

فصل سوم

سیستم‌های اتصال واگن‌ها

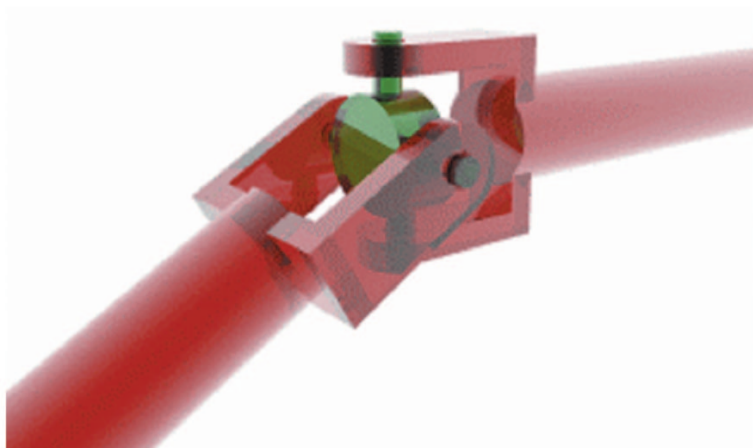
۳- سیستم های اتصال واگن ها

۳-۱- مقدمه

کوپلینگ در صنعت، یک مفهوم عمومی بوده و به اتصال یا تجهیزات اتصال دهنده اطلاق می گردد. به عنوان مثال؛ در سیستم های انتقال قدرت منظور از کوپلینگ، صفحاتی است که دو محور را عمدتاً از طریق پیچ به هم متصل نموده و حرکت را از یک محور به محور دیگر منتقل می کند (شکل ۳-۱). نحوه ی برقراری این اتصال متفاوت است. به گونه ای که برای نوع فوق الذکر؛ چرخنده، گاردان (شکل ۳-۲) و ... نیز می توانند مورد استفاده قرار گیرند.



شکل ۳-۱) کوپلینگ به صورت صفحات پیچ شده به هم



شکل ۳-۲) کوپلینگ به صورت گاردان

در راه آهن نیز این تجهیزات کاربرد مهمی دارند و منظور از آن مکانیزمی است که جهت اتصال وسایل نقلیه ی ریلی در یک قطار مورد استفاده قرار می گیرد. با توجه به این که انعطاف پذیری و راحتی حرکت، دو عاملی هستند که در یک سیستم اتصال باید وجود داشته باشند، لذا طراحی این تجهیزات نیز استاندارد شده و از اهمیتی همچون استاندارد عرض خط برخورداری است.

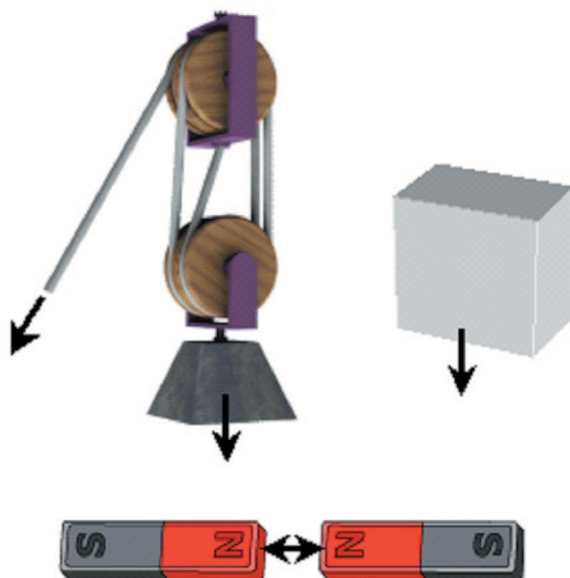
پس با عنایت به موارد فوق، لازم است توجهی ویژه به شناسایی، طراحی و تعمیرات این لوازم مبذول داشت. در اینجا لازم است متذکر شویم، با توجه به این که در این مبحث از اصطلاحات و واژه های استاندارد مکرراً استفاده می شود، آشنایی خواننده ی این بخش با اصطلاحاتی از قبیل UIC، RIV، عرض خط، مانور و ... ضروری است.

۳-۲- مفاهیم

در این بخش با توجه به اهمیت مفاهیم پایه، به طور مختصر به مرور برخی از آنها می پردازیم.

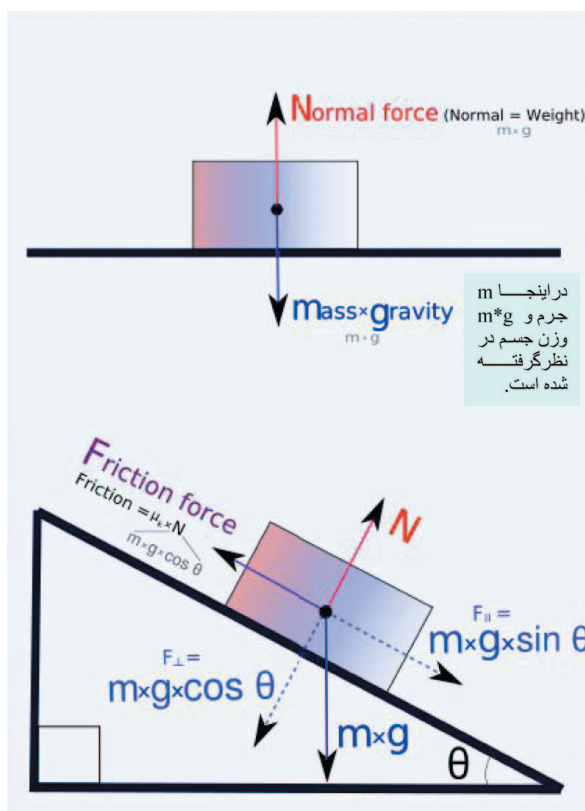
۳-۲-۱ نیرو (Force)

نیرو در فیزیک کمیتی برداری است که باعث شتاب گرفتن (تغییر سرعت) اجسام می‌شود. نیرو را به طور شهودی می‌توان با کشیدن یا هل دادن توصیف کرد. شتاب جسم متناسب با جمع برداری همه‌ی نیروهای وارد بر جسم است. در یک جسم صلب، نیرو می‌تواند جسم را بچرخاند، تغییر شکل دهد یا فشار وارد بر آن را بیفزاید. واحدی که به طور معمول برای اندازه‌گیری نیرو به کار می‌رود، «نیوتن (N)» نام دارد.



شکل ۳-۳) برقی نیروهای اعمال شده به اجسام

براساس قانون دوم نیوتن، نیرو برابر است با حاصلضرب جرم در شتاب آن ($F=m.a$) و همان گونه که مشاهده می‌شود هم‌راستا با شتاب می‌باشد.



شکل ۳-۱۴) شتاب‌گیری جسم در اثر اعمال نیرو

گاهی اوقات نیاز است که نیرو در راستای غیر از راستای اصلی خود بررسی شود که در این حالت مؤلفه‌ها یا تصاویر نیرو در نظر گرفته می‌شود. به عنوان نمونه در تصویر بالا وزنه‌ای که روی سطح شیب‌دار در حال حرکت به سمت پایین است را در نظر بگیرید. در این حالت نیروی اصلی وزن جسم ($m \cdot g$) است، ولی عامل حرکت مؤلفه‌ی در راستای سطح شیب‌دار ($m \cdot g \cdot \sin \theta$) و عامل ایجاد نیروی اصطکاک مؤلفه‌ی عمود بر سطح ($m \cdot g \cdot \cos \theta$) می‌باشد.

۳-۲-۲- اصطکاک

اصطکاک نیرویی است که با حرکت دو سطح نسبت به هم مخالفت می کند. مقدار این نیرو متناسب با نیروی عمود بر سطح بین دو جسم است. در مدل های ساده شده، اصطکاک را در دو دسته ی اصطکاک جنبشی و اصطکاک ایستایی رده بندی می کنند.

نیروی اصطکاک ایستایی f_s ، وقتی دو جسم نسبت به هم ساکنند به هر یک از دو جسم وارد می شود و دقیقاً مخالف نیرویی است که می خواهد دو جسم را نسبت به هم بلغزند. این نیرو مقدار بیشینه ای دارد که با نیروی عمود بر سطح متناسب است:

$$f_{smax} = \mu_s \cdot N$$

در این رابطه، N نیروی عمود بر سطح می باشد.

ضریب تناسب μ_s ، ضریب اصطکاک ایستایی نام دارد و وابسته به ویژگی های دو سطح است. مقدار نیروی اصطکاک می تواند بین صفر تا این مقدار بیشینه تغییر کند.

نیروی اصطکاک جنبشی f_k وقتی دو جسم نسبت به هم در حرکتند به هر یک از دو جسم وارد می شود و مقدار آن ثابت و برابر با $f_k = \mu_k \cdot N$ است. این نیرو در خلاف جهت حرکت دو جسم نسبت به یکدیگر است و با حرکت آنها مخالفت می کند. ضریب تناسب μ_k ، ضریب اصطکاک جنبشی نام دارد و وابسته به ویژگی های دو سطح است. μ_k معمولاً کوچکتر از μ_s است.

پس همانگونه که ذکر شد، اصطکاک همیشه عامل مقاومت در برابر حرکت است. به عنوان نمونه در یک قطار در حال حرکت، بخش زیادی از قدرت موتور لکوموتیو صرف غلبه بر اصطکاک بین چرخ ها و ریل می گردد.

۳-۲-۳- انرژی

در علم فیزیک و دیگر علوم، انرژی یک مقدار فیزیکی است که خصوصیت اجسام و سیستم ها می باشد و به صورت طبیعی در آنها ذخیره شده است. به مفهوم ساده تر انرژی قابلیت انجام کار می باشد. چند نمونه از

انواع شناخته شده ی انرژی عبارتند از: جنبشی، پتانسیل (که به مجموع آنها انرژی مکانیکی اتلاق می گردد)، شیمیایی، الکترومغناطیس، حرارتی و هسته ای .

ذکر دو نکته دراین خصوص ضروری به نظر می رسد. اول آن که مقدار انرژی تغییر نکرده و فقط از یک نوع به نوع دیگر تبدیل می شود یعنی نه تنها از بین نمی رود بلکه به وجود هم نمی آید. مثلاً در یک خودروی در حال حرکت، در زمان ترمزگیری به علت اصطکاک، انرژی جنبشی به انرژی حرارتی تبدیل شده و باعث بالا رفتن دما می گردد.

دوم این که اگرچه مقدار کلی انرژی نسبت به زمان تغییر نمی کند ولی مقدار آن بستگی به سیستمی دارد که در آن اندازه گیری می شود. به عنوان مثال؛ انرژی مکانیکی مسافری که روی صندلی قطار در حال حرکتی نشسته، نسبت به قطار صفر بوده ولی نسبت به زمین صفر نیست. واحد شناسایی و اندازه گیری انرژی «ژول (J)» می باشد.

۳-۲-۴- انرژی جنبشی

به انرژی اتلاق می گردد که یک جسم به علت حرکتش دارا می باشد و به صورت کار مورد نیاز برای شتاب بخشیدن به جسم دارای جرم از حالت سکون به حالت سرعت فعلی تعریف می شود. این انرژی در جسم باقی می ماند مگر تغییری در سرعت صورت پذیرد. محاسبه ی آن توسط فرمول $E_{\text{kin}} = 1/2 mv^2$ انجام میشود که در آن E_{kin} انرژی جنبشی، m جرم جسم در حال حرکت و v سرعت آن می باشد. یکی از نتایج فرمول فوق آن است که به عنوان مثال با دو برابر شدن سرعت، انرژی جنبشی چهار برابر خواهد شد و این خود بدان معناست که در صورت دو برابر شدن سرعت، فاصله ی توقف وسیله ی متحرک چهار برابر حالت قبل خواهد بود.

۳-۲-۵- گشتاور

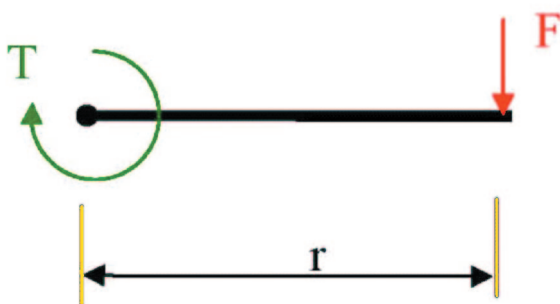
عامل مؤثر در گشتن هر جسم به دور محوری را گشتاور نیرو می نامند. گشتاور یک کمیت فیزیکی و

برداراری در حرکت چرخشی است که به بزرگی نیرو و مسیر و مکان اثر نیرو بستگی دارد. گاهی به گشتاور کلمه ی مُمان (Moment) هم اطلاق می گردد.

همان طور که از تعریف بر می آید، گشتاور کمیتی نسبی بوده و نسبت به یک نقطه (مبدا) سنجیده می شود.

$$T = r \cdot F$$

در این رابطه T گشتاور، r فاصله ی محل اثر نیرو تا محور و F مقدار نیروی مؤثر می باشد.



شکل ۳-۵) گشتاور حاصل از نیرو

واحد اندازه گیری گشتاور در سیستم های معمول، نیوتن متر، کیلوگرم متر و یا پوند فوت (در سیستم اندازه گیری استاندارد انگلیس) می باشد.

۳-۲-۶- ضربه

برخورد دو جسم را که در آن نیروی بزرگی در مدت زمان کوتاهی تولید می شود، ضربه می نامند. خط مستقیمی که عمود بر صفحه ی تماس دو جسم برخورد کننده ترسیم می شود، خط ضربه نامیده می شود. در حالتی که مراکز ثقل دو جسم در راستای خط ضربه باشد، ضربه مرکزی و در غیر این صورت خارج از مرکز نام دارد. حین برخورد، انرژی جنبشی می تواند ذخیره شده و صرف تغییر شکل اجسام گردد. اگر بخشی از انرژی

جنبشی تبدیل به تغییر شکل شود (یا منجر به توقف جسم گردد) ضربه غیرالاستیک، و در صورتی که کل انرژی جنبشی بعد از برخورد بدون تغییر ثابت بماند، ضربه از نوع الاستیک می باشد (این نوع ضربه صرفاً ایده آل بوده و جهت بررسی تئوری مد نظر قرار می گیرد. در عمل همیشه بخشی از انرژی صرف تغییر شکل شده و در نتیجه تغییر سرعت را در پی خواهد داشت).

در علم مکانیک ضربه به خودی خود قابل اندازه گیری نبوده و با توجه به آثار آن، مقدار واقعی محاسبه می شود. برای این منظور از فرمول $f=m.a$ استفاده می شود که در آن f مقدار نیروی تولید شده ناشی از ضربه، a مقدار شتاب حاصل از تغییر سرعت و m نیز جرم جسم می باشد. در نتیجه برای اندازه گیری مقدار ضربه از وسیله ای به نام شتاب سنج استفاده می شود.

۳-۲-۷- تنش

مقدار نیرو در واحد سطح یا شدت نیروهای پخش شده ی داخلی در یک سطح مقطع داده شده را تنش آن سطح مقطع نامیده و توسط حرف یونانی σ (سیگما) نمایش می دهند. بدین ترتیب تنش موجود در عضو با مساحت سطح مقطع A و تحت بار محوری P از تقسیم مقدار P بر A به دست می آید.

$$\sigma = P / A$$

در این رابطه نیرو برحسب نیوتن، سطح مقطع برحسب متر مربع و در نتیجه تنش برحسب نیوتن بر متر مربع خواهد بود که پاسکال نامیده می شود. ولی به علت کوچکی مقدار آن معمولاً تنش بر اساس کیلو پاسکال و یا مگا پاسکال سنجیده می شود.

تنش عمدتاً معیاری جهت سنجش استحکام یک جسم بوده و تنش تسلیم که نشان دهنده ی نیروی لازم برای ایجاد تغییر شکل در یک جسم (بدون بازگشت به حالت اولیه) است، از خواص ذاتی مواد محسوب می شود. به عنوان نمونه؛ یک پیچ فولادی به شعاع ۱۰ میلیمتر را در نظر بگیرید که تحت نیروی کششی ۶۰ کیلونیوتن قرار دارد. از فرمول فوق جهت محاسبه ی تنش در این پیچ استفاده می نماییم:

$$A = \pi 3 (10)^2 = 314 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = 60 * 1000 / 314 = 191 \text{ Mpa}$$

باعنایت به این که استحکام تسلیم فولادهای معمولی حدود ۱۷۰ Mpa است، نتیجه می گیریم پیچ انتخاب شده توان تحمل این نیرو را نداشته و امکان شکست آن وجود دارد.

۳-۳- کوپلینگ

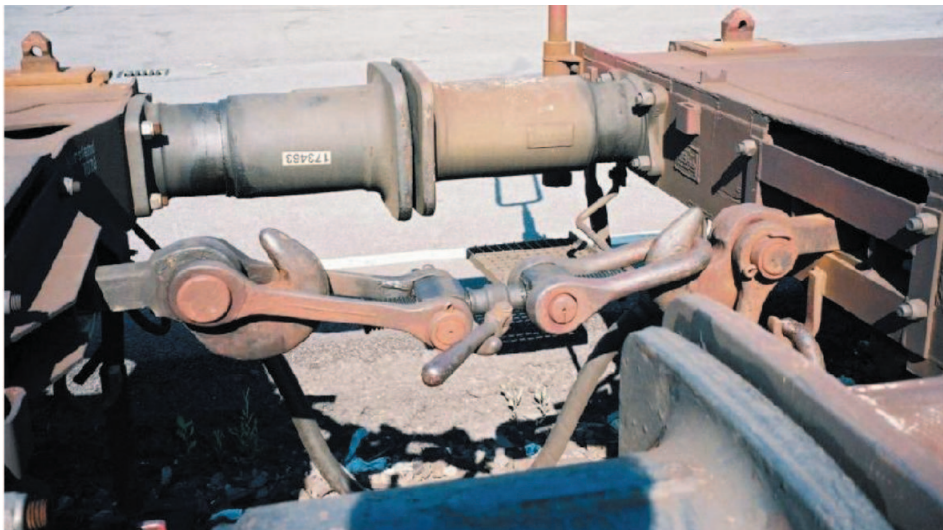
در وسایل حمل و نقل ریلی، کوپلینگ یا سیستم اتصال دهنده، متشکل از لوازم و قطعاتی است که اتصال دو واگن مجاور به یکدیگر و یا اتصال واگن به کشنده را امکان پذیر می سازد. به این ترتیب هر واگن درهر یک از دو انتهای خود مجهز به یک سیستم اتصال (کوپلینگ) می باشد که معمولاً هر دو از یک نوع هستند. سابقه ی کاربرد و استفاده از این تجهیزات به زمانی بازمی گردد که اولین واگن های ساخت بشر، جهت حمل بار و مسافر به یکدیگر متصل شده و قطارهای کوچک را تشکیل دادند. پیشینه ی تاریخی کوپلینگها در راه آهن برمی گردد به سال ۱۸۳۰ میلادی که نوعی از آنها به عنوان استاندارد ساخته شد و به صورت ترکیبی از زنجیر و تامپون؛ در راه آهن تجارتی انگلستان به کار برده شد. این کوپلینگها در ادامه ی قلاب تراموایی بودند اما مرتب تر و با قاعده تر از آنها شدند. در این سیستم، واگن ها با استفاده از سیستم چنگک و حلقه، به همراه وسیله ای «بست» مانند که واگن ها را به سمت هم می کشید، به یکدیگر متصل می شدند.

سیستم های اتصال واگن های باری در راه آهن ایران، با توجه به نوع اتصال، به دو دسته ی غیر اتوماتیک و اتوماتیک تقسیم می شوند. تفاوت این دو در آن است که جهت اتصال نوع اتوماتیک نیاز به نیروی انسانی نبوده و با توجه به حرکت و ضربه ی یک واگن به واگن مقابل خود، اتصال برقرار می گردد ولی در نوع غیر اتوماتیک، اپراتور مسئول این کار می بایست تجهیزات لازم را، جهت اتصال، در مقر خود قرار دهد. در ادامه به تشریح ساختمان و عملکرد این دو نوع سیستم اتصال می پردازیم.

۳-۳-۱- سیستم اتصال غیر اتوماتیک

همان گونه که در ابتدای این مبحث عنوان گردید، جهت ایجاد قطارهای کوچک اولیه از یک چنگک و حلقه که در هر سر واگن قرار داشت، استفاده می شد. به تدریج و با توجه به افزایش کاربری حمل و نقل ریلی و نیاز به اتصال کلیه ی واگن ها به یکدیگر، این تجهیزات از لحاظ طراحی و ایمنی کاربرد، بهبود یافته و همچون دیگر قطعات صنعتی، استانداردهایی برای آنها تدوین گردید.

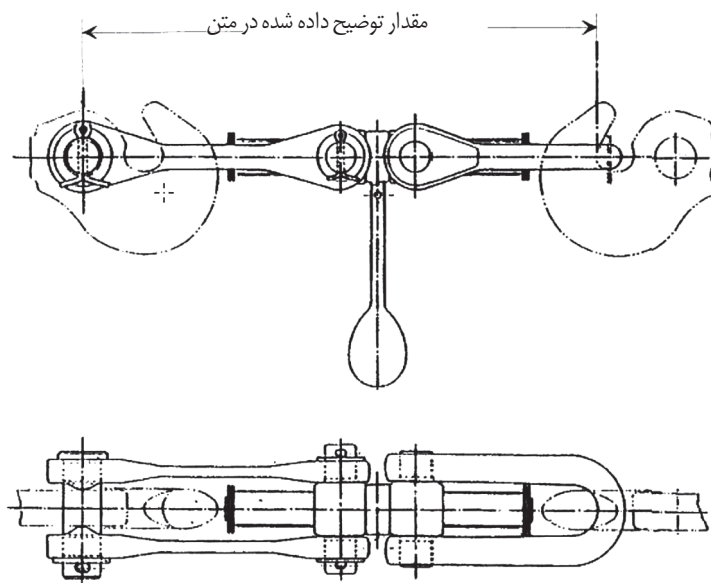
سیستم های اتصال دهنده ی غیر اتوماتیک، دارای ساختمان نسبتاً ساده ای بوده و اتصال و انفصال آن از دیگر اتصالات، توسط نیروی انسانی انجام می شود. در حال حاضر این نوع اتصال، با توجه به محدودیت های کاربردی، در واگن های جدید نصب نشده و صرفاً در واگن هایی که تا پایان دهه ی ۱۳۴۰ و تعداد محدودی نیز در دهه ی ۱۳۵۰ وارد ناوگان باری ایران شده اند، مشاهده می شود که تعدادی از آنها نیز با سیستم اتصال اتوماتیک جایگزین شده است. این سیستم اتصال از آنجایی که صرفاً نیروهای کششی را تحمل می کند، به قلاب کششی نیز معروف است.



شکل ۳-۴) تصویری از سیستم اتصال غیر اتوماتیک موجود

برخی از مشخصات فنی اجباری این مجموعه، طبق استاندارد UIC، عبارتند از:

- وزن کل تجهیزات نباید از ۳۶ کیلوگرم تجاوز نماید.
 - سیستم باید مجهز به مکانیزمی جهت جلوگیری از شل شدن خود به خودی باشد.
 - در هر طرف، لازم است واگن به تجهیزاتی جهت آویزان نمودن قلاب، برای زمانی که از آن استفاده نمی شود، مجهز باشد. به گونه ای که حداقل فاصله ی آن تا سطح ریل ۱۴۰ میلیمتر باشد.
 - حداقل استحکام شکست برای کنگی و قطعات منتقل کننده ی نیرو، ۱۰۰۰ kN باید در نظر گرفته شود.
 - فاصله ی بین مرکز پین اتصال و داخل حلقه، زمانی که پیچ قلاب کاملاً بسته شده، باید در محدوده ی 75 ± 10 mm و زمانی که به طور کامل شل شده است، 986^{+10}_{-5} mm منظور گردد.
- در این خصوص شکل ۳-۷ را ملاحظه نمایید.



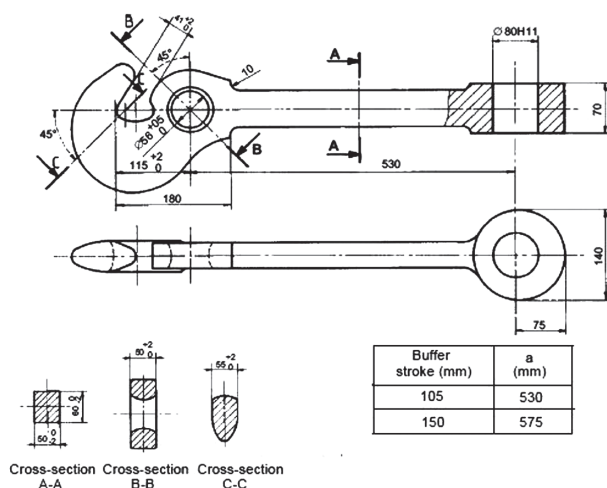
شکل ۳-۷) فاصله ی بین مرکز پین اتصال و داخل حلقه

لازم به ذکر است، این نوع سیستم های اتصال، صرفاً ضربات و نیروهای کششی را تحمل می نمایند. لذا در کنار کوپلینگ های غیر اتوماتیک، مجموعه های دیگری به نام تامپون یا ضربه گیرهای جانبی استفاده شده و روی سرشاسی نصب می شوند. وظیفه ی ضربه گیرها جذب ضربات فشاری از واگن مقابل است. این مجموعه ها به طور کامل در بخش بعد مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

ذیلاً بخش ها و اجزای سیستم اتصال غیر اتوماتیک را تقسیم بندی می نماییم.

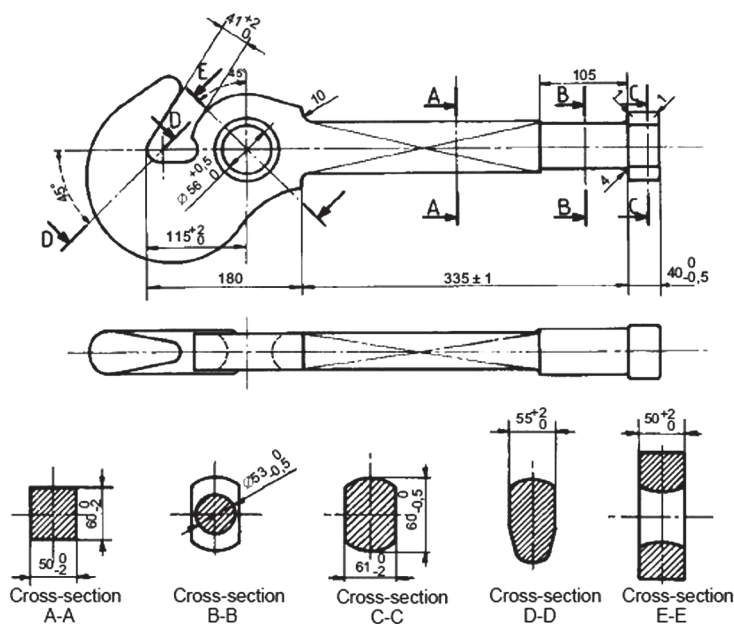
۳-۱-۱-۳- میله ی قلاب کشش (سرقلاب)

قطعه ای به شکل چنگک است که در جلویی ترین بخش تجهیزات اتصال به چشم می خورد و به خاطر شکل خاص آن به قلاب معروف شده است (در حال حاضر این نام گذاری به سیستم های اتصال اتوماتیک نیز تعمیم یافته و آنها نیز به قلاب اتوماتیک معروف شده اند). این قطعه به صورت یک پارچه بوده و به روش آهنگری (فورج^۱) تولید شده و باید مطابق استاندارد ... UIC باشد.



الف- دارای سوراخ محل قرارگیری والیک

۱- فورج یکی از روش های تولید قطعات فلزی است که در آن؛ فلز گداخته شده در قالب قرار گرفته و با کوبش و برش، طی یک یا چند مرحله شکل قطعه به دست می آید. در این روش؛ عیوب داخلی عمدتاً کمتر از روش ریخته گری بوده لذا جهت تولید قطعاتی که تحت ضربات کششی هستند، معمولاً از این روش استفاده می شود.



ب- جهت استفاده در یاتاقان

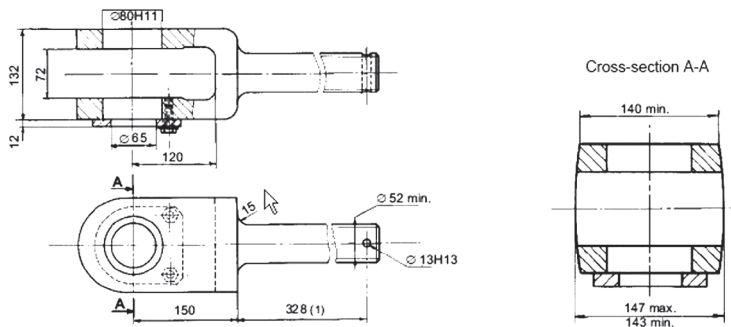
شکل ۳-۸) انواع سرفلاب

با توجه به نوع اتصال به بخش عقبی، یا جهت قرار گرفتن میله ی اتصال سوارخی در آن تعبیه شده، یا دارای بخش مسطحی است تا نصب در یاتاقان مربوطه که در شکل ۳-۸ مشاهده می شود، امکان پذیر گردد. وزن این قطعه با توجه به این که واگن ها تولید کشورها و شرکت های مختلفی هستند، متفاوت بوده و بین ۲۰ تا ۲۴ کیلوگرم متغیر می باشد. جنس و خصوصیات مکانیکی آن نیز تابع استاندارد UIC825 بوده و بعد از تولید، جهت بررسی عیوب، به روش اولتراسونیک آزمایش و کنترل می گردد. جوشکاری بر روی این قطعه جهت بر طرف نمودن عیوبی همچون حفره ها ممنوع می باشد، مگر این که راه آهن مصرف کننده مجوز آن را صادر کرده باشد. همچنین این قطعه باید فاقد هرگونه گوشه یا لبه ی تیز باشد.

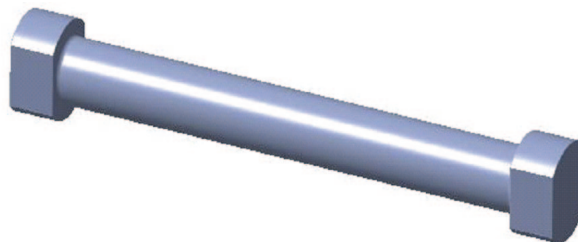
همان گونه که در شکل ۳-۸ مشاهده می شود، با توجه به تامپون های مختلف، لازم است سر قلاب با طول مناسب استفاده شود.

۳-۱-۲- میله ی اتصال سر قلاب به تجهیزات دیگر

این عضو فولادی، وظیفه ی ارتباط سر قلاب با مجموعه ی عقبی (ضربه گیر) را به وجود آورده و از سویی، با توجه به مفصل بندی آن، امکان حرکت دورانی محدود نسبت به پوسته ی ضربه گیر را برای میله ی قلاب فراهم می آورد (شکل ۳-۹). در صورتی که سر قلاب از نوع اول (دارای سوراخ) باشد، مستقیماً توسط والیک به میله ی اتصال وصل شده و در غیر این صورت از قطعه ای به نام میله ی رابط (شکل ۳-۱۰) استفاده می شود.



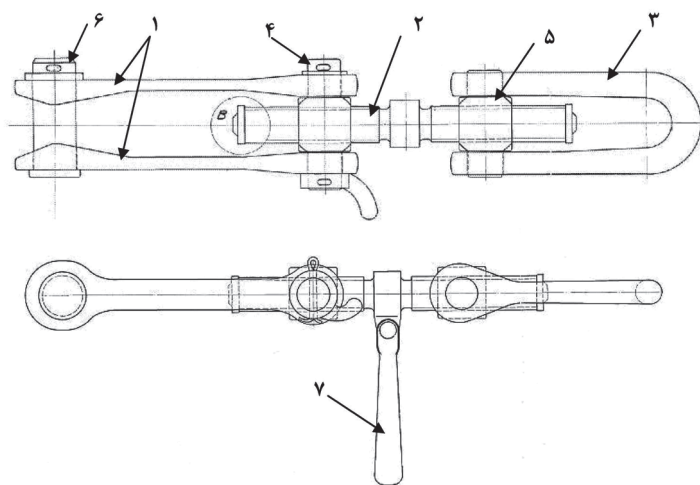
شکل ۳-۹) دو نما و مقطعی از میله ی اتصال سر قلاب



شکل ۳-۱۰) میله ی رابط

در تولید این قطعه نیز باید از ایجاد گوشه های تیز اجتناب شود. به عنوان مثال؛ کمانی به شعاع ۱۵ میلیمتر به صورت صاف و یکنواخت ایجاد گردد.

همان گونه که در شکل ۳-۹ مشاهده می شود، میله ی اتصال در انتها دارای رزوه ای است که محل قرارگیری مهره بوده و در واقع مجموعه ی ضربه گیر بر روی آن نصب و توسط همین مهره، محدود می گردد.



شکل ۳-۱۱) مجموعه ی زنجیر: ۱- بازو، ۲- میله ی ماریپیچ، ۳- حلقه ی اتصال، ۴- مهره ی اتصال بازو، ۵- مهره ی اتصال حلقه، ۶- والیک اتصال بازو (زنجیر) به سرقلاب، ۷- دستگیره برای تنظیم طول زنجیر

۳-۳-۱-۳-۳- زنجیر

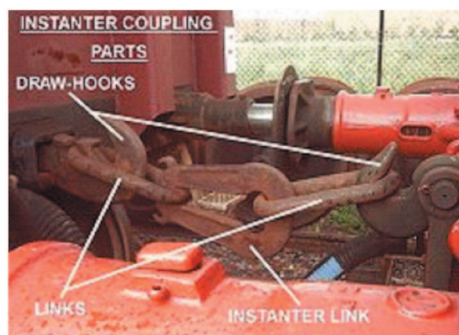
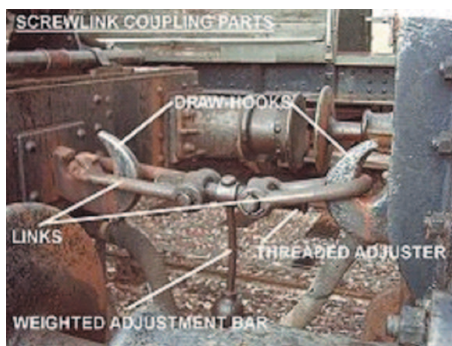
این مجموعه، وظیفه ی ارتباط دو سیستم اتصال روبه رو را به عهده داشته و از اجزای نشان داده شده در شکل ۳-۱۱ تشکیل می شود. در مورد قطعه ی شماره ی ۲ (میله ی ماریپیچ)، ذکر این نکته ضروری است که به خاطر اهمیت قطعه و احتمال شکست آن و در نتیجه انفصال واگن ها، روش تولید آن غلطک زنی^۱ می باشد. همچنین لازم به ذکر است که در واگن های مجهز به این نوع سیستم اتصال، طول زنجیر توسط دستگیره باید به گونه ای تنظیم شود که تامپون های روبه رو به صورت مماس با یکدیگر قرار گیرند.

۱- در تولید رزوه ها به روش غلطک زنی، برخی از عیوب سطحی مانند ترک ها از بین رفته و مقاومت سطح قطعه نسبت به سایش و لهیدگی افزایش می یابد. لذا در مجموعه هایی که نیروی بالایی وجود داشته و روانی حرکت مهره روی پیچ مد نظر است، از این روش تولید استفاده می شود.

۳-۱-۴- ضربه گیر (مجموعه ی فنر)

عموماً در آغاز حرکت واگن و جهت غلبه بر نیروهای مقاوم در برابر شروع حرکت، همچنین غلبه بر نیروهای مقاوم در زمان حرکت، نیروی زیادی لازم است که می تواند ایجاد ضربه (شوک) نماید. وظیفه ی این بخش، به طور خلاصه، جذب انرژی ضربه ای (که به قسمت جلویی کوپلینگ وارده شده) و انتقال نیرو به شاسی واگن می باشد. در واگن های قدیمی تر که اتصالات فقط از نوع کششی بودند، بخش ضربه گیر نیز طرح و ساختمان ساده تری داشته و صرفاً جهت جذب انرژی ضربات کششی طراحی شده بودند. با توجه به این که ضربه گیر در هر دونوع سیستم اتصال غیر اتوماتیک و اتوماتیک وجود داشته و همچنین به خاطر اهمیت آن، در پایان بحث سیستم های اتصال به صورت جداگانه در بخش ۳-۴ بررسی می شود.

به جهت آشنایی بیشتر، شکل ۳-۱۲ چند نمونه از قلاب های غیر اتوماتیک که در ناوگان باری راه آهن ایران مورد استفاده نمی باشد را نشان می دهد.



شکل ۳-۱۲) چند نمونه قلاب غیر اتوماتیک

۳-۳-۲- سیستم اتصال اتوماتیک

با گسترش و توسعه ی صنعت حمل و نقل، افزایش تعداد ایستگاه های واگن های باری و انجام کارهای سخت و خطرناک اتصال و انفصال واگن ها به صورت دستی و بدون در نظر گرفتن مساله ی زمان، این تفکر که باید از یک سیستم اتوماتیک استفاده شود، شکل گرفت. لذا سیستم های اتصال اتوماتیک اولیه که ساختمان ساده ای نیز داشتند، متولد گردیدند. سیستم های اتصال اتوماتیک به آن دسته از اتصالاتی اطلاق می شود که بدون نیاز به نیروی انسانی و در اثر میزان ضربه ی مشخص واگن مقابل، اتصال بین دو وسیله را برقرار می سازند.

در ابتدا به بررسی کلی ساختمان این قلاب ها می پردازیم.

در حال حاضر در ناوگان باری راه آهن ایران سه دسته کوپلینگ استفاده می شود:

- یونی کوپلر

- ویلسون

- روسی (SA3)

تقسیم بندی فوق بر اساس شکل ظاهری کاملاً قابل تشخیص بوده و ساختمان داخلی آنها نیز با هم متفاوت می باشد.

کلیه ی سیستم های اتصال اتوماتیک موجود در ایران دارای بخشهای مشترک زیر هستند:

الف) کلگی

ب) زبانه ی کوچک (باستثناء سیستم ویلسون)

پ) زبانه ی بزرگ

ت) دستگیره ی فرمان

حال به توضیح هریک از این بخش ها می پردازیم:

الف) کلگی

وظیفه ی کلگی (شکل ۳-۱۳) در یک کوپلینگ ایجاد ارتباط با کوپلینگ روبرو بوده که از طریق فرو رفتن فک ها در یکدیگر انجام می شود. این قطعه از جنس فولاد بوده و به روش ریخته گری تولید می شود و در انتها با استفاده از تکنیک تراشکاری، حفره های لازم ایجاد می گردند.

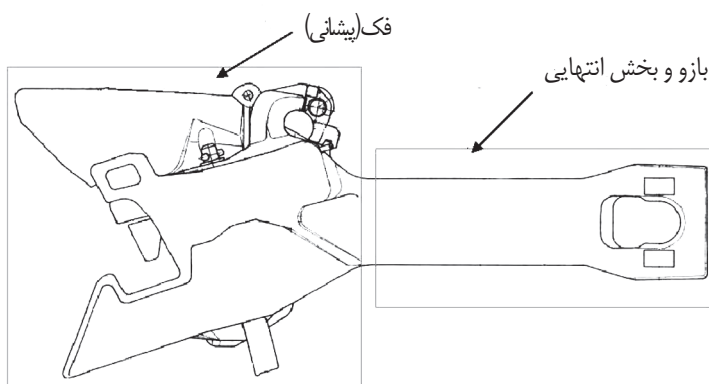
فک ها جلوترین بخش کلگی را تشکیل می دهند. فک های دو کوپلینگ روبرو داخل یکدیگر قرار گرفته و ایجاد یک اتصال دائمی می نمایند. مطابق با UIC 522، این تجهیزات با ایستی به گونه ای طراحی و ساخته شوند که الزامات زیر را برآورده سازند:

۱- در سرعت های بین ۲ تا ۷ کیلومتر بر ساعت، اتصال برقرار گردد.

۲- تا سرعت ۱۵ کیلومتر بر ساعت در اثر ضربه تخریبی اتفاق نیافتد.

۳- انفصال خود به خودی یا اتفاقی به وجود نیاید.

اهمیت کلگی از آنجا مشخص می شود که اولین ضربات از جانب واگن روبرویی به این قطعه وارد می گردد و نه تنها در مقابل تغییر شکل دائمی باید مقاومت لازم را داشته باشد، بلکه لازم است اتصال را برقرار نگهدارد (منظور ضرباتی است که در اثر تغییر سرعت، در ابتدای حرکت یا حین ترمزگیری به وجود می آید).



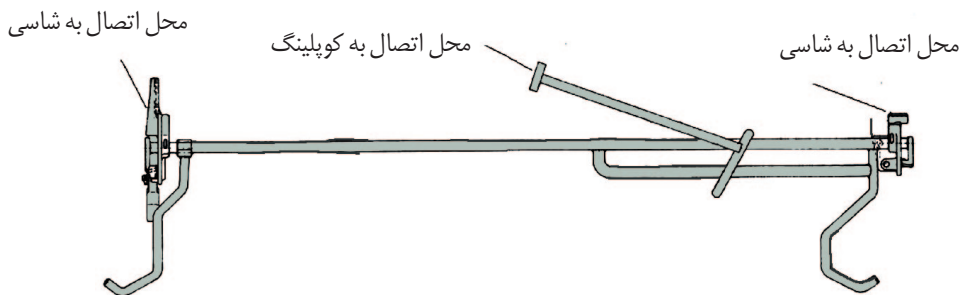
شکل ۳-۱۳) کلگی

ب و پ) زبانه های بزرگ و کوچک

دوبخش اصلی دیگر که در کلگی کوپلینگ قرار می گیرند، زبانه های بزرگ و کوچک هستند. در زمان اتصال، زبانه های بزرگ دو کوپلینگ روبرو با پرنمودن فضای بین فک های دو سیستم، اتصال دائمی دو کوپلینگ را موجب می شوند. زبانه ی کوچک نیز با استفاده از فنرهای متصل به آن، در زمان در گیر بودن دو کوپلینگ از حرکت زبانه ی بزرگ جلوگیری نموده و در مجموع باعث اجتناب از آزاد شدن خود به خودی سیستم می شود.

ت) دستگیره ی فرمان

دستگیره ی فرمان (شکل ۳-۱۴) وسیله ای جهت کنترل و آزادسازی کوپلینگ های اتوماتیک است. این بخش به وسیله ی زنجیر یا میله به زبانه ی بزرگ متصل شده و به کاربر این امکان را می دهد که با حرکت آن، زبانه ی بزرگ را جابجا نموده و در نهایت آزادسازی کوپلینگ ها را منجر شود.



شکل ۳-۱۴) نمای روبروی دستگیره ی فرمان

حال که مختصراً با بخشهای اصلی کوپلینگ آشنا شدیم، نگاهی به انواع کوپلینگ های اتوماتیک رایج در ایران خواهیم داشت.

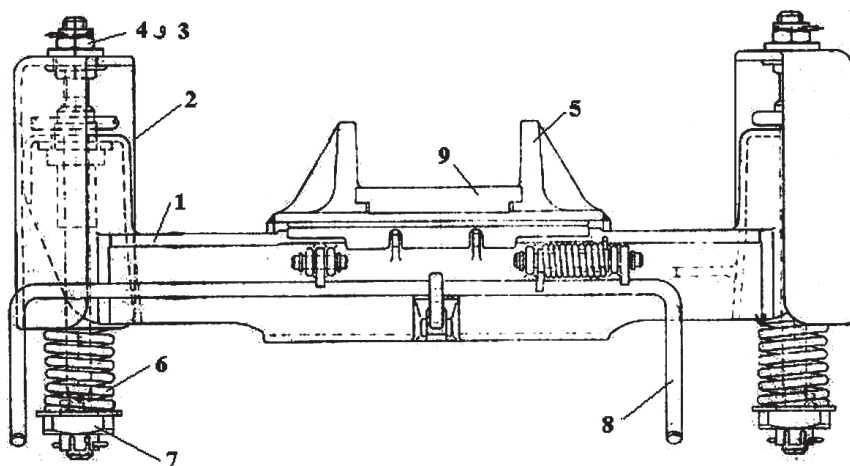
۳-۲-۱- یونی کوپلر

این نوع کوپلینگ مرسوم ترین سیستم اتصال اتوماتیک بوده و روی حدود ۵۵ درصد واگن های باری فعلی نصب شده و مورد استفاده قرار گرفته است. خصوصیت بارز این نوع اتصالات، اولاً امکان اتصال شلنگ های هوا و کابل های برق به صورت اتوماتیک و همزمان با اتصال کوپلینگ بوده و ثانیاً استفاده از تجهیزاتی موسوم به گهواره است. از مشخصه های دیگر این سیستم، اتصال آن است که روی کنگی کوپلینگ بخش چنگک ماندنی تعبیه شده که در موارد لزوم می توان زنجیر قلاب کشش واگن روبرو را به آن متصل و مورد استفاده قرار داد. شکل ۳-۱۵ نمای ظاهری یک قلاب یونی کوپلر را نشان می دهد.



شکل ۳-۱۵) نمای ظاهری یک قلاب یونی کوپلر

گهواره، تجهیزاتی است که با داشتن چند مجموعه فنر، امکان حرکت نرم تر و روان ترکلی کوپلینگ در جهت ارتفاع و عرض واگن را فراهم می آورد. گهواره ی کوپلینگ های یونی کوپلر، به لحاظ عملکرد، مزایای بیشتری نسبت به انواع دیگر کوپلینگ ها دارند. به همین جهت دارای اجزای بیشتری نیز می باشند که ذیلاً به آنها اشاره می شود. شکل ۳-۱۶ گهواره و تجهیزات مربوط به آن را نمایش می دهد.



شکل ۳-۱۶ گهواره ی کوپلینگ یونی کوپلر و تجهیزات مربوط به آن

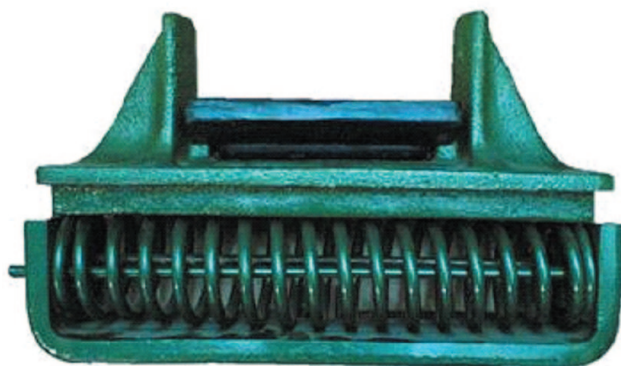
۱- پوسته ی گهواره که در واقع بستر حرکت تجهیزات بوده و عمدتاً از جنس فولاد و به روش ریخته گری ساخته می شود. البته لازم به ذکر است که تعدادی از این قطعات نیز از جنس چدن تولید شده و در حال حاضر مورد استفاده قرار می گیرند.

۲- پوسته ی لاترن که بخش ثابت گهواره بوده و به جوشکاری روی سرشاسی متصل می گردد. از آنجایی که این بخش اساس نصب اجزای دیگر است، می بایست به عمود بودن آن به محورهای طولی و عرضی واگن توجه داشت.

۳- میله‌ی لاترن که مفتولی فولادی و رزوه شده است و بدان جهت که در معرض ضربات و نیروهای کششی است، توصیه گردیده رزوه‌های آن به روش غلطک زنی تولید گردد. در ابتدا وانتهای آن سوراخ‌هایی تعبیه گردیده که پس از محکم نمودن مهره، با قرار دادن اشپیل از چرخش مهره و شل شدن اتفاقی جلوگیری می‌شود.

۴ و ۷- مهره‌ی بالایی و پایینی که اولاً جهت ارتباط تجهیزات گهواره با پوسته‌ی لاترن و ثانیاً به منظور تنظیم ارتفاع کُلگی کوپلینگ مورد استفاده قرار می‌گیرند. همان گونه که در مورد مورد میله‌ی لاترن اشاره شد، بعد از تنظیم و محکم نمودن اتصال، با استفاده از اشپیل از باز شدن خود به خودی جلوگیری می‌شود.

۵- سرسره‌ی فلزی: این بخش از گهواره در واقع فضایی است که بازوی کوپلینگ در آن قرار گرفته و روانی حرکت و انعطاف‌پذیری در جهت عرض واگن را فراهم می‌آورد. این موضوع در زمان حرکت قطار در قوس‌ها ملموس‌تر است. شکل ۳-۱۷ یک سرسره‌ی فلزی کامل را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۷) تصویری از یک سرسره‌ی فلزی کامل

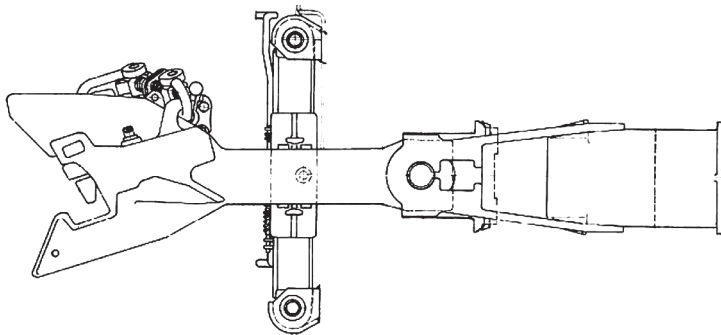
فنرهای تعبیه شده در این مجموعه امکان برگشت کوپلینگ به حالت عادی خود (قرار گرفتن در امتداد محور طولی واگن) را فراهم می‌نمایند.

۶- فنرهای لاترن: هر مجموعه از این فنرها از دو فنر راست گرد و چپ گرد در داخل یکدیگر تشکیل شده و این امکان را به کوپلینگ می دهد که در مقابل نوسانات ناشی از حرکت قطار در طول مسیر بتواند در امتداد ارتفاع واگن حرکت مطلوب و مناسبی داشته باشد.

۸- دستگیره که به کمک آن می توان در مواقع لزوم، مانند زمان تعمیرات، کوپلینگ را در یک سمت نگه داشته و از بازگشت آن به حالت عادی جلوگیری نمود. در زمانی که این دستگیره در وضعیت عادی خود قرار دارد، زبانه ای متصل به آن در داخل شیار سرسره ی فلزی قرار گرفته و قطعه ی مزبور را در محل خو ثابت نگه می دارد. با حرکت جانبی کوپلینگ، فنر داخل سرسره باز شده و در زمانی که لازم باشد آن را به حالت عادی باز می گرداند.

۹- این قطعه که معروف به سنگ سرسره یا سنگ زیر قلاب است، از لحاظ سختی دارای جنسی نرمتر از بازوی کوپلینگ بوده و در حین نوسانات جانبی از ساییده شدن بازو، که می تواند بسیار خطرناک نیز باشد، جلوگیری می نماید.

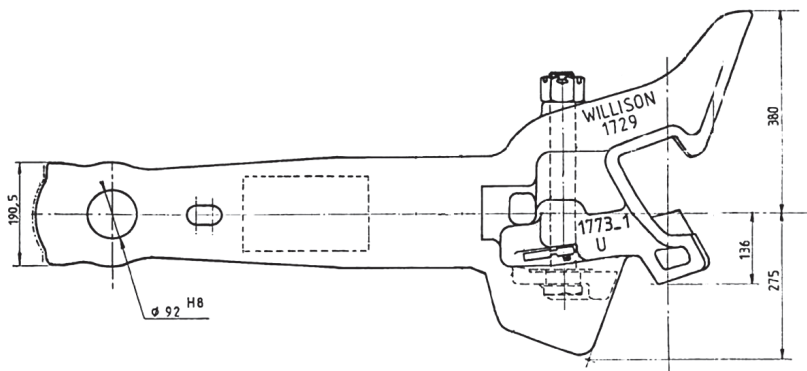
شکل ۳-۱۸ نحوه ی استقرار کوپلینگ در داخل گهواره را نشان می دهد.



شکل ۳-۱۸) نمای بالایی نحوه ی استقرار کوپلینگ در داخل گهواره

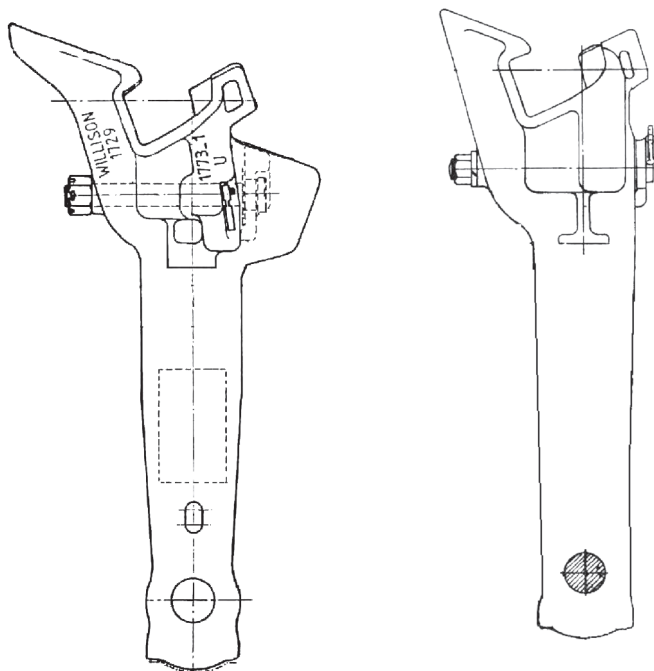
۳-۲-۲-۳- ویلسون (Wilison)

این نوع کوپلینگ برروی حدود ۹۰۰ دستگاه از واگن های لبه بلند نصب و در حال استفاده می باشد. این کوپلینگ نیز همچون نوع یونی کوپلر قابلیت اتصال به قلاب های کشش را نیز داراست. شکل ۳-۱۹ نمایی از یک کوپلینگ ویلسون با نمایش ابعاد اصلی را ارائه می دهد.



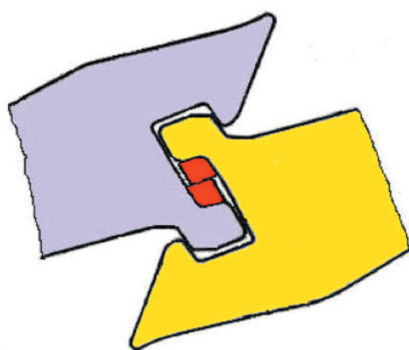
شکل ۳-۱۹) نمایی از یک کوپلینگ ویلسون با نمایش ابعاد اصلی

همان گونه که در شکل ۳-۱۹ نیز دیده می شود، میله ی رزوه شده ای که توسط مهره به بخش میانی این نوع کوپلینگ متصل می شود، محل استقرار زنجیر قلاب کشش و برقراری ارتباط با واگن مقابل است. یکی از تفاوت های بارز این سیستم با نوع یونی کوپلر در آن است که نوع ویلسون فقط دارای یک زبانه بوده و در نتیجه به هر علتی زبانه به عقب هل داده شود، امکان آزاد سازی اتصال وجود دارد. کوپلینگ های ویلسون مورد استفاده در ایران به دو نوع فرانسوی و هندی تقسیم می شوند که نوع فرانسوی آن روی واگن های سری ۸۴۶۰۰۱ تا ۸۴۶۳۹۲ و سری ۸۵۶۰۰ تا ۸۵۶۱۰۰ نصب شده و مشخصه اش فک بزرگ آن است. نوع هندی نیز برروی واگن های سری ۸۴۶۵۰۱ تا ۸۴۶۹۰۰ نصب شده و در مجموع بدنه ی کوچکتری نسبت به نوع فرانسوی دارد. شکل های ۳-۲۰ الف و ۳-۲۰ ب شمای دو نوع ویلسون هندی و فرانسوی را نشان می دهند.



شکل ۳-۲۰ ب) ویلسون فرانسوی

شکل ۳-۲۰ الف) ویلسون هندی



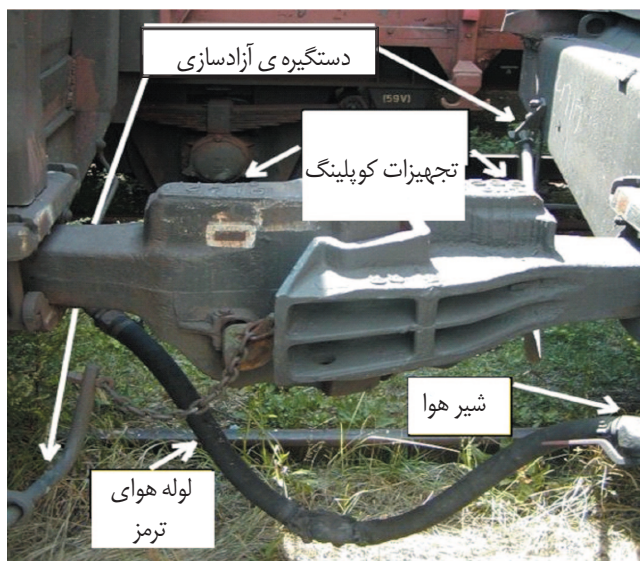
شکل ۳-۲۱) نمائی از کوپلینگ ویلسون در حالت اتصال (زبان، برنگ قرمز)

۳-۲-۳- روسی (SA3)

این نوع سیستم اتصال از لحاظ شکل ظاهری شبیه به نوع ویلسون است ولی از لحاظ ساختمان و عملکرد با آن تفاوت دارد. این کوپلینگ در اصل ساخت کشور امریکا و تابع استاندارد AAR است که بعداً توسط کشور شوروی سابق مورد استفاده قرار گرفته و توسعه و بهبود یافته و هم اکنون در کلیه کشورهای مشترک المنافع (CIS) مورد بهره‌برداری می‌باشد که به همین دلیل به آن کوپلینگ روسی گفته می‌شود. در سال‌های اخیر با توجه به ورود واگن‌های اکرایی و طرح روسی به ناوگان باری جمهوری اسلامی ایران، استفاده از این سیستم افزایش یافته است، به گونه‌ای که در حال حاضر حدود ۷۲۰۰ دستگاه واگن مجهز به کوپلینگ SA3 می‌باشند. شکل ۳-۲۲ نمایی از یک واگن مجهز به کوپلینگ SA3 و شکل ۳-۲۳ دو کوپلینگ SA3 متصل به هم را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۲۲) نمایی از یک واگن مجهز به کوپلینگ SA3

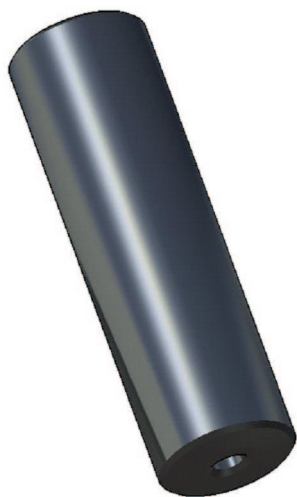


شکل ۳-۲۳) نمایی از دو کوپلینگ SA3 متصل شده و محل استقرار آن در واگن

وجه تمایز این کوپلینگ با نوع ویلسون تیغه هایی است که روی بدنه ی کوپلینگ SA3 جهت تقویت تعبیه شده است.

تفاوت های اصلی کوپلینگ SA3 و یونی کوپلر عبارتند از:

- ۱- در نوع SA3 گهواره ی فنی وجود ندارد.
- ۲- دستگیره ی فرمان کوپلینگ های یونی کوپلر در دو طرف سرشاسی (پیشانی واگن) قرار دارد ولی در کوپلینگ SA3 یک طرفه می باشد.
- ۳- در نمونه ی یونی کوپلر می توان هم زمان با اتصال کوپلینگ، کابل های برق و شلنگ های هوا را نیز به صورت اتوماتیک متصل نمود که در مورد SA3 چنین امکانی وجود ندارد.
- ۴- والیک اتصال دهنده ی یونی کوپلر به ضربه گیر آن به صورت استوانه ای و گرد بوده ولی در مورد SA3 تخت (معروف به کتابی) می باشد (شکل های ۳-۲۴ و ۳-۲۵).

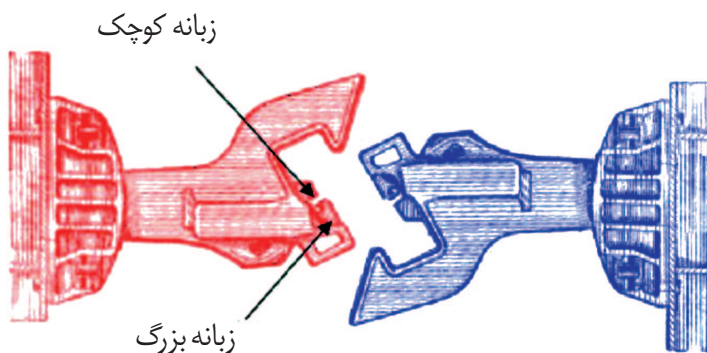


شکل ۳-۲۵) نمونه والیک سیستم یونی کوپلر



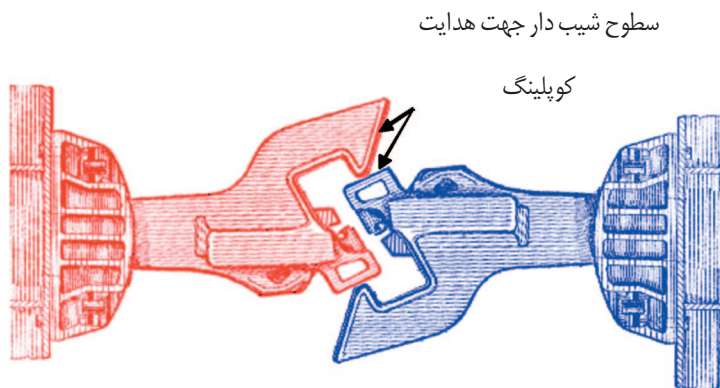
شکل ۳-۲۴) نمونه والیک سیستم روسی

با توجه به اشکال زیر سه وضعیت در مورد اتصال کوپلینگ های SA3 به یکدیگر وجود دارد:
 در وضعیت اول (شکل ۳-۲۶) کوپلینگ ها در حال نزدیک شدن به یکدیگر بوده و زبانه ها کاملاً آزادند.
 جهت اتصال کوپلینگ ها لازم نیست که هر دو سیستم در راستای یکدیگر قرار داشته باشند. سرعت لازم جهت اتصال، طبق مقررات و UIC 522-2، بین ۲ تا ۱۵ کیلومتر بر ساعت می باشد.



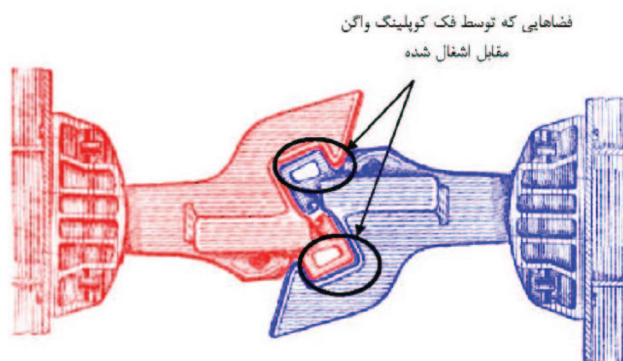
شکل ۳-۲۶) وضعیت ۱

در وضعیت دوم به علت حرکت واگن و ایجاد ضربه، کوپلینگ ها به یکدیگر فشار وارد می آورند. در این حالت شکل خاص کلگی باعث جابجایی عرضی کلگی شده و زواید و فرو رفتگی ها به تدریج داخل یکدیگر قرار می گیرند (شکل ۳-۲۷).



شکل ۳-۲۷ وضعیت ۲

در وضعیت سوم با هدایت سطوح شیب دار، فک ها داخل یکدیگر فرو رفته و اتصال دو کوپلینگ را به وجود می آورند. طراحی و ابعاد کوپلینگ به گونه ای است که در حین اتصال، زبانه ی بزرگ یکی در مقابل زبانه ی کوچک سیستم مقابل قرار گرفته و آن را به عقب می راند. با استفاده از فضای آزاد ایجاد شده در اثر این عمل، فک های کوپلینگ ها داخل یکدیگر شده و با جابجایی آنها زبانه های کوچک به محل قبلی خود باز می گردند. این کار باعث قفل شدن زبانه های بزرگ و تحت فشار قرار گرفتن آنها شده و از آزادسازی خودبه خودی جلوگیری به عمل می آورد. به عبارت دیگر فضای خالی داخل یک فک با فک کوپلینگ واگن مقابل اشغال شده و باعث تحت فشار قرار گرفتن زبانه ها می گردد (شکل ۳-۲۸).



شکل ۳-۲۸) وضعیت ۳

همان گونه که در شکل ۳-۲۹ مشاهده می شود، شاخص؛ میله یا تسمه ای قرمز رنگ است که با اتصال کامل کوپلینگ از مقر خود خارج شده و نشان دهنده ی آن است که اتصال کوپلینگ ها برقرار گردیده است.



شکل ۳-۲۹) شاخص برقراری اتصال کامل

جهت آزادسازی اتصال کافی است میله ی فرمان یکی از واگن ها به سمت بالا حرکت داده شود. این میله به زبانه ی بزرگ متصل بوده و با حرکت آن زبانه ی بزرگ نیز حرکت کرده و فضای خالی بین فک ها به وجود می آید. با کشش واگن ها به طرفین و به کمک سطوح شیب دار، کوپلینگ ها آزاد می گردند (شکل ۳-۳۰).



(۱)



(۲)



(۳)

شکل ۳-۳۰ مراحل آزادسازی کوپلینگ

۳-۴- ضربه گیر

یکی از مهمترین بخش های سیستم های اتصال واگن، «ضربه گیر» بوده و همان گونه که از نام گذاری آن نیز استنباط می شود، وظیفه ی این بخش مستهلک کردن انرژی ضربه و یا کاهش آن است. مشخصه ی

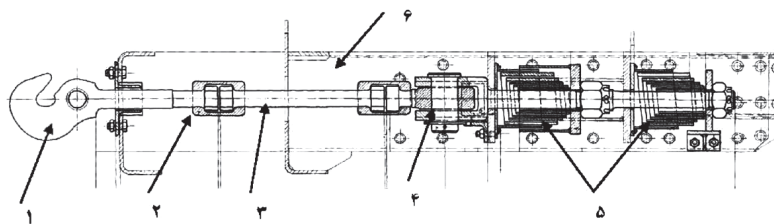
هر سیستم ضربه گیر مقدار ظرفیت جذب انرژی یا توان آن است. لذا برای هر نوع واگن، با توجه به نوع سیستم اتصال و کاربری آن، ضربه گیر خاصی به کار می رود. جدول ۳-۱ به صورت خلاصه، انواع سیستم اتصال و ضربه گیر مربوطه را نشان می دهد. (در بخش ۳-۲، راجع به اصطلاحات مهم و کاربردی همچون انرژی، نیرو و صحبت شده، در صورت نیاز مجدداً به آن قسمت مراجعه شود)

جدول ۳-۱) به صورت خلاصه، انواع سیستم اتصال و ضربه گیر مربوطه

سیستم اتصال واگن	نوع ضربه گیر
زنجیری (کشش)	فنر حلزونی
	رینگ فدر
یونی کوپلر	ماینر
	رینگ فدر
ویلسون	ویلسون
روسی (SA3)	فنر لول

۳-۴-۱ - ضربه گیر با فنر حلزونی

این نوع ضربه گیر جزء ابتدایی ترین سیستم ها محسوب شده و روی کلیه ی واگن های دو محوره مورد استفاده قرار می گرفته است. در نمونه های اولیه، دو قلاب دو طرف واگن به یک ضربه گیر متصل بودند و به تدریج ضربه گیرهای مستقل برای هر قلاب جایگزین گردیدند. شکل ۳-۳۱ یک قلاب با ضربه گیر دارای فنر حلزونی را نشان می دهد.



شکل ۳-۳۱) قلاب با ضربه گیر دارای فنر ملزونی

اجزای سیستم اتصال زنجیری با ضربه گیر فنر ملزونی مطابق شکل ۳-۳۱ عبارتند از:

۱- چنگک قلاب

۲- یاتاقان

۳- میله ی رابط

۴- والیک اتصال قلاب و ضربه گیر

۵- ضربه گیر

۶- شاسی واگن

شکل ۳-۳۲ ساختمان یک ضربه گیر دارای فنر ملزونی را نشان می دهد. اجزاء این ضربه گیر مطابق

شکل عبارتند از:

۱- میله ی کشش قلاب

۲- صفحه ی (نبشی) راهنمای میله ی کشش

۳ و ۸- صفحه ی تکیه گاه

۴ و ۹- فنر ملزونی

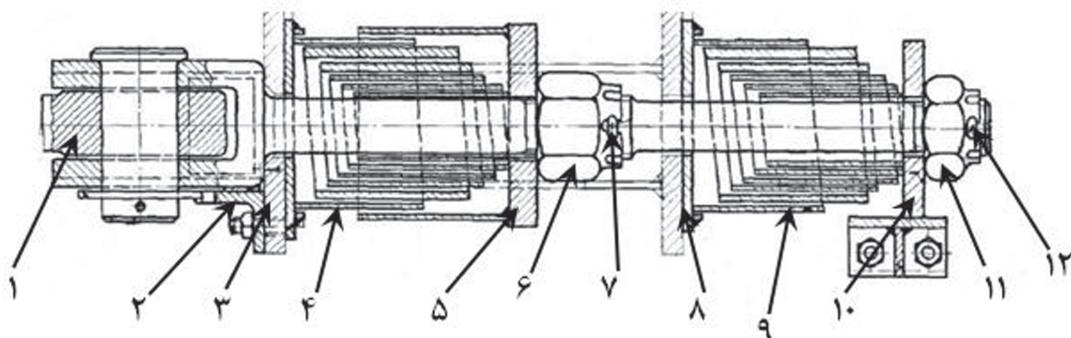
۵- صفحه ی ضربه گیر جلوی فنر

۶- مهره ی چاکدار M64

۷ و ۱۲- اشپیل های نگهدارنده ی مهره

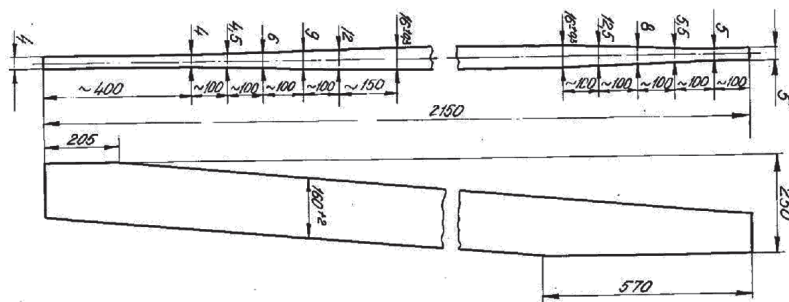
۱۰- صفحه ی هادی میله (پشت فنر)

۱۱- مهره ی چاکدار M52

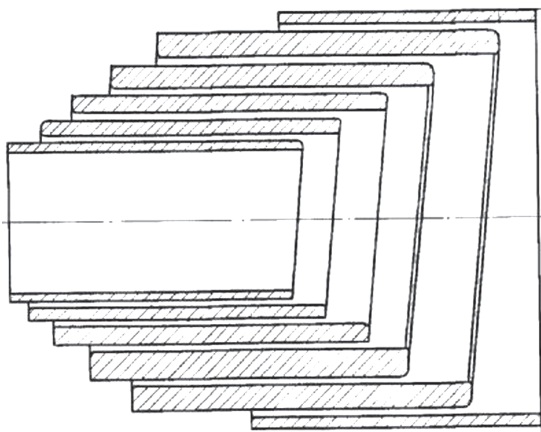


شکل ۳-۳۲) اجزای مختلف یک ضربه گیر دارای فنر ملزونی

فنر حلزونی (قطعات شماره ۴ و ۹) که مهمترین بخش مجموعه ی ضربه گیر بوده و وظیفه ی انعطاف پذیری را به عهده دارد، یک ورق است که حول محور مرکزی پیچیده شده و قاعده ی بزرگتر آن در صفحه تکیه گاه استقرار می یابد (قطعات ۳ و ۸). شکل ۳-۳۳ ورق فنر حلزونی قبل از پیچیده شدن و شکل ۳-۳۴ آن را بعد از پیچیده شدن نشان می دهد.



شکل ۳-۳۳) ورق فنر ملزونی قبل از پیچیده شدن

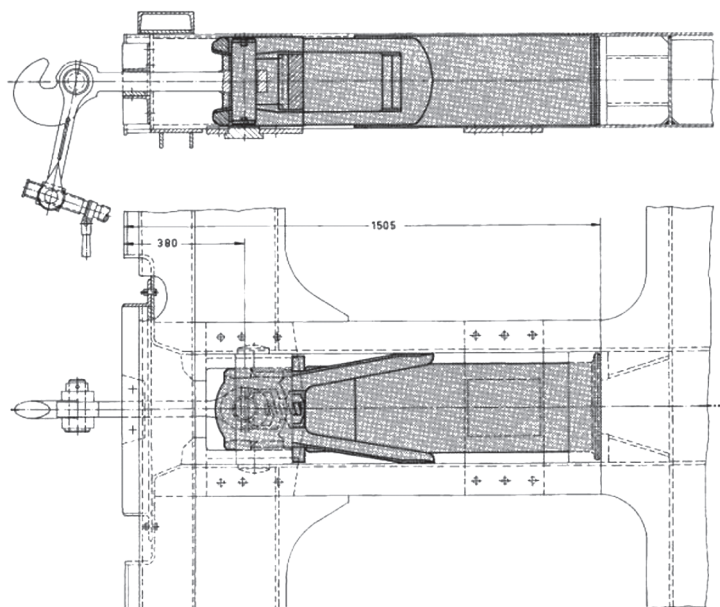


شکل ۳-۳۴) مقطع فدر کامل (پیچیده شده)

همان گونه که در اشکال فوق مشاهده می شود، ضخامت این ورق یکسان نبوده و تقریباً در وسط بیشترین ضخامت را دارد (اندازه ها بر حسب میلیمتر است).

۳-۴-۲- ضربه گیر رینگ فدر

با توجه به جدول شماره ۱، مشاهده می شود ضربه گیر نوع رینگ فدر بیشترین کاربرد را در بین انواع دیگر دارد و اضافه بر سیستم اتصال اتوماتیک در نوع غیر اتوماتیک نیز نصب می گردد. فنرهای اصطکاکی RINGFEDER در بخش مهندسی مکانیک زمانی مورد استفاده قرار می گیرند که انرژی های جنبشی بالایی باید جذب و تعدیل شوند. تصویر ۳-۳۵ شماتیکی از قلاب زنجیری، ضربه گیر رینگ فدر و جانمایی آن در شاسی را نشان می دهد.



شکل ۳-۳۵) شماتیکی از قلاب زنجیری، ضربه گیر رینگ فدر و جانمایی آن در شاسی

رینگ فدر (RINGFEDER) نام تجاری شرکت آلمانی سازنده ی تجهیزات سیستم های اتصال است که خود نیز مشعب از یک شرکت سوئدی تولید کننده ی تجهیزات کوپلینگ های اتوماتیک هستند. بخش های مختلف سیستم ضربه گیر رینگ فدر عبارتند از:

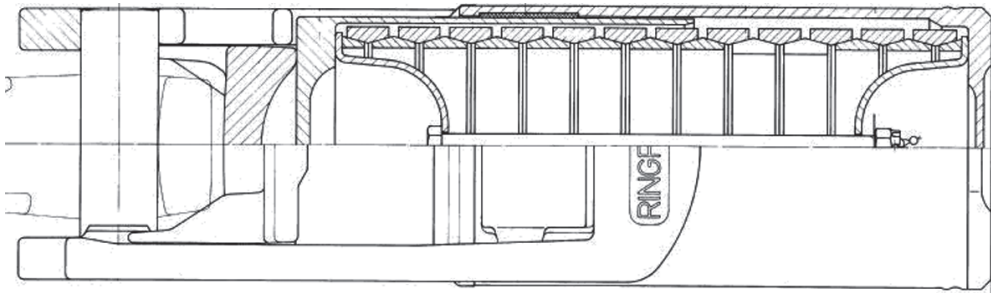
- ۱- پوسته ی بیرونی
 - ۲- پوسته ی داخلی
 - ۳- رینگ ها (شامل رینگ داخلی، رینگ بیرونی و رینگ چاکدار)
 - ۴- نیم کاسه های نگهدارنده ی فنر
 - ۵- میله ی رزوه شده به همراه مهره ها
- پوسته های بیرونی و داخلی درواقع محفظه هایی جهت استقرار مجموعه ی فنر بوده و از جنس فولاد می باشند.

مهمترین بخش ضربگیرهای رینگ فدر، مجموعه ی فنری یا حلقه های آن است. شکل ۳-۳۶ نمای برش خورده ی یک فنر رینگ فدر به همراه تصویر جداگانه ی حلقه های به کار رفته در آن را نشان می دهد.



شکل ۳-۳۷) نمای برش خورده ی یک فنر رینگ فدر به همراه تصویر جداگانه ی حلقه های به کار رفته در آن

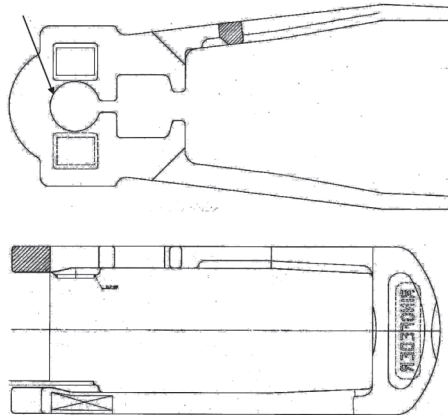
شکل ۳-۳۷ نیز شماتیک یک فنر رینگ فدر را نشان می دهد. این مجموعه تشکیل شده از ۱۲ عدد حلقه ی بیرونی، ۹ عدد حلقه ی داخلی، ۲ عدد حلقه ی چاکدار و ۲ عدد نیم رینگ (نصف حلقه ی داخلی) که بوسیله ی دو عدد نیم کاسه و یک عدد پیچ و مهره، به صورت تحت فشار روی هم قرار گرفته و به عنوان یک مجموعه آماده ی قرار گرفتن در محفظه ی مربوطه می گردد.



شکل ۳-۳۷) شماتیک یک فنر رینگ فدر

قطعه‌ی دیگری که در این قسمت به معرفی آن می‌پردازیم، یو (U) ضربه‌گیر است. این قطعه در واقع رابط بین ضربه‌گیر و کوپلینگ بوده و به وسیله‌ی والیک اصلی قلاب (اشکال ۳-۲۴ و ۳-۲۵)، این ارتباط را به وجود می‌آورد.

محل استقرار والیک



شکل ۳-۳۸) یو (U) ضربه‌گیر



شکل ۳-۳۹) ضربه گیر نصب شده در یو (U)

در شکل های ۳-۳۸ و ۳-۳۹، به ترتیب یو (U) ضربه گیر و ضربه گیر نصب شده در آن مشاهده می شود. عملکرد این مجموعه به این صورت است که زمانی که کوپلینگ تحت کشش قرار می گیرد (معمولاً در ابتدای حرکت) بعلت متصل بودن به یو، از طریق والیک اصلی، یو نیز تحت کشش قرار می گیرد و بدنبال آن ضربه گیر نیز کشیده می شود ولی با توجه به تکیه گاه های جلویی، حرکت ضربه گیر محدود شده و در نتیجه فشرده می شود. مجدداً در حالتیکه که کوپلینگ در حالت فشرده شدن یا اصطلاحاً ضربات فشاری است (معمولاً در زمان کاهش سرعت)، یو با استفاده از سنگ قلاب ضربه گیر را فشار می دهد و با توجه به اینکه انتهای ضربه گیر به تکیه گاه پشتی محدود شده، مجموعه ضربه گیر فشرده می شود. بطور خلاصه ضربات فشاری یا کششی روی کوپلینگ منجر به فشرده شدن ضربه گیر می گردد. در پایان این بخش ذکر این نکته ضروری است که ضربه گیرهای ماینر و ویلسون دارای عملکردی شبیه به رینگ فدر هستند با این تفاوت که بخش انعطاف پذیر آنها لاستیک می باشد.

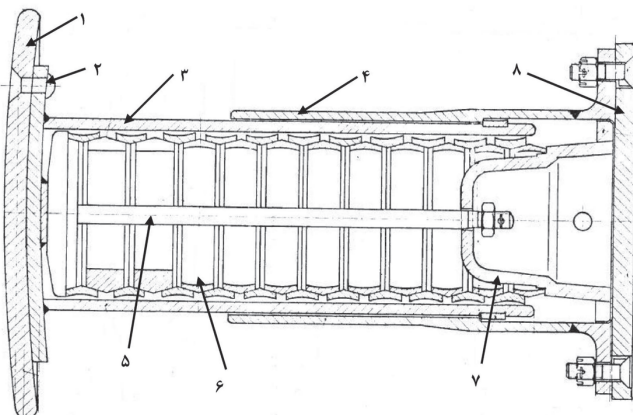
۳-۵- تامپون

تامپون (Buffer) بخشی از سیستم اتصال است که در دو طرف کوپلینگ روی هر سرشاسی نصب گردیده و برای سیستم غیر اتوماتیک، اجباری و برای سیستم اتوماتیک، اختیاری می باشد. تامپون از لحاظ ساختار شبیه به سیستم ضربه گیر بوده و به دو صورت رینگ فدر و فنر حلزونی می باشد. با توجه به اینکه در فصل گذشته مفصلاً در مورد این دو نوع ضربه گیر صحبت شده، از تکرار آن خودداری می گردد (طبق UIC شماره ۱-۵۲۶ واگنهایی که از سال ۱۹۸۵ میلادی به بعد ساخته شده اند می بایست مجهز به تامپون با کورس ۱۰۵ میلیمتر باشند).

تقسیم بندی تامپون، طبق استاندارد فوق الذکر، براساس مقدار جذب انرژی و کورس است که در جدول زیر مشاهده می شود.

نوع تامپون	مقدار جذب انرژی (برحسب KJ)
A	≥ 30
B	≥ 50
C	≥ 70

در حال حاضر تامپون های نصب شده بر روی واگنهای باری از لحاظ کورس به دو دسته ۷۵ و ۹۰ میلیمتر تقسیم می شوند. شکل ۳-۴۰ مقطع برش خورده ی یک تامپون را نشان می دهد.



شکل ۳-۴۰ مقطع برش خورده ی یک تامپون (رینگ فدر)

بخش های تشکیل دهنده ی یک تامپون رینگ فدر به شرح زیر است:

۱- سپر

۲- پرچ اتصال سپر (در بعضی از انواع این اتصال توسط جوشکاری انجام می شود)

۳- پوسته یا غلاف داخلی

۴- پوسته یا غلاف خارجی

۵- میله رزوه شده ی نگهدارنده ی مجموعه ی فتر

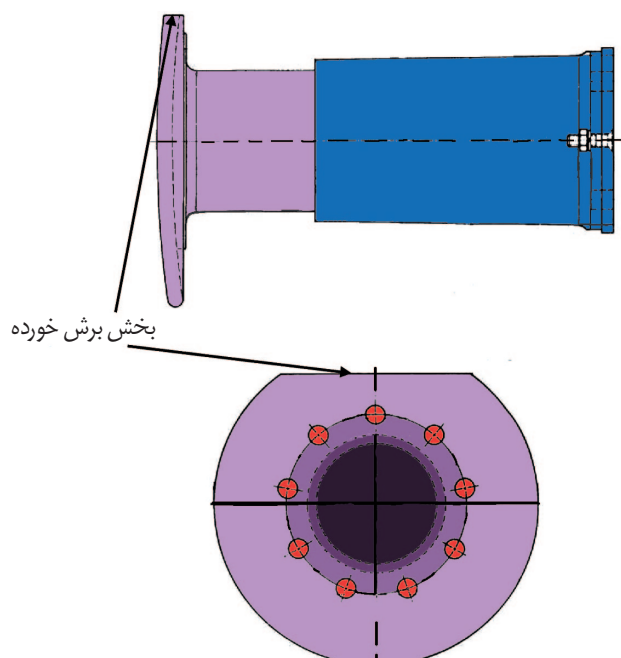
۶- مجموعه ی فتر (شامل رینگ های داخلی، خارجی و چاکدار)

۷- نیم کاسه نگهدارنده ی فترها

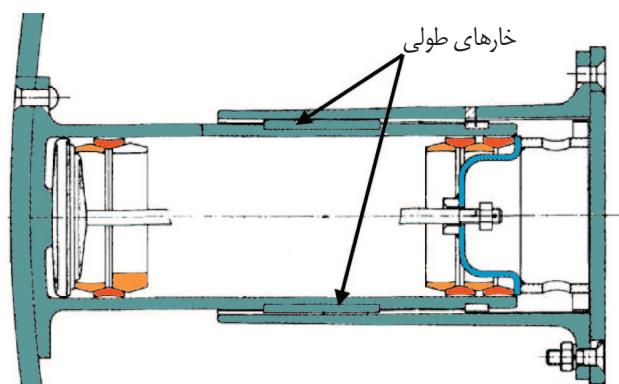
۸- صفحه ی پشتی تامپون

نکته ای که در مورد تامپون و یا اصولاً هر مجموعه ی فتری باید در نظر داشت، آن است که فترها، قبل از قرار گرفتن در محل مربوطه، می بایست تحت یک پیش تنیدگی یا پیش فشردگی مشخص قرار گیرند (در مورد فترهای کششی تحت پیش کشش). مقدار پیش فشردگی در در مورد تامپون های واگن های باری KN ۲۰ می باشد. بدین معنی که بعد از چیدن فترها به تعداد لازم روی یکدیگر و گریسکاری، این مجموعه با نیروی KN ۲۰ توسط پرس فشرده شده و به وسیله ی نیم کاسه و میله ی نشان داده شده در شکل ۳-۴۰، مهار می گردد.

برخی از انواع واگن ها، مانند واگن های لبه کوتاه و مسطح، به خاطر این که در مواقع خاص می بایست از درب های کلگی واگن جهت بار گیری و تخلیه استفاده نمود، دارای تامپون با سپر برش خورده می باشند. بدین جهت بین غلاف خارجی و داخلی، یک خار طولی قرار گرفته که از چرخش احتمالی تامپون و در نتیجه به هم خوردن موقعیت بخش برش خورده ی سپر، جلوگیری می نماید. شکل ۳-۴۱ شماتیک یک تامپون با سپر برش خورده و شکل ۳-۴۲ موقعیت خارهای طولی را در تامپون نشان می دهد.



شکل ۳-۱۴۱) شماتیک یک تامپون با سپر برش خورده



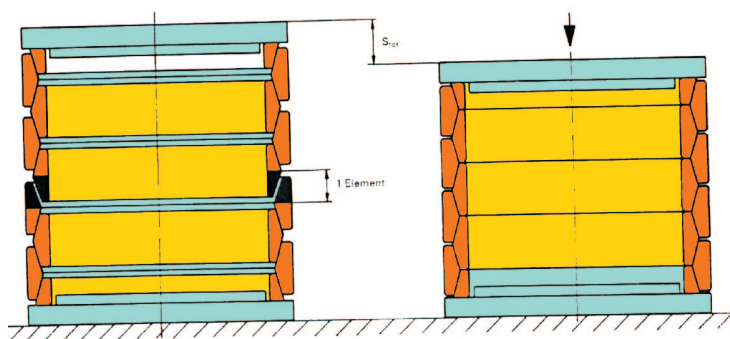
شکل ۳-۱۴۲) موقعیت خارهای طولی در تامپون

۳-۶- تشریح فنر اصطکاکی RINGFEDER

فنرهای اصطکاکی RINGFEDER در بخش مهندسی مکانیک، زمانی مورد استفاده قرار می گیرند که انرژیهای جنبشی بالایی باید جذب و میرا شده و یا فضای کمی برای نیروهای بزرگ وجود دارد.

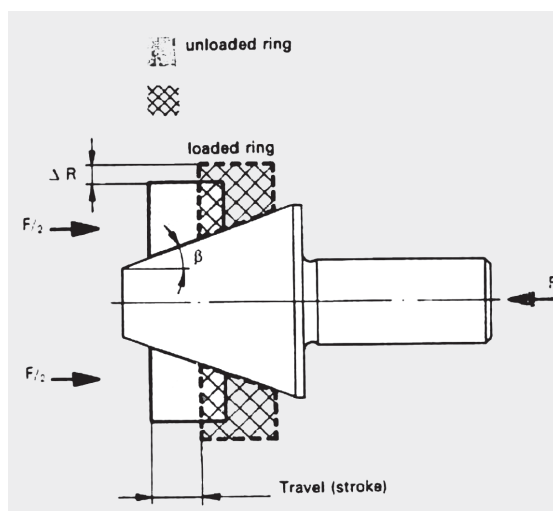
۳-۶-۱- مشخصه ها

فنرهای اصطکاکی RINGFEDER شامل حلقه های بیرونی و داخلی بسته با سطوح تماس مخروطی هستند. شکل ۳-۳۵ بخشی از یک فنر اصطکاکی را نشان می دهد. یک المان فنر به یک سطح مخروطی ساده، یعنی نیمه ی یک رینگ داخلی و نیمه ی یک رینگ بیرونی، اطلاق می شود. به عنوان مثال فنر نشان داده شده در شکل ۳-۳۴ شامل هشت المان است.



شکل ۳-۱۴۳ بخشی از یک فنر اصطکاکی

وقتی که ستون فنر به صورت محوری بارگذاری می شود، سطوح به علت افزایش قطر رینگ های بیرونی و کاهش قطر رینگ های داخلی، هم پوشانی پیدا می کنند. برای توضیح این پدیده یک مخروط فولادی و یک حلقه ی الاستیکی ساخته شده، مثلاً از مواد ترکیبی (شکل ۳-۴۴) را تصور کنید. وقتی که بار F به مخروط اعمال شده و داخل حلقه ی پلاستیکی را فشار می دهد، باعث انبساط آن می گردد. مقدار حرکت رینگ ها بر روی یکدیگر متناسب با $(\Delta R / \tan \beta)$ می باشد.



شکل ۳-۱۴) مفروفا فولادی و حلقه‌ی الاستیکی

برای تولید فنرهای اصطکاکی RINGFEDER، حلقه‌های بیرونی و داخلی از فولاد فنر ساخته می‌شوند. اعمال بارهای بزرگ باعث ایجاد تغییر شکل الاستیک حلقه‌های خارجی و حلقه‌های داخلی به اندازه‌ی ΔR می‌شود. فرمول زیر برای مقدار جابجایی یک المان استفاده می‌شود که در آن S_e مقدار جابجایی یک المان فنر است.

$$S_e = (\Delta R + \Delta R) / \tan \beta$$

برای نشان دادن مقدار تغییر شکل، قطر متوسط $D_m = 200 \text{ mm}$ برای حلقه‌ی بیرونی با یک تنش کششی مجاز $\delta Z = 1100 \text{ N/mm}^2$ را در نظر می‌گیریم.

$$\Delta R = (\delta Z / E) \cdot (D_m / 2) \approx 0.52 \text{ mm}$$

برای حلقه‌ی داخلی نیز تنش فشاری مجاز $\delta Z = 1100 \text{ N/mm}^2$ با قطر متوسط $D_m = 180 \text{ mm}$ را در نظر می‌گیریم.

$$\Delta R = (\delta d / E) \cdot (D_m / 2) \approx 0.58 \text{ mm}$$

لازم به ذکر است که در روابط فوق E نشان دهنده ی مدول یانگ برای فولاد فنر مورد استفاده بوده و مقدار آن برابر با 210000 N/mm^2 است.

بنابراین از آنجایی که نیروی فنری با تعداد المانها تغییر نمی کند، جابجایی کلی یک فنر اصطکاکی برآیند تعداد المان ها می باشد.

۳-۶-۲- الگوی تنش در حلقه ها

در مقایسه با انواع دیگر فنرها، تنش های محیطی تقریباً به صورت یکنواخت در تمام سطح مقطع فنر اصطکاکی RINGFEDER توزیع می شود. بنابراین هر المان فنر اصطکاکی RINGFEDER به طور یکنواخت مورد استفاده قرار گرفته و در نتیجه وزن فنر کمتر از انواع دیگر فنرها (یعنی فنرهای تیغه ای، دیسکی، حلزونی، مارپیچ، میله های پیچشی، دندانهای و غیره) می شود که اندازه ی سطح مقطعشان مطابق با حداکثر تنش محیطی طراحی شده در حالی که مناطق میانی بدون تنش باقی می ماند.

۳-۶-۳- میرایی فنر اصطکاکی RINGFEDER

ویژگی اختصاصی فنر اصطکاکی RINGFEDER، میرا کردن اصطکاکی حدود دو سوم انرژی به وجود آمده است. البته در نمودار نیروی جابجایی فنر اصطکاکی RINGFEDER امکان کاهش این میرایی، مثلاً با تغییر روانکار، وجود دارد.

۳-۶-۴- روانکاری (روغنکاری)

قبل از نصب، سطوح لغزشی رینگ ها توسط گریس مخصوص روانکاری می شود (از روانکار با عمر بالا استفاده می شود). روغن های معدنی، برای روانکاری فنر اصطکاکی RINGFEDER، روانکارهای مناسبی هستند.

۳-۶-۵- اندازه های ساخت

فنرهای اصطکاکی RINGFEDER می توانند در هر اندازه ای تولید شوند. برنامه های استاندارد تولیدی، فنرهایی از قطر ۱۸ تا ۴۰۰ میلیمتر با نیروی ۵ تا ۱۸۰۰ کیلو نیوتن را پوشش می دهند. بزرگترین فنرهای اصطکاکی RINGFEDER موجود برای نیروهایی به بزرگی ۵۰۰۰ kN طراحی شده اند.

۳-۶-۶- محدوده ی کاربرد

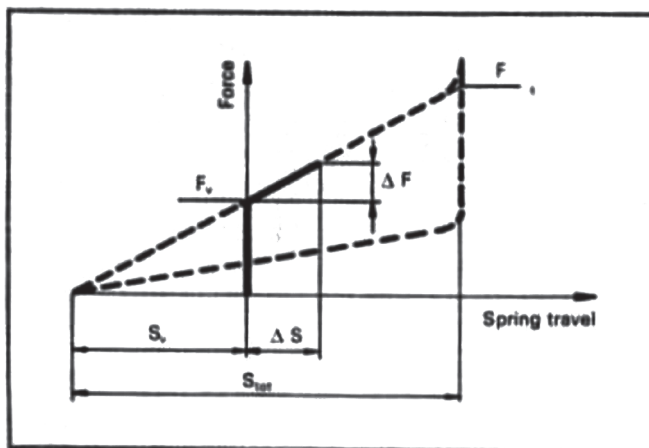
فنرهای اصطکاکی RINGFEDER در محدوده ی بسیار گسترده ای از تجهیزات عمومی مهندسی مکانیک به کار می رود. برای توازن نیرو، فنرهایی برای توازن شاسی و فنرهایی برای توازن جابجایی مواردی از کاربرد این فنرها هستند. هرچند این دسته بندی همیشه نمی تواند اعمال شود و در بسیاری از موارد، فنر به طور همزمان برای چند منظور استفاده می شود. دسته بندی فوق به طور مختصر در زیر شرح داده می شود.

۱- فنر برای توازن نیرو

به آنهایی اطلاق می شود که کاربردشان ارتباط بین نیروها و جابجایی فنر را پوشش داده و کار فنر به خاصیت جذب انرژی در فنر ارتباطی ندارد. این حالت به عنوان مثال برای زمانی است که فنر به عنوان وسیله ی اندازه گیری نیرو عمل می کند و یا یک کلید بعد از اعمال مقدار معینی از جابجایی فنر، که با نیروی فنر ارتباط دارد، عکس العمل نشان می دهد.

بالانس نیرو، همچنین شامل مواردی می شود که فنر به عنوان وسیله ی محافظت بار بیش از حد مورد استفاده قرار می گیرد. در اجزای چنین سیستم هایی یک فنر وجود دارد که با نیروی F_v پیش فشرده شده است (شکل ۳-۴۵). اگر نیرو کمتر از F_v باقی بماند فنر همچون یک ستون صلب عمل کرده و اگر این مقدار افزایش یابد فنر به میزان Δs می تواند تغییر شکل الاستیک پیدا کند. این تغییر شکل می تواند یک سیستم محافظ را به کار انداخته و یا هشدارهای مورد نیاز را به کاربران دستگاه ارائه دهد. باید دقت شود که

وقتی فنر به عنوان وسیله ی محافظت در مقابل بار بیش از حد مورد استفاده قرار می گیرد، نیروی پیش تنیدگی F_v از ۵۰٪ نیروی کاری فنر بیشتر نشود.



شکل ۳-۱۴۵ فنر برای توازن نیرو

۲- فنر برای توازن انرژی

در این مورد فنر به صورت یک جذب کننده ی ضربه عمل می کند که تمامی یا بخشی از انرژی جنبشی جرم در حال حرکت را باید جذب کند. این همان مورد استفاده در ضربه گیرهای سیستم های اتصال واگن ها است. فنر ضربه گیر باید ابتدا با در نظر گرفتن مقدار انرژی که باید جذب شود انتخاب شده و پس از آن نیروی ضربه مجاز تعیین گردد.

$$\delta Z = 1100 \text{ N/mm}^2$$

۳- فنر برای توازن جابجائی

گاهی فنر برای تعیین تغییرات مجاز در فاصله جدایی دو جزء یک مجموعه به صورت توازن حرکت، به عنوان مثال به جهت انبساط حرارتی یا سایش، نصب می شود.

فصل چهارم

ترمزگیری در واگن‌های باری

۴- ترمزگیری در واگن های باری

۴-۱- مقدمه

وسیله ای را در نظر بگیرید که بیش از ۱۵۰۰ متر طول دارد. این وسیله آنقدر طویل است که ممکن است در حالی که قسمت جلوی آن در حال بالا رفتن از یک فراز است، قسمت عقبی آن در حال پایین آمدن از یک شیب باشد. همچنین ممکن است قسمتهای جلویی و عقبی در حال گردش به چپ باشند در حالی که قسمت میانی آن در حال گردش به راست است. طول چنین وسیله ای بیشتر از ۵۰۰ برابر عرض آن است. اکنون در نظر بگیرید این وسیله بیش از ۴۰۰۰ تن وزن داشته باشد و بار آن شامل وسایلی مانند، تلویزیون، مواد غذایی، مواد سمی و ... باشد. سرعت حرکت این وسیله را در حدود ۹۰ Km/h در نظر بگیرید و چنین فرض کنید که راننده ی آن قصد متوقف کردنش را داشته باشد.

انجام عملیات متوقف کردن وسیله ای با مشخصات گفته شده، بسیار مشکل و پیچیده است. هرچند این عمل روزانه بارها و بارها در بسیاری از خطوط راه آهن نقاط مختلف جهان اتفاق می افتد. این وسیله می تواند هر قطار باری که در حال سیر در هر کجای این کره ی خاکی است، باشد.

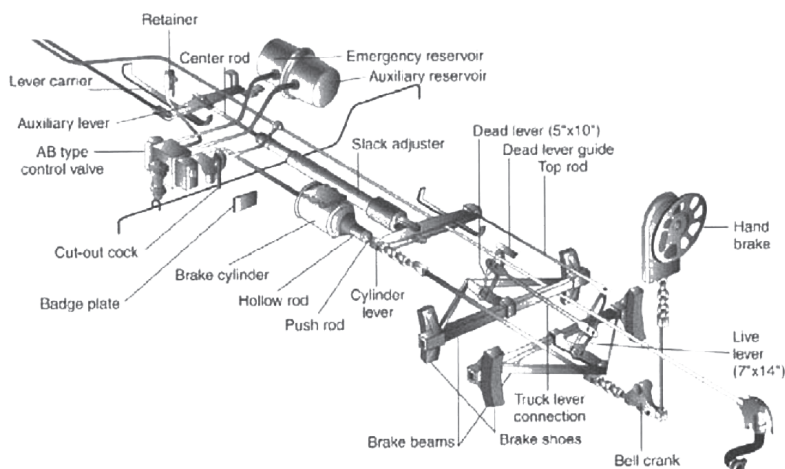
در این فصل کمی در خصوص اصول ترمزگیری قطارها صحبت می کنیم و در نهایت تجهیزات نسبتاً ساده ای را معرفی می نماییم که در تعامل با یکدیگر و با مهارت لکوتیورانی ورزیده، روزانه هزاران بار عملیات پیچیده ی متوقف کردن قطارها را به سادگی انجام می دهند.

۴-۲- اصول ترمزگیری

ترمزگیری را می توان به عنوان یک فرآیند تبدیل انرژی در نظر گرفت. یک واگن در حال حرکت دارای مقدار معینی انرژی جنبشی است. انجام عمل ترمزگیری سبب کاهش سرعت واگن می شود و این بدین معنی است

که انرژی جنبشی واگن کاهش می یابد. پس برای کاهش دادن سرعت یک واگن لازم است تا انرژی جنبشی آن به مقدار مناسبی کاهش یابد. ساده ترین راه کاهش انرژی جنبشی تبدیل آن به حرارت به وسیله تماس دادن جسمی به چرخ یا دیسک در حال دوران است. به واسطه اصطکاک به وجود آمده توسط این تماس، انرژی جنبشی به انرژی حرارتی تبدیل می شود. با کاهش انرژی جنبشی، سرعت واگن نیز کاهش می یابد. در صورت صفر شدن این انرژی، واگن متوقف می گردد. بخش عمده ی قطارهای باری به سیستم ترمزی مجهز هستند که در آنها از هوای فشرده به عنوان نیروی هل دهنده ی بلاک ترمز (کفش ترمز) به سمت چرخ و یا لنت به سمت دیسک، استفاده می شود. این سیستم ها تحت عنوان «ترمزهای هوایی» یا «ترمزهای پنوماتیکی» شناخته می شوند. در حال حاضر انواع مختلفی از سیستم های ترمز هوایی در قطارها استفاده می شوند که در بخش های کنترلی، تجهیزات کمکی و سطح فشار کاری با یکدیگر متفاوتند. به همین دلیل استانداردهای مختلفی در شبکه های راه آهن گوناگون، مورد نیازند.

در شکل ۱-۴ نمونه ای از تجهیزات ترمز هوایی مورد استفاده در نوعی واگن باری، نشان داده شده است. نیروی ترمزی تولید شده به وسیله سیلندر ترمز از طریق یک سیستم اهرم بندی به بوژی ها منتقل می شود. سپس این نیرو از طریق سیستم اهرم بندی موجود در بوژی ها به سمت چرخ هدایت می گردد.



شکل ۱-۴) نمونه ای از تجهیزات ترمز هوایی مورد استفاده در واگن های باری

۴-۲-۱- محاسبه ی نیروی کفش ترمز

نیروی اعمال شده از طریق کفش ترمز به چرخ ها؛ به نیروی تولید شده توسط پیستون سیلندر ترمز، ضریب اهرم بندی کل (ضریبی که به واسطه ی به کارگیری اهرم بندی، در نیروی تولید شده توسط پیستون سیلندر ترمز ضرب می شود) و نیروهایی که توسط فنرهای خودکار ترمز اعمال می شوند، بستگی دارد. این ارتباط با رابطه ی ۴-۱ نشان داده شده است.

$$F_B = F_{CT} \cdot i_t - (F_R \cdot i_b) \quad (۱-۴)$$

که در آن F_B نیروی کفش ترمز؛ F_{CT} نیروی تولید شده توسط پیستون سیلندر ترمز؛ i_t ضریب اهرم بندی کل، F_R نیروی مقاومی که از جانب خودکار ترمز اعمال می شود و i_b ضریب اهرم بندی بوژی می باشد. نیروی سیلندر ترمز نیز از رابطه ی زیر به دست می آید:

$$F_{CT} = (\pi \cdot D^2 / 4) \cdot P_C \quad (۲-۴)$$

که در آن D قطر موثر پیستون و P_C فشار هوای داخل سیلندر می باشد. نیروی موثر کفش ترمز که به چرخ اعمال می شود، به طور طبیعی کمتر از مقدار نیروی کفش ترمز محاسبه شده در بالا می باشد. این کاهش به دلیل اصطکاک موجود در اتصالات سیستم اهرم بندی است. چنانچه بخواهیم اثرات این اصطکاک ها را نیز در نظر بگیریم، می توانیم از پارامتری به عنوان کارایی سیستم اهرم بندی (η) استفاده کنیم. در این صورت نیروی کفش ترمز موثر به صورت زیر به دست می آید:

$$F_{Beff} = F_B \cdot \eta \quad (۳-۴)$$

۴-۲-۲- زمان ترمزگیری و آزادسازی

زمان ترمزگیری، زمان مورد نیاز برای افزایش فشار تا حد تعیین شده در سیلندر ترمز و زمان آزادسازی، زمان مورد نیاز برای تخلیه ی سیلندر ترمز می باشد. بهترین حالت این است که ترمز در تمام واگن های یک قطار به طور هم زمان اعمال شود. رسیدن به این حالت، در صورت استفاده از سیستم کنترل ترمز الکتریکی، ساده

است. اما در سیستم هایی که کاملاً به صورت پنوماتیکی عمل می کنند و فرمان ترمزگیری یا آزادسازی باید از طریق لوله ی هوای تعبیه شده در سرتاسر قطار انتقال یابد، رسیدن به این وضعیت کار ساده ای نیست. این مسئله به دلیل زمان عکس العملی است که به دلیل سرعت انتشار موج در داخل سیستم هوای فشرده، محدودیت هایی را اعمال می کند.

در راه آهن های باری امروزی، به دلیل نیاز به کارآیی بیشتر در سیستم بهره برداری، لازم است که زمان های ترمزگیری و آزادسازی کاهش یافته و نیروی ترمزگیری افزایش یابد. اما در سیستم های ترمز کاملاً پنوماتیکی، به دلیل این که امکان ترمز شدن واگن های ابتدایی قبل از اینکه واگن های انتهایی به حد ترمز مطلوب رسیده باشند وجود دارد، کاهش زمان ترمزگیری مشکل ساز می باشد. در چنین مواقعی به دلیل این که واگن های انتهایی در حال حرکت به واگن های ابتدایی متوقف شده ضربه می زنند، امکان وقوع پدیده ی خروج از خط واگن وجود دارد. بنابراین باید این زمان ها به گونه ای بهینه گردند که تا حد امکان کارآیی بهره برداری را بالا برده و خطر وقوع خروج از خط نیز وجود نداشته باشد.

در زمان آزادسازی نیز وضعیت مشابهی وجود دارد. ترمز واگن های جلویی قطار به دلیل نزدیک تر بودن به منبع تغذیه ی هوا، سریع تر از واگن های انتهایی آزاد می شوند.

بنا به دلایل ذکر شده در بالا، شبکه های راه آهن دارای استانداردهای مشخصی برای زمان ترمزگیری و آزادسازی می باشند. به عنوان مثال؛ این مقادیر در استاندارد اتحادیه راه آهن های اروپایی (UIC) به شرح زیر می باشند:

- زمان رسیدن فشار هوای سیلندر ترمز از صفر تا ۹۵ درصد مقدار تعیین شده: ۱۸ الی ۳۰ ثانیه
 - زمان تخلیه فشار هوای سیلندر ترمز از صفر تا ۹۵ درصد مقدار اولیه: ۴۵ الی ۶۰ ثانیه
- ترمزگیری و آزادسازی، از نظر چگونگی صدور فرمان ترمز، به دو صورت یکنواخت و تدریجی (پله ای) انجام می شود.

در حالت ترمزگیری تدریجی، صدور فرمان ترمز معمولاً به منظور استفاده از بخشی از توان ترمزی است و

ترمزها با حداکثر توان اعمال نمی شوند. به این ترتیب لکوموتیوران می تواند با اعمال جزئی ترمزها، سرعت قطار در شیب ها را کنترل کرده و از افزایش بیش از حد سرعت قطار، بدون متوقف کردن آن، جلوگیری کند. همچنین در صورت نیاز به تمام توان ترمزی یا توان ترمزی بیشتر از مقدار اعمال شده جهت کنترل سرعت قطار و یا متوقف کردن آن، لکوموتیوران می تواند با اعمال این ترمزهای جزئی به تدریج به مقدار حداکثر توان ترمزی (ترمز کامل) رسیده و از اعمال ناگهانی ترمزها که باعث افزایش بزرگی نیروهای طولی در قطار می گردد، جلوگیری به عمل آورد.

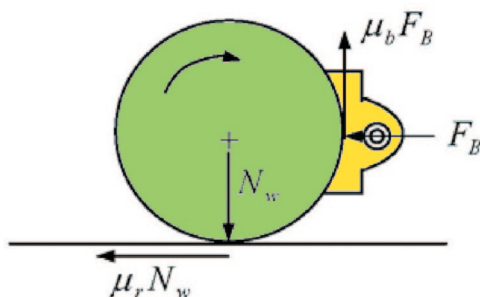
در حالت آزادسازی نیز لکوموتیوران می تواند با آزاد کردن جزئی ترمز (تخلیه ی بخشی از هوای درون سیلندر ترمز) عملیات کنترل سرعت قطار را در زمانی که ترمز کنترلی اعمال شده بیش از مقدار مورد نیاز باشد، تکمیل نماید.

در حالت های ترمزگیری و آزادسازی یکنواخت، صدور فرمان های ترمزگیری و آزادسازی کامل به یک باره انجام می شود. در این موارد عملیات ترمزگیری و آزادسازی مطابق استانداردهای زمانی ارائه شده، انجام می شوند. در صورتی که در حالت های ترمزگیری و آزادسازی تدریجی، به دلیل این که شرایط رسیدن به ترمز کامل و یا آزاد شدن کامل ترمزها تابع شرایط سیر و تحت اختیار لکوموتیوران می باشد، همواره عملیات در زمانی بیشتر از زمان های استاندارد شده انجام می پذیرد.

۴-۲-۳- مبانی دینامیکی ترمزگیری

در حین انجام ترمزگیری، به منظور تامین شتاب کاهنده، نیروها و گشتاورهایی به مجموعه ی چرخ و محورها اعمال می گردد. این فرآیند سبب تولید نیروی عکس العمل در قلاب ها و گشتاور در بدنه ی واگن و بوژی نیز می گردد. این نیروها بر پایداری حرکت و نیز رفتار واگن ها و بوژی ها در قوسها تاثیر می گذارد. از طرف دیگر عکس العمل دینامیکی واگن، مانند تغییر در توزیع بار روی چرخ ها نیز می تواند به عنوان اثرات انجام ترمزگیری شناخته شود. این اثرات معمولاً در طول مسیر توقف (راه ترمز) و همچنین در زمان وقوع پدیده های

سر خوردن واگن یا لغزش چرخ، مد نظر قرار می گیرند. ترمزگیری شامل پدیده‌ی پیچیده‌ی اصطکاک نیز می باشد. در طول فرآیند ترمزگیری، اصطکاک بین کفش ترمز و چرخ و همچنین بین چرخ و ریل وجود دارد که در شکل ۲-۴ نشان داده شده است.

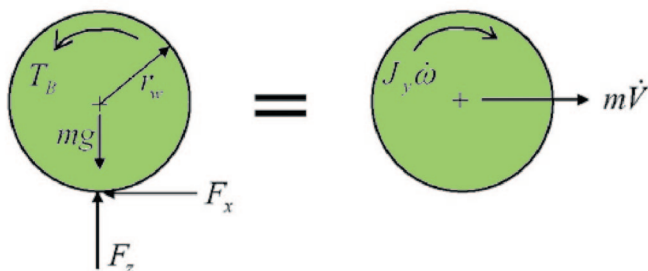


شکل ۲-۴) نیروی اصطکاک بین کفش ترمز و چرخ و همچنین بین چرخ و ریل

نیروی کفش ترمز اعمال شده به چرخ F_B ، سبب به وجود آمدن نیروی مماسی $\mu_b F_B$ می شود. اگر شعاع چرخ را با r_w نشان دهیم؛ گشتاور ترمزی T_B حاصله، از رابطه‌ی زیر به دست می آید.

$$T_B = \mu_b \cdot F_B \cdot r_w \quad (۴-۴)$$

دیالگرام آزاد چرخ ترمز شده که در شکل ۳-۴ نشان داده شده است، چرخ را نشان می دهد که در حال حرکت در راستای x با سرعت خطی v و سرعت زاویه‌ای ω است. J_y ، r_w و T_B به ترتیب بیانگر ممان اینرسی قطبی، شعاع چرخ و گشتاور ترمزی می باشند. در نقطه‌ی تماس بین چرخ و ریل، نیروهای افقی و عمودی F_x و F_z نیز به ترتیب به عنوان عکس العمل های گشتاور ترمزی و نیروی وزن استاتیکی mg ، به وجود می آیند.



شکل ۳-۴) دیگرام آزاد چرخ ترمز شده

با موازنه‌ی نیروها در جهت های x و z و نیز موازنه‌ی گشتاورها حول مرکز جرم چرخ، سه معادله‌ی زیر برای چرخ ترمز شده به دست می آیند:

$$m\dot{v}^{\circ} = -F_x \quad (۵-۴)$$

$$F_z = mg$$

$$J_y \omega^{\circ} = F_x r_w - T_B$$

که در آن m ، مجموع جرم چرخ و جرم واگن اعمال شده روی آن و g ، شتاب ثقل است. علامت نقطه در بالای سرعت های خطی و زاویه ای، نشان دهنده‌ی مشتق آنها نسبت به زمان است.

۴-۲-۴- ضریب اصطکاک و پدیده‌ی سر خوردن

نیروی ترمزی شدید می تواند سبب قفل شدن حرکت دورانی چرخ و محور و سر خوردن آن روی ریل شود. این پدیده سرخوردن نام دارد. وقوع این پدیده می تواند سبب بروز خرابی های هندسی روی سطح غلتش چرخ (صافی سطح غلتش یا بریدگی چرخ) و روی تاج ریل گردد. سرخوردن همچنین می تواند سبب افزایش راه ترمز گردد که ایمنی در بهره برداری را به خطر می اندازد. بنابراین باید از وقوع این پدیده جلوگیری نمود. سرخوردن زمانی رخ می دهد که نیروی ترمزی از مقدار نیروی چسبندگی در سطح تماس چرخ و ریل بیشتر

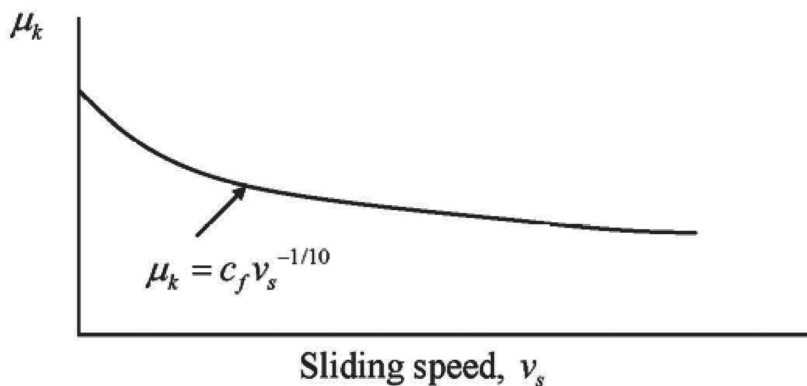
باشد. بنابراین برای اجتناب از پدیده ی سرخوردن چرخ ها در حین ترمزگیری، باید نیروی ترمزی در کفش های ترمز کمتر از مقدار چسبندگی بین چرخ و ریل باشد. در صورتی که نامعادله ی زیر برقرار باشد، پدیده ی سرخوردن رخ نخواهد داد:

$$\mu_b F_B < \mu_r N_k \quad (۴-۶)$$

امروزه بسیاری از واگن های راه آهن به تجهیزاتی مجهز شده اند که از سرخوردن جلوگیری می کنند. با این وجود هنوز هم بسیاری از واگن ها، به ویژه واگن های باری، به دلیل مسایل اقتصادی به این وسیله تجهیز نشده اند.

مشکل بودن کنترل سرخوردن به این دلیل است که خاصیت اصطکاکی بین اجسام با تغییر شرایط اقلیمی، تغییر می کند. به عنوان مثال، اصطکاک بین چرخ و ریل با چگونگی وضعیت سطح ریل، مثل روغنی بودن و یا ناهموار بودن سطح چرخ، خیس بودن آن، وجود برگ روی آن، یخ زدن سطح ریل، وجود شن و غیره و یا وضعیت سطح غلتش چرخ به دلیل استفاده از کفش ترمزهای متفاوت (چدنی، کامپوزیتی و دیسکی) تغییر می کند. اصطکاک بین چرخ و ریل به وضعیت زاویه ای قرار گرفتن چرخ و محور روی خط نیز ارتباط دارد. چرخ و محورهای راهنما معمولاً با کثیف ترین ریلها روبرو می شوند و آنها را برای چرخ های بعدی تمیز می کنند. مقدار ضریب اصطکاک بین چرخ و ریل در طراحی ها بین ۰/۱ تا ۰/۳ در نظر گرفته می شود.

ضریب اصطکاک بین کفش ترمز و چرخ نیز ثابت نمی ماند. این ضریب با سرعت لغزشی بین کفش ترمز و سطح غلتش چرخ که به سرعت حرکت واگن بستگی دارد، تغییر می کند. این بدان معنی است که این ضریب در طول ترمزگیری دائماً در حال تغییر است. شکل ۴-۴ نمونه ای از یک گراف ضریب اصطکاک جنبشی بین دو سطح را به صورت تابعی از سرعت لغزشی نشان می دهد. این گراف بر مبنای فرمول بارول (Barwel) می باشد که در شکل نشان داده شده و در آن μ_k ضریب اصطکاک جنبشی، v_s سرعت لغزشی و c_f یک مقدار ثابت است که به جنس ماده بستگی دارد.



شکل ۴-۱۴) گراف ضریب اصطکاک جنبشی بین دو سطح به صورت تابعی از سرعت لغزشی

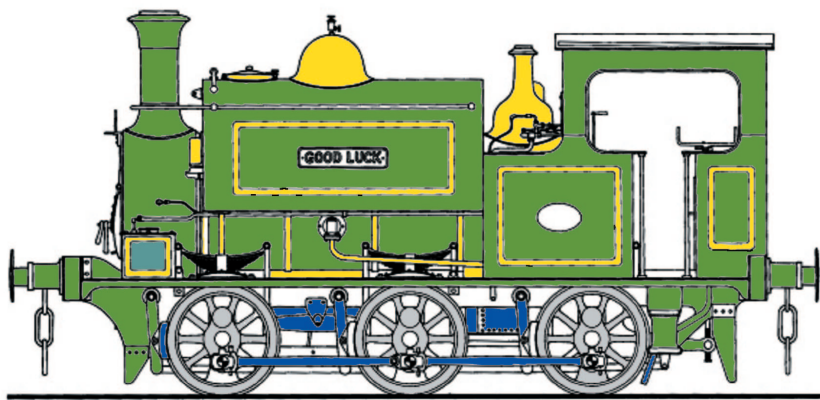
۴-۳- ترمز آلات ناقله ریلی

تمامی آلات ناقله‌ی ریلی دارای نوعی سیستم ترمزگیری هستند که به وسیله‌ی آن می‌توان در موقع لزوم سرعت وسیله را کاهش داده یا آن را متوقف نمود. ظاهراً اولین آلات ناقله ریلی دارای سیستم ترمز، ارابه‌های کوچکی بودند که در معادن و بر روی ریل حرکت می‌کردند. عملکرد آنها به صورتی بود که معدن چیان از اهرمی برای هل دادن یک قطعه‌ی چوبی به سمت چرخ و اعمال نیرو به آن استفاده می‌کردند. به این ترتیب توسط اصطکاک به وجود آمده مابین چرخ و قطعه‌ی چوب، انرژی جنبشی ارابه را به صورت حرارت هدر داده و موجبات توقف آن را فراهم می‌کردند. واضح است که چنین مکانیزمی با افزایش جرم و سرعت آلات ناقله ریلی کارایی خود را از دست داد. بدین ترتیب برای حل مشکل ترمز آلات ناقله‌ی ریلی، سیستم‌های ترمزی ابداع شدند که از توان بالاتری برخوردار بودند.

تا قبل از دهه‌ی ۱۸۶۰ میلادی، ترمز در تمام واگن‌های یک قطار مورد استفاده قرار نمی‌گرفت. عملیات ترمزگیری در قطارها به صورتی بود که در زمان سیر یک قطار، تعدادی مامور به عنوان ترمزبان به همراه قطار اعزام می‌شدند. وظیفه‌ی ترمزبان انجام عملیات ترمزگیری و آزادسازی واگن‌ها با دستور لکوموتیوران بود.

در آن زمان واگن ها تنها به ترمزهایی مجهز بودند که امروزه آنها را به عنوان ترمز دستی می شناسیم. عملکرد آنها به گونه ای بود که با چرخاندن یک فلکه (فلکه ی ترمز دستی) و استفاده از تجهیزاتی مانند چرخ دنده، زنجیر و یا امثال آنها، اهرم بندی موجود در زیر واگن به حرکت درآمده و در نهایت سبب اتصال بلاک های ترمز به چرخ ها می شدند. با این عمل اصطکاک لازم برای ائتلاف انرژی جنبشی حاصل می گردید. در این سیستم ترمزگیری، در هر زمان که اعمال ترمزها ضرورت پیدا می کرد، لکوموتیوران با استفاده از سوت به ترمزبان علامت لازم را می داد. این سیستم ابتدایی سبب بروز بسیاری از سوانحی گردید که می شد از آنها اجتناب نمود. به همین منظور شرکت های راه آهن شروع به ابداع تجهیزاتی نمودند که بتوانند بدون تکیه به عوامل انسانی دخیل در امر ترمزگیری، این مشکلات را از پیش رو بردارند.

ترمز بخار نوعی از ترمز بود که در لکوموتیوهای بخار مورد استفاده قرار می گرفت. در این صورت فقط لکوموتیوی که دارای بخار بود، به ترمز مجهز بود. در این نوع ترمزگیری، بخار تولید شده توسط لکوموتیو به داخل سیلندرهایی به نام سیلندر ترمز فرستاده می شد و پیستون تعبیه شده در داخل این سیلندرها با نیروی بخار به حرکت درآمده و با به حرکت درآوردن یک سیستم اهرم بندی ساده، موجبات اتصال بلاک های ترمز به چرخ ها را فراهم می نمود و عمل ترمزگیری انجام می شد. شکل ۴-۵ یک نمونه ی ترمز بخار را به طور شماتیک نشان می دهد.



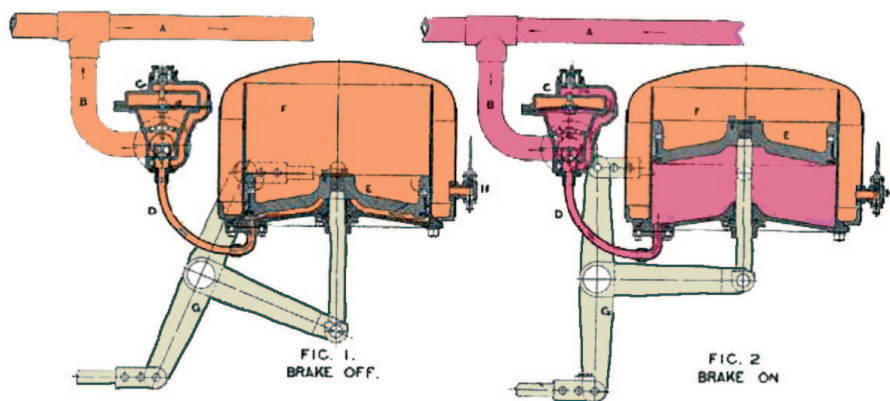
شکل ۴-۵) یک نمونه ی لکوموتیو بخار دارای سیستم ترمز بخاری

نوعی ترمز خلایی که توان مورد نیاز خود را از یک مکندهی بخار می گرفت، بعد از آن اختراع گردید. هرچند که ایجاد خلا بعدها توسط تجهیزات دیگری نیز انجام گرفت. این خلا با استفاده از یک لوله ی سرتاسری در تمام قطار اعمال می شد. به این ترتیب امکان اعمال ترمز به هر واگن با استفاده از اختلاف فشار اتمسفر و خلای ایجاد شده، فراهم گردید. شدت ترمز به مقدار خلای ایجاد شده توسط لکوموتیوران بستگی داشت. طرز کار این سیستم به گونه ای بود که چنانچه هرگونه ایرادی در اتصالات لوله ی سرتاسری به وجود می آمد، قطار فاقد ترمز می گردید و سبب بروز سانحه می شد. به همین منظور ترمز خلایی اتوماتیک به وجود آمد که در آن، در صورت گسیخته شدن قطار یا بروز هرگونه گسیختگی در اتصالات و یا خود لوله ی سرتاسری، ترمزها اعمال می شدند. در این سیستم در زمان حرکت عادی خلایی در لوله ی سرتاسری وجود داشت که به واسطه ی وجود آن ترمزها آزاد بودند. وقتی که هوا به داخل لوله ی سرتاسری وارد می شد، فشار هوا در برابر فشار خلایی که در قسمت مقابل پیستون سیلندر ترمز موجود در هر واگن قرار داشت، اعمال می شد. به واسطه ی اعمال نیرو توسط این هوای وارد شده، پیستون به حرکت درآمده و ترمزها به کار می افتادند. در حالت گسیختگی نیز چون در واقع هوا به لوله ی سرتاسری وارد می شد، ترمزها اعمال می شدند. شکل ۴-۶ یک نمونه از سیلندر ترمز، در سیستم ترمز خلایی را نشان می دهد.

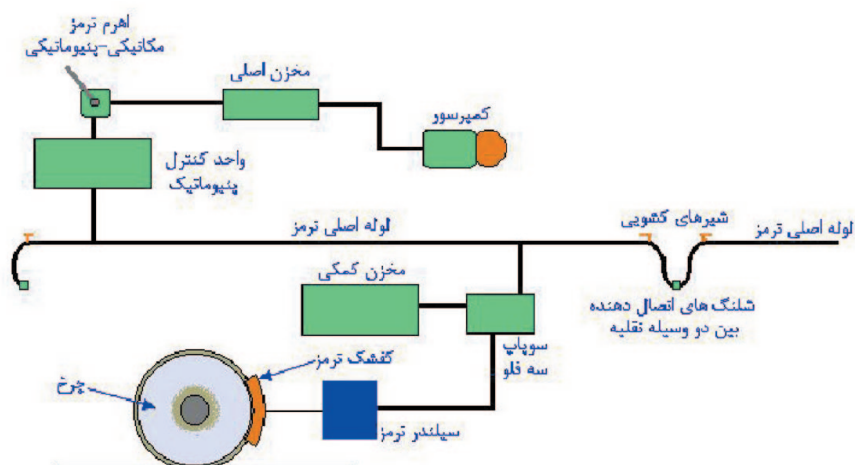
روش دیگر برای تجهیز واگن ها به ترمز غیر دستی، ارسال هوای فشرده از طریق یک لوله ی سرتاسری به آنها بود. در ساده ترین شکل ترمز هوا که سیستم ترمز هوایی مستقیم نامیده می شود، هوای متراکم ارسال شده در لوله ی سرتاسری، پیستون داخل آن را به سمت جلو حرکت داده و در نهایت سبب اتصال کفش های ترمز به چرخ ها می شود. در نتیجه ی اصطکاک به وجود آمده بین کفش ترمز و چرخ، سرعت قطار کاهش می یابد. هوای متراکم تولید شده توسط یک کمپرسور که در داخل لکوموتیو واقع شده است، از طریق لوله ی سرتاسری قطار که در زیر واگن ها قرار گرفته و در محل اتصال واگن ها به صورت شلنگ انعطاف پذیر می باشد، از واگنی به واگن دیگر فرستاده می شود. مشکل اساسی سیستم ترمز هوایی مستقیم این است که، مانند سیستم ترمز خلایی غیر اتوماتیک، هرگونه گسیختگی و یا نشتی زیاد در لوله ی سرتاسری، سبب هدر رفتن

هوا و در نتیجه اتلاف نیروی ترمز می شود. این نقص به آسانی می تواند باعث بروز سانحه شود. ترمز هوای مستقیم هنوز هم در لکوموتیوها مورد استفاده قرار می گیرد.

به منظور برطرف کردن اشکالات سیستم ترمز هوایی مستقیم، جرج وستینگهاوس در سال ۱۸۷۲ میلادی سیستمی را اختراع کرد که در آن هر واگن به یک مخزن هوا و یک سوپاپ سه قلو، که به عنوان شیر کنترل نیز شناخته می شود، مجهز شد. این سوپاپ و مخزن برعکس سیستم ترمز هوایی مستقیم عمل می کردند. به این ترتیب که با ورود هوا به لوله ی سرتاسری هوا (لوله ی اصلی هوا)، سیستم تغذیه می شد و در این صورت ترمزها آزاد بودند و با خروج هوا از لوله ی سرتاسری، ترمزها به کار می افتادند. به این ترتیب وستینگهاوس سیستمی را اختراع کرده بود که عکس العمل بهتری نسبت به فرمان لکوموتیوران داشت و به اصطلاح سیستمی با خرابی امن بود. این سیستم ترمز مبنایی برای سیستم های ترمز هوایی امروزی گردید. شکل ۴-۷ دیاگرام بلوکی یک سیستم ترمز هوایی غیر مستقیم را نشان می دهد.



شکل ۴-۷) سیلندر ترمز فلابی



شکل ۴-۷) دیگراام بلوکی سیستم ترمز هوایی غیر مستقیم

سیستم ترمز هوایی بی شک یکی از بادوامترین سیستمها در تکنولوژی راه آهن است. قدمت آن از تولید اولیه ی آن در سال ۱۸۶۹ تا کنون می باشد و در بعضی نقاط به سختی با مدل های قدیمی آن تفاوت می کند. بهبودهای متعددی در طول سالها روی این سیستم اعمال شده اما مهارت مورد نیاز برای کنترل هر قطاری که مجهز به سیستم کنترل پنوماتیکی می باشد، هنوز هم با ساعت ها تجربه عملی و دقت در هر مرحله ترمزگیری به دست می آید.

ترمز دینامیک یکی دیگر از انواع ترمز است که از آن در لکوموتیوها استفاده می شود. در لکوموتیوهای دیزل الکتریک یا الکتریکی، نیروی حرکتی توسط الکتروموتورها تامین می شود. در صورتی که از الکتروموتورها به عنوان ژنراتور استفاده گردد، یا جریان معکوس به آنها فرستاده شود، جریانی در آنها تولید می شود که به یک سری مقاومت الکتریکی که مقاومت های دینامیک نامیده می شوند، ارسال می گردد. به این ترتیب انرژی جنبشی قطار، که در واقع منبع اصلی تولید این جریان است، در مقاومت های دینامیک به صورت حرارت تلف شده و عمل ترمزگیری در قطار انجام می شود.

ترمزهای الکتروپنوماتیکی نیز دارای یک لوله ی اصلی هوا هستند که هوا را به مخازن تعبیه شده در زیر واگن ها انتقال می دهند. تفاوت آنها با ترمزهای هوایی در آن است که عملیات ترمزگیری و آزادسازی در این سیستم به وسیله ی فرمان های الکتریکی کنترل می شوند و لذا کیفیت ترمزگیری مطلوب تر و یکنواخت تری دارند. با به کارگیری این نوع سیستم ترمز و با توجه به انتقال فرمان صادر شده به صورت الکتریکی، امکان تنظیم دقیق فشار داخل سیلندر ترمز، که تنظیم دقیق مقدار نیروی ترمز را در پی دارد، به وجود آمد. همچنین با توجه به سرعت انتقال فرمان و هم زمانی خیلی زیاد ترمزگیری و آزادسازی در ابتدا و انتهای قطار، از ضربه زدن واگن های عقبی به واگن های جلویی به دلیل اختلاف در زمان ترمزگیری، جلوگیری به عمل آمد و محدودیت طول قطار نیز از بین رفت. علاوه برآن، در ترمز هوایی، امکان آزادسازی جزئی به دلیل عدم حساسیت سوپاپ های واگن های انتهایی به افزایش بسیار آهسته فشار در لوله ی اصلی هوا در قطارهای طولی تر وجود نداشت که این مسئله نیز با استفاده از ترمز الکتروپنوماتیکی برطرف گردید. البته این ترمزها معمولاً به دلیل داشتن هزینه های بالا، در واگن های باری مورد استفاده قرار نمی گیرند.

ترمزهای هوایی با کنترل الکتریکی در اواخر قرن بیستم به جهان معرفی شدند که برای قطارهای بسیار طولی و سنگین مناسب هستند و نسل پیشرفته ی ترمزهای الکتروپنوماتیکی محسوب می شوند. در این نوع ترمز نه تنها کنترل ترمزها بهتر انجام می گیرد، بلکه اطلاعات بیشتر و مفیدتری نیز از چگونگی وضعیت سیستم ترمز در هر واگن به پانل لکوموتیوران منتقل می شود. در این سیستم خطوط کنترل و توان در هر واگن نصب شده و از واگن به واگن از ابتدا تا انتهای قطار امتداد می یابد. سیگنالهای کنترل در این سیستم به جای سرعت صوت با سرعت نور حرکت می کنند و لذا همانند ترمزهای الکتروپنوماتیکی، ترمزها در سرتاسر قطار به طور هم زمان اعمال شده و یا آزاد می شوند. این مسئله از ضربه زدن واگن های عقبی به جلویی جلوگیری نموده و در نتیجه راه ترمز کاهش یافته و استهلاک تجهیزات ترمز نیز کمتر می شود.

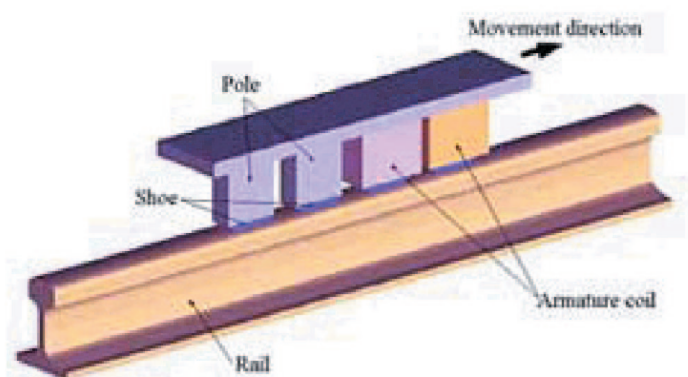


شکل ۴-۸) ترمز الکترومغناطیسی

ترمزهای الکترومغناطیسی نیز نوعی دیگر از ترمزهای قطار هستند که در آنها نیروی بازدارنده‌ی حرکت، با فشار دادن یک بلاک ترمز به ریل و با استفاده از نیروی مغناطیسی است. به این ترتیب در این نوع ترمزها نیز اصطکاک عامل بازدارنده حرکت است و نیروی مغناطیسی مستقیماً در امر ترمزگیری دخالتی ندارد (شکل ۴-۸).

ترمزهای با جریان گردابی (ادی کارنت)، برخلاف ترمزهای اصطکاکی، با تولید جریان های گردابی موجبات کاهش سرعت قطار را فراهم می آورند. این ترمزها دارای دو نوع دایره ای و خطی هستند. نوع خطی آن که در سیستم های ریلی مورد استفاده قرار می گیرد، شامل یک یوک مغناطیسی با یک سیم پیچ الکتریکی است که در راستای ریل قرار گرفته است. این مغناطیس با ریل تماس ندارد اما باید در یک فاصله ی مشخصی از ریل (حدود ۷ میلیمتر) نگه داشته شود. این مغناطیس دارای حرکت طولی نیز هست و تنها یک کشش عمودی به ریل وارد می کند که می توان به آن نیروی مغناطیسی نیز گفت. با حرکت مغناطیس در راستای ریل، یک میدان مغناطیسی ناپایدار در تاج ریل ایجاد می گردد که سبب بروز یک تنش الکتریکی می شود. این تنش

سبب به وجود آمدن جریان گردابی می شود. این جریان در میدان مغناطیسی ایجاد اختلال نموده و باعث به وجود آمدن نیروی مغناطیسی که در بالا ذکر شد، می گردد. این نیرو در خلاف جهت حرکت بوده و سبب کاهش سرعت و نهایتاً توقف قطار می گردد. شکل ۴-۹ نمای ظاهری یک ترمز با جریان گردابی را نشان می دهد.



شکل ۴-۹) نمای ظاهری یک ترمز با جریان گردابی

اکنون با توجه به مطالب گفته شده و با توجه به این که موضوع این کتاب در خصوص واگن های باری است، به شرح کلی ترمز غیر مستقیم (اتوماتیک) هوایی که متداول ترین سیستم ترمز در آلات نقلیه ریلی در بخش باری است، می پردازیم.

۴-۴- تجهیزات مورد استفاده در سیستم ترمز هوایی غیر مستقیم

اکثریت مطلق قطارهای موجود در دنیا، مجهز به سیستم های ترمزی هستند که از هوای فشرده به عنوان عامل اعمال نیرو برای هل دادن بلاک های ترمز به سمت چرخ ها، یا لنت ها به سمت دیسک، استفاده

می کنند. این سیستم ها تحت عنوان ترمزهای هوایی و یا ترمزهای پنوماتیکی شناخته می شوند. هوای فشرده در طول قطار از طریق لوله ی اصلی هوا انتقال می یابد. تغییر مقدار فشار هوا در داخل این لوله سبب تغییر وضعیت ترمزها در هر وسیله می شود. این تغییر فشار می تواند ترمزها را اعمال نموده، آن را آزاد سازد و یا مقدار ترمز را بعد از یک ترمزگیری جزئی ثابت نگه دارد. این سیستم در سرتاسر دنیا مرسوم است.

۴-۴-۱- تجهیزات اصلی ترمز هوایی در لکوموتیو

۴-۴-۱-۱- کمپرسور

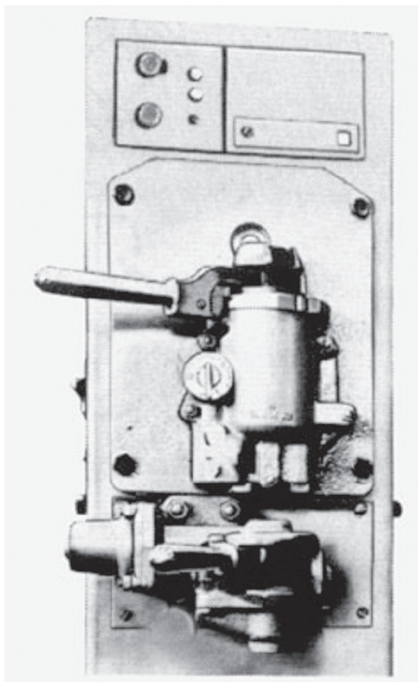
پمپی است که هوا را از اتمسفر دریافت نموده و به منظور استفاده در قطار، آن را متراکم می کند. استفاده ی اصلی آن در سیستم ترمز هوایی است. اگرچه هوای فشرده ی تولیدی، استفاده های دیگری نیز در قطار دارد.

۴-۴-۱-۲- مخزن اصلی

مخزن ذخیره ی هوای فشرده ی مورد نیاز برای سیستم ترمز و دیگر سیستم های پنوماتیکی است که در مدار هوای لکوموتیو تعبیه شده است.

۴-۴-۱-۳- شیر ترمز لکوموتیوران

وسیله ای است که لکوموتیوران توسط آن وضعیت ترمزها را کنترل می کند. شیر ترمز لکوموتیوران حداقل دارای چهار وضعیت «آزادسازی»، «حرکت»، «ترکیبی» و «اضطراری» می باشد. همچنین ممکن است این سوپاپ دارای حالت «خاموش» نیز باشد که آن را به صورت خارج از سرویس و غیر فعال نگه می دارد. شکل ۴-۱۰ نمونه ای از سوپاپ ترمز لکوموتیوران را نشان می دهد.



شکل ۴-۱۰) شیر ترمز لکوموتیوران

۴-۴-۱-۳-۱- آزادسازی

در این وضعیت، مخزن اصلی هوا به لوله ای اصلی متصل می گردد. این عمل سبب افزایش سریع فشار هوا در لوله ای اصلی گشته و عمل آزادسازی انجام می شود.

۴-۴-۱-۳-۲- حرکت

در وضعیت حرکت، سوپاپ تغذیه فعال می شود. به این ترتیب امکان تداوم تغذیه ی آرام لوله ای اصلی، به منظور بی اثر شدن نشتی ها و یا انتهای کم فشار در لوله ای اصلی، اتصالات و شلنگ ها، فراهم می گردد.

۴-۴-۱-۳- ترکیب

این وضعیت به منظور قطع ارتباط بین مخزن اصلی و لوله ی ترمز، و نیز بسته نگه داشتن اتصال به اتمسفر، بعد از اعمال ترمز، مورد استفاده قرار می گیرد. این وضعیت فقط در مواقعی استفاده می شود که ترمز تدریجی اعمال شده باشد. آزادسازی تدریجی در شکل های رایج ترمز هوایی، به ویژه سیستم های مورد استفاده در قطارهای باری ایالات متحده، امکان پذیر نیست.

۴-۴-۱-۴- ترمزگیری

وضعیت ترمزگیری، ارتباط مخزن اصلی هوا با لوله ی اصلی را قطع نموده و لوله ی اصلی را به اتمسفر مرتبط می نماید. هم زمان با خروج هوا از لوله ی اصلی، فشار آن کاهش می یابد و سبب انجام عمل ترمزگیری می گردد.

بیشتر سوپاپ های ترمز لکوموتیورانان، دارای وضعیتی به نام وضعیت اضطراری نیز می باشند که عملکرد آن شبیه وضعیت ترمزگیری است. با این تفاوت که شدت خروج هوا از لوله ی اصلی، به دلیل باز شدن منفذی بزرگ تر، بیشتر است و در نتیجه ترمزها سریع تر عمل می کنند.

۴-۴-۱-۴- سوپاپ تغذیه

به منظور اطمینان از باقی ماندن فشار لوله ی اصلی در مقدار مورد نیاز در زمان حرکت، سوپاپ تغذیه بین مخزن اصلی و لوله ی اصلی قرار می گیرد. این سوپاپ برای عمل کردن در یک فشار کاری مشخص تنظیم شده است و چنانچه فشار لوله ی اصلی هوا از مقدار تعیین شده، با سرعتی پایین، کمتر گردد، مقداری هوا جهت جبران این کاهش فشار به لوله ی اصلی تزریق می نماید.

۴-۴-۱-۵- مخزن تعادل

مخزن تنظیم کوچکی است که به منظور کمک به لکوموتیوران در انتخاب فشار صحیح در لوله ی اصلی هوا، مورد استفاده قرار می گیرد. وقتی که ترمز اعمال می شود، حرکت دستگیره ی سوپاپ ترمز به سمت حالت عملکرد، مستقیماً هوای لوله ی اصلی را تخلیه نمی کند، بلکه سبب خروج هوا از مخزن تعادل می گردد. مخزن تعادل به سوپاپ رله (دستگاه موازنه نیز نامیده می شود و در شکل نشان داده نشده است) متصل است که افت فشار را آشکار نموده و به طور خودکار اجازه ی خروج هوا از لوله ی اصلی، تا رسیدن فشار آن به فشار مخزن تعادل را می دهد.

مخزن تعادل مشکلات ناشی از طولیل بودن لوله ی اصلی را برطرف می کند. در یک لوله ی اصلی هوای طولیل، تغییرات فشار کم انتخاب شده توسط لکوموتیوران برای انجام ترمزهای خفیف، تا زمانی که فشار در تمام طول قطار تثبیت نشود، بر روی صفحه فشارسنج روبه روی لکوموتیوران قابل مشاهده نیست. مخزن تعادل و دستگاه موازنه ی متصل به آن، این امکان را به لکوموتیوران می دهد که فشار لوله ی ترمز را بدون نیاز به صبر کردن برای تثبیت فشار در طول لوله ی اصلی، انتخاب نموده و بتواند میزان فشار را بخواند.

۴-۴-۱-۶- لوله ی اصلی هوا (لوله ی ترمز)

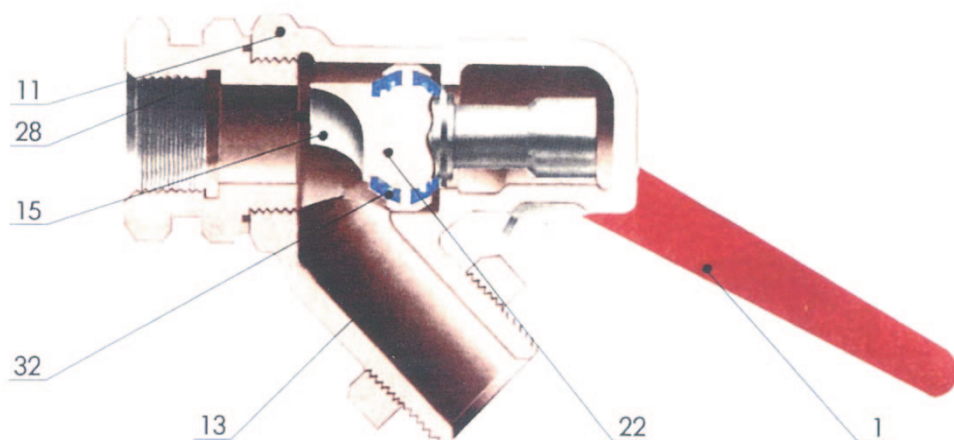
به لوله ی کشیده شده در طول قطار که تغییرات فشار مورد نیاز برای کنترل ترمز در هر وسیله را انتقال می دهد، لوله ی اصلی هوا یا لوله ی ترمز می گویند. این لوله در محل اتصال دو وسیله به صورت شلنگ های انعطاف پذیری است که در زمان انفصال دو وسیله می توانند از هم جدا شوند. افت فشار در لوله ی ترمز می تواند به دلایل زیر باشد:

- کاهش فشار کنترل شده توسط لکوموتیوران
- کاهش سریع فشار توسط لکوموتیوران با استفاده از وضعیت اضطراری شیر ترمز لکوموتیوران (ترمز سریع)

- کاهش سریع فشار توسط مامور قطار که در محل استقرار خود دارای یک سوپاپ اضطراری است
- کاهش سریع فشار توسط مسافران (در برخی راه آهن ها) با استفاده از سیستم اضطراری نصب شده در محل استقرار مسافران
- کاهش سریع فشار از طریق شکستگی لوله یا پاره شدن شلنگ
- کاهش سریع فشار در زمان قطع شدن شلنگ در اثر گسیختگی یا خروج از خط قطار

۴-۴-۱-۷- شیر انتها

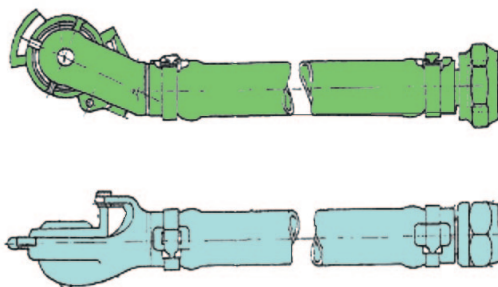
در انتهای هر وسیله، شیرهای انتهایی به منظور امکان آب بندی شلنگ های انتهایی لوله ی اصلی هوا در زمان انفصال یک وسیله از وسیله ی دیگر، تعبیه شده اند. این شیرها از هدر رفتن هوا از انتهای لوله ی اصلی جلوگیری می کنند. نمای ظاهری این شیر در شکل ۴-۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۱ شیر انتها

۴-۱-۸- شلنگ های اتصال

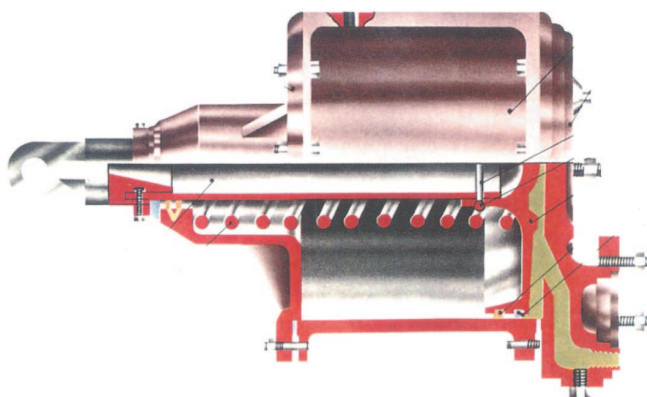
لوله ی اصلی در بین دو وسیله ی متصل به هم، به صورت شلنگ انعطاف پذیر (شکل ۴-۱۲) می باشد. این شلنگ ها می توانند در صورت قرار گرفتن وسیله در یکی از دو انتهای قطار، با بستن شیرهای انتهایی آب بندی شوند.



شکل ۴-۱۲) شلنگ اتصال

۴-۱-۹- سیلندر ترمز

هر وسیله حداقل یک سیلندر ترمز دارد. حرکت پیستون موجود در داخل سیلندر، نیروی لازم برای ترمز را از طریق اهرم بندی اعمال می کند. پیستون داخل سیلندر ترمز، بر اساس تغییر فشار هوای داخل سیلندر ترمز، حرکت می کند. شکل ۴-۱۳ نمونه ی برش خورده ی نوعی سیلندر ترمز را نشان می دهد.



شکل ۴-۱۳) نمونه ی برش خورده ی نوعی سیلندر ترمز

۴-۴-۱-۱۰- بلاک ترمز

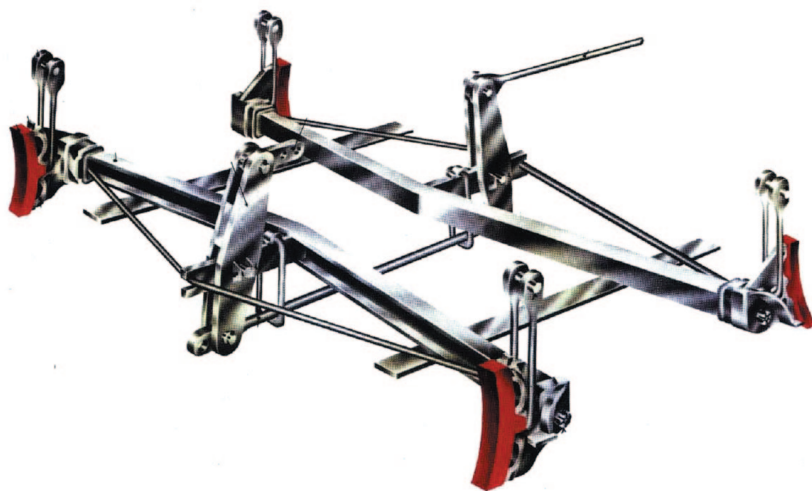
بلاک ترمز (شکل ۴-۱۴)، یک جسم اصطکاکی است که با حرکت رو به بیرون پیستون سیلندر ترمز، به سطح چرخ فشرده می شود. بلاک های ترمز اغلب از جنس چدن و یا برخی مواد کامپوزیتی ساخته می شوند و بخش اصلی سایشی در سیستم ترمز هستند. به همین دلیل لازم است تا بازرسی های منظمی به منظور تعیین زمان مناسب تعویض، بر روی آنها صورت پذیرد.



شکل ۴-۱۴) بلاک ترمز

۴-۴-۱-۱۱- اهرم بندی ترمز

سیستمی است که به وسیله ی حرکت پیستون در سیلندر ترمز، نیروی تولید شده را به بلاک های ترمز روی هر چرخ منتقل کرده و مقدار آن را برای انجام عمل ترمز مناسب می سازد. اهرم بندی اغلب می تواند به صورت مجموعه باشد. به منظور اطمینان از عملکرد کلیه ی بلاک ها با یک سیلندر و نیز اعمال نیروی ترمزی یکسان بر روی هر چرخ، اهرم بندی باید به دقت تنظیم شود. اگر یک بلاک تعویض شود، لازم است که تمام بلاک های روی آن محور کنترل شده و تنظیم گردند. در شکل ۴-۱۵ شکل اهرم بندی یک نوع بوژی نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۵) اهرم بندی بوژی

۴-۴-۲- تجهیزات اصلی ترمز هوایی در واگن

علاوه بر تجهیزاتی از قبیل، «لوله ی اصلی هوا»، «سیلندر ترمز»، «شیرهای انتها»، «شلنگ های اتصال»، «بلاک ترمز» و «اهرم بندی ترمز» که در قسمت تجهیزات لکوموتیو شرح داده شد، تجهیزات دیگری نیز در سیستم ترمز هوایی واگن وجود دارند که در ادامه مختصراً شرح داده می شوند.

۴-۴-۲-۱- مخزن کمکی

عملکرد ترمز هوایی در هر وسیله، بر مبنای اختلاف فشار بین دو طرف پیستون موجود در سوپاپ سه قلو انجام می شود. به منظور اطمینان از وجود هوای کافی جهت عملکرد ترمز و نیز به منظور استفاده ی غیر مستقیم از هوای فشرده ی ارسالی از طریق لوله ی اصلی، در هر واگن یک مخزن به نام مخزن کمکی در سر راه سوپاپ سه قلو به یک طرف پیستون آن، متصل است. جریان هوا به یا از مخزن کمکی توسط سوپاپ سه قلو کنترل می شود.

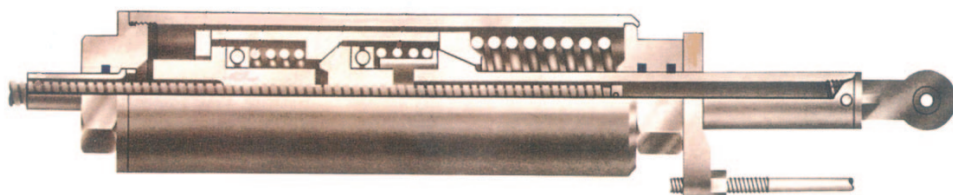
۴-۲-۲- سوپاپ سه قلو

اعمال ترمز در هر وسیله، توسط سوپاپ سه قلو کنترل می شود. وظایف سوپاپ سه قلو، آزادسازی ترمز، ترمزگیری و نگه داشتن ترمز در یک حالت ترمزی مناسب و تعیین شده می باشد. سوپاپ سه قلو دارای سیستمی است که تغییرات فشار لوله ی اصلی را آشکار نموده و مسیرهای داخل سوپاپ را بر مبنای آن مجدداً آرایش می دهد. سوپاپ سه قلو وظایف خود را به صورت های زیر انجام می دهد:

- مخزن کمکی را شارژ نموده و تخلیه ی سیلندر ترمز را باز می کند.
- تخلیه ی سیلندر ترمز را بسته و تغذیه ی آن را از مخزن کمکی امکان پذیر می سازد.
- فشار هوای سیلندر ترمز را در سطح مشخصی نگه می دارد.

۴-۲-۳- خودکار ترمز

در میان اهرم بندی از قطعه ای به نام خودکار ترمز (شکل ۴-۱۶) استفاده شده است که وظیفه ی آن تنظیم فاصله ی بلاک های ترمز (کفش های ترمز) با چرخ ها است. با توجه به این که اصطکاک عامل اصلی ترمزگیری است، پس سایش نیز که زائیده ی اصطکاک است در هر بار ترمزگیری، مابین سطوح در حال تماس به وجود می آید. از آنجا که کفش های ترمز نسبت به چرخ ها دارای سختی کمتری هستند، لذا این سایش در کفش ها بسیار شدیدتر می باشد. این سایش سبب افزایش فاصله ی کفش ترمز با چرخ شده و کیفیت ترمزگیری را کاهش می دهد. وظیفه ی خودکار ترمز حفظ این فاصله در حد مطلوب است.



شکل ۴-۱۶ خودکار ترمز

۴-۴-۲-۴- لوله ی مخزن اصلی

در برخی طراحی های سیستم ترمز هوایی، از آنجا که این امکان وجود دارد که شدت مصرف هوای مخزن کمکی خیلی سریع تر از آن باشد که لوله ی اصلی بتواند آن را مجدداً شارژ کند، لوله ی دیگری نیز در سرتاسر قطار کشیده می شود که از مخزن اصلی موجود در لکوموتیو تغذیه گشته و به آن لوله ی مخزن اصلی می گویند. هر چند هیچ عمل کنترلی روی فشار هوای این لوله انجام نمی شود، اما از آن به منظور حل مشکل افت بحرانی فشار در مخازن کمکی واگن ها استفاده می شود. مخازن کمکی از طریق یک لوله ی رابط و یک شیر یک طرفه، که اجازه ی عبور هوا از لوله ی مخزن اصلی به مخزن کمکی را می دهد، به لوله ی مخزن اصلی متصل می شوند. به سیستم هایی که دارای لوله ی مخزن اصلی نیز هستند، سیستم دو لوله ای گفته می شود.

۴-۴-۲-۵- مخزن اضطراری

برخی سیستم های ترمز هوایی، از مخازن اضطراری استفاده می کنند. این مخازن مانند مخازن کمکی در هر واگن تعبیه شده و همانند آنها از طریق لوله ی اصلی شارژ می شوند. با این وجود، این مخازن فقط به صورت اضطراری و معمولاً با احساس افت فشار ناگهانی در لوله ی اصلی، به وسیله ی سوپاپ سه قلو، استفاده می شوند. نوع بخصوصی از سوپاپ سه قلو به نام توزیع کننده، برای واگن هایی که دارای مخازن اضطراری هستند، لازم است.

۴-۴-۲-۶- توزیع کننده

توزیع کننده عملی همانند سوپاپ سه قلو انجام می دهد و فقط از آن پیشرفته تر است. توزیع کننده ها توانایی اتصال مخزن اضطراری به سیستم ترمز و شارژ مجدد آن را دارند. همچنین توزیع کننده ها می توانند به عنوان بخشی از تجهیزات آزادسازی ترمز عمل کنند. چیزی که معمولاً سوپاپ سه قلوها قادر به انجام آن نیستند. یک توزیع کننده دارای بخش ها و قسمت های زیر است:

- بخش عملکرد سریع: محفظه ی کوچک موجود در داخل توزیع کننده که برای هدایت هوای لوله ی اصلی به داخل آن به کار می رود تا به انتقال کاهش فشار در طول قطار کمک کند.
 - بخش ترمزگیری مجدد: اجازه ی انجام سریع ترمز مجدد، پس از آزادسازی جزیی را می دهد.
 - بخش آزادسازی تدریجی: امکان آزادسازی جزیی، با نگه داشتن شدت ترمزگیری در سطحی پایین تر را فراهم می سازد.
 - مسیر ارتباطی برای سوپاپ تغییر بار: امکان تنظیم فشار هوای ترمز با مقدار بار واگن را فراهم می سازد.
 - چوک ها (اوریفیس ها): قابل تعویضند و زمان های ترمزگیری و آزادسازی را تنظیم می کنند.
 - حالت Inshot جهت عملکرد سریع اولیه، جهت اتصال بلاک های ترمز به چرخ ها، به کار می رود.
 - محدود کننده ی فشار سیلندر ترمز
 - تجهیزات شارژ بیش از حد مخزن کمکی
- اکنون با شناخت اجمالی تجهیزات سیستم ترمز هوایی غیر مستقیم، می توانیم به شرح عملکرد این سیستم در واگن های باری پردازیم.

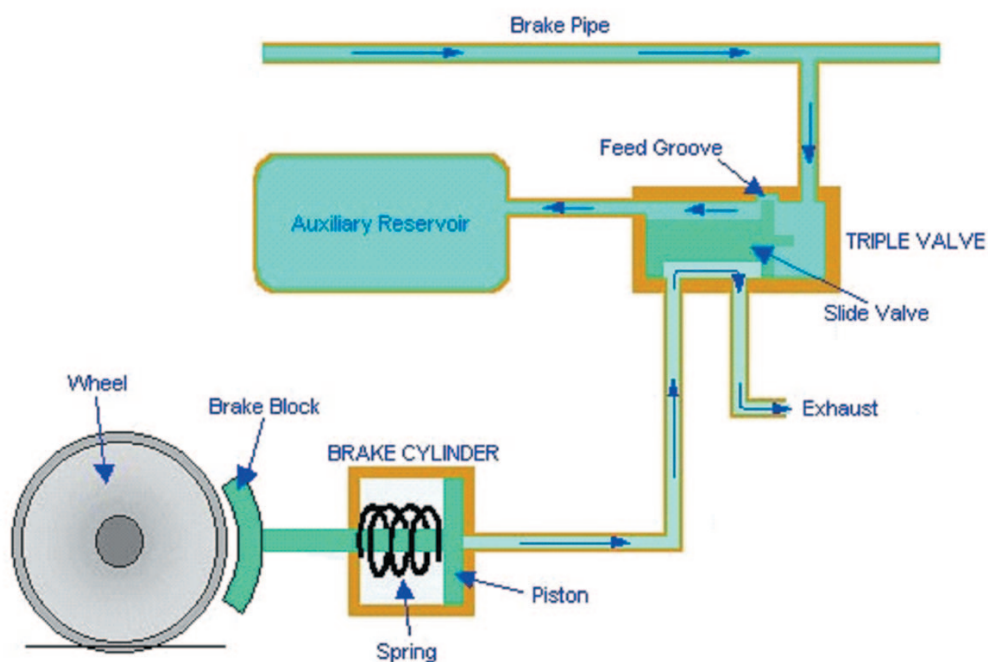
۴-۵- عملکرد سیستم ترمز در هر واگن از یک قطار باری

رفتار سیستم ترمز یک واگن را می توان در چهار حالت مختلف: هواگیری، ترمزگیری، آزادسازی و ترمز اضطراری بررسی نمود. هر یک از این حالات در ادامه به اجمال شرح داده می شوند.

۴-۵-۱- حالت هواگیری

شکل ۴-۱۷ وضعیت سیلندر ترمز، سوپاپ سه قلو و مخزن کمکی را در حالت هواگیری نشان می دهد. در ابتدا هیچ هوایی در داخل سیستم ترمز موجود نمی باشد. برای آماده کردن سیستم ترمز جهت بهره برداری، قبل از هر چیز لازم است که سیستم از هوای فشرده پر شود. به این منظور، ابتدا باید لوله ی اصلی واگن ها را

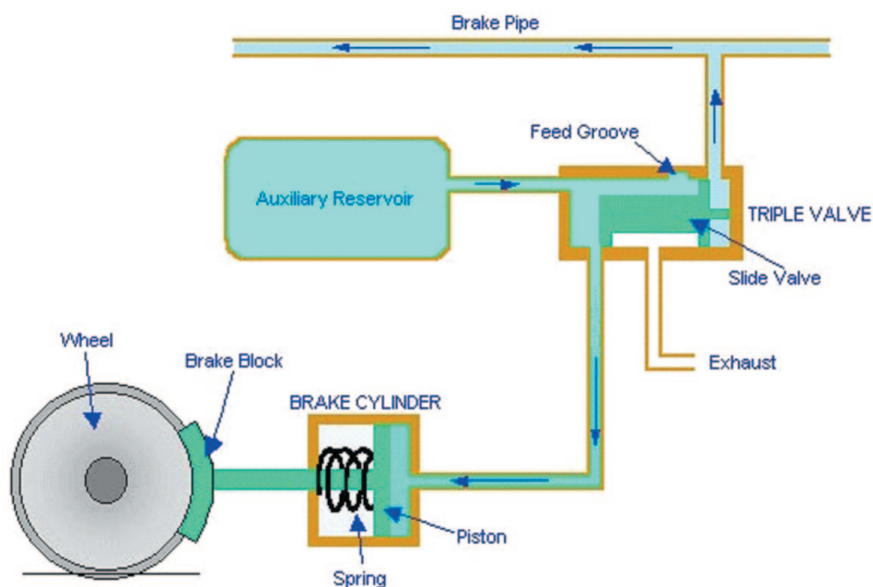
به یکدیگر و نیز به لوله ی اصلی لکوموتیو متصل نمود و شیرهای انتهایی مربوطه را باز کرد. به این ترتیب هوای فشرده شده در داخل لوله ی اصلی هوا جریان می یابد. این هوا از طریق لوله ی اصلی به سوپاپ سه قلوهای موجود در هر واگن منتقل شده و از طریق سوپاپ سه قلو به مخزن کمکی هدایت می گردد. وقتی که سیستم کاملاً پرشد، لوله ی اصلی و مخزن کمکی دارای فشاری مشابه خواهند بود که میزان این فشار توسط راه آهن های مختلف مشخص شده و با یکدیگر تفاوت دارند.



شکل ۴-۱۷) دیاگرام بلوکی حالت ترمز گیری

۴-۵-۲- حالت ترمزگیری

شکل ۴-۱۸ وضعیت سیلندر ترمز، سوپاپ سه قلو و مخزن کمکی را در حالت ترمزگیری نشان می دهد. با قرار دادن دستگیره ی شیر ترمز لکوموتیوران در حالت ترمزگیری، فشار هوا در لوله ی اصلی کاهش می یابد. این افت فشار توسط سیستم موجود در سوپاپ سه قلو احساس می شود و مسیر ارتباطی بین سیلندر و هوای آزاد بسته می شود. در همین زمان مسیر ارتباطی بین مخزن کمکی و سیلندر ترمز باز شده است. اکنون هوای مخزن کمکی به سمت سیلندر ترمز جریان می یابد. فشار هوا به پیستون نیرو وارد کرده و سبب حرکت پیستون در جهت فشرده شدن فتر می گردد. به این ترتیب بلاک های ترمز به چرخ ها می چسبند. جریان هوا از مخزن کمکی به سیلندر ترمز تا زمانی ادامه می یابد که هر دو با هم برابر شده، یا توسط کنترل کننده ای که به همین منظور در سوپاپ سه قلو تعبیه شده، قطع گردد. این حداکثر فشار سیلندر ترمز قابل استحصال است و به این صورت یک ترمز کامل اعمال شده است. برای رسیدن به حالت ترمز کامل با حجم قابل قبولی از هوا و با فشار مناسب، معمولاً حجم سیلندر ترمز را حداکثر ۴۰ درصد حجم مخزن کمکی طراحی می کنند.



شکل ۴-۱۸) دیاگرام بلوکی حالت هواگیری

۴-۵-۳- حالت آزادسازی

پس از انجام ترمزگیری و به منظور حرکت مجدد، لازم است تا قبل از آن ترمزها آزاد گردند. با قرار دادن دستگیره‌ی شیر ترمز لکوموتیوران در حالت آزادسازی، فشار هوا در لوله‌ی اصلی افزایش می‌یابد. این مسئله سبب می‌شود تا از طریق سوپاپ سه‌قلو مسیر ارتباطی بین سیلندر و هوای آزاد باز شده و مسیر ارتباطی بین مخزن کمکی و سیلندر ترمز بسته گردد. اکنون ارتباط بین سیلندر ترمز و مخزن کمکی قطع شده و سیلندر ترمز به خروجی متصل می‌گردد. علاوه بر آن با برقراری مجدد ارتباط بین لوله‌ی اصلی و مخزن کمکی، این مخزن مجدداً با فشار لوله‌ی اصلی پر می‌شود. با اتصال سیلندر ترمز به خروجی، هوای موجود در آن تخلیه شده و پیستون تحت تاثیر فنر موجود در داخل سیلندر به عقب برگشته و ترمزها آزاد می‌شوند.

۴-۵-۴- حالت اضطراری

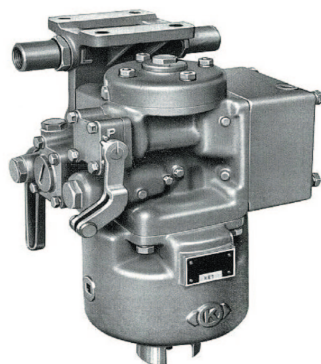
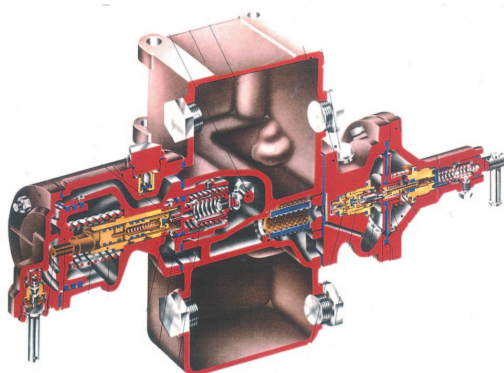
در این حالت، قطار می‌تواند نهایت توان ترمزی خود را داشته باشد. زمانی از این ترمز استفاده می‌شود که وضعیتی اضطراری وجود داشته باشد. اعمال ترمز اضطراری سبب باز شدن لوله‌ی اصلی هوا به اتمسفر می‌شود. در نتیجه افت فشار بسیار شدیدی در داخل لوله‌ی اصلی اتفاق می‌افتد. به این ترتیب و با توجه به این که در سوپاپ سه‌قلو، فشار در سمت لوله‌ی اصلی کاهش پیدا می‌کند، وضعیت مسیرهای ارتباطی موجود در سوپاپ سه‌قلو همانند حالت ترمزگیری خواهد بود. تنها تفاوت این ترمز با حالت ترمزگیری عادی در این است که انجام عمل ترمزگیری، با توجه به اختلاف فشار بیشتر در دو طرف سوپاپ لغزشی، تا حد امکان سریع‌تر انجام می‌شود.

۴-۶- سیستم های ترمز مورد استفاده در ناوگان باری ایران

در ناوگان باری راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران، دو نوع سیستم ترمز مختلف، که البته هر دو از نوع ترمز هوایی غیر مستقیم هستند، وجود دارد. این دو نوع عبارتند از: الف) سیستم ترمز کنور که خود دارای چند نوع

سوپاپ سه قلوئی مختلف است که از نظر اصول کارکرد بسیار شبیه یکدیگر هستند و فقط در برخی شرایط مزایایی نسبت به هم دارند که هر کدام را برای کاربردی خاص مناسب می سازد و ب) سیستم ترمز روسی که در مدل مورد استفاده در راه آهن ایران فقط از یک نوع سوپاپ سه قلو به نام 483M استفاده شده است. فشار هوای لوله ی اصلی در راه آهن باری ایران، ۵ بار می باشد.

واضح است که تفاوت اصلی در سیستم های ترمز هوایی مختلف، تفاوت در عملکرد و ویژگی های سوپاپ سه قلوئی آنها می باشد. لذا با توجه به نوع هدف آموزشی این کتاب، در اینجا فقط به شرح مختصر ویژگی های سوپاپ سه قلوهای کنور و روسی می پردازیم. شکل ۴-۱۹ نمای ظاهری یک نمونه سوپاپ سه قلوئی کنور (KE1) و شکل ۴-۲۰ نمای برش خورده ی سوپاپ سه قلوئی روسی را نشان می دهد.



شکل ۴-۱۹) نمای ظاهری سوپاپ سه قلوئی KE1 شکل ۴-۲۰) نمای برش خورده ی سوپاپ سه قلوئی 483M

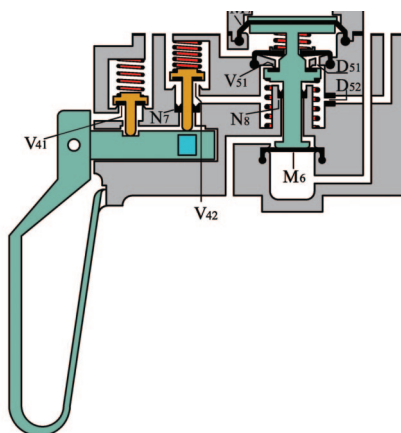
۱-۶-۴- سوپاپ سه قلوهای کنور با علامت اختصاری KE

سوپاپ سه قلوهای KE مورد تایید سازمان بین المللی UIC هستند و ساخت کارخانه ی کنور، که در اصل یک کارخانه ی آلمانی است، می باشند. بافت و اسکلت آن دارای یک طراحی تمام منظوره می باشد که به سوپاپ های دیگر مجهز گشته و به این ترتیب سوپاپ سه قلوئی KE برای مقاصد مختلف مناسب می شود. انواع سوپاپ سه قلوهای KE عبارتند از:

- KE0 که بدون رله و نوع ابتدایی سوپاپ سه قلوهای KE می باشد.
- KE1 که دارای سوپاپ رله است. اندیس C نشان دهنده‌ی زمان ترمرگیری ۱۸ الی ۳۰ ثانیه و فشار سیلندر ترمر ۳/۸ بار است و اندیس SL به معنای مجهز بودن آن به سوپاپ تخلیه‌ی اتوماتیک اتاق A می باشد (KE1CSL).
- KE2 که دارای سوپاپ ترمر تابع بار یا مبدل فشار می باشد.

این سوپاپ بر روی حامل مخصوص خود مونتاژ می‌شود که خود حامل به وسیله‌ی چهار پیچ و مهره به زیر شاسی واگن متصل می‌گردد. بر روی حامل سوپاپ، محل اتصال لوله‌ی مخزن فرعی، سیلندر ترمز و لوله‌ی اصلی هوا بیش‌بینی شده است. تجهیزات قابل نصب بر روی این نوع سوپاپ‌ها در ادامه معرفی می‌گردند.

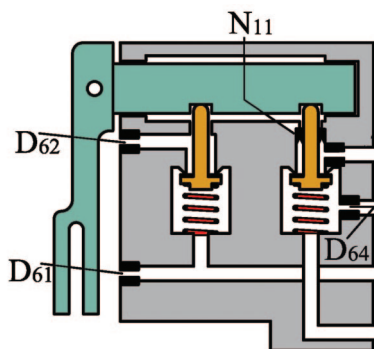
این شیر از سه سوپاپ به نام‌های ورود یا هواگیری، خروج یا تخلیه‌ی هوا و سوپاپ تغذیه‌ی مخزن کمکی تشکیل شده است و دستگیره‌ی آن توسط اهرم‌بندی به صفحه و دستگیره‌ی شیر قطع و وصل، که دارای دو حالت باز و بسته می‌باشد، مربوط می‌گردد. در صورت قرار گرفتن دستگیره در حالت باز یا عمودی، سوپاپ ورود باز شده و سوپاپ تغذیه‌ی مخزن کمکی به کار می‌افتد. با تغییر حالت دستگیره به وضعیت بسته، ارتباط سوپاپ سه‌قلو با لوله‌ی اصلی هوا قطع و هوای کلیه‌ی قسمت‌های سوپاپ تخلیه می‌گردد و ترمز واگن از مدار خارج می‌شود. شکل ۴-۲۱ این بخش از سوپاپ سه‌قلوی کنور را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۲۱) شیر قطع و وصل

۴-۶-۱-۱-۲- شیر باری/مسافری

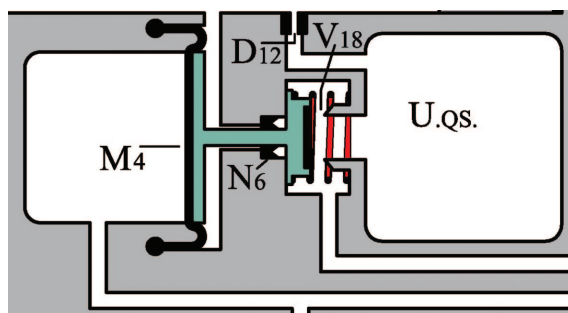
این شیر مجهز به دو سوپاپ می باشد که یکی از آنها در مسیر اعمال ترمز و دیگری در مسیر آزادسازی ترمز قرار گرفته است. با قرار دادن دستگیره ی شیر در حالت باری، این سوپاپ ها بسته شده و موجب کوچک شدن مقطع عبور هوا خواهند شد. این مکانیزم با افزایش زمان ترمزگیری و آزادسازی، موجب می شود که واگن های انتهایی نیز اعمال فوق را هم زمان با واگن های جلو انجام دهند. این سیستم به کمک اتاق U از ایجاد شوک در قطارهای طویل جلوگیری می کند. شکل ۴-۲۲ این بخش از سوپاپ سه قلو ی کنور را نشان می دهد.



شکل ۴-۲۲) شیر باری/مسافری

۴-۶-۱-۱-۳- اتاق انتقال U (تسريع کننده)

در ترمز تدريجی، تخلیه ی اندک هوا از لوله ی اصلی، سبب می شود که پیستون و دیافراگم موجود در سوپاپ به طرف بالا حرکت کرده و در نتیجه مجرای ورود هوا به اتاق U باز شود. در نتیجه ی این رویداد، حجم قابل توجهی از هوای لوله ی اصلی به اتاق U جریان یافته و تقلیل فشار در لوله ی اصلی تسريع می گردد. بنابراین عمل تقلیل فشار و ترمزگیری در سرتاسر قطار، کوتاه تر و هماهنگ تر می گردد. شکل ۴-۲۳ نشان دهنده ی محل اتاق U در سوپاپ سه قلو ی کنور می باشد.



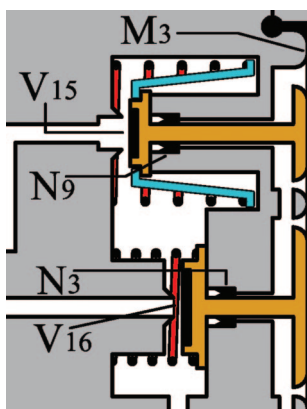
شکل ۴-۲۳ اتاق تسريع U

۴-۶-۱-۱-۴- سوپاپ محدود کننده ی فشار زیاد

این سوپاپ اجازه نمی دهد فشار هوای سیلندر ترمز از میزان معین شده، حتی در صورت بالا بودن فشار هوا در لوله ی اصلی و اتاق A، تجاوز نماید. حداکثر فشار در سوپاپ های KE1a؛ $\frac{3}{6}$ بار و در سوپاپ های KE1C؛ $\frac{3}{8}$ بار است. البته در موارد استثنایی مانند حالت باردار/خالی اتوماتیک هوایی، فشار هوای سیلندر ترمز تا $\frac{4}{1}$ بار نیز قابل افزایش است.

۴-۶-۱-۱-۵- سوپاپ محدود کننده ی فشار کم

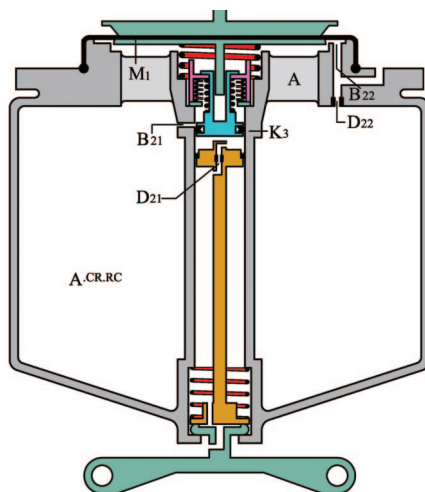
در هنگام ترمزگیری و پس از رسیدن فشار هوای سیلندر ترمز به $0/7$ الی $0/8$ بار، این سوپاپ بسته شده و با این عمل یکی از مجاری ورود هوا به محفظه CV بسته می شود. این عمل سرعت افزایش فشار در داخل سیلندر ترمز را کاهش داده و از ضربه زدن کفش به چرخ جلوگیری می نماید. شکل ۴-۲۴ سوپاپ های محدود کننده ی فشار کم و زیاد را نشان می دهد.



شکل ۴-۲۴ سوپاپ های محدود کننده ی فشار

۴-۶-۱-۱-۶- اتاق کنترل A

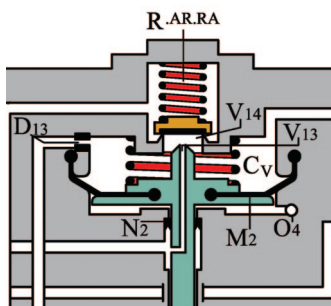
این اتاق که به صورت مخزنی در زیر قسمت اصلی سوپاپ سه قلو نصب می شود (شکل ۴-۲۵)، نقش کنترلی دارد. در بالای این محفظه، دیافراگم بزرگی قرار دارد که به یک پیستون متصل است. در بالای دیافراگم فشار هوای لوله ی اصلی قرار دارد. به این ترتیب با تغییرات فشار در لوله ی اصلی، به دلیل برهم خوردن تعادل فشاری در دو طرف دیافراگم، دیافراگم به همراه پیستون به سمت بالا یا پایین حرکت کرده و موجبات ترمزگیری و یا آزادسازی را فراهم می سازد.



شکل ۴-۲۵) اتاق A

۴-۶-۱-۱-۷- سوپاپ سه فشاره (سه جانبه)

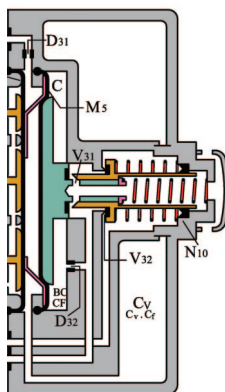
سوپاپ سه جانبه (شکل ۴-۲۶)، هواگیری و تخلیه‌ی هوای مخزن CV را مطابق با مقدار تغییرات فشار در لوله‌ی اصلی کنترل می‌کند. این سوپاپ نسبت به تغییرات کنترل شده‌ی فشار در لوله‌ی اصلی عکس العمل سریعی داشته و به منظور انجام ترمزهای با عکس العمل سریع ساخته شده است. علاوه بر آن، سوپاپ سه جانبه سیستم تسریع کننده را غیر فعال کرده و فرآیند هواگیری بیش از حد (Overcharge) را نیز کنترل می‌کند.



شکل ۴-۲۶) سوپاپ سه جانبه

۴-۶-۱-۱-۸- سوپاپ رله (تخلیه)

سوپاپ سه قلوئی KE1 دارای یک سوپاپ رله یک مرحله ای با نسبت انتقال ۱:۱ است. سوپاپ رله های یک مرحله ای، دو مرحله ای، متغیر و پیش رونده نیز برای استفاده بر روی سوپاپ سه قلوئی KE2 و به منظور کنترل شدت ترمز متناسب با بار، ساخته شده اند. این سوپاپ ها جایگزین درپوشهای ساده در مدل های پایین تر سوپاپ سه قلوئی KE شده اند. این قسمت سوپاپ، وظیفه ی هواگیری و تخلیه ی سیلندر ترمز را متناسب با فشار هوای CV، به عهده دارد. با توجه به این که اتاق CV موجود در قسمت رله، به صورت کنترل شده تغذیه و یا تخلیه می گردد، و تغذیه ی سیلندر ترمز از مجرایی بزرگ تر انجام می شود، زمان های ترمزگیری و آزادسازی (تغذیه و تخلیه ی سیلندر ترمز) مستقل از حجم سیلندر ترمز گردیده و مطابق با زمان هواگیری و تخلیه ی محفظه ی CV که حجمی ثابت است، صورت می پذیرد. این بدان معنی است که از یک نوع سوپاپ سه قلوئی مشابه می توان برای سایزهای مختلف سیلندر ترمز با کورس های متفاوت استفاده نمود بدون این که نیازی به هرگونه بهبود؛ مانند تغییر اوریفیس ها وجود داشته باشد. علاوه بر آن هوای داخل اتاق CV وظیفه ی بستن سوپاپ تغذیه ی اتاق A، سوپاپ محدود کننده ی فشار کم و سوپاپ محدود کننده ی فشار زیاد را نیز به عهده دارد. شکل ۴-۲۷ یک سوپاپ رله ی یک مرحله ای را نشان می دهد.



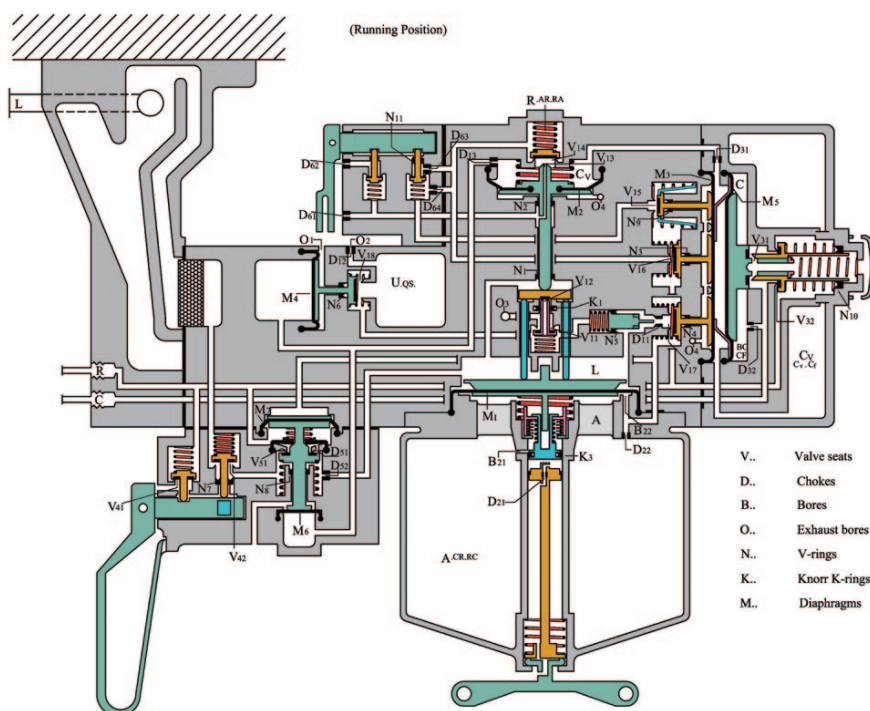
شکل ۴-۲۷) سوپاپ رله

۴-۶-۱-۱-۸- واحد کنترل الکتروپنوماتیکی (EPZ)

در صورتی که سوپاپ سه قلوئی KE را بخواهند در سیستم های ترمز الکتروپنوماتیکی به کار برند، لازم است که آن را به یک واحد الکتروپنوماتیکی مجهز نمایند. بهترین حالت استفاده از این نوع سوپاپ های مجهز به EPZ، استفاده در سیستم های دو لوله ای است.

۴-۶-۱-۲- طرز کار سوپاپ سه قلوئی KE1 به صورت اجمالی

با توجه به مدار نشان داده شده در شکل ۴-۲۸، در ادامه مراحل هواگیری، ترمزگیری و آزادسازی مختصراً شرح داده خواهند شد.



شکل ۴-۲۸) مدارات داخلی سوپاپ سه قلوئی KE1

۴-۶-۱-۲-۱- هواگیری

هوای با فشار ۵ بار از طریق لوله ی اصلی وارد قسمت حامل سوپاپ سه قلو شده و پس از گذشتن از صافی هوا، به شیر قطع و وصل وارد می شود. با قرار دادن دستگیره ی این شیر به حالت عمودی، سوپاپ ورود در حالت باز قرار گرفته و از طریق آن فضای قسمت مرکزی، یعنی روی دیافراگم بزرگ در قسمت بالای اتاق A، هواگیری می شود. پس از آن اتاق A نیز از طریق سوپاپ کنترل هواگیری اتاق A، هواگیری می شود. مخزن فرعی از طریق سوپاپ تغذیه، از هوای ۵ بار پر شده که این هوا از طریق سوپاپ های محدود کننده ی فشار و شیر باری/مسافری، فضای فوقانی اتاق CV را نیز تغذیه می نماید.

۴-۶-۱-۲-۲- ترمزگیری

با کم کردن مقداری از فشار هوای لوله ی اصلی، فشار هوای قسمت بالایی دیافراگم بزرگ کم شده و در نتیجه فشار هوای زیر دیافراگم بزرگ (محفظه A) پیستون را به طرف بالا حرکت می دهد. این عمل باعث باز شدن سوپاپ فوقانی اتاق CV می شود و در نتیجه هوا وارد آن شده و از طریق آن به قسمت سوپاپ رله جریان می یابد. با رسیدن هوا به این منطقه، پیستون مربوط به دهانه ی سوپاپ رله حرکت کرده و مسیر ورود هوای مخزن کمکی به سیلندر ترمز باز می شود. این عمل تا زمانی ادامه پیدا می کند که فشار طرف دیگر پیستون برابر طرف اول شود. سپس پیستون تحت اثر نیروی فنر به جای اول خود باز می گردد و عمل ترمزگیری مطابق فرمان صادر شده از جانب لکوموتیوران، تکمیل می گردد.

۴-۶-۱-۲-۳- تخلیه (آزادسازی)

آزادسازی ترمز در واقع مانند هواگیری انجام می شود. یعنی پس از جبران کسری فشار هوا در لوله ی اصلی، فشار بالایی دیافراگم بزرگ به ۵ بار می رسد و دیافراگم به جای اول خود باز می گردد. به این ترتیب تغذیه ی هوای محفظه ی CV از سوپاپ فوقانی آن قطع شده و هوای CV از طریق شیر باری/مسافری تخلیه

می گردد. با تخلیه ی هوای CV، تعادل در طرفین دیافراگم سوپاپ رله به هم خورده و این دیافراگم به سمت محل اصلی خود حرکت می کند. بنابراین دهانه ی خروج هوا باز می شود و در نتیجه هوای سیلندر ترمز تخلیه شده و ترمزها آزاد می گردند.

۴-۶-۲- سوپاپ سه قلو ی روسی مدل 483M

سوپاپ سه قلوهای روسی موجود در ایران، اگرچه مورد تایید UIC نمی باشند، ولی در سطح وسیعی در بین کشورهای بلوک شرق و شوروی سابق کاربرد دارند. طراحی و ساخت این سوپاپ ها توسط کارخانه ی ترانس ماش روسیه انجام می گردد. بافت و اسکلت این سوپاپ ها چدنی است و از سه قسمت مجزا از هم تشکیل شده است. این سه قسمت به شرح زیر است:

(۱) قسمت مخزن دو محفظه ای

(۲) قسمت اصلی

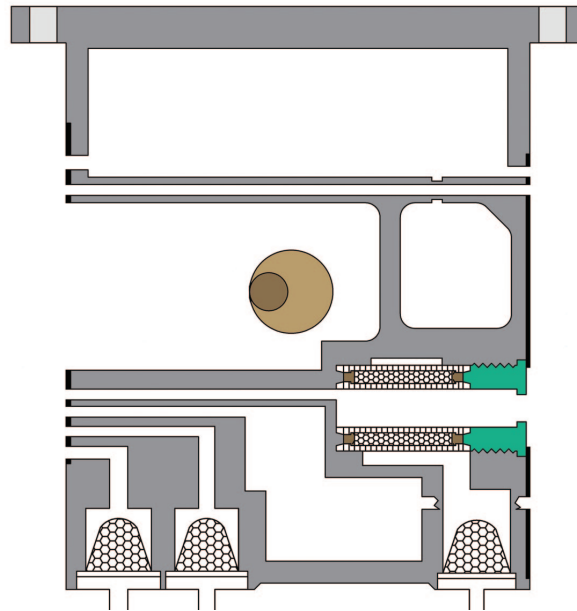
(۳) قسمت اساسی

هر کدام از این قسمت ها دارای تجهیزات مختلفی بوده و وظایف ویژه ای را به عهده دارند که در ادامه به اجمال به آنها می پردازیم.

۴-۶-۲-۱- قسمت های مختلف سوپاپ سه قلو ی 483M

۴-۶-۲-۱-۱- قسمت مخزن دو محفظه ای

نمایی از این قسمت در شکل ۴-۲۹ نشان داده شده است.



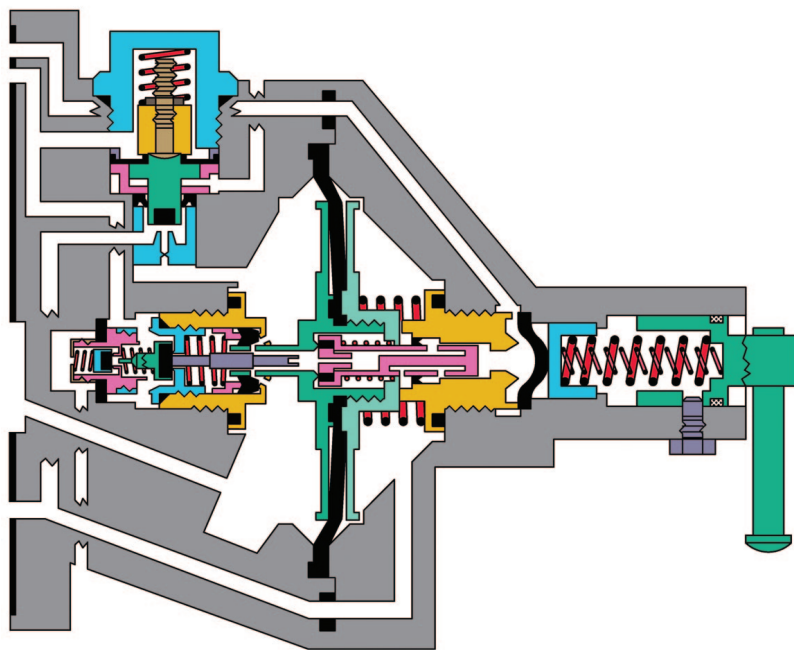
شکل ۴-۱۹) مخزن دو ممفذه ای

بخش عمده ای از این قسمت به صورت مخزن بوده و دارای دو محفظه ی هوای جدا از هم، یکی در قسمت فوقانی و دیگری در قسمت تحتانی، می باشد. محفظه ی فوقانی به نام اتاقک کاری و محفظه ی تحتانی به نام اتاقک تقسیم شناخته می شود. مسیرهای ارتباطی دو بخش اصلی و اساسی از درون این قسمت می گذرد و ارتباط سوپاپ سه قلو با لوله ی اصلی هوا، مخزن کمکی و سیلندر ترمز از طریق اتصالات روی این بخش میسر می گردد. علاوه بر آن بر روی این قسمت؛ تجهیزات مربوط به تغییر رژیم کاری سوپاپ سه قلو در حالت های مختلف خالی، متوسط و باردار نیز تعبیه شده که دستگیره ی مربوطه امکان تغییر و وضعیت آن را به وجود آورده است. با تغییر دادن وضعیت این دستگیره، فشردگی فنر پیستون تعادل موجود در بخش اصلی تغییر کرده و متعاقب آن فشار داخل سیلندر ترمز متناسب با وزن واگن تغییر داده می شود. این دستگیره دارای سه وضعیت، خالی، متوسط و باردار بوده و این که چه زمانی و تحت چه شرایطی در چه وضعیتی باید

قرار گیرد، به وزن کل واگن بستگی داشته و در واگن های مختلف، متفاوت است.

۴-۶-۲-۱-۲- قسمت اساسی

این بخش، مطابق شکل ۴-۲۰، در سمت راست مخزن دو محفظه ای قرار داشته و مجهز به دستگیره ی جلگه/کوهستان می باشد. مطابق تعریف هر گاه شیب و فراز غالب منطقه ای مساوی یا بیشتر از ۱۸ در هزار باشد، باید دستگیره در حالت کوهستان قرار بگیرد و در غیر این صورت دستگیره در حالت جلگه قرار خواهد گرفت. تفاوت عملکرد سوپاپ سه قلو در دو حالت جلگه و کوهستان در این است که در حالت جلگه؛ آزادسازی فقط به صورت یکنواخت انجام خواهد گرفت. در صورتی که در حالت کوهستان امکان آزادسازی تدریجی ترمز نیز توسط لکوموتیوران وجود خواهد داشت.



شکل ۴-۳۰) قسمت اساسی

تجهیزات موجود در قسمت اساسی: این بخش در واقع بخش کنترلی سوپاپ سه قلو می باشد. تجهیزات موجود در این بخش در شکل ۴-۳۰ نشان داده شده اند. تغییرات فشار لوله ی اصلی، در ابتدا توسط دیافراگم موجود در این قسمت احساس شده و متناسب با این تغییرات فشار، نحوه ی پاسخ به آن تعیین می گردد.

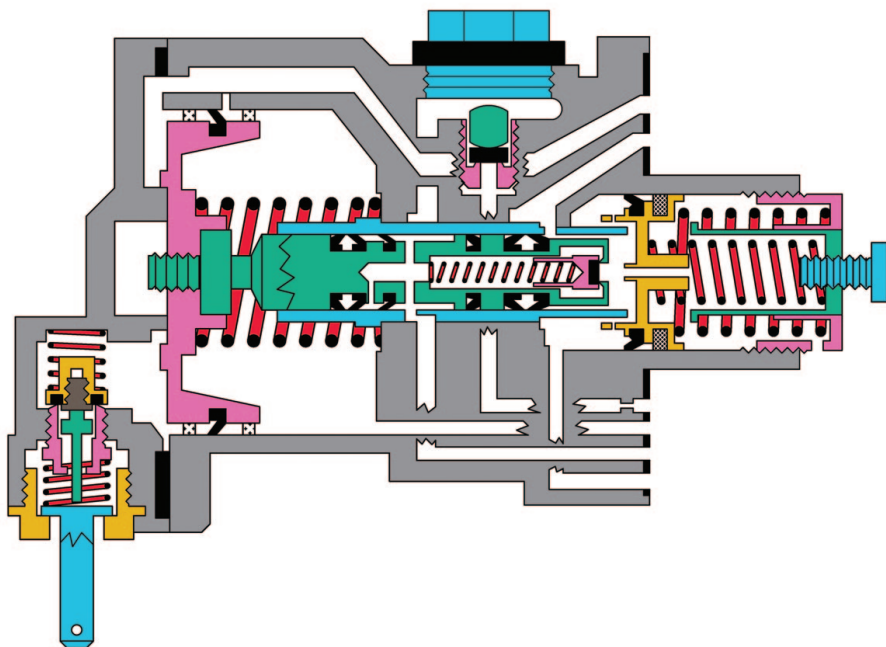
قسمت های مختلف موجود در این بخش عبارتند از:

- دیافراگم بزرگ که وظیفه ی تشخیص تغییرات فشار لوله ی اصلی را به عهده داشته و اتاقک های تقسیم و اساسی را از یکدیگر جدا می کند. تشخیص تغییرات فشار به واسطه ی برهم خوردن تعادل فشار دو طرف این دیافراگم، یعنی تعادل فشار هوای اتاقک تقسیم و اتاقک اساسی، انجام می گردد.
- تجهیزات مربوط به دستگاه جلگه/کوهستان؛ که شامل دو فنر، یک سوپاپ قطع و وصل و یک دستگیره می باشد و به واسطه ی آن میزان فشردگی فنرها تغییر داده می شود. با فشردن فنرها، سوپاپ سه قلو در حالت کوهستان کار خواهد کرد.
- پلانجر که در قسمت میانی دو محافظ دیافراگم بزرگ قرار می گیرد و وظیفه ی کنترل جریان هوا از اتاقک اساسی به اتاقک تقسیم (و به اتاقک کاری در حالت جلگه) را به عهده دارد.
- قسمت سه شیر که همانطور که از نامش پیداست، متشکل از سه شیر متفاوت به منظور ایجاد جریان فرمان قطع مسیر دوم هواگیری اتاقک تقسیم، واقع در سوپاپ روانساز، و نیز کاهش فشار هوای اتاقک تقسیم در زمان ترمزگیری می باشد.
- سوپاپ روانساز که در قسمت فوقانی بخش اساسی قرار گرفته و وظیفه ی آن جبران نوسانات فشار لوله ی اصلی هوا، با فراهم کردن امکان ارتباط دو اتاقک تقسیم و اساسی، است. به این ترتیب نوسانات کم و آهسته ی فشار هوا در لوله ی اصلی به وسیله این سوپاپ و با کمک هوای موجود در اتاقک تقسیم، تعدیل شده و سوپاپ سه قلو در برابر این نوسانات عکس العملی نشان نمی دهد. وظیفه ی دیگر آن برقراری مسیر دوم هواگیری اتاقک تقسیم از اتاقک اساسی، در زمان هواگیری و نیز قطع این ارتباط در زمان ترمزگیری می باشد.

۴-۶-۲-۱-۳- قسمت اصلی

این قسمت در سمت چپ مخزن دوماحفظه ای قرار داشته و مجهز به دستگیره ی آزادسازی دستی ترمز واگن در قطار، بدون نیاز به آزادسازی ترمز واگن های دیگر و یا تخلیه ی کامل هوای واگن، تعبیه شده که با تغییر وضعیت آن از حالت عمودی وظیفه ی خود را انجام می دهد.

شکل ۴-۳۱ بخش های تشکیل دهنده ی این قسمت را نشان می دهد که در ادامه به اجمال معرفی می گردند.



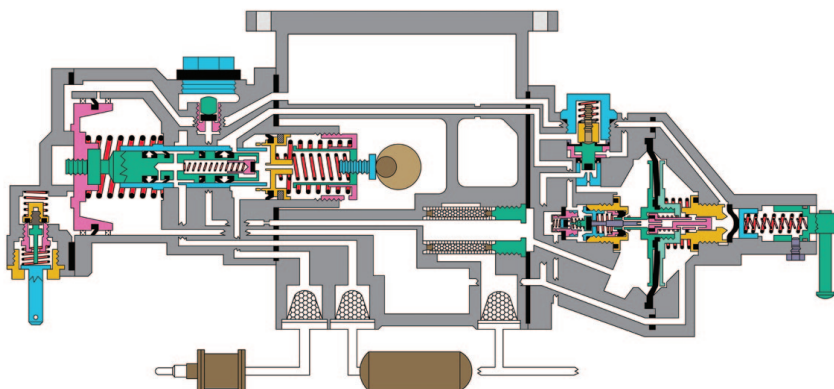
شکل ۴-۳۱) قسمت اصلی

قسمت های مختلف موجود در این بخش عبارتند از:

- پیستون اصلی که در دو طرف آن فشار هوای اتاقک های کاری و تقسیم اعمال می شود. با برهم خوردن این تعادل، پیستون در جهت اعمال ترمز و یا آزادسازی آن حرکت خواهد کرد.
- میله ی پیستون اصلی که حرکت پیستون اصلی را به سوپاپ ترمز منتقل می کند و سبب باز یا بسته شدن آن می گردد. علاوه بر آن مسیرهایی در داخل این میله تعبیه شده است که مسیر هواگیری مخزن کمکی از لوله ی اصلی را در زمان هواگیری و یا آزادسازی باز کرده و در زمان ترمزگیری مسدود می نماید. همچنین ارتباط مخزن کمکی با سیلندر ترمز نیز از طریق مجراهای این میله انجام می گردد.
- سوپاپ ترمز که در داخل میله ی پیستون اصلی تعبیه شده و در زمان حرکت پیستون اصلی به سمت راست، توسط دیواره ی مجرای میانی پیستون تعادل باز شده و مسیر جریان هوا از مخزن کمکی به سیلندر ترمز را برقرار می نماید.
- پیستون تعادل که وظیفه ی باز کردن سوپاپ ترمز و تنظیم فشار هوای داخل سیلندر، مطابق با میزان فشردگی فنر مربوطه که توسط دستگیره ی خالی/متوسط/باردار تعیین می شود، را به عهده دارد. همچنین تخلیه ی سیلندر ترمز از طریق مجرای میانی این پیستون که در زمان ترمزگیری بسته می شود، انجام می پذیرد.
- سوپاپ تغذیه ی معکوس که یک شیر یک طرفه بوده و در سر راه تغذیه ی مخزن کمکی از لوله ی اصلی قرار دارد. عملکرد آن به گونه ای است که در صورت بیشتر بودن فشار مخزن کمکی از فشار لوله ی اصلی، شیر بسته می شود و در نتیجه امکان بازگشت هوای مخزن کمکی به لوله ی اصلی را در زمان ترمزگیری از بین می برد.
- سوپاپ آزادسازی دستی که همان طور که گفته شد، به منظور آزاد کردن ترمز یک واگن در قطار و بدون نیاز به تخلیه ی هوای سیستم ترمز واگن، تعبیه شده است. این سوپاپ سبب تخلیه ی هوای اتاقک کاری و برگشت پیستون اصلی به محل خود می گردد که در نهایت منجر به آزاد شدن ترمزها می شود.

۴-۶-۲-۲- طرزکار اجمالی سوپاپ سه قلوئی روسی (483M)

با توجه به مدار نشان داده شده در شکل ۴-۳۲، در ادامه مراحل هواگیری، ترمزگیری و آزادسازی مختصرا شرح داده خواهند شد.



شکل ۴-۳۲) مدارات داخلی سوپاپ سه قلوئی 483M

۴-۶-۲-۲-۱- هواگیری

با باز شدن مسیر هوای لوله ای اصلی به داخل سوپاپ سه قلو، هوای ۵ بار از فیلتر هوا عبور کرده و وارد اتاقک اساسی می گردد. با ورود هوا به اتاقک اساسی و اعمال فشار هوا بر روی دیافراگم بزرگ، این دیافراگم به سمت راست حرکت کرده و مسیر هوا را از سوراخ های تعبیه شده در بخش میانی و پلانجر به اتاقک تقسیم باز می نماید (هواگیری اتاقک تقسیم به صورت کمکی از طریق اوریفیس سوپاپ روانساز نیز انجام می شود). این هواگیری تا زمانی ادامه می یابد که فشار هوا در دو اتاقک اساسی و تقسیم برابر گردد. پس از هواگیری اتاقک تقسیم و از طریق مجرای موجود روی پوسته، که در زمان آزاد بودن ترمزها توسط پیستون اصلی باز می باشد، هواگیری اتاقک کاری نیز انجام می شود.

هم‌زمان با ورود هوا به اتاقک اساسی، شاخه ای از هوای لوله ای اصلی نیز به سمت سوپاپ تغذیه ی معکوس و به منظور هواگیری مخزن کمکی، جریان می‌یابد. به این ترتیب مخزن کمکی نیز هواگیری می‌شود.

۴-۶-۲-۲-۲- ترمزگیری

با کاهش فشار هوا در لوله ای اصلی، فشار هوا در اتاقک اساسی نیز کاهش می‌یابد. این کاهش فشار سبب بر هم خوردن تعادل دو طرف دیافراگم بزرگ گردیده و این دیافراگم به همراه قسمت میانی، به سمت چپ حرکت می‌کند. به این ترتیب هوای اتاقک تقسیم نیز از قسمت سه شیر تخلیه شده و در نتیجه تعادل هوا در دو طرف پیستون اصلی نیز بر هم می‌خورد. با به وجود آمدن این وضعیت، پیستون اصلی به همراه میله ی آن به سمت راست حرکت نموده و مسیر ارتباطی اتاقک تقسیم و اتاقک کاری را قطع می‌کند. در ادامه ی حرکت میله ی پیستون، مسیر ارتباطی لوله ای اصلی هوا و مخزن کمکی نیز قطع شده و با برخورد سوپاپ ترمز با جداری مجرای میانی پیستون تعادل، این سوپاپ باز شده و هوا از مخزن کمکی به سمت سیلندر ترمز جریان می‌یابد. روشن است که در اثر برخورد جداری مجرای میانی پیستون تعادل با غشای لاستیکی سوپاپ ترمز، ارتباط سیلندر ترمز با اتمسفر قطع می‌گردد. تغذیه ی سیلندر ترمز تا جایی ادامه پیدا می‌کند که نیروی وارده به پیستون تعادل از طرف هوای فشرده (که برابر با فشار هوای سیلندر ترمز نیز می‌باشد)، با نیروی فنر پیستون تعادل برابری کرده و آن را به عقب براند. در نتیجه تغذیه ی سیلندر ترمز قطع شده و عمل ترمزگیری متناسب با فشار تنظیم شده به وسیله ی دستگیره ی خالی/متوسط/باردار، تکمیل می‌شود.

۴-۶-۲-۲-۳- آزادسازی

اتفاقاتی که در زمان آزادسازی ترمز بعد از انجام عمل ترمز در سوپاپ سه قلو رخ می‌دهد، همانند حالت هواگیری می‌باشد. به این ترتیب که با افزایش فشار لوله ای اصلی هوا، دیافراگم بزرگ به سمت راست حرکت نموده و در نتیجه مسیر تخلیه ی اتاقک تقسیم بسته شده و هواگیری اتاقک تقسیم مجدداً از دو طریق ذکر

شده در بخش هواگیری، آغاز می شود. با افزایش تدریجی فشار هوای اتاقک تقسیم، پیستون اصلی نیز آرام آرام به سمت چپ حرکت نموده تا به محل اولیه ی خود باز می گردد. به این ترتیب سوپاپ ترمز از جداره ی مجرای میانی سوپاپ تعادل جدا شده، مسیر ارتباطی سیلندر ترمز و اتمسفر از طریق مجرای میانی باز می گردد. تغذیه ی سیلندر ترمز نیز قطع شده و با حرکت میله ی پیستون اصلی به سمت چپ، مسیر تغذیه ی مخزن کمکی از لوله ی اصلی هوا مجدداً برقرار می گردد. به این ترتیب سوپاپ سه قلو برای انجام عملیات ترمزگیری بعدی آماده می شود.

موارد ذکر شده در این فصل، مختصری بود راجع به اصول ترمزگیری آلات ناقله ریلی، انواع سیستم های ترمز، سیستم های ترمز قطار باری در ایران و مطالب دیگری که عنوان گردید. پر واضح است که مبحث ترمز بسیار پیچیده تر از این مختصر بوده و چنانچه تمایلی برای درک بیشتر پیچیدگی های ترمز وجود داشته باشد، با مراجعه به منابع ذکر شده در انتهای فصل می توان به آنها پاسخگو بود. امید است که این مختصر انگیزه ی آشنایی بیشتر با سیستم ترمز آلات ناقله ی ریلی را به وجود آورده باشد.

مراجع

- ۱- «مشخصات واگن های باری»، اداره کل واگن های باری، ۱۳۸۷
- ۲- محسن طلیعه نوری، «راهنمای فنی شناسائی قطعات بوژی H رومانی با قطر چرخ ۹۲۰ mm» ویرایش نخست، اداره کل واگن های باری.
- ۳- نقشه های قطعات و اجزای واگن های باری، آرشیو اداره کل واگن های باری.
- ۴- کاتالوگ قطعات یدکی بوژی سه تکه ۱۰۰-۱۸، آرشیو اداره کل واگن های باری.
- ۵- «مقررات عمومی حرکت»، راه آهن جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۸۱.
- ۶- «دستورالعمل جایگزینی کوپلینگ اتوماتیک»، آرشیو اداره کل واگن های باری.
- ۷- محمدعلی کامیار، «ترمز لکوموتیو و قطار»، مرکز آموزش عالی علمی کاربردی راه آهن، تهران، ۱۳۸۶.
- ۸- شرکت کنور، «اطلاعات جامع ترمز راه آهن با شرح آحاد و مختصات سیستم کنور»، ترجمه ی ناصر مجیدی فرد، مرکز آموزش عالی علمی کاربردی راه آهن، تهران، ۱۳۷۹.
- ۹- کامران هاشمی؛ غلامرضا آقاچانی، «شناسایی و بازرسی فنی واگن های باری با سیستم روسی»، مرکز آموزش عالی علمی کاربردی راه آهن، تهران، ۱۳۸۶.
- ۱۰- الف. ام. بابایف، «تجهیزات ترمز واگن های باری - ساختمان، طرز کار، بهره برداری و تعمیرات»، ترجمه ی رامین عافیت طلب، اداره کل واگن های باری، تهران، ۱۳۸۰.
- ۱۱- شرکت ترانس ماش روسیه، «شرایط فنی سوپاپ سه قلو ی ۴۸۳M»، کارخانه ترانس ماش، مسکو، ۱۹۹۸ میلادی.
- ۱۲- شرکت ترانس ماش روسیه، «برنامه ی آشنایی با روش های بهره برداری و تمیر سیستم ترمز واگن های باری روسی در ایران (اصول کلی)»، ترجمه ی اعظم آقاییگی، اداره کل واگن های باری، ۱۳۸۳.
- ۱۳- شرکت ترمز کنور، «شرح سوپاپ توزیع KE»، بخش ترمز ریلی شرکت ترمز کنور، ۱۹۹۳ میلادی.

14- UIC CODES NO. 520, 526-2, 829-4, 827-2.

15- “http://en.wikipedia.org/wiki/railroad_car”

16- “Official Railway Equipment Register“, Commonwealth Business Media, July 2002

17- “Tractive effort, acceleration and braking“, The Mathematical Association, 2004

18- Izumi Hasegawa and Seigo Uchida, “Braking systems“, Japan Railway & Transport Review 20, June 1999.

19- John Bently, “An Introduction to Train Brakes“, train-dynamic.com