

اصول مهندسی راه آهن

تئوری و کاربرد

استاد جناب آقای

دکتر مهید فر

مباحث درس:

✓ فصل ۲: سیستم خط آهن

✓ فصل ۵: ریل

✓ فصل ۶: تراورس ها و پایانه ها

✓ فصل ۷: بالا ست

فصل ۸: طرح مهندسی خط آهن

■ عناوین و موضوعات پروژه:

۱. بررسی انواع سیستم های سریع السیر راه آهن بین شهری در جهان
۲. بررسی انواع سیستم های پیشرفته ریلی شدن در جهان
 $\left. \begin{array}{l} \text{مترو} \\ \text{مونوریل} \\ LRT \end{array} \right\}$
۳. بررسی انواع ایستگاه های راه آهن بین شهری
۴. بررسی انواع ایستگاه های راه آهن داخل شهری
۵. بررسی انواع ریل ها در روسازی راه آهن
۶. بررسی انواع تراورس در روسازی راه آهن
۷. مطالعات و بررسی انواع واگن های باری و مسافری در راه آهن بین شهری
۸. مطالعه و ارزیابی خطوط بدون بالادست
۹. مطالعه و بررسی انواع لکوموتیوها و سایر کشنده ها در راه آهن بین شهری
۱۰. بررسی انواع ناوگان سیستم های ریلی شده مترو، *LRT*، تراموا و مونوریل
۱۱. نحوه ی برآورد تقاضای سفر سیستم حمل و نقل ریلی، روش های سنتی، مدل سازی
۱۲. بررسی انواع روش های ایجاد جذابیت جهت افزایش سهم حمل و نقل ریلی از سایر موردها
۱۳. بررسی انواع سیستم های مونوریل در شهرهای جهان به لحاظ ظرفیت، هزینه ی ساخت و تکنولوژی
۱۴. بررسی انواع سیستم های *LRT*، مترو، تراموا

۱۵. بررسی انواع قطاهاى مغناطیسی در راه آهن بین شهری

۱۶. بررسی انواع دستگاه هاى (TBM) در خطوط راه آهن

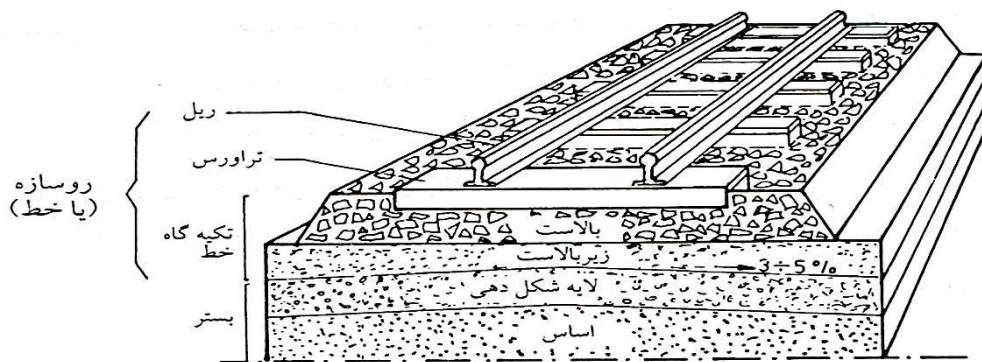
فصل اول: سیستم خط آهن

جزء اول: روسازی خط یا خط آهن

جزء دوم: بستر خط آهن

برای زیر بالاست از مصالح رودخانه ای هم می توان استفاده کرد چون نیاز به مقاومت بالایی

ندارد.



سیستم خط - بستر

■ وظایف اجزای خط آهن:

- ریل: نگه داشتن چرخ قطار و هدایت آن در مسیر مشخص
 - تراورس: تثبیت عرض خط یا نگهداری فاصله جانبی ریل ها از یکدیگر، انتقال بار چرخ قطار به لایه بالاست و توزیع آن بر روی بالاست. (طول تراورس 2.5 تا 2.8 متر است)
 - بالاست: (۱) کاهش ارتعاشان تأثیر از حرکت قطار
(۲) زه کشی و تخلیه روان آبی سطحی - توزیع مناسب بارها
سنگ شکسته
- در موارد استثنایی می تواند شن هم باشند.

• **زیر بالاست:** ← جلوگیری از نفوذ سنگدانه های بالاست به لایه فوقانی بالاست.

شن و ماسه تکمیل فرآیند زه کشی و تخلیه رواناب سطحی - توزیع بهتر بارهای خارجی و

تسریع عمل زهکشی آب باران

• **لایه شکل دهی:** زمانی استفاده می شود که مصالح اساس دارای کیفیت مناسبی نباشد.

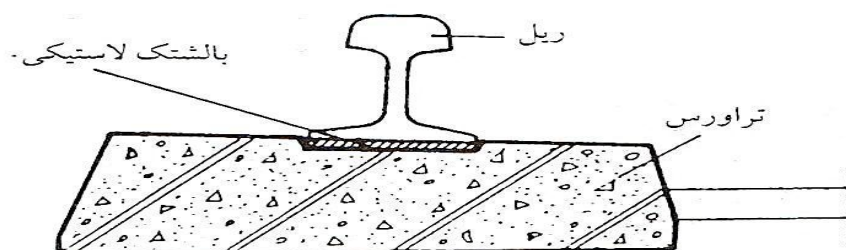
• **اساس:** اگر خط در طول یک ترانشه بنا شده باشد شامل همان خاک محل است و در حالتی

که ریل بر روی خاکریز نباشد، باید از خاکهای متصل شده به محل ساخته می شود.

• **تعریف بستر:** لایه ای است که تا ۲ متری زیر سطح فوقانی آن، اغتشاشات ناشی از حرکت

قطار حس می شود.

■ جزئیات قرارگیری ریل بر روی تراورس:



بالشتک لاستیکی بین ریل و تراورس

بالشتک ارتجاعی بین ریل و تراورس قرار می گیرد تا ارتعاشات قطار را بیش تر کاهش دهد و

معمولاً ضخامت آن بین ۹mm تا ۴.۵mm است.

بالشتک پلاستیکی: ← جذب انرژی ناشی از حرکت قطار

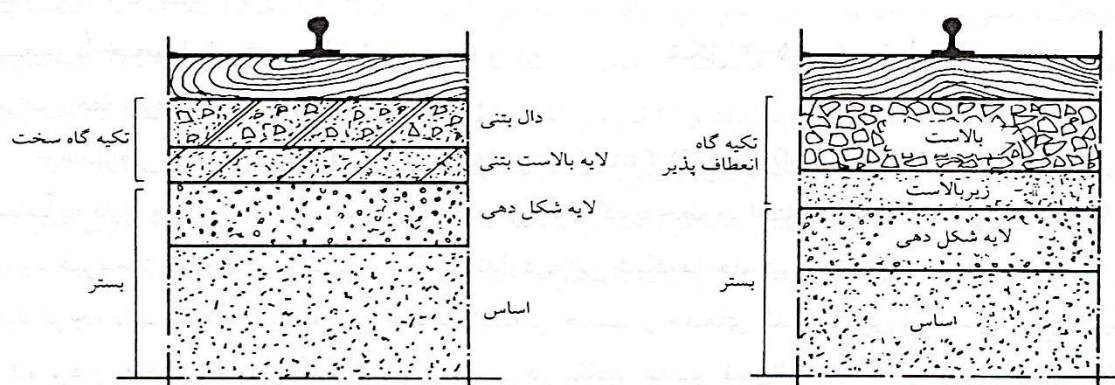
عایق بودن

- ترتیب لایه های مختلف در سیستم خط به گونه ای است که با رفتن به لایه های پایین تر افزایش تدریجی در مساحت و کاهش تنش های وارده را خواهیم داشت.

■ خطوط بدون بالاست (خط آهن صلب):

خط با دال بتنی:

سطح مقطع کوچکتر/ در تونل ها کاربرد دارد/ تعمیر و نگهداری تسهیل می یابد/ بالاست ترجیح داده می شود. زیرا: انعطاف پذیر/ هزینه اجرایی کم/ مقاومت جانبی رضایت بخشی در سرعت بالا.



ب - خط با دال بتنی

الف - خط با بالاست

خط با بالاست و خط با دال بتنی

■ عرض خط:

در قوس هایی با شعاع انحنای کمتر از 400 mm، جهت راحتی حرکت وسایل نقلیه و کاهش سایدگی چرخ و ریل افزایش طول خط الزامی است.

فاصله ی بین وجوه داخلی دو ریل که 14mm پایین تر از سطح خارج اندازه گیری می شود عرض خط است.

■ عرض خط باریک : 782 mm

■ عرض خط استاندارد: $e = 1435\text{ mm}$

برای رسیدن به ابعاد بهینه مورد استفاده قرار می گیرد. حداکثر انحراف $e = 1/435$ از حدود $3 - 10\text{ mm}$ است.

■ عرض خط متریک : 1000 mm معمولاً خطوط فرعی براساس عرض خط متریک اجرا می گردد.

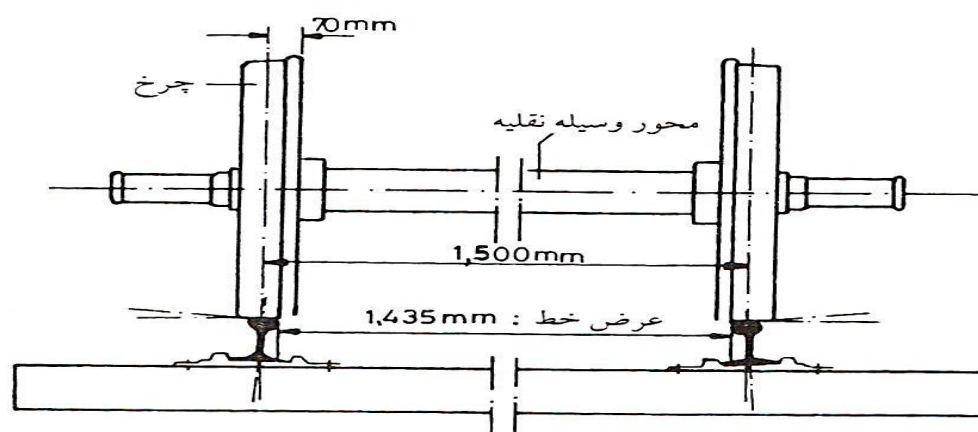
1067 mm

■ عرض خط پهن: اسپانیا 1672 mm به زمان جنگ جهانی دوم برمی گردد. به منظور جلوگیری از

ورود قطارهای اروپایی به داخل کشورهای کمونیست.

روسیه 1524 mm

کاملاً مجاز از استاندارد تا از ورود قطارهای غیرمجاز با عرض خط استاندارد جلوگیری کند.



عرض خط

■ بار محوری و بار ترافیکی:

۲ عامل بحرانی در ایجاد خستگی

بار قائم چرخ قطار $\rightarrow P = 2Q$ بار محوری

• **مقادیر مختلف بار محوری:** (بسته به تجهیزات خط و نوع بهره برداری (باری، مسافری)

الف) حداکثر بار محوری 16 تن

ب) حداکثر بار محوری 18 تن

بیشتر به ۴ نزدیک است

$$F = Q^n \quad 3 < n < 4 \quad \text{خستگی}$$

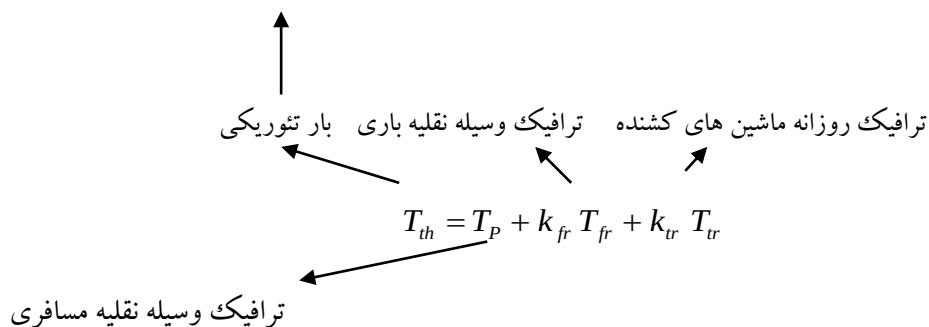
ج) حداکثر بار محوری 20 تن با افزایش بار محوری به منظور کاهش هزینه به خصوص حمل و

نقل بار به گروه (د) تبدیل می شود.

د) حداکثر بار محوری 22.5 تن

■ بار ترافیکی:

αQ^n تنش وارد بر ریل



$$T = S \cdot T_{th} \rightarrow \text{بار ترافیکی خط}$$

T_p : ترافیک روزانه وسایل نقلیه مسافری

T_{fr} : ترافیک روزانه وسایل نقلیه باری

$$1.15: T_{fr_1} \text{ و } 1.40 = ktr$$

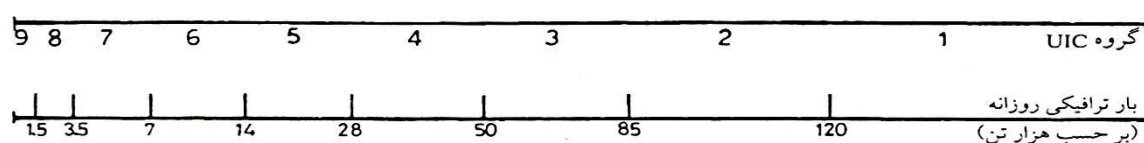
$S=1$: برای خطوط بدون ترافیک مسافری

$S=1.1$: برای خطوط با ترافیک مختلط $U_{\max} < 120 \text{ km/h}$

$S=1.2$: برای خطوط با ترافیک مختلط $120 < U_{\max} < 140$

$S=1.25$: برای خطوط با ترافیک مختلط $U_{\max} > 140$

$PVC \leftarrow$ واحد وسیله نقلیه مسافری



تقسیم بندی خطوط راه آهن در گروههای UIC بر طبق بار ترافیکی روزانه

صفحه ی ۴۴ شکل ۲-۶ (گروه بندی خطوط راه بر مبنای بار ترافیک)

گروه ۱- UIC $T > 120000 \text{ Ton/day}$

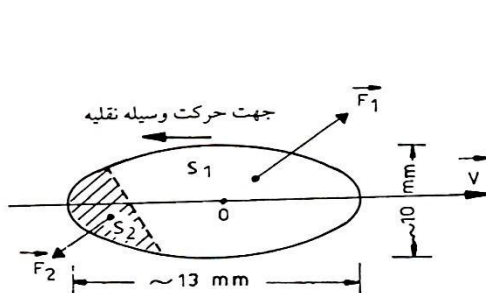
گروه ۲- UIC $58000 < T < 120000$

⋮

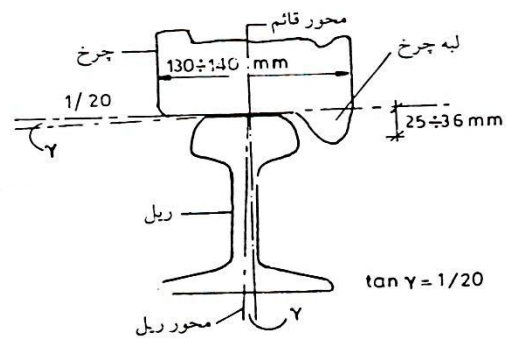
گروه ۹ $T < 1500$

تماس ریل و چرخ قطار:

اساسی ترین مشخصه وسایل نقلیه ریلی این است که در حرکت چرخ ها به وسیله دو ریل هدایت می شود. مؤلفه افق تمایل دارد ریل را واژگون کند که به عنوان یک نقطه ضعف در خط آهن مدنظر است.

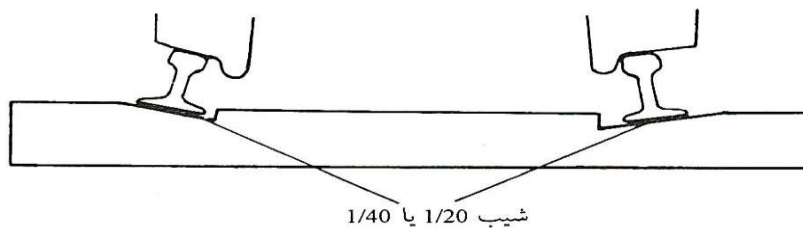


جزئیات سطح تماس ریل - چرخ



تماس چرخ - ریل

راه حل: به منظور حذف مؤلفه ی افقی که تمایل به واژگونی ریل دارد. خود پروفیل ریل بر روی تراورس با همان مقدار شیب ($\frac{1}{20}$ یا $\frac{1}{40}$) قرار داده می شود.



شیب کارگزاری ریل بر روی تراورس

سطح تماس چرخ ریلی را می توان به دو سطح S_1 و S_2 تقسیم نمود که ابعاد آنها به سرعت وسیله نقلیه بستگی داشته و در هر ک اثرات متفاوتی رخ می دهد به این ترتیب مقاومت حرکتی وسیله

نقلیه شامل دو مؤلفه F_1 و F_2 خواهد بود که به ترتیب به سطوح S_1 و S_2 بستگی داشته و در جهت های مخالف اثر می کنند.

نیروی F_1 به دلیل حرکت وسیله ی نقلیه ایجاد می شود یعنی مبنای سینماتیکی دارد.

نیروی F_2 به دلیل تغییر شکل ارتجاعی سطح S_2 ایجاد می شند یعنی مبنای ارتجاعی دارد.

همچنانکه سرعت افزایش می یابد S_1 بزرگتر شده و به تناسبیر کوچکتر می شود در سرعت های بالا S_2 تغییر نموده و تا حد صفر کاهش می یابد.

✓ مقاومت حرکتی وسیله ی نقلیه بر اصطکاک دینامیکی منطبق می شود هرگاه $S_2 = 0$

در سرعت بالا $U > 250 \text{ km/h}$

برای سرعت های بالا

قانون کولمپ

$$F = F_1 + F_2 \quad \rightarrow \quad F = \phi = \mu Q$$

↙
0

F : نیروی محرک

ϕ : اصطکاک وسیله نقلیه (دینامیکی)

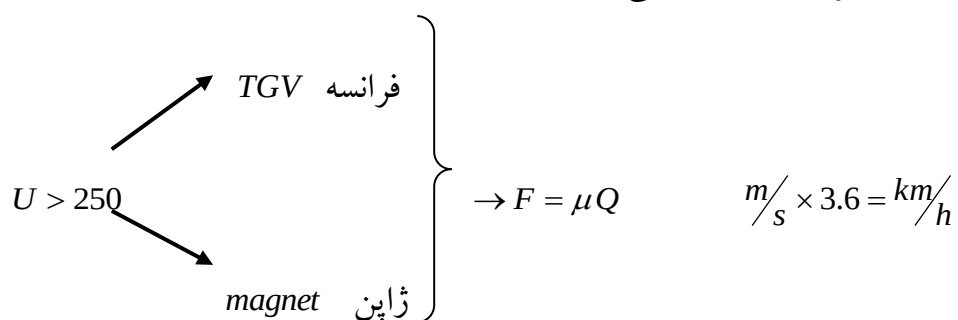
$$U > 250 \rightarrow S_2 = 0$$

μ : ضریب اصطکاک

S_1 کل سطح بیضی

Q : بار قائم چرخ

محاسبه نیروی F کاملاً به سرعت قطار بستگی دارد.



در سرعت های کم $\leftarrow$ سرعت لغزش u و $F = fU$ و $U < 80 \frac{km}{h}$ سرعت کم $\xrightarrow{\text{سرعت کم}}$

ضریب تناسب

سرعت پیشروی

شعاع چرخ

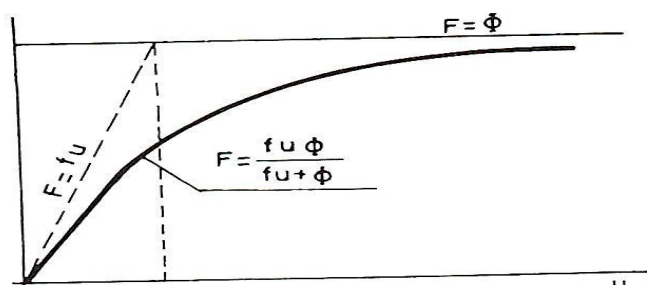
$$U = \frac{2\pi R}{T}$$

زمان کلی یک دور کامل

سرعت پیشروی: مدت زمان لازم برای طی یک دور حرکت چرخ قطار

سرعت متوسط $\rightarrow$

$$80 < U < 250 \rightarrow F = \frac{f u Q}{f u + \phi} \text{ و } \phi = \mu Q$$



نیروی جلوبرنده در سرعت های متوسط

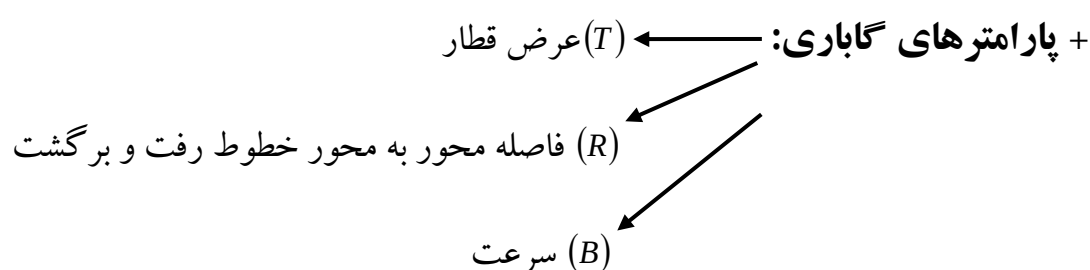
■ گابری: Load gavage

عبارت است از مرز خارجی مورد نیاز در اطراف وسیله نقلیه ریکی که باید خالی بماند. (حداقل

مرز خارجی)

+ **گابری استاتیکی:** حاشیه خارجی لازم که در هنگام توقف قطار باید خالی بماند.

+ **گابری دینامیکی:** حاشیه ی خارجی لازم که در هنگام حرکت قطار باید خالی بماند.

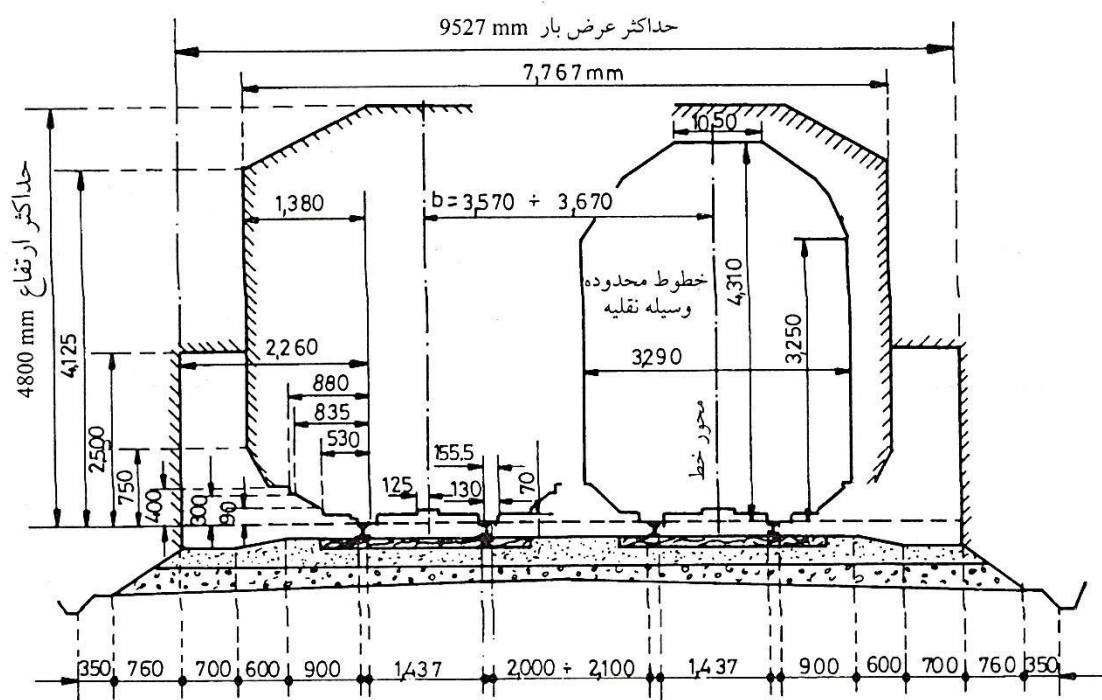


اگر سرعت زیاد شود به دلیل افزایش حرکت جانبی قطار گابری ↑

اگر عرض قطار زیاد نشود ← گابری ↑

گابری در فضای بسته مثل تونل استفاده می شود.

قطارهای ترانزیتی اولویت ۱، مسافربری اولویت ۲، قطارهای باری اولویت ۳ هستند.



گاباری در قطار با سرعت کم و متوسط (مطابق با دستورالعمل ۵۰۵ از UIC)

■ فصل ۵: ریل

فوقانی ترین قسمت خط آهن را ریل ها تشکیل می دهند.

نسل اول ← ریل قاشقی

جایی استفاده می شود که سطح تماس ریل و آسفالت با هم همتراز است.

نسل دوم ← ریل دو قارچی متقارن - کله گاوی - دو کله

برای افزایش سطح تنش و کاهش میزان تنش ریل های نسل سوم ساخته شدند.

چون سطح کم است و سطح تنش کم می شود در نتیجه میزان تنش ها بالاست.

R70 ← ریلی که وزن کل *gard* از طولش 70 پوند است.

$$1 \text{ gard} = 3 \text{ fl} = 0.9 \text{ m}$$

$$1 \text{ lb} = 0.454 \text{ kg}$$

بار روزانه خط (تن)	کمتر از 25000 تن	25000 تا 35000 تن	بیش از 35000
وزن وارد طول ریل	50 kg/m	تراورس 50 kg/m	تراورس بتن 60 kg/m
	UIC 60	تراورس بتنی 60 kg/m	

■ عناصر تشکیل دهنده ی فلز ریل:

کربن: افزایش مقاومت در برابر سایش، درصد وزن فولاد 0.4 – 0.6% (بیش از این حد ترد می شود).

منگنز: افزایش مقاومت فشاری و پایداری، درصد وزن فولاد 0.3 – 0.8%

کرم: افزایش سختی – افزایش شکل پذیری، درصد وزن فولاد 2 – 2.5%

■ انواع فولاد ریل به لحاظ مقاومت:

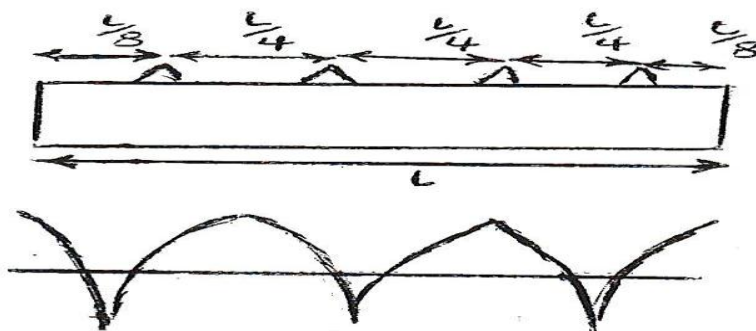
(۱) فولاد با درجه معمولی GB 8.

$$F_y = 70 - 90 \text{ kg/mm}^2 \quad \text{یا} \quad 7000 - 9000 \text{ kg/cm}^2$$

(۲) فولاد با درجه سخت GA : در قوس ها و مسیرهای منحنی استفاده می شود.

$$F_y = 90 - 120 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{یا} \quad 9000 - 12000 \text{ kg/cm}^2$$

■ نحوه ی حمل و نقل ریلی:



اولین قلاب در فاصله ی $\frac{l}{8}$. آخرین قلاب در فاصله $\frac{l}{8}$

قلاب های وسط در فاصله $\frac{l}{4}$

■ تحلیل تنش های ایجاد شده در ریل:

(۱) تنش های فشاری (هترند) (در نقطه تماس ریل و چرخ)

(۲) تنش های خمشی ریل بر روی بالاست و تراورس

(۳) تنش های خمشی قارچ ریل روی جان ریل.

(۴) تنش های حرارتی

(۵) تنش های خمیری (پس از برداشتن بار خارجی نیز باقی می ماند)

تنش های فشاری (هترند)

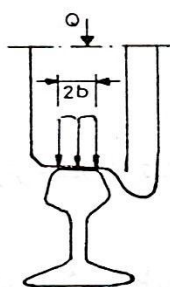
$$\left(\frac{kg}{cm^2} \right) E$$

$Q \leftarrow$ بار قائم چرخ (N)

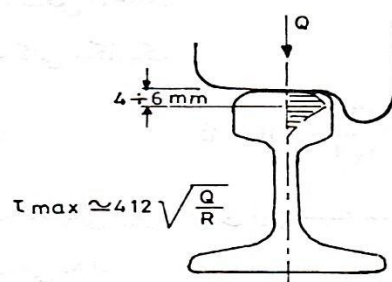
$R \leftarrow$ شعاع چرخ (mm)

$$\delta_{\mu} = \sqrt{\frac{\Pi E}{64(1+V^2)}} \cdot \frac{Q}{\pi b} \quad b \leftarrow \text{نصف عرض سطح تماس ریل و چرخ (mm)}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{if : } E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 \\ \nu = 0.3 \\ b = 6 \text{ mm} \end{array} \right\} \rightarrow \delta_{\mu} = 1374 \sqrt{\frac{Q}{R}} \Rightarrow \tau_{\max} = 412 \sqrt{\frac{Q}{R}}$$



تنشهای سطح تماس ریل و چرخ
بر اساس فرضیه آیزنمن



تنشهای برشی در سطح تماس ریل و چرخ

■ محلی که تنش برشی حداکثر در ریل اتفاق می افتد برابر است با فاصله ی نصف عرض سطح

ریل و چرخ قطار از محل سطح قارچ ریل. وقتی به جان ریل برسیم تنش برشی از بین رفته و صفر می شود.

در واقع حداکثر تنش برشی در عمق ۴-۶ میلی متری از سطح غلتان (حرکتی) به وجود می آید.

+ تنش های خمشی ریل روی بالاست و تراورس:

زیر بار، وسط فاصله $\delta_{\max} \rightarrow Q_1$ بار در حد واصل دو تراورس $\delta t_{\max}$

روی تراورس $\delta_{\max} \rightarrow Q_2$ در فاصله ی $\frac{l}{3}$ تراورس. ریل را می توان با شبیه سازی به صورت

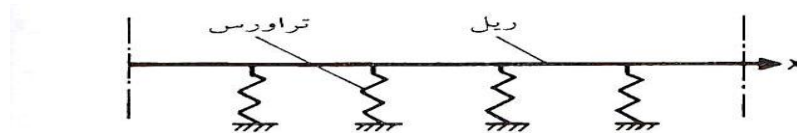
یک تیر پیوسته روی تکیه گاه های ارتجاعی مدل سازی نمود.

نشست ریل $Q = kz$: بار چرخ قائم

$$EI \frac{d^4 U}{dx^4} + kU = 0$$

نشست ریل یا تغییر شکل فنر

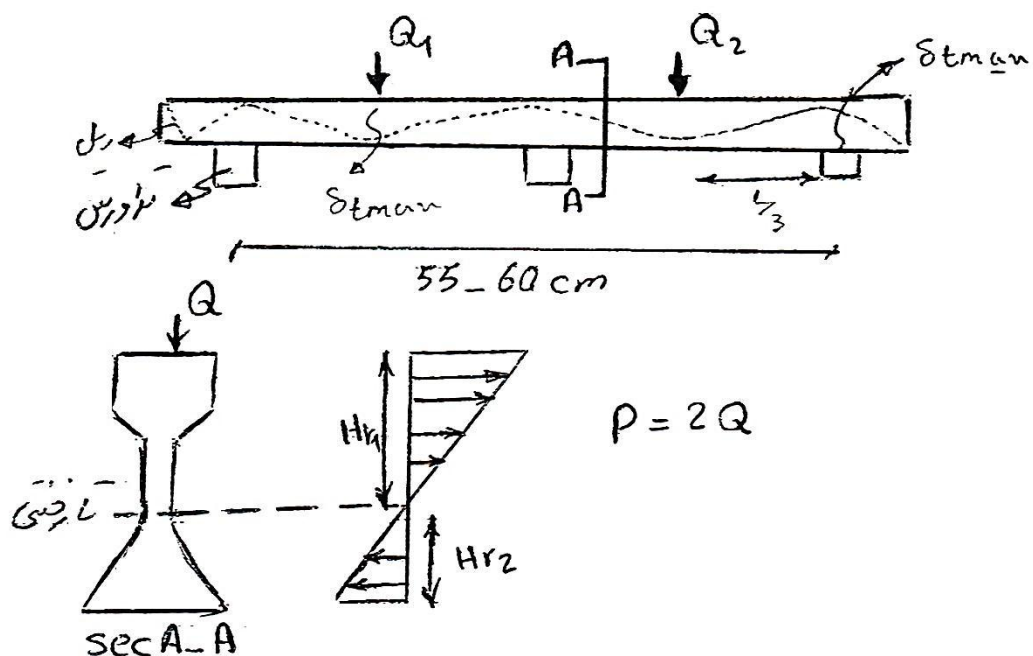
معادله ی کلی مکانیک: $EI \frac{d^4 U}{dx^4} + kU = 0$



شبیه سازی ریل برای محاسبه تنشهای خمشی

فاصله ی بین امتداد حرکت قطار و بار خنثی

$$^* \delta_b = \frac{Q(h_r - Z)}{4r_r I_r} e^{-\gamma_r x} (\sin \gamma_r x - \cos \gamma_r x)$$



$$^* \gamma_r = \sqrt[4]{\frac{k}{4 EI_r}} \quad \begin{array}{l} \nearrow \text{شاخص خطا} \\ \nearrow \text{شاخص لاغری} \end{array}$$

$$^* r = \frac{Q}{A} \quad \begin{array}{l} \nearrow \text{بار قائم} \\ \rightarrow \text{سطح تماس} \end{array}$$

x : فاصله از بار خنثی

Q : بار قائم یک چرخ

Z : نشست ریل (mm)

I_r : ممان اینرسی در جهت قائم (cm^4)

H_r : فاصله بین امتداد حرکت قطار و تار خنثی ریل

k : شاخص خطا $k = \frac{r}{Z}$

γ_r : شاخص لاغری

r : مقدار بار گسترده چرخ روی ریل (N/mm)

$$^* k = \frac{r}{Z} \quad \begin{array}{l} \nearrow \text{بار گسترده} \\ \searrow \text{نشست} \end{array}$$

اگر از δ_b مشتق بگیریم و برابر صفر قرار دهیم x یعنی بیش ترین فاصله از تار خنثی بدست می

آید.

+ تنش های خمشی قارچ ریل روی جان ریل:

$$m = Q \cdot x$$

m : لنگر خمشی ناشی از خروج از مرکزی چرخ قطار

فاصله از تار خمشی

$$^* \delta_b = \frac{Q(h_C - Z)}{4\gamma_r I_C} e^{-\gamma_C x} (\sin \gamma_C x - \cos \gamma_C x)$$

$$^* \gamma_C = \sqrt[4]{\frac{I_C}{4}}$$

δ_b : تنش خمشی

I_C : ممان اینرسی قارچ ریل

h_C : فاصله بین امتداد حرکتی قطار و تار خمشی قارچ ریل

x : فاصله از تار خمشی

+ تنش های ناشی از اثرات حرارتی:

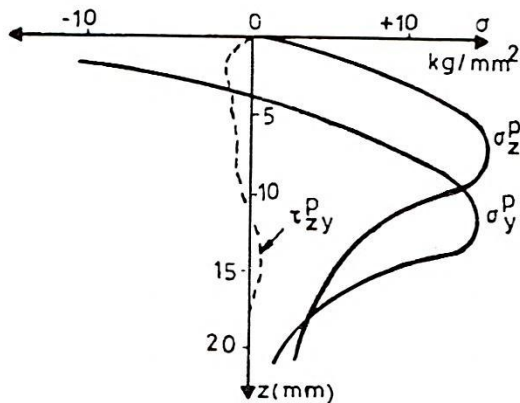
اختلاف حرارت در دو انتهای ریل

$$^* \delta_{th} = \alpha \cdot E \cdot \Delta \theta$$

$$\left. \begin{array}{l} ^* \alpha = 1.1 \times 10^{-5} \text{ } 1/0_C \\ ^* E = 2.1 \times 10^6 \text{ } kg/cm^2 \end{array} \right\} ^* E \cdot \alpha = 1.1 \times 10 \times 2.1 = 23.1$$

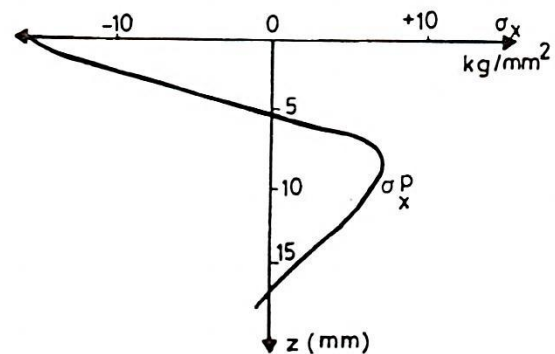
+ تنش های خمیری یا پسماند: (صفحه ۱۱۶)

پس از بار برداری در داخل ریل باقی مانده و از بین نمی رود.



تنشهای خمیری جانبی

$\sigma_z^p, \sigma_y^p, \tau_{xy}$ در صفحه تقارن ریل



تنشهای خمیری طولی σ_x^p در

صفحه تقارن ریل

■ خرابی های ریل:

خرابی های ریل به خاطر نواقص اولیه در ساخت ریل بوده و ماهیت مکانیکی و ویرانگرانه دارد و در بسیاری از موارد غیرقابل برگشت اند.

✓ ناپیوستگی هایی که موجب ایجاد خستگی در ریل می شود.

✓ تغییر خواص مکانیکی ریل به دلیل عبور و مرور زیاد قطار

■ خرابی خط:

میزان انحراف مقادیر مشخصات مهندسی ریل از مقادیر اولیه یعنی (طراحی) را اصطلاحاً خرابی خط گویند.

■ انواع عیوب ریل:

(۱) تاب برداشتن یا کمانش ریل

علت اصلی شل شدن محل اتصال در درز انقطاع است.

(۲) پوسته پوسته شدن سطح ریل

علت: ۱. زنگ زدگی ۲. ذوردگی

(۳) امواج ریل یا موج برداشتن ریل:

+ امواج گام بلند: معمولاً در قطارهای باری ایجاد می شود چون سرعت کم است.

مخصوص قطارهای سنگین با سرعت کم است.

+ امواج گام کوتاه: مخصوص قطارهای مسافری با سرعت زیاد و فرکانس زیاد.

گسیختگی ریل Rail Fracture :

+ ترک های عرضی } در حدفاصل تراورس ها: در محل بال تحتانی
در روی تراورس: در محل بال فوقانی

+ ترک های طولی: در راستای ریل به دلیل تنش خمشی قارچ ریل روی جان ریل (ترک

های موجود در جان ریل هم طولی هستند).

(۵) سایش

۱. افتادگی انتهای ریل:

$$t < 2\text{ mm}$$

$$2 < t < 3\text{ mm}$$

زمان هشدار (ریل باید عوض شود) $t > 3\text{ mm} \rightarrow$

۲. سایش قائم: *verlical wear*

حد مجاز سایش قائم در کشور انگلستان براساس حداکثر سرعت مجاز طبق جدول (صفحه ۱۲۷)

حداکثر سایش مجاز قائم در ریل (mm)	حداکثر سرعت مجاز km/h
9	بیش از 160
12	120 – 160
15	80 – 120
18	< 80

حد مجاز سایش قائم در کشور آلمان براساس بار ترافیکی سالیانه (صفحه ۱۲۷)

حداکثر سایش مجاز قائم (mm)	نوع خطا
12	بار سالیانه بیش از 19 میلیون تن یا بار روزانه بیش از 25 هزار تن
20	بار سالیانه بیش از 1.5 میلیون تن یا بار روزانه بین 20000 تا 25000 تن
26	محور سالیانه بیش از 7.5 میلیون تن

۳. سایش جانبی:

از نقطه ی شروع شیب 3 mm بالا رفته و یک خط با زاویه ی 26° به محور ریل وصل می کنیم.

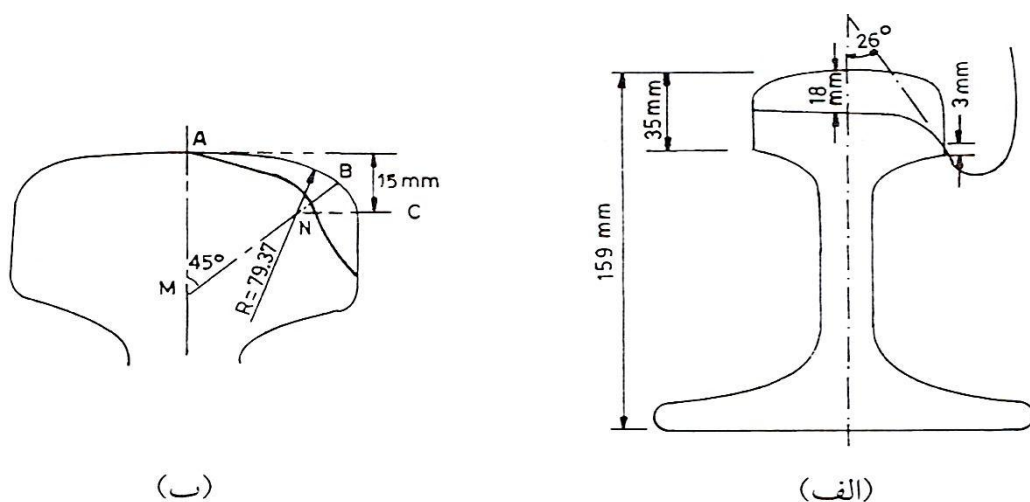
■ معیار تعیین سایش جانبی در کشور آلمان (براساس بار ترافیکی)

• از محور ریل یک زاویه 45° درجه و یک خط افقی رسم می شود که یک سر آن را به نقطه ی

شروع شیب و یک سر آن به بالای نقطه محور وصل می کنیم.

• در واقع مرکز جرم قارچ ریل مشخص شد یک زاویه 45° درجه می کشیم از بالای 15 mm ریل

پایین آمده و خط افقی وصل می کنیم (محل تقاطع = مرکز جرم)



حداکثر مجاز سایش جانبی ریل طبق راه آهن: (الف) انگلیس، (ب) آلمان

■ تهیه عمر بهینه ی ریل *Optiom life*

نحوه ی تعیین هزینه ی عمر ریل:

(۱) هزینه ی تعمیر و نگهداری

(۲) هزینه از ریل خارج شدن

(۳) ارزش یا قیمت ریل

(۴) کل هزینه منهای هزینه خروج از خط (3+1)

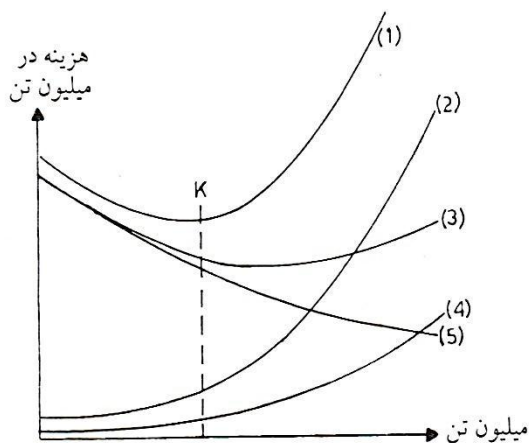
(۵) کل هزینه ها (1+2+3)

$$k = \frac{k_1 + k_2}{2} \text{ عمر بهینه ریل}$$

UIC 60 ← 40 سال در خط اصلی

60 سال در خط فرعی

● عمر خدمت اول (خطوط اصلی):	۲۴ سال
● عمر خدمت دوم (خطوط فرعی):	۳۲ سال
● عمر خدمت سوم (خطوط دیگر):	۳۸ سال
کل عمر خدمت:	۹۴ سال



- (۱) کل هزینه
- (۲) هزینه از ریل خارج شدن
- (۳) کل هزینه بجز هزینه از ریل خارج شدن
- (۴) هزینه تعمیر و سایش
- (۵) قیمت ریلها

عمر بهینه ریل

■ ریل های یکپارچه جوشکاری شده: (C.w.r) *continus welded rail*

اختلاف درجه حرارت محیط

$$\Delta L_{\Delta} \theta = \alpha \cdot L \cdot \Delta \theta$$

تغییرات طول ناشی از تغییرات درجه حرارت

$$\alpha = 1.1 \times 10^{-5} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$$

$$E = 2.1 \times 10^6 \text{ مدول الاستیته}$$

F: نیروی ناشی از بالاست

$$\Delta L_F = \frac{F \cdot L}{E \cdot S} \text{ قانون هوکا}$$

ناشی از بالا بسته

L: طول ریل

$$\Delta L_{\theta} = \Delta L_F \text{ نیروی ناشی از بالاست جهت رسیدن به تعادل}$$

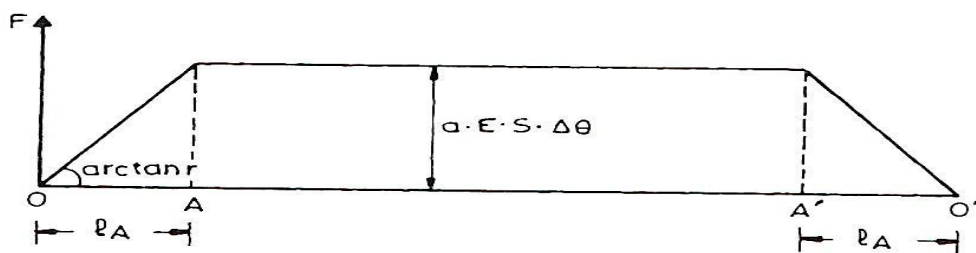
S: سطح مقطع مؤثر (cm^2)

$$\alpha \cdot L \cdot \Delta \theta = \frac{F \cdot L}{E \cdot S} \Rightarrow F = \alpha \cdot E \cdot S \cdot \Delta \theta \rightarrow$$

نیروی ناشی از بالاست به طول ریل بستگی ندارد.

+ نحوه ی توزیع نیروی ناشی از بالاست در طول ریل

در دو انتها به دلیل عدم و برد اتصال مقدار نیرو صفر است.



نمودار نیروهای تولید شده در ریل (C.w.r) O', O

(دو سر ریل)

ناحیه ی انبساطی: به ناحیه ای اطلاق می شود که تغییرات ناشی از درجه حرارت از تغییرات

ناشی از نیروی بالاست بیش تر است.

طول ناحیه انبساطی

$$L_{\min} = 2L_A \text{ حداقل طول ریل C.w.r}$$

$$\tan \alpha = r = \frac{F}{L_A} \text{ : مقاومت ناشی از بالاست}$$

:Ex

$$UIC 45 \rightarrow F = 1.6 \text{ ton/}^\circ C$$

$$UIC 60 \rightarrow F = 1.85 \text{ ton/}^\circ C$$

$$UIC 60 \quad \text{و} \quad r = 0.75 \text{ t/m} \quad \text{و} \quad S = 76.86 \text{ cm}^2 \quad \text{و} \quad \Delta\theta = 35^\circ C \quad L_A = ?$$

$$F = \alpha \cdot E \cdot S \cdot \Delta\theta = 1.11 \times 10^{-5} \times 2.1 \times 10^6 \times 76.86 \times 35 = 1.1 \times 10 \times 2.1 \times 76.86 \times 35 \rightarrow$$

$$F = 62.141 \text{ ton}$$

$$\rightarrow r = \frac{F}{L_A} \rightarrow 0.75 = \frac{62.141}{L_A} \rightarrow L_A = 82.85 \text{ m} \quad L_{\min} = 2 \times 83 = 166 \text{ m}$$

+ ریلهای C . w . r

$$^* r = \frac{F}{L_A} \qquad ^* L_A = \frac{F}{r} = \frac{\alpha E S \Delta\theta}{r}$$

$$^* \Delta L_{L_A}^{\Delta\theta} = \alpha L_A \Delta\theta \quad \text{تغییر طول ناشی از تغییر درجه حرارت در ناحیه انبساطی}$$

تغییر طول ناشی از نیروی بالاست در ناحیه انبساطی

ناشی از مقاومت
↗

$$\Delta L_{L_A}^F = \frac{F' L_A}{E \cdot S} = \frac{F L_A}{2 E S} \rightarrow \frac{r L_A^2}{2 E \cdot S} = \frac{r \alpha^2 E^2 S^2 \Delta\theta^2}{2 r^2 E S} = \frac{\alpha^2 E S \Delta\theta^2}{2 r} \rightarrow$$

$$* \Delta L_{L_A}^{\Delta \theta} = \frac{\infty^2 E S \cdot \Delta \theta^2}{2 r}$$

$$** \Delta L_{L_A}^{ton} = \frac{\infty^2 E \cdot S \Delta \theta^2}{r} = \frac{\infty^2 E \cdot S \Delta \theta^2}{2 r} = \frac{\infty^2 E \cdot S \Delta \theta^2}{2 r} = k \Delta \theta^2 \quad k = \frac{\infty^2 E \cdot S}{2 r}$$

میزان k بستگی به نوع بالاست در ناحیه انبساطی

و نوع ریل مورد استفاده دارد.

■ جوشکاری ریلها : Rail Welding

(۱) جوشکاری قوس الکتریکی : Arc Welding

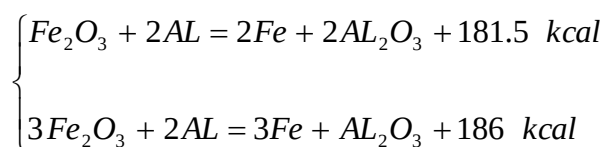
در ریلها رایج نیست. کیفیت قوس ترد است و در عبور قطارهای سنگین جواب نمی دهد.

(۲) جوشکاری با گاز استیلن ← منسوخ شده

(۳) جوشکاری حرارتی - ترمیت

رایج ترین نوع ← فلز ریل از اکسید آن توسط آلومینیوم احیا می شود. جوشکاری یکنواخت تر و

تنش پسماند کمتر.



(۴) جوشکاری نقطه ای Spol Welding ← (مورد استفاده قرار می گیرد)

جوشکاری به واسطه ی مقاومت ریل های در حال جوشکاری در مقابل عبور جریان الکتریسته از

خود انجام می شود.

(روش های تنش زدایی خوانده شود ← کتاب)

فصل ۶: تراورس ها و اتصالات

+ وظایف تراورس ها :

۱. انتقال بار از ریل به بالاست.
۲. تأمین قرارگیری ریل به صورت مایل (با شیب تا در تراورس بتنی)
۳. پایداری افقی و عمودی خط آهن
۴. حفظ عرض خط یا فاصله ی جانبی ریل ها از یکدیگر
۵. استفاده از تراورس های عایق در خطوط برقی (مثل تراموا)

+ انواع تراورس :

۱) تراورس چوبی *Wooden Sleeper* : شکل ۶-۴ صفحه ی ۱۴۶

استفاده از آن منسوخ شده اما در ایران تولید می شود. ← برای عرض خط استاندارد با ابعاد متعادل استفاده می شود.

مزایا:

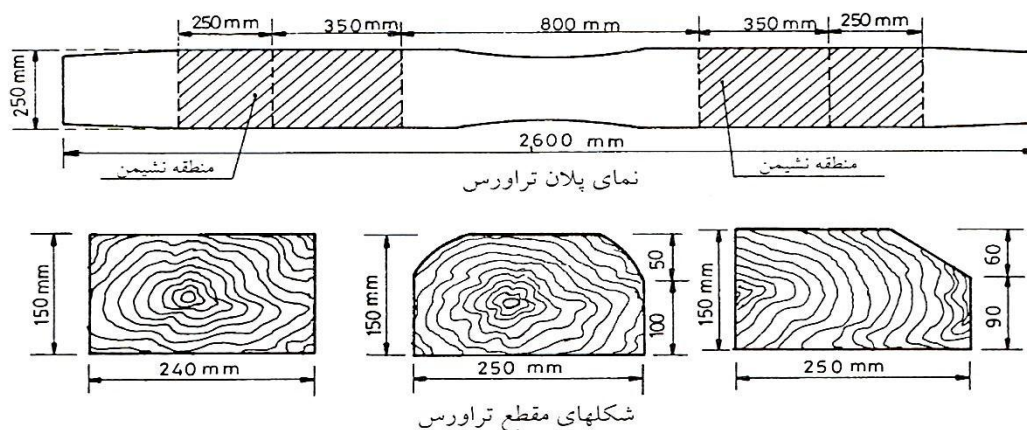
انعطاف پذیری - تغییر شکل مناسب در مقابل با قطار

معایب:

قابلیت اشتغال - عدم حفظ مناسب عرض خط

۱. تراورس چوبی ← کم دوام - صنوبر - نارون، کاج (عمر مفید بین ۱۵-۱۲ سال)

← بادوام - ساج - بلوط - راش (عمر مفید بین ۳۰-۲۰ سال)



خصوصیات هندسی (برحسب میلیمتر) تراورسهای چوبی برای
عرض خط استاندارد

+ شاخص ترکیب تراورس (CSI)

منحنی عمومی مقاومت عمومی شاخص ترکیب تراورس

$$(CSI) \quad CSI = \frac{S + 10 H}{20}$$

S: مقاومت عمومی الوار در 12% رطوبت طبیعی

H: سختی عمومی الوار در 12% رطوبت طبیعی

حداقل CSI

محل استفاده تراورس

پل 1435

صفحه ی ۲۳۷ (انواع شکل های چلیپا)

چلیپا 1352

خط 783

+ تعیین تعداد تراورس مورد نیاز: (در واحد طول خط آهن)

معمولاً فاصله ی تراورس ها ثابت است (بین ۵۵-۶۰ cm)

$$M = \frac{N}{Z} \times (1.6936 \times L + k)$$

عدد ثابت طول واحد ریل تعداد ریل ها تعداد تراورس مورد نیاز

$$N = \frac{1000}{L} \times 2$$

N : تعداد ریل ها در هر کیلومتر خط آهن در دو طرف

k : عدد ثابت که به عرض خط آهن بستگی دارد.

عرض خط متریک

1000 ←

1067 ←

$k = 3 \leftarrow$ و $L = \text{طول واحد ریل}$

عرض استاندارد 1435 ← $k = 4$ صفحه ی ۱۴۸- شکل ۶-۶

عرض خط پهن

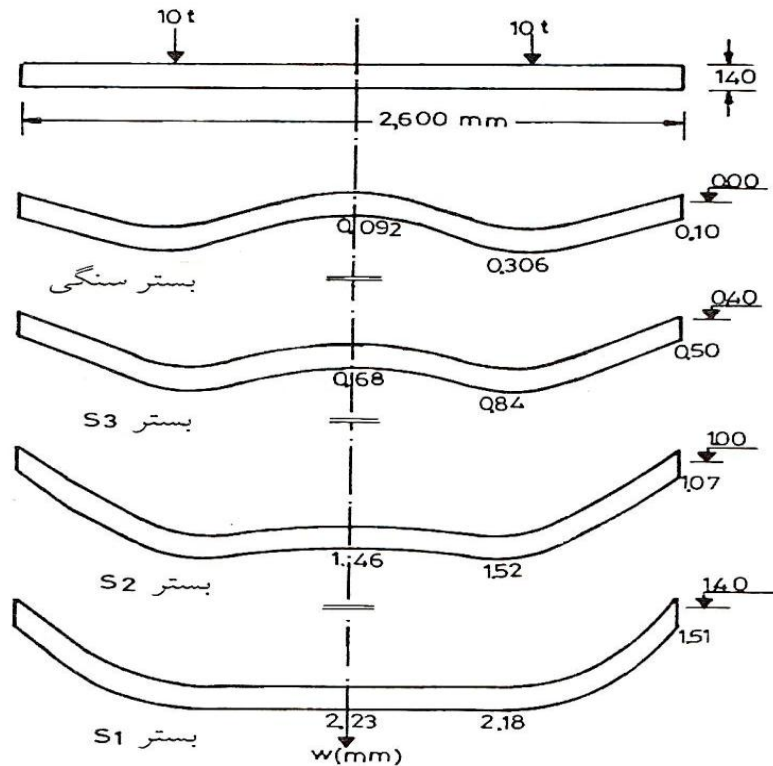
1524 ←

1672 ←

$k = 7 \leftarrow$

هرچه به سمت بستر ضعیف می رویم باید ضخامت بالاست را افزایش دهیم.

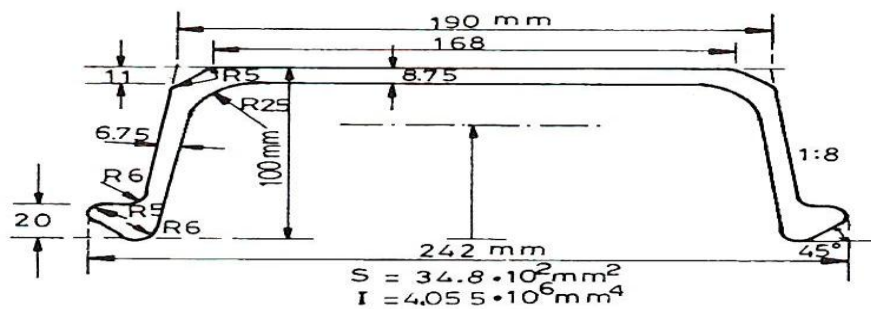
جدول ۱-۳ صفحه ی ۶۵



تغییر شکل تراورسهای چوبی برای انواع
کیفیت بستر

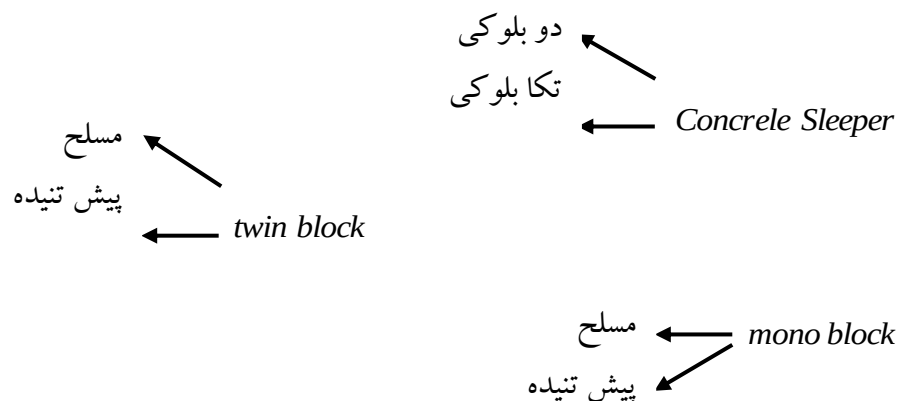
۲. تراورس های فولادی:

نوع دوقلو عمر مفید ۳۰-۶۰ سال (میانگین ۵۰ سال)

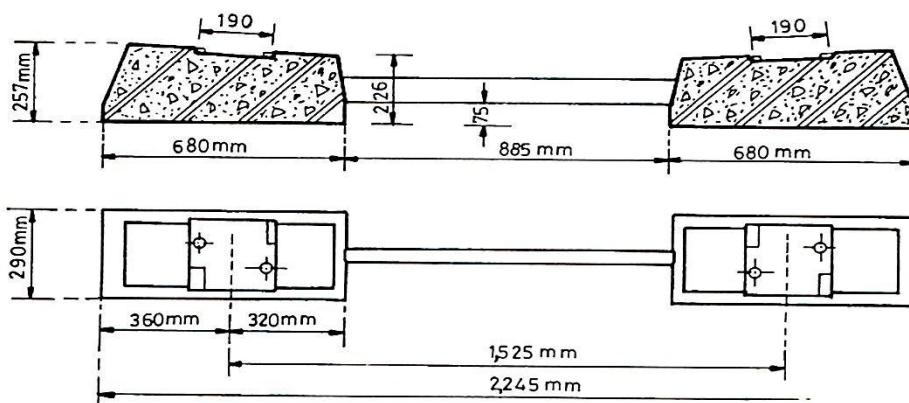


سطح مقطع بهینه تراورسهای فولادی
توسط طراحی به کمک کامپیوتر، CAD (ابعاد
بر حسب میلیمتر)

۳. تراورس های بتنی:



• تراورس های دو بلوکی برای سرعت های زیر 200 km/h



تراورس بتن مسلح دوبلوکی U-31 راه آهن فرانسه، که در خطوط گروه 3, 4, 5 UIC
بکار می رود

معایب:

میله ی فلزی وسط باعث می شود که یکی از بلوک ها تحت بار قائم بیش تر باشد و نشتی بیش

تری داشته باشد برای رفع این مشکل یک صفحه ی فلزی سرتاسری تراورس ها پیچ

می شود.

• تراورس های دو بلوکی برای سرعت های بیش از 200 km/h

موارد استفاده: این نوع از تراورس ها در جاهایی که عرض خط یا فاصله ی خطوط رفت و برگشت زیاد است و سرعت حرکت قطار و حرکت جانبی قطار زیاد است.

+ تراورس های **دوبلوکی** برای سرعت های بیش از 200 km/h ← *TGV* فرانسه
← *moglen* مغناطیسی

+ تراورس **تک بلوکی** :

(در کشور ما بیش تر استفاده می شود که استاندارد آن شبیه آلمان است.)

جدول ۱-۶ صفحه ی ۱۵۴

چون قسمت پایین تحت تنش بیش تری است پس باید گسترده تر باشد. ارتفاع قسمت ۱ از قسمت ۲ بیش تر است به علت شیب. در قسمت هایی که عرض خط بیش تر است قطارهای سنگین تری عبور می کند.

جدول ۲-۶ صفحه ی ۱۵۴

بار چرخ قائم قطار $p = 2q$ بار محوری

m_{cr} : حداکثر لنگر بحرانی m_{max} : میزان حداکثر لنگر خمشی مجاز

اگر در هر مقطع بزیم میزان حداکثر تنش بدست می آید.

بحرانی

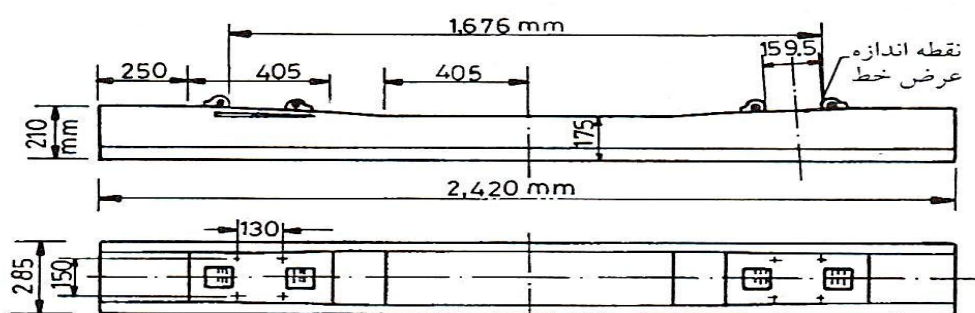
$$\delta^* = \frac{m_c}{I}$$

$$\lambda = \frac{m_{cr}}{m_{max}} \rightarrow \text{ضریب اطمینان} > 1$$

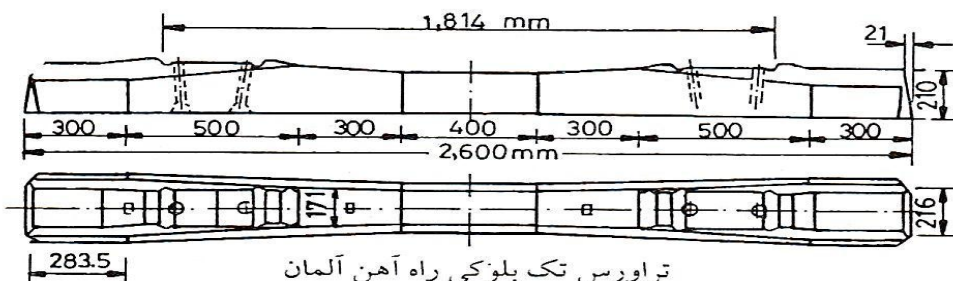
ضریب اطمینان همیشه بزرگتر از 1 است اما کوچکتر از 1 بود یعنی نسبت به عکس را گرفته اند.

$$\frac{m_{max}}{m_{cr}}$$

عمر مفید تراورس های بتنی ۵۰ سال است.



تِراورس تک بلوکی راه آهن انگلیس



تِراورسهای تک بلوکی راه آهن آلمان

تِراورسهای تک بلوکی راه آهن انگلیس و آلمان

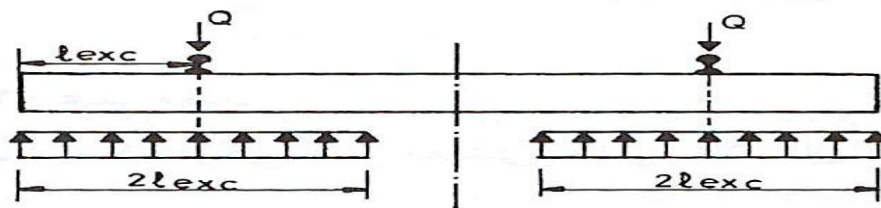
■ تنش های زیر تراورس:

رفتار تراورس دقیقاً مانند یک فونداسیون نواری است.

در تراورس های دوبلوکی فرض می شود هیچ تنشی به وسط تراورس وارد نمی شود.

$$Q = 2 L_{exc} \times q \rightarrow q = \frac{Q}{2 L_{exc}}$$

: بار قائم چرخ قطار



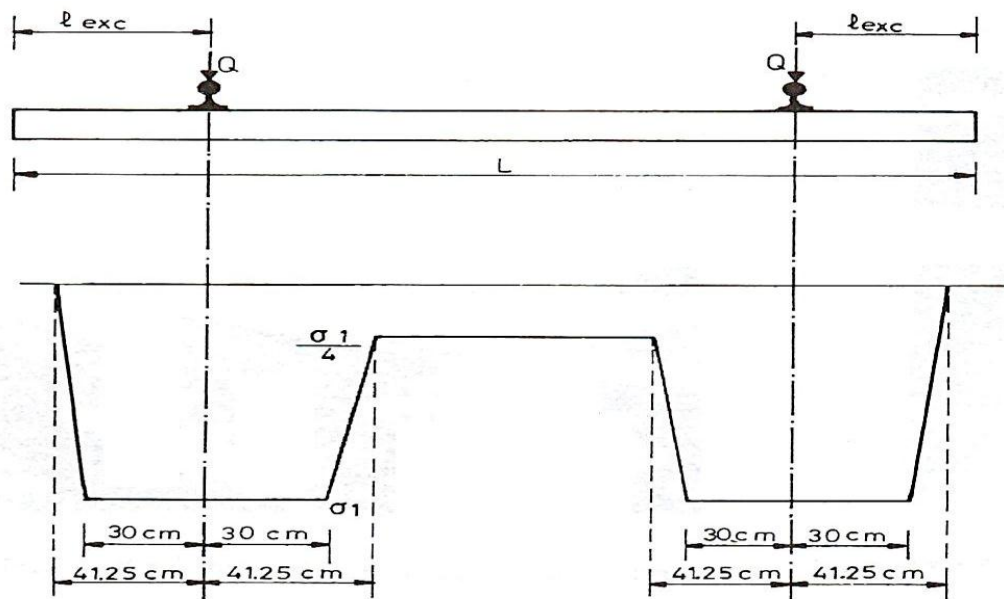
مدل ساده شده تراورس

+ تراورس تک بلوکی:

عرض خط $\nearrow$ طول کل $\nwarrow$

$$L_{exc} = \frac{L - 150 \text{ cm}}{2}$$

(فاصله محور به محور دو ریل)



توزیع تنش زیر تراورس

بار محوری

$$\delta_1^* = \frac{P}{\propto \left(\frac{L}{2} + \frac{3L_{exc}}{2} \right)}$$

حد اکثر تنش زیر تراورس

عرض

بار محوری: $P = 2Q$ عرض تراورس $\propto = w_B$

فاصله محل بار قائم چرخ قطار را از انتهای تراورس $L_{exc} = \frac{L - 1500}{2}$

L : طول کل تراورس

1500 m = عرض خط استاندارد، فاصله ی بین دو محور تا محور دو ریل

■ اتصالات و یا بندها:

عبارت است از قطعات و ابزاری که ریل را به تراورس محکم می کند.

+ وظایف اتصالات:

۱. تثبیت عرض خط

۲. تأمین قرارگیری شیب جانبی ریل روی تراورس

۳. میرا کردن یا کاهش دادن ارتعاشات ناشی از حرکت قطار

۴. انتقال نیرو از ریل به تراورس (وظیفه ی اصلی)

+ خصوصیات اتصالات:

۱. مقاومت در برابر خوردگی

۲. ارتجاعی بودن و تغییر شکل کافی

۳. نگه داری و نصب آسان (معمولاً اتصالات پیچی از این نظر بهتر است).

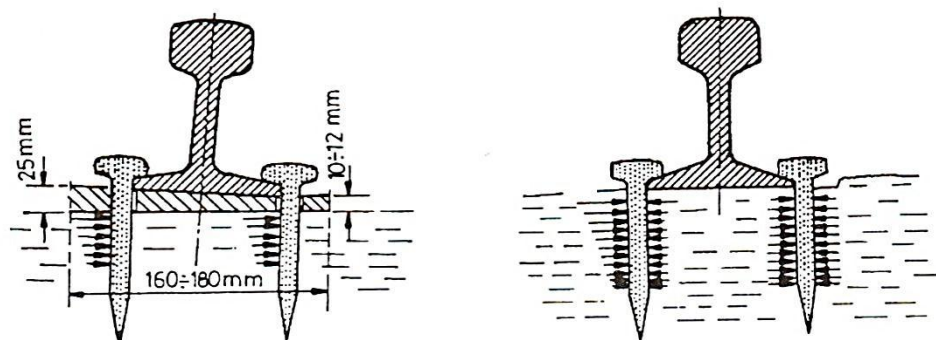
+ انواع اتصالات :

۱. اتصالات صلب Rigid ← فقط در تراورس های چوبی و فولادی

۲. اتصالات ارتجاعی Folexibie

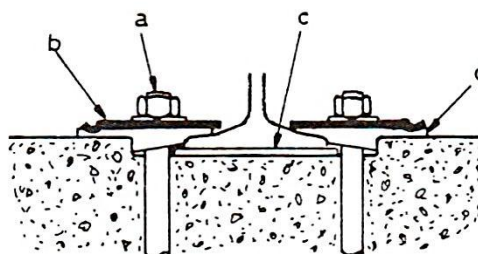
برای اتصال میخ ها باید از صفحه ی زیر سری استفاده شود در غیر این صورت سطح فوقانی پایه ریل از تراورس فاصله می گیرد.

به دلیل شیب ضخامت قسمت 1 از قسمت 2 بیش تر است.



اتصال صلب با صفحه زیرین

اتصال صلب بدون صفحه زیرین



اتصال ارتجاعی نوع پیچی

+ اتصالات ارتجاعی یا پیچی:

برای همه ی تراورس ها استفاده می شود.

■ قطعات اتصالات ارتجاعی یا پیچی:

۱. پیچ ← میزان استحکام را با پیچاندن تعیین می کنیم.

۲. صفحه ی فنری ارتجاعی

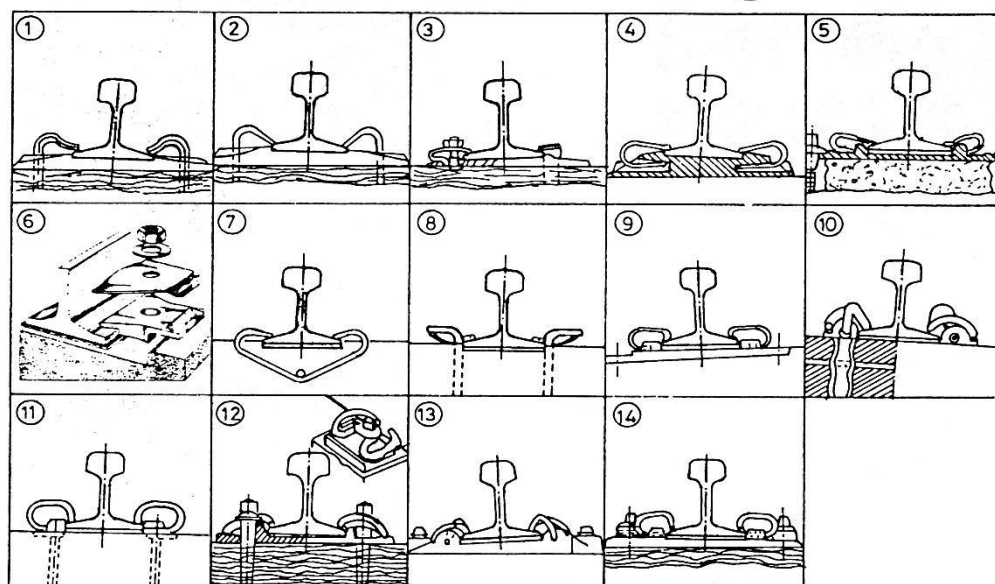
۳. گوه فلزی ← فقط پرکننده است.

۴. رزو شده ← هر چه بخواهیم میزان استحکام بیش تر باشد باید طول رزوه را بیش تر کنیم.

۵. را بدید بالشک ← وظیفه جاذب انرژی

رایج ترین اتصالات در کشور ما اتصال پاندرول است.

جدول ۳-۶ انواع اتصالات ارتجاعی مورد استفاده شبکه های راه آهن، [۱]



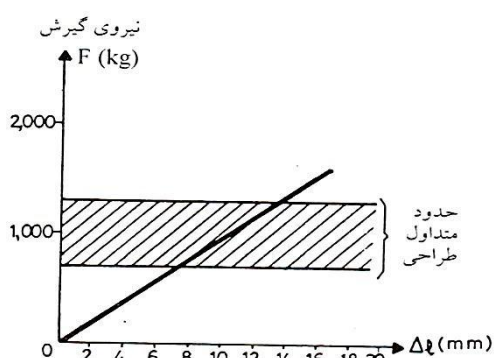
راهنما:

- | | | | |
|----------------------------|---------------------|----------------------|--------------------------|
| ۱- میخ ارتجاعی | ۲- مکبث | ۳- مهارریل | ۴- میلز (۱) |
| ۵- های - بک (۲) | ۶- نابلا | ۷- مشث (۳) | ۸- امگا (وسلو) |
| ۹- DE | ۱۰- پاندرل (باصفحه) | ۱۱- دلتا (بدون صفحه) | ۱۲- وسلو |
| ۱۳- پاندرل (با صفحه نشیمن) | نشیمن | نشیمن | ۱۴- دلتا (با صفحه نشیمن) |

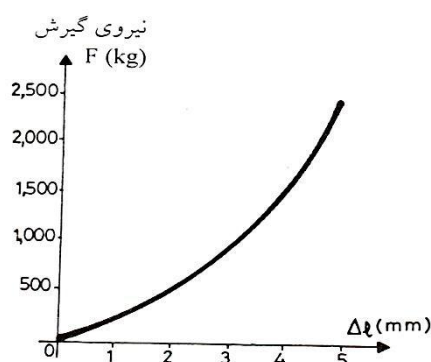
■ نحوه ی توزیع نیرو در اتصالات صلب و ارتجاعی:

یکی از ویژگی های اتصالات ارتجاعی نسبت به صلب، در اتصال ارتجاعی توزیع نیروی کششی چه در زمان بارگذاری و چه در زمان باربرداری انتقال می یابد ولی در اتصال صلب به صورت براکتی (منقطع) است.

شکل ۲-۶ صفحه ی ۱۶۵



منحنی نیرو - ازدیاد طول برای
اتصالات نوع فنری



منحنی نیرو - ازدیاد طول برای
اتصالات نوع پیچی

مقایسه :

در اتصال پیچی با افزایش نیروی کششی از یک حد مشخص مقدار ΔL به یک عدد مشخص همگرا می شود اما در اتصال فنری افزایش تغییر شکل به صورت کاملاً خطی است.

$Exp +$ یک خط استاندارد با ریل جوشکاری شده پیوسته (Cwr) دارای ترافیک (براساس بار ترافیک حل شود). بار روزانه ای معادل $30,000 \text{ ton/day}$ ، حداکثر بار محور 20 ton ، حداکثر سرعت 140 km/h روی بستری با کیفیت متوسط (S_2) قرار دارد، مطلوبست تعیین:

الف) مناسب ترین نوع ریل جدول ۵-۱

ب) مناسب ترین نوع تراورس

ج) توزیع تنش ها در زیر تراورس با فرض آنکه تراورس بتنی تک بلوکی - با طول 2.6 m و عرض 0.15 m

د) مناسب ترین نوع اتصال

الف) $25000 < 3000 < 35000$ جدول ۱-۵ صفحه ی ۱۱۰

اگر تراورس چوبی باشد: $UIC\ 50$

اگر تراورس بتنی باشد: $UIC\ 60$

$$P_{\max} = 20\text{ ton}$$

اگر تراورس چوبی انتخاب شود. صفحه ی ۱۴۶ - شکل ۴-۶ $U_{\max} = 140\text{ km/h}$

اگر تراورس بتنی انتخاب کنید ← ۱. اگر تراورس بتنی دو بلوکی باشد. صفحه ی ۴۴ - شکل ۲-۶
← ۲. اگر تراورس بتنی تک بلوکی باشد.

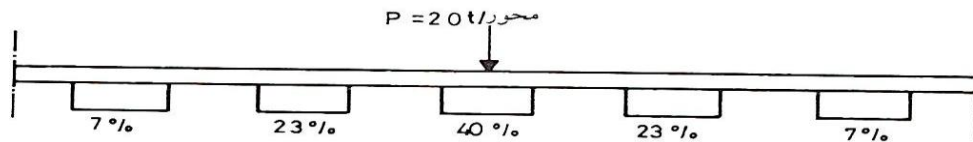
(صفحه ی ۱۰) شکل ۶-۷، صفحه ۱۵۰ گروه $UIC\ 4 \rightarrow 23 < 30 < 50 \rightarrow 30 = \text{بار روزانه} : (۱)$

تراورس دوبلوکی

(۲) خصوصیات هندسی از حد اول ۱-۶ و ۲-۶ صفحه ی ۱۵۴ (صفحه ی ۱۰)

ابعاد و ویژگی ها- از شکل ۱۱-۶ صفحه ی ۱۵۳

(ج) صفحه ی ۹۶- صفحه ی ۱۰۲



توزیع بار چرخ روی تراورسهای متوالی

نکته: نصف Q به تراورس وارد نمی شود بلکه ۴۰٪ آن وارد می شود.

$$P = 20 * 0.4 * 1.5 = 12 \text{ ton}$$

صفحه ی ۱۰۲- **نکته :**

$$\delta_1 = \frac{P}{\infty \left(\frac{L}{2} + \frac{3 L_{exc}}{2} \right)} = \frac{\pi \times 100}{15 \times \left(\frac{260}{2} + \frac{3 \times 55}{2} \right)} = 3.7 \text{ km/h}_r$$

اگر سرعت قطار کمتر از 200 km/h_r باشد میزان ضریب دینامیکی $1.5 =$

$$L_{exc} = \frac{260 - 150}{2} = 55$$

اگر نیروی برشی خواست ← تک تک مسافت ها را جمع می کنیم از Q کم می کنیم.

(د) اگر تراورس چوبی باشد ← هم از اتصالات صلب و هم از ارتجاعی می توان استفاده کرد.

اگر تراورس بتنی باشد ← فقط از اتصالات ارتجاعی استفاده می شود.

فصل ۷: بالاست

• تعریف بالابست:

لایه ای است از سنگ شکسته از تراورس ها روی آن قرار می گیرند و بالاست فضای بین تراورس ها و فاصله ی بعد از انتهای دو تراورس را هم پر می کند.

• وظایف بالاست:

۱. زهکشی و تخلیه ی رواناب سطحی (وظیفه ی اصلی)

۲. مستهلک کردن ارتعاشات ناشی از حرکت قطار

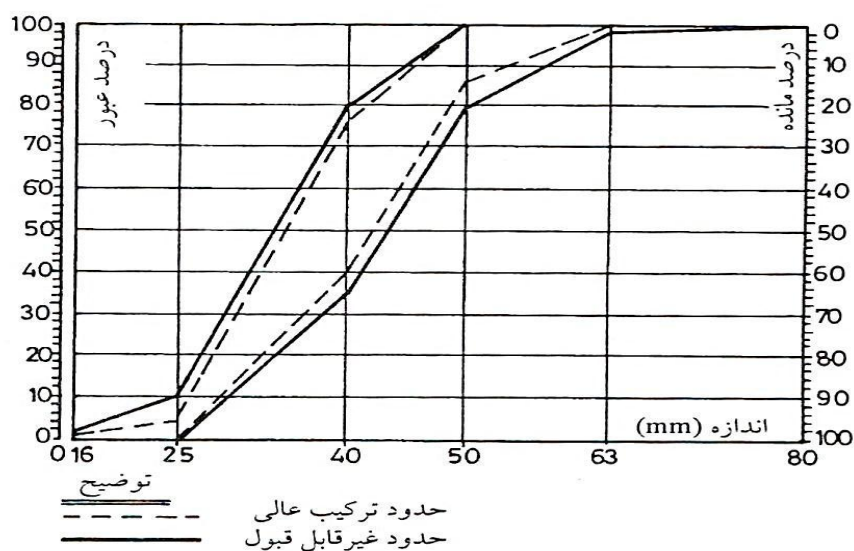
۳. انتقال نیروها از تراورس به بستر خط آهن

۴. ایجاد پایداری افقی و عمودی در روسازه ی خط آهن

• خصوصیات بالاست:

بالات باید دارای سنگدانه های مکعبی یا چند وجهی با گوشه های تیز (حاصل از انفجار) یک اندازه - تمیز و بدون خاک باشند.

■ دانه بندی:



نمودار ترکیب دانه بندی یک بالاست معمولی براساس راه آهن فرانسه.

درصد عبوری	اندازه ی الک (mm)
100	50
کمتر از 20	28
صفر	14

بیش از 80% بالاست بین 50 تا 28 است.

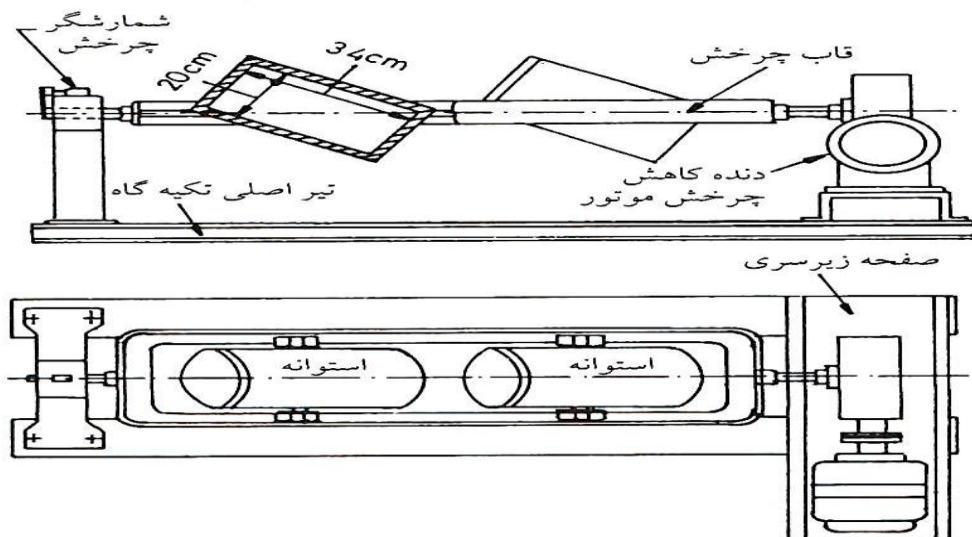
براساس مقررات کشور انگلستان

● سختی:

مقاومت در برابر سایش آزمایش دوال ← 1896

مشکل: خیلی زمان بر است حدود ۵ ساعت. سرعت دستگاه: 2000 دور در ساعت.

5 kg بالاست. ← داخل هر استوانه 2.5 kg. هرچه میزان Q بیشتر باشد بهتر است



ماشین سایش دوال

وزن مانده روی الک → وزن اولیه

$$w_D = \frac{A-B}{A} \times 100 \rightarrow Q = \frac{40}{w_D} \quad \text{ضرب دوال}$$

(ج) آزمایش لس آنجلس ← 1926

2+5 kg وزن الگوی فلزی 420 gr

30-33 دور در دقیقه - در زمان 15 min

وزن باقی مانده روی الک → وزن اولیه

$$W_I A = \frac{A-B}{A} \times 100 \rightarrow W_I A \leq 25$$

(۳) آزمایش میکرو دوال:

مخصوص سنگ های (مصالح) رودخانه ای

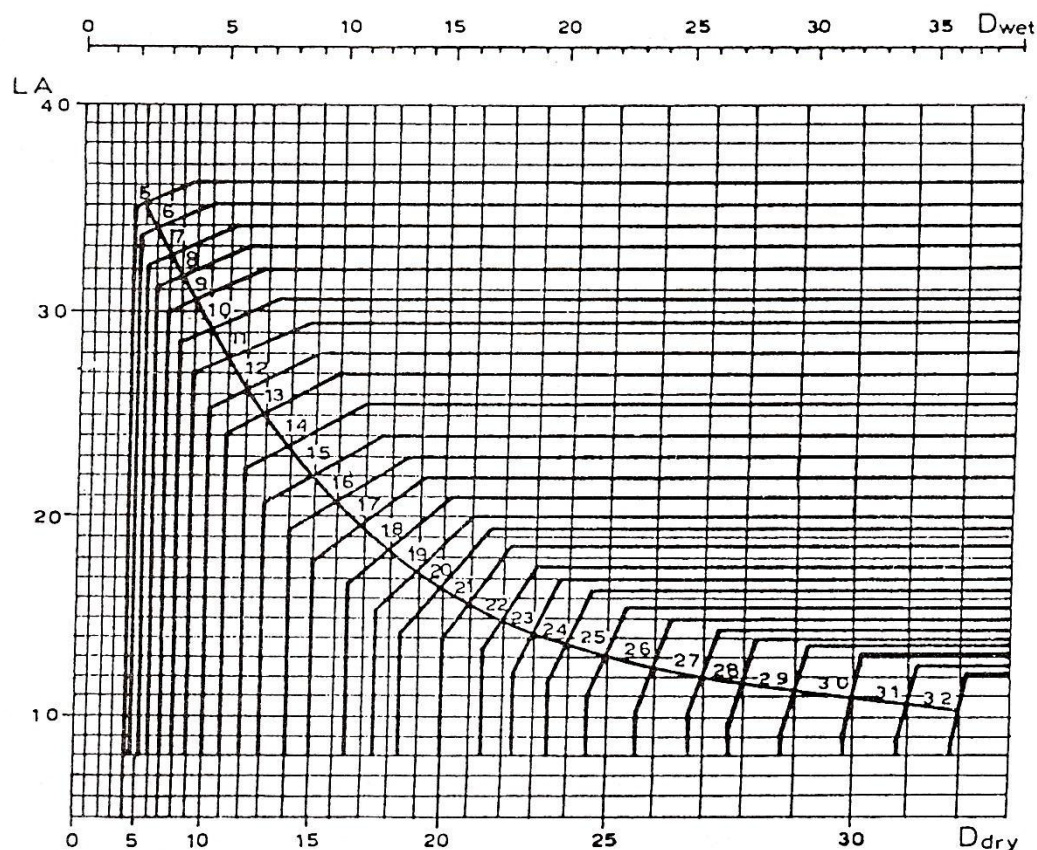
$$W_{mD} = \frac{m}{500} \times 100$$

→ وزن اولیه نمونه

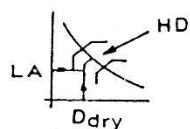
محاسبه ی میزان سخت بالاست براساس ترکیب ضریب دوال و ضریب لس

آنجلس:

صفحه ی ۱۷۷- شکل ۴-۷ محوه ی تعیین سختی.



توضیحات:



LA = ضریب لس آنجلس

Ddry = ضریب خشک دوال

Dwet = ضریب دوال

HD = ضریب سختی

ترکیب ضرایب لس آنجلس و دوال برای بالاست، براساس مشخصات فرانسه

■ تعیین ضخامت بالاست:

با استفاده از روش اجزاء محدود تعیین می شود.

صفحه ی ۱۷۹ کتاب - جدول ۲-۷

کلیه مقادیر صفحه ی ۱۷۹



$$b = N - a + g - c + d$$

b : ضخامت بالاست

N : پارامتری است که کیفیت خاک بستر و کیفیت لایه شکل دهی را تعیین می کند. (بالا ترین

کیفیت مربوط به سنگ است) صفحه ی ۱۷۹

a : به بار ترافیکی خط آهن بستگی دارد.

g : بستگی به جنس تراورس دارد.

تراورس چوبی $g = 0$

طول تراورس احتمال دارد g منفی هم باشد

$$g = \frac{\text{طول تراورس} - ۲۵}{2} \text{ بتنی}$$

c : بستگی به سطح عملیات نگه داری دارد.

(هرچه تمیزتر ← تعداد کمتر)

برای عملیات نگه داری خط با حجم متوسط $c = 0.5 \leftarrow$

برای عملیات نگه داری خط با حجم زیاد $c = 0.1 \leftarrow$

d : بستگی به بار محوری خط آهن دارد.

صفحه ی ۱۸۰ جدول ۷-۳ (فقط در گروه 4 UIC) و جدول ۷-۴ (براساس مقررات انگلستان) ←
 ضخامتی که این دو جدول می دهند از ضخامتی که از روش اجزاء محدود بدست می آید بیش تر است.

Ex: برای خط آهن گروه 4 UIC (با ترافیک سالیانه برابر با 10-18 میلیون تن) با تراورس های بتنی دوبلوکی (با طول 2.25 m) بار محوری 20 ton، سطح عملیات نگه داری متوسط، کیفیت خاک بستر S_1 و لایه ی شکل دهی S_2 مطلوبست:
 تعیین ضخامت بالاست با استفاده از روش اجزاء محدود.

$$UIC\ 4 \rightarrow l = 2.25\ m \quad \text{و} \quad P = 20\ ton$$

$$b = N - a + g - c + d$$

اگر طول تراورس 2.5 از بیش تر بود ($-g$) می شد و اثر کاهنده داشتن.

$$N = 0.4\ m \quad g = \frac{2.5 - 2.25}{2} = 0.125\ m$$

$$a = 0.1\ m \quad c = 0.05 \quad d = 0$$

$$b = 0.4 - 0.1 + 0.125 - 0.05 + 0 = 0.375\ m \quad \text{یا} \quad 37.5\ cm \quad \text{ضخامت لایه ی بالاست}$$

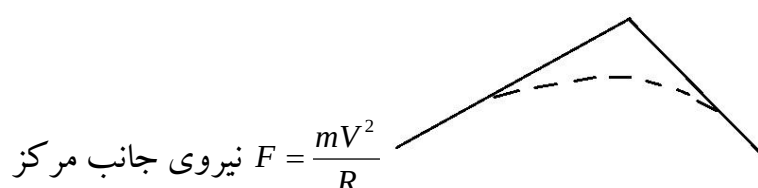
روش دوم با استفاده از جدول ۷-۳ مقدار ضخامت $b = 0.375\ m$

فصل ۸:

طرح هندسی خط آهن (نشریه ی ۲۸۸) *tec - mporg.ir*

قوس های افقی

• معایت و مشکلات ناشی از نیروی جانب مرکز:



(۱) کاهش راحتی مسافر

(۲) احتمال خروج از خط قطار

(۳) افزایش فرسایش جانبی ریل ها

(۴) افزایش ارتعاشات ناشی از حرکت قطار

• برای کاهش نیرو نیاز به:

(۱) افزایش شعاع $P = \frac{1}{R}$ شعاع R

(۲) ایجاد دور یا بر بلندی

(۳) کاهش سرعت

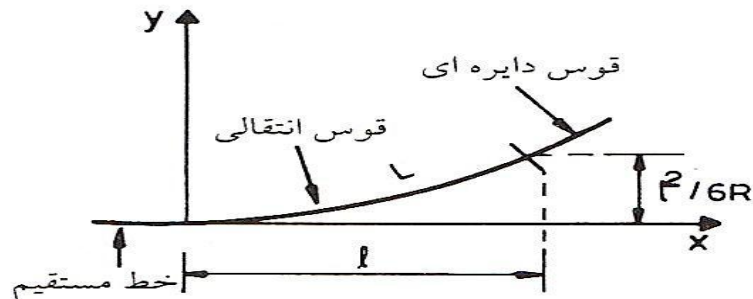
• در هر نقطه از قوس اتصال یا انتقالی:

میزان انحنای برابر است با ضریبی از طول تصویر قوس انتقال بر روی محور x ها تا نقطه ی مورد نظر

$$P = kL \rightarrow \frac{1}{r} = kL$$

$$P = k L_1 \rightarrow \frac{1}{r_1} = k L_1 \rightarrow k = A^2 \quad \frac{1}{R} = k L$$

طول قوس دایره ای شعاع دایره ای ثابت اولر یا اسپیرال



سه‌می درجه سه

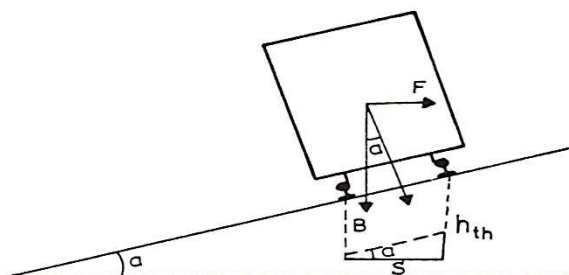
$$\gamma L = \gamma_1 L_1 = R L = k = A^2$$

• ایجاد دور یا بر بلندی:

$$* \tan \alpha = \frac{F}{W} = \frac{\frac{mV^2}{k}}{mg} = \frac{V^2}{Rg}$$

$$* \tan \alpha = \frac{e_{th}}{S} = \frac{e_{th}}{1500 \text{ mm}} \rightarrow e_{th} = 11.8 \times \frac{V^2}{R}$$

عرض خط استاندارد



نیروهای وارد بر وسیله نقلیه
ریلی و بر بلندی تئوری

نحوه ی محاسبه ی دور تثوریک:

$$e_{th} = 8.3 \frac{V^2}{R} \rightarrow \text{عرض خط متریک } 1.67 \text{ mm}$$

دور با U^2 نسبت مستقیم با π نسبت عکس با P نسبت مستقیم دارد.

$$e_{th} = 12.4 \frac{V^2}{R} \rightarrow \text{عرض خط پهن } 1672$$

+ دور یا بر بلندب واقعی یا عادی:

قطارهای مسافری $\rightarrow e_{th}(V_{\max})$ تثوری

قطارهای باری کندرو $\rightarrow e_{th}(V_{\min})$

■ دور عادی

با توجه به آنکه در یک خط آهن هم قطارهای باری کندرو و هم قطارهای مسافری تندرو در حال حرکت می باشند اگر دور طراحی برای قطارهای مسافری در نظر گرفته شود احتمال واژگونی قطارهای باری گذرنده به داخل قوس وجود دارد.

و همچنین اگر دور طراحی شده براساس قطارهای باری کندرو باشد ← احتمال خروج از خط برای قطارهای مسافری وجود دارد.

$$e_{th}(V_{\min}) < e < e_{th}(V_{\max})^*$$

$$ed = e_{th}(V_{\min})^* \text{ کمبود دور}$$

* اضافه دور $e_e = e = e_{th}(V_{\min})$

عادی تئوری

جدول ۲۱۳ بر بلندی

بر بلندی $e = \frac{e_{\max}}{e_{\max} - ed_{\min}} \times 11.8 \times \frac{V^2}{R}$

عرض خط استاندارد

جدول ۱-۹ مقادیر حداکثر مدنظر است.

تغییرات کمبود دور در واحد زمان

سرعت قطار

$$\frac{\Delta ed}{\Delta t} \times \frac{\Delta t}{\Delta L} = \frac{\Delta ed}{\Delta t} = w \times \frac{V_{\max}}{3.6}$$

• حداکثر شتاب جانبی خشی نشده

$$b \leq \frac{2}{3} \gamma$$

حداکثر شتاب جانبی قابل تحمل بدن انسان

$$e_{\min} = 11.8 \frac{V^2}{R} - 152 b_{\max}$$

* حداقل بر بلندی

گروه بندی جدول ۱-۹ (۲۱۳)

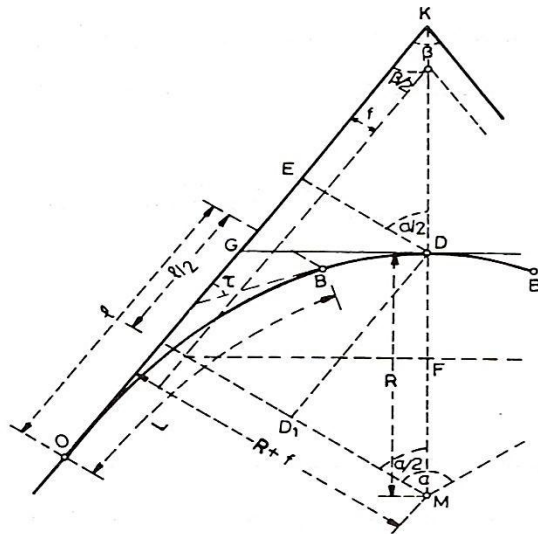
گروه ۱: $120 < \text{سرعت حداکثر} < 80$

گروه ۲: $200 < \text{سرعت حداکثر} < 120$

گروه ۳: $V_{\max} = 290 \leftarrow \text{آلمان و سوئیس}$

گروه ۴: $V_{\max} = 290 \leftarrow \text{فرانسه}$

■ تأمین قوس انتقالی :



قوس انتقالی (OB: سهمی درجه سه و BB': قوس دایره‌ای)

سرعت قطار $\left(\frac{km}{hr}\right)$ بر بلندی عادی

$$L_{\min} = \frac{eV}{144}$$

دور با انحنا نسبت مستقیم دارد. $e \propto P$

$$y = \frac{x^2}{6RP} \left[1 + \left(\frac{1}{2R} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}} \rightarrow y = \frac{x^3}{6RP} \xrightarrow{x=P} y = \frac{L^3}{6RL} = \frac{L^2}{6R}$$

شعاع قوس دایره

$$\frac{1}{2R} < 3.5$$

?? در دو حالت می توان از قوس اتصال استفاده نکرد. (۱) $R > 3000 \text{ m}$ (۲) $e_{th} = 0$

$$e = 11.8 \frac{V^2}{R}$$

$$e \approx R$$

$$e > \frac{1}{R}$$

? همواره مقدار بر بلندی از مقدار انحنا بالاتر می باشد.

■ منحنی تغییرات بریلندی (صفحه ی ۲۱۷)

(۱) قوس دایره ای تک

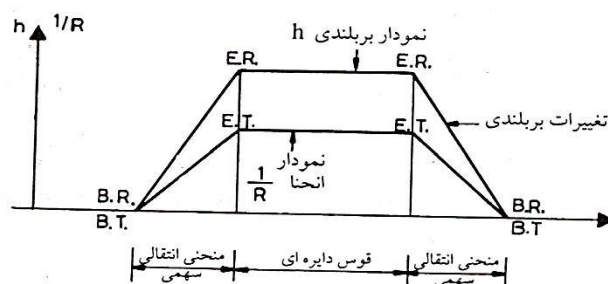
(۲) دو قوس متوالی هم جهت داشته باشیم.

$$P = kE \quad \leftarrow \{P_2 < P_1 \quad \text{مربوط به شکل ۲}$$

$$\frac{1}{R} = ke \quad e_2 < e_1$$

$$k = \frac{1}{Re} \quad R_2 < R_1$$

$$e = 11.8 \frac{V^2}{R}$$



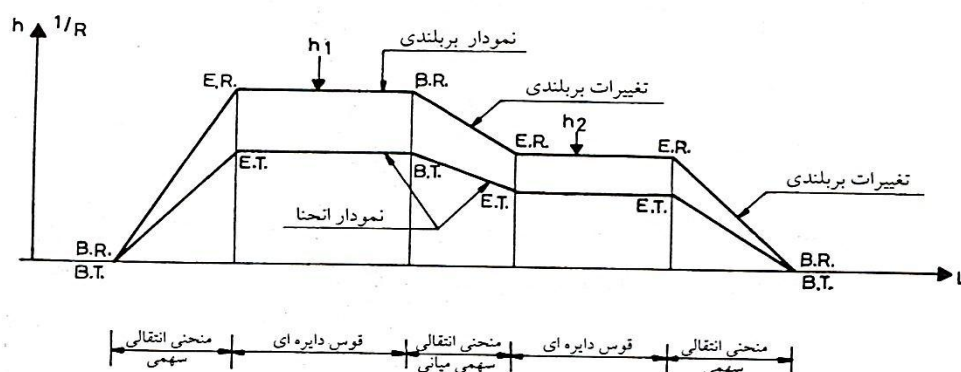
B.R. = شروع تغییرات بریلندی

E.R. = انتهای تغییرات بریلندی

B.T. = شروع منحنی انتقالی

E.T. = انتهای منحنی انتقالی

نمودار تغییرات بریلندی و انحنا بین قسمتهای
خطی و دایره‌ای



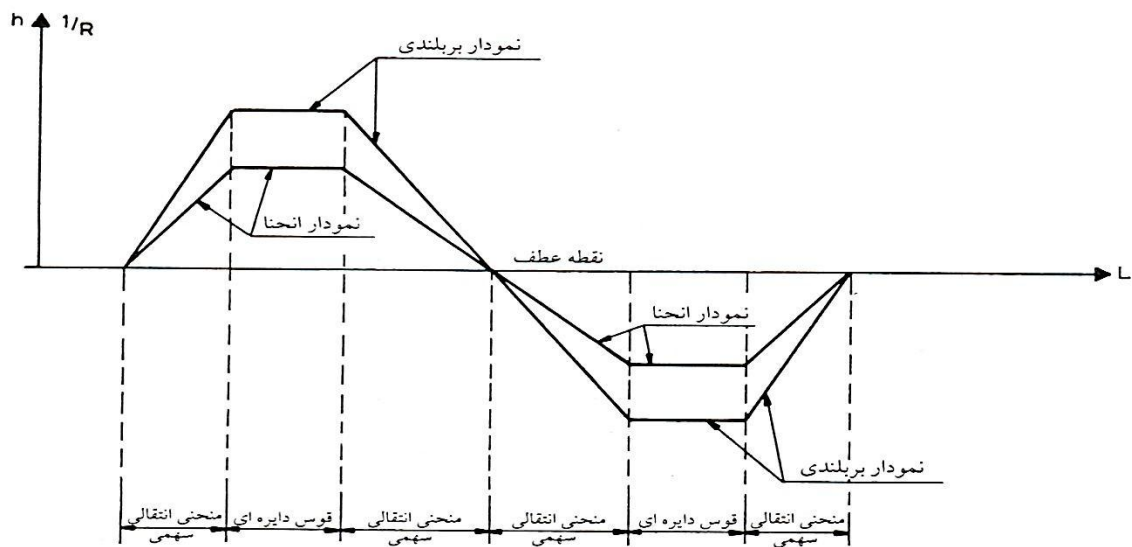
نمودار تغییرات بریلندی و انحنا بین دو قوس دایره‌ای هم جهت

۳) دو قوس متوالی نا هم جهت وجود داشته باشد.

$$W_{\max} = \frac{e_1}{L} = \frac{144}{V_{\max}}$$

$$\rightarrow L_{\min} = \frac{eV}{144}$$

$$W_{\max} = \frac{144}{V_{\max}}$$



نمودار تغییرات بر بلندی و انحنا بین دو قوس دایره ای نا هم جهت

■ ترکیب سرعت حداقل و سرعت حداکثر جهت پیاده کردن بر بلندی عادی:

$V_{\max} < 100$	$V_{\min} > 60$
$V_{\max} < 140$	$V_{\min} > 70$
$V_{\max} < 200$	$V_{\min} > 80$

■ قوس قائم Vertical Curvature

نکته: در خطوط آهن قوس های قائم به صورت دایره ای اعمال می شوند.

$$R_U = \frac{V^2}{2}$$

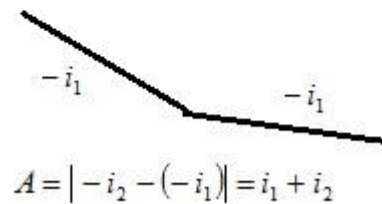
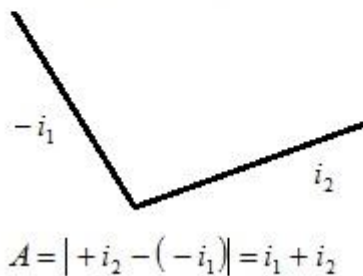
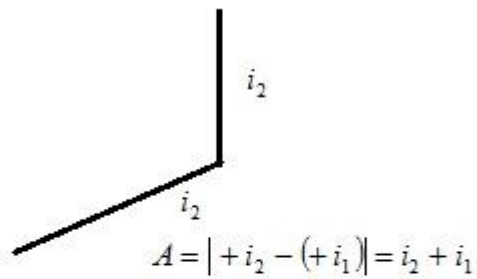
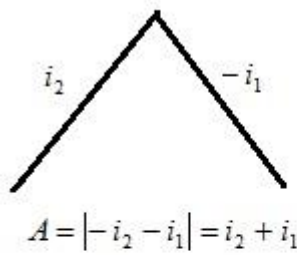
$$R_{U \min} = \frac{V^2}{4}$$

+ کجا نیاز به قوس قائم داریم؟

2.5 در 1000 یا $\Delta i = A = 0.25 \%$



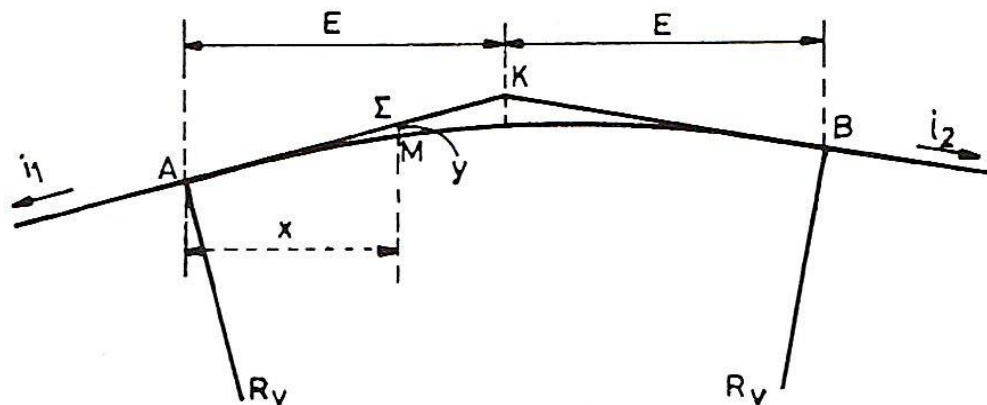
اختلاف جبری شیب طرفین



■ محاسبه ی شعاع حداقل برای قوس قائم

شعاع (m)		سرعت km/hr
مقدار استثنای	مقدار عادی	
2500	15000	$V < 100$
5000	10000	$100 < V < 150$
10000	20000	$150 < V < 200$

■ محاسبه ی طول مماس در قوس قائم :



قوس قائم

فاصله ی افقی از ابتدای قوس قائم

$$y = \frac{Ax^2}{2R_v}$$

شعاع قوس قائم اختلاف ارتفاع مماس و قوس قائم

$$i_1 = \frac{E}{R_v}$$

$$i_1 + i_2 = \frac{2E}{R_v} \rightarrow A = \frac{2E}{R_v} \rightarrow E = \frac{AR_v}{2}$$

اختلاف جبری شیب ها

$$i_2 = \frac{E}{R_v}$$

? نکته: قوس قائم و افقی نباید به طور همزمان مورد استفاده قرار گیرد و در صورت اجتناب

ناپذیر بودن باید شعاع حداکثر برای قوس قائم افقی در نظر گرفته شود.

■ قوس های قائم سهموی:

$$r = \frac{A}{L} = \frac{|G_2 - G_1|}{L} \quad \text{نرخ تعمیرات شیب به صورت درصد لازم برای 30.5 متر یا 100 فوت}$$

$$L = \frac{A}{r} (30.5) \rightarrow \text{طول قوس قائم سهموی}$$

$$\left(\frac{km}{hr} \right) \text{ سرعت قطار}$$

$$L = 0.62 V \quad (m) \quad \text{حداقل طول قوس}$$

■ محاسبه ی حداقل طول قوس سهمی :

$$(m)L = 21.4 A \quad L = \frac{AV^2}{255} \quad \text{قوس قائم محدب}^*$$

? از میان L ها هر کدام که بزرگتر باشد مورد استفاده قرار می گیرد.

$$L = \frac{AV^2}{510} \quad \text{قوس قائم متغیر}^*$$

اختلاف جبری شیب

$$y = \frac{Ax^2}{200L}$$

طول قوس قائم سهمی

شکل ۸-۹ صفحه ی ۲۲۵ ← قوس قائم سهمی محدب

شکل ۹-۹ صفحه ی ۲۲۶ ← قوس قائم سهمی مقعر

مایل $\rightarrow \frac{km}{1.6} \rightarrow$ اگر سرعت بر حسب km بود و نیاز به استفاده از جدول بود