

درزهای گونیا در قوسهای مسیر راه آهن

سعید منجم*

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

(دریافت مقاله: ۸۳/۲/۲۱ - دریافت نسخه نهایی: ۸۴/۱/۲۷)

چکیده در روسازی مسیر راه آهن، هنگام ریل گذاری بین ریلها فاصله ای (درز ریل) در نظر گرفته می شود تا در اثر افزایش دمای هوا امکان انبساط وجود داشته باشد. برای اینکه ریل نقش سرتاسری داشته باشد در محل درز ریل از درزبند استفاده می شود که جان دو ریل را اتصال طولی می دهد. درزهای دو ریل معمولا روبروی یکدیگر قرار دارند که در این حالت آنها را درزهای گونیا می نامند. در سطح جهانی اغلب ریلها در طولهای گوناگون و استاندارد تولید می شوند. هنگام ساخت مسیری، یک طول برای ریلها انتخاب می شود. روسازی راه آهن دارای دو ریل موازی است که معمولا تکه ریلها همواره برابر هم بوده و روبروی یکدیگر گذاشته می شود. در مسیر مستقیم اجرای درزهای گونیا (دو درز روبروی یکدیگر) آسان است. در قوسها به علت اینکه طول ریل درونی قوس کوتاهتر از ریل بیرونی است، درز گونیا را نمی توان با طول ریلهای برابر اجرا کرد.

روش متداول در راه آهنهای جهان استفاده از چندین ریل کوتاه در قوسها است تا بتوانند درز گونیا هم در مسیر مستقیم و هم در قوس داشته باشند. در بیشتر کارخانه های تولید ریل، در کنار طولهای ریل عادی (استاندارد) یک تعداد ریلهای کوتاهتر (چند سانتی متر کوتاهتر از طول ریل عادی) برای گونیا کردن درزها در قوس نیز تولید می شوند. در این مقاله روشی پیشنهاد شده است که فقط با به کارگیری یک اندازه طول ریل کوتاه (به جای چندین طول ریل کوتاه که در اروپا و امریکا متداول است)، بتوان در قوسها نیز درزهای گونیا ایجاد کرد. این روش می تواند برای کشورمان که همه انواع ریل کوتاه را ندارد، مفید باشد.

واژگان کلیدی: راه آهن، مسیر، قوس، درز ریل و ریل کوتاه

Square Joints in Railway Track Waves

Saeed Monajem

Department of Civil Engineering, K.N.Toosi University of Technology

Abstract: *When rails are laid in a railway track, small gaps are left between the ends of adjoining rails to allow for the expansion of the rails when the temperature rises. Rail joints are provided to form a continuous rail path which are normally laid in standard lengths bolted together by fishplates. When two rail joints are exactly opposing each other, they are called square*

*-استادیار

(side by side) joints. Manufacturers produce rails with different standard lengths. The inner line of rails in a curve is shorter than the outer line; therefore, it would be complicated to have square joints by using only rails of standard length for both inner and outer rails in the curve. If some short rails were used in the inner line, it would be possible for all joints of rails to lie opposite each other in a precise manner. It is clear that equal rail lengths can easily create square joints along the straight portion of the track. In curves with larger radii, there is a substantial difference between inner and outer arcs of the curve. Manufacturers producing different standard lengths also produce some short rails in two or three different lengths. This paper presents a simple method of finding the location of joints in the railway curve. Previous methods (used in European and American railways) use some short rails (3 or 4 short rails) with different lengths for the inner arc. In this method, short rails of one single length are used.

Keywords: Railway, Track, Curve, Joint and Short rail

فهرست علائم

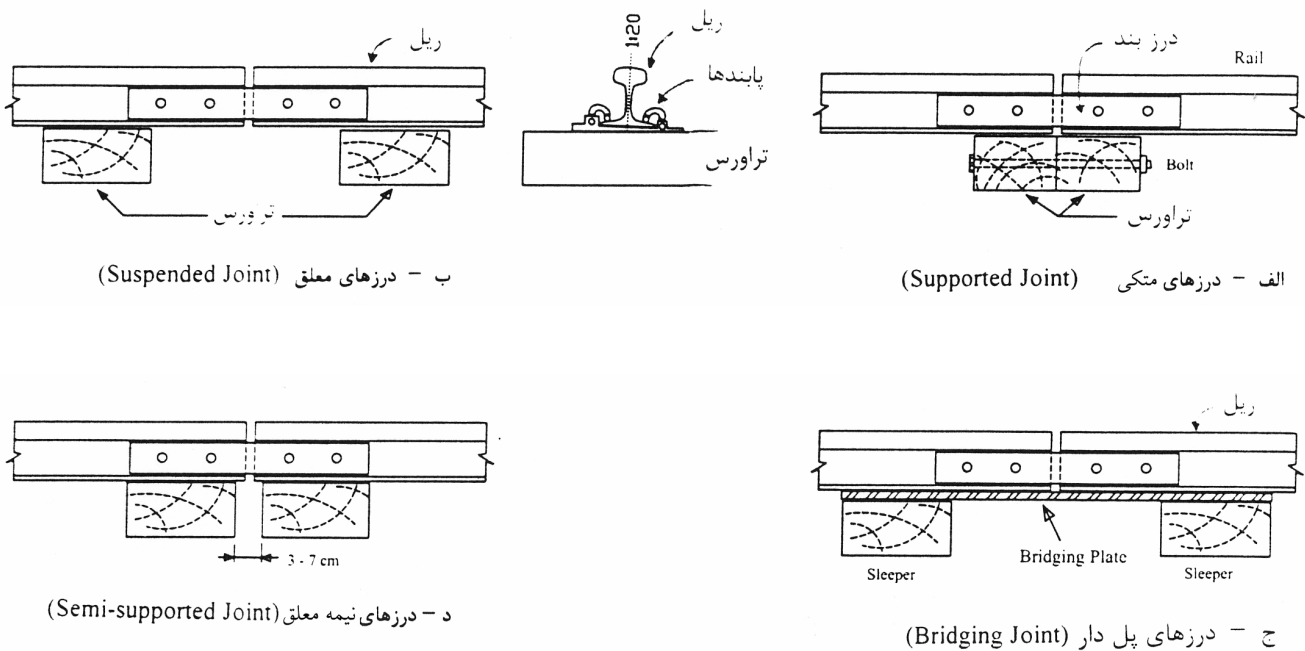
$R_j = R - (s^2)$ شعاع درونی قوس میانی	A سطح مقطع ریل (cm^2)
r شعاع قوس پیوندی (متغیر)	C طول کمان قوس میانی محور مسیر
s فاصله محور به محور دو ریل موازی	C_i, C_e طول کمان قوس درونی و بیرونی
X_f فاصله اولین درز پس از قوس تا ST	E مدول یانگ (daN/cm^2)
X_j فاصله اولین درز پیش از قوس تا S	e تغییر طول ریل ناشی از تغییر دما
α ضریب انبساط ریل (1.15×10^{-5})	j مقدار درز ریل
ϵ مقدار انحراف (جابه‌جایی) درزهای گونیا	L طول ریل [m]
$\Delta - 2\theta_s$ زاویه مرکزی قوس میانی	l بخشی از طول کمان سهمی (قوس پیوندی) محور مسیر
$\Delta L_s = L_e - L_j$ تفاوت طول قوس پیوندی درونی و بیرونی	L_j, L_e طول درونی و بیرونی قوس پیوندی
$\Delta L = 2(L_e - L_j) + (C_e - C_i)$ تفاوت طول قوسهای پیوندی و میانی	l_j, l_e بخشی از طول درونی و بیرونی قوس پیوندی
$\Delta C = C_e - C_i$ تفاوت طول ریل بیرونی و درونی در بخش قوس میانی	L_s طول قوس پیوندی محور مسیر
θ_s زاویه قوس پیوندی	N نیروی ناشی از تغییر دمای ریل (daN)
$\Sigma L = 2L_s + C$ مجموع طول قوسهای پیوندی و میانی محور مسیر	n_e تعداد ریل های عادی
$\Sigma L_j = 2L_j + C_j$ مجموع طول درونی قوسهای پیوندی و میانی	n_{sh} تعداد ریل های کوتاه
$\Sigma L_e = 2L_e + C_e$ مجموع طول بیرونی قوسهای پیوندی و میانی	R شعاع قوس میانی (دایره) محور مسیر
Δt تغییر دمای حداکثر و حداقل ناحیه ای که ریل گذاری می‌شود	$R_e = R + (s^2)$ شعاع بیرونی قوس میانی

۱- مقدمه

درزها نمایش داده شده اند. در کشورمان ایران بیشتر از درز ریل نوع ب استفاده می‌شود [۱]. در کشورهای اروپایی نوع الف و د بیشتر (نوع ب و ج به ندرت) ساخته می‌شوند. به کارگیری نوع درز ریل بستگی به بارگذاری و چگونگی مصالح روسازه مسیر دارد [۶-۸].

هنگام عبور چرخهای قطار از روی درز ریلها، نیروهای

درز ریل مسیر راه آهن از ابتدای راه اندازی این صنعت همواره یکی از مشکلات ساخت، بهره برداری و نگهداری خطوط راه آهن و یکی از اقلام هزینه ساز بوده است. آرایش سازه ای درزها نیز گوناگون است. در شکل (۱) انواع ترکیب



شکل ۱- انواع درزهای بین دو ریل [۶، ۸]

درزها در دو ریل موازی تغییر می‌کند. این جابه‌جایی در هر درز افزایش می‌یابد، شکل (۴). در نتیجه تعداد ضربات ناشی از برخورد چرخ با لبه‌های ریل در محل درز در این شرایط دو برابر می‌شود [۱۰ و ۱۱].

امروزه برای اجرای سریعتر ساخت روسازه راه آهن از دو روش بیشتر از همه استفاده می‌شود. در روش اول، ریلها و تراورسها را با پابند و متعلقات در کارگاه به هم متصل می‌کنند (به طول یک ریل) که آن را پانل یا کویلاژ می‌نامند. کارخانه‌های تولید ریل، ریلها را معمولا در طولهای ۱۲ تا ۳۶ متر می‌سازند. در ایران از ریلهای ۱۲/۵ متری و ریلهای ۱۸ متری بیشتر استفاده می‌شود. پانلهای آماده و شماره گذاری شده روی واگن چیده شده و با قطار ریل‌گذار به محل ساخت مسیر حمل می‌شوند و سپس جرثقیلی این پانلها را به ترتیب شماره قرارگیری آنها در قوس در جلوی قطار گذاشته و کارگران پانلها را به هم دیگر یا با درزبند یا با جوش درز ریل متصل می‌کنند. در قوسها نیز از همین پانلها استفاده می‌کنند. در روش دوم،

دینامیکی ناشی از ضربه بین چرخ و لبه ریل پدیدار می‌شود (به‌ویژه در هوای سرد). تعداد این ضربات بستگی به تعداد درزها در طول مسیر دارد. امروزه گرایش جهانی در پر کردن این فضای خالی است. این فضای خالی با ریخته‌گری خاصی (جوش آلومینوترمیک) پر می‌شود که آن را جوش درز ریل می‌نامند به گونه‌ای که ریل حالت پیوسته و تیر سراسری^۱ (C.W.R) پیدا می‌کند. در شکل (۲) جوش درز ریل نشان داده شده است. در این روش جوشکاری در هر یک کیلومتر (حدودا) یک درز گسترده گذاشته می‌شود تا تنشهای حرارتی ۴۰ تا ۵۰ درز پر شده با جوش درز ریل را توسط مکانیسمی تخلیه کند. در شکل شماره (۳) دو نوع مکانیسم دستگاه درز گسترده^۲ نشان داده شده است. با این حال درزبندی ریل چه با درزبند و چه با جوش درز ریل انجام گیرد، باید هم در مسیر مستقیم و هم در قوسها گونیا باشند [۶، ۹ و ۱۰]. در مسیر مستقیم چون طول ریلها در هر دو سمت یکسان است (ریل با طول عادی)، درزها گونیا هستند (محل درزها در هر دو ریل روبروی یکدیگر قرار دارند). در قوسها اگر فقط از ریل عادی استفاده شود، محل



شکل ۲ - جوش درز ریل [۱۱، ۹]



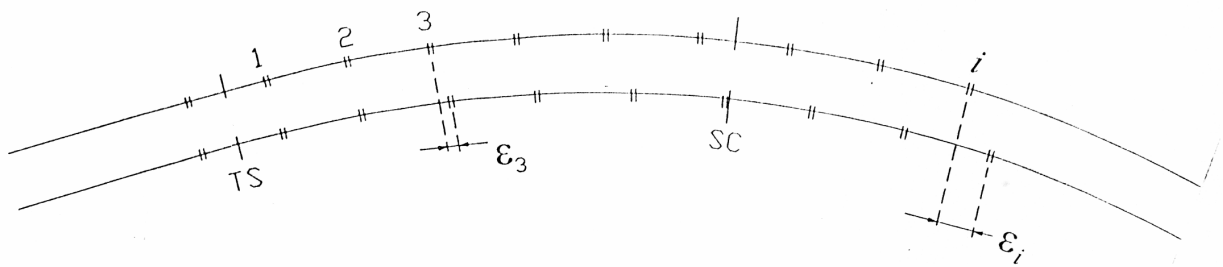
Expansion joints are provided in running rails to allow for temperature changes. The additional rails in the centre of the track are bolted to the sleepers to prevent the sleepers being shifted by rail expansion.

شکل ۳ - مکانیسم دستگاه درز گسترده (انبساطی) [۸ ، ۹]

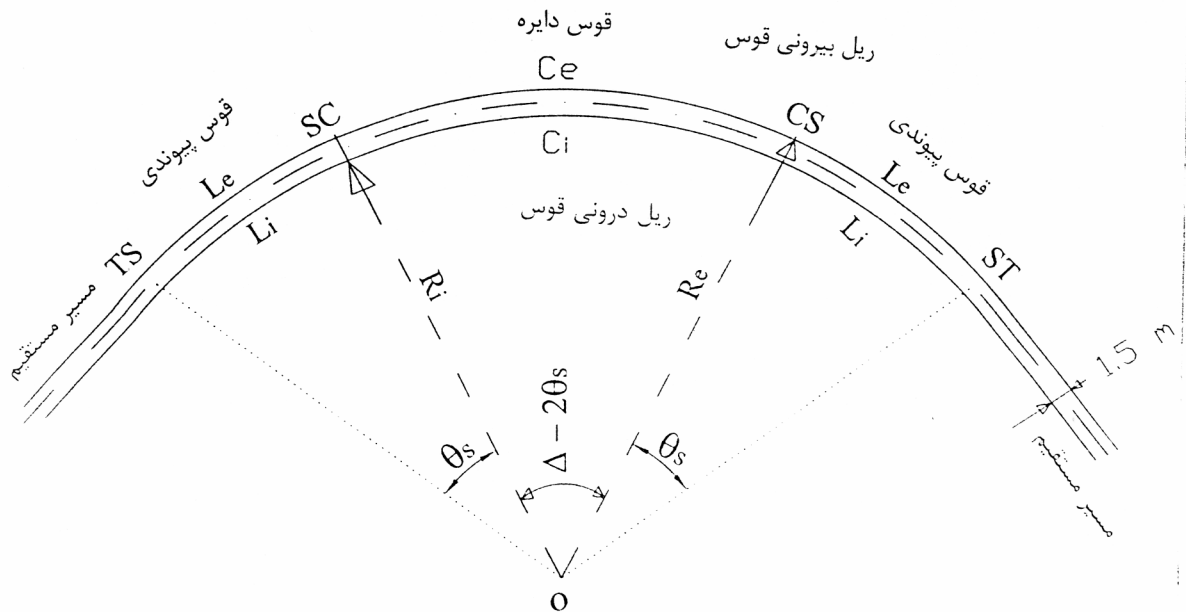
برده شوند، تا همواره درز گونیا در قوس داشته باشیم .
 با توجه به اینکه در ایران ریل تولید نمی‌شود و از
 خارج خریداری و با کشتی حمل می‌شود. احتمالاً به علت عدم
 برنامه ریزی و گران بودن سفارش خرید ریلها با طولهای
 گوناگون، معمولاً یک طول مشخص ریل برای یک مسیر در
 نظر گرفته می‌شود که از آن هم برای مسیر مستقیم و هم قوسها
 استفاده می‌کنند. در نتیجه در قوسهای خطوط راه آهن ایران
 هیچ‌گاه درزها گونیا نیستند. فقط برای اینکه مسیر مستقیم بعد از

ریلها و تراورسها را جداگانه با ماشین آلات ویژه حمل کرده و
 سپس مصالح روسازی را به ترتیب روی یکدیگر مونتاژ میکنند
 [۱۲ و ۱۳].

هنگام اجرای روسازی در هر دو روش با توجه به
 پارامترهای محاسباتی که در ادامه شرح داده شده است پیش از
 حمل و نصب ریلها، برای هر قوس مشخص می‌شود که باید
 چه تعداد ریل عادی، چه تعداد ریل کوتاه و چه طولهایی از
 ریل کوتاه با تعیین محل قرارگیری آنها در قوس درونی به‌کار



شکل ۴ - افزایش جابه‌جایی درزها در قوسها



شکل ۵ - پارامترهای هندسی قوسهای ریل بیرونی و درونی

$$C_e = \frac{\pi R_e (\Delta - 2\theta_s)}{180}, \quad C_i = \frac{\pi R_i (\Delta - 2\theta_s)}{180} \quad (2)$$

در نتیجه تفاوت طول ریل بیرونی و درونی قوس دایره ای برابر می‌شود با:

$$\Delta C = C_e - C_i = \frac{1.5 \pi (\Delta - 2\theta_s)}{180} \quad (3)$$

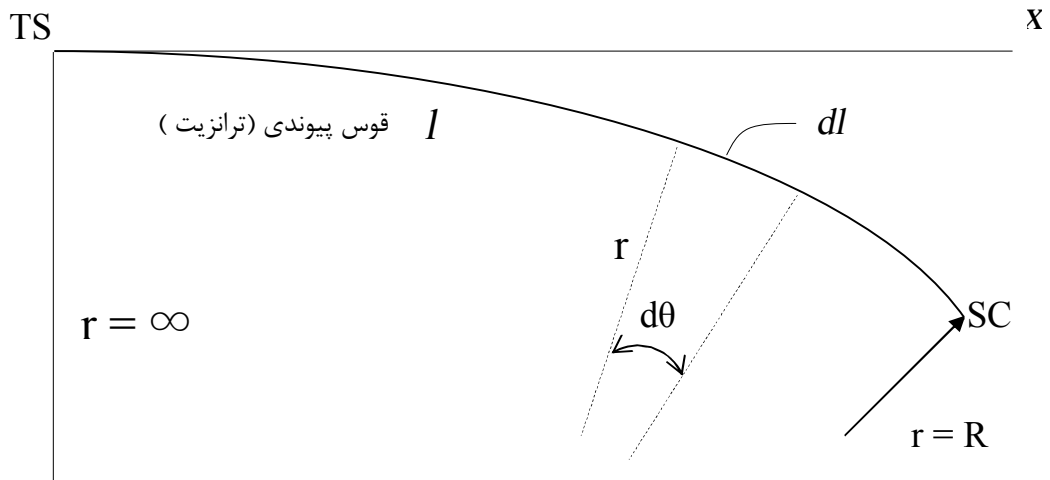
تفاوت طول ریل بیرونی و درونی در بخش قوسهای پیوندی تابعی از نوع سهمی به‌کار رفته در قوس پیوندی است. در ایران از سهمی درجه ۳ استفاده می‌شود. در این نوع قوسها،

(قوس گونیا باشد، آخرین ریل درونی قوس را با یک تکه ریل بسیار کوتاه (در پاره ای موارد ۵ تا ۷ متر) پر می‌کنند [۲ و ۳].

۲ - طول قوسها

قوسهای مسیر راه آهن از سه تکه تشکیل شده اند. دو قوس پیوندی (ترانزیت) که به شکل سهمی اند و یک قوس دایره ای شکل که در میان دو پیوندی قرار می‌گیرد شکل (۵). طول قوس در محور راه برابر است با [۱۴]:

$$C = \frac{\pi R (\Delta - 2\theta_s)}{180} \quad (1)$$



شکل ۶ - طول قوس پیوندی از ابتدا

با انتگرال گیری از معادله بالا اندازه طولهای سهمی قوس بیرونی و درونی به دست می آید:

$$l_i = l - \left(\frac{S}{2}\right) \left(\frac{1}{L_s}\right)^2 \quad \text{و}$$

$$l_e = l + \left(\frac{S}{2}\right) \left(\frac{1}{L_s}\right)^2 \theta_s \quad (10)$$

در نقطه SC، $l = L_s$ ، می شود. با جایگزینی آن در معادله (۷) به دست می آوریم:

$$L_e = L_s + \left(\frac{S}{2}\right) \theta_s \quad L_i = L_s - \left(\frac{S}{2}\right) \theta_s \quad (11)$$

اگر $s = 1.5 \text{ m}$ در نظر بگیریم، تفاوت طول دو سهمی و قوس دایره ای ریل بیرونی و درونی قوسها برابر می شود:

$$\Delta L_s = L_e - L_i = 1.5 \theta_s \quad [\theta_s \text{ به رادیان}]$$

$$\Delta L_s = 0.0262 \theta_s \quad [\theta_s \text{ به درجه}] \quad (12)$$

پس اختلاف طول کمان سه قوس ریل بیرونی و درونی از معادله زیر به دست می آید:

$$\Delta L = 2(\Delta L_s) + \Delta C = [2(0.0262 \theta_s) + 1.5 \pi (\Delta - 2\theta_s)] / 180 \quad (13)$$

شعاع قوس از بینهایت (در TS) تا اندازه شعاع دایره قوس میانی R در نقطه SC متغیر است، شکل (۶). برای هر تغییر کمان قوس سهمی dl روبروی زاویه dθ خواهیم داشت:

$$dl = r d\theta \quad (4)$$

و همچنین:

$$dl_e = \left(r + \frac{S}{2}\right) d\theta \quad , \quad dl_i = \left(r - \frac{S}{2}\right) d\theta \quad (5)$$

و یا:

$$dl_e = r d\theta + \left(\frac{S}{2}\right) d\theta \quad \text{و} \quad dl_i = r d\theta - \left(\frac{S}{2}\right) d\theta \quad (6)$$

با استفاده از فرمول (۴) خواهیم داشت:

$$dl_e = dl + \left(\frac{S}{2}\right) d\theta \quad \text{و} \quad dl_i = dl - \left(\frac{S}{2}\right) d\theta \quad (7)$$

رابطه بین زاویه dθ و زاویه کل سهمی θs برابر است با [۱۴] و [۱۵]:

$$d\theta = \left(\frac{2l}{L_s^2}\right) \theta_s \quad (8)$$

برای حذف dθ مقدار آن را از معادله ۸ معادله ۷ جایگذاری می کنم، خواهیم داشت:

$$dl_e = dl + \left(\frac{S}{2}\right) \left(\frac{2l}{L_s^2}\right) \theta_s \quad \text{و}$$

$$dl_i = dl - \left(\frac{S}{2}\right) \left(\frac{2l}{L_s^2}\right) \theta_s \quad (9)$$

جدول ۱ - طول چندین ریل‌های عادی و کوتاه متداول [۲۲]

L_n (m)	L_{sh} (m)	$L_n - L_{sh}$ (mm)	تیپ ریل (kg/m)
15	14.930 14.870	70 130	40, 49
22.5	22.445 22.390 22.335	55 110 165	40, 49
25	24.920 24.840	80 160	60, 65
30	29.900 29.800 29.700	100 200 300	40, 49

ناشی از تغییر دما در ریل برابر است با [۱۶ و ۱۷]:

$$N = E A \alpha \Delta t \quad (15)$$

کارخانه‌هایی که در دنیا ریل تولید می‌کنند در کنار تولید ریل به طول‌های متداول، چندین ریل با طول کوتاه (چند سانتیمتر کوتاهتر از طول ریل عادی) نیز در کنار آن تولید می‌کنند. در جدول (۱) متداولترین اندازه‌های تولید ریل عادی و کوتاه در چند کارخانه مشهور جهان ارایه شده اند [۱۲، ۱۳ و ۲۲]. البته امروز پاره‌ای از کارخانه‌ها، ریل‌های طولیتر، بیش از 100m نیز تولید می‌کنند که کاربرد آنها بسیار محدود است.

در روسازی راه آهن ریل توسط پابندهایی به تراورسها متصل می‌شود. فاصله تراورسها از محاسبات مربوط به روسازه به دست می‌آید که معمولا در سطح جهانی برابر ۵۰ تا ۸۰ سانتیمتر است. همان‌گونه که پیش از این گفته شد پابندها را به دو نوع ارتجاعی و مستقیم تقسیم کرده اند. عملکرد این دو نوع پابند در رابطه با آزادی تغییر طول ریل یکسان نیست. در نتیجه اندازه درز ریل (J) بستگی به نوع پابند، دمای ریل و طول ریل دارد. اندازه کاربردی درز ریل با استفاده از معادله (۱۴) و بر اساس بیشترین اندازه درز که در بسیاری از استانداردهای جهانی حدودا ۲۰ میلی‌متر (به منظور مهار نیروهای دینامیکی ناشی از ضربه چرخ با ریل) و بر مبنای دمای 30°C تدوین شده است که در جدول (۲) ارایه شده و برای دو نوع پابند تقسیم بندی شده است [۱۹، ۲۰ و ۲۳].

در کشورهای اروپایی و امریکا با به‌کارگیری این چندین ریل‌های کوتاه و با آرایشی خاص و محاسبه شده، درزهای گونیا در قوسها همانند مسیر مستقیم ایجاد می‌شوند. طبق استانداردهای بیشتر کشورهای اروپایی، بیشترین اندازه انحراف محل درز که در شکل (۴) نشان داده شده است (ε) باید در خطوط راه آهن کمتر از نصف تفاوت طول ریل عادی با ریل کوتاه باشد [۱۵، ۲۱ و ۲۴]:

$$\varepsilon_{adm} \leq \frac{L_n - L_{sh}}{2} \quad (16)$$

۳- درز ریل

ریل‌های فولادی در گرما افزایش و در سرما کاهش طول پیدا می‌کنند. اندازه درز ریل هنگام ریل‌گذاری بستگی به طول و نوع ریل، دمای ریل و هوای هنگام نصب، نوع پابند^۳ و کمترین و بیشترین دمای هوا در طول سال دارد و از معادله زیر بدست می‌آید [۹، ۱۶ و ۱۸]:

$$e = L \alpha \Delta t 10^3 \quad (14)$$

پابندها نوعی قطعات فولادی‌اند که کف ریل را به تراورس متصل می‌کنند و از جابه‌جایی جانبی ریل جلوگیری می‌کنند. پابندها انواع گوناگون دارند. در ادبیات فنی آنها را به دو دسته ارتجاعی (امکان جابه‌جایی طولی ریل را راحت‌تر فراهم می‌کند) و مستقیم (امکان جابه‌جایی طولی ریل را به سختی فراهم می‌کند) تقسیم کرده اند [۱۹-۲۱]. در این مقاله نیز از این تقسیم بندی متداول استفاده شده است.

چون اندازه درز ریل در محاسبات بر حسب میلی‌متر بوده و از دقت زیادی برخوردار است، باید در محاسبه و به‌کارگیری این ریلها دقت شود. اگر یکی از درزها در قوس به اندازه مناسب نباشد، تنشهای حرارتی موجب تاب برداشتن ریل می‌شود. در هوای سرد نیز ممکن است درزبندها در محل درز ترک بخورند و خطر خروج از خط قطار ایجاد شود. نیروی

۴- برآورد تعداد ریل‌های کوتاه

در برآورد تعداد ریل‌های کوتاه در قوس با این روش سه پارامتر می‌توانند موثر واقع شوند:

الف - طرح هندسی قوس

ب - دمای ریل‌گذاری و نوع پابند

ج - جابه‌جایی مجاز درز

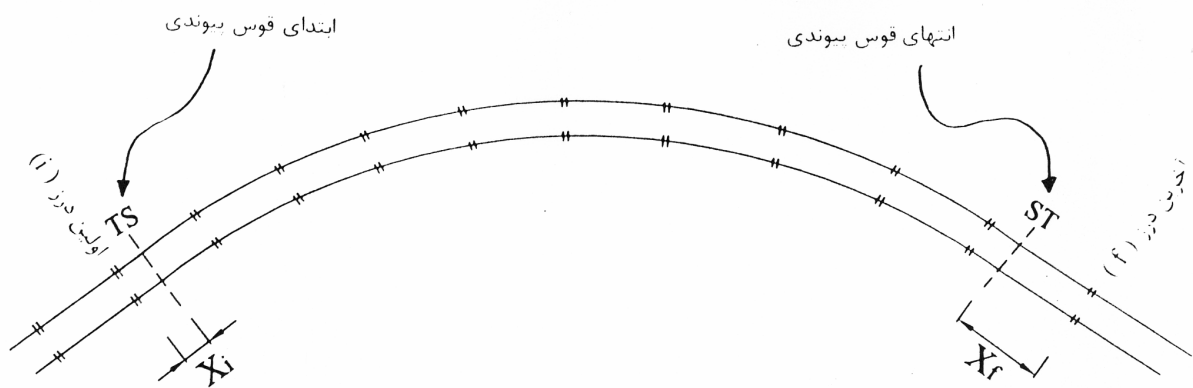
الف - در ابتدا باید پارامترهای هندسی قوس مانند شعاع قوس، زاویه قوس، طول قوس پیوندی و اختلاف طول آنها را محاسبه کنیم که در بخش سوم مقاله بررسی شدند. سپس جایگاه اولین درز پیش از شروع قوس و جایگاه اولین درز پس از انتهای قوس شناسایی شود. در بیشتر موارد ممکن است محل اولین درز (i) و آخرین درز (f) درست در ابتدا و انتهای قوس قرار نگیرند. در اینجا این دو فاصله برابر X_i و X_f در نظر گرفته شده است، شکل (۷). چون برای کمان بیرونی قوسها فقط ریل‌های با طول عادی و برای کمان درونی قوسها، ریل‌های با طول عادی و کوتاه در نظر گرفته شده اند، تعداد ریل‌ها باید با احتساب فاصله X_i و X_f محاسبه شود. در این مقاله فرض شده است که فاصله X_i پیش از TS و فاصله X_f پس از ST است. در نتیجه تعداد ریل با طول عادی برای کمان بیرونی قوسها برابر می‌شود با:

$$n_e = \frac{X_i + \Sigma L_e}{L_n} \quad (17)$$

ب - پس از مشخص شدن پارامترهای هندسی، باید طول ریل عادی و طول ریل کوتاه انتخاب شود. طول‌های ریل‌های عادی و ریل‌های کوتاه انتخاب شده برای قوس ارائه شده در جدول (۱) برای دمای $20^{\circ}C$ در نظر گرفته شده اند. اگر دمای ریل‌گذاری غیر از این دما باشد، باید تغییر طول ریل همانند معادله (۱۴) در محاسبه منظور شود. سپس نوع پابند و اندازه درز ریل در دمای ریل‌گذاری انتخاب شوند. اکنون با داشتن پارامترهای بالا، کیلومتر آخ‌ترین درز (اولین درز پس از ST)

جدول ۲ - اندازه های درز بین ریلها (j) به mm [۱۹ و ۲۰]

دمای ریل C°	پابندهای مستقیم				پابندهای ارتجاعی			
	طول ریل (m)				طول ریل (m)			
	9	12	15	30	15	22.5	25	30
60	0	0	0					
58	0	0	0					
56	0	1	1					
54	1	1	1					
52	1	1	1					
50	1	1	2					
48	1	2	2					
46	1	2	2					
44	2	2	3	0	0	0	0	
42	2	2	3	1	1	1	0	0
40	2	3	3	2	1	1	1	1
38	2	3	4	2	1	2	2	1
36	2	3	4	3	2	2	2	2
34	3	3	4	4	2	3	3	3
32	3	4	5	4	2	3	4	3
30	3	4	5	5	2	4	4	4
28	3	4	5	6	3	4	5	5
26	3	4	6	6	3	5	5	5
24	4	5	6	7	3	5	6	6
22	4	5	6	8	4	6	6	7
20	4	5	7	8	4	6	7	7
18	4	6	7	9	4	7	7	8
16	4	6	7	10	5	7	8	9
14	5	6	8	10	5	8	9	9
12	5	6	8	11	5	8	9	11
10	5	7	8	12	6	9	10	11
8	5	7	8	12	6	9	10	12
6	5	7	9	13	6	10	11	12
4	6	7	9	14	7	10	11	13
2	6	8	10	14	7	11	12	13
0	6	8	10	15	7	11	12	14
-2	6	8	10	16	8	12	13	15
-4	6	8	11	16	8	12	13	15
-6	7	9	11	17	8	13	14	16
-8	7	9	11	17	9	13	15	17
-10	7	9	12	18	9	14	15	17
-12	7	10	12	19	9	14	16	18
-14	7	10	12	19	10	15	16	18
-16	8	10	13	20	10	15	17	19
-18	8	10	13	20	10	16	17	20
-20	8	11	13	20	11	16	18	20
-22	8	11	14		11	17	18	
-24	8	11	14		11	17	19	
-26	9	11	14		12	18	20	
-28	9	12	15		12	18	20	
-30	9	12	15		12	19	20	



شکل ۷ - فاصله اولین درز پیش از TS و فاصله آخرین درز پس از ST

انحراف کمی دشوار است. بنابراین می‌توان نموداری رسم کرد تا آرایش ریل‌های کوتاه بین ریل‌های عادی در کمان درونی قوس بهتر کنترل شود. در این نمودار مبنای کار به این گونه است که قوس بیرونی فقط با ریل‌های عادی ریل‌گذاری شده است. در نتیجه محور x ها بیانگر تعداد پانل است به گونه ای که هر اسانیمتر برابر طول یک پانل $(Ln + j - e)$ بوده و محور y ها بیانگر تفاوت طول کمان درونی و بیرونی بر حسب اختلاف طول $L_n - L_{sh}$ فرض شده است، شکل (۸).

همان گونه که در این نمودار دیده می‌شود، منحنی (الف) نمایش مکان هندسی جابه‌جایی محل درز (اختلاف طول ریل بیرونی و درونی در هر نقطه از قوس) است و از سه تکه تشکیل یافته است. بخش نخست و سوم آن (TS تا SC و CS تا ST) مربوط به سهمی قوس پیوندی و بخش دوم (SC تا CS) مربوط به قوس دایره میانی است. در کنار این منحنی می‌توان منحنی یا خط شکسته ای رسم کرد، منحنی (ب) که از دو بخش مستقیم و زاویه‌دار (45^0) تشکیل یافته است به طوری که بخش مستقیم بیانگر ریل با طول عادی و بخش زاویه‌دار بیانگر ریل با طول کوتاه باشد. هر کجا که اختلاف منحنی (الف) با (ب) بیشتر از ϵ شد، یک تکه خط زاویه‌دار وارد می‌کنیم. مختصات اصلی این نمودار برابرند با:

برابر می‌شود با:

$$km f = km i + X_i + n_e(L_n) + n_e(J) - n_e(e) - (\Delta L/2) \quad (18)$$

ج - اختلاف فاصله کیلومتر از آخرین درز با کیلومتر از ST برابر همان فاصله X_f است. پس تعداد ریل کوتاه بین اولین درز و آخرین درز برای کمان درونی قوس با احتساب فاصله X_f و X_i برابر می‌شود با:

$$n_{sh} = \frac{\Delta L}{L_n - L_{sh}} \quad (19)$$

عدد به دست آمده را باید گرد کنیم.

۵ - روش نمودار

این عمل گرد کردن تعداد ریل کوتاه به عدد صحیح (بدون اعشار) موجب جابه‌جایی (انحراف) درزهای گونیا می‌شود. در نتیجه عدد گرد شده را باید با انحراف مجاز کنترل کنیم، معادله (۱۶). در اولین ریل پس از TS اندازه انحراف دو درز روبروی هم (ϵ) کم و به تدریج افزایش می‌یابد هر گاه که ϵ بیشتر از اندازه انحراف معادله (۱۶) شود، یک ریل کوتاه وارد می‌کنیم تا اندازه انحراف جبران شود. محاسبه دستی کنترل این

$$X_{TS} = \frac{X_i}{L_n + J - e}$$

$$Y_{TS} = \frac{\varepsilon \div 2}{L_n - L_{sh}}$$

$$X_{SC} = \frac{X_i + L_s + (\Delta L_s \div 2)}{L_n + J - e}$$

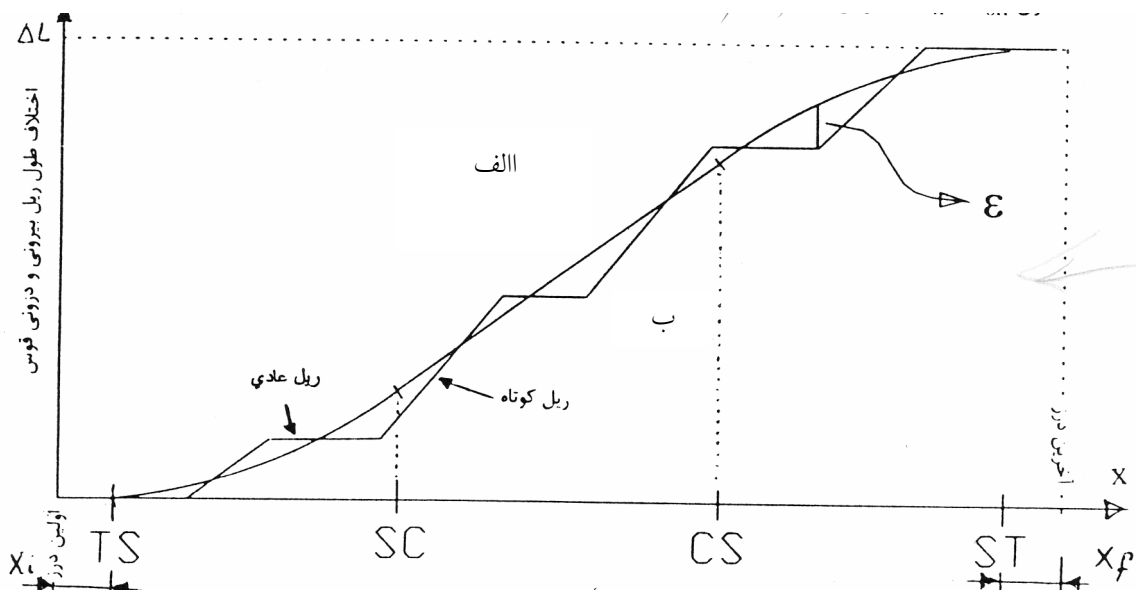
$$Y_{SC} = \frac{\Delta L_s - (\varepsilon \div 2)}{L_n - L_{sh}}$$

$$X_{CS} = \frac{X_i + L_s + C + \left(\frac{\Delta L_s + \Delta C}{2}\right)}{L_n + J - e}$$

$$Y_{CS} = \frac{\Delta L_s + \Delta C - (\varepsilon \div 2)}{L_n - L_{sh}}$$

$$X_{ST} = \frac{X_i + 2L_s + C + (\Delta L \div 2)}{L_n + J - e}$$

$$Y_{ST} = \frac{\Delta L - (\varepsilon \div 2)}{L_n - L_{sh}} \quad (20)$$



شکل ۸- نمودار پخش ریل‌های کوتاه با توجه به اختلاف طول ریل‌های بیرونی و درونی قوس

مثال - قوس مسیر راه آهن با شعاع $R = 350 \text{ m}$ ، $\Delta = 45^\circ$ ، $\theta_s = 10^\circ 57' 53''$ ، $L_n = 25 \text{ m}$ ، $L_s = 129.48 \text{ m}$ ، نوع (تیپ) ریل UIC 60، دمای ریل‌گذاری 16° C ، نوع پابند ارتجاعی، کیلومتر اولین درز پیش از TS برابر $1+165.15$ و کیلومتر نقطه TS برابر $1+171.81$ فرض می‌شود. می‌خواهیم تعداد ریل‌های کوتاه را به دست آوریم.

حل:

$$C = 350 \pi (45 - 21.93) / 180 = 140.93 \text{ m}$$

مجموع طول سه قوس محور مسیر

$$\Sigma L = 2L_s + C' = 399.89 \text{ m}$$

منحنی (ب) را پس از رسم منحنی (الف) بدست می‌آوریم. به این گونه که منحنی (ب) با توجه به انحراف مجاز (ε) رسم می‌شود. به طوری که هر کجا بخش مستقیم منحنی (ب) از منحنی الف فاصله گرفت، یک تکه وارد می‌کنیم تا فاصله دو منحنی هیچ‌گاه بیشتر از ε نشود. به این ترتیب به راحتی تعداد و محل قرارگیری ریل‌های کوتاه در قوس به دست می‌آید. برای سهولت پیشنهاد می‌شود که سطح نمودار بصورت شطرنجی با خانه‌های اسانتیتر تقسیم بندی شوند تا کار رسم دو منحنی به راحتی انجام گیرد. برای نمونه در زیر یک مثال ارائه می‌شود.

که برای دقت بیشتر می‌توان آنرا در ابتدا و انتهای قوس به دو قسمت تقسیم کرد ($58 \div 2 = 29 \text{ mm}$ در ابتدا و 29 mm در انتها).

برای رسم نمودار پخش ریل‌های کوتاه، مقیاس محور y ها را به دست می‌آوریم که برابر اختلاف طول دو کمان قوس در هر پانل است که در اینجا برابر می‌شود با :

$$(1.178 / 0.058) / 7 = 0.16 \text{ m}$$

مختصات نقاط اصلی قوس در این نمودار برابر می‌شود با معادله (۲۰) :

$$X_{TS} = \frac{6.66}{25 + 0.008 - 0.00115} = 0.267 \text{ cm}$$

$$Y_{TS} = \frac{-0.029}{25 - 24.84} = -0.18 \text{ cm}$$

$$X_{SC} = \frac{136.28}{25.00685} = 5.45 \text{ cm}$$

$$Y_{SC} = \frac{0.287 - 0.029}{0.16} = 1.61 \text{ cm}$$

$$X_{CS} = \frac{277.52}{25.00685} = 11.1 \text{ cm}$$

$$Y_{CS} = \frac{0.287 + 0.604 - 0.029}{0.16} = 5.38 \text{ cm}$$

$$X_{ST} = \frac{404.14}{25.00685} = 16.28 \text{ cm}$$

$$Y_{ST} = \frac{1.178 - 0.029}{0.16} = 7.18 \text{ cm}$$

در شکل (۹) طرح هندسی این قوس و در شکل (۱۰) نمودار منحنی پخش ریل‌های کوتاه نمایش داده شده‌اند. همان‌گونه که دیده می‌شود می‌توانیم در ابتدا سه ریل عادی در قوس درونی بگذاریم. مقدار انحراف درزهای گونیا در درز سوم کمتر از 0.08 متر یا $0.16/2$ می‌رسد که قابل قبول است. اما ریل چهارم باید ریل کوتاه باشد تا اختلاف دو منحنی از ε_{adm} بیشتر نشود. در صورتیکه که اگر ریل چهارم را نیز زیل عادی می‌گذاشتیم، مقدار انحراف مکان درزهای روبرو برابر 0.16 متر می‌رسید. سپس ریل پنجم را می‌توان ریل عادی قرار داد. بدین ترتیب ریل کوتاه دیگر را با رعایت اندازه ε بین ۱۷ پانل دیگر تقسیم می‌کنیم.

تفاوت طول سه قوس ریل بیرونی و درونی:

$$\Delta L = 2(\Delta L_S) + \Delta C' = 2 [0.0262(10.965)] + 1.5 \pi$$

$$\frac{45 - 2(10.965)}{180} = 1.178 \text{ m}$$

مجموع طول سه قوس ریل بیرونی:

$$\Sigma L_e = 399.89 + (1.178/2) = 400.476 \text{ m}$$

مجموع طول سه قوس ریل درونی :

$$\Sigma L_i = 399.89 - (1.178/2) = 399.301 \text{ m}$$

کیلومتر از اولین درز پیش از TS :

$$X_i = \text{km } 1 + 171.81 - \text{km } 1 + 165.15 = 6.66 \text{ m}$$

$$\text{kmST} = 1 + 571.7$$

اندازه درز ریل‌ها از جدول (۲) :

$$J = 8 \text{ mm}$$

تعداد ریل با طول عادی :

$$n_e = \frac{6.66 + 400.479}{25} = 16.29 \rightarrow 17$$

$$\Delta t = 20 - 16 = 4C^\circ$$

$$\alpha = 1.15 (10)^{-5}$$

تغییر طول ریل از معادله (۱۴) :

$$e = 1.15 (10)^{-5} (25)^4 = 0.00115 \text{ m}$$

کیلومتر از اولین درز پس از ST معادله (۱۸) :

$$\text{km } f = 65.15 + 6.66 + 17(25) + 17(0.008) -$$

$$17(0.00115) - (1.178/2) = 1596.34$$

فاصله اولین درز تا ST :

$$X_f = \text{km } 1 + 596.34 - \text{km } 1 + 571.7 = 24.64 \text{ m}$$

انتخاب طول ریل کوتاه از جدول (۱) :

$$L_{sh} = 24.84 \text{ mm}$$

تعداد ریل کوتاه معادله (۱۹) :

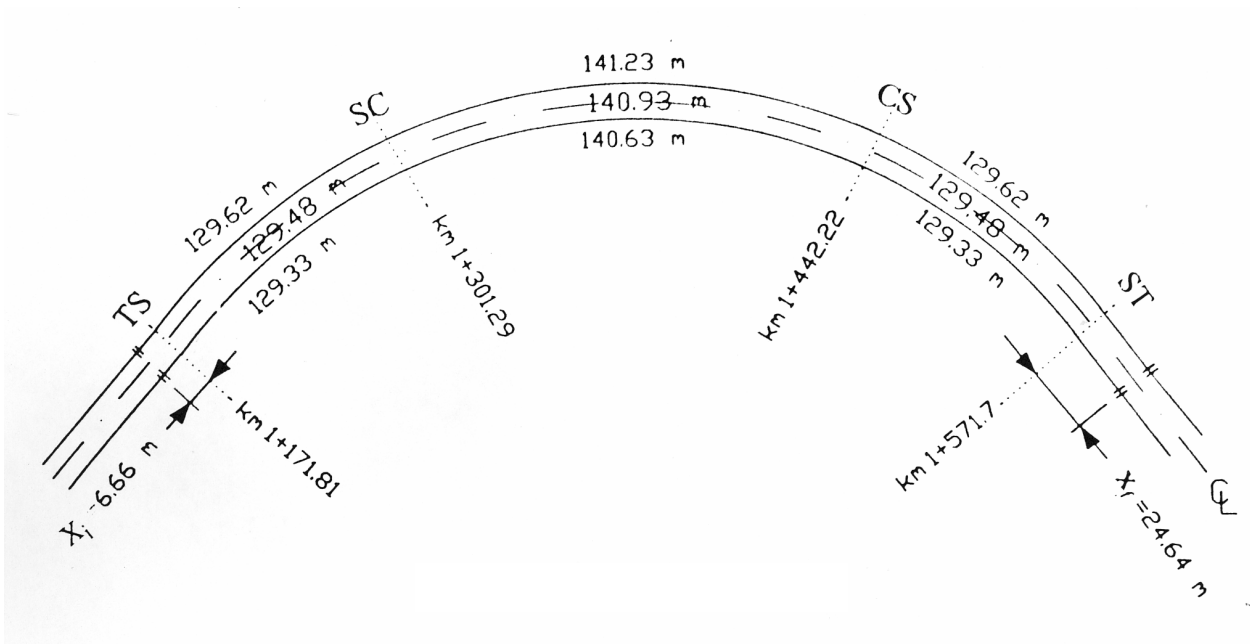
$$n_{sh} = \frac{1.178}{25 - 24.84} = 7.362 \rightarrow 7$$

به کار بردن ۷ ریل کوتاه به جای 7.362 انحراف مکان (جابه‌جایی) درزهای گونیا را ایجاد می‌کند. مقدار این انحراف برابر می‌شود با :

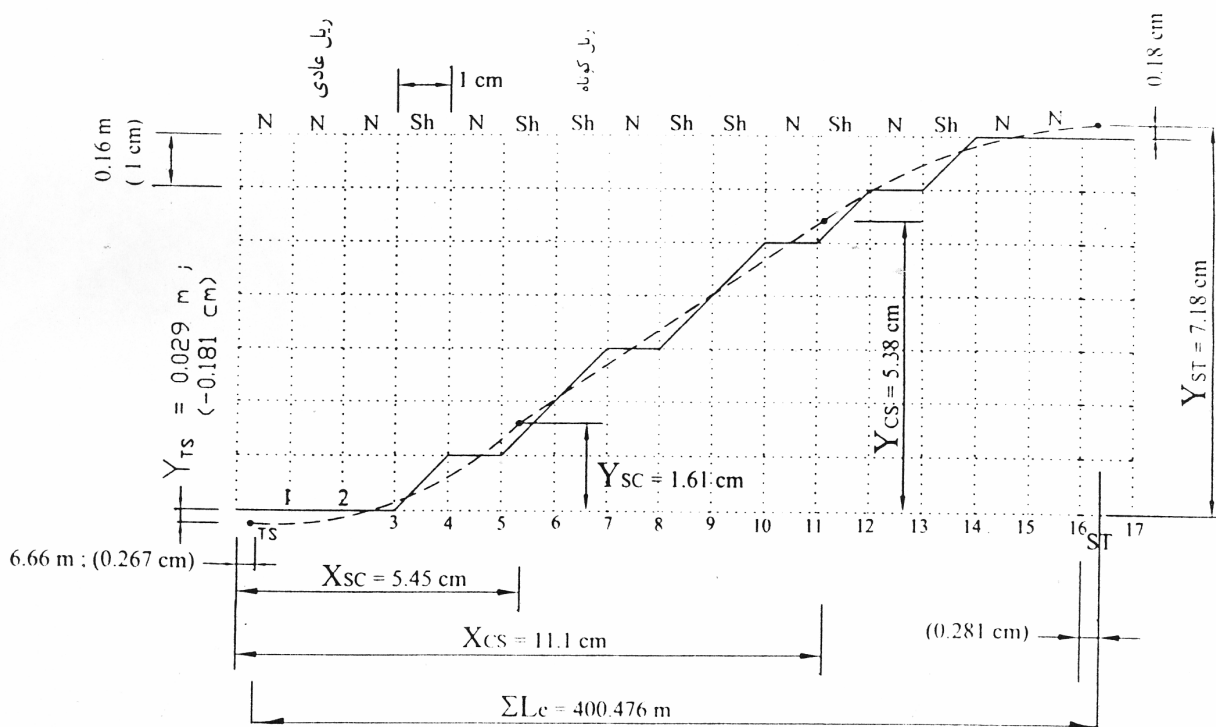
$$\varepsilon = (7.362 - 7)(25 - 24.84) = 0.058 \text{ m}$$

که این اندازه را با اندازه مجاز کنترل می‌کنیم معادله (۱۶) :

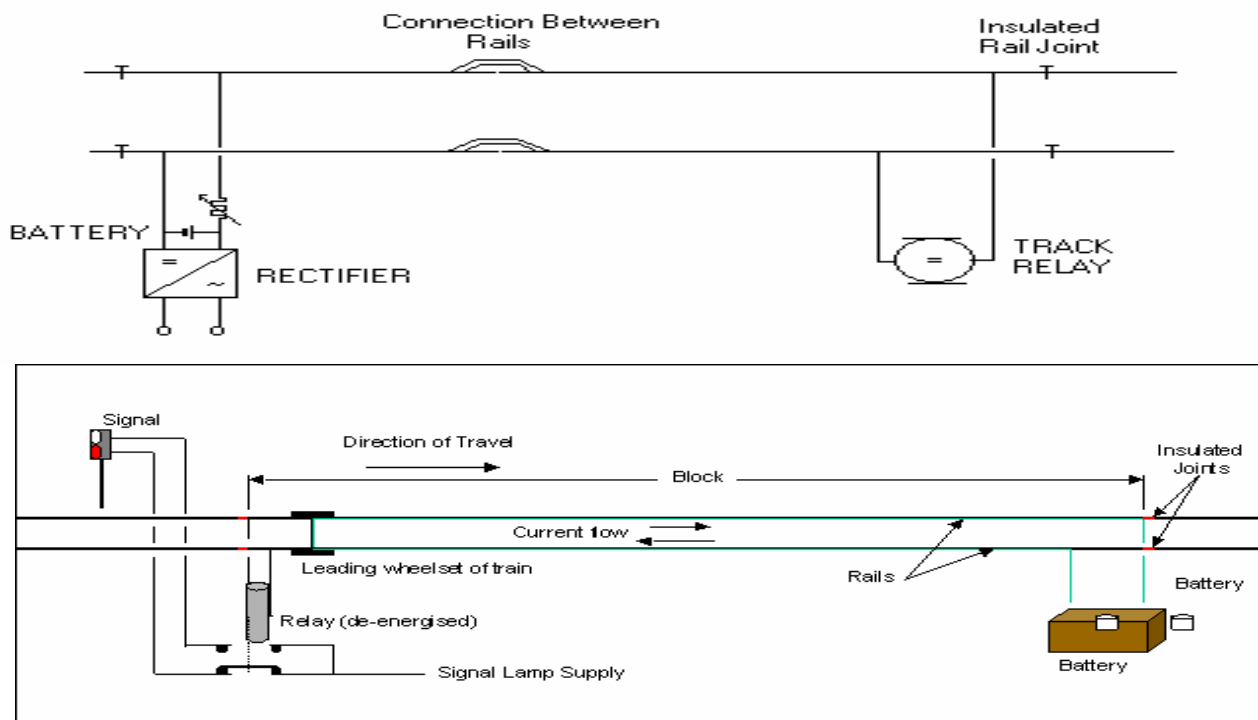
$$0.058 \leq \varepsilon_{adm} = \frac{25 - 24.84}{2} = 0.08 \text{ m}$$



شکل ۹- پارامترهای هندسی قوس مورد بررسی



شکل ۱۰- نمودار پخش ریل‌های کوتاه در قوس



شکل ۱۱ - درزهای گونیا در ابتدا و انتهای بلاک اتوماتیک خط [۲۵]

۶ - کاربرد های درزهای گونیا

ایجاد درزهای گونیا برای خطوط راه آهن شاید مشکل و تا حدودی هزینه بر باشد، اما برای طرحهای توسعه خطوط در آینده و هم برای افزایش کیفی خطوط و کاهش هزینه در دیگر زمینه های نگهداری خطوط، اجرای این روش مفید است. با توجه به اینکه این امر امروزه یک نیاز محسوب می شود، برخی از ویژگیهای اجرای این روش در زیر گفته شده اند:

الف - خطوط راه آهن کشورمان در قوسها بدون درزهای گونیا احداث شده اند. محل قرارگیری تروراسها در قوس نسبت به جایگاه درز در بسیاری موارد قرینه نیست. اینگونه قرارگیری تروراسها نشست ناهمگن درز را ایجاد می کند [۴].

ب - امروزه طول خطوط راه آهن در بیشتر کشورهای پیشرفته برای کنترل ترافیک ریلی بین دو ایستگاه بلاک بندی می شود. به این شکل که طول خطوط به تکه های 2-3 km تقسیم

بندی می شود که هر تکه مسیر را یک بلاک می نامند. هر بلاک به جریان مدار بسته کنترل اتوماتیک ترافیکی مجهز است که در مرز بلاکها باید عایق بندی برقی اجرا شود. مرز هر بلاک باید در محل درز گونیا باشد، شکل (۱۱). اجرای روش درز گونیا در قوسها می تواند پیاده کردن بلاک بندی را آسانتر کند. با توجه به گرایش جهانی در این امر، احتمالاً ایران نیز به منظور استفاده از علائم برقی بزودی به اجرای بلاک بندی خطوط خود خواهد پرداخت [۲۵].

ج - در صورت استفاده از روش جوش آلومینیم حرارتی (آلومینوترمیک) برای جوش درز ریل به جای درز بند می باید در هر ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ متر از یک دستگاه درز گسترده استفاده کرد [۲۳ و ۱۰]. ممکن است محل این درز گسترده در قوس قرار گیرد. در صورت نبود درزهای گونیا در قوس، اجرای این درز گسترده با مشکل روبرو خواهد شد.

د - هنگامی که بار محوری افزایش می‌یابد، برای کاهش نیروهای دینامیکی ناشی از ضربه در محل درز در پاره ای از کشورها تراورس تقویتی یا یک صفحه فلزی تقویتی (همانند شکل (۱) حالت (ج) در محل درزبند می‌گذارند [۷]. در صورتی که درزهای گونیا در قوس ایجاد نشده باشند، نمی‌توان این عمل را انجام داد.

ه - با توجه به اینکه شعاع قوس مسیر راه آهن در استانداردهای جدید بیشتر از 500 متر است [۹و۸]، طول قوسهای راه آهن بسیار طولی می‌شود و در بیشتر موارد به چندین کیلومتر می‌رسد و با توجه به اینکه در کشورمان به علت کوهستانی بودن جغرافیایی، بیشتر مسیرهای خطوط راه آهن در قوس واقع شده‌اند. لذا این روش می‌تواند کاربرد موثری برای راه آهن ایران داشته باشد.

و - قطارها برای تغییر مسیرشان از یک خط به خط دیگر از دستگاه دوراهی یا سوزن استفاده می‌کنند. محل قرار گیری تیغه‌های سوزن باید در محل دقیق درز گونیا باشد. در خیلی از کشورها در قوسها نیز از سوزن استفاده می‌شود [۱۱و۲۶]. در خطوط راه آهن ایران فقط در مسیر مستقیم از سوزن استفاده می‌شود [۵]. لذا با گونیا کردن درزها در قوس، می‌توان از سوزن در قوسها هم استفاده کرد.

ز - مقدار سایدگی ریل و چرخ فولادی در قوسها بیشتر از مسیر مستقیم است [۹و۲۴]. هنگام تعویض ریل یا پانل در قوس (پس از فرسوده شدن) در شرایط درزهای گونیا، کار دقیقتر و آسانتر انجام می‌گیرد.

نتیجه گیری

۱- در روشهای متداول و استاندارد اروپایی، برای کمان درونی قوس از ابتدا ریل عادی قرار می‌دهند و پس از چندین درز هنگامی که اندازه انحراف درز گونیا برابر رابطه ۱۶ شد، یکی از

انواع ریلهای کوتاه را انتخاب می‌کنند. در پاره ای موارد حتی ممکن است یک قوس دارای ۳ یا ۴ نوع ریل کوتاه برای کمان درونی باشد.

۲- ویژگی این روش پیشنهادی در این است که فقط از یک نوع ریل کوتاه استفاده می‌شود و برخلاف روشهای متداول در کشورهای اروپایی که از چندین نوع ریل (طولهای گوناگون ریل کوتاه) استفاده می‌شود، می‌توان فقط با یک ریل کوتاه درزهای گونیا در قوس ایجاد کرد.

۳ - در کشورمان ایران برای ریل درونی و بیرونی فقط ریل با طول عادی استفاده می‌کنند. فقط در آخرین ریل در قوس درونی، از یک ریل بسیار کوتاه، در بعضی مواقع به طول ۵ تا ۷ متر استفاده می‌شود و در نتیجه درزها در طول قوس در برابر یکدیگر قرار ندارند و فقط در انتهای قوس درز با قرار دادن یک ریل کوتاه به صورت متقابل در می‌آید.

۴ - با توجه به اینکه در کشورهای اروپایی تعداد کارخانه‌هایی ریلسازی زیاد است و در ایران کارخانه ریلسازی نداریم، استفاده از انواع طولهای کوتاه مشکل و شاید برای راه آهن ایران گران تمام شود. لذا در این روش فقط با به‌کارگیری یک ریل کوتاه می‌توان درزهای گونیا همانند روشهای متداول داشت

قدردانی

از پرسنل و مهندسان اداره خط و ابنیه راه آهن جمهوری اسلامی ایران در کمک و رهنمودهایشان سپاسگزاری می‌شود.

مراجع

۱. رستمی، ر. *روسازی راه آهن*، نشر کاوشگر، تهران، ۱۳۶۶
۲. استانداردهای طراحی خطوط راه آهن ایران، ایران - کامپساکس، وزارت راه و ترابری ایران، ۱۹۷۶
۳. مقررات عمومی حرکت، جلد اول، وزارت راه و ترابری، راه آهن جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۷۳
۴. منجم، س. *طراحی خطوط راه آهن*، نشر انگیزه، تهران، ۱۳۸۱
۵. آذری، خ. *اطلاعات عمومی سوزن‌ها و دوراهه‌ها*، راه آهن جمهوری اسلامی ایران، ۱۳۷۶
6. Profillidis, V. , *Railway Engineering* , Cambridge , University Press , 1995.
7. Elliott,J, . et all , *Rail and Their Maintenance* , British Railway Track Cours , The Permanent Way Institution , London , 1993.
8. Civil 4410 – Transportation Engineering , Railway Track Design : Notes , <http://www.Rail.tudelf.nl>
9. Esveld, C. , *Modern Railway Track* , MRT Publication , Second Edition , 2001.
10. Esveld, C. , *Improved Knowledge of C.W.R. Track* , Delft University of Technology , Netherlands <http://www.c.esveld@ct.tudelft.nl>
11. Hay William, W, . *Railroad Engineering* , John Wiley & Sons , 1982.
12. Railway Industry Association of Great Britain , Track Course , London , 1983 .
13. Wilmott, D.J , "New Track Construction ," Track Course , RIA , London , 1993.
14. Gubar, J. ; "Railway Transition Curve Planning Methods " , Rail International , April 1990
15. Eickhoff M.A. , Mech E. ; Track Geometry and Curved track , British Rail Research , Derby, 1991
16. Kish, A. , and Coltman M. " New Techniques for Rail Longitudinal Force Measurement " , American railway Engineering Association , Bulletin 727 , 1995.
17. Utrata, D. " Longitudinal Rail Stress Measurements", Association of American Railroads , Research Report R-779 , Chicago , 1993 .
18. Profillidis, V. , and Poniridid P. " The Mechanical Behaviour of the Sleeper-Ballast Interface" , *Computers and Structures* , Vol.24 , No. 3,1995
19. Lindsey, D. " Rail Track Fastening " , Track Course , RIA , London, 1983
20. ORE , D11 , RPI " Methods of Fastening Rails of Sleepers " , *Utrecht*. 1984
21. Watanabe, J. " Engineering of Rail Fastening " , *Japan Railway Engineering* , Vol. 19 , No .45 ,1990.
22. Yates, J.K. " Rail Manufacture and Available Range " , British Steel Track Products , London , 1993 .
23. Nakata, M. , Tamuray C. , and Nomura H. " Welding of Railroad Rails " , Nippon Kokan Technical Report , Overseas , no 32. June 1991..
24. Esveld, C. " Digital Assessment of Geometrical Track Quality " , *Rail International* , April 1991 .
25. New Technology and Signalling System , Fromm Eelectronic Interlocking to Mobile Block , Rail International , Vol. 10 , 1993.
26. Bethlehem Switch Stands , Bethlehem Steel Corporation , USA , 1994 .