نگرشی بر ایمن سازی ترانشه های ناپایدار با تکیه بر روش اجرای گالری ضد ریزش

رضا نجفیان[۱]

[۱] کارشناس عمران، اداره کل خط و سازه های فنی راه آهن ج.ا.ا؛ reza.nadjafian @ gmail.com

چکیده

ایمنی در شبکه سراسری راه آهن ایران به عنوان شریان حیاتی کشور از اهمیت بالائی برخوردار است. در این راستا موضوع ایمن سازی ترانشه ها به منظور جلوگیری از سقوط سنگ و لغزش ها به عنوان ابتدائی ترین مبحث ایمنی مسیر مورد توجه می باشد. بدون شک وقوع لغزش و ریزش سنگ بر روی خط راه آهن، تهدیدات زیادی از جمله خطر خروج از خط قطارها را به وجود آورده و ضرورت بررسی پایداری ترانشه ها و اجرای سازه نگهبان را دوچندان می نماید. از میان روش های موجود مقابله با سنگ ریزش در مناطق کوهستانی که از مجاورت شیب های تند عبور می کنند می توان به احداث گالری ضد ریزش اشاره نمود. در این مقاله ضمن معرفی مخاطرات تهدید کننده ایمنی در ترانشه ها و کلیات روش های کاهش خطر زائی آنها، به بررسی انواع گالری ها می پردازد.

کلمات کلیدی: لغزش، پایداری ترانشه، سنگ ریزش، گالری ضدریزش

مقدمه

ترانشه ها در زمره سازه هایی هستند که قسمت نسبتا زیادی از طول خطوط راه آهن را در بر می گیرند. در ایران نیز به علت عبور راه آهن از رشته کوه های زاگرس و البرز ، حدود ۲۴۰۰ دستگاه ترانشه وجود دارد که ۸ درصد طول کل خطوط ریلی می باشد.

به دلیل پیشرفت های اندک در زمینه مکانیک خاک و اینکه پارامترهای محاسبات پایداری ترانشه ها (زاویه اصطکاک داخلی و مقاومت فشاری) در سرتاسر دیواره یک ترانشه ثابت نمی باشد، تامین ایمنی آنها نیاز به مطالعات خاص زمین شناسی دارد که غالباً در مطالعات اولیه طراحی مسیر نادیده گرفته شده و منجر به ناپایداری ترانشه ها می گردد. متداول ترین روش تثبیت ناپایداری ها، کاهش سربار ترانشه و شیب دیواره می باشد که علاوه بر حجم بالای خاکبرداری و مشکلات اجرائی، غالباً نیاز به اصلاح مجدد و بازدید های مکرر دارد. روش ارائه شده در این مقاله احداث گالری ضد ریزش می باشد که علاوه بر افزایش ضریب ایمنی ترانشه تا بالای ۹۰ درصد و عدم بازگشت ناپایداری به ترانشه، به سهولت قابل اجرا می باشد. در راه آهن ایران تا قبل از احداث راه آهن بافق-کاشمر، ۴۲ دستگاه گالری با طول حدود ۹۳۰۰ متر احداث شده و با احداث مسیر فوق ۵۰ درصد به آمار آن ها اضافه گردید که نشان دهنده مناسب بودن طرح آن می باشد.

انواع ناپایداری شیب ها در شبکه راه آهن[1]

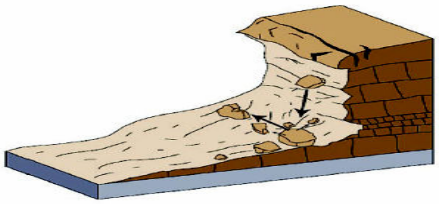
شیب های مشرف به راه آهن دارای ناپایداری هائی هستند که متداول ترین آنها را می توان به موارد زیر تقسیم بندی نمود:

۱. سنگ ریزش[۱]
۲. واژگونی[۲]
۳. لغزش[۳]

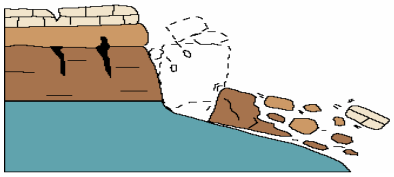
سنگ ریزش عبارت است از جدا شدن مواد از دیواره و ریختن آن به پای دامنه به صورت غلطیدن، جهیدن یا سقوط کردن. ریزش سنگ اغلب در دامنه‌های قائم یا نزدیک به قائم اتفاق می افتد و سرعت حرکت ذرات ریزشی زیاد تا بسیار زیاد بوده و دارای اندازه های متفاوت می باشد.

واژگونی عبارت است از جدا شدن سنگ از دیواره شیب در اثر نیروی گرانشی حاصل از وزن خود قطعه سنگ و سقوط آن به پائین.

لغزش عبارت است از حرکت و جابه‌جایی بخشی از مواد دامنه در امتداد یک سطح گسیختگی مشخص.



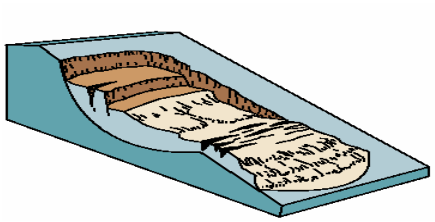
شکل شماره۱: عملکرد کلی سنگ ریزش



شکل شماره۲: عملکرد کلی واژگونی

Fall 1
Topple ۲
Slide ۳

Archive of SID
www.SID.ir



شکل شماره۳: عملکرد کلی لغزش

علل پیدایش ناپایداری در ترانشه ها[2]

شیب و ارتفاع دامنه: با افزایش شیب و ارتفاع دامنه، میزان کل نیروی گرانشی وارد بر توده خاک یا سنگ نیز افزایش یافته و به طور مستقیم پایداری آن را تحت تاثیر قرار می‌دهند.

بار های وارده بر روی ترانشه: بارهای وارده شامل تجمع آب یا برف در سطح ترانشه و وزن مواد حمل شده از زمین لغزه دیگری که در بخش های بالاتر رخ داده، می تواند باعث افزایش تنش برشی در امتداد سطح بالقوه گسیختگی شود. از جمله عوامل بسیار موثر دیگر که می تواند بارگذاری را به شدت تحت تاثیر قرار دهد، بروز زمین لرزه و اعمال شتاب های افقی و قائم تناوبی بر توده خاک و سنگ است.

ترک و شکاف در لایه‌ها دیواره خارجی ترانشه: در طبیعت معمولاً توده‌های خاک و سنگ دارای لایه‌بندی و درزه و شکاف می‌باشند. این موضوع باعث ایجاد یک بخش ضعیف در کل توده سنگی یا خاکی گردیده و در شرایطی که جهت شیب لایه‌های ضعیف بوده یا ناپیوستگی در جهت شیب شیروانی باشد، معمولاً لغزش بر روی یک سطح گسیختگی در محل همان لایه ضعیف اتفاق می افتد.

آب زیرزمینی: این عامل یکی از مهمترین عوامل تسریع کننده حرکت دانه‌ها است. آب باعث افزایش وزن دانه یا چگالی ظاهری آن گردیده و به طور ذاتی مقاومت برشی مصالح را اندکی کاهش می‌دهد که خود نقشی منفی در پایداری آن دارد. در سنگ های شکاف دار، فشار آب وارد بر شکاف می‌تواند تا حد قابل توجهی میزان تنش عمودی موجود در سطح درزه‌ها را کاهش داده و باعث بالا رفتن خطر لغزش گردد.

روانآب های سطحی: معمولاً پس از بروز بارندگی، روانآب های سطحی جاری گردیده و باعث شسته شدن مصالح سطحی بر اثر سرعت جریان آب و حرکت آنها به صورت جریانهای دوغاب مانند و همچنین تسریع فرآیند فرسایش مصالح و سپس ریزش ورقه‌ای آنها می گردد.

روش های متداول تثبیت و کاهش خطر ناپایداری شیب ها[3]

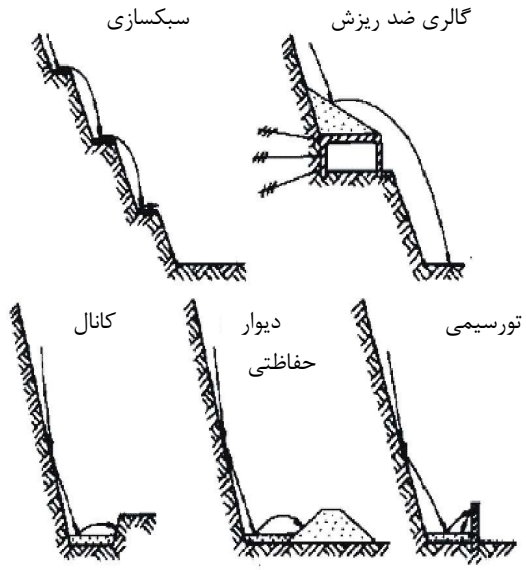
همان گونه که در بالا اشاره گردید عوامل محیطی و فرسایشی و نیز توپوگرافی هر منطقه از مسیر راه آهن باعث تشدید ناپایداری شده و مشکلاتی جهت استفاده از مسیر به وجود می آورند. مهمترین خطری که اکثر ترانشه های راه آهن دارند، سنگ ریزش بوده و به منظور کاهش خطر وقوع ریزش سنگ بر روی خط، عملیات تثبیت شیب ها اجرا می گردد. روش های مختلفی برای این عملیات وجود دارد که می توان به دو بخش تقسیم نمود: بخش اول ایمن سازی بدنه ترانشه است که ایمن سازی فعال[3] می نامیم و دیگری احداث سازه ای برای مقابله با ناپایداری ترانشه است که ایمن سازی حفاظتی[4] می گویند.

روش های ایمن سازی فعال

اصولاً ایمن سازی فعال جزو ابتدائی ترین روش های تثبیت ناپایداری بوده و انواع اصلی آن عبارتند از:

۱. سبک سازی ترانشه[5]
۲. کاهش زاویه شیب دیواره ترانشه

اجرای روش های فوق اصولاً مبتنی بر شرایط زمین شناسی هر ترانشه بوده و تنوع آن ها محدود می باشد.



شکل شماره۴: تمهیدات اجرائی جهت کنترل سنگ ریزش

روش های ایمن سازی حفاظتی

ایمن سازی حفاظتی عبارت است از اجرای سازه ای حفاظتی مابین دیواره ترانشه و خط راه آهن به منظور جلوگیری از ریزش سنگ بر روی خط. روش های متداول آن عبارتند از:

۱. دیوار های حفاظتی(حائل، وزنی، پوششی، خاک مسلح، گابیون)
۲.کانال طولی
۳.تورسیمی
۴.میخکوبی[6]، نصب توری و بتن پاشی[7]
۵.گالری ضد ریزش

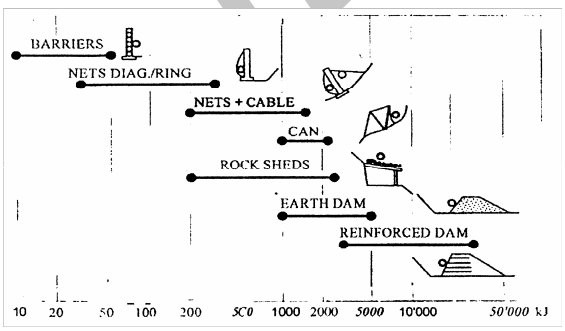
---

[3] Active
[4] Passive
[5] Berm
[6] Nailing
[7] Shotcrete

Archive of SID
www.SID.ir

درجه بندی روش ها و سازه های حفاظتی

جهت جلوگیری از ریزش سنگ ها بر روی خطوط ریلی باید سازه های حفاظتی در برابر آن اختیارگردد. جهت انتخاب سازه مناسب، تعیین الگوی پرتاب و انرژی توده سنگ رها شده الزامی است زیرا سازه محافظ باید هم از لحاظ ایمنی و هم از لحاظ اقتصادی توجیه قابل قبول داشته باشد. نرم افزارهای مختلفی جهت شناسائی الگوی پرتاب های مختلف سنگ و ارزیابی احتمال وقوع آنها با توجه به شکل و توپوگرافی منطقه و درنظر گرفتن پستی و بلندی آنها، نوع و شکل سنگ، مسیر ریزش و انرژی سنگ در هر منطقه وجود دارد. با مدل سازی سنگ ریزش، بیشترین طول احتمالی مسیر سقوط سنگ، فاصله های بین ضربه ها، تراز خط سیر قطعه و سرعت و انرژی قطعه پرتاب شده را محاسبه می کند. روش های محافظتی انرژی های متفاوتی را جذب می نمایند که در شکل زیر قابل مشاهده اند.



شکل شماره۵: انرژی قابل استهلاک توسط انواع سازه های محافظ

با توجه به اینکه در شکل بالا عملکرد جذب انرژی گالری های ضد ریزش در حد میانه و قابل قبول می باشد لذا به بررسی اجمالی روش محاسبه و اجرای گالری ضد ریزش می پردازیم.

گالری ضد ریزش

خطوط راه آهن در مناطق کوهستانی از مجاورت شیب های تند عبور می کند و به منظور مقابله با سقوط سنگ، تونل مصنوعی یا گالری اجرا می کنند.

این سازه به صورت دالانی مسقف می باشد که برای جذب شوک حاصل از سقوط سنگ و جلوگیری از تخریب سقف، توسط لایه ای از مصالح پوشانده و برای هدایت صحیح ریزش ها و جلوگیری از نفوذ آب های سطحی، روی آن را بصورت شیب دار متناسب با شیب توپوگرافی طبیعت شاب کشی می نمایند.

اجرای گالری موجب افزایش ضریب ایمنی مسیر، محدود نمودن و تحت کنترل در آوردن تغییر مکانهای خاک در سطح لغزش، کاهش نیاز به بازدید های مستمر و کاهش هزینه های تعمیر و نگهداری می گردد.

انواع گالری ضد ریزش

با توجه به شرایط محیطی و زمین شناسی هر منطقه، می توان گالری ها را بر حسب نوع مصالح تشکیل دهنده به انواع زیر تقسیم بندی نمود:

۱.گالری سنگی: این نوع گالری در محور های قدیمی مانند نواحی لرستان و شمال دیده می شود. مصالح تشکیل دهنده آن سنگ و ملات بوده و اجرای آن در ترانشه های بهره برداری شده دشوار است.

۲.گالری بتنی درجا: این نوع گالری همانند پل های روگذر راه آهن، به وسیله قالب بندی و بتن ریزی اجرا می گردد. اجزای اصلی آن، دیوار های کوله ای و تابلیه می باشد.

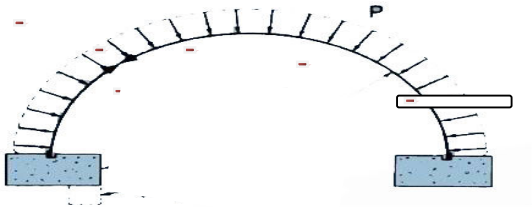
۳.گالری بتنی پیش ساخته : این نوع گالری معمولاً از دو قسمت پیش ساخته تشکیل شده و برای نصب آنها به ترانشه منتقل می شوند. مزیت این نوع گالری ها سرعت بالای نصب و ظاهر زیبا می باشد و بر روی فونداسیون های u شکل نصب می شود.

۴.گالری فلزی: به وسیله ورق های موجدار آرمکو و یا سپرها اجرا می شوند. مزیت این نوع گالری وزن کم، سرعت بالای نصب، هزینه کم، نما و ظاهر زیبا، قابلیت استفاده مجدد،تنوع ابعاد سازه (از دهانه ۱,۵ تا ۲۵ متر) و طراحی تطبیق پذیر با هر تغییر احتمالی در پروژه می باشد.

شکل شماره۶: انواع گالری ها از چپ به راست
سنگی- پیش ساخته- بتنی درجا- -فلزی آرمکو

بارگذاری و طراحی گالری ها[4]

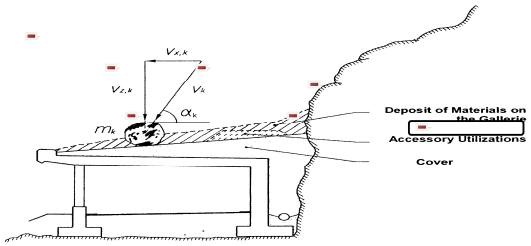
توزیع بار در گالری هایی که به صورت گنبدی اجرا می گردند به صورت زیر می باشد. این توزیع بار همانند پل های طاقی می باشد.



شکل شماره۷: توزیع بار در فونداسیون دو تکه

www.SID.ir

در گالری های مستطیلی نیز بارها از طریق تیرهای فرعی به تیرهای اصلی و سپس به ستون و نهایتاً به فونداسیون منتقل گردد.



شکل شماره۸: نیرو های موثر برگالری

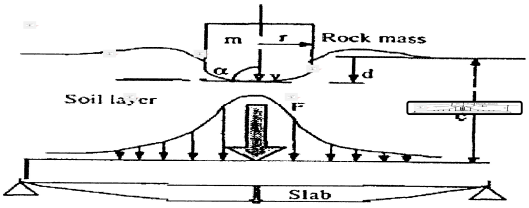
اصولاً یکی از الزامات گالری های مورد استفاده در راه آهن این است که سازه احداث شده دارای عرض و ارتفاع مورد نیاز مطابق با گابارای تونل های راه آهن باشد.

پارامتر های محاسبات گالری عبارتند از نیروی ضربه (F) و عمق نفوذ (t). این پارامترها با سه عامل مهم در ارتباط است:

۱.جرم سنگ, شعاع معادل بلوک, سرعت و زاویه برخورد بلوک در هنگام ضربه.

۲.شیب, ضخامت و جنس لایه خاک پوشاننده

۳.مشخصات سازه ای گالری (شکل ظاهری, مقاومت, سختی و فرکانس طبیعی)



شکل شماره۹: تعریف شماتیک پارامترهای طراحی گالری

برای طراحی گالری فرمول های چهارگانه ای وجود دارد که به شرح زیر می باشند:

۱. رابطه عمومی

زاویه اصطکاک داخلی و مدول الاستیک خاک از طریق آزمایش بارگذاری صفحه ای یا آزمایش ستون تشدید[8] به دست می آید و در رابطه بین نیروی سنگ و میزان نفوذ بلوک تاثیر گذار است.

$$F = 1.05R^{0.5}\exp\left(\frac{R}{1.2e}\right)M_E(tg\phi)^{0.5}.t^{1.5} \qquad (۱)$$

۲. آئین نامه انجمن راه های ژاپن-هندبوک محافظت سنگ ریزش در راه های ژاپن سال ۱۹۷۸

نیروی وارد بر تیر بتنی را بدون در نظر گرفتن اثر زاویه اصطکاک داخلی و با تاثیر دادن جرم معادل لایه خاک و تیر بتنی به صورت زیر می باشد:

$$F = 0.13e^{-0.1}R^{0.8}M_E^{\ 0.4}\sqrt{\frac{K}{(M+m)g}}.E_{pot}^{\ 0.6} \qquad (۲)$$

۳. دستورالعمل سوئیسی طراحی گالری ضد ریزش ویرایش سال ۲۰۰۸

زاویه اصطکاک داخلی و مدول الاستیک خاک که از طریق آزمایش بارگذاری صفحه ای به دست می آید، در رابطه بین نیروی سنگ و میزان نفوذ بلوک تاثیر گذار است.

$$F = 2.8e^{-0.5}R^{0.7}M_E^{\ 0.4}(tg\phi)^{0.2}.E_{pot}^{\ 0.6} \qquad (۳)$$

۴. آئین نامه انجمن راه های ژاپن سال ۲۰۰۰

در این رابطه ضریب لامه و ضریب پواسون خاک تاثیر گذار است. ضریب پواسون برای ماسه نرم که در لایه پوشاننده گالری ها به کار می رود برابر ۱۰۰۰ KN/m^2 می باشد.

$$F = 3.15e^{-0.58}R^{0.58}(mg)^{1/15}\lambda^{0.4}.E_{pot}^{\ 0.6} \qquad (۴)$$

$$\lambda = \frac{Mg.\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)} \qquad (۵)$$

در ادامه روند محاسبات، اثر کاهنده زاویه ضربه وارده به تیر بتنی از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$F_{inc} = F(\sin\alpha)^2 \qquad (۶)$$

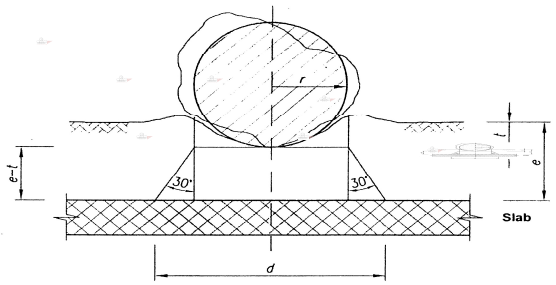
برای سنگ هائی که بعد از برخورد کاملاً متوقف می شوند, نیروی ضربه تغییری نمی کند اما این نیرو بعد از حفظ بخشی از انرژی در سنگ کاهش می یابد. برای سهولت محاسبات می توان نیروی دینامیکی F را با نیروی استاتیکی A_d جایگزین نمود.

$$A_d = C.F \qquad (۷)$$

ضریب C برای سازه های بتن آرمه شکل پذیر برابر ۰,۴ و برای سازه های بتن آرمه ترد و شکننده یا بتن های غیر مسلح برابر ۱,۲ پیشنهاد شده است.

توزیع نیروی سنگ روی دال بتن آرمه پس از نفوذ در خاک با زاویه ۳۰ درجه (شیب ۲ قائم و ۱ افقی) برروی دال توزیع می شود و هرچه ضخامت دال بیشتر باشد توزیع بار گسترده تر است لذا حداقل ضخامت خاک روی دال برابر با بیشینه مقادیر زیر است:

$$e \geq 0.5$$
$$e \geq t + 3\phi_{\max} \qquad (۸)$$
$$e \geq 2.t$$



شکل شماره۱۰: توزیع نیروی ضربه سنگ بر روی دال بتنی

[8] Resonant Column

www.SID.ir

در فرمول های ارائه شده بالا مقایسه ای برای سنگی با ابعاد ۷۰ cm و وزن ۸,۷۵۷ KN با انرژی ۹۰۰ KJ و دال به ابعاد ۶*۲,۵*۰,۴ متر و ضخامت لایه پوشاننده ۹۰ cm صورت گرفته که نشان می دهد رابطه ۲ نیروی بیشتری را به دال بتنی وارد می آورد.

جدول ۱: مقایسه نیروی وارد بر دال با روابط متفاوت

رابطه	۱	۲	۳	۴
مقدارKN	۲۸۳۵	۲۸۹۶	۲۲۴۱	۲۳۵۴

مشخصات لایه پوشاننده[5]

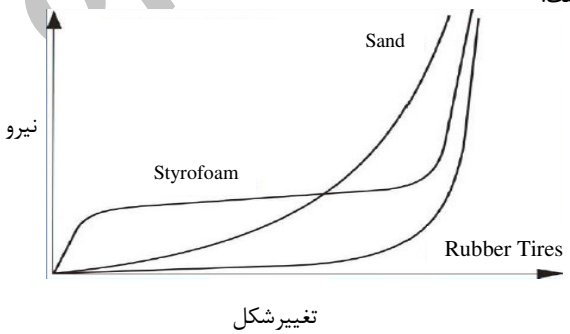
ماده پوشاننده روی گالری باید انرژی ناشی از فشار سنگ و تغییر شکل خاک را جذب نموده و نیروی ضربه را از یک ناحیه کوچک به ناحیه وسیع تر منتقل نماید. این لایه باید ارزان بوده و چگالی کمی داشته باشد تا باعث کاهش بار مرده گردد. انواع متداول این مصالح عبارتند از:

۱.ماسه نرم[9]

۲.استایروفوم[10]

۳.لاستیک ماشین[11]

رابطه نیرو با تغییر شکل این سه ماده در نمودار زیر نشان داده شده و سطح زیر منحنی بیانگر مقدار انرژی جذب شده به علت تغییر شکل است.



شکل شماره۱۱: رابطه نیرو با تغییر شکل برای سه ماده پوشاننده مختلف

آمار گالری ها در ایران[6]

در ایران نیز گالری ضد ریزش به خوبی جوابگوی رفع نیازهای حفاظتی ترانشه ها بوده و به عنوان راه کار مناسبی جهت پایدار سازی ترانشه ها به کار رفته است.

نتیجه گیری

در مقاله حاضر کلیات روش های پایدار سازی ترانشه ها با تکیه بر روش اجرای گالری ضد ریزش به صورت اجمالی مورد بررسی قرار گرفت. لیکن نتایج به شرح زیر را می توان برای این مقاله بر شمرد:

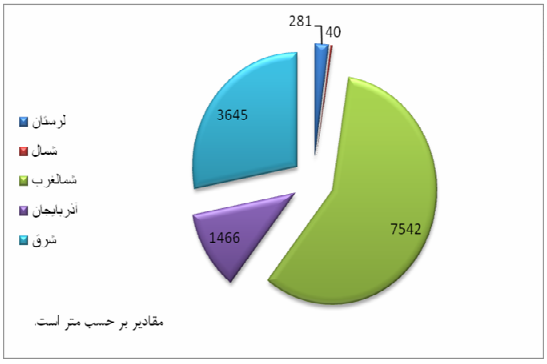
۱.مهمترین انواع ناپایداری شیب ها در شبکه راه آهن ایران سنگ ریزش می باشد.

۲.مهمترین علت به وجود آمدن ناپایداری در ترانشه ها شیب و ارتفاع دامنه، بار های وارده بر روی ترانشه، درزه و شکاف در دیواره خارجی ترانشه، آب زیرزمینی و روانآب های سطحی است.

۳..انواع گالری های ضد ریزش از لحاظ جنس مصالح شامل گالری سنگی، گالری بتنی درجا، گالری بتنی پیش ساخته و گالری فلزی می باشد.

۴. روش آئین نامه انجمن راه های ژاپن-هندبوک محافظت سنگ ریزش در راه های ژاپن سال ۱۹۷۸، محافظه کار ترین روش طراحی گالری ضد ریزش می باشد.

۵. بهترین ماده پوشاننده روی گالری از لحاظ جذب انرژی، استایروفوم است.



شکل شماره۱۲: آمار تفکیکی طول گالری ها در نواحی راه آهن ایران

پیشنهادات

۱.با توجه به اهمیت ایمن سازی مسیر و مقرون به صرفه بودن اجرای گالری ضد ریزش پیشنهاد می گردد نسبت به امکان سنجی و جانمائی اجرای گالری ها مطابق شرایط اقلیمی و زمین شناسی ایران اقدام گردد.

۲.به عنوان یک کار تحلیلی نسبت به ارائه روش های بهینه ساخت و اجرای گالری ها از لحاظ سرعت اجرا و مصالح مقرون به صرفه تر، اقدام گردد.

فهرست علائم

M_E	مدول الاستیک خاک،ton/m^2
M	جرم معادل لایه خاک و تیر بتنی،ton
F	نیروی ضربه،KN
t	عمق نفوذ،m
e	جرم سنگ،ton
E_{pot}	انرژی پتانسیل سنگ،KJ

علائم یونانی

α	زاویه برخورد بلوک در هنگام ضربه،درجه
ϕ	زاویه اصطکاک داخلی خاک،درجه
λ	ضریب لامه،Gpa

[9] Sand
[10] Styrofoam
[11] Rubber Tires

Archive of SID
www.SID.ir

ν ضریب پواسون خاک، KN/m^2

ϕ_{max} قطر بزرگترین سنگدانه لایه پوشاننده، m

مراجع

[1]- حسنی، حسین، "بررسی روشهای نوین مدیریت پایداری ترانشه ها"، مرکز تحقیقات راه آهن، ۱۳۸۶

[2]- توسعه راه و مطالعات سازه، "گزارش فاز یک دستورالعمل تعمیر و نگهداری ابنیه فنی راه آهن" ، ۱۳۸۳

[3]- توفیقی ریحانی، محمدحسین، "روشهای پایدارسازی شیب های خاکی" ، ۱۳۸۲

[4] - YOSHIDA, Y , "Rockfall Sheds Application of Japanese designs in north America",2007

[5]- Hungr,O and Evans,S.G. "Engineering aspects of rockfall hazard in Canada",1989

[6]- اداره کل خط و سازه های فنی راه آهن، "آمار گروه زیرسازی و سازه های حفاظتی" ، ۱۳۸۷

Archive of SID

www.SID.ir