

## تحلیل فنی - اقتصادی استفاده از دال به جای بالاست در روسازی خطوط راه آهن

عبدالرضا رضایی ارجمندی، کارشناس ارشد راه و ترابری، پژوهشگر حمل و نقل، تهران

علی رضایی، کارشناس ارشد معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری

محمد رضا فرشیدنژاد، کارشناس ارشد معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری

تلفن: ۶-۸۸۸۹۹۸۱ - ۰۲۱، نامبر: ۸۸۸۹۹۸۶ - ۰۲۱، پست الکترونیکی: [rezaear@yahoo.com](mailto:rezaear@yahoo.com)

### چکیده:

کشورهای دنیا امروزه تمایل بیشتری نسبت به استفاده از خطوط و مسیرهای بدون بالاست در خطوط ریلی دارند. مزایای اصلی خطوط دارای دال عبارتند از: هزینه نگهداری پایین، دسترسی بالا، وزن سازه ای پایین و وزن کم. در مجموع، مطالعات اخیر چرخه عمر نشان داده است که از نقطه نظر هزینه، خطوط دارای دال ممکن است خیلی رقابتی باشند. تجربیات در عملیات خطوط ریلی با سرعت بالا نشان می دهد که خطوط دارای بالاست، به خاطر شکسته شدن اجزای بالاست در سرعت بالا، بیشتر نیاز به نگهداری دارند که در این صورت خسارت جدی می تواند به چرخها و ریلها وارد شود. در حالی که با استفاده از خطوط دارای دال از این موارد اجتناب می شود. در این مقاله ضمن بررسی مفاهیمی درخصوص خطوط بدون بالاست، ملاحظاتی در ارتباط با هزینه چرخه عمر برای خطوط سرعت بالا ارائه می گردد.

کلید واژه: حمل و نقل ریلی - روسازی - تحلیل فنی، اقتصادی

### ۱- مقدمه

در طراحی خطوط ریلی فاکتورهایی مانند هزینه چرخه عمر، زمان ساخت، در دسترس بودن و دوام پذیری، نقش خیلی مهمی را بازی می کنند. در این رابطه مفاهیم خطوط بدون بالاست فرصتهای خوبی را پیشنهاد می دهند. با رشد شدت ترافیک، انجام کارهای نگهداری و بازسازی همزمان مشکل تر می شود. در کشور هلند طول شب اغلب کمتر از ۵ ساعت می باشد و در آینده خط ارتباطی سرعت بالا در کره جنوبی (یک خط ۴۳۵ کیلومتری از سئول تا پوسان در ۱/۵ ساعت) ساخته خواهد شد. در برابر این خطوط هم اکنون محبوبیت طراحی های مسیر با هزینه نگهداری پایین را افزایش داده است. در گذشته پروژه های جدید عمدتاً بر مبنای هزینه های سرمایه گذاری ارزیابی می شدند در حالی که امروزه اصل، هزینه چرخه عمر می باشد که به طور جدی در حال ظهور می باشد. به عنوان نتیجه ای از این نگرش جدید، مفاهیم خطوط دارای بالاست در مقایسه با سیستم های مسیرهای دارای دال (Slab)، جذابیت خود را از دست خواهند داد.

## ۲- خطوط بدون بالاست

### ۲-۱- ملاحظات کلی

در حال حاضر در سراسر جهان از مفاهیم خطوط بدون بالاست بطور متوسط استفاده می‌گردد.

مزایای بزرگ چنین سازه‌هایی می‌تواند در موارد زیر خلاصه شود:

- کاهش ارتفاع سازه

- نیاز به تعمیرات کمتر و شاید دسترسی بالاتر

- افزایش خدمات زندگی

- مقاومت جانبی بالای مسیر که اجازه افزایش سرعت را در آینده در ترکیب با تکنولوژی خمشدگی<sup>۱</sup>

می‌دهد.

- عدم وجود مشکل با شکسته شدن قطعات بالاست در سرعت بالا.

اگر ویژگی هزینه نگهداری کم خطوط دارای دال در خطوط باز<sup>۲</sup> حفظ شود، باید از همگن بودن

لایه‌های ساب‌گرید و توانایی تحمل بارهای تحمیلی اطمینان پیدا کرد. دلها ممکن است به صورت

پیش ساخته یا ریخته شده در محل باشد. سطح بالای سرمایه گذاری مورد نیاز از استفاده بیش از حد از

خطوط دارای دال در خطوط باز تا قبل از این اجتناب می‌کرد. اگرچه بر مبنای هزینه‌های چرخه عمر یک

تصویر مختلف بدست می‌آید، در قسمتهای بعدی درباره این موضوع بحث می‌شود. استفاده از روشهای

ساختمانی مؤثرتر از نوع استفاده شده در صنعت راه‌سازی می‌تواند هزینه‌های ساخت را بیشتر کاهش دهد.

معروفترین سازه‌های خطوط دارای دال که در حال حاضر در کشورهای دنیا مورد استفاده قرار

گرفته‌اند، عبارتند از:

۱- Rheda, Zublin and other variants در کشور آلمان

۲- Stedef, Sonneville Low Vibration در کشور فرانسه

۳- Walo در کشور سوئد

۴- Edilon block track در کشور هلند

۵- Shinkansen slab track در کشورهای ژاپن و کره جنوبی

۶- IPA slab در کشور ایتالیا

۷- OBB-Porr در کشور اتریش

۸- Embedded Rail Structure در کشور هلند

## ۲-۲- سیستم‌های فاقد بالاست در خطوط ریلی کشورهای جهان

---

1- Tilting Technology

2- Open Line

خطوط فاقد بالاست در آلمان توسعه سریعی را تجربه می کند. از سال ۱۹۹۶ شرکت DB یک خط آزمایشی در کالسروهه به کار انداخته است که شامل هفت نوع جدید مسیر بدون بالاست می باشد. طراحی های مشهور آلمان، Rheda (در شکل ۱ نشان داده شده است) و Zublin می باشند. در هر دوی این سیستم ها، تراورس ها داخل دال های بتنی انداخته می شوند.



شکل ۱: سیستم خط Rheda

سیستم French stedef اغلب در تونلها استفاده می شود. سیستم های Metro غالباً رایج ترین کاربرد هستند در حالی که این تکنیک همچنین در شبکه های سرعت بالا استفاده می شود. یک روکش لاستیکی زیر تراورس، درجه بالایی از انعطاف پذیری را فراهم می کند که باعث اطمینان از سروصدا و ارتعاش ماده عایق می شود.

خط Sonneville low vibration مشابه سیستم Stedef می باشد. این خط یک طراحی مسیر بلوکی مانند Stedef است که از یک روکش لاستیکی نیز استفاده می کند. کاربردها شامل تونل Channel نیز می باشد. واریانت دیگر Twinblock که به Stedef مربوط می شود، سیستم Swiss Walo است که عمدتاً در تونلها استفاده شده است یک روکش خاص روی یک دال بتنی در محل قرار می گیرد.

سیستم خط Edilon black (شکل ۲) در درون همان گروه می افتد و عمدتاً برای پل ها و تونلها استفاده می شود. در این سیستم (از بالا به پایین) اولین مرحله قرار دادن ریلها و بلوکها در محل می باشد. بلوکها در مرحله بعد در Corkelast ریخته می شوند تا پشتیبانی انعطاف پذیر لازم را فراهم نماید. کاربردهای اصلی این سیستم شامل ۱۰۰ کیلومتر در هلند و سیستم های روشنایی ریلی در هلند و مترو مادرید (تقریباً ۱۰۰ کیلومتر) می باشند.



شکل ۲: سیستم خط Edilon black

کشور ژاپن به عنوان نقطه تولد خطوط ریلی سریع در جهان می باشد. کار ایجاد شبکه قطارهای شینکانسن در اواخر دهه ۱۹۵۰ آغاز شد. اولین خط بین دو شهر توکیو و ازاکا در پاییز ۱۹۶۴ شروع به کار نمود. هم اکنون پنج خط در حال استفاده هستند و خط ششم نیز در حال ساخت می باشد. تاریخ طرحهای دولت به سال ۱۹۷۰ بر می گردد که در آن برای کشور ژاپن ۳۵۰۰ کیلومتر شبکه ریلی دو خطه با سرعت بالا طراحی شد. تا سال ۱۹۹۳، ۱۴۰۰ کیلومتر مسیر دوخطه خوب ساخته شده که از این مقدار، بیش از ۱۰۰۰ کیلومتر آن شامل مسیر دوخطه فاقد بالاست هستند. در ژاپن خطوط بدون بالاست همیشه شامل مسیرهای دارای دال پیش ساخته (با استفاده از دالهایی که کمتر از ۵ متر طول دارند)، می باشند. درصد مسیر بدون بالاست، تا حد زیادی از یک خط به خط دیگر متفاوت است. خطوط جدیدتر شامل درصد بالاتری (تا ۹۶٪) می باشند. روش طراحی مسیر دارای دال از زمانی که اولین قسمت‌ها در ۱۹۷۲ قرار داده شدند، ثابت مانده است.

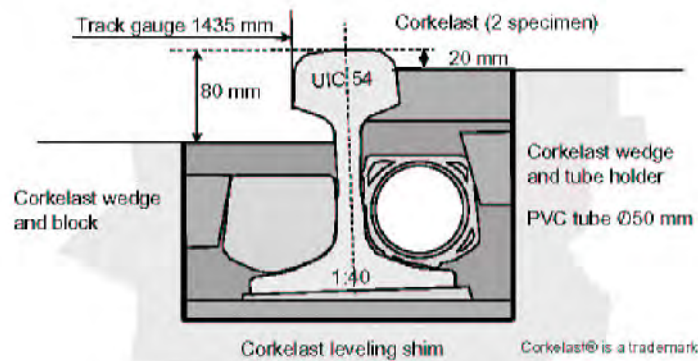
خط دارای دال شینکانسن (در شکل ۳ این مثال نشان داده شده است) شامل یک لایه زیری پایدار شده با سیمان کلیندریکا می باشد تا از حرکات طولی و عرضی اجتناب نماید، دالهای بتن پیش تنیده تقویت شده به ابعاد  $0.19\text{m} \times 2.34\text{m} \times 0.493\text{m}$  (م  $0.16\text{m} \times 2.34\text{m} \times 0.495\text{m}$  در تونلها) و سیمان قیری بین دالها می باشند. وزن دالها تقریباً ۵ تن می باشد.



شکل ۳: سیستم خط دارای دال شینکاسن در ژاپن

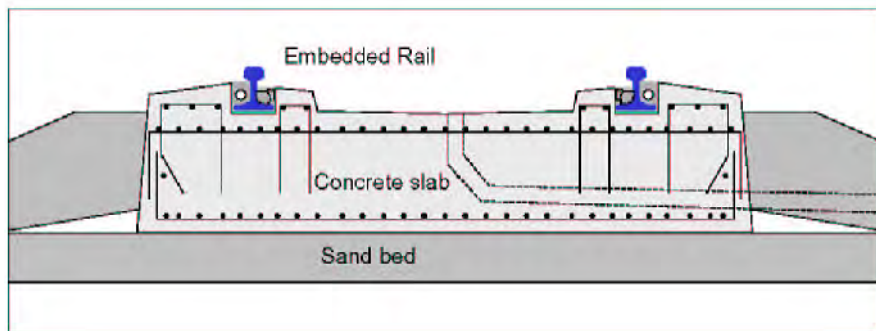
کره جنوبی در حال ایجاد یک خط سرعت بالا برای اتصال سئول به بندر پوسان می‌باشد. همان طوری که در ژاپن خطوط شامل خطوط بالاست و بدون بالاست می‌باشند. خطوط بدون بالاست در کره جنوبی براساس خطوط دارای دال شینکاسن ژاپن می‌باشد. خطوط بدون بالاست در ایتالیا به مقدار خیلی پایین مورد استفاده قرار گرفته است. در سال ۱۹۹۲ کمتر از ۱۰۰ کیلومتر خطوط بدون بالاست وجود داشت که از این مقدار  $2 \times 5/4m$  در خط پر سرعت رم - فلورانس قرار دارد. این مسیر توسط IPA براساس سیستم ژاپنی گفته شده در بالا تجهیز شده است.

OBB (اتریش) ۲۵ کیلومتر مسیر بدون بالاست که عمدتاً در تونلها و پلهای دره‌ای (Viaduct) می‌باشد، دارد. سیستم OBB-Porr از تراورسهای یک بلوکی که در لاستیکی قرار داده شده اند، تشکیل شده است. آن خیلی شبیه به طراحی Zublin است که در قسمت فوق اشاره شد. همچنین یک شکل با استفاده از دالهای پیش ساخته (سیستم Porr) وجود دارد. یک قسمت تست روی خط Wels-Passau در سال ۱۹۹۲ نصب بود تا سیستم خط بدون بالاست طراحی شده برای سرعت‌های بالا به نام Modurail را تست نماید. این سیستم از تراورس‌های پیش تنیده استفاده می‌کند که توسط یک دال بتنی تقویت می‌گردد. همه طراحی‌هایی که تا پیش از این ذکر شد براساس خطوط ریل که در نقاط مجزا حمایت می‌شود (پایه تراورس) می‌باشد. از سال ۱۹۷۶ تاکنون، یک سیستم ریلی در هلند در مقیاس کوچک در حال استفاده می‌باشد. این سیستم به نام ERS Embedded Rail Structure (شکل ۴) معروف است و شامل تامین پشتیبانی مداوم برای ریل بوسیله یک مخلوطی شامل Corkelast (یک مخلوط پلی یورتن و چوب‌پنبه). مزیت بزرگ این طراحی، ساخت خط براساس بالا به پایین می‌باشد که معنی آن تغییرات در سازه‌های پشتیبان می‌باشد که هیچ اثری بر هندسه خط ندارد. اکنون با این سیستم، کشور هلند دارای ۲۰ سال تجربه می‌باشد و آن برای نیاز به نگهداری کم ثابت شده است.



شکل ۴: سیستم خط ERS در کشور هلند

در حال حاضر امکان بررسی استفاده از ERC به عنوان سیستم خط استاندارد برای HSL-South از آمستردام به مرز بلژیک وجود دارد. یک قسمت تست ۳ کیلومتری اخیراً در هلند به عنوان بخشی از این مطالعه ساخته شده است. در شکل ۵ اصول این سیستم خط دارای دال، نشان داده شده است در حالی که شکل ۴، کانال شامل ریل قرار داده شده را نشان می‌دهد.

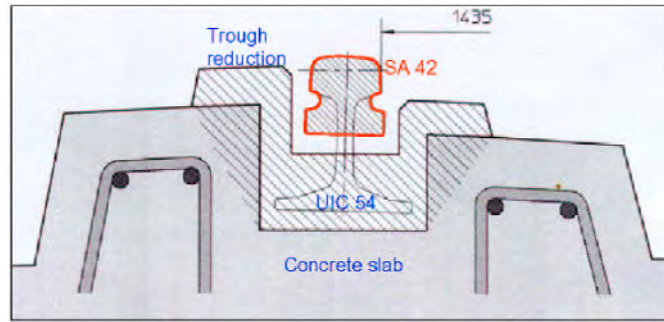


شکل ۵: اصول سیستم خط ERS

### ۲-۳- ریل با سروصدای پایین

در حال حاضر مفهوم ERS جزء ۵۴ خط ریلی مرسوم اتحادیه بین‌المللی راه‌آهن تصور می‌شود. اخیراً یک مفهوم ریلی بهینه، ایجاد شده که در شکل ۶ این سیستم نشان داده شده است. ریل SA42 توانایی حمل بارهای ۲۲۵ KN و تولید ۵ دسی بل سروصدای کمتر را دارا است. یک مزیت اضافی دیگر، کاهش زیاد پلی یورتن می‌باشد. این مفهوم جدید ریلی در قسمت خط تست که قبلاً گفته شد با طول ۱۵۰ متر نصب شد.

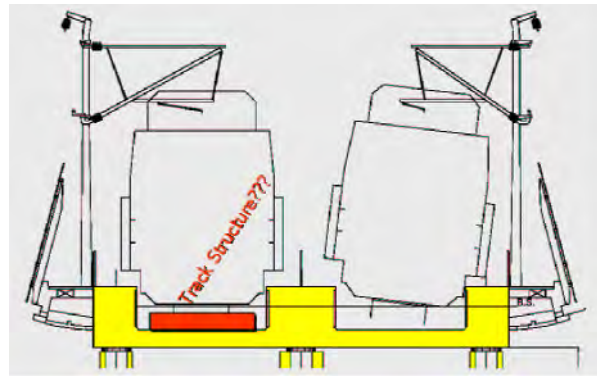




شکل ۶: سیستم ریل SA42 با سرو صدای پایین

### ۳- مطالعات چرخه عمر

به خاطر مشکلات انتشار موج در خاکهای نرم، تصمیم گرفته می‌شود تا زیرسازه خط HSL-S در هلند مانند یک دال بتنی که توسط شمع‌ها حمایت شده، ساخته شود که پیل دره‌ای نامیده می‌شود (شکل ۷).



شکل ۷: سیستم زیرسازه خط HSL-S در هلند

برای مفاهیم گوناگون، سازه واقعی خط در نظر گرفته می‌شود که براساس تحلیل هزینه چرخه عمر با سیستم‌های دیگر، مقایسه می‌شوند. در این تحلیل‌ها فقط هزینه‌های سازه در بالای زیرسازه بتنی، به حساب می‌آید. هزینه‌های سالیانه برای انواع خطوط بشرح ذیل مشخص می‌شود:

- خطوط دارای بالاست با مشخصات سرعت بالا
  - سازه Rheda
  - سازه ریلی قرار داده شده یکپارچه نشده داخل زیرسازه بتنی
  - سازه ریلی قرار داده شده یکپارچه شده داخل زیرسازه بتنی
  - خط بالاست مرسوم، درست به عنوان یک مرجع
- نتایج تحلیل‌های هزینه چرخه عمر برای سازه بالایی (Super-Structure) که دال‌های بتنی را در نظر نمی‌گیرد، می‌تواند برحسب EUR/meter در زیر خلاصه شود:

جدول ۱: تخمین تخمین هزینه ها در سازه بالایی بدون در نظر گرفتن دال بتی

هزینه ساخت	هزینه های سالیانه	انواع خطوط
EUR 1200	EUR 90	خط دارای دال، ERS NI (یکپارچه نشده)
EUR 860	EUR 70	خط دارای دال، ERS NI (بهینه شده)
EUR 910	EUR 80	خط دارای دال، ERS (یکپارچه شده)
EUR 1270	EUR 100	سیستم خط Rheda
EUR 1000	EUR 110	خطوط دارای بالاست

یک نتیجه برجسته این است که تمام شکل‌های بدون بالاست ارزانه‌تر از مفهوم دارای بالاست هستند. با وجود این واقعیت که در مطالعات چرخه عمر، اثرات مهم زیر در نظر گرفته نمی‌شود:

- دسترسی بالاتر خط
- وزن مرده کمتر روی سازه‌های مهندسی
- کاهش ارتفاع سازه
- صرفه‌جویی در اقدامات مربوط به کاهش سر و صدا

برای یک سازه مرسوم خط که از دال / تراورس‌ها، ریل‌ها و بست‌ها، شکل‌ها تشکیل شده است، هزینه ساخت و هزینه‌های سالیانه بر حسب واحد EUR در هر متر مطابق جدول شماره ۲ تخمین زده می‌شود:

جدول ۲: تخمین هزینه های ساخت و هزینه های سالیانه یک خط

هزینه ساخت	هزینه های سالیانه	انواع خطوط
EUR 500	EUR 70	خطوط دارای بالاست
EUR 800	EUR 60	ERS، بهینه شده

لذا بر مبنای نتایج تحلیل‌های هزینه چرخه عمر، یکی از گزینه‌های مطلوب، استفاده از خطوط دارای دال باشد.



#### ۴- نتیجه گیری

خطوط مرسوم با استفاده از بالاست برای مدت طولانی یک قاعده بوده است. از آنجا که موضوع کریدورهای اصلی جدید برای خطوط سرعت بالا و ترافیک بار مطرح گردیده لذا فاکتورهایی مثل عمر سرویس، نگهداری پایین، دسترسی و ظرفیت برای افزایش سرعت و بار باعث افزایش اهمیت موضوع می شود. در این مقاله با بررسی هزینه چرخه عمر در خطوط موجود و همچنین خطوط بدون بالاست، مزایای طراحی بدون بالاست بطور واضح مشخص گردید.

#### ۵- مراجع

- [1] Esveld, C. (1999) Slab Track: A competitive solution. Rail International, Schienen der Welt, June 1999.
- [2] Esveld, C. (2001) *Modern Railway Track*. MRT-Productions, Zaltbommel. ISBN 90-800324-3-3 (www.esveld.com).
- [3] Zwarthoed, J.M. (2001) Slab Track design: Flexural Stiffness Versus Soil Improvement. *Proceedings of Rail-Tech Europe 2001 Conference*.
- [4] Esveld, C., Kok, A.W.M. (1998) Interaction between Moving Vehicles and Railway Track at High Speed. Rail Engineering International, 27, 3, 14-16.
- [5] Markine, V.L. (1999) *Optimization of the Dynamic Behaviour of Mechanical Systems*. PhD Thesis, TU Delft. Shaker Publishing B.V. ISBN 90-423-0069-8.
- [6] Markine, V.L., J.M. Zwarthoed, C. Esveld, (2001) Use Of Numerical Optimisation In Railway Slab Track Design. In. O.M. Querin (Ed.): Engineering Design Optimization Product and Process Improvement. Proceedings of the 3rd ASMO UK / ISSMO conference, Harrogate, North Yorkshire, UK, 9th -10th July 2001. ISBN: 0-85316-219-0 (for text version), ISBN: 0-85316-222-0 (for CD-ROM version).
- [7] Bachmann, H., W. Mohr and M. Kowalski (2003) The Rheda 2000 ballastless track system. European Railway Review, Issue 1, 2003, 44-51.
- [8] de Man, A.P. (2002) *DYNATRACK: Dynamic behaviour of railway track*. Delft University Press, Delft. ISBN 90-407-2355-9. (www.rail.tudelft.nl)
- [9] Penny, Ch. (2003) Balfour Beatty embedded track system. *Proceedings of Rail-Tech Europe 2003 Conference*.
- [10] Huurman, M., Markine, V.L., de Man, A.P. (2002) Design Calculations For Embedded Rail In Asphalt. Proceedings of Rail. *Proceedings of Railway Engineering-2002 Conference, London, UK, 3rd-4th July 2002*. ISBN 0-947644-49-0.
- [11] Zwarthoed, J.M., V. Markine, C. Esveld; (2001) Slab track design: flexural stiffness versus soil improvement. In: Rail-Tech Europe, 3-5 April 2001, Utrecht, ISSN 0169-9288 CD-ROM, 2001, p. 1-22