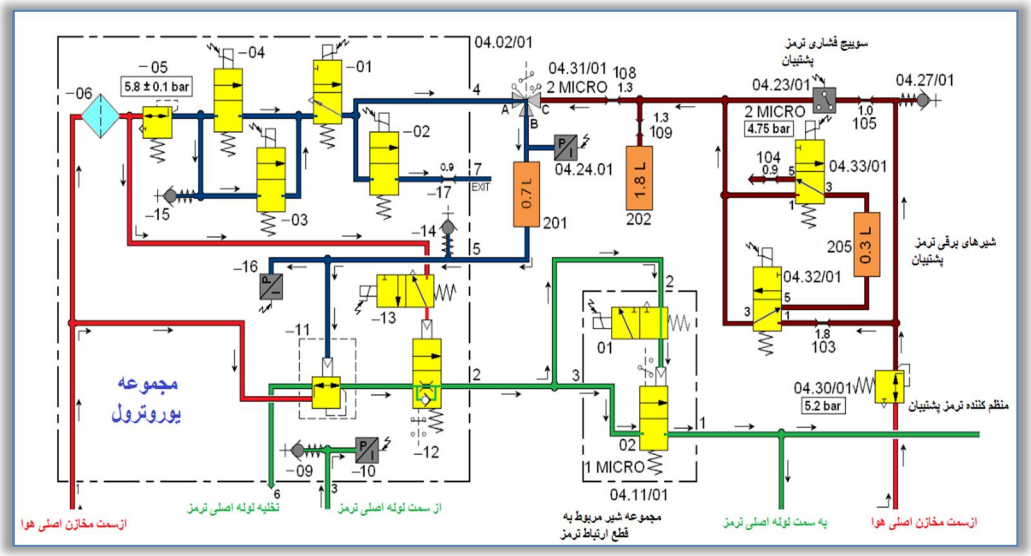
شکل ۴-۳۷) ارتباط اجزای سیستم ترمز پشتیبان لکوموتیو زیمنس



شکل ۴-۳۸) مدار کنترل فشار لولهٔ اصلی قطار در پانل ترمز لکوموتیو زیمنس

مدار کنترل فشار لولهٔ اصلی قطار توسط یوروترول و سیستم ترمز پشتیبان در شکل(۴-۳۹) نشان داده شده است. با تغییر وضعیت شیر 04.31/01 به حالت ترمز پشتیبان، کنترل شارژ و تخلیهٔ هوای مخزن تعادل (شماره ۲۰۱ با حجم ۰/۷ لیتر) به عهدهٔ شیرهای برقی شماره 04.33/01، 04.32/01 و منظم‌کنندهٔ 04.30/01 قرار می‌گیرد.

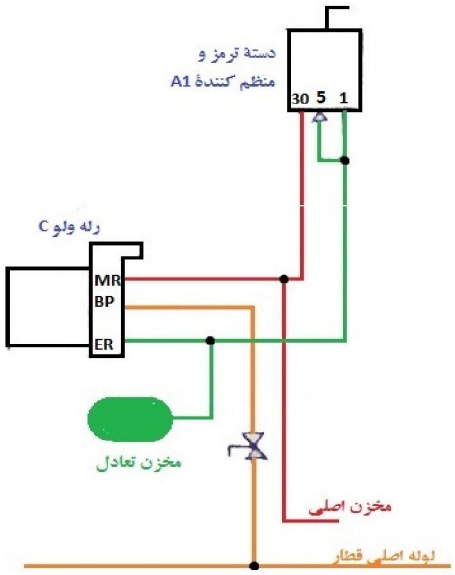
مجموعه شیرهای 04.11/01 وظیفهٔ قطع ارتباط لوله اصلی (مشابه شیر خروسکی لکوموتیو GM در حالت قطع ارتباط) را به‌عهده دارند که توسط یک پوش‌باتن در کنسول لکوموتیوران قطع و و صل می‌گردد و برای تست نشتی قطار استفاده می‌شود.



شکل ۴-۳۹) مدار سیستم کنترل هوای لولهٔ اصلی در لکوموتیو زیمنس

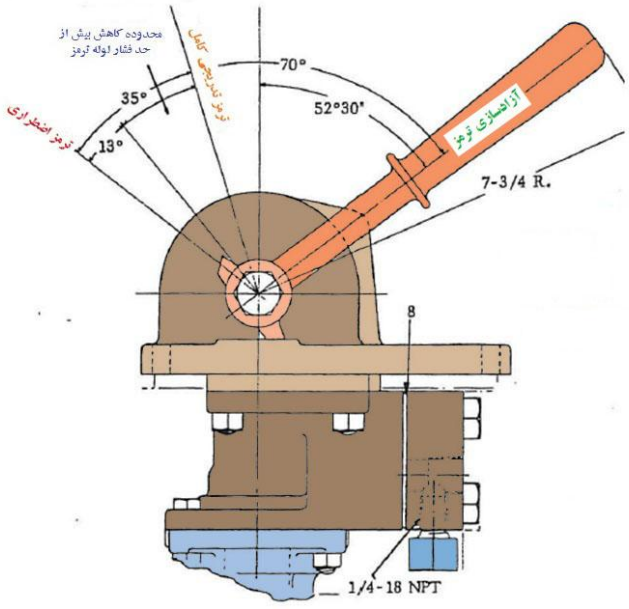
۴-۴-۱- ۵- لکوموتیوهای هیتاچی

کنترل فشار لولهٔ اصلی قطار در این لکوموتیوها شبیه به لکوموتیوهای GMوGE است؛ با این تفاوت که دستهٔ ترمز قطار و منظم‌کننده در یک مجموعه به نام سوپاپ A9 قرار دارد و سوپاپ موازنه به‌صورت جداگانه به نام رله‌ولو C(C relay valve) نصب شده است .



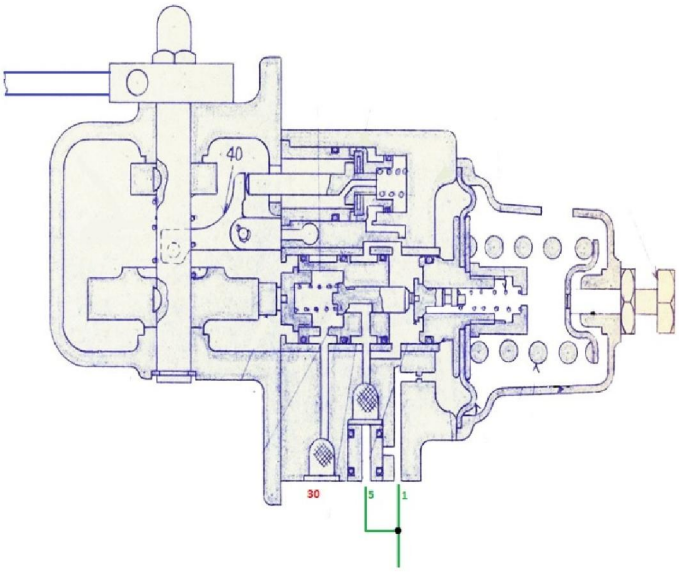
شکل ۴-۴۰) مدار سیستم کنترل هوای لولهٔ اصلی در لکوموتیو هیتاچی

شکل ۴-۴۱) سوپاپ ترمز اتوماتیک A-9

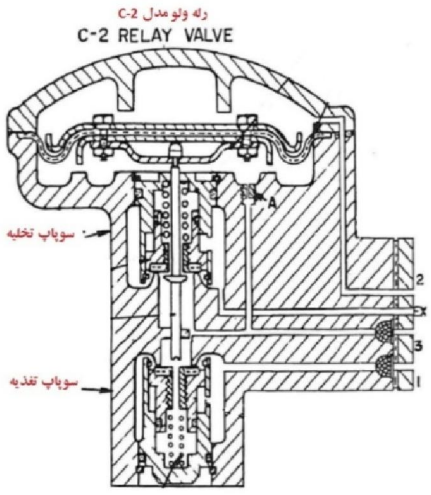


شکل ۴-۴۲) حالت‌های دستهٔ ترمز قطار در لکوموتیو هیتاچی ایران

- **حالت‌های دستهٔ ترمز لکوموتیو هیتاچی**
  - آزادسازی کامل
  - میدان ترمز تدریجی
  - ترمز تدریجی کامل
  - میدان کاهش بیش از حد فشار لولهٔ اصلی ترمز
  - ترمز اضطراری



شکل ۴-۴۳) نمای داخلی سوپاپ A-9



شکل ۴-۴۴) رله‌ولو نوع "C"

همان‌طور که در شکل(۴-۴۴) مشاهده می‌شود رله‌ولو نوع "C" لکوموتیو هیتاچی مشابه رله‌ولو (سوپاپ موازنه) لکوموتیوهای GM است.

۴-۵- سیستم ترمز اتوماتیک لکوموتیوها

همان‌طور که عنوان شد مهم‌ترین سیستم ترمز هوایی در راه‌آهن، سیستم ترمز غیرمستقیم است. برای اینکه ترمز غیرمستقیم (با تغییر فشار لولهٔ اصلی ترمز) بر روی وسایل نقلیهٔ ریلی (از جمله: واگن، لکوموتیو، جرثقیل و...) اثر بگذارد، وسایل ریلی باید مجهز به سیستم ترمز اتوماتیک باشند. این موضوع در لکوموتیو کمی پیچیده‌تر است؛ چرا که سیستم ترمز اتوماتیک باید با چند سیستم ترمز دیگر لکوموتیو هماهنگ و همسان گردد.

اصلی‌ترین دستگاه مؤثر در سیستم ترمز اتوماتیک واگن‌ها، سوپاپ سه قلو (Triple valve) است. در لکوموتیوها این دستگاه را سوپاپ کنترل یا سوپاپ توزیع (Control valve or Distributor valve) می‌گوییم.

• روش کار در سیستم ترمز اتوماتیک

سوپاپ کنترل در لکوموتیوها از یک سمت به لولهٔ اصلی ترمز (۵ بار)، از یک سمت به مدار کنترل سیلندرهای ترمز و از طرف دیگر به مخازن فرعی و کنترل متصل می‌گردد. با کاهش فشار لولهٔ اصلی ترمز، تعادل در سوپاپ کنترل به هم خورده و هوای ذخیره شده در مخزن فرعی وارد مدار کنترل سیلندرهای ترمز (رله‌ولوهای بوژی) می‌شود؛ لذا ترمز اتوماتیک لکوموتیو فعال می‌گردد.

با افزایش فشار لولهٔ اصلی ترمز مجدداً تعادل در سوپاپ کنترل برقرار شده و راه هوای مخزن فرعی به مدار کنترل سیلندرهای ترمز قطع شده و راه هوای لولهٔ اصلی به مخزن فرعی باز می‌شود تا مخزن فرعی، شارژ

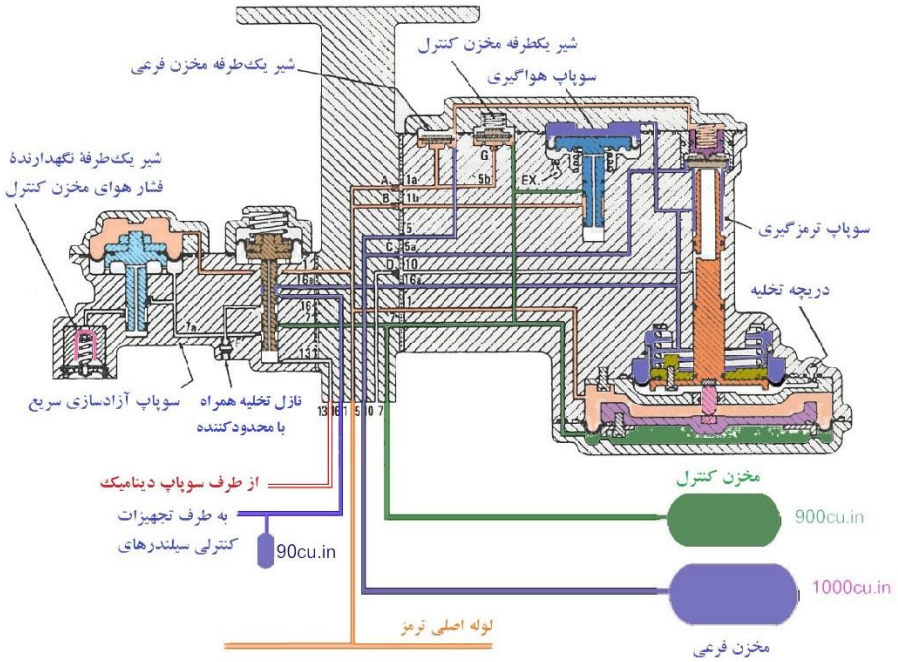
مجدد گردد. از طرفی راه هوای مدار کنترل سیلندرهای ترمز به هوای آزاد(تخلیه) متصل می‌شود و در نهایت ترمز اتوماتیک لکوموتیو آزاد می‌گردد.

۴-۵-۱- سیستم ترمز اتوماتیک لکوموتیوهای ایران

۴-۵-۱-۱- لکوموتیوهای GMوGE

سوپاپ کنترل در لکوموتیوهای GMو GE از نوع D-26 و ساخت شرکت وابکو است.
به شکل (۴-۴۵) توجه فرمایید؛ سوپاپ کنترل D-26 از یک‌سو به لولهٔ اصلی ترمز، از طرف‌های دیگر به مدار کنترل سیلندرهای ترمز و از سمتی دیگر به مخازن فرعی (1000CU.IN) و کنترل (900CU.IN) متصل شده است. همان‌طور که در شکل(۴-۴۵) مشاهده می‌شود، یک سوپاپ کمکی دیگر به نام سوپاپ آزادسازی سریع که در راه‌آهن ایران به آن سوپاپ دینامیک گفته می‌شود، به سوپاپ کنترل متصل شده است. وظیفهٔ سوپاپ دینامیک آزادسازی ترمز اتوماتیک لکوموتیو در هنگام استفاده از ترمز دینامیک و یا فشردن دستهٔ سه دنده به سمت پایین است.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، به محض کاهش فشار لولهٔ اصلی ترمز (به رنگ نارنجی بالای دیافراگم اصلی سوپاپ)، دیافراگم اصلی به همراه اسپول به سمت بالا حرکت نموده و راه هوای مخزن فرعی (به رنگ بنفش) به سمت مدار کنترل سیلندرهای ترمز، باز و ترمز اتوماتیک فعال می‌شود. وقتی فشار هوای لولهٔ اصلی ترمز افزایش می‌یابد، مجدداً فشار بالای دیافراگم افزایش یافته و دیافراگم اصلی به سمت پایین حرکت می‌کند. با حرکت دیافراگم و اسپول به سمت پایین، راه هوای مخزن فرعی به سمت سیلندرهای ترمز بسته شده و راه هوای سیلندرهای ترمز به هوای آزاد(تخلیه) باز می‌شود؛ لذا ترمز اتوماتیک لکوموتیو آزاد می‌شود.

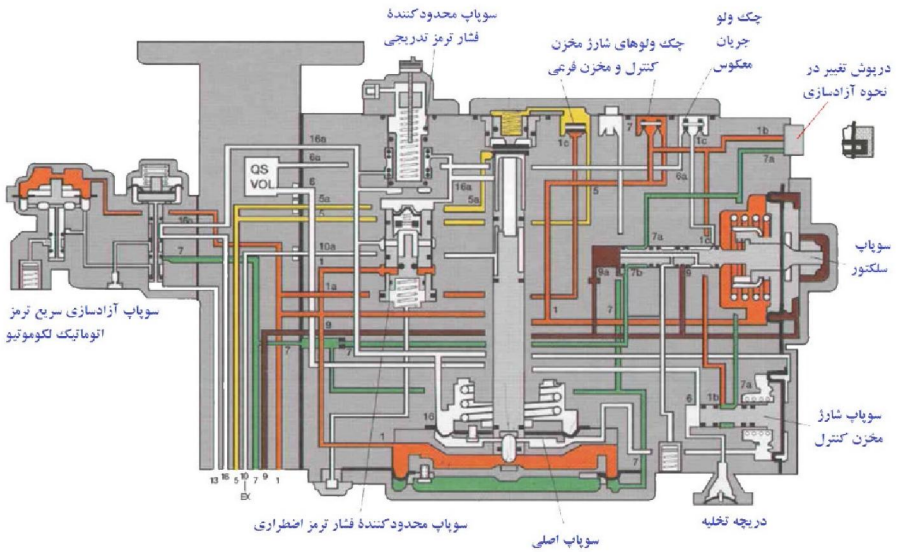


شکل ۴-۴۵) مدار ترمز اتوماتیک لکوموتیو GM

• سوپاپ کنترل 26-F

این سوپاپ نوع جدیدتر و مجهزتر سوپاپ 26-D است. این سوپاپ مجهز به سوپاپ سلکتور برای اعمال ترمز سریع در هنگام ترمز اضطراری است. همچنین در صورتی که این سوپاپ در وضعیت باری قرار گیرد، امکان آزادسازی مستقیم به‌وجود می‌آید. در وضعیت آزادسازی مستقیم با هر افزایش فشاری در لولهٔ اصلی ترمز، آزادسازی کامل در ترمز اتوماتیک لکوموتیو رخ می‌دهد. در شکل (۴-۴۶) ساختمان داخلی این سوپاپ مشاهده می‌شود.

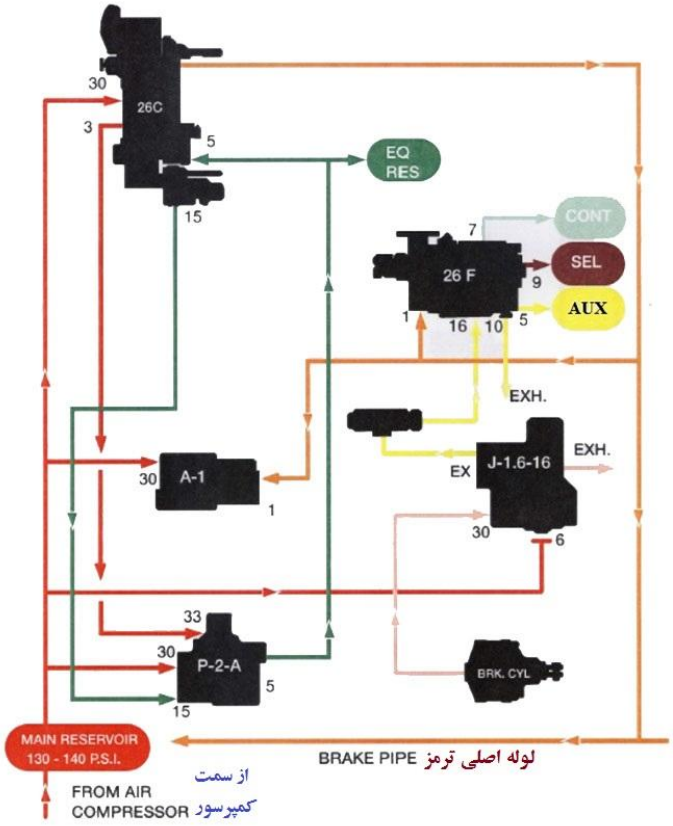
همچنین سوپاپ کنترل F-26 مجهز به سوپاپ محدودکنندهٔ فشار است. ایـن سـوپاپ قابلیـت تنظـیم دسـتی داشته و محدودکنندهٔ فشار است. به‌صورت نرمال فشار این سـوپاپ تقریبـاً بـر روی 6.PSI تنظـیم مـی‌شـود. وظیفهٔ این سوپاپ محدود کردن فشار ارسالی به سیلندرهای ترمز در حین اعمال ترمز سرویس است.



شکل ۴-۴۶) ساختمان داخلی سوپاپ کنترل

در شکل (۴-۴۷) مدار ترمز اتوماتیک برخی از لکوموتیوهای GM مجهز به سوپاپ F-26 (مانند لکوموتیوهای تحت مالکیت شرکت البرز نیرو) قابل مشاهده است. همان‌طور که مشخص است، سوپاپ‌هـای کنتـرل F-26 یک مخزن اضافی به نام مخزن سلکتور نیز دارند که در انجام ترمز سریع کمک می‌کند. هوای لوله ۱۶، هوای ارسالی به مدار کنترل سیلندرهای ترمز است. هوا قبل از ورود به سوپاپ رلـه J از یـک دوبلـه‌چـک‌ولـو عبـور می‌کند. علت استفاده از دوبله‌چک‌ولو این است که لکوموتیو دارای دو سیستم ترمز هوایی است که شامل ترمز مستقیم و ترمز اتوماتیک است. برای استفاده از هر یک از این سیستم‌ها از یک دوبله‌چـک‌ولـو اسـتفاده شـده

است. هر دو سیستم ترمز از این سوپاپ عبور نموده و رله‌ولو J را تحریک می‌کند تا هوای مخـزن اصـلی بـه سیلندرهای ترمز راه یابد. توضیحات دقیق‌تری از این مدار در بخش ترمز بوژی‌ها آمده است.



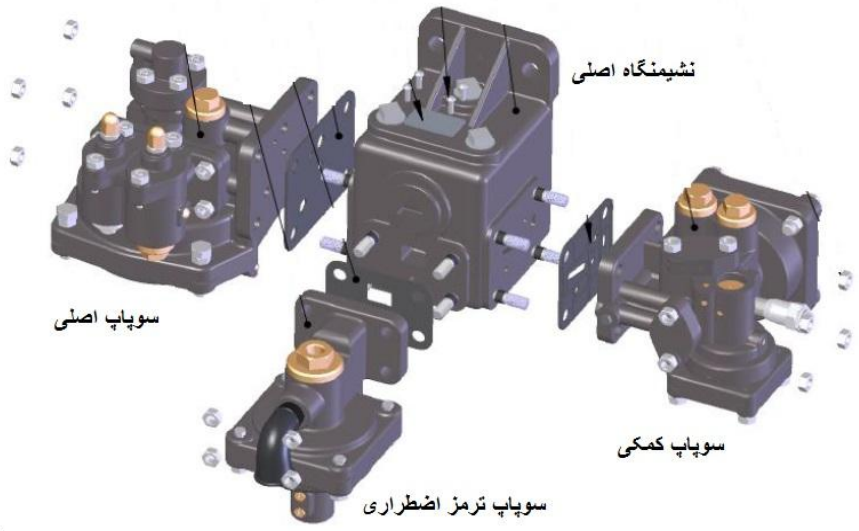
شکل ۴–۴۷) مدار ترمز اتوماتیک برخی از سیستم های ترمز 26-L

۴-۵-۱-۲- لکوموتیو چینی DF8

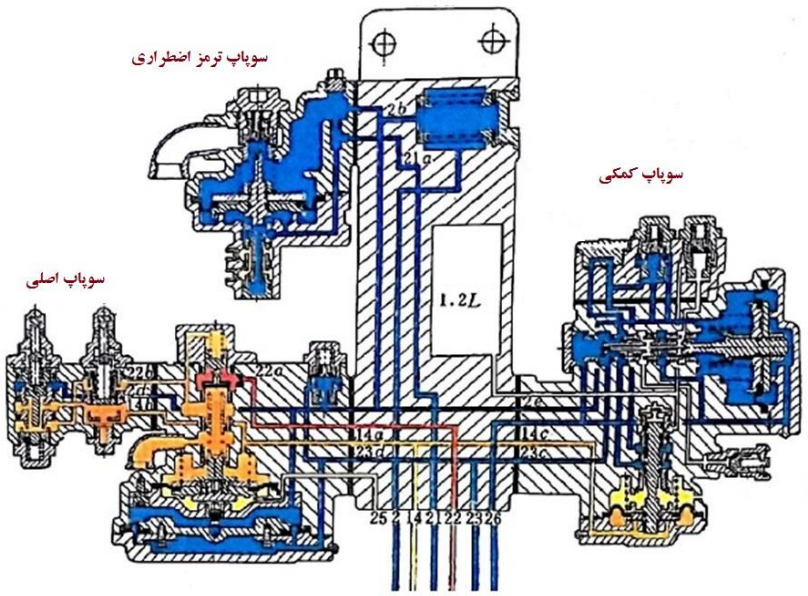
سوپاپ کنترل این لکوموتیوها دارای ۳ قسمت اصلی است که عبارتند از: سوپاپ اصلی، سوپاپ کمکی و سوپاپ ترمز اضطراری. این سه سوپاپ بر روی یک نشیمنگاه نصب می‌شوند(شکل۴-۴۸). عملکرد این سوپاپ مانند سوپاپ کنترل لکوموتیوهای GMوGE است؛ به این نحو که یک ورودی از لولهٔ اصلی ترمز دارد که با کاهش یا افزایش فشار این لوله، هوایی را با عبور از دوبله‌چک‌ولو به رله‌ولو ترمز بوژی‌ها ارسال می‌کند.

زمانی حدود ۶ الی ۹ ثانیه طول می‌کشد تا بر اثر فعال شدن سیستم ترمز غیرمستقیم، فشار سیلندرترمز به حداکثر مقدار خود یعنی ۳۸۰kpa- ۳۴۰ برسد. برای آزادسازی ترمز از این حالت ۵ الی ۹ ثانیه طول می‌کشد تا فشار سیلندر ترمز از حداکثر مذکور به kpa ۵۳ برسد.

در حالت ترمز اضطراری در کمتر از ۳ ثانیه فشار لولهٔ اصلی ترمز به صفر تقلیل می‌یابد.۴ الی ۷ ثانیه طول می‌کشد تا فشار سیلندر ترمز به حداکثر میزان خود یعنی ۴۷۰kpa-۴۲۰ برسد.

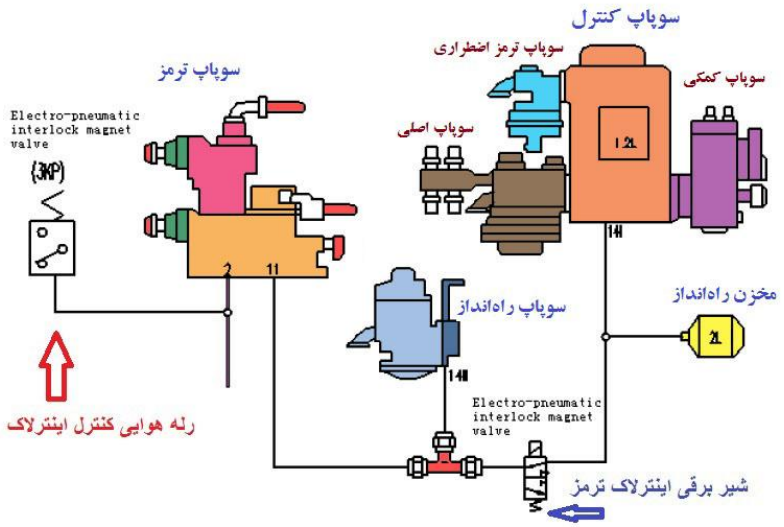


شکل ۴-۴۸) سوپاپ کنترل لکوموتیو چینی



شکل ۴-۴۹) سوپاپ کنترل لکوموتیو چینی DF8

نکته: *قبل از ورود هوای فرمان سوپاپ کنترل به دوبله‌چک‌ولو، یک شیر برقی نصب شده است که به آن اینترلاکینگ ترمز هوایی گفته می‌شود. اینترلاکینگ الکتروپنیوماتیک برای اطمینان ازعدم عملکرد همزمان ترمز هوایی و ترمز دینامیک وجلوگیری ازضربات طولی بیش از حد ترمز و در جازدن و قفل شدن چرخ به علت نیروی ترمزی بیش از حد مورد استفاده قرار می‌گیرد.*



شکل ۴-۵۰) سیستم ترمز مستقیم و غیرمستقیم به همراه سوپاپ کنترل و شیر برقی اینترلاک

• رله هوایی کنترل اینترلاک

فشار عملکرد رلهٔ هوا برابر ۱۰۰Kpa و فشار آزادسازی آن ۸۰Kpa است. وقتی فشار لولهٔ قطار بیش از ۱۰۰Kpa شود، کنتاکت‌های NO رله فشار هوا بسته شده تا مدار کنترل ترمز دینامیک، وصل و ترمز دینامیک فعال شود. وقتی فشار لولهٔ قطارکمتر از ۸۰Kpa شود، کنتاکت‌های NC رله فشار هوا باز شده تا مدار کنترل ترمز دینامیک، قطع و ترمز دینامیک غیرفعال شود.

۴-۵-۱-۳- لکوموتیو آلستوم

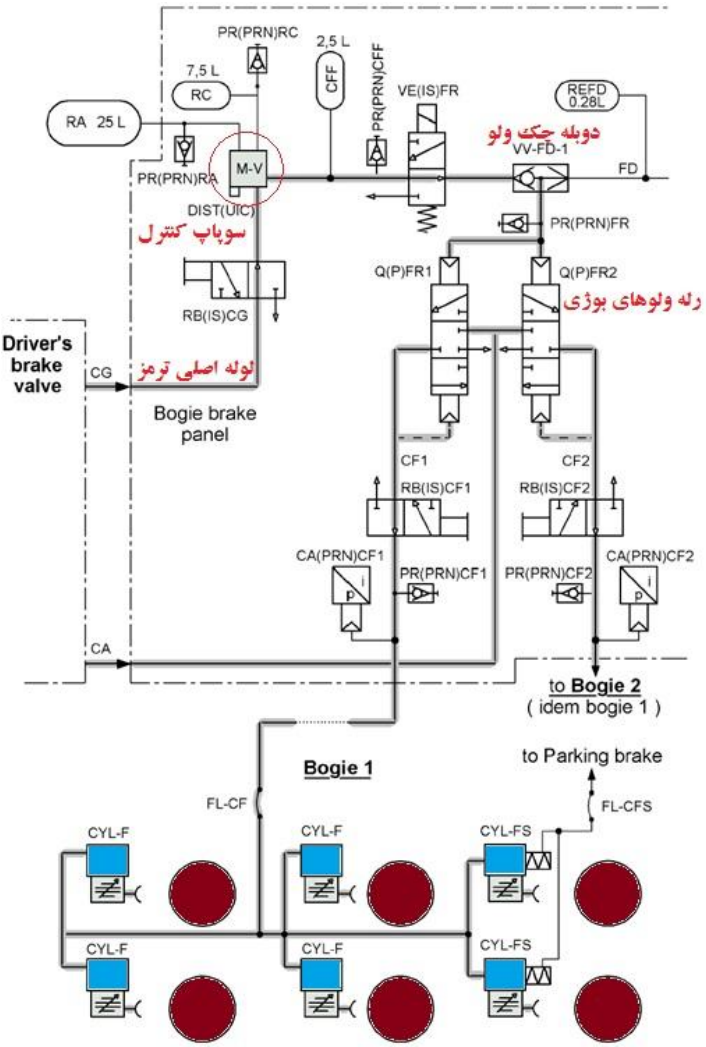
سوپاپ کنترل در این لکوموتیوها از نوع C3W ساخت شرکت ساب وابکو فرانسه است. مبنای کار این سوپاپ‌ها نیز همانند سوپاپ‌های 26-D و 26-F است، با این تفاوت که دارای دستهٔ باری- مسافری هستند و

با توجه به نوع قطار باید در وضعیت مناسبی قرار گیرند. همچنین این سوپاپ دارای یک دستگیرهٔ تخلیه است که به‌وسیلهٔ آن می‌توان هوای مخزن کنترل را تخلیه نمود تا مجدداً هواگیری شود. با این عمل، ترمز لکوموتیو آزاد می‌گردد. همین عمل در لکوموتیوهای GMوGE با فشردن دستهٔ سه دنده انجام می‌گیرد. در شکل (۴-۵۱) مدار ترمز اتوماتیک لکوموتیو آلستوم مشخص شده است.

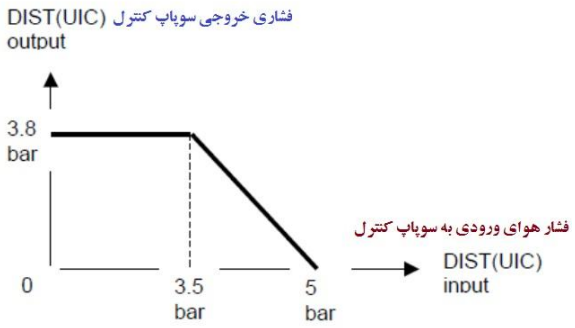
سوپاپ کنترل این لکوموتیوها با DIST(UIC) نام‌گذاری شده است که به مخزن فرعی RA، مخزن کنترل RC، لولهٔ اصلی ترمز CG و مدار کنترل سیلندرهای ترمز (رله‌ولو های بوژی) متصل شده است. شیر برقی VE(IS)FR وظیفهٔ آزادسازی ترمز اتوماتیک لکوموتیو را به‌عهده دارد که به‌وسیلهٔ پدال زیر پای لکوموتیوران فعال می‌گردد (مشابه فشردن دستهٔ سه دنده به سمت پایین).

قبل از ورود هوا به سوپاپ کنترل، یک شیر دستی RB(IS)CG نصب شده است که وظیفهٔ قطع سیستم ترمز اتوماتیک لکوموتیو را به‌عهده دارد و در مواقع تعمیرات و یا شرایط خاص دیگر استفاده می‌شود. هوای ارسالی از سوپاپ کنترل وارد دوبله‌چک‌ولو و همچنین رله‌ولو بوژی‌ها می‌گردد.

در شکل (۴-۵۲) نمودار فشار هوای ورودی و خروجی سوپاپ کنترل C3W مشاهده می‌شود. هر چه فشار هوای ورودی به سوپاپ کمتر می‌شود، فشار هوای خروجی افزایش می‌یابد. افزایش فشار خروجی تا ۳٫۸ بار(در فشار ورودی ۳٫۵ بار لولهٔ اصلی) ادامه دارد و پس از آن فشار ثابت می‌ماند، حتی اگر فشار لولهٔ اصلی ترمز به صفر برسد.



شکل ۴-۵۱) مدار ترمز اتوماتیک لکوموتیو آلستوم



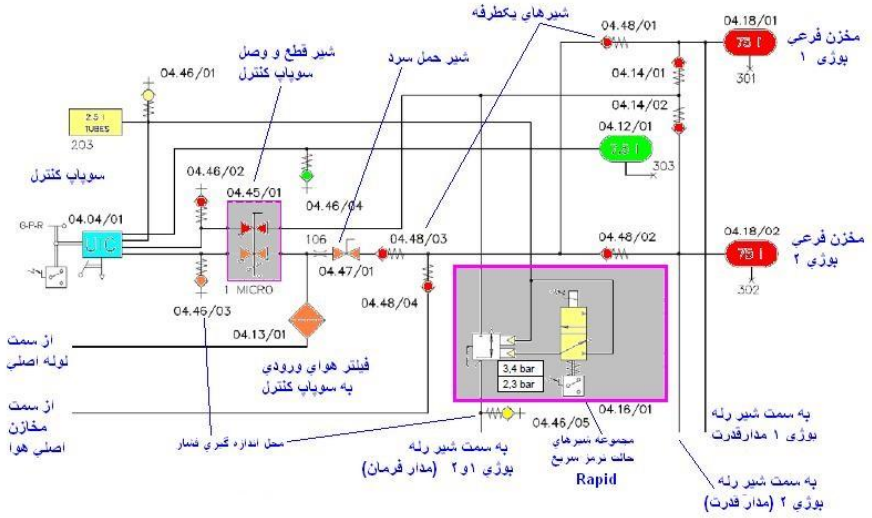
شکل ۴-۵۲) نمودار فشار ورودی و خروجی سوپاپ کنترل آلستوم

زمان ترمزگیری و آزادسازی مدار ترمز اتوماتیک لکوموتیو آلستوم در حالت‌های باری – مسافری مطابق با استاندارد UIC و به‌شرح ذیل است:

زمان (ثانیه)	مسافری	باری
ترمزگیری	۳-۵	۱۸-۳۰
آزادسازی	۱۵-۲۰	۴۵-۶۰

۴-۵-۱-۴- لکوموتیو زیمنس

مدار ترمز اتوماتیک لکوموتیو زیمنس مشابه با لکوموتیو آلستوم است با این تفاوت که سوپاپ کنترل لکوموتیو آلستوم از نوع SW4 است. این سوپاپ دارای سه حالت: باری- مسافری- سریع‌السیر است. در شکل (۴-۵۳)مدار ترمز اتوماتیک لکوموتیو زیمنس مشاهده می‌شود.



شکل ۴-۵۳) مدار ترمز اتوماتیک لکوموتیو زیمنس

چند تفاوت عمده در مدار ترمز اتوماتیک لکوموتیوهای زیمنس و آلستوم وجود دارد. مهم‌ترین تفاوت در مخزن فرعی سوپاپ کنترل است. در لکوموتیوهای زیمنس دو مخزن فرعی (هر کدام برای یک بوژی) نصب شده است که از سوپاپ کنترل شارژ نمی‌شود و مستقیماً از مخازن اصلی لکوموتیو با هوای ۱۰ بار شارژ می‌گردد و ارتباط این مخازن با سوپاپ کنترل به صورت یک‌طرفه از سمت مخازن به سوپاپ کنترل است. مخازن فرعی هر کدام ۷۵ لیتر ظرفیت دارند، در حالی‌که در لکوموتیو آلستوم یک مخزن فرعی با ظرفیت ۲۵ لیتر تعبیه شده است. مخزن کنترل هر دو لکوموتیو ۷/۵ لیتر است.

از دیگر تفاوت‌های عمده این دو لکوموتیو، وجود حالت سریع‌السیر در لکوموتیوهای زیمنس است که این کار توسط مجموعه شیرهای حالت ترمز سریع 04.16/01 انجام می‌گیرد. چنانچه دستهٔ سوپاپ کنترل در

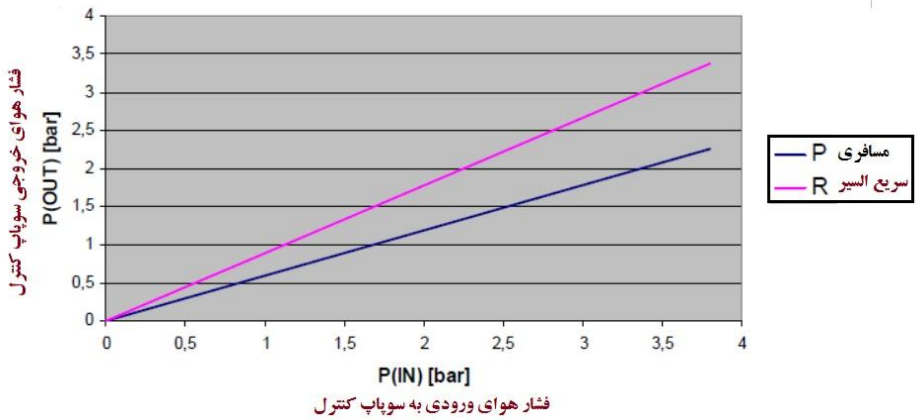
حالت سریع‌السیر (RAPID) قرار بگیرد یک هوای اضافه بر روی رله‌ولو مجموعه 04.16/01 ارسال شده و هوای خروجی با فشار بیشتری خواهد بود (حالت باری و مسافری ۲/۳bar و حالت سریع‌السیر ۳/۴bar)

از دیگر تفاوت‌های مهم این سوپاپ کنترل با سوپاپ کنترل سایر لکوموتیوها این است که هیچ یک از سوپاپ‌هایی که تا به‌حال شرح داده شد، ارتباط هوایی با مخزن اصلی نداشته‌اند ولی در این سوپاپ هوای مخزن اصلی با سوپاپ کنترل در ارتباط بوده و به هواگیری سریع‌تر سوپاپ کمک می‌کند.

زمان ترمزگیری و آزادسازی در حالت‌های مختلف سوپاپ کنترل SW4 مطابق جدول زیر است:

پارامتر	حالت باری	حالت مسافری	حالت سریع‌السیر
زمان پر شدن سیلندر ترمز از ۰ تا ۹۵٪ (ثانیه)	۱۸-۳۰	۳-۵	
زمان تخلیه سیلندر ترمز از فشار حداکثر تا ۰/۴ بار(ثانیه)	۴۵-۶۰	۱۵-۲۰	
حداکثر فشار سیلندر ترمز (بار)	۲/۳	۲/۳	۳/۴

همچنین نمودار فشار ورودی و فشار خروجی سوپاپ کنترل در حالت R و حالت P در شکل (۴-۵۴) مشاهده می‌شود:



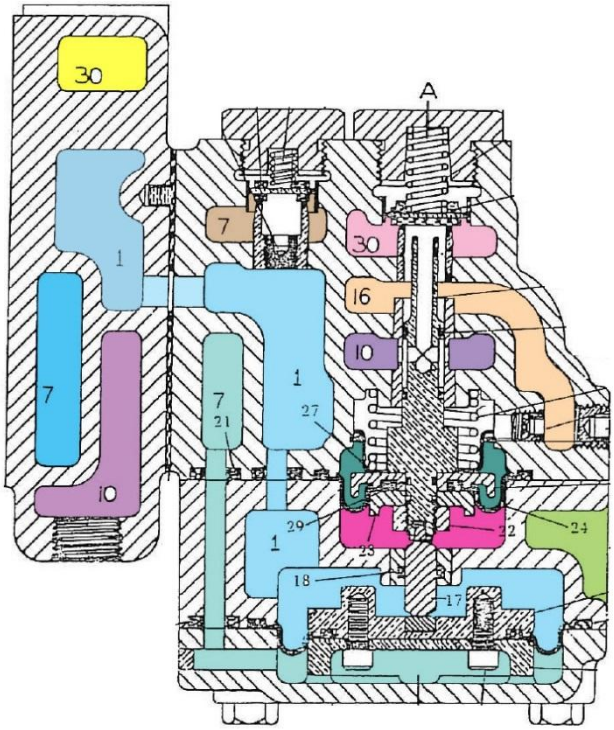
شکل ۴-۵۴) فشار خروجی سوپاپ کنترل لکوموتیو زیمنس در حالت مسافری و سریع‌السیر

همان‌طور که مشاهده می‌شود در فشار ورودی ۳/۸ بار که فشار تنظیمی اکثر سوپاپ‌های کنترل است، فشار خروجی ۲/۳ بار در حالت P و فشار خروجی ۳/۴ بار در حالت R حاصل می‌شود.

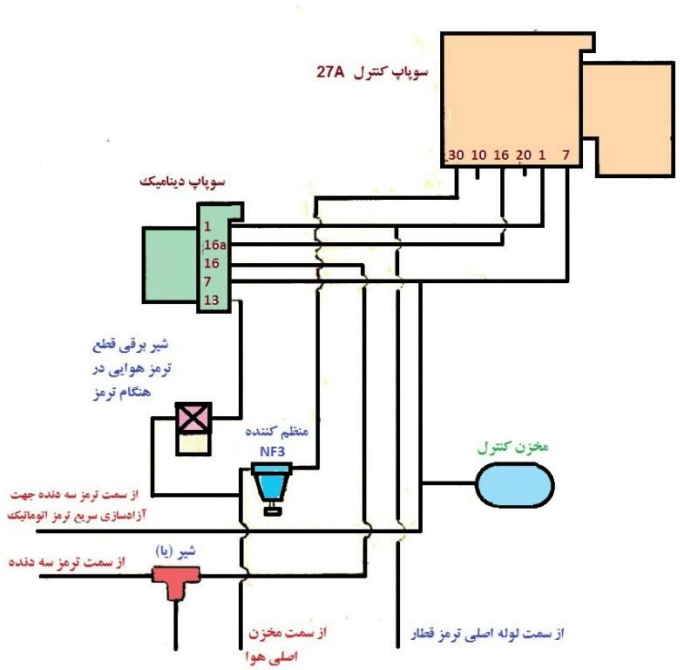
۴-۵-۱-۵- لکوموتیو هیتاچی

سوپاپ کنترل لکوموتیوهای هیتاچی ایران از نوع 27-A بوده و تشابه زیادی به سوپاپ کنترل 26-D دارد. این سوپاپ نیز مجهز به سوپاپ آزادسازی سریع (سوپاپ دینامیک) است که البته به صورت جداگانه نصب می‌شود و بر روی سوپاپ 27-A نصب نشده است.

از تفاوت‌های این سوپاپ با سوپاپ‌های 26-D در این است که مخزن فرعی نداشته و مستقیماً به مخزن اصلی لکوموتیو متصل می‌شود و هوای مدار کنترل سیلندرهای ترمز (رله‌ولو J) از مخزن اصلی گرفته می‌شود.



شکل ۴-۵۵) سوپاپ کنترل 27-A لکوموتیو هیتاچی



شکل ۴- ۵۶) مدار ترمز اتوماتیک لکوموتیو هیتاچی ایران

همان‌طور که در شکل(۴- ۵۶) مشاهده می‌شود، یک سوپاپ دینامیک نیز در مسیر سوپاپ کنترل نصب شده تا در هنگام ترمز دینامیک، ترمز اتوماتیک لکوموتیو به صورت خودکار قطع شود. همچنین در این مدار نیز برای جدا کردن ترمز مستقیم و ترمز اتوماتیک از دوبله‌چک‌ولو استفاده شده است. یک منظم‌کنندهٔ NF3 برای کاهش فشار هوای مخزن اصلی برای ورود به سوپاپ کنترل در نظر گرفته شده است.

۴-۶- سیستم ترمز بوژی در لکوموتیوهای ایران

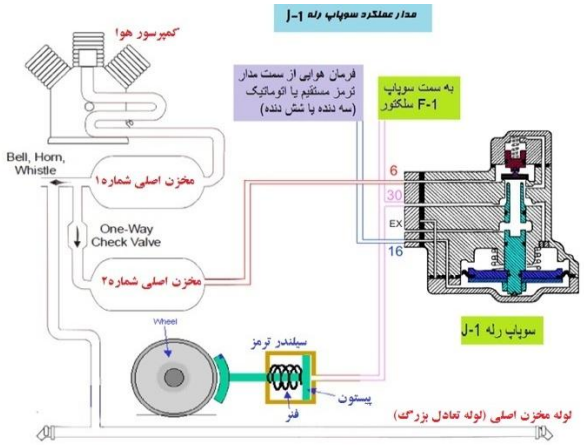
همان‌طور که اشاره شد، فرمان ارسالی از سیستم ترمز مستقیم و یا ترمز اتوماتیک از یک دوبله‌چک‌ولو عبور نموده و به رله‌ولو بوژی‌ها ارسال می‌شود. هوای مخزن اصلی همیشه در ورودی رله‌ولو بوژی‌ها آماده است و بر اساس فرمان صادره از سیستم ترمز مستقیم یا غیرمستقیم، به همان میزان، هوا از مخزن اصلی در خروجی رله‌ولو بوژی وجود خواهد داشت؛ به‌طور مثال سیستم ترمز مستقیم هوایی با فشار ۳ بار را به رله‌ولو ارسال می‌کند. خروجی رله‌ولو در این شرایط ۳ بار خواهد بود و فقط تا ۳ بار از مخزن اصلی را به سیلندرهای ترمز ارسال می‌کند.

۴-۶-۱- لکوموتیوهای GEوGM

در این لکوموتیوها سیستم کنترل ترمز بوژی‌ها از رله‌ولو نوع "J" است. در لکوموتیوهای GM از رله‌ولو مدل J-1 ، در لکوموتیوهای U30C از رله‌ولو J1.14-4 و لکوموتیوهای C30-7i از رله‌ولو J1.16-6 استفاده می‌شود.

۴-۶-۱-۱- لکوموتیوهای GM

مدار کنترل ترمز بوژی‌ها در لکوموتیوهای GT26 به شرح زیر است:



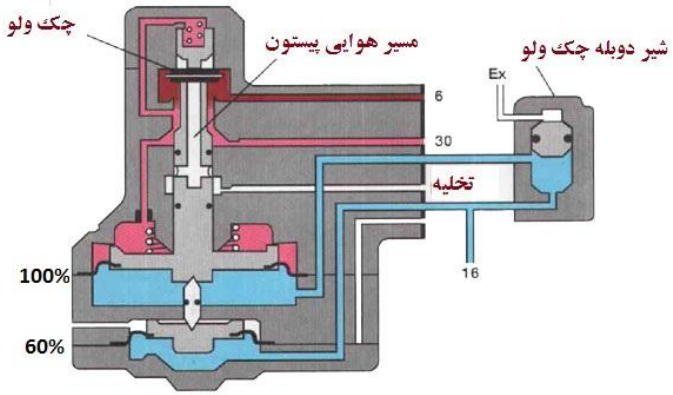
شکل ۴-۵۷) مدار کنترل ترمز بوژی‌ها در لکوموتیوهای GT26

همان‌طور که در شکل (۴-۵۷) مشخص است، هوای مخزن اصلی از پورت شماره ۶ در قسمت بالایی سوپاپ J-1 همیشه آماده است. وقتی فرمان ترمزی از سیستم ترمز مستقیم یا اتوماتیک صادر می‌شود، هوای فرمان از پورت شماره ۱۶ وارد شده و دیافراگم سوپاپ به سمت بالا حرکت می‌کند. اسپول سوپاپ نیز به همراه دیافراگم بالا رفته و راه هوای مخزن اصلی را به سیلندرهای ترمز باز می‌کند. یک قسمت از هوای ارسالی به سیلندرهای ترمز پس از عبور از یک اریفیس وارد محفظهٔ بالای دیافراگم می‌شود؛ به محض این‌که فشار سیلندرهای ترمز با فشار هوای ارسالی از سیستم ترمز مستقیم و یا اتوماتیک (دستهٔ سه دنده یا شش دنده) برابر شد، دیافراگم به سمت پایین حرکت نموده و حالت تعادل به‌وجود می‌آید؛ به نحوی که لبهٔ بالایی اسپول به چک‌ولو بالای سوپاپ می‌چسبد و اجازهٔ تخلیهٔ هوای سیلندر ترمزها را نداده و حالت خودآب‌بندی (SELF-LAPPING) به‌وجود می‌آید. برای آزادسازی ترمز و تخلیهٔ هوای سیلندرهای ترمز، با قرار دادن دسته‌های ترمز در وضعیت آزادسازی، هوای زیر دیافراگم تخلیه شده و دیافراگم به سمت پایین حرکت می‌کند. لذا هوای سیلندرهای ترمز از پورت تخلیه EX به هوای آزاد تخلیه می‌شود.

نکته: *در این لکوموتیوها یک قسمت از هوای سیلندر ترمز از پورت ۳۰ به سمت سوپاپ سلکتور جریان می‌یابد. هدف از این کار، اعمال ترمز در لکوموتیو یدک در صورت استفاده از چند لکوموتیو است. لکوموتیو یدک از مسیر مذکور، ترمز می‌شود که در بخش مدار کوپل‌کردن لکوموتیوها به آن پرداخته می‌شود.*

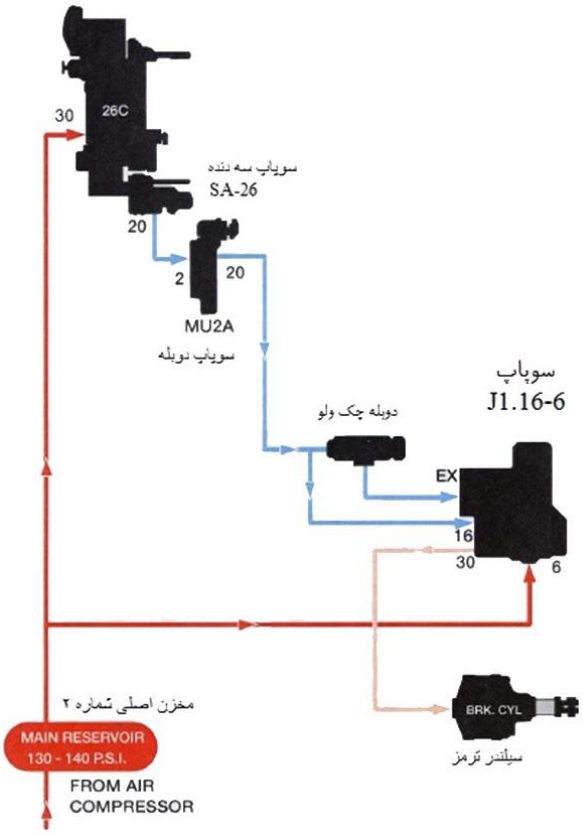
۴-۶-۱-۲- لکوموتیوهای GE

در لکوموتیوهای GE از دو مدل سوپاپ رله J استفاده شده است. سوپاپ رله J1.14-4 قابلیت دارد تا فشار خروجی سوپاپ را تا ۱/۴ برابر افزایش دهد و سوپاپ رله J1.16-6 قابلیت افزایش فشار خروجی را تا ۱/۶ برابر دارا است. این افزایش فشار خروجی فقط در هنگام استفاده از ترمز مستقیم رخ خواهد داد و در هنگام ترمز اتوماتیک فشار خروجی با فشار فرمان (از طرف سوپاپ کنترل) برابر خواهد بود. در شکل(۴-۵۸) ساختمان این سوپاپ نشان داده شده است.

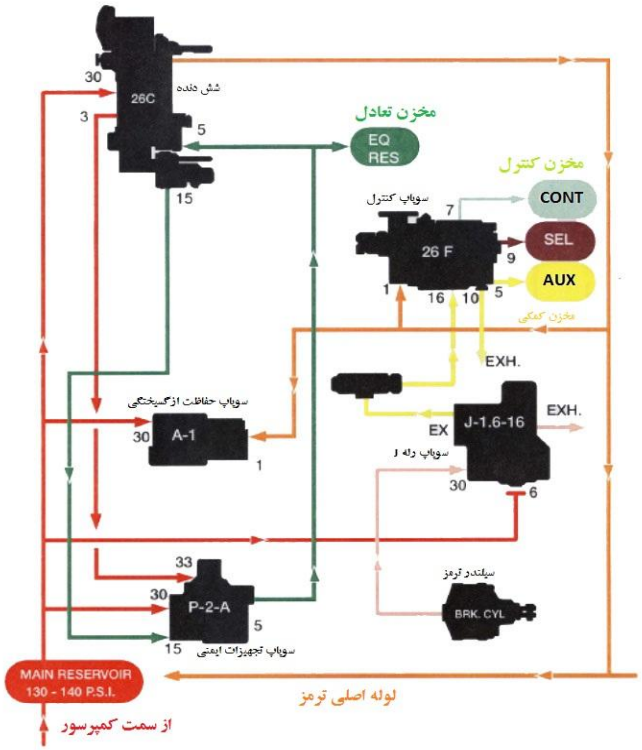


شکل ۴- ۵۸)) سوپاپ رله "J "لکوموتیوهای GE

این سوپاپ‌ها دارای دو دیافراگم هستند؛ در هنگام ترمز مستقیم محفظهٔ هوای زیر هر دو دیافراگم شارژ می‌شود؛ لذا فشار خروجی افزایش می‌یابد، ولی در هنگام ترمز اتوماتیک فقط دیافراگم ۱۰۰٪ تحریک شده و فشار خروجی نیز مطابق با فشار فرمان خواهد بود. مدار کنترل ترمز لکوموتیوهای GE مطابق با شکل (۴-۵۹) است.



شکل ۴-۵۹) مدار کنترل ترمز بوژی‌ها در سیستم ترمز L-26 (ترمز مستقیم)

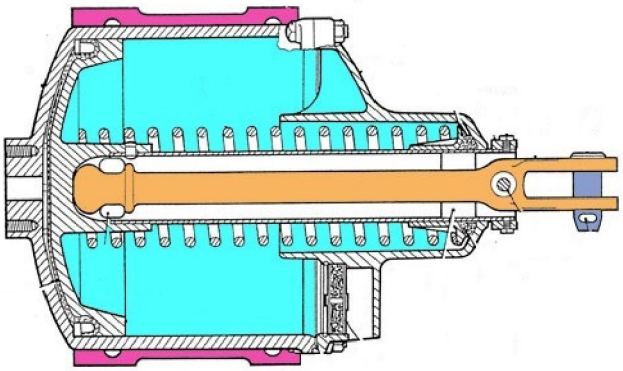


شکل ۴-۶۰) مدار کنترل ترمز بوژی‌ها در سیستم ترمز L-26 (ترمز غیرمستقیم در حالت آزادسازی ترمز)

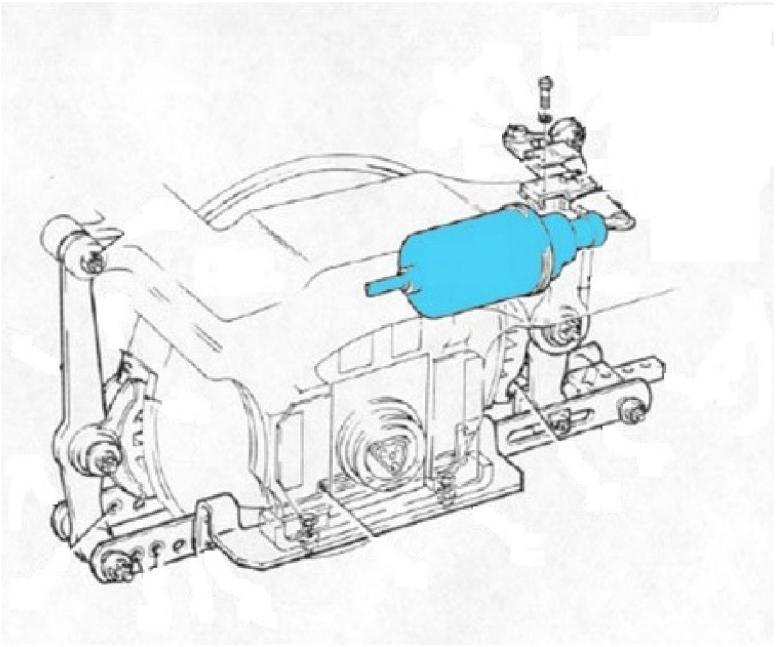
به‌گونه‌ای که در دو شکل فوق ملاحظه می‌شود در ترمز مستقیم دو ورودی هوا برای سوپاپ رله J وجود دارد، ولی در ترمز اتوماتیک تنها یک ورودی هوا در نظر گرفته شده است.

۴-۶-۱-۳- تجهیزات ترمزی بر روی بوژی لکوموتیوهای GM و GE ایران

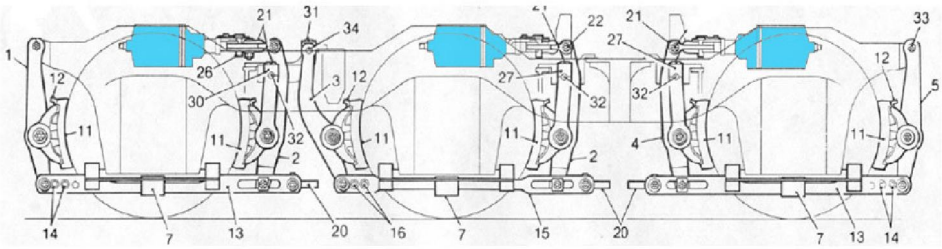
لکوموتیوهای GT26 دارای ۱۲ سیلندر ترمز (هر چرخ یک سیلندر ترمز) از نوع UAH 8*8 هستند. این لکوموتیوها دارای اهرم‌بندی ترمز بوده و نیروی سیلندرهای ترمز توسط اهرم‌بندی به کفش ترمز وارد می‌گردد.



شکل ۴-۶۱) سیلندر ترمز لکوموتیوهای GT26

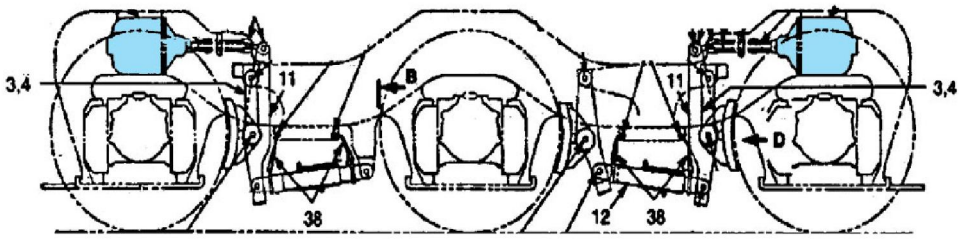


شکل ۴-۶۲) چیدمان سیلندر ترمز و اهرم‌بندی ترمز در بوژی لکوموتیوهای GT26



شکل ۴-۶۳) چیدمان سیلندر ترمز و اهرم‌بندی ترمز در بوژی لکوموتیوهای GT26

لکوموتیوهای سری بالای GE دارای ۸ سیلندر ترمز از نوع UAH 8*8 و لکوموتیوهای سری پایین دارای ۱۲ سیلندر ترمز هستند.



شکل ۴-۶۴) چیدمان سیلندر ترمز و اهرم‌بندی ترمز در بوژی لکوموتیوهای سری بالای GE

لکوموتیوهای GEوGM دارای کفش ترمز چدنی هستند.

لکوموتیوهای GMوGE مجهز به ترمز دستی زنجیری هستند. همان‌طور که در شکل (۴-۶۵) مشخص شده است یک زنجیر به سیلندر ترمز محور ۳ متصل شده است و در ورودی کابین لکوموتیو یک دستگیرهٔ

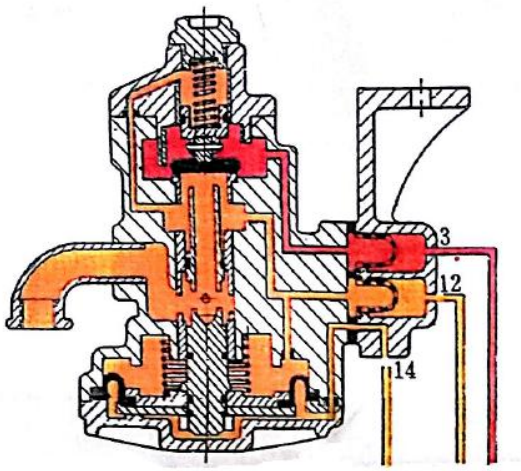
ترمز دستی نصب شده است. با کشیدن این دستگیره به صورت چند مرحله‌ای، زنجیر کشیده شده و ترمز محور ۳ چرخ ۶ فعال می‌گردد. برای آزادسازی ترمز دستی کافی است اهرم آزادسازی ترمز دستی کشیده شود. در لکوموتیو GM نیز ترمز دستی مشابه همین سیستم است با این تفاوت که دستگیرهٔ ترمز دستی پشت کابین لکوموتیوران (پشت درب سمت لکوموتیوران) نصب شده است.

نکته: *در لکوموتیوهای سری پایین GE ترمز دستی بر روی محور یک سمت کمک لکوموتیوران نصب شده است .*

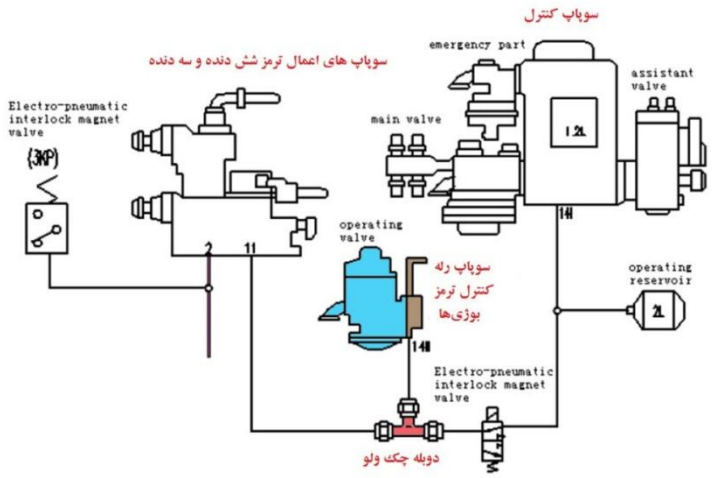
شکل ۴-۶۵) ترمز دستی زنجیری لکوموتیوهای سری بالای GE

۴-۶-۲- لکوموتیوهای چینی DF8

سوپاپ رله این لکوموتیوها شباهت زیادی به سوپاپ رله نوع J سیستم ترمز 26L دارد. فرمان ترمز از سمت سیستم ترمز مستقیم یا غیرمستقیم به‌واسطهٔ دوبله‌چک‌ولوی که مسیر این دو نوع ترمز را از هم تفکیک می‌کند به پورت شماره ۱۴ این سوپاپ وارد می‌شود. هوای مخزن اصلی از طریق پورت شماره ۳ بر روی سوپاپ آماده است. با جریان یافتن هوای فرمان ترمز به پورت ۱۴ و محفظه زیر دیافراگم اصلی، پیستون متصل به دیافراگم به سمت بالا حرکت نموده، لذا هوای مخزن اصلی از پورت شماره ۱۲ به سمت سیلندرهای ترمز جریان می‌یابد. مقداری از هوای ارسالی به سمت سیلندرهای ترمز با عبور از یک اریفیس بر روی دیافراگم اصلی جریان می‌یابد. وقتی هوای خروجی از پورت شماره ۱۲ برابر با هوای فرمان ورودی از پورت شماره ۱۴ شود، دیافراگم اصلی مجدداً به‌همراه پیستون متصل به آن به‌سمت پایین حرکت نموده و از ارسال هوای بیشتر به سیلندرهای ترمز جلوگیری می‌کند. لذا فشار هوای خروجی این سوپاپ با فشار هوای فرمان ترمز برابر است(شکل ۴- ۶۶).

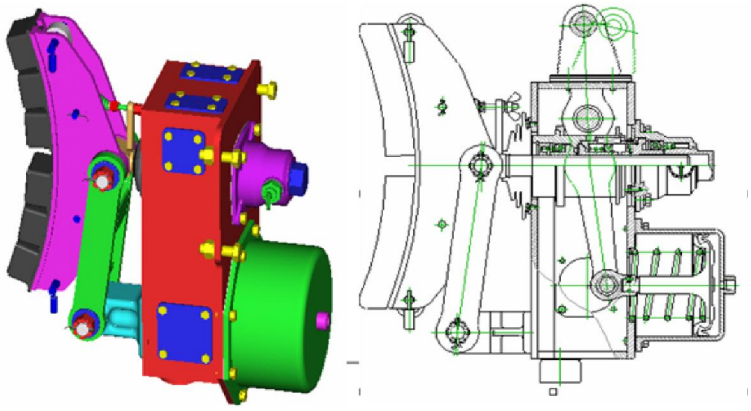


شکل ۴-۶۶) سوپاپ رله لکوموتیوهای چینی DF8



شکل ۴-۶۷) مدار کنترل ترمز بوژی‌ها و سوپاپ رله

این لکوموتیوها نیز همچون لکوموتیوهای GM دارای ۱۲ سیلندر ترمز هستند و هر سیلندر ترمز مربوط به یک چرخ لکوموتیو است. سیلندرهای ترمز از نوع بلوک ترمزاست؛ به این معنی که سیستم خودکار ترمز در داخل آن تعبیه شده است و می‌تواند فاصلهٔ کفش تا چرخ را تنظیم نماید. کفش ترمز این لکوموتیوها از نوع کامپوزیت مدل HXY-100 بوده و هر بلوک ترمز شامل ۲ عدد کفش ترمز کامپوزیت است (شکل۴-۶۸).



شکل ۴-۶۸) سیلندر ترمز لکوموتیو چینی DF8

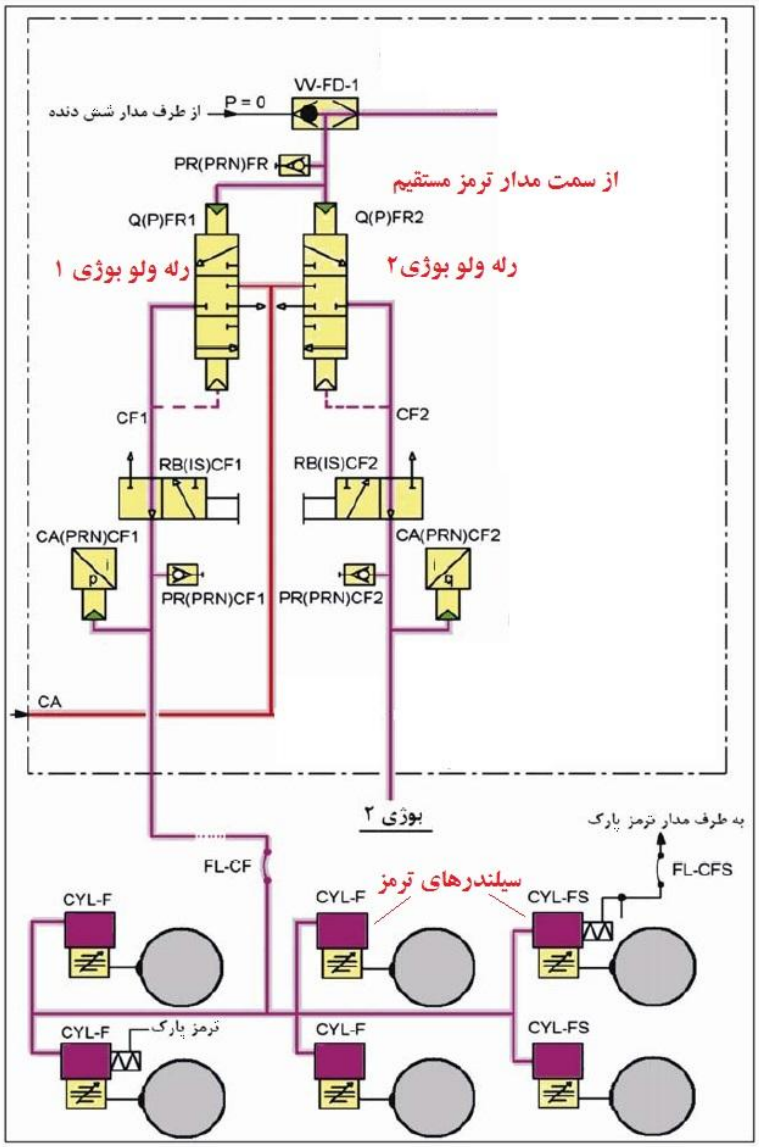
ترمز دستی لکوموتیوهای چینی از نوع فلکه‌ای است. با چرخاندن فلکه در جهت عقربه‌های ساعت، سیم بکسل متصل به آن جمع شده و سیلندر ترمزهای متصل به سیم بکسل، ترمز می‌شود. ترمز دستی در این لکوموتیوها بر روی دو سیلندر ترمز اعمال می‌شود (شکل ۴-۶۹).

شکل ۴-۶۹) اهرم ترمز دستی لکوموتیو چینی DF8

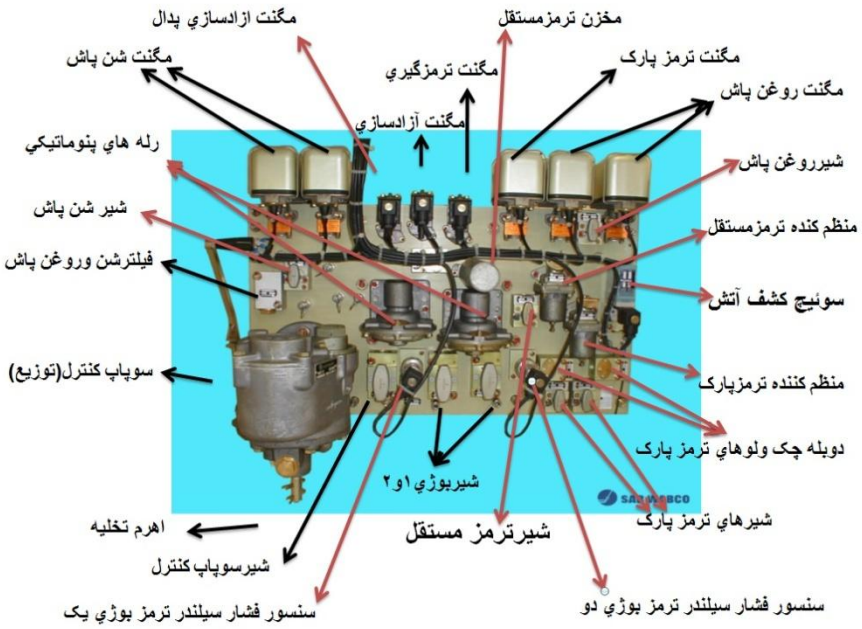
۴-۶-۳- لکوموتیو آلستوم

در این لکوموتیوها برای کنترل ترمز بوژی‌ها از رله‌های پنیوماتیکی Q(P)FR1،Q(P)FR2 استفاده شده که هر کدام از آن‌ها برای یک بوژی در نظر گرفته شده است.

این رله‌ها به صورتی طراحی شده‌اند که وقتی هوا روی آن‌ها فرستاده می‌شود، این رله‌ها راه هوای مخزن اصلی را به سیلندرهای ترمز باز می‌کند و هنگامی که هوای روی آن برداشته شود هوای سیلندرهای ترمز را به هوای آزاد تخلیه می‌کند. شکل (۴- ۷۰) عملکرد این رله‌ولوها را نشان می‌دهد. در مسیر خروجی رله‌ولوها از دو شیر دستی CF2،RB(IS)CF1 استفاده شده است و در صورت نیاز به بستن ترمز یک بوژی می‌توان از این شیرهای دستی استفاده نمود. دوبله‌چک‌ولو VV-FD-1 نیز وظیفهٔ جدا کردن ترمز مستقیم و ترمز اتوماتیک را به‌عهده دارد.



شکل ۴-۷۰) مدار کنترل ترمز بوژی‌ها در لکوموتیو آلستوم



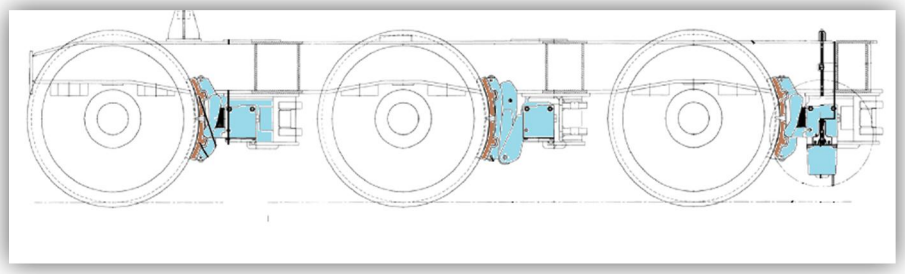
شکل۴-۷۱) پانل ترمز بوژی‌ها در لکوموتیو آلستوم

لکوموتیوهای آلستوم مجهز به دوازده سیلندر ترمز برای اعمال فشار به چرخ‌ها برای ترمزگیری هستند که چهار عدد از این سیلندرها علاوه بر این‌که از مدارات ترمز قطار و ترمز مستقل برای عمل ترمزگیری و آزادسازی فرمان می‌گیرند دارای قسمتی هستند که به آن‌ها این قابلیت را می‌دهد که در صورت برداشته شدن فشار هوا باعث فشاردادن کفش ترمز به چرخ نیز می‌شود. این سیلندرها، به سیلندرهای ترمز پارک معروفند و چنانچه مدار ترمز پارک فعال شود، هوای محفظهٔ ترمز پارک، تخلیه شده و با نیروی فنر داخل سیلندر، ترمز پارک فعال می‌شود. زمانی ترمز پارک آزاد می‌شود که مجدداً هوای تنظیم شده وارد سیلندرهای ترمز پارک گردد. از سیستم ترمز پارک برای توقف طولانی مدت لکوموتیو استفاده می‌گردد تا در صورت خالی شدن هوای فشرده، ترمز پارک همچنان فعال مانده و از فرار لکوموتیو جلوگیری کند.

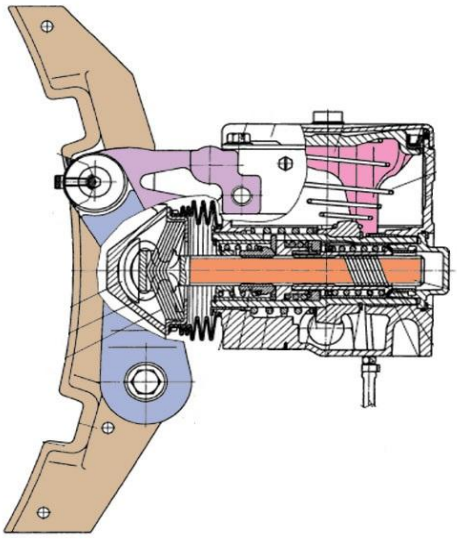
در هر بوژی دو عدد از این سیلندرها به‌صورت زیر نصب شده‌اند:

الف) بوژی یک : ۱- محور اول، چرخ یک ۲- محور سوم، چرخ شش

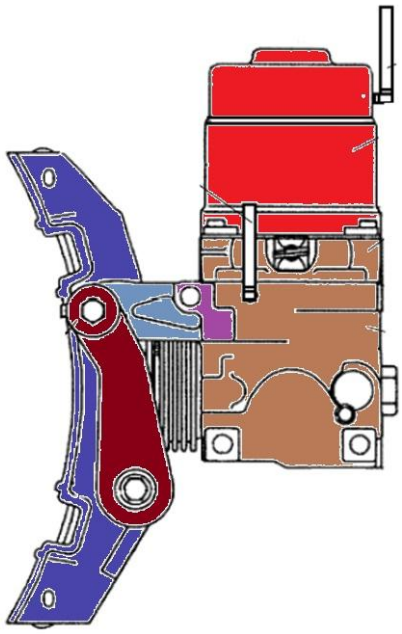
ب) بوژی دوم : ۱- محور چهارم، چرخ هفت ۲- محور شش، چرخ دوازده



شکل ۴-۷۲) چیدمان سیلندر ترمز در بوژی لکوموتیوهای الستوم ایران



شکل ۴-۷۳) سیلندر ترمز معمولی لکوموتیو آلستوم مدل BFC



شکل ۴-۷۴) سیلندر ترمز مجهز به ترمز پارک مدل BFC-F

ترمز بوژی لکوموتیوهای آلستوم دارای اهرم بندی نبوده و سیلندرهای ترمز مستقیماً بر روی چرخ نصب می‌شوند. کفش ترمز این لکوموتیوها از نوع کامپوزیت است.

○ مدار ترمز پارک لکوموتیو آلستوم

هوای ذخیره شده در مخزن اصلی شماره ۲ (RCA)پس از عبور از فیلتر (FI-CA) به چند مسیر هدایت می‌شود که یکی از این مسیرها به منظم‌کنندهٔ ترمز پارک (DE-FS) است.

هوای ورودی به منظم‌کننده (DE-FS) فشاری معادل ۹ بار دارد که در این منظم‌کننده به ۷/۵ بار تقلیل می‌یابد و برای استفاده در مدار پس از عبور از چوک (DIA16) به مگنت ولو (VE-FS) ارتباط داده می‌شود. این مگنت دو وضعیت دارد: یک وضعیت، زمانی است که دیزل متوقف است و برای استفاده از ترمز پارک پوش‌باتن (BP-FS) جلو کابین در وضعیت فعال قرار می‌گیرد و روی صفحهٔ نمایش علامت ترمز پارک روشن است. وضعیت دوم، زمانی است که جهت حرکت یا به هر علتی ترمز پارک به حالت غیرفعال است و روی صفحهٔ نمایش علامت ترمز پارک خاموش است.

در وضعیت اول که علامت ترمز پارک روی مونیتور روشن است، برق ۷۴ ولت توسط (MPU) از مگنت قطع می‌شود و مگنت (VE-FS) مسیر هوای ورودی سیلندر ترمز پارک از یک چوک داخلی به هوای آزاد مرتبط می‌سازد و تخلیه می‌کند و در نتیجه نیروی فنر داخل سیلندر ترمز باعث فشاردادن کفش ترمز به چرخ می‌شود.

در وضعیت دوم توسط (MPU) برق مگنت (VE-FS) وصل شده و این مگنت مسیر هوای منظم‌کننده را به سیلندرهای ترمز پارک مرتبط می‌سازد که این هوا، فشاری بیش از نیروی فنر به آن اعمال نموده و باعث جمع شدن فنر و آزاد شدن ترمز پارک می‌شود. همچنین این سیستم دارای سوئیچ فشاری (MA-FS) است که مانند یک کلید عمل می‌کند که فرمان خود را از فشار هوای سیستم ترمز پارک دریافت می‌کند؛ به این صورت که هنگامی که فشار هوا از ۱/۵ بار بیشتر شده و به ۷ بار می‌رسد، این سوئیچ جریان برق چراغ سیگنال روی نمایشگر را قطع کرده و علامت خاموش می‌شود و زمانی که فشار هوا از مقدار ذکر شده کمتر شود، ضمن این‌که این چراغ روشن می‌شود، هم‌زمان به (MPU) فرمان می‌دهد که از تحریک شدن لکوموتیو جلوگیری کند.

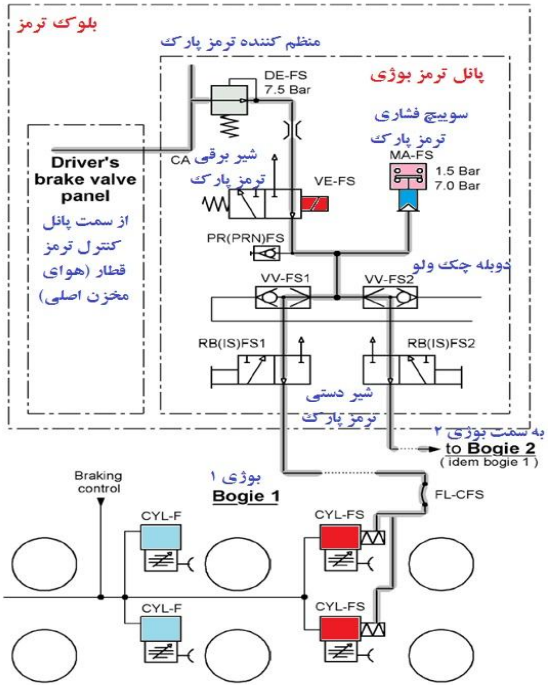
دلیل استفاده از دوبله چک ولوهای W-FS2و W-FS1 در مدار ترمز پارک بسیار مهم است؛ چراکه وقتی هنگام استفاده از ترمز سریع یا مستقل راننده هم‌زمان از ترمز پارک نیز استفاده نماید، نیروی وارد بر چرخ زیاد می‌شود و در این حالت امکان قفل کردن و بریدن چرخ زیاد می‌گردد.

از دیگر تجهیزات این سیستم، دو عدد شیر دستی RB(IS)FS2،RB(IS)FS1) است که برای هر بوژی یک عدد نصب شده است و کاربرد آن در مواقعی است که بخواهیم ارتباط هوای سیستم را با سیلندرهای ترمز قطع کنیم و هوای سیلندرهای ترمز را تخلیه نماییم (مثل زمان تعویض کفش ترمز).

ذکر این نکته لازم است که وضعیت فعال شدن و غیرفعال شدن ترمز پارک با پوش‌باتن مربوطه به صورتی است که با یک بار فشردن پوش‌باتن BP- FS در یک وضعیت قرار می‌گیرد و با فشار مجدد، وضعیت عوض می‌شود.

نکته: *در صورتی که فشار هوا کمتر از ۷ بار شود ترمز پارک‌ها تنها با کشیدن دستگیره‌های آزادسازی دستی ترمز پارک (که روی هر سیلندر قرارگرفته) امکان پذیر است.*

شکل(۴- ۷۵) مدار ترمزپارک را نشان می‌دهد.

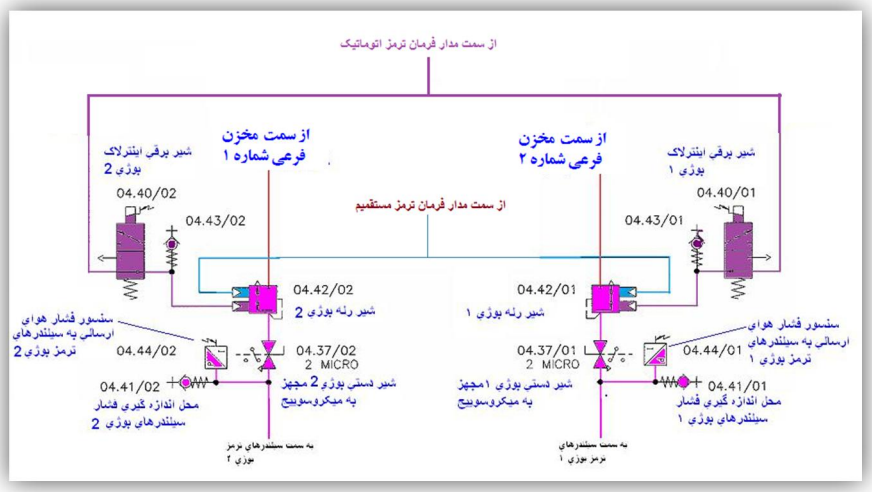


شکل ۴-۷۵) مدار ترمز پارک لکوموتیوهای آلستوم

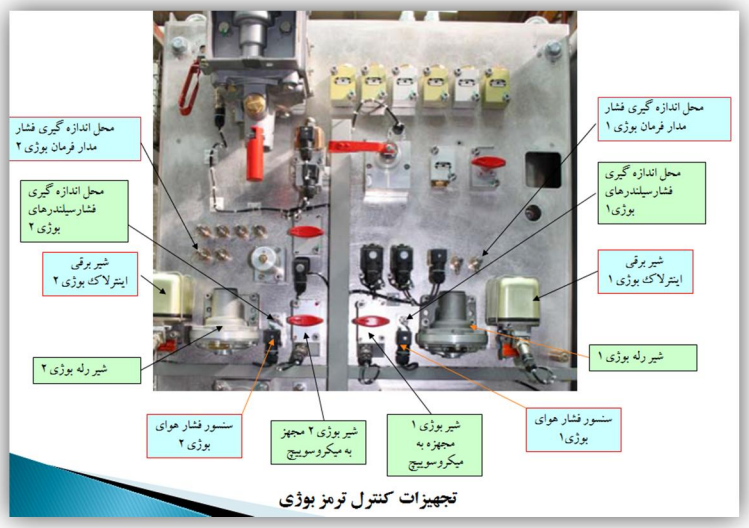
۴-۶-۴- لکوموتیو زیمنس

همان‌طور که در شکل (۴-۷۶) نمایش داده شده است، مدار کنترل ترمز بوژی‌ها در این لکوموتیوها نیز مشابه لکوموتیوهای آلستوم است. در این لکوموتیوهانیز از دو رله‌ولو 04.42/01 و 04.42/02 استفاده شده است با این تفاوت که این مدار فاقد دوبله‌چک‌ولو است و روش جدا کردن سیستم ترمز مستقیم و اتوماتیک، استفاده از رله‌ولوهایی با دو ورودی هوا است. یک ورودی هوا از مدار ترمز مستقیم و یک ورودی هوا از مدار ترمز اتوماتیک که از هر دو فرمان می‌گیرد. فشار خروجی رله‌ولوها براساس فشار ورودی از مدارهای فرمان ترمز مستقیم و اتوماتیک است و هوای ارسالی به سیلندرهای ترمز از دو عدد مخزن فرعی ۷۵ لیتری هر کدام برای یک بوژی تأمین می‌شود. شیرهای دستی 04.37/01 و04.37/02 برای بستن ترمز یک بوژی در مواقع ضروری هستند. در این لکوموتیوها امکان بستن هر دو شیر بوژی وجود ندارد و باعث قطع تحریک لکوموتیو خواهد شد.

شیرهای برقی اینترلاک 04.40/01 و04.40/02 برای قطع ترمز هوایی در هنگام استفاده از ترمز دینامیک است. لازم به ذکر است در این لکوموتیوها از سرعت KM/H ۱۶۰- ۶ در صورت استفاده از ترمز اتوماتیک به‌صورت خودکار با دستور LCU (سیستم کنترل لکوموتیو) ترمز هوایی توسط همین دو شیر برقی قطع شده و ترمز دینامیک فعال می‌گردد. لذا درصد بالایی از سیر لکوموتیو ترمز هوایی قطع بوده و ترمز دینامیک فعال است تا میزان ساییدگی لنت ترمز و دیسک ترمز کاهش یافته و عمر آن‌ها افزایش یابد. به این سیستم، سیستم قطع اتوماتیک ترمز هوایی یا اینترلاک ترمز می‌گویند.



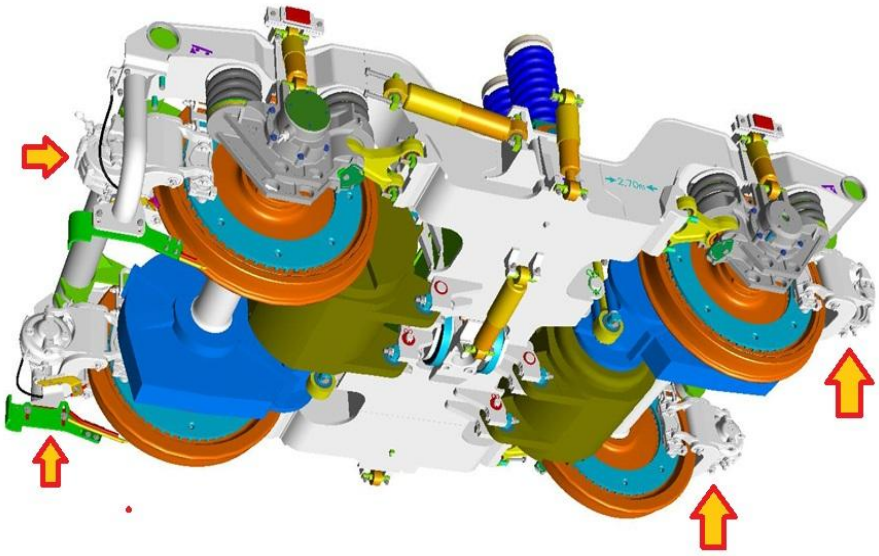
شکل ۴–۷۶) مدار کنترل ترمز بوژی‌ها در لکوموتیوهای زیمنس ER24PC



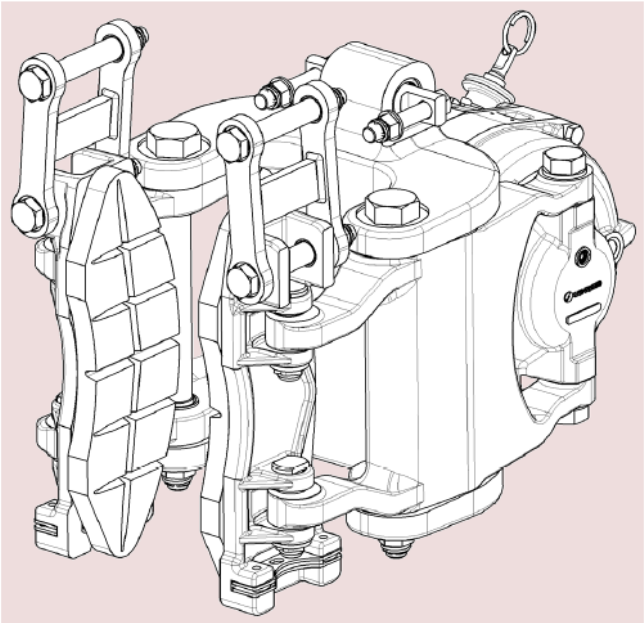
شکل ۴–۷۷) تجهیزات کنترل ترمز بوژی‌ها در پانل ترمز لکوموتیو زیمنس

لکوموتیوهای زیمنس دارای ۸ سیلندر ترمز هستند که از این ۸ سیلندر ترمز، ۴ عدد سیلندر ترمز پارک می‌باشند و بر روی چرخ‌های شماره 8،5،4،1 نصب شده‌اند. این لکوموتیوها نیز همانند لکوموتیوهای آلستوم فاقد اهرم‌بندی ترمز بوده و سیلندرهای ترمز مستقیماً بر روی چرخ‌ها نصب می‌شوند.

نکته: *ترمز روی بوژی این لکوموتیوها از نوع دیسکی– لنتی بوده و نیروی لنت ترمز به دیسک‌ها وارد می‌شود. لنت‌ها از نوع کامپوزیت هستند.*

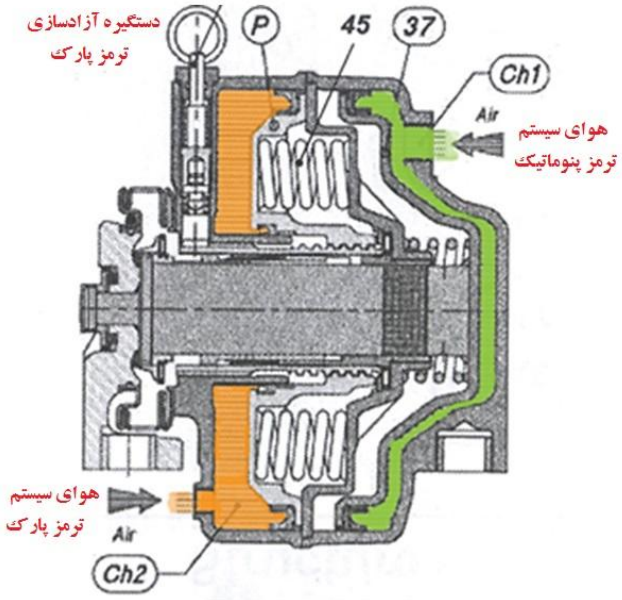


شکل ۴–۷۸) بوژی و سیلندرهای ترمز لکوموتیو زیمنس



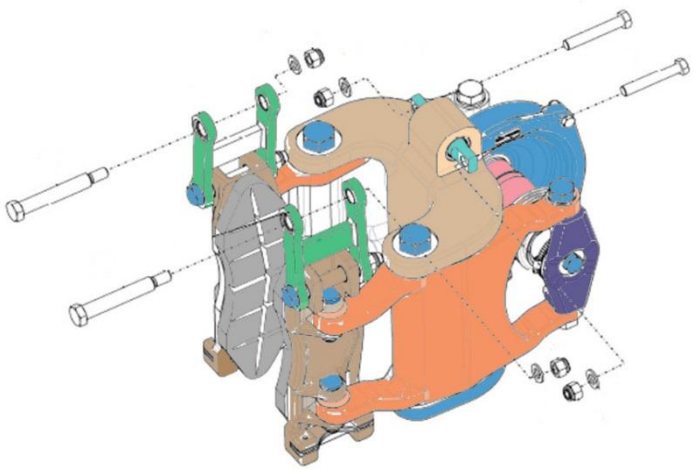
شکل ۴-۷۹) سیلندر ترمز مجهز به ترمز پارک لکوموتیو زیمنس

شکل (۴- ۸۰) ساختمان داخلی سیلندر ترمز پارک را نشان می‌دهد. فنر ۴۵ در صورت خالی بودن هوای نارنجی رنگ (که از سمت مدار ترمز پارک ارسال می‌شود) به قطعه P فشار وارد نموده و با توجه به درگیر بودن قطعه P به پیستون، پیستون را به سمت چپ هدایت می‌کند و باعث ترمزگیری می‌شود. به محض ارسال هوا از سمت مدار ترمز پارک لکوموتیو و رسیدن فشار به حدی که بر فشار فنر غلبه نماید (در لکوموتیو زیمنس ۵/ ۵ بار) قطعه P و به تبع آن پیستون را به سمت راست هدایت کرده و ترمز پارک را آزاد می‌کند. برای آزادسازی دستی ترمز پارک می‌توان با کشیدن دستگیره ۵۹ ارتباط قطعه P را با پیستون (با آزاد نمودن دندانه‌های بین قطعه P و پیستون)، قطع و ترمز پارک را به‌صورت دستی آزاد نمود.



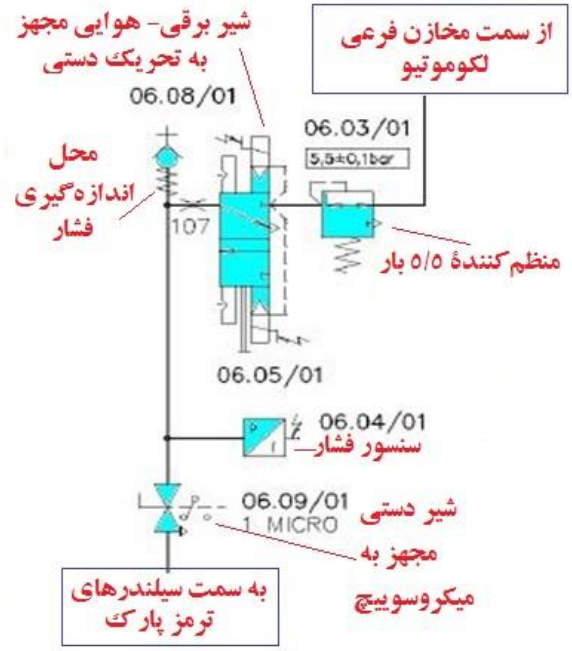
شکل ۴–۸۰) تجهیزات داخلی سیلندر ترمز پارک لکوموتیو زیمنس

نکته: *در صورتی که لکوموتیو بدون هوا باشد و ترمز پارک‌ها به‌صورت دستی آزاد شوند، امکان اعمال مجدد ترمز پارک وجود نخواهد داشت، مگر اینکه مجدداً لکوموتیو هواگیری شود.*



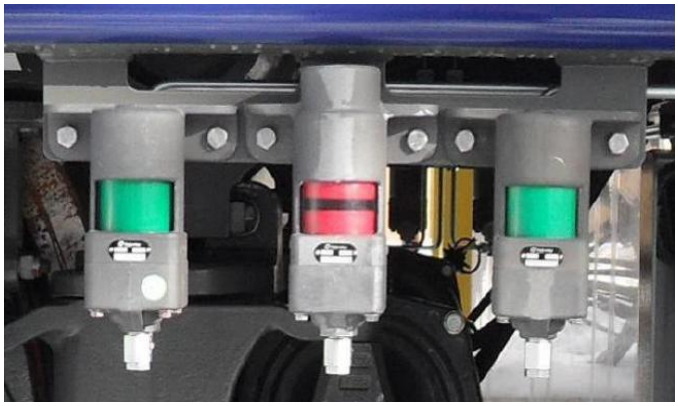
شکل ۴-۸۱) سیلندر ترمز فاقد ترمز پارک لکوموتیو زیمنس

مدار ترمز پارک لکوموتیو زیمنس شامل یک منظم‌کننده bar ۵/۵ به شماره 06.03/01، شیر برقی اعمال یا آزادسازی ترمز پارک به شماره 06.05/01 و یک شیر دستی قطع و وصل سیستم ترمز پارک به‌شماره 06.09/01 است. با فشردن پوش‌باتن ترمز پارک در کابین لکوموتیوران، تغذیه شیر برقی قطع شده و هوای داخل سیلندر ترمز پارک از این شیر برقی تخلیه می‌گردد. با تخلیهٔ هوای ترمز پارک، فنر قوی داخل سیلندر ترمز پارک، پیستون را حرکت داده و سیلندر در وضعیت ترمز پارک قرار می‌گیرد.



شکل ۴-۸۲) مدار ترمز پارک لکوموتیو زیمنس

نکته: *با توجه به دیسکی بودن ترمز زیمنس، اطلاع از ترمز بودن سیلندرهای ترمز از بیرون لکوموتیو به‌سختی قابل تشخیص است؛ لذا برای این لکوموتیوها شاخص ترمز در نظر گرفته شده است. رنگ سبز به‌معنی آزاد بودن ترمز و رنگ قرمز به معنی ترمز بودن است. شاخص وسط مربوط به ترمز پارک، شاخص سمت چپ مربوط به ترمز هوایی بوژی سمت چپ و شاخص سمت راست مربوط به ترمز هوایی بوژی سمت راست است.*

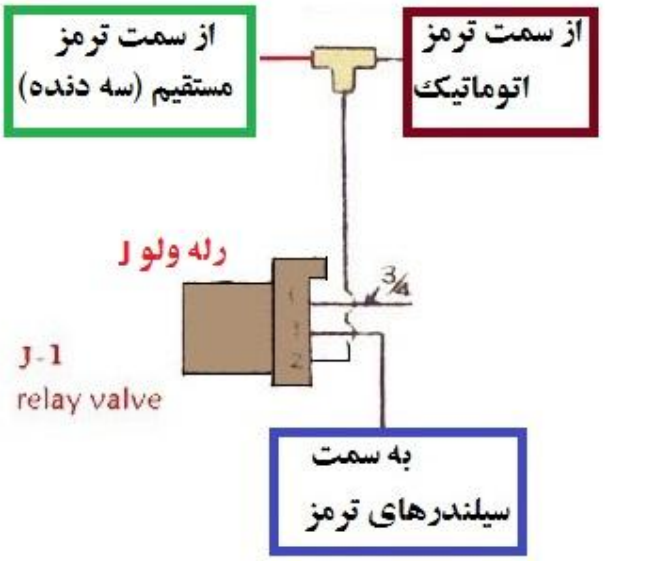


شکل ۴-۸۳) شاخص‌های ترمز لکوموتیو زیمنس

۴-۶-۵- لکوموتیوهای هیتاچی

در لکوموتیوهای هیتاچی ایران، سیستم کنترل ترمز بوژی‌ها کاملاً مشابه لکوموتیوهای GM است. در این لکوموتیوها از سوپاپ رله J-1 استفاده شده است. هوای مخزن اصلی در بالای اسپول سوپاپ J آماده می‌باشد. هوای تحریک سوپاپ J از سیستم ترمز مستقیم و یا اتوماتیک پس از عبور از دوبله‌چک‌ولو ارسال می‌شود و با توجه به حرکت دیافراگم به سمت بالا، هوایی با فشار برابر با هوای فرمان سیستم ترمز مستقیم و اتوماتیک از مخزن اصلی وارد سیلندرهای ترمز می‌گردد.

لکوموتیوهای هیتاچی دارای ۸ سیلندر ترمز هستند(هر چرخ یک سیلندر ترمز). نوع سیلندر ترمز این لکوموتیوها 180*200U است. ترمز بوژی این لکوموتیوها نیز مانند لکوموتیوهای GM دارای اهرم بندی است.



شکل ۴-۸۴) مدار کنترل ترمز بوژی‌ها در لکوموتیوهای هیتاچی ایران

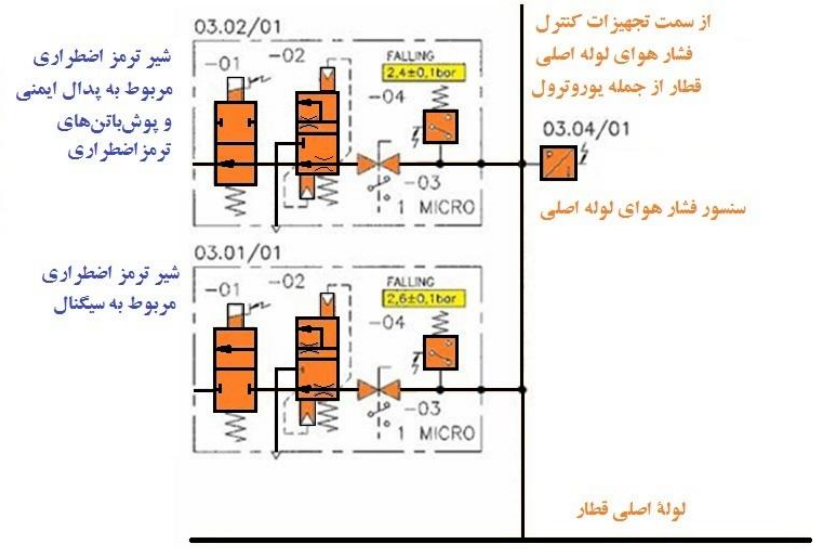
۴-۷- سیستم‌های ایمنی لکوموتیوهای ایران

سیستم‌هایی که برای ایمنی سیر قطارها در نظر گرفته می‌شود شامل موارد زیر است:

- سیستم حفاظت از گسیختگی، سیستم هوشیاری لکوموتیوران، سیستم تجاوز از سرعت مجاز، سیگنال ورودی ایستگاه‌ها و ترمزهای اضطراری توسط لکوموتیوران.

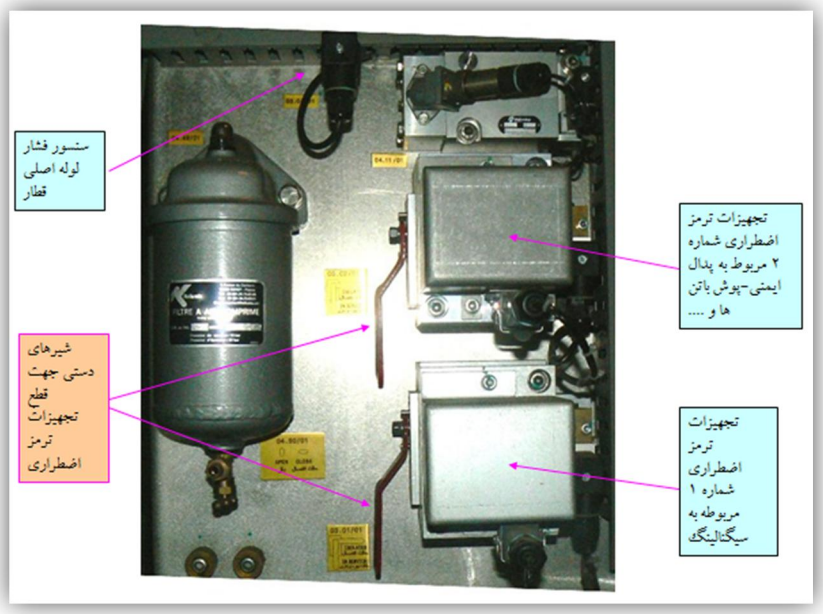
در لکوموتیوهای جدید یک سیستم ترمز اضطراری برای کلیهٔ تجهیزات ایمنی در نظر گرفته می‌شود و در صورت لزوم این سیستم با فرمان سیستم کنترل لکوموتیو فعال شده و ترمز اضطراری اعمال می‌شود. سیستم ترمز اضطراری لکوموتیوهای جدید مانند آلستوم و زیمنس مستقیماً به‌وسیله شیرهای برقی به لولهٔ اصلی ترمز متصل بوده و برای فعال کردن ترمز اضطراری شیرهای برقی مربوطه توسط سیستم

کنترل لکوموتیو فعال شده و هوای لولهٔ اصلی ترمز، تخلیه می‌گردد که باعث ترمز اضطراری در کل قطار می‌شود. در شکل‌های زیر مدار ترمز اضطراری لکوموتیوهای زیمنس و آلستوم نشان داده شده‌اند.



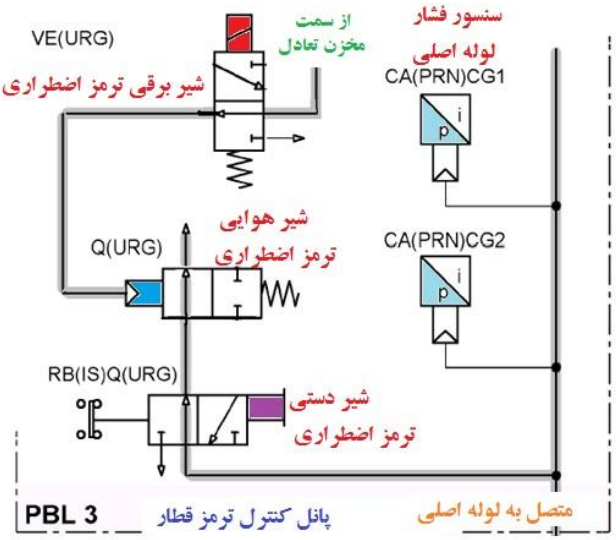
شکل ۴-۸۵) مدار ترمز اضطراری لکوموتیو زیمنس

همان‌گونه که در شکل(۴-۸۵) مشاهده می‌شود هر مدار دارای یک شیر دستی، شیر هوایی و یک شیر برقی است. برای فعال نمودن ترمز اضطراری مگنت ولو 01 فعال شده و با تخلیهٔ هوا، شیر هوایی 02 را فعال می‌کند؛ لذا هوای لولهٔ اصلی به‌طور کامل از شیر هوایی 02 به هوای آزاد تخلیه می‌گردد. تفاوت این دو سیستم در این است که در سیستم ترمز اضطراری 03.02/01 نیاز به برق‌دار شدن شیر برقی 01 برای ترمز اضطراری وجود دارد، در حالی‌که در سیستم 03.01/01 باید جریان برق شیر برقی 01 قطع شود.



شکل ۴-۸۶) تجهیزات ترمز اضطراری لکوموتیو زیمنس

در لکوموتیو آلستوم نیز مدار مشابهی وجود دارد با این تفاوت که برای تمام سیستم‌های ترمز اضـطراری تنهـا یک مدار تعبیه شده است(شکل ۴-۸۷).



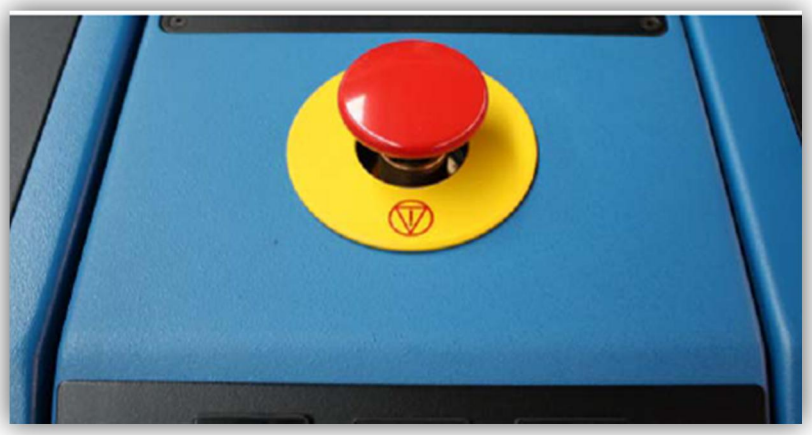
شکل ۴-۸۷) مدار ترمز اضطراری لکوموتیوهای آلستوم

با قطع جریان برق شیر برقی VE(URG) هوای مخزن تعادل RE شیر تحریک هوایی Q(URG) را فعال نموده و هوای لولهٔ اصلی قطار CG با عبور از شیر دستی RB(IS)Q(URG) تخلیه می‌شود. در صورت بستن شیر دستی ذکر شده تجهیزات ایمنی لکوموتیو از جمله پدال هوشیاری لکوموتیوران قطع می‌شود؛ لذا به‌هیچ عنوان (مگر در شرایط خاص و اضطراری) نباید این شیر بسته شود.

برای لغو ترمز اضطراری در لکوموتیوهای زیمنس، پس از توقف کامل لکوموتیو، علت ترمز اضطراری بررسی، عامل آن رفع و سپس با قرار دادن دسته مارش و رگولاتور در حالت خنثی (وسط)، هواگیری با دستهٔ ترمز قطار انجام می‌شود.

در لکوموتیوهای آلستوم و زیمنس برای فعال نمودن دستی ترمز اضطراری از پوش‌باتن ترمز اضطراری(شکل۴-۸۸) استفاده می‌شود که به پوش‌باتن‌های قارچی معروف هستند. با فشردن این پوش‌باتن‌ها

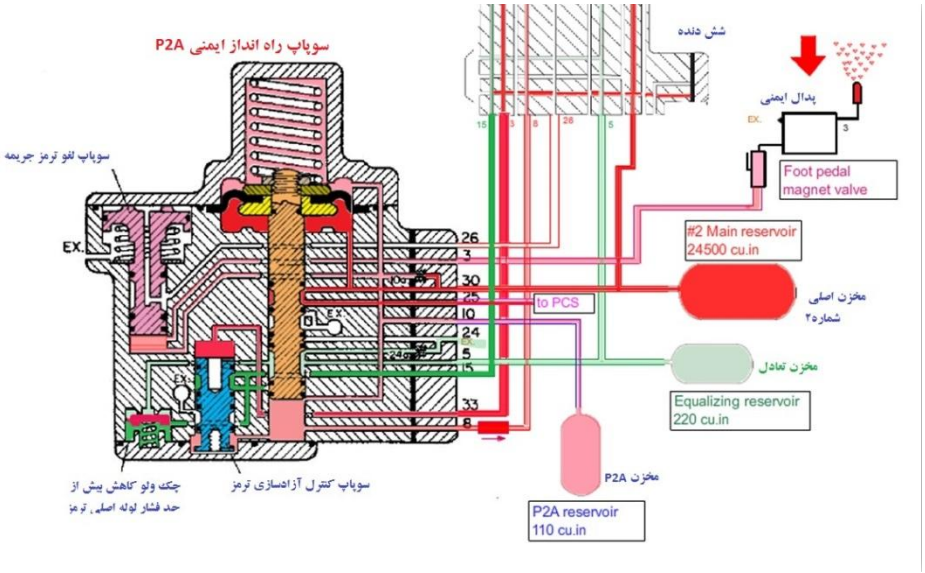
ترمز اضطراری فعال می‌گردد. برای لغو ترمز اضطراری، پوش‌باتن مذکور را در جهت عکس عقربه‌های ساعت چرخانده و به سمت بالا می‌کشیم.



شکل ۴-۸۸) پوش‌باتن ترمز اضطراری لکوموتیو زیمنس

در لکوموتیوهای GM و GE در مواقعی که ایمنی قطار به خطر بیافتد ، اصطلاحاً ترمز جریمه روی می‌دهد. این ترمز توسط سوپاپی به نام P2A application valve انجام می‌شود که روش عملکرد آن در ادامه توضیح داده می‌شود:

سوپاپ P2A یا سوپاپ کنترل ترمز جریمه توسط تجهیزات جریمه از جمله کنترل سرعت بیش از حد و سیستم هوشیاری لکوموتیوران تحریک شده و باعث فعال شدن ترمز تدریجی تا انجام ترمز کامل، می‌گردد.



شکل ۴-۸۹) مسیرهای داخلی و اتصالات سوپاپ P2A

همان‌طور که در شکل (۴-۸۹) مشاهده می‌شود سوپاپ p2a به مخزن اصلی، مخزن p2a ، سیستم قطع کشش لکوموتیو pcs ، مخزن تعادل، سیستم پدال ایمنی، سیستم تجاوز دور و سیستم کنترل سیگنال ورودی ایستگاه‌ها (این دو مورد انتخابی است و در لکوموتیوهای ایران نصب نشده است) و سوپاپ شش دنده متصل شده است.

این سوپاپ به نحوی طراحی شده است که در صورت عمل کردن تجهیزات ایمنی مانند پدال ایمنی، هوای مخزن تعادل و به تبع آن هوای لولهٔ اصلی را به‌طور کامل تخلیهٔ تدریجی می‌کند؛ از طرفی هوای مخزن اصلی را وارد pcs نموده و کشش لکوموتیو سریعاً قطع می‌شود. ضمناً ترمزی که به‌دلیل جریمه رخ داده است، لغو نمی‌شود مگر این‌که دسته شش دنده در دنده ۴ قرار گیرد. با قرار دادن دسته شش دنده در دنده ۴، هوای مخزن اصلی وارد لوله ۲۶ شده و ترمز جریمه p2a را لغو می‌کند؛ لذا لکوموتیو قادر به هواگیری مجدد و آزادسازی ترمز جریمه خواهد شد.

در لکوموتیو GM ترمز اضطراری دستی با قرار دادن دستهٔ شش دنده در دنده ۶ انجام می‌شود که با این کار هوای لولهٔ اصلی قطار به صفر رسیده و لکوموتیو سریعاً از تحریک خارج می‌شود. در لکوموتیوهای GE علاوه بر شش دنده، یک شیر دستی ترمز اضطراری نیز پیش‌بینی شده است که با کشیدن آن کل هوای لوله اصلی تخلیه شده و لکوموتیو سریعاً از تحریک خارج می‌گردد (شکل۴-۹۰).

شکل ۴-۹۰) شیر ترمز اضطراری لکوموتیو GE

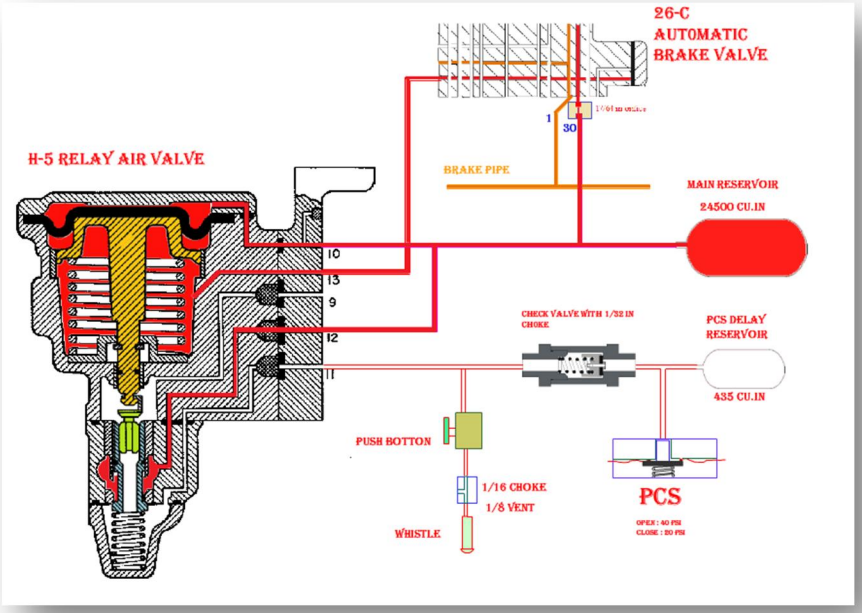
۴-۷-۱- سیستم حفاظت از گسیختگی

در لکوموتیوهای جدید مانند آلستوم و زیمنس با توجه به استفاده از سیستم ترمز الکتروپنیوماتیک و امکان کنترل الکترونیکی سیستم ترمز، هوای لولهٔ اصلی قطار دارای سنسور فشار است که به‌محض کاهش فشار لولهٔ اصلی، لکوموتیو از تحریک خارج می‌گردد. درصورت گسیختگی در قطار، با توجه به کاهش فشار لولهٔ اصلی، لکوموتیو به‌صورت اتوماتیک از تحریک خارج می‌شود. در لکوموتیوهای قدیمی‌تر مانند لکوموتیوهای GM وGE با توجه به این‌که کنترل سیستم ترمز الکترونیکی نیست، برای حفاظت از گسیختگی قطار از

سوپاپ‌های هوایی استفاده شده است. در لکوموتیو GM از سوپاپی به نام سوپاپ H-5 و در لکوموتیوهای GE از سوپاپی به نام A-1 استفاده شده است. در لکوموتیو GM از زمان گسیختگی قطار تا از تحریک خارج شدن لکوموتیو تأخیر زمانی ۵۰ الی ۶۰ ثانیه وجود دارد، ولی در لکوموتیوهای GE تأخیر زمانی وجود نداشته و بلافاصله پس از بروز گسیختگی در قطار لکوموتیو از تحریک خارج می‌شود.

نکته: *طی یک‌سری اصلاحات انجام شده بر روی کلیهٔ لکوموتیوهای GE سیستم حفاظت از گسیختگی مشابه مدار GM (با استفاده از سوپاپ H-5) نصب شده است.*

مدار سیستم حفاظت گسیختگی لکوموتیوهای GM در شکل(۴-۹۱) نشان داده شده است.

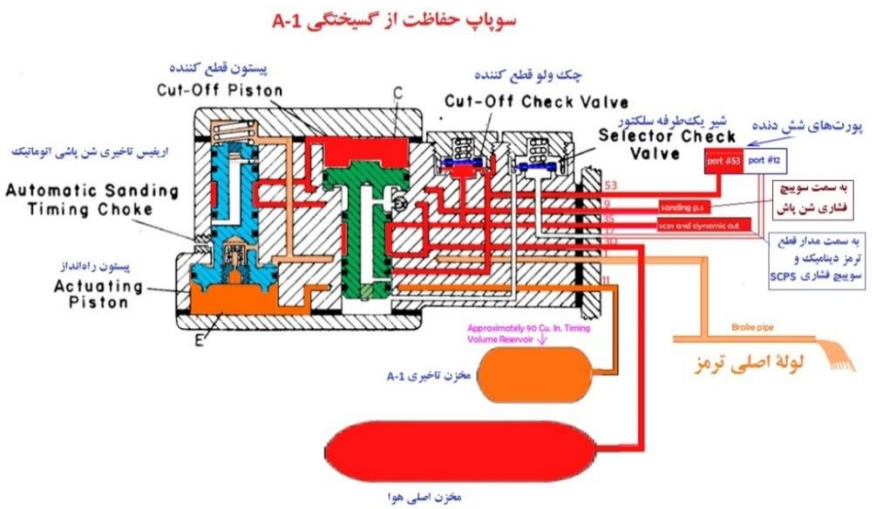


شکل ۴-۹۱) مدار حفاظت گسیختگی لکوموتیوهای GT26 ایران

سوپاپ H-5 به هوای مخزن اصلی از دو مسیر متصل شده است. یکی مستقیم (لوله ۱۰) و یکی پس از عبور از یک اریفیس به اندازه ۱۷/۶۴ اینچ که زیر دستگاه شش دنده نصب شده است (لوله ۱۳). به‌محض گسیختگی قطار و تخلیهٔ هوای لولهٔ اصلی، هوای بالای اریفیس تخلیه شده و هوای زیر اریفیس به‌دلیل شارژ توسط کمپرسور با سرعت خیلی کمتری کاهش می‌یابد؛ لذا دیافراگم سوپاپ H-5 به سمت پایین حرکت نموده و راه هوای مخزن اصلی (لوله ۱۲) به سمت سیستم قطع قدرت لکوموتیو PCS (لوله ۱۱) باز می‌شود. در مسیر PCS تجهیزاتی به این شرح وجود دارند که باعث تأخیر زمانی ۵۰ الی ۶۰ ثانیه‌ای می‌گردند: چوک به قطر ۱/۱۶ اینچ با تخلیه هوا به قطر ۱/۸ اینچ، سوت اخطار ترمز با تخلیهٔ هوا، شیر یک‌طرفه با اریفیس ۱/۳۲ اینچ و مخزن تأخیری PCS با حجم ۴۳۵CU.IN.

نکته: *پس از رفع فرار هوا از لولهٔ اصلی ترمز، سیستم حفاظت گسیختگی قطع شده و لکوموتیو مجدداً تحریک می‌گردد (نیازی به قرار دادن دستهٔ شش دنده در دنده ۴ وجود ندارد).*

مدار سیستم حفاظت گسیختگی لکوموتیو GE در شکل(۴-۹۲) نمایش داده شده است:



شکل ۴-۹۲) مدار حفاظت از گسیختگی لکوموتیو GE

سوپاپ A-1 به مخزن اصلی، لوله اصلی ترمز، سیستم شن پاش، سیستم قطع قدرت SCPS ، پورت ۵۳ شش دنده و پورت ۱۲ شش دنده و همچنین مخزن تأخیری A-1 متصل می‌شود.

در صورت فرار هوای لولهٔ اصلی قطار، هوای مخزن اصلی به سیستم قطع قدرت برای قطع کشش فوری لکوموتیو و پورت ۵۳ شش دنده برای قطع ارتباط لولهٔ اصلی (جلوگیری از شارژ لولهٔ اصلی توسط مخزن اصلی) ارسال می‌گردد.

لذا در صورت عمل کردن سوپاپ A-1 ، عملیات‌های زیر رخ می‌دهند:

۱- فعال شدن SCPS و از تحریک خارج نمودن لکوموتیو

۲- فعال شدن BCPS2 و قطع دینامیک

۳- قطع هوای لولهٔ اصلی با ارسال هوا به روی سوپاپ قطع لولهٔ اصلی در شش دنده

برای لغو باید پس از رفع نشتی لولهٔ اصلی قطار ، شش دنده را در دنده ۶ (ترمز ضطراری) قرار دهیم تا هوای لوله ۱۲ شش‌دنده وارد سوپاپ A-1 شده و قطع قدرت لکوموتیو را لغو کند.

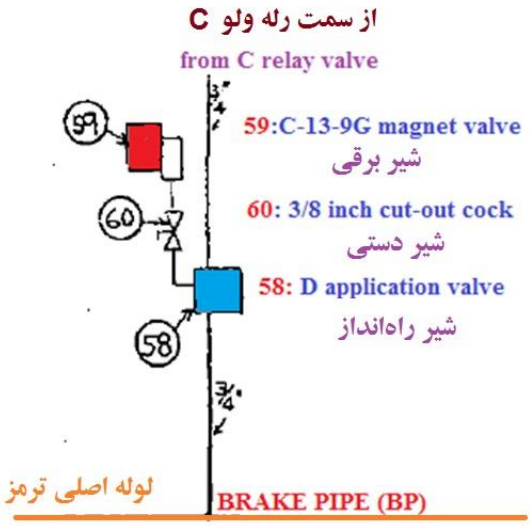
- **لکوموتیوهای چینی DF8**

این لکوموتیوها نیز دارای پدال ایمنی، سیستم حفاظت از گسیختگی و ترمز اضطراری دستی هستند. شیر ترمز اضطراری مستقیماً به لوله اصلی ترمز متصل شده و هنگامی‌که لکوموتیوران آن را فعال می‌کند، هوای لولهٔ اصلی فوراً تخلیه می‌گردد و ترمز اضطراری در کل قطار فعال می‌شود.

• لکوموتیو هیتاچی

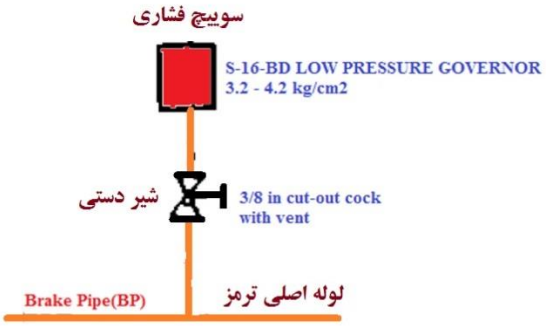
لکوموتیوهای هیتاچی در بحث ایمنی دارای سیستم حفاظت از گسیختگی، پدال ایمنی و ترمز اضطراری هستند.

پدال ایمنی این لکوموتیوها دارای یک شیر تحریک هوایی(D brake application valve)، یک شیر دستی برای قطع سیستم و یک شیر برقی(C-13-9G magnet valve) برای فعال نمودن سیستم پدال ایمنی است. در صورتی که لکوموتیوران مطابق با دستورالعمل لکوموتیو پدال ایمنی را فشار ندهد، مگنت ولو(C-13-9G) عمل نموده و هوای یک طرف شیر تحریک هوایی D را تخلیه می‌کند. به‌دلیل برهم خوردن تعادل داخل شیر هوایی، با توجه به اینکه شیر تحریک هوایی در مسیر لولهٔ اصلی قرار گرفته است، راه شارژ هوای لولهٔ اصلی ترمز از رله‌ولو C قطع شده و هوای لولهٔ اصلی قطار را تخلیه می‌کند که باعث ترمز اضطراری می‌گردد (شکل۴-۹۳).



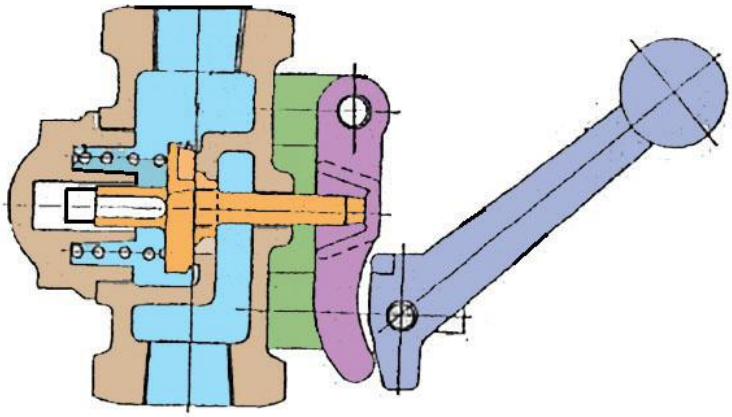
شکل ۴-۹۳) مدار سیستم هوشیاری لکوموتیوران

سیستم گسیختگی این لکوموتیوها دارای یک سوئیچ فشاری (S-16-BD B.P. LOW PRESSURE GOVERNOR) است که مستقیماً به لوله اصلی ترمز قطار متصل است. این سوییچ فشاری بر روی فشار 3.2-4.2 kg/cm2 تنظیم شده است. در صورت فرار هوای لولهٔ اصلی و کاهش فشار لولهٔ اصلی قطار تا 3.2kg/cm2، سوییچ فشاری، ارتباط برقی تحریک لکوموتیو را قطع نموده و لکوموتیو از تحریک خارج می‌شود. به محض جلوگیری از فرار هوای لولهٔ اصلی و افزایش فشار لولهٔ اصلی قطار تا 4.2kg/cm2 مجدداً تحریک لکوموتیو برقرار می‌گردد. در مسیر سوییچ فشاری، یک شیر دستی نصب شده است تا در مواقع لزوم بتوان این مدار را قطع نمود(شکل۴-۹۴).



شکل ٤-٩٤) مدار حفاظت گسیختگی لکوموتیو هیتاچی

این لکوموتیوها علاوه بر این‌که دارای ترمز اضطراری در دستهٔ ترمز قطار هستند(آخرین دندهٔ دستهٔ ترمز قطار)، دارای یک شیر دستی ترمز اضطراری (B-3A emergency brake valve) می‌باشند که مستقیماً به لولهٔ اصلی قطار متصل شده است.



شکل ۴-۹۵) دسته ترمز اضطراری لکوموتیو هیتاچی B-3-A emergency brake valve

۴- ۸- مدار اتصال هوایی چند لکوموتیو

برای افزایش نیروی کشش، دو یا چند لکوموتیو به یکدیگر متصل می‌شوند. برای اتصال لکوموتیوها نیاز به انجام اقداماتی است که شامل اتصال برقی لکوموتیوها از جمله اتصال کابل‌ها و یا تغییر وضعیت کلیدها و سوئیچ‌های برقی لکوموتیوها و اتصال مکانیکی شامل اتصال قلاب‌ها و همچنین اقدامات مربوط به سیستم هوای فشرده است که در ادامه به آن خواهیم پرداخت.

نکته ۱: *در اتصال لکوموتیوها، لکوموتیو فرماندهی را (که عمدتاً جلوی قطار قرار می‌گیرد) لکوموتیو راهنما و لکوموتیوهای کوپل شده به لکوموتیو راهنما را لکوموتیوهای یدک می‌نامند.*

نکته ۲: *با توجه به الکتروپنیوماتیک بودن سیستم ترمز لکوموتیوهای جدید از جمله لکوموتیوهای آلستوم و زیمنس ایران، مدار پنیوماتیکی خاصی برای دوبله‌کردن لکوموتیوها تعبیه نمی‌شود و تجهیزات ترمز مربوط به لکوموتیو یدک از طریق سیستم کنترل الکتریکی توسط لکوموتیو راهنما کنترل می‌شود؛ به‌عنوان مثال برای اعمال ترمز لکوموتیو دستور ترمز مستقیم از لکوموتیو راهنما صادر می‌شود که این فرمان به‌صورت*

سیگنال‌های الکتریکی است. این سیگنال‌ها از طریق کابل رابط به لکوموتیو یدک نیز ارسال و ترمز لکوموتیو در لکوموتیو یدک نیز اجرا می‌شود. در این لکوموتیوها کافی است پس از اتصال کابل‌های مربوط و لوله‌های هوا و قلاب نمودن لکوموتیوها، لکوموتیو یدک روشن شده و سوییچ نمایشگر آن خاموش شود. سیستم کنترل لکوموتیو، لکوموتیو با نمایشگر خاموش را به‌عنوان لکوموتیو یدک خواهد شناخت و تمام دستورات لکوموتیو راهنما در لکوموتیو یدک نیز اجرا خواهد شد.

در لکوموتیوهای قدیمی‌تر مانند لکوموتیو GMوGE با توجه به پنیوماتیکی بودن سیستم ترمز و عدم کنترل الکتریکی بر تجهیزات ترمز، دوبله‌کردن نیز باید به‌روش پنیوماتیکی صورت پذیرد. به این دلیل نیاز به برخی سوپاپ‌های هوایی و همچنین اتصال لوله‌های هوای بیشتر در این لکوموتیوها وجود دارد (به‌عنوان مثال برای دوبله‌کردن لکوموتیوهای GM وGE سه عدد لولهٔ هوایی لکوموتیو به یکدیگر متصل می‌شوند؛ در حالی‌که در لکوموتیوهای زیمنس و آلستوم تنها دو لوله به‌یکدیگر کوپل می‌شوند). همچنین در لکوموتیوهای زیمنس و آلستوم هیچ سوپاپ هوایی اضافه‌ای برای دوبله کردن لکوموتیوها وجود ندارد ولی در لکوموتیوهای GM وGE چندین سوپاپ مربوط به دوبله کردن وجود دارد که در ادامه شرح داده خواهد شد.

۴-۸-۱- لوله‌های رابط بین لکوموتیوها

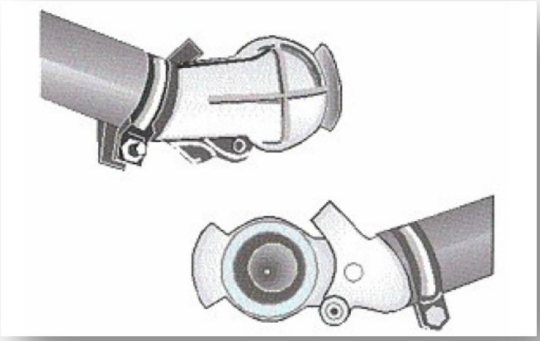
۴-۸-۱-۱- لولهٔ اصلی ترمز

تمام لکوموتیوهای جهان دارای لولهٔ اصلی ترمز قطار (BRAKE PIPE (BP هستند که در کشور ما به‌دلیل تبعیت از استاندارد UIC فشار این لوله 5 BAR یا 70 PSI است. این لوله که برای کنترل ترمز قطار تعبیه شده است به لولهٔ ترمز واگن‌ها متصل می‌گردد. در هنگام دوبله نمودن لکوموتیوها نیز لوله ۵ بار دو یا چند لکوموتیو باید به‌یکدیگر متصل شوند.

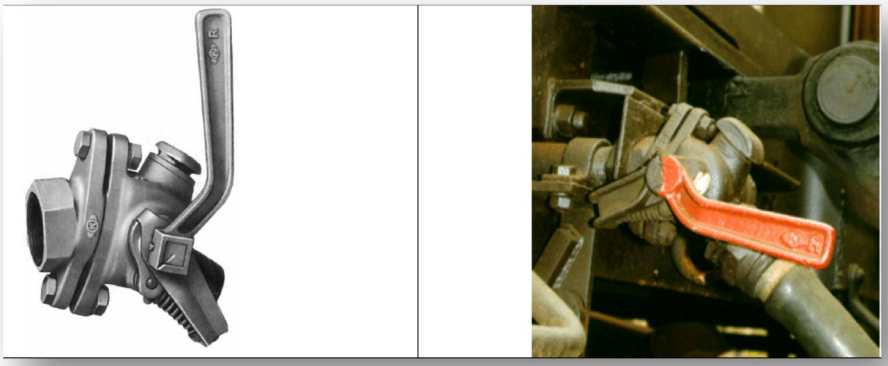
نکته: *برای اتصال هوایی وسایل نقلیه ریلی در دو انتهای وسیله ریلی از لولهٔ انعطاف‌پذیر(لاستیکی) برای اتصال سهل و آسان لوله‌ها به یکدیگر استفاده می‌شود. قبل از این لوله‌ها یک شیر دستی برای باز و بسته کردن جریان هوا بین وسایل نقلیه ریلی استفاده می‌شود. همچنین برای اتصال لوله‌های لاستیکی به یکدیگر*

از یک رابط به نام سرپنجه استفاده می‌شود. با روی هم قرار دادن سرپنجه‌ها و چرخاندن آن‌ها روی یکدیگر، کوپل هوایی انجام می‌شود. برای جلوگیری از نشتی هوا، سرپنجه‌ها دارای واشر لاستیکی هستند. در شکل‌های (۴-۹۶)، (۴-۹۷) و (۴-۹۸) نمونه‌ای از لولهٔ لاستیکی و سرپنجه نشان داده شده است:

شکل ۴-۹۶) لولهٔ لاستیکی هوا و سرپنجه یک وسیله نقلیه ریلی



شکل ۴-۹۷) سرپنجه



شکل ۴-۹۸) شیر هوای انتهای وسیله نقلیه ریلی (سمت چپ شیر بسته بوده و سمت راست باز است)

۴-۸-۱-۲- لولهٔ مخزن اصلی (در ایران به لولهٔ تعادل مخزن اصلی معروف است)

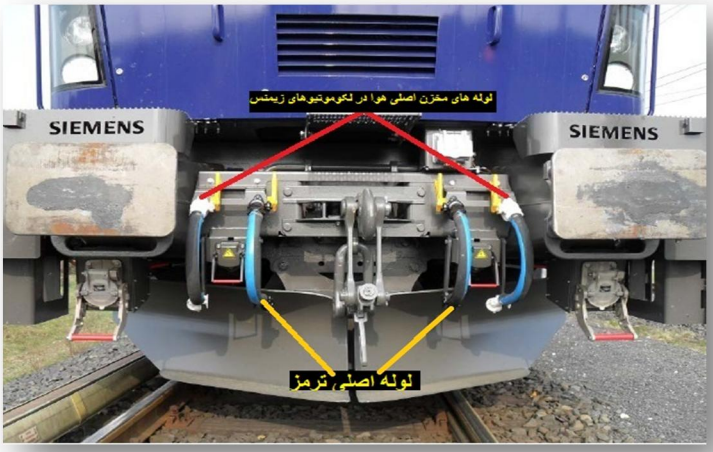
همان‌طور که در بخش تولید هوای فشرده توضیح داده شد، بخشی از هوای تولیدی کمپرسور از مخازن اصلی لکوموتیو وارد لولهٔ مخزن اصلی می‌شود. هدف از ایجاد این لوله اولاً این است که کمپرسور لکوموتیوهای دوبله شده به یکدیگر برای شارژ سریع‌تر هوا کمک نمایند که این امر در قطارهای طویل نمود بیشتری دارد و ثانیاً برای مصارف هوای جانبی برخی واگن‌ها (از جمله درب‌های پنیوماتیکی، بالشتک‌های هوایی بوژی‌ها و ...) که در ایران می‌توان به سالن‌های مسافری چینی اشاره نمود. لذا برای دوبله نمودن لکوموتیوها، اتصال لولهٔ مخزن اصلی لازم و اجباری است. فشار هوای لوله مخزن اصلی مطابق با فشار مخازن اصلی هوای لکوموتیوها است.

۴-۸-۱-۳- لولهٔ تعادل سیلندرهای ترمز (در ایران به لولهٔ تعادل کوچک معروف است)

همان‌طور که اشاره شد فقط لکوموتیوهای با ترمز پنیوماتیکی نیاز به لوله‌های بیشتر برای کنترل ترمز لکوموتیو یدک دارند. این لوله برای ترمز پنیوماتیکی و فرمان گرفتن سیلندرهای ترمز لکوموتیو یدک از هوای سیلندرهای ترمز لکوموتیو راهنما کاربرد دارد ولی در لکوموتیوهای با سیستم ترمز الکتروپنیوماتیکی از جمله لکوموتیو زیمنس و آلستوم این لوله وجود ندارد.

لکوموتیو هیتاچی به‌دلیل عدم نیاز به دوبله شدن (صرفاً مانوری است) تنها دارای لولهٔ اصلی ترمز است.

شکل ۴-۹۹) لوله‌های ترمز در لکوموتیوهای GM وGE



شکل ۴-۱۰۰) لوله‌های ترمز در لکوموتیوهای زیمنس

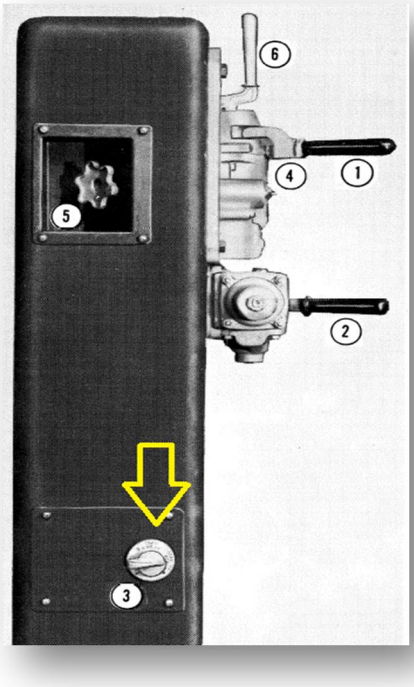
نکته: *در لکوموتیوهای GM و GE شیر دستی قطع و صل لولهٔ اصلی ترمز در شکل (۴-۹۹) قابل مشاهده است ولی شیرهای مربوط به لوله‌های مخزن اصلی و تعادل سیلندر ترمز دیده نمی‌شود. شیرهای دستی این دو لوله در پشت صفحه فلزی(که لوله‌ها به آن وصل و زیر شاسی لکوموتیو نصب شده است) در شکل (۴-۱۰۱) نشان داده شده است.*

شکل ۴- ۱۰۱) محل شیرهای تعادل در لکوموتیوهای GM و GE

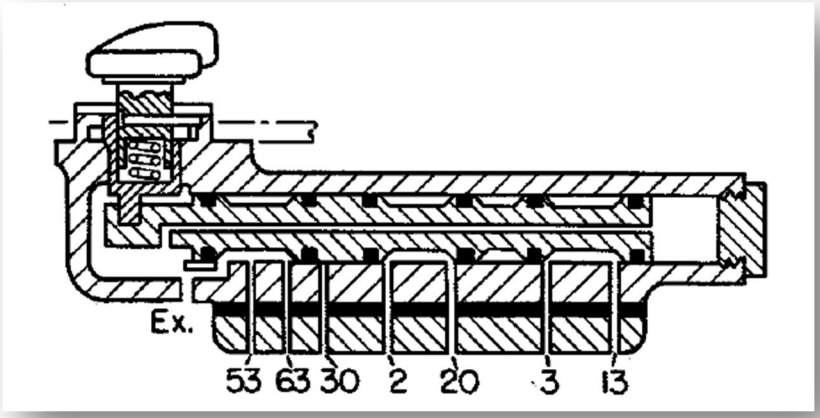
۴-۸-۲- مدار دوبله کردن لکوموتیوهای GEوGM

با توجه به پنیوماتیکی بودن سیستم ترمز در لکوموتیوهای GEوGM برای فرمان گرفتن ترمز لکوموتیو یدک از لکوموتیو راهنما نیاز به سوپاپ‌های هوایی در این لکوموتیوها است. سوپاپ‌هایی که در این لکوموتیوها استفاده می‌شود عبارتند از:

- سوپاپ دوبله MU-2A به‌همراه کلید سلکتوری تغییر وضعیت لکوموتیو از حالت راهنما به یدک. این سوپاپ در جداره کناری کنسول لکوموتیوران پایین دستگاه شش دنده نصب شده است و دارای دو حالت راهنما- یدک است. برای قرار دادن لکوموتیو در حالت یدک، این شیر باید به‌حالت یدک تغییر وضعیت داده شود. همچنین این سوپاپ در مسیر ترمز مستقیم لکوموتیو قرار گرفته و اگر به‌حالت دوبله تغییر وضعیت داده شود، ترمز مستقیم لکوموتیو قطع خواهد شد.

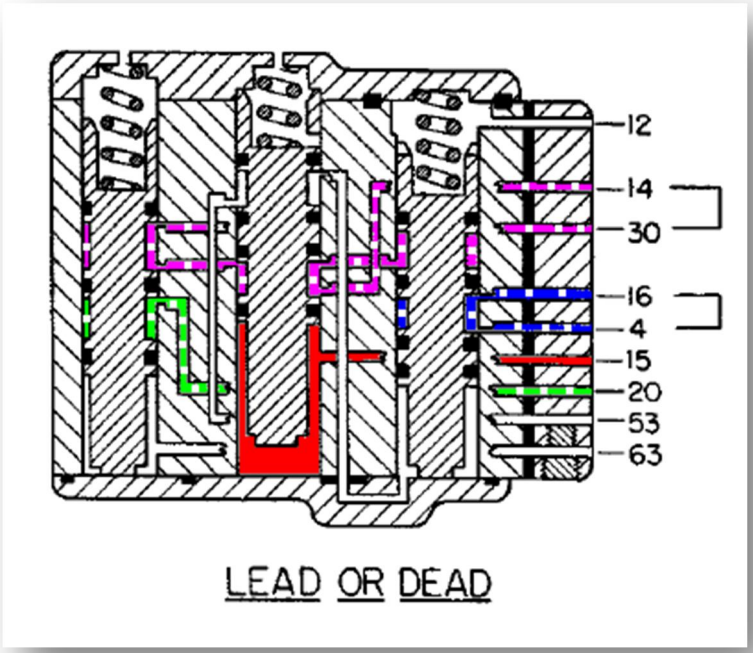


شکل ۴-۱۰۲) محل شیر دوبله MU-2A



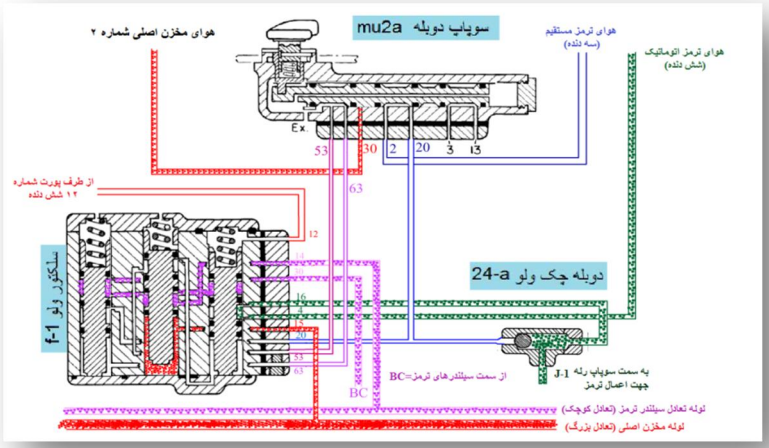
شکل ۴-۱۰۳) نمای داخلی سوپاپ MU-2A

- سوپاپ دیگر مدار دوبله کردن این لکوموتیوها سوپاپ سلکتور F-1 SELECTOR VALVE است که وضعیت ارتباط هوایی سیستم ترمز چند لکوموتیو دوبله شده را به‌عهده دارد. از دیگر وظایف این سوپاپ، قطع سیستم ترمز اتوماتیک لکوموتیو یدک و همچنین فعال نگه داشتن ترمز اضطراری و سیستم حفاظت گسیختگی لکوموتیو یدک است.

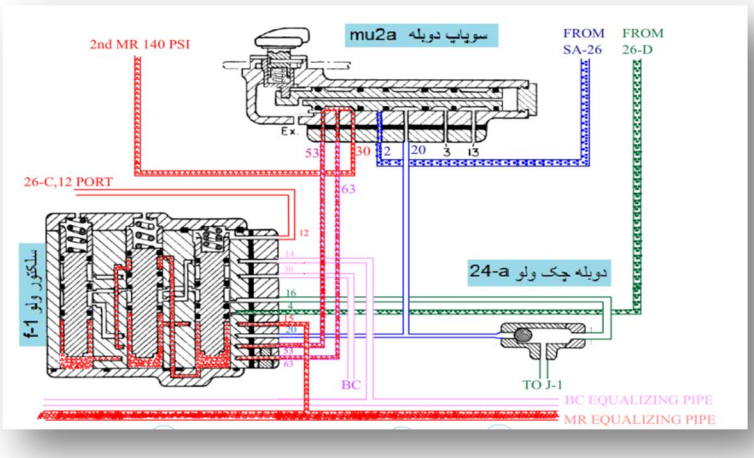


شکل ۴-۱۰۴) نمای داخلی سوپاپ سلکتور F-1

نکته مهم: *تفاوت لکوموتیوهای GE با لکوموتیوهای GM در مدار دوبله کردن استفاده از یک سوپاپ J-1 اضافه برای مدار دوبله است.*



شکل ۴-۱۰۵) مدار دوبله لکوموتیو GEوGM (حالت راهنما)



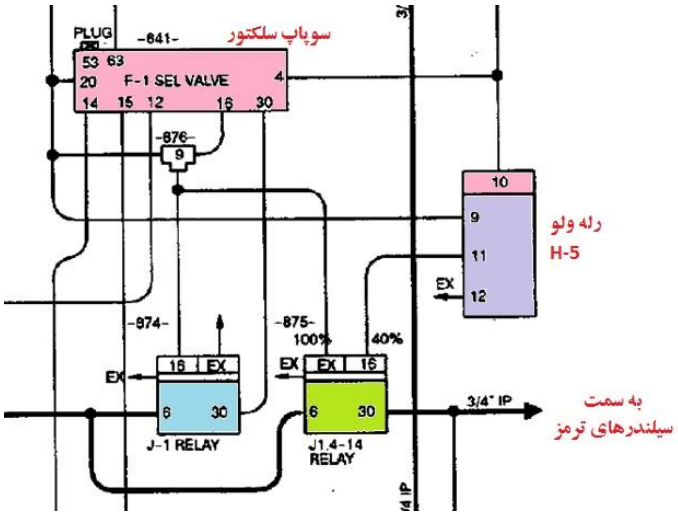
شکل ۴-۱۰۶) مدار دوبله لکوموتیوهای GEوGM (حالت یدک)

همان‌طور که در شکل فوق مشاهده می‌گردد:

- در لکوموتیو راهنما هوای لولهٔ تعادل بزرگ، اسپول میانی سوپاپ سلکتور را به سمت بالا حرکت می‌دهد. سایر اسپول‌ها در محل خود باقی می‌مانند؛ لذا ارتباط پورت ۴ به پورت ۱۶ و همچنین پورت ۳۰ به ۱۴ برقرار است.
- در لکوموتیو یدک هوای مخزن اصلی به زیر اسپول‌های کناری راه یافته و باعث می‌شود هر سه اسپول سوپاپ سلکتور به سمت بالا حرکت نمایند؛ لذا ارتباط پورت‌های ۱۴، ۱۶ و ۲۰ به یکدیگر برقرار می‌گردد .
- هوای ارسالی از سمت ترمز مستقیم (سه دنده) از سوپاپ دوبله عبور می‌کند؛ لذا در صورت قرار دادن شیر دوبله در حالت یدک، ترمز مستقیم قطع می‌گردد.
- هوای ترمز اتوماتیک (شش دنده) از سوپاپ سلکتور F-1 عبور می‌کند؛ لذا در صورتی که لکوموتیو در حالت یدک باشد، ترمز اتوماتیک یا شش دنده قطع می‌شود (در لکوموتیو راهنما پورت ۴ به پورت ۱۶ متصل است ولی در لکوموتیو یدک ارتباط این دو پورت قطع می‌شود).
- پورت ۱۲ شش دنده مربوط به ترمز اضطراری است؛ لذا در صورتی که ترمز اضطراری توسط دسته شش دنده انجام گیرد، ترمز اتوماتیک لکوموتیو یدک توسط پورت ۱۲ سوپاپ سلکتور فعال می‌گردد؛ لذا در لکوموتیو یدک فقط ترمز اضطراری (دنده ۶ دستگاه شش دنده) فعال است.
- هوای لولهٔ تعادل کوچک در لکوموتیو راهنما مطابق با فشار سیلندر ترمز دارای هوا است. با توجه به اتصال لولهٔ تعادل کوچک دو لکوموتیو راهنما و یدک، لولهٔ تعادل لکوموتیو یدک نیز به میزان فشار سیلندر ترمز لکوموتیو راهنما دارای هوا است؛ لذا هوای ارسالی به سوپاپ رله J-1 در لکوموتیو یدک از طریق سوپاپ سلکتور (پورت ۱۴ به پورت ۱۶ و ۲۰) تامین می‌گردد و لکوموتیو یدک از این طریق ترمز می‌شود.
- در صورت گسیخته شدن لکوموتیو یدک، هوای لوله تعادل بزرگ (MR) تخلیه می‌شود؛ لذا اسپول وسط سوپاپ سلکتور به‌سمت پایین حرکت می‌کند و هوای زیر اسپول سمت راست را نیز تخلیه می‌کند. با پایین آمدن اسپول سمت راست، ترمز اتوماتیک لکوموتیو یدک نیز از طریق پورت ۴ به ۱۶ فعال می‌گردد؛ لذا در صورت گسیختگی لکوموتیو یدک، ترمز اتوماتیک لکوموتیو یدک فعال

می‌گردد (این امر به‌دلیل ایمنی سیر وسایل نقلیه ریلی لازم و ضروری است که در صورت گسیخته شدن وسیله نقلیه حتماً ترمز اتوماتیک باید فعال گردد).

نکته۱: *همان‌طور که ذکر شد، تفاوت مدار دوبله لکوموتیوهای GM و GE در این است که در لکوموتیوهای GM پورت ۳۰ سوپاپ سلکتور از مسیرهوای ارسالی از پورت ۳۰ سوپاپ J-1 به سیلندرهای ترمز تغذیه می‌شود؛ در حالی‌که در لکوموتیو GE پورت ۳۰ سوپاپ سلکتور از پورت ۳۰ سوپاپ J-1 به صورت خاص تغذیه می‌شود و ارتباطی به هوای ارسالی به سیلندرهای ترمز ندارد (هوای ارسالی به سیلندرهای ترمز از سوپاپ J1. 6-16 یا J1.4-14 تأمین می‌شود). سوپاپ J-1 در لکوموتیوهای GE مختص مدار دوبله تعبیه شده است(شکل ۴-۱۰۷).*

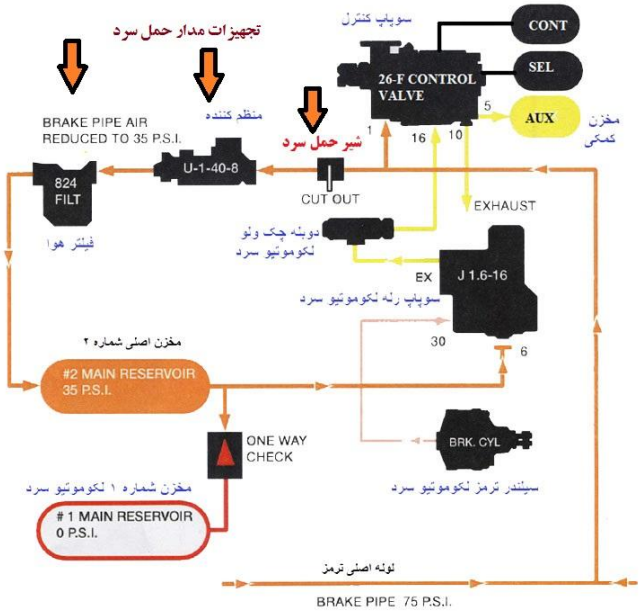


شکل ۴-۱۰۷) مدار دوبله کردن لکوموتیوهادر لکوموتیوهای GE

نکته۲: *در هنگام دوبله نمودن لکوموتیوهای GMوGE، دستهٔ شش دنده و شیر خروسکی در لکوموتیو یدک باید در حالت قطع ارتباط قرار گیرد و هر سه لولهٔ لکوموتیو (لولهٔ اصلی ترمز، لولهٔ تعادل کوچک و لولهٔ تعادل بزرگ) متصل گردند.*

۴-۸-۳- حمل لکوموتیو خاموش (لکوموتیو سرد)

آن‌گونه که عنوان شد لکوموتیو نیز همچون واگن‌ها دارای سیستم ترمز اتوماتیک است. در صورتی که لکوموتیو به هر دلیلی خاموش شود و امکان روشن نمودن آن وجود نداشته باشد، به صورت سرد باید حمل شود. برای حمل سرد لکوموتیو باید سیستم ترمز اتوماتیک آن فعال باشد تا از لکوموتیو گرم فرمان بگیرد. طریقهٔ عملکرد ترمز لکوموتیو سرد نیز مشابه با یک واگن خواهد بود؛ لذا برای حمل سرد لکوموتیو تنها کافی است لولهٔ اصلی ترمز آن به لوله اصلی ترمز لکوموتیو گرم متصل شود. برای فعال نمودن ترمز لکوموتیو سرد نیاز به مدار هوایی حمل سرد است. همهٔ لکوموتیوها در مدار حمل سرد خود دارای شیر دستی قطع و وصل هستند تا در مواقع لزوم مدار حمل سرد را فعال نمایند. همچنین تمام لکوموتیوها در این مدار دارای یک شیر یک‌طرفه برای جلوگیری از برگشت هوای مدار حمل سرد به لولهٔ اصلی ترمز هستند. لکوموتیوهای قدیمی مانند GM وGE ایران برای کاهش فشار ترمزی لکوموتیو سرد، در مدار حمل سرد از یک منظم‌کننده 70 TO 35 PSI استفاده می‌نمایند که در راه‌آهن ایران به سوپاپ ۲۵ پوندی معروف شده‌اند (در راه‌آهن ایران بر روی 25PSI تنظیم شده است) در شکل (۴-۱۰۸) مدار حمل سرد لکوموتیو GM وGE نشان داده شده است .



شکل ۴-۱۰۸) مدار حمل سرد سیستم ترمز 26-L

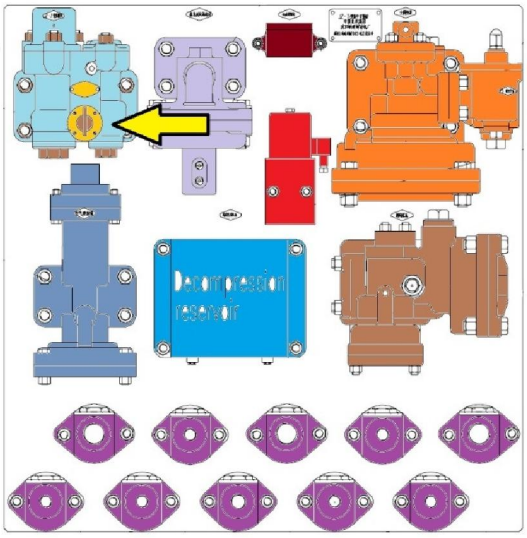
همان‌گونه که ملاحظه می‌شود مخزن اصلی شماره ۲ لکوموتیو سرد با هوای لولهٔ اصلی ترمز شارژ می‌گردد و با توجه به وجود منظم‌کننده 70 TO 35 PSI فشار هوای مخزن اصلی شماره ۲ حداکثر 35PSI خواهد بود.

ترمز لکوموتیو سرد همانند یک واگن با فشار هوای لولهٔ اصلی و توسط سوپاپ کنترل 26-D یا 26-F کنترل می‌گردد. با کاهش فشار لولهٔ اصلی به 50 PSI، سوپاپ کنترل به میزان 50 PSI هوای مخزن کمکی را به سوپاپ رله J ارسال می‌کند. اگر لکوموتیو گرم و فشار مخزن اصلی 140 PSI باشد، هوای خروجی سوپاپ رله J به سمت سیلندرهای ترمز برابر با 50 PSI می‌شود، ولی با توجه به این‌که مخزن اصلی لکوموتیو تنها 35PSI فشار هوا دارد، خروجی سوپاپ رله J تنها 35 PSI خواهد بود. لذا فشار ترمز لکوموتیو سرد به مراتب کمتر از لکوموتیو گرم خواهد بود.

امکان شارژ هوای مخزن اصلی شماره ۲ لکوموتیو سرد به‌دلیل وجود سوپاپ یک‌طرفه (چک ولو) بین دو مخزن وجود ندارد و فشار آن صفر خواهد بود. دستورالعمل حمل سرد لکوموتیوهای GM وGE به شرح ذیل است:

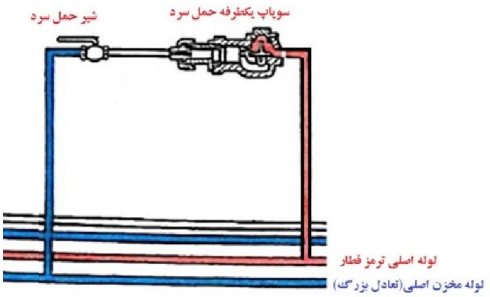
- مخازن اصلی هوا تخلیه گردند؛
- لولهٔ اصلی ترمز دو لکوموتیو به یکدیگر متصل شده، سپس شیرهای هوای این لوله‌ها باز شوند؛
- شیر حمل سرد باز شود؛
- دستهٔ شش دنده در حالت ۵ (قطع ارتباط) قرار گیرد؛
- دستهٔ سه دنده در حالت آزادسازی کامل قرار گیرد؛
- شیر دوبله در حالت راهنما قرار گیرد؛
- شیر خروسکی در حالت قطع ارتباط قرار گیرد؛
- آزمایش ترمز انجام شود.

لکوموتیوهای چینی DF8 نیز مانند لکوموتیوهای GM وGE سه لوله ای هستند و برای دوبله نمودن آنها باید هر سه لوله متصل شوند تا امکان فرمان ترمز هوایی از لکوموتیو راهنما به یدک منتقل شود. برای این‌کار باید شش دنده در وضعیت قطع ارتباط قرار گیرد و شیر دوبله–یدک در هر لکوموتیو مطابق با وضعیت مناسب آن تغییر حالت داده شود. سوپاپ دوبله–یدک بر روی پانل ترمز نصب شده است.



شکل ۴-۱۰۹) شیر دوبله یدک لکوموتیو چینی DF8

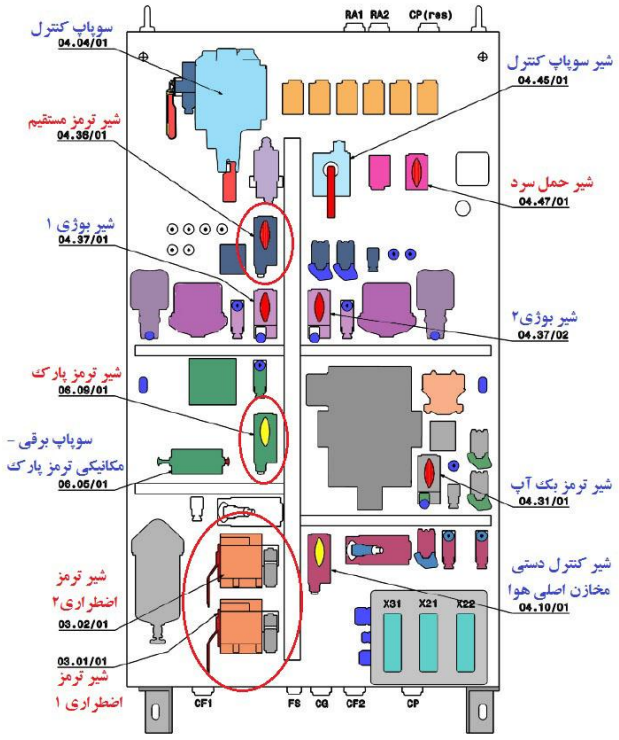
مدار حمل سرد این لکوموتیوها شامل یک شیر یک‌طرفه (چک ولو) و یک شیر دستی است که در هنگام حمل سرد پس از تخلیهٔ مخازن باید این شیر در حالت باز قرار گیرد.



شکل ۴-۱۱۰) مدار حمل سرد لکوموتیوهای چینی DF8

در لکوموتیوهای آلستوم و زیمنس مدار حمل سرد شامل یک شیر دستی و یک سوپاپ یک‌طرفه است. در این لکوموتیوها لازم است برای حمل سرد لکوموتیو علاوه بر اتصال لوله اصلی ترمز، کلید باطری قطع شده، شیر دستی ترمز پارک و شیر دستی ترمز مستقیم لکوموتیو به حالت قطع، تغییر وضعیت داده شوند (ترمز پارک به‌صورت دستی با دستگیره روی سیلندر ترمز پارک باید آزاد شوند). در لکوموتیوهای زیمنس دو شیر دستی ترمز اضطراری نیز به حالت قطع، تغییر وضعیت داده می‌شوند. ضمناً در لکوموتیوهای زیمنس نیازی به تخلیهٔ هوای مخازن وجود ندارد ولی در لکوموتیوهای دیگر این امر الزامی است.

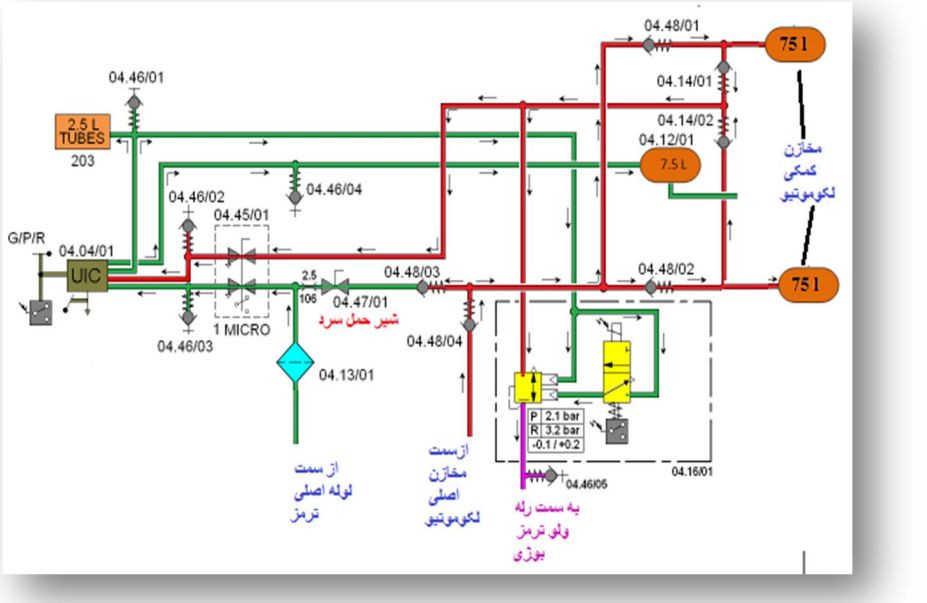
شکل ۴-۱۱۱) قطع شیر ترمز پارک و ترمز مستقیم در هنگام حمل سرد لکوموتیو آلستوم



شکل ۴-۱۱۲) قطع شیر ترمز مستقیم ، ترمز پارک و ترمز اضطراری در هنگام حمل سرد لکوموتیو زیمنس

نکته۱: *شیرهای دستی پانل ترمز لکوموتیوهای آلستوم و زیمنس در صورتی‌که عمود به سطح افق باشند، در حالت باز و در صورتی‌که موازی با سطح افق باشند، در حالت قطع قرار دارند؛ برای مثال شیرهای دستی پانل ترمز آلستوم در شکل‌های فوق همگی در حالت وصل و شیرهای دستی پانل ترمز زیمنس همگی در حالت قطع قرار دارند.*

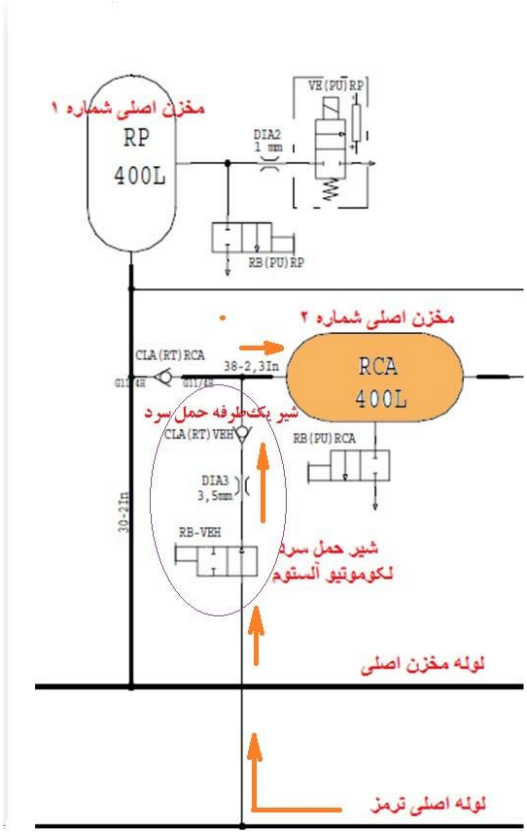
نکته ۲: *در لکوموتیو زیمنس در هنگام حمل سرد، لولهٔ اصلی ترمز تنها دو عدد مخزن فرعی ۷۵ لیتری لکوموتیو را شارژ می‌کند و مخازن اصلی لکوموتیو شارژ توسط این لوله شارژ نمی‌شوند. هوای مخازن فرعی تا زمانی‌که مخازن اصلی هوا داشته باشند دارای هوای ۱۰ بار است و به‌محض استفاده از هوای مخزن اصلی و تخلیهٔ آنها، هوای مخازن فرعی توسط لولهٔ اصلی ترمز و با فشار ۵ بار هواگیری می‌شوند.*



شکل ۴-۱۱۳) مدار ترمز اتوماتیک و مدار حمل سرد لکوموتیو زیمنس

آن‌گونه که در شکل (۴-۱۱۳) مشاهده می‌شود، شیر دستی 04.47/01 و سوپاپ یک‌طرفه 04.48/03 مدار حمل سرد لکوموتیو زیمنس را تشکیل می‌دهند.

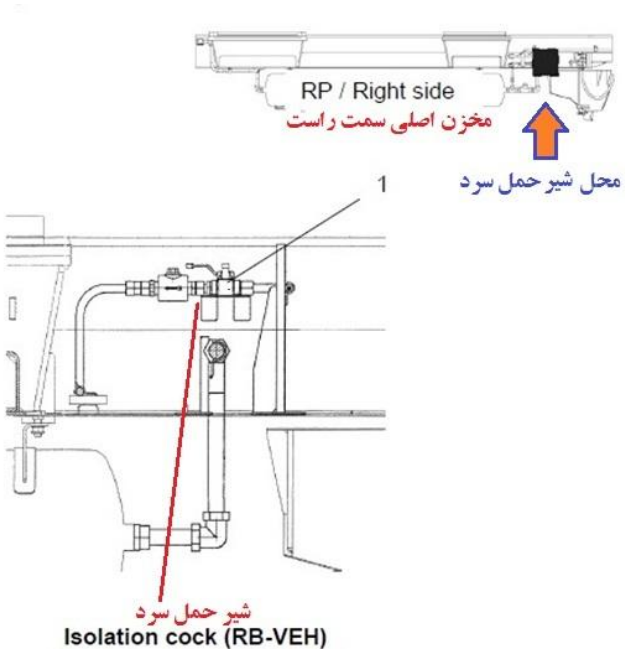
نکته: *با توجه به این‌که لکوموتیوهای زیمنس مجهز به سیستم ضد لغزش چرخ WSP هستند، باید در هنگام حمل سرد اطمینان حاصل شود که این سیستم حتماً روشن است. برای اطمینان از روشن بودن این سیستم، نشانگر WSP در کابین الکتریکی سیستم ترمز باید روشن و عدد 9999 در آن قابل مشاهده باشد (اگر عدد دیگری مشاهده شد، نشان از وجود عیب در سیستم WSP است).*



شکل ۴-۱۱۴) مدار حمل سرد لکوموتیو آلستوم

مطابق با شکل(۴-۱۱۴)، شیر دستی RB-VEH و سوپاپ یک‌طرفه CLA(RT)VEH مدار حمل سرد لکوموتیو آلستوم را تشکیل می‌دهند. تفاوت این مدار با مدار لکوموتیو زیمنس این است که در لکوموتیو آلستوم لولهٔ اصلی قطار از طریق مدار حمل سرد، مخزن اصلی شماره ۲ را شارژ می‌کند(مانند GMوGE) ولی در لکوموتیو زیمنس لولهٔ اصلی قطار مخازن کمکی لکوموتیو را شارژ می‌کند و امکان شارژ مخازن اصلی لکوموتیو توسط لولهٔ اصلی ترمز در هنگام حمل سرد وجود ندارد.

شکل ۴-۱۱۵) شیر حمل سرد لکوموتیو آلستوم

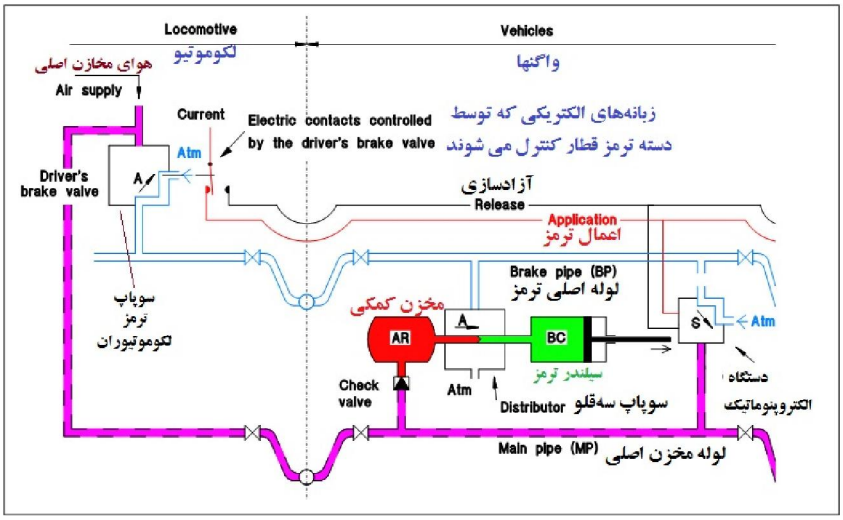


شکل ۴-۱۱۶) محل شیر حمل سرد لکوموتیو آلستوم

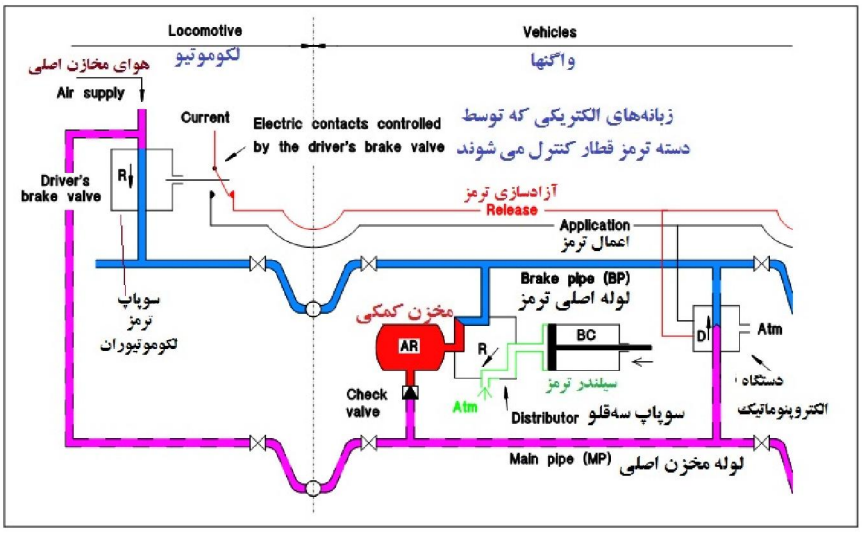
۴-۹- سیستم EP وEBO در لکوموتیوهای زیمنس

۴-۹-۱- سیستم EP

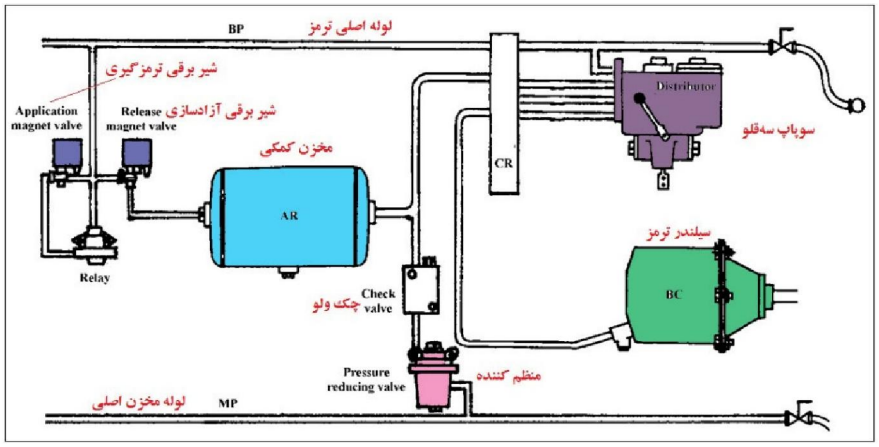
لکوموتیوهای زیمنس ایران مجهز به سیستمی هستند که قابلیت ارسال سیگنال‌های الکتریکی ترمز به سالن‌ها را نیز دارند. در صورت مجهز بودن سالن‌های مسافری به سیستم ترمز الکتروپنیوماتیک، با اتصال کابل ترمز EP، با فرمان ترمز قطار توسط لکوموتیوران فرمان برقی به سرعت به تمام سالن‌ها ارسال و ترمزگیری و آزادسازی در کل قطار به‌صورت یکنواخت و همسان صورت می‌گیرد. به این سیستم در لکوموتیو زیمنس سیستم EP گفته می‌شود.



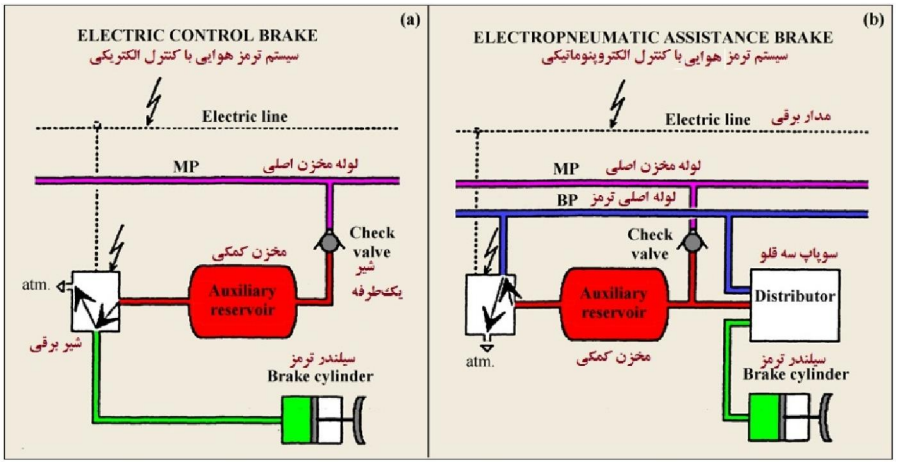
شکل ۴-۱۱۷) سیستم ترمز EP در واگن‌ها در حالت ترمز



شکل ۴-۱۱۸) سیستم ترمز EP در واگن‌ها در حالت آزادسازی



شکل ۴-۱۱۹) اجزای سیستم ترمز الکتروپنیوماتیک یک واگن

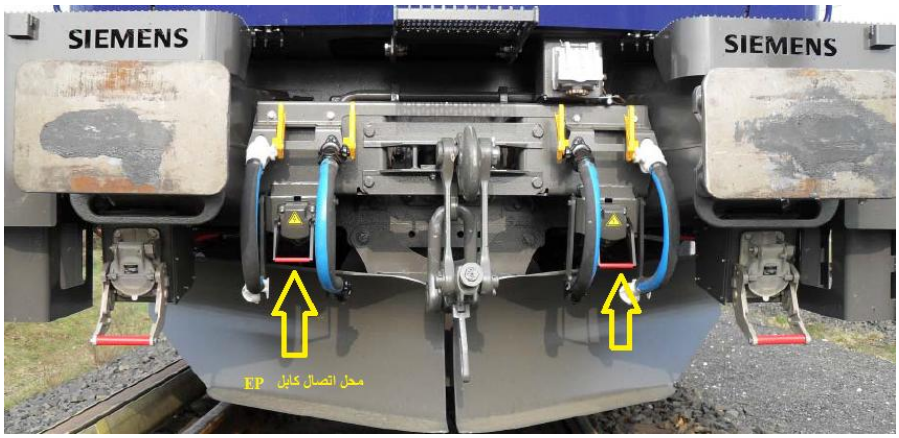


شکل ۴-۱۲۰) دو نوع سیستم ترمز با کنترل الکتریکی، شکل (a) سیستم ترمز با کنترل الکتریکی و شکل (b) با کنترل الکتروپنیوماتیکی

۴-۹-۲- سیستم EBO

سیستم EBO با نام لغو ترمز جریمه مسافر شناخته می‌شود که مخفف EMERGENCY BRAKE OVERRIDE است. این سیستم در صورت متصل بودن کابل EP و سالم بودن مدار قابلیت لغو ترمز خطر مسافر را به لکوموتیوران می‌دهد. در صورتی که یکی از مسافران دستهٔ ترمز خطر را بکشد، آلارم مربوطه در کابین لکوموتیوران ظاهر می‌شود. چنانچه لکوموتیوران صلاح نداند قطار در موقعیت فعلی ترمز اضطراری شود، دستهٔ ترمز را در وضعیت آزادسازی قرار داده و ترمز خطر مسافر لغو می‌شود؛ لکوموتیوران پس از رسیدن به محل مناسب، ترمز نموده و موضوع را بررسی می‌کند.

برای راه‌اندازی این سیستم‌ها ابتدا کابل‌های مربوط به ترمز EP متصل شده، سپس کلید سلکتوری EP/EBO در وضعیت مناسب قرار گرفته و پوش‌باتن تست ترمز EP که در کناره‌های لکوموتیو نصب شده است، فشرده می‌شود. سیستم به صورت اتوماتیک مدار ترمز EP در کل قطار را بررسی نموده و در صورتی که مشکلی در این سیستم وجود نداشته باشد، لامپ حاضر بکاری سیستم ترمز EP در کنسول لکوموتیو نشان داده می‌شود. در صورت وجود خطا در این سیستم، لامپ معیوب بودن سیستم EP روشن می‌گردد و آلارم‌های مربوطه در نمایشگر نشان داده می‌شوند.



شکل ۴-۱۲۱) محل اتصال کابل EP در لکوموتیوهای زیمنس ایران

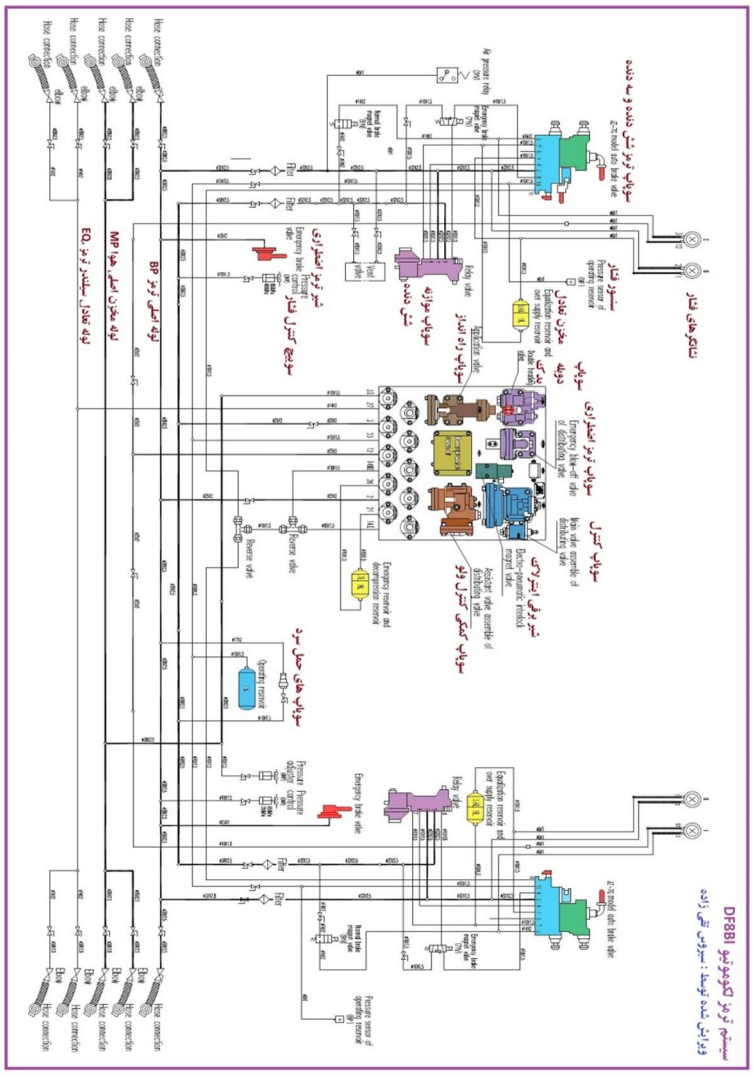
شکل ۴-۱۲۲) کابل EP لکوموتیوهای زیمنس ایران

شکل ۴-۱۲۳) لامپ‌های مربوط به سیستم ترمز EP در کنسول لکوموتیوران

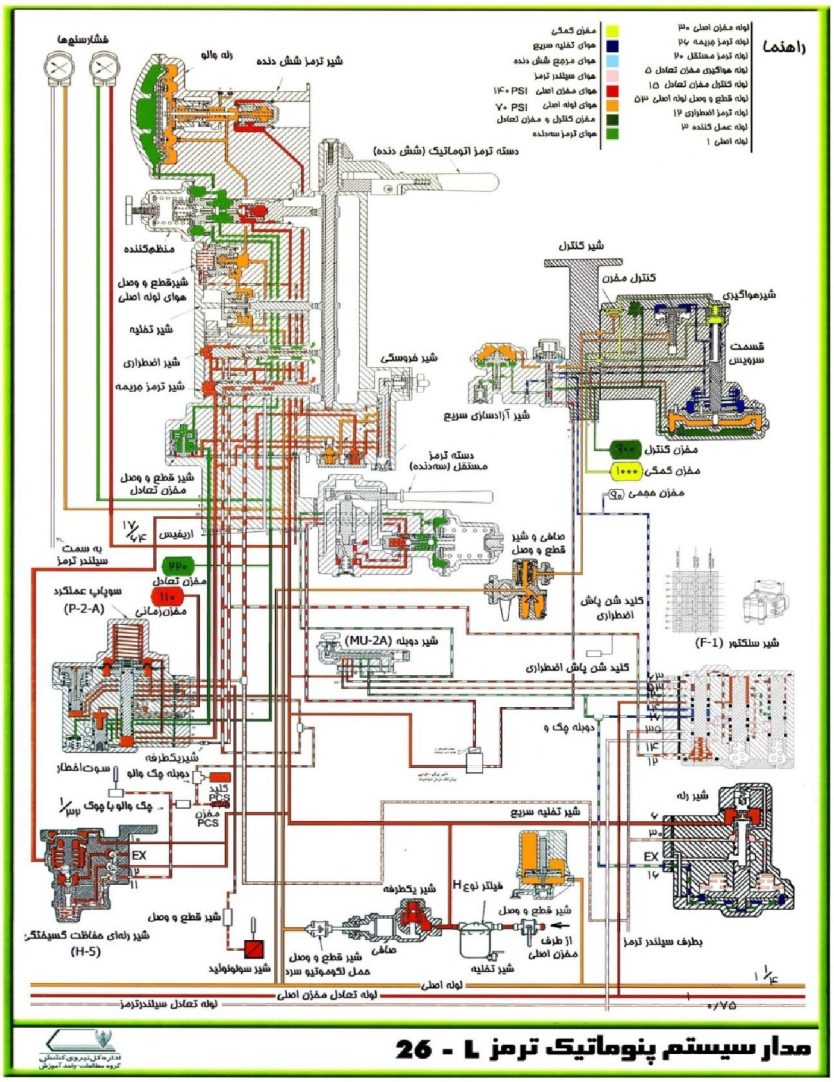
شکل ۴-۱۲۴) کلید سلکتوری روشن نمودن سیستم EP لکوموتیو زیمنس

«پیوست»

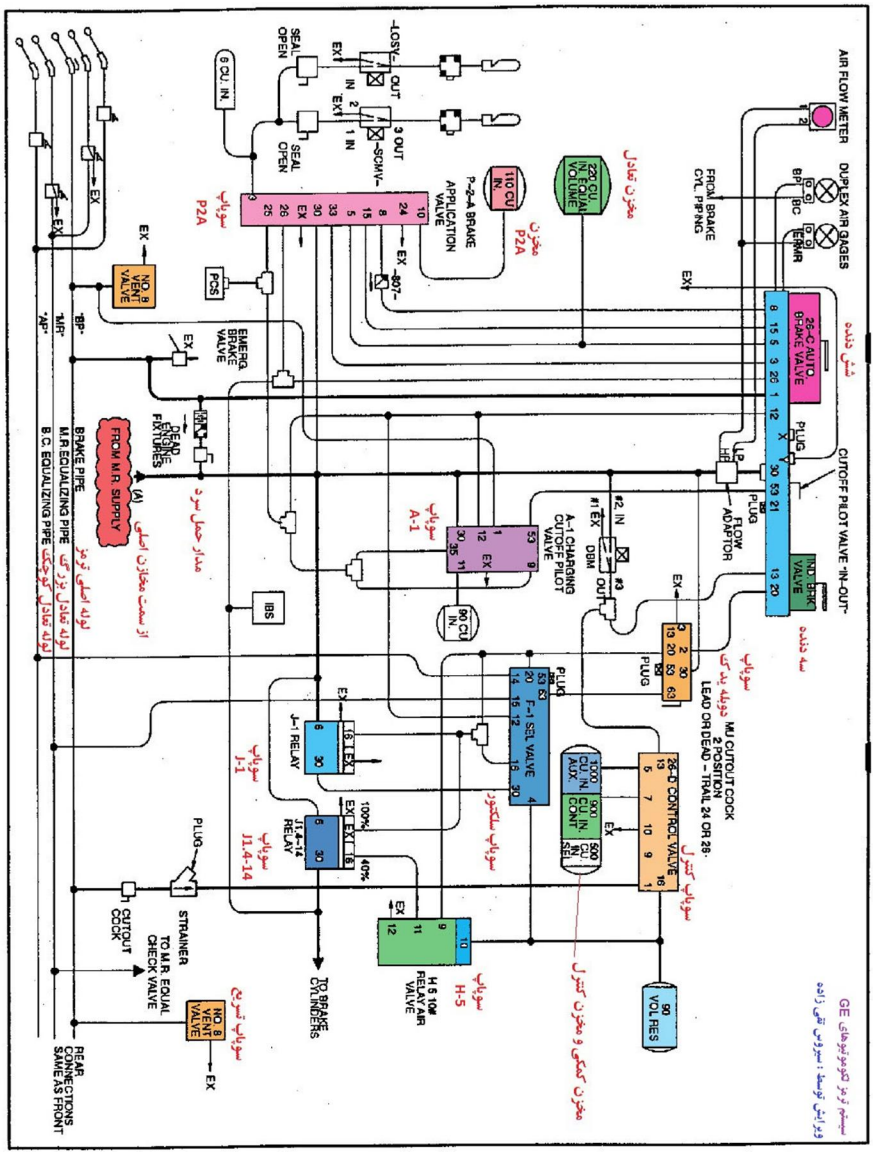
نقشه‌های ترمز لکوموتیو



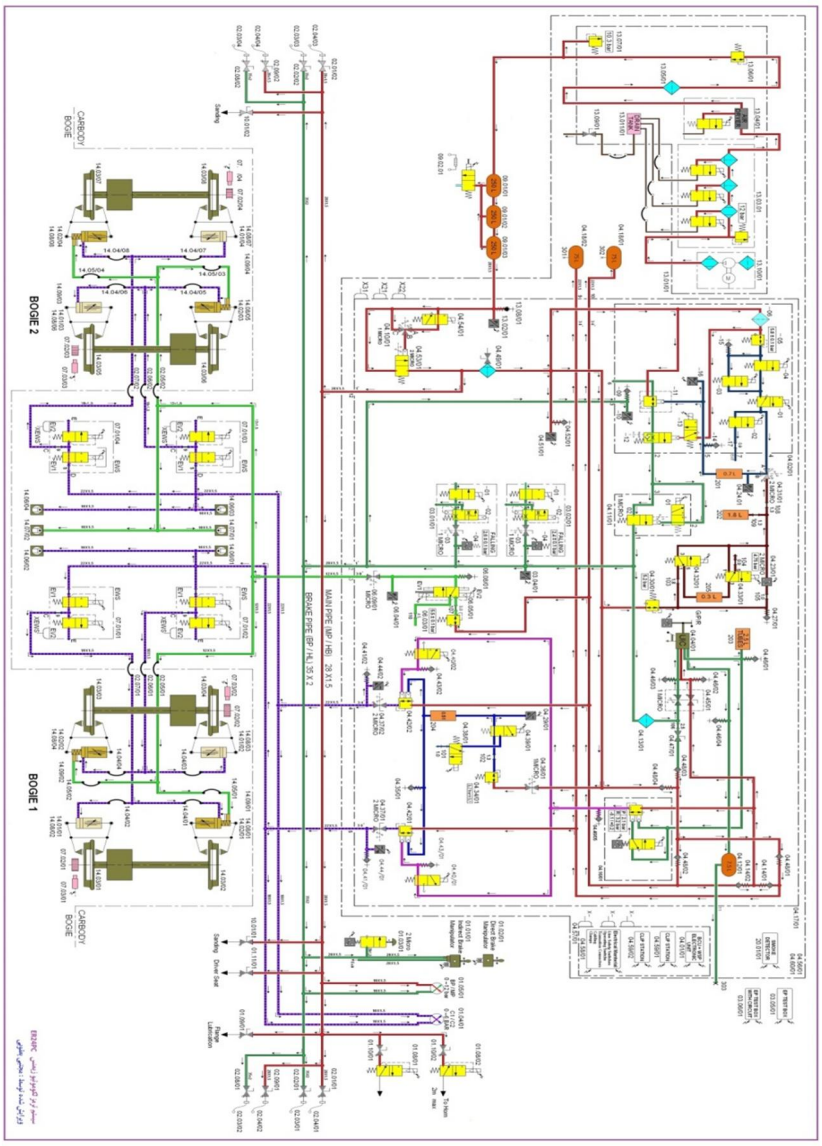
شکل۱ پیوست) مدار ترمز JZ7



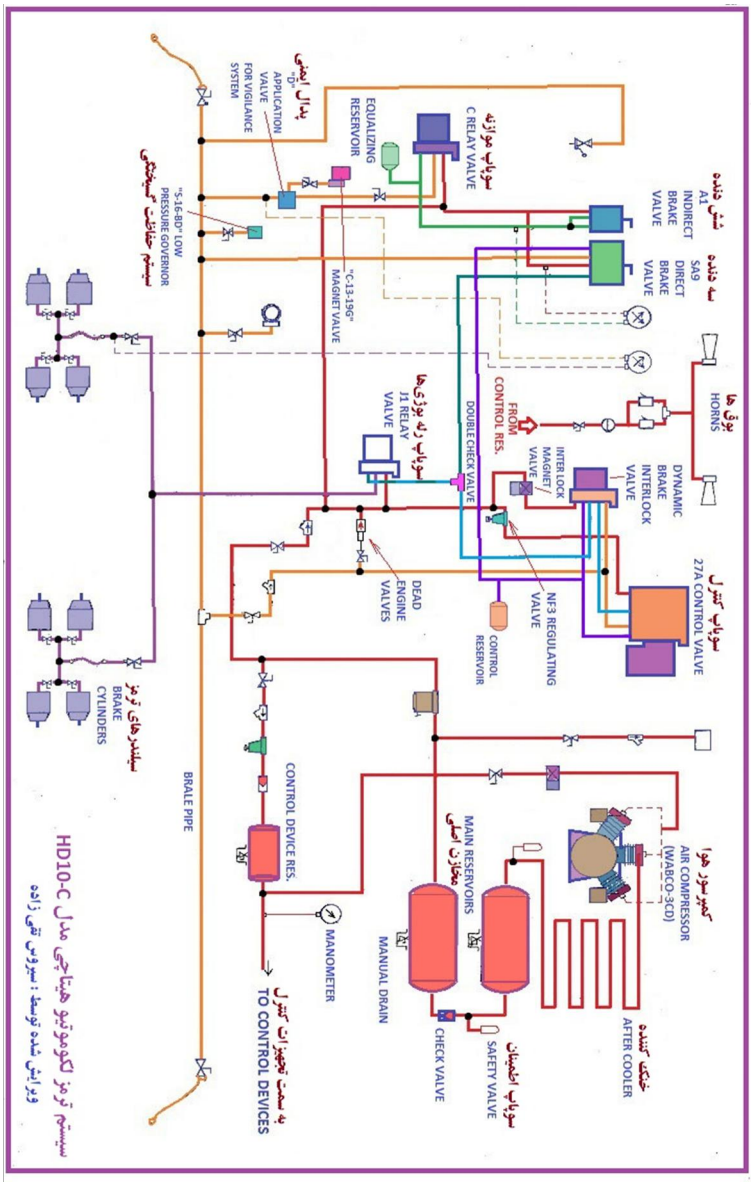
شکل ۲ پیوست) مدار ترمز 26L



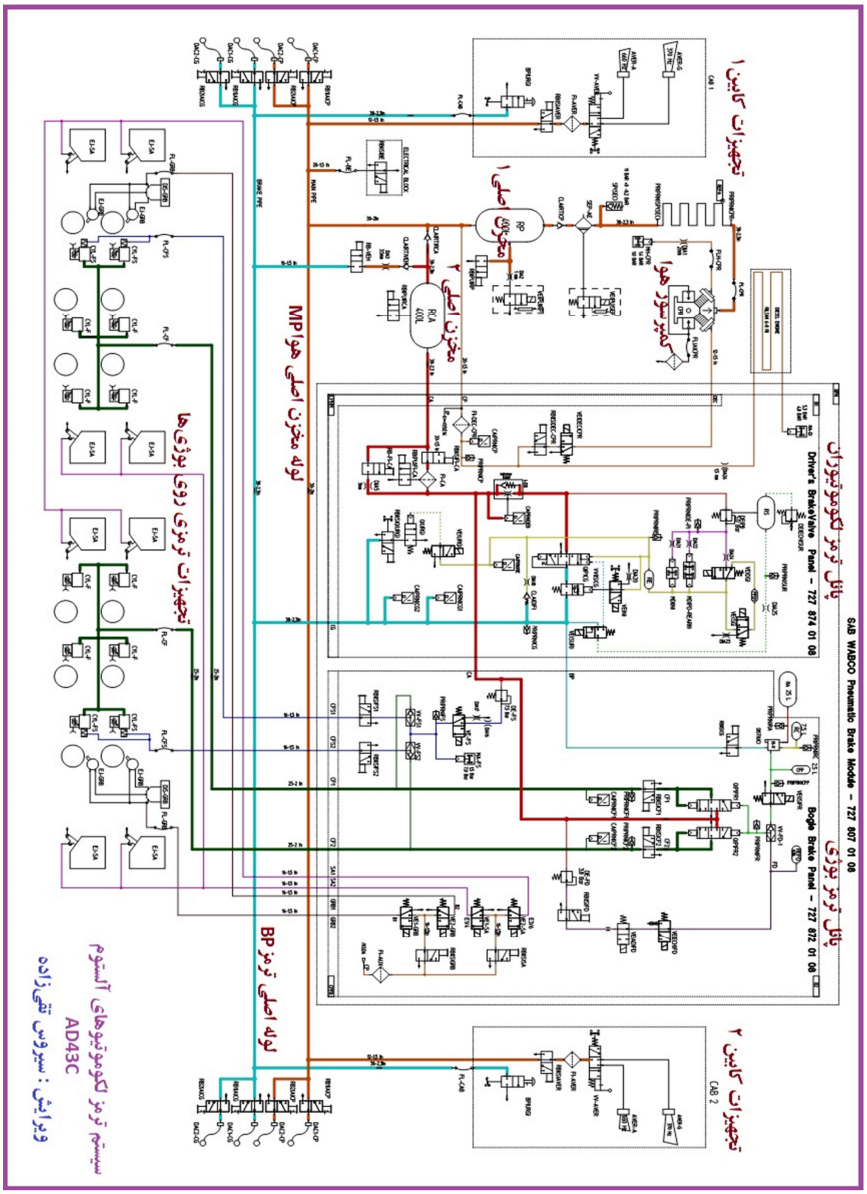
شکل ۳ پیوست) نقشه ترمز لکوموتیو GE



شکل ۴ پیوست) نقشه ترمز لکوموتیو زیمنس



شکل ۵ پیوست) نقشه ترمز لکوموتیو هیتاچی



شکل ٦ پیوست) نقشه ترمز آلستوم

منابع و مراجع:

۱- ترمز لکوموتیو و قطار؛ مولف: مهندس محمد علی کامیار – مرکز توسعه، آموزش و فـن‌آوری راه‌آهن

۲- سیستم ترمز لکوموتیو آلستوم؛ مولفین: مهندس یعقوبی فر – مهنـدس نبـی لـو – مهنـدس درویش – مرکز توسعه، آموزش و فن‌آوری راه‌آهن

۳- فایل‌های آموزشی مبانی سیستم ترمز؛ مهندس آقاجانی – مرکز توسعه، آموزش و فـن‌آوری راه‌آهن

۴- راهنمای هوای فشرده؛ مؤلف: شرکت اطلس کاپکو – مترجم: میثم چشمارو – شرکت اطلس کاپکو

۵- پایان‌نامه ترمز آلستوم؛ مهندس مجید کشاورز-ادارهٔ کل نیروی کشش

۶- جزوهٔ آموزشی ترمز آلستوم – علیرضا فتاحی – کارخانجات تعمیر لکوموتیو بافق

۷- دستورالعمل بهره‌برداری- نگهداری و تعمیرات لکوموتیو چینی DF8B – ترجمهٔ سرکار خانم اکبری – ادارهٔ کل نیروی کشش

8. 26-L BRAKE SYSTEM MANUAL -WABCO

9. ALSTOM AD43C LOCOMOTIVE DRIVING MANUAL-ALSTOM CO.

10. SIEMENS ER24PC LOCOMOTIVE BRAKE MAINTENANCE/USE MANUAL –SIEMENS CO.

مرکز توسعه، آموزش و فن‌آوری راه‌آهن کتاب‌های زیر را منتشر کرده است:

۱- راهنمای عیوب ریل‌ها – ۱۳۶۸
۲- فرهنگ شش زبانه عمومی واژگان و اصطلاحات راه‌آهن - ۱۳۷۲
۳- عیوب پل‌های راه‌آهن و اقدامات اصلاحی آن‌ها - ۱۳۷۶
۴- اطلاعات جامع ترمز راه آهن با شرح آحاد و مختصات سیستم کنور- ۱۳۷۹
۵- فرهنگ توصیفی اصطلاحات علایم الکتریکی راه آهن – ۱۳۸۱
۶- شناسایی و طریقهٔ بهره‌برداری از تجهیزات مکانیکی لکوموتیوهای دیزل‌الکتریک – ۱۳۸۲
۷- نگهداری و تعمیرات زیر سازی و روسازی خطوط ریلی -۱۳۸۳
۸- شناسایی و طریقهٔ بهره‌برداری از تجهیزات الکتریکی لکوموتیوهای دیزل‌الکتریک -۱۳۸۳
۹- واژه‌نامه سه زبانه ماشین‌آلات روسازی ریلی- ۱۳۸۴
۱۰- بازدید قطار هر ایستگاه - ۱۳۸۴
۱۱- آموزش سوزنبان - ۱۳۸۴
۱۲- مقدمه‌ای بر مدیریت نگهداری و تعمیرات خطوط راه‌آهن - ۱۳۸۴
۱۳- اصول مهندسی روسازی خط آهن -۱۳۸۵
۱۴- الفبای چرخ واگن و لکوموتیو -۱۳۸۵
۱۵- اصول مهندسی خط راه‌آهن -۱۳۸۵
۱۶- ترمز لکوموتیو و قطار -۱۳۸۶
۱۷- آموزش مانورچی -۱۳۸۶
۱۸- ایمنی علایم الکتریکی راه‌آهن - ۱۳۸۶
۱۹- مجموعهٔ پرسش و پاسخ مشاغل سیر و حرکت راه‌آهن - ۱۳۸۶
۲۰- مجموعهٔ پرسش و پاسخ شغل لکوموتیورانی - ۱۳۸۶
۲۱- مجموعهٔ پرسش و پاسخ شغل بازدیدکننده قطار - ۱۳۸۶
۲۲- الکترونیک قطار - ۱۳۸۶
۲۳- مجموعهٔ پرسش و پاسخ مشاغل سیروحرکت راه‌آهن(چاپ دوم-همراه با اصطلاحات) ۱۳۸۶
۲۴- راهنمای کاربردی مهندسی راه‌آهن - ۱۳۸۶
۲۵- دستورالعمل تعمیر موتور روستون - ۱۳۸۷
۲۶- آشنایی با سازمان بین‌المللی راه‌آهن‌ها (OSID) - ۱۳۸۷

۲۷- مبانی علایم الکتریکی راه‌آهن – ۱۳۸۷
۲۸- آشنایی با جرثقیل‌های راه‌آهن – ۱۳۸۷
۲۹- آموزش سرمانورچی – ۱۳۸۷
۳۰- آشنایی با واگن‌های باری راه‌آهن – ۱۳۸۷
۳۱- ایمنی و ریل (جلد اول و دوم) – ۱۳۸۸
۳۲- راهنمایی علامات اختصاری کاربردی در لکوموتیو آلستوم – ۱۳۸۸
۳۳- ترمز لکوموتیو و قطار (چاپ دوم – همراه با اصلاحات)– ۱۳۸۸
۳۴- آموزش رئیس قطار باری – ۱۳۸۸
۳۵- آشنایی و طریقهٔ بهره‌برداری از لکوموتیوهای برقی RC4 – ۱۳۸۹
۳۶- آشنایی با لکوموتیوهای برقی –۱۳۸۹
۳۷- تجهیزات شبکهٔ تماس خطوط برقی راه‌آهن –۱۳۸۹
۳۸- مجموعهٔ پرسش و پاسخ شغل لکوموتیورانی (ویرایش دوم) – ۱۳۹۰
۳۹- سیستم ترمز لکوموتیوهای آلستوم – ۱۳۹۰
۴۰- مجموعهٔ پرسش و پاسخ شغل لکوموتیورانی (ویرایش دوم) – ۱۳۹۰
۴۱- بررسی خروج از خط –۱۳۹۰
۴۲- ابنیهٔ فنی و حفاظتی –۱۳۹۰
۴۳- توصیه‌های ایمنی برای راهبران درزین –۱۳۹۰
۴۴- آشنایی با واگن‌های باری راه‌آهن (ویرایش دوم) – ۱۳۹۰
۴۵- پرسش و پاسخ شغل سوزنبانی – ۱۳۹۰
۴۶- پرسش و پاسخ شغل مانورچی و سرمانورچی – ۱۳۹۱
۴۷- پرسش و پاسخ شغل رئیس قطار باری – ۱۳۹۱
۴۸- پرسش و پاسخ شغل مسئول و متصدی ترافیک، رئیس و معاون ایستگاه – ۱۳۹۱
۴۹- پرسش و پاسخ شغل مسئول و متصدی کنترل و کنترلر – ۱۳۹۱
۵۰- شناسایی و طریقهٔ بهره‌برداری از تجهیزات الکتریکی لکوموتیوهای GM (ویرایش دوم) – ۱۳۹۱
۵۱- مبانی ارتباطات راه‌آهن – ۱۳۹۱
۵۲- آشنایی با راه‌آهن پرسرعت – ۱۳۹۱
۵۳- راهنمای کاربری لکوموتیو زیمنس مدل ER34PC – ۱۳۹۱

۵۴- آشنایی با تجهیزات ارتباطات و علایم الکتریکی راه‌آهن – ۱۳۹۱
۵۵- آشنایی با سیستم‌های علایم الکتریکی - ۱۳۹۱
۵۶- مدارات الکتریکی لکوموتیوهای GM – ۱۳۹۲
۵۷- ارتباطات در لکوموتیو – ۱۳۹۲
۵۸- توصیه‌های ایمنی برای متصدیان ترافیک - ۱۳۹۲
۵۹- ترمز هوا و بهره‌برداری از آن در راهبری قطار - ۱۳۹۲
۶۰- آشنایی با واگن‌ها و سیستم‌های ترمز راه‌آهن - ۱۳۹۲
۶۱- ارتباطات و علایم در راه آهن از دیروز تا فردا – ۱۳۹۳
۶۲- راهنمای راهبری لکوموتیو زیمنس (ویرایش دوم) -۱۳۹۳
۶۳- آشنایی با راه‌آهن برقی -۱۳۹۳
۶۴- مدل بندی رگرسیون در راه‌آهن -۱۳۹۳
۶۵- ارتباطات نوین در راه‌آهن – ۱۳۹۴
۶۶- اصول مهندسی راه‌آهن برقی – ۱۳۹۴
۶۷- اصول سرپرستی در واحدهای عملیاتی – فنی راه‌آهن - ۱۳۹۴
۶۸- تحلیل هزینه‌های چرخهٔ عمر در مهندسی راه‌آهن - ۱۳۹۴
۶۹- دستورالعمل تعمیر کمپرسور هوایی کامینز – ۱۳۹۴
۷۰- مقدمه‌ای بر کاربرد مخلوط‌های آسفالتی گرم در خطوط ریلی بالاستی - ۱۳۹۵
۷۱- جوش‌کاری درز ریل در راه‌آهن-۱۳۹۵
۷۲- قانون سیستم مدیریت ایمنی راه‌آهن کانادا -۱۳۹۵
۷۳- بازدید فنی واگن‌های روسی- ۱۳۹۵
۷۴- سه پژوهش پیرامون شبکهٔ خطوط راه‌آهن پر سرعت - ۱۳۹۶
۷۵- راهنمای کاربری بی‌سیم‌های DMR – ۱۳۹۶
۷۶- راهنمای استفاده از یاتاقان‌های موتور دیزل -۱۳۹۶
۷۷- شناسایی و ردیابی واگن‌ها مبتنی بر فناوری RFID- ۱۳۹۶
۷۸- آزادسازی سرویس‌های مخابرات ریلی – ۱۳۹۷
۷۹- بهبود مستمر فرآیندهای راه‌آهن- ۱۳۹۷
۸۰- کلیات سیستم ترمز لکوموتیوهای ایران - ۱۳۹۷

• کتب ارتقای ایمنی (آموزش سیار)

۸۱- آموزش پیشگیری از سوانح و رعایت اصول ایمنی در سیروحرکت– ویژهٔ سوزنبان- ۱۳۸۰

۸۲- آموزش پیشگیری از سوانح و رعایت اصول ایمنی در سیر و حرکت – ویژه رؤسا و معاونین ایستگاه‌های غیر تشکیلاتی - ۱۳۸۰

۸۳- شناسایی عیوب خط و پارامترهای نگهداری و ایمنی – ویژه رؤسا ، معاونین قطعات و متصدیان تعمیرات خط - ۱۳۸۱

۸۴- ماشین‌آلات مکانیزه درنگهداری ، بهسازی و نوسازی خطوط راه‌آهن – ویژه رؤسا، معاونین قطعات و متصدیان تعمیرات خط - ۱۳۸۱

۸۵- آموزش نکات ایمنی و حفاظتی در امور ناوگان و سیر و حرکت و دپو – ویژه لکوموتیورانان – ۱۳۸۱

۸۶- نکات ایمنی در کنترل و بازرسی فنی قطارها- ۱۳۸۱

۸۷- دستورالعمل‌های تشخیص خرابی و نکات ایمنی در اینتر لاکینگ رله‌ای – ۱۳۸۱

۸۸- آموزش پیشگیری از سوانح و رعایت اصول ایمنی در سیر و حرکت - ویژه رؤسای قطار ۱۳۸۲-

۸۹- آموزش پیشگیری از سوانح و رعایت اصول ایمنی در سیر و حرکت – ویژه سرمانورچی و مانورچی – ۱۳۸۳

۹۰- آموزش نکات ایمنی و حفاظتی لکوموتیوهای GM – ویژه لکوموتیورانان – جلد دوم - ۱۳۸۳

۹۱- شناسایی و بازرسی فنی واگن‌های باری اکراینی- ۱۳۸۴

۹۲- راهنمای بی‌سیم – ۱۳۸۵

۹۳- استفاده از جرثقیل‌های ریلی در جمع‌آوری سوانح – ۱۳۸۶

۹۴- شناسایی و بازرسی فنی واگن‌های باری با سیستم روسی (چاپ دوم) - ۱۳۸۶

• کتاب‌های در مرحله آماده سازی و چاپ

۱- اطلاعات عمومی راه‌آهن