بررسی فنی و اقتصادی روسازه های بتنی در خطوط راه آهن مسافری

ابوالفضل حسنی[*1] و سید حامد مدائنی[2]

[1]دانشیار بخش مهندسی عمران - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه تربیت مدرس

[2]دانش آموخته کارشناسی ارشد عمران - دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه تربیت مدرس

(تاریخ دریافت ۸۵/۲/۴ , تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۷/۴/۲۴, تاریخ تصویب ۸۷/۷/۲۰)

چکیده

بالاست به عنوان یکی از اجزاء مهم روسازه سنتی راه آهن، در عمل کرد خطوط ریلی نقش بسزایی را ایفا کرده و هم چنین تأثیر زیادی بر فعالیت های تعمیر و نگهداری می گذارد. به طوری که اکثر فعالیت های تعمیر و نگهداری خطوط سنتی به دلیل وجود این لایه بوده و بخش عمده ای از هزینه های نگهداری صرف اصلاح عیوب ناشی از آن می شوند. این عملیات به ویژه در تونلها و پلها که محدودیت فضا وجود دارد، بسیار وقت گیر و پر هزینه بوده و باعث انسداد خط برای زمانهای طولانی می شود. این مشکلات موجب طراحی روسازی هایی شدند که در آنها بالاست از ساختار خط حذف شده و به جای آن اجزاء دیگری نظیر دال ها یا تیرهای بتنی و پابندهای ارتجاعی خاص در خط مورد استفاده قرار می گیرند. تحقیقات نشان داده اند که هزینه و زمان لازم برای انجام تعمیر و نگهداری در این خطوط بسیار کمتر از روسازی های بالاستی است، ضمناً با توجه به بررسی های فنی و اقتصادی انجام گرفته درباره خطوط مسافری، نتایج تأئید کننده این موضوع بوده و در این مقاله رقابتی بودن بکارگیری آنها در مقایسه با سیستم سنتی بالاستی نتیجه گرفته شده است.

واژه های کلیدی: خط بالاستی- خط بدون بالاست- دال بتنی- تعمیر و نگهداری- هزینه چرخه عمر

مقدمه

به علت مشکلات فراوان خطوط بالاستی در زمینه های مختلف به ویژه هزینه و زمان زیاد مورد نیاز تعمیر و نگهداری و هم چنین نبود اطمینان کافی برای تردد قطارهای سریع السیر و نیز افزایش هزینه های اجرایی در مسیرهای زیر زمینی، تونل ها و مناطق کویری امروزه استفاده از سیستم های خطوط بدون بالاست یا خطوط با دال بتنی در عرصه بین المللی امری رایج و مرسوم شده است. علاوه بر این به علت هزینه های زیاد ساخت اولیه و تکنولوژی پیچیده تر در مقایسه با خطوط بالاستی استفاده از خطوط بدون بالاست در مقایسه با خطوط بالاستی سئوالی می باشد که همواره برای طراحان و مجریان خطوط ریلی مطرح بوده است. برای پاسخ به این سئوال به بررسی های جامع از دیدگاه فنی و اقتصادی و با در نظر گرفتن انواع طرحهای موجود برای هر یک از این خطوط نیاز است. از نقطه نظر فنی، موضوعاتی از قبیل چگونگی بهره برداری نظیر سرعت و بار محوری، شرایط اقلیمی مانند وضعیت توپوگرافی، زمین شناسی و غیره، در مورد اجرا و نگهداری مطرح می باشند.

از سوی دیگر از لحاظ اقتصادی، دوره عمر مفید بهره برداری از خط، هزینه های سرمایه گذاری اولیه و هزینه های دیگر از قبیل نگهداری، بازسازی و بهسازی خطوط و نیز ارزش اسقاطی از دیگر مواردی هستند که انتخاب نوع خطوط برای طراحی و اجرا را تحت تأثیر قرار می دهند.

بررسی و مقایسه فنی خطوط راه آهن با مصالح بالاستی و بتنی

روسازه سنتی بالاستی

روسازه سنتی راه‌آهن شامل مجموعه ریل، تراورس و ادوات آنها بوده که بر روی لایه بالاست قرار گرفته‌اند. وظایف عمده بالاست عبارت است از تحمل نیروهای قائم، افقی و جانبی وارده بر تراورسها به منظور نگهداشتن خط در موقعیت معین خود، تأمین بخشی از برجهندگی و جذب انرژی خط, پخش و انتقال بارها به لایه‌های تحتانی، زهکشی آب های سطحی، تنظیم و تراز کردن سطح ریل هنگام ریل‌گذاری و تعمیرات،میرایی و استهلاک ضربات، ارتعاشات و صداهای حاصل از حرکت وسایل نقلیه ریلی، عایق یخبندان بودن برای لایه زیر خود و جلوگیری از رشد گیاهان در خط.

* نویسنده مسئول : تلفن : ۸۸۰۱۱۰۰۱ , فاکس : ۸۲۸۸۳۳۸۱ , Email: hassani@modares.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

خرابی های بالاست

آلودگی بالاست مهم ترین منشاء ایجاد عیوب مختلف به ویژه عیوب هندسی در خط ریلی است. دیگر خرابی های عمده بالاست عبارتند از رویش گیاهان، کافی نبودن بالاست در خط و شانه ها، زهکشی نامناسب کناره خط و جریان نامناسب آب در سازه های زهکش.

فعالیت های مربوط به تعمیر و نگهداری بالاست

احداث هر سازه و به تبع آن شروع بهره برداری از آن، مسئله تعمیر و نگهداری را مطرح می سازد. روسازه و زیرسازه خطوط راه آهن نیز از این قائده مستثنی نبوده و با گذشت زمان و بهره برداری از خط و بر اثر تکرار بارگذاری ها و عوامل محیطی دچار زوال می شوند. مهم ترین فعالیت های تعمیر و نگهداری بالاست عبارتند از زیرکوبی، سرند بالاست، بالاست ریزی، شیروانی سازی، تثبیت بالاست، تراکم بالاست و سوزن کوبی. برای تعیین و مقایسه تعداد فعالیت های نگهداری مرتبط با لایه بالاست، گزارش فعالیت های انجام شده خط در مناطق ۱۲گانه راه آهن در سال ۸۳ ارائه شده است که مطابق جدول(۱) می باشد. برای مقایسه بهتر، شکل (۱) با توجه به آمار موجود در حوزه نگهداری خطوط بالاستی ایران تهیه شده است. همان طور که این نمودار نشان می دهد، حدود ۶۰ درصد فعالیت های نگهداری خطوط بالاستی به طور مستقیم مرتبط با مصالح بالاست می باشد که تأثیر به سزای این مصالح را در فرآیند نگهداری نشان می دهد.

روسازه بدون بالاست

مزایای قابل توجه حمل و نقل ریلی از قبیل سرعت، ایمنی ، نظم ، ظرفیت و راحتی باعث گسترش روز افزون آن و جذب بیشتر مسافر و کالا شده است و برای این که خط به نحو مناسب ایفای نقش کند، تمامی اجزای آن باید بر اساس بارهای وارده از وسایل نقلیه ریلی طراحی شده و ایمنی کافی برای عبور و مرور را فراهم نماید. یکی از مسائل مهمی که در عمل کرد صحیح خط موثر است، تعمیر و نگهداری کافی و به موقع آن است که بسیار وقت گیر و پر هزینه می باشد. این عملیات به ویژه در تونل ها و پل ها که محـدودیت فضـا وجود دارد، مشکل تر بوده و باعث انسداد خط برای زمان های طولانی می گردد.

جدول ۱: فعالیتهای نگهداری انجام گرفته در سال ۸۳.

نوع فعالیت	حجم فعالیت سالانه	تبدیل به واحد متر	تعدادکارگر موردنیاز	ساعت موردنیاز	ساعت کار
زیرکوبی ماشینی	۵۴۶۴۹۶۲m	۵۴۶۴۹۶۲M	۳۷۹۵۰	۱۵۱۸۰	$۵/۷۶\times۱۰^{۸}$
زیرکوبی دستی	۴۲۷۴۴۹۹ m	۴۲۷۴۴۹۹ m	۵۱۱۹۱۶۰	۴۲۶۵۹۶	$۲/۱۸\times۱۰^{۱۲}$
دیلم‌کاری ماشینی	۱۶۳۲۵۰۴ m	۱۶۳۲۵۰۴ m	۱۶۳۲۵	۶۵۳۰	$۱/۰۶\times۱۰^{۸}$
دیلم‌کاری دستی	۱۶۵۶۷۴۳ m	۱۶۵۶۷۴۳ m	۴۶۰۲۰۶	۴۶۰۲۰	$۲/۱۲\times۱۰^{۱۰}$
تفکیک بالاست	۱۳۸۶۴۲ m^3	۱۰۶۶۴۸ m	۱۳۳۳	۲۶۶	۳۵۵۴۰۴
بالاست‌ریزی	۴۵۸۵۷۲ m^3	۳۵۲۷۴۸ m	۱۴۱۱	۳۵۳	۴۹۸۰۸۳
شیروانی‌سازی ماشینی	۵۳۳۴۴۶۲ m	۵۳۳۴۴۶۲ m	۸۵۳۵	۲۱۳۳	۱۸۲۵۴۵۱
شیروانی‌سازی دستی	۳۳۳۶۲۱۸ m	۳۳۳۶۲۱۸ m	۱۳۳۴۴۸۷۲	۸۳۴۰	$۱/۱۱\times۱۰^{۱۱}$
گونیا کردن تراورس	عدد ۱۷۷۰۰۰	۱۰۵۹۸۸ m	۳۵۴۰۰۰	۵۹۰۰۰	$۲/۰۹\times۱۰^{۱۰}$
تعویض تراورس چوبی	عدد ۴۶۸۰۸	۲۸۰۲۸ m	۹۳۶۱۶	۱۵۶۰۳	$۱/۴۶\times۱۰^{۹}$
تعویض تراورس فلزی	عدد ۱۵۵۸۶	۹۳۳۳ m	۴۶۷۵۸	۷۷۹۳	$۳/۶۴\times۱۰^{۸}$
تعویض تراورس بتنی	عدد ۹۴۲۵	۵۶۴۴ m	۳۷۷۰۰	۷۰۶۹	$۲/۶۶\times۱۰^{۸}$
نصب و تعویض سوزن	دستگاه ۶۹۴	۴۱۶۴۰ m	۱۳۸۸۰	۴۸۵۸	$۶/۷۴\times۱۰^{۷}$
تعمیر سوزن	دستگاه ۲۸۶۳۴	۱۷۱۸۰۴۰ m	۲۲۹۰۷۲	۱۴۳۱۷۰	$۳/۳۸\times۱۰^{۱۰}$
تعویض ریل	۲۷۵۲۷۳ m	۲۷۵۲۷۳ m	۱۳۷۶۳۶۵	۸۲۵۸۱۹	$۱/۱۳\times۱۰^{۱۲}$
پیچ‌بندی	عدد ۹۳۶۹۴۱۹	۷۰۴۶۴۷ m	۱۱۷۱۱۷۷	۲۹۲۷۹۴	$۳/۴۳\times۱۰^{۱۱}$
تنظیم فلش	۲۸۰۵۱۶ m	۲۸۰۵۱۶ M	۵۶۱۰۰	۴۲۰۷	$۲/۳۶\times۱۰^{۸}$
تنظیم دور	۴۲۴۹۰۵ m	۴۲۴۹۰۵ M	۶۷۹۸۴	۶۳۷۳	$۴/۳۳\times۱۰^{۸}$
اصلاح ریل	مورد ۲۹۷۱۴	۵۳۴۸۵۲ m	۱۱۸۸۵۶	۵۹۴۲۸	$۷/۰۶\times۱۰^{۹}$
تنظیم درز ریل	۲۹۹۷۸۶ m	۲۹۹۷۸۶ m	۱۶۶۵۴۷	۳۳۳۰۹	$۵/۵۵\times۱۰^{۹}$
تعویض پیچ و مهره	عدد ۴۶۴۹۵۷	۳۴۹۵۹ m	۵۸۱۱۹	۱۴۵۳۰	$۸/۴۴\times۱۰^{۸}$
جوشکاری درز ریل	بند ۴۳۶۷۶	۲۴۶۱۶۸ m	۳۴۱۹۰۰	۱۰۲۵۷	$۳/۵\times۱۰^{۹}$
تنظیم عرض خط	۲۳۲۳۷۹ m	۲۳۲۳۷۹ m	۴۶۴۷۵۸	۷۶۶۸۵	$۳/۵۶\times۱۰^{۱۰}$

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲: روسازی های مختلف سیستم های بدون بالاست [۴].

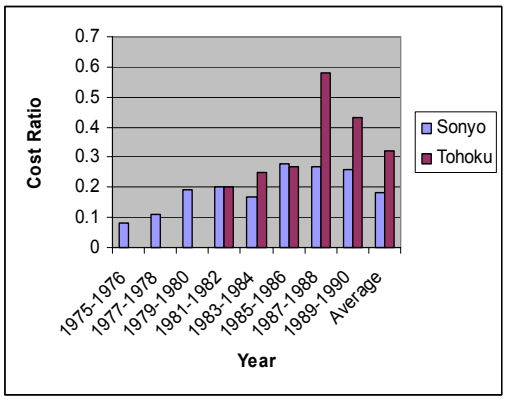
سیستمهای بدون بالاست (اسلب تراک)					
تکیه گاه پیوسته ریل		تکیه گاه ناپیوسته ریل			
		بدون تراورس		با تراورس یا بلوک بتنی	
تکیه گاه های پیوسته و مقید ریل	ریل های مدفون	دال های یک پارچه درجا	دال های پیش ساخته بتنی	تراورس های تعبیه شده در بالای بستر آسفالتی - بتنی	تراورس ها یا بلوک های مدفون شده در بتن
Cocon track ERL Vanguard KES	روسازه خط در خطوط سبک گذرگاه ها خط عرشه	روسازی خط برای ابنیه و سازه ها	Shinkansen Bogl IPA	ATD	Rheda Rheda 2000 Zublin LVT

برای غلبه بر این مشکلات در اوایل قرن بیستم بسیاری از کشورهای اروپایی، آمریکا و ژاپن، روسازی هایی را طراحی کرده اند که در آن بالاست از ساختار خط حذف شده و به جای آن از مصالح دیگری نظیر دال ها یا تیرهای بتنی و پابندهای ارتجاعی خاص در خط استفاده شده است.

طبقه بندی روسازه خطوط بدون بالاست

روسازه های مختلف سیستم های بدون بالاست موجود، در جدول (۲) ارائه شده اند.

شکل ۱: حجم فعالیتهای نگهداری خطوط بالاستی.



شکل ۲: نسبت هزینه نگهداری بدون بالاست (اسلب تراک) به خطوط بالاستی [۲].

ساخت و احداث خطوط بدون بالاست

با توجه به طبقه بندی انواع خطوط بدون بالاست و نیز گستردگی انواع طرح های به کار رفته در مورد این خطوط، روش های ساخت و اجرای متفاوتی وجود دارند. لیکن به طور کلی می توان ساخت و اجرای خطوط بدون بالاست (اسلب تراک) را به دو دسته استفاده از قطعات پیش ساخته و بتن ریزی تکمیلی و اجرای دال بتنی درجا تقسیم نمود که در روش اول، از انواع قطعات پیش ساخته نظیر تراورس، بلوک، کوپلاژ و ... استفاده شده و سپس توسط بتن ریزی تکمیلی، این قطعات در جای خود محکم می شوند و در روش دوم، تمام اجرای دال بتنی به صورت یک پارچه و درجا انجام می گیرد.

تعمیر و نگهداری خطوط بدون بالاست

چون در خطوط بدون بالاست، مصالح بالاست در خط حذف می شوند، لذا حجم عمده فعالیت های مرتبط با این لایه نیز از بین می رود، اما با توجه به شرایط مختلف حاکم براین سیستم ها ، نمی توان عدد دقیقی در مورد کاهش فعالیت های تعمیر و نگهداری عنوان نمود. تنها چیزی که می توان به آن استناد کرد، تجربه سایر کشورها در این مورد می باشد. تا به حال ده ها کیلومتر از این خطوط در کشورهایی مثل ژاپن، آلمان ایتالیا و هلند و سایر کشورها ساخته شده و بر اساس تجربیات آنها هزینه تعمیر و نگهداری خطوط بدون بالاست به مقدار قابل توجهی از هزینه خطوط مرسوم کمتر گزارش شده است. شکل (۲) نسبت هزینه های تعمیر و نگهداری خط بدون بالاست را در مقایسه با خط بالاست دار نشان می دهد.

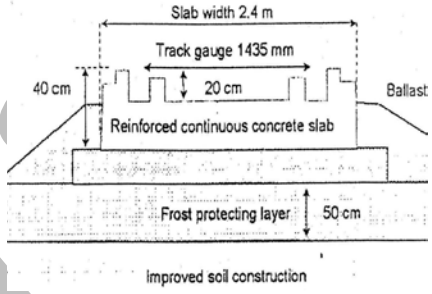
Archive of SID

www.SID.ir

سیستمهای منتخب خطوط بدون بالاست

سیستم های بدون بالاست درجا

انواع دال بتنی درجا ریخته شده نظیر PACT و ریل مدفون ERC با اجرای آرماتور بندی و قالب بندی در محل و سپس ریختن بتن به صورت پیوسته ایجاد می شوند. در این دال ها از آرماتورهای طولی و عرضی استفاده می شود و ضخامت آنها حدوداً بین ۲۰ تا ۳۵ سانتی متر می باشد. مقاومت عرضی در برابر نیروهای عمود بر خط عمدتاً به صورت اصطکاک با بستر تأمین می گردد. نمونه ای از این سیستم در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل ۳: سیستم بدون بالاست درجا [۵].

این سیستم ها مزایا و معایبی می باشند که به ترتیب عبارتند از:

الف - سختی جانبی زیاد و کاهش ریسک کمانش، ارتفاع تمام شده کمتر که فضای بیشتری برای خطوط بالاسری و بارهای بلند ایجاد کرده و هزینه احداث تونل ها را کم می کند، امکان ایجاد هندسه دقیق در زمان اجرا و کاهش نیاز به تنظیم های مجدد.

ب - در این سیستم ها تا زمانی که بتن مقاومت کافی پیدا نکند، به مسدود کردن خط نیاز است، هزینه اولیه آن از خطوط بالاستی بیشتر می باشد، سطح صدا در آن زیاد بوده و انتقال ارتعاشات از دال بتنی به سازه های مجاور زیاد است، تصحیح تراز خط در هنگام وقوع نشست های زیاد مشکل بوده و نیاز به اجرای دقیق در محل داشته و جبران اشتباهات احتمالی مشکل است.

سیستم های بدون بالاست پیش ساخته

در این نوع سیستم، تأکید بیشتری روی سرعت و دقت اجرا در محل می شود که عموماً در مسیرهای موجود و در حال بهره برداری از آنها استفاده می شود. اکثر اجزای اصلی این سیستم ها در کارگاه تولید شده و سپس برای نصب به محل آورده می شوند. شرایط مطلوب کارگاهی نظیر کنترل دقیق تر و استفاده از ابزار مناسب، باعث بالا رفتن سطح کیفیت و دقت ابعادی این اجزا می شود. از مزایای این سیستم ها می توان به این موارد اشاره کرد که نصب خط با سرعت بیشتری انجام شده و در خطوط موجود زمان مسدودی خط کمتر می باشد، به دلیل کنترل بهتر ساخت در کارگاه، کیفیت دال خط بهتر و قابل اطمینان تر است، تعمیر و تعویض قطعات آسیب دیده از سیستم های بتن درجا، آسان تر و سریع تر است، تصحیح تغییر شکل های خط پس از بهره برداری به راحتی با استفاده از تزریق ملات یا تنظیم پابند امکان پذیر است و حساسیت آن به نشست های نا متقارن طولی کمتر است که علت آن استفاده از دال های پیش ساخته مجزا است.

معایب این سیستم ها شامل موارد ذیل می باشد: حمل و نقل اجزاء پیش ساخته مشکل بوده و گاهی باعث آسیب دیدگی قطعات می شود، در تونل ها و روی پلها به استفاده از جرثقیل هایی با قابلیت خاص نیاز است، تنظیم تراز و راستای خط در آن ها باید پس از نصب صورت گیرد و به همین دلیل به استفاده از پابند های قابل تنظیم در جهات قائم و افقی نیاز می باشد که هزینه ساخت را افزایش می دهد و در صورت استفاده از ملات بتن آسفالتی، به تجهیزات و روش های ویژه ای برای تزریق ملات بتن آسفالتی به زیر دال نیاز می باشد.

سیستم های بدون بالاست ترکیبی

در نوع دیگری از سیستم های بدون بالاست، از ترکیب دال های پیش ساخته و بتن درجا استفاده می شود. سیستم های رهدا در آلمان، سنویل فرانسه و گونه های زیادی از روسازه های مورد استفاده در قطار های شهری کشورهای آلمان، آمریکا، فرانسه و اخیراً ایران از این جمله می باشند. عموماً در این سیستم ها از ترکیب تراورس (بلوکی یا منفرد) با بتن استفاده می شود. اکثراً برای احداث خط، ابتدا بست خط شامل ریل، پابند و تراورس در موقعیت صحیح هندسی قرار گرفته و سپس اطراف آن، با بتن پر می شود [۲].

مزایای این سیستم عبارتند از: سیستم نصب توسعه یافته که امکان تطبیق با شرایط مختلف قرارگیری خط (پل، تونل و غیره) را داشته و تنظیم دقیق هندسه خط در زمان

Archive of SID

www.SID.ir

اجرا را ممکن می سازد، جذب صدا و ارتعاشات به نحو مناسب تری از سیستم های بتن درجا صورت می گیرد،

در صورت استفاده از تراورس های پیوسته، نیاز به تنظیم عرض خط و شیب عرضی ریل در محل نبوده و تراز کردن سیستم با استفاده از کوپلاژهای متشکل از تراورس و بلوک انجام می شود.

معایب این سیستم نیز عبارتند از: ارتفاع تمام شده بیشتر در مقایسه با خطوط بتن درجا و پیش ساخته، ناپیوستگی بین بخشهای بتن پیش ساخته و درجا و مشکلات صدا و ارتعاشات.

بررسی و مقایسه اقتصادی خطوط بالاستی و بدون بالاست

هزینه های مربوط به هر سیستم برای انواع روسازه با در نظر گرفتن طرح اولیه انجام شده و برآورد مصالح مورد نیاز و بر مبنای فهرست بهای سال ۸۴، محاسبه شده اند. برای انجام این کار، فرضیات زیر در نظر گرفته شده است:

- هر دلار=۹۰۰ تومان - ضریب بالا سری =۱/۳
- ضریب تجهیزات کارگاه =۱/۰۶

لازم به ذکر است که در هزینه های احداث، با توجه به این که تجهیزات و ماشین آلات خطی توسط راه آهن کشور تأمین می شوند، فقط نقش عوامل نیروی انسانی در نظر گرفته شده است.

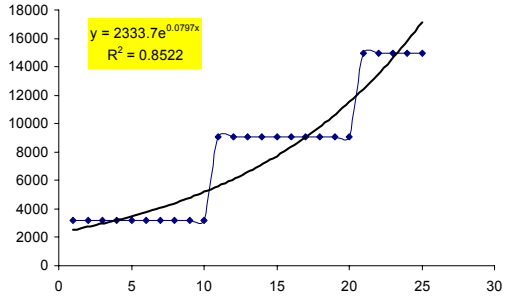
روسازه بالاستی

برای بررسی فنی این سیستم، هزینه های احداث و تعمیر و نگهداری آن با توجه به اطلاعات موجود در خطوط ریلی ایران و با مشاوره با کارشناسان داخلی تعیین شد. اطلاعات مربوط در جدول (۳) آورده شده اند. برای تعیین دقیق هزینه های نگهداری سالیانه سیستم، نمودار مربوطه ترسیم شده و سپس بهترین منحنی (لگاریتمی) از آن نقاط عبور داده شده است (شکل (۴)). همان طور که مشاهده می شود، رابطه هزینه های تعمیر و نگهداری از رابطه زیر به دست می آید:

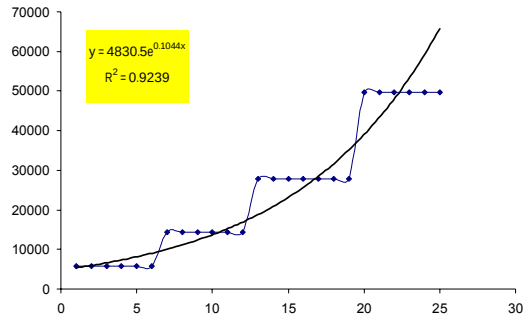
$$Y = 4830.5e^{0.1044x} \qquad (۱)$$

جدول ۳: هزینه احداث یک کیلومتر خط بالاستی (دوره عمر ۲۵ سال).

نوع ادوات	کمیت در یک کیلومتر	واحد	هزینه واحد (دلار)	هزینه کل
ریل	120	تن	550	66000
تراورس بتنی	1666	اصله	24.45	40733.7
پابند (تعداد بر حسب فنر وسلو)	6666	عدد	3.33	22197.78
بالاست	1150	متر مکعب	8.33	9579.5
جوش درز ریل	111	بند	22.22	2466.42
اجرا	1	کیلومتر	1667	1667
مجموع				142644.4
هزینه اسقاطی				28528.88
هزینه بهسازی برابر ۰،۱۵ هزینه اولیه در یک دوره ۱۲ ساله				21396.66



شکل ۴: منحنی فعالیت های تعمیر و نگهداری خطوط بدون بالاست با دال با بتن آسفالتی.



شکل ۵ : منحنی فعالیت های تعمیر و نگهداری خطوط بالاستی.

Archive of SID

www.SID.ir

روسازی بدون بالاست با دال با بتن آسفالتی

برای بررسی اقتصادی این سیستم، هزینه های احداث و تعمیر و نگهداری آن با توجه به اطلاعات موجود در خطوط ریلی ایران و تجربه سایر کشورها و با مشاوره با کارشناسان داخلی تعیین گردید که اطلاعات مربوطه در جدول (۴) و شکل (۴) آورده شده اند.

در این جا نیز، رابطه تعیین شده مربوط به هزینه های تعمییر و نگهداری این سیستم به صورت زیر برقرار می باشد:

$$Y = 2333.7e^{0.0797x} \quad (۲)$$

روسازه بدون بالاست بلوکی

هزینه های احداث و تعمیر و نگهداری این سیستم با توجه به اطلاعات موجود در خطوط ریلی ایران و تجربه سایر کشورها درجدول (۵) آورده شده اند. رابطه مربوط به هزینه های تعمیر و نگهداری در این سیستم از رابطه زیر به دست می آید :

$$Y = 1721.6e^{0.0826x} \quad (۳)$$

جدول ۴: هزینه احداث یک کیلومتر خط بدون بالاست با دال با بتن آسفالتی (دوره عمر ۵۰ سال).

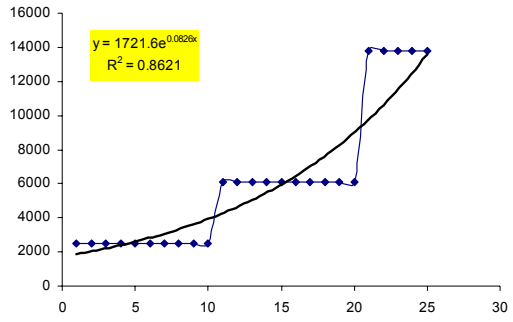
نوع ادوات	کمیت در یک کیلومتر	واحد	هزینه واحد (دلار)	هزینه کل
ریل	99	تن	550	54450
پابند ارتجاعی	3100	عدد	4.44	13764
بتن دال پیش ساخته	650	متر مکعب	31.72	20618
میلگرد	91000	کیلوگرم	0.7	63700
بتن آسفالتی	2600	متر مربع	4.44	11544
قالب بندی	3300	متر مربع	4.68	15444
جوش درز ریل	111	بند	44.44	4932.84
اجرا	1	کیلومتر	23333.33	23333.33
مجموع				286329.3423
هزینه اسقاطی				57265.86845

جدول ۵ : هزینه احداث یک کیلومتر خط بدون بالاست بلوکی (دوره عمر ۵۰ سال).

نوع ادوات	کمیت در یک کیلومتر	واحد	هزینه واحد (دلار)	هزینه کل
ریل	120	تن	550	66000
پابند ارتجاعی	3100	عدد	4.44	13764
بتن دال پیش ساخته	300	متر مکعب	31.72	9516
بتن درجا	250	متر مکعب	21.77	5442.5
تراورس دو بلوکه	1600	اصله	8.88	14208
میلگرد	70000	کیلوگرم	0.7	49000
لابه ارتجاعی	500	متر مربع	35	17500
قالب بندی	1000	متر مربع	4.68	4680
جوش درز ریل	111	بند	44.44	4932.84
اجرا	1	کیلومتر	23333.33	21666.66
مجموع				284846.38
هزینه اسقاطی				56969.276

مقایسه اقتصادی انواع سیستم های خطوط ریلی

برای قضاوت در مورد انتخاب سیستم مناسب و هم چنین مقایسه اقتصادی با محاسبه ارزش خالص فعلی برای یک کیلومتر خط، این سیستم ها با یک دیگر مقایسه شده اند. با توجه به محاسبات صورت گرفته، ارزش های خالص کنونی سیستم های مختلف با هم مقایسه شده و در جدول (۶) ارائه گردیده است (این ارقام بر اساس اظهار نظر کارشناسان راه آهن جمهوری اسلامی ایران آورده شده اند)



شکل ۶ : منحنی فعالیت های تعمیر و نگهداری.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۶ : مقایسه بین سیستم های مختلف.

نوع سیستم روسازه بر حسب کیلومتر	NPV(دلار)
روسازه بالاستی	۳۹۸۷۳۸
روسازه بدون بالاست گسسته پیش ساخته بتن آسفالتی	۳۲۷۸۰۷
روسازه بدون بالاست گسسته ترکیبی بلوکی	۳۲۰۴۰۵

نتیجه گیری

نتیجه گیری از لحاظ فنی

معایب روسازی بالاستی

تمایل خط به حرکت در هر دو جهت طولی و عرضی، مقاومت جانبی محدود تأمین شده توسط بالاست در قوسها، خرد شدگی دانه های بالاست در اثر عبور بارهای ترافیکی،کاهش نفوذپذیری در اثر آلودگی و سایش بالاست، ساختار نسبتاً سنگین و مرتفع.

مزایای سیستم بدون بالاست

کاهش عملیات تعمیر و نگهداری۶۰ الی۷۰ درصدی، افزایش دوره عمر خط، بهره برداری حداکثر از خط، ارتقاء ایمنی در سیر و حرکت، دست یابی به سرعت های بیشتر، پایداری بسیار بیشتر خط، کاهش ارتفاع و وزن سازه و نیاز نداشتن به تأمین مصالح بالاست مناسب.

معایب خطوط بدون بالاست

هزینه اولیه ساخت زیاد، نیاز به بستر بسیار مناسب، انعکاس بیشتر صدا در هوا، نیاز به دقت بسیار بیشتر در نصب اولیه خط، مشکل بودن تصحیح تراز خط در هنگام وقوع نشست زیاد بستر، هزینه و زمان بسیار بیشتر برای تعمیر و بازسازی در اثر خروج از خط و ناحیه انتقالی بین خط بالاستی و بدون بالاست.

نتیجه گیری از لحاظ اقتصادی

با توجه به ارزش خالص فعلی محاسبه شده برای گزینه های منتخب مشاهده می شود که گزینه روسازی بدون بالاست گسسته ترکیبی بلوکی از نظر اقتصادی گزینه ارجح می باشد. به عبارت دیگر هزینه های آن در یک دوره عمر ۵۰ ساله در مقایسه با خطوط سنتی بالاستی و خطوط بدون بالاست گسسته پیش ساخته کمتر است.

مراجع

1 - Madaeni, H. (2005). *Technical and Economical comparison between concrete slabs and ballast in railway tracks*, Msc thesis, Tarbiat Modares University, civil eng. Dept. Tehran – Iran.

2 - Transportation Research Institute, (2005). *General specification manual for railway pavements*, Tehran – Iran.

3 - Fathali, M and Kosari, H. (2005), "Ballast materials and its effect on maintenance process in railway tracks." *National Conference on Railway Maintenance*, Tehran – Iran.

4 - Esveld, C. (2001). *Modern Railway Track*. Second edition, Delft University of Technology, TU Delft, Netherlands .

5 - Quante, F. (2003). *Innovative Track Systems, Technical Construction*. Prom@in, European Community .

6 - Marking, V.L. & de Man, A.P. & Jovanovic, S. & Esveld, C. 2000. *Optimum Design of Embedded Rail Structure for high speed lines*. Faculty of Civil Engineering University of Technology.

7 - Ball, C. G. (2004). *Slab Track Laboratory Test Program*. Portland Cement Association.

Archive of SID

www.SID.ir