



دانشگاه صنعتی شریف



هفتمین همایش حمل و نقل ریلی
۹ و ۱۰ اردیبهشت ماه ۱۳۸۲ - دانشگاه صنعتی شریف



انجمن مهندسی حمل و نقل
ریلی ایران

سیستم ترمز ترکیبی

عباس ایزدی، اداره کل نیروی کشش - گروه مطالعات

تلفن: ۵۱۲۲۵۷۲-۰۲۱، شماره: ۵۱۲۴۶۱۰-۰۲۱

چکیده:

استفاده همزمان از ترمز هوایی و دینامیک در لکوموتیوهای مسافری امروزه یک امر متداول می باشد. به دلیل مزایای این سیستم، مطالعاتی در این زمینه انجام شده که نتایج آن به طور مختصر در این مقاله آورده شده است. ابتدا سیستم ترمز ترکیبی (blending) و انواع آن تشریح شده و نوعی از این سیستم که با سیستم ترمز هوایی لکوموتیوهای ناوگان ایران تطابق دارد، بررسی و مدارهای پنوماتیکی آن آورده شده است. همچنین محاسبات ترمزی در حالت ترمز ترکیبی انجام و کاهش استفاده از ترمز هوایی در این حالت به صورت نمودار فشار، نشان داده شده است.

کلمات کلیدی: ترمز ترکیبی (blending)، ترمز دینامیک، ترمز هوایی (پنوماتیک)، 26-L، الکتروپنوماتیک

مقدمه:

وسایل نقلیه ریلی کشنده معمولاً به دو نوع سیستم ترمز هوایی مجهز هستند که این دو سیستم شامل ترمز اتوماتیک (قطار) و ترمز مستقل (لکوموتیو) می باشند. در کنار این دو سیستم ترمز اصلی، سیستم ترمز دینامیک بعنوان ترمز کمکی نقش مهمی در کنترل سرعت قطار داشته و خسارات ناشی از استفاده متوالی ترمز هوایی (درشیبها) را کاهش می دهد. ارتباط و وابستگی ترمز هوایی با ترمز دینامیک در وسایل کشنده حائز اهمیت می باشد. در اغلب لکوموتیوهای قدیمی مانند (لکوموتیوهای GM و GE ایران) این ارتباط از طریق کلید DBI انجام می شود. به این ترتیب که با انجام عمل ترمز دینامیک در لکوموتیو، ترمز هوایی لکوموتیو آزاد می شود. در واقع از طریق سوپاپهای DBI و آزاد سازی سریع سوپاپ کنترل، ترمز لکوموتیو تخلیه می گردد. از سال ۱۹۷۰، استفاده همزمان از ترمزهای هوایی و دینامیک در قطارهای مسافری و متروها به صورت گسترده مطرح شد. اصطلاح ترمز ترکیبی (blending) به همین معنی تلقی می گردد.

انواع سیستم ترمز ترکیبی :

بسته به مشخصات نیروی ترمز دینامیک بر حسب سرعت ، وزن وسیله ریلی و همچنین تعداد محورهایی که دارای موتور می باشند ، انواع مختلف ترمز ترکیبی مورد استفاده قرار می گیرد :

۱- ترمز ترکیبی با عملکرد محدود (programmed Blending):

این ساده ترین نوع ترمز ترکیبی است . زمانی که حداکثر نیروی ترمزی مورد نیاز در یک دامنه سرعت به نیروی ترمز دینامیک نزدیک باشد ، این نوع سیستم استفاده می گردد . در این حالت به محض رسیدن جریان ترمز دینامیک به یک مقدار پایین (رسیدن نیروی ترمز دینامیک به مقدار ماکزیمم) ترمز هوایی به یک مقدار مینیمم تقلیل خواهد یافت . در واقع در یک محدوده خاص از سرعت عمل ترمز ترکیبی انجام خواهد گرفت .

۲- ترمز ترکیبی پیوسته (Continuos Blending) :

در سرعتهای بالا نیروی ترمز دینامیک نمی تواند ماکزیمم نیروی ترمز مورد نیاز را تأمین نماید . و نیاز به استفاده از ترمز هوایی نیز خواهد بود . به این معنا که با توجه به بخشهای مختلف منحنی ترمز دینامیک بر حسب سرعت شکل (۱) ، میزان استفاده از ترمز هوایی متغیر خواهد بود .

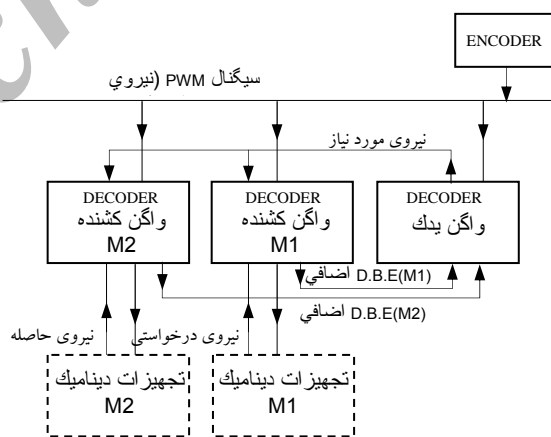
۳- ترمز ترکیبی مشترک (sharing or cross blending) :

در سیستم های قطارهای شهری و مترو که هر رام قطار شامل یک مجموعه واگن متشکل از واگنهای کشنده و یدک می باشند مورد استفاده قرار می گیرد .

در این حالت معمولاً میزان نیروی ترمز دینامیک کشندهها از میزان نیروی مورد نیاز خود واگن بیشتر می باشد و توسط سیستم ترمز ترکیبی امکان استفاده از این نیروی اضافی برای واگن یدک فراهم می شود .

اغلب سیستم ترمز قطارهای شهری و مترو از نوع الکتروپنیوماتیک EP بوده و واگنهای مجهز به سیستم

پردازشگر DECODER می باشند که عمل ترمز ترکیبی نیز توسط این المان پردازش می شود . (شکل ۲)



شکل ۲- شماتیک ترمز ترکیبی اشتراکی

ترمز دینامیک = D.B.

سیگنال نیروی ترمز دینامیک = D.B.E

تشریح سیستم ترمز ترکیبی هماهنگ با سیستم ترمز لکوموتیوهای ناوگان

سیستم ترمز ترکیبی برای لکوموتیوها از نوع پیوسته می‌باشد. با توجه به اینکه سیستم ترمز موجود بر روی لکوموتیوهای ایران (L-۲۶) و از نوع مکانیکی - پنیوماتیکی است، سیستم ترمز ترکیبی برای این نوع ترمز طراحی شده است در این مقاله تشریح می‌گردد. لازم به ذکر است که منطق تمامی سیستم های ترکیبی یکسان و مشابه است.

اجزاء کنترل ترمز ترکیبی:

این سیستم که در لکوموتیوهای EMD-2 تعبیه شده، شامل دو بخش اصلی است.

بخش اول ماژول الکترونیکی است که ارتباط بین ترمز هوایی و دینامیک را برقرار می‌کند این ماژول به ماژول DA معروف می‌باشد.

بخش دوم تجهیزات مورد نیاز بر روی سیستم ترمز هوایی می‌باشد. ترمز هوایی موجود بر روی لکوموتیوها (L-۲۶) است که بایستی المانهای زیر به آن اضافه شود:

ترنسدیوسر (call) PTCA

ترنسدیوسر (نیروی ترمز هوایی) PTBC

مگنت والو نگهدارنده MVH

مگنت والو آزاد سازی MVR

سوئیچ فشاری اضطراری EPS

سوپاپ رله ۲۵ psi H-5

مگنت والو لغزش چرخ MVSR

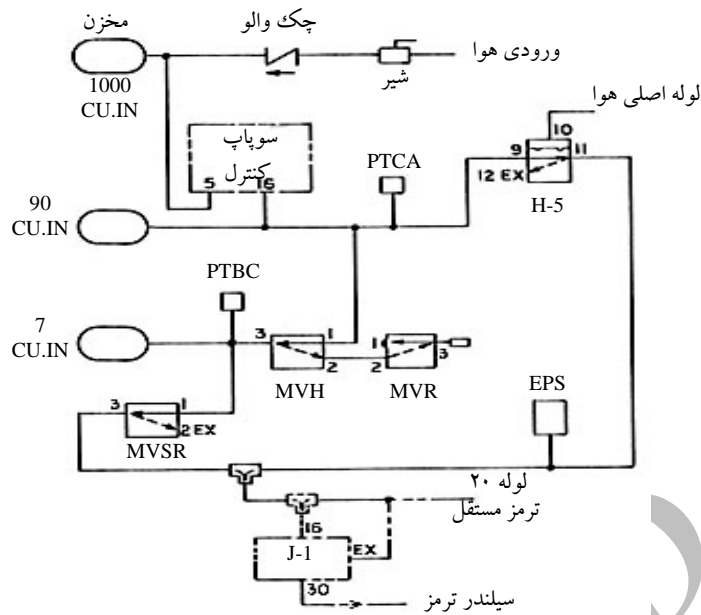
عملکرد:

زمان انجام عمل ترمز اتوماتیک (قطار) توسط سوپاپ (C-۲۶) فشار لوله اصلی بسته موقعیت دسته کاهش می‌یابد.

با کاهش فشار لوله اصلی قطار عمل ترمز در واگنها توسط سوپاپ توزیع (سه قلو) انجام می‌گیرد. در خود لکوموتیو نیز سوپاپ کنترل (D-۲۶) با کاهش فشار لوله اصلی (۱) تحریک شده و بسته به میزان کاهش فشار لوله اصلی، فشار خروجی لوله (۱۶) افزایش می‌یابد. لوله (۱۶) باعث تحریک سوپاپ رله (J-1) شده و راه ورود هوا به سیلندر ترمز را باز می‌کند. میزان فشار سیلندر ترمز تابع فشار لوله (۱۶) سوپاپ کنترل می‌باشد. در حالت ترمز ترکیبی (blending) که مدار ترمز هوایی آن مطابق شکل (۳) می‌باشد.

با کاهش فشار لوله اصلی قطار و افزایش فشار لوله (۱۶) ترنسدیوسر فشار PTCA این فشار را بعنوان ورودی دریافت کرده و یک سیگنال برقی به ماژول الکترونیکی DA می‌فرستد. این ترنسدیوسر تحت عنوان call نامیده می‌شود.

۳ ثانیه بعد از رسیدن این سیگنال به ماژول، ترمز دینامیکی توسط این ماژول فعال شده و بطور همزمان با انجام عمل ترمز هوایی وارد عمل می‌شود.



شکل ۳- شمای مدار پنوماتیکی سیستم ترمز ترکیبی

عملکرد ماژول DA بر مبنای استفاده حداکثر از نیروی ترمز دینامیک می باشد. به این ترتیب که میزان نیروی ترمزی درخواست شده از مجموع حداکثر نیروی ترمز دینامیک و حداقل نیروی ترمز هوایی توسط ماژول DA تأمین می گردد.

ترنسدیوسر، PTBC سیگنال نیروی ترمز هوایی را به ماژول DA می فرستد و دو عدد مگنت MVR و MVH وظیفه تنظیم فشار سیلندر ترمز را به عهده دارند.

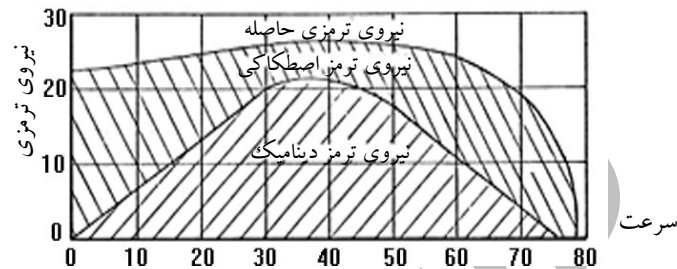
همانطوریکه میدانیم، نیروی ترمز دینامیک تابع سرعت می باشد، بنابراین فشار سیلندر ترمز نیز توسط ماژول DA و مگنت های تعبیه شده طوری تغییر می کند که میزان نیروی ترمزی بطور کامل تأمین شود. مگنت MVSr زمانی که سر خوردن چرخ اتفاق بیفتد فعال شده و هوا را تخلیه می نماید در حالیکه ترمز دینامیک همزمان فعال خواهد بود. اگر بنا به هر دلیلی فشار لوله اصلی بیشتر از ۲۵ psi (فشار ترمز کامل) کاهش یابد، فشار لوله ۱۶ مستقیماً وارد سوپاپ رله خواهد شد و ماکزیمم ترمز هوایی انجام خواهد شد.

در سیستم های ترمز جدید (الکترونیکی و میکرو پروسوسوری) اجزاء فوق الذکر برای انجام ترمز ترکیبی مورد نیاز نبوده و انجام آن بمراتب ساده تر می باشد. البته منطق کار یکسان خواهد بود. در واقع در این حالت نیازی به ابزار و امکانات سخت افزاری نخواهد بود و با یک برنامه ریزی نرم افزاری می توان عمل ترکیب ترمز هوایی و دینامیک را انجام داد.

در لکوموتیو آلستوم (AD43C) از آنجا که سیستم ترمز از نوع الکتروپنوماتیکی بوده و لکوموتیو مجهز به تجهیزات الکترونیکی و... می باشد، با برنامه ریزی MPU امکان استفاده از ترمز ترکیبی فراهم می گردد. در واقع در این حالت برنامه ریزی MPU کار ماژول DA (فعال کردن ترمز دینامیک و تنظیم فشار سیلندر ترمز) را انجام خواهد داد.

مزایا استفاده از ترمز ترکیبی :

نیروی ترمزی مورد نیاز در حالت استفاده از ترمز ترکیبی در شکل (۴) نشان داده شده است . همانطوریکه در نمودار مشخص است در حالت ترمز ترکیبی میزان استفاده از نیروی ترمز هوایی به مراتب کمتر خواهد بود . این عمل منجر به کاهش خرابی اجزاء ترمز اصطکاکی (سیلندر ترمز - اهرم بندی - چرخ) و بخصوص کاهش چشمگیر مصرف کفشک خواهد گردید . علاوه بر اینکه با انجام عمل ترمز ترکیبی میتوان ، نیروی ترمزی بالاتر و ایمنی بهتری در لکوموتیو دست یافت .



شکل ۴- منحنی نیروی ترمزی در حالت ترمز ترکیبی بر حسب سرعت

در هنگام ترمز ترکیبی همانطوریکه در شکل (۴) نشان داده شده است ، منحنی نیروی ترمزی بر حسب سرعت بصورت تقریباً ثابت در می آید و این پدیده از قفل شدن چرخها در سرعتهای پایین (بدلیل نیروی ترمز بالا) و افزایش مسافت ترمز (خط ترمز) در سرعتهای بالا (بدلیل نیروی ترمز پایین) جلوگیری می کند .

محاسبات برای لکوموتیو GM

مشخصات ترمزی لکوموتیو GT 26 :

(clasp) ۲۴ عدد = تعداد کفشک

۸ × ۸ = سیلندر ترمز

۱۲ = تعداد سیلندر

۵/۷۵ = سیلندر / نسبت اهرم بندی

۰/۹۴ = μ بازده اهرم بندی

کفشکها از نوع چدنی بوده بنابراین تابع ضریب اصطکاک کفشک بر حسب سرعت معادل :

$$\mu = 0.32 \frac{v + 100}{5v + 100} \quad (1)$$

با توجه به مفاهیم فوق در حالت ترمز کامل ($p = 3.8 \text{ bar}$) مجموع نیروی ترمزی لکوموتیو برابر

$$F = p.A.i.n.\mu \quad (2)$$

$$F = 79927.73\mu$$

که تابع سرعت می باشد .

همچنین با توجه به منحنی نیروی ترمز دینامیک بر حسب سرعت لکوموتیو GM روابط زیر صادق است .

$$F_{dynamic} = \begin{cases} 483v & v \leq 37 \text{ km/h} \\ 599400/v & v \geq 37 \text{ km/h} \end{cases} \quad (3)$$

با توجه به روابط ۲ و ۳ فشار سیلندر ترمز در حالت استفاده همزمان از ترمز هوایی و دینامیک به شکل زیر

$$P_{cy} = \frac{F - F_{dynamic}}{F} * 3.8$$

حاصل می گردد:

$$\text{اگر } v \leq 37 \text{ km/h}$$

$$P_{cy} = \frac{(5840 - 41.6V - 5V^2)}{15.4(V + 100)}$$

در این ناحیه از سرعت با افزایش سرعت لکوموتیو ، نیروی ترمز دینامیک افزایش یافته در نتیجه فشار سیلندر ترمز تا حد صفر کاهش می یابد .

$$\text{اگر } V \leq 37$$

$$P = \frac{(V^2 - 17V - 2340)}{V(V + 100)} * 3.8$$

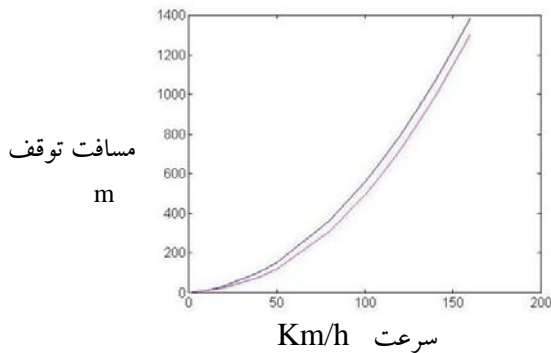
در این ناحیه با افزایش سرعت ، نیروی ترمز دینامیک کاهش می یابد . بنابراین فشار سیلندر ترمز با افزایش سرعت از صفر تا حد ۲ بار افزایش می یابد .

منحنی تغییرات فشار سیلندر ترمز در حالت ترمز کامل بر حسب سرعت در وضعیت ترمز ترکیبی مطابق منحنی (۵) می باشد .

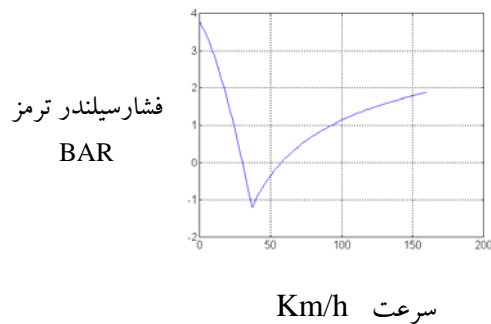
همانطوری که مشاهده می شود در یک محدوده وسیعی از سرعت (۳۵ تا ۶۰) فشار سیلندر ترمز صفر خواهد شد . در اکثر محدوده های سرعتی فشار سیلندر ترمز کمتر از ۲ بار خواهد بود .

محاسبه مسافت توقف لکوموتیو :

برای محاسبه مسافت توقف لکوموتیو از روش تقسیم فاصله زمانی استفاده شده است . با برنامه نویسی مسافت توقف در دو حالت ترمز هوایی و ترمز ترکیبی محاسبه شده و منحنی مسافت توقف بر حسب زمان مطابق نمودار (۶) حاصل شده است .

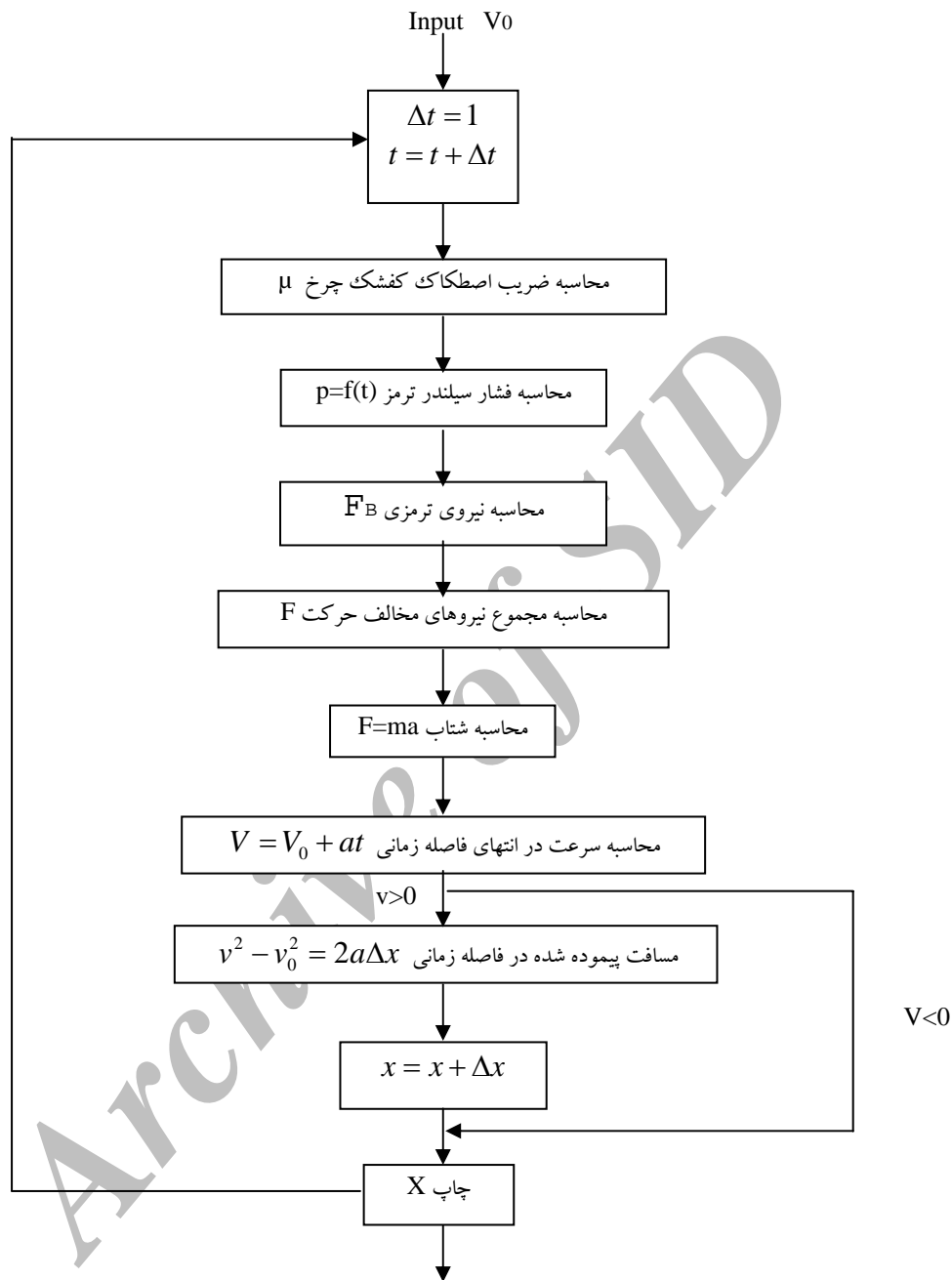


شکل ۶- منحنی مسافت توقف بر حسب سرعت



شکل ۵- منحنی تغییرات فشار سیلندر ترمز

فلوچارت برنامه مسافت توقف بشرح زیر می باشد:



نتیجه گیری

- ۱- با نصب سیستم ترمز ترکیبی استفاده از ترمز هوایی بطور قابل توجهی محدود شده که در منحنی فشار سیلندر ترمز مشهود می باشد.
- ۲- با کاهش استفاده از ترمز هوایی نرخ خرابی اجزای اصطکاکی سیستم ترمز (چرخ ، اهرم بندی ، سیلندر ترمز و کفشک و ...) بمراتب کاهش خواهد یافت.
- ۳- استفاده از ترمز ترکیبی در کاهش مسافت توقف موثر بوده و بنابراین سیستم را ایمن تر می نماید.

۴- با استفاده از ترمز ترکیبی شتاب ترمزی به سمت یک تابع ثابت میل نموده و این امر منجر به کاهش نیروهای طولی در قطار میگردد.

۵- منطق ترمز ترکیبی برای انواع سیستم ترمز یکسان می باشد. در لکوموتیوهای GM بدلیل مکانیکی پنیوماتیکی بودن سیستم نیاز به یک ماجول الکترونیکی جهت ارتباط ترمز های هوایی و دینامیک می باشد. در لکوموتیو آلستوم بدلیل داشتن سیستم کنترلی قویتر و سیستم ترمز الکتروپنیوماتیکی انجام عمل ترمز ترکیبی با برنامه ریزی MPU امکان پذیر است.

پیشنهاد میشود که همانگونه که نصب سیستم ترمز ترکیبی بر روی لکوموتیو GM در حال تدارک می باشد، همزمان نصب این سیستم بر روی لکوموتیو آلستوم برنامه ریزی گردد. اقتصادی بودن انجام این طرح پس از نصب نمونه و تحلیل آماری خرابی اجزای اصطکاکی قابل بررسی است.

۶- در خریدهای آتی ناوگان مسافری نصب این سیستم بر روی لکوموتیوها از سازندگان درخواست گردد.

مراجع :

[1] " E.P brak systems and their interaction with dynamic brakes", E . F . williams, westing house brake and signal ltd.

[2] Web page Rail Road . net - shope Notes- Locomotive Blended braking by claude Gaudet .

[3] " L locomotive air brake equipment" . WABCO , 1984

[4] iran locomotive braking ratio, GM coroporation, A.H.Juhlin

[5] locomotive service manual, dynamic brake

[6] - طراحی ترمز قطارها ، دانشکده مهندسی راه آهن ، ایزدی

Surf and download all data from SID.ir: www.SID.ir

Translate via STRS.ir: www.STRS.ir

Follow our scientific posts via our Blog: www.sid.ir/blog

Use our educational service (Courses, Workshops, Videos and etc.) via Workshop: www.sid.ir/workshop