



## روش‌های کنترل ماسه‌های روان به منظور پیشگیری از بروز بحران در خطوط ریلی راه آهن ایران

ایمان منوری<sup>۱</sup>، علی اصغر مرتضوی<sup>۲</sup> و عابد امراللهی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مدیریت در سوانح طبیعی، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. i.monavari@ace.sbu.ac.ir (نویسنده مسئول)  
۲. استادیار و عضو هیأت علمی دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. A\_mortazavi@sbu.ac.ir  
۳. کارشناس مهندسی معدن، دانشکده فنی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد محلات، محلات، ایران. aa.0057@gmail.com

### چکیده

**زمینه و هدف:** پدیده حرکت ماسه‌های روان، به عنوان یکی از بلایای طبیعی مناطق کویری همواره خسارات فراوانی را به بخش حمل و نقل کشور تحمیل می‌کند. به طوری که ۵.۵٪ از کل خطوط ریلی در مناطق ماسه‌گیر قرار دارند. از طرفی الزام عبور خطوط راه آهن از مناطق کویری و ماسه‌گیر و مشکلات متعدد ایجاد شده برای خطوط راه آهن از جمله، خروج از خط ناگهانی قطارها، مسدودی‌های متعدد، صلیبیت روسازی، فرسودگی ادوات اتصال خط، کاهش ایمنی و هزینه‌های بالای تعمیرات و نگهداری باعث شده تا ارائه و اجرای راهکارهای تثبیت ماسه‌های روان در مناطق کویری ریلی به یک امر ضروری تبدیل شود.

**روش:** انجام تحقیقات در این زمینه به صورت مطالعات کتابخانه ای یعنی کاوش در متون موجود و همچنین مطالعات میدانی با حضور در خطوط ریلی ماسه گیر در اداره کل راه آهن شرق کشور صورت پذیرفت. مطالعات با هدف یافتن راهکارهای تثبیت ماسه‌های روان و جلوگیری از رسوب آن‌ها در خطوط ریلی صورت پذیرفت. یافته‌ها: راهکارهای ارائه شده در این تحقیق، در موضوع تثبیت ماسه‌های روان قبل از رسیدن به خطوط ریلی مانند پوشش گیاهی، احداث خاکریز خندق، تله‌های رسوب‌گیر، احداث دیوار، مالچ‌پاشی و در موضوع جلوگیری از ته‌نشین شدن ماسه‌ها در خط مانند احداث دالخط کوهان‌دار و گالری به معرفی و بحث گذاشته شده است. نتیجه گیری: مشاهدات میدانی در ادارات کل راه آهن شرق، تهران و اصفهان بیانگر این مطلب است که تاکنون راهکارهایی مانند احداث دیوارهای تراورسی، کاشت نهال و احداث خاکریز خندق به طور جداگانه و به صورت محدود در راه آهن کشور اجرایی گردیده؛ ولی در اغلب موارد به دلیل توجه نکردن به محدودیت‌های روش‌های اشاره شده، مشکل ورود ماسه به خطوط به طور کامل برطرف نگردیده یا در صورت برطرف شدن، پس از مدتی از این موانع عبور کرده و مجدداً به خط رسیده است. در حقیقت شرایط و ویژگی‌های مسیر ریلی به گونه‌ای است که ارائه روش یا روش‌های اجرایی تثبیت ماسه‌های روان در راه آهن کشور نیازمند مطالعات اقلیمی، جغرافیایی، ژئومورفولوژی، فیزیکی و فرسایشی خاص هر منطقه ماسه‌گیر نیز می‌باشد. به دلیل محدودیت‌های اجرای هر راهکار، بهترین حالت به منظور جلوگیری از ترسیب ماسه درون خطوط ریلی راه آهن ج.ا.ا. ترکیبی از دو یا چند راهکار، آن هم بنا به مطالعات خاص هر منطقه و شرایط اجرایی نظیر زمان و هزینه در خطوط ریلی معرفی می‌گردد تا محدودیت یک راهکار توسط راهکارهای دیگر پوشش داده‌شود. در انتهای این پژوهش نیز، راهکار تثبیت ماسه‌های روان در قسمتی از بلاک ریلی ماسه‌گیر تل‌حمید- منتظر قائم در اداره کل راه آهن شرق کشور ارائه گردید.

**واژه‌های کلیدی:** ماسه‌های روان، خطوط ریلی ماسه‌گیر، روش‌های تثبیت ماسه، مدیریت بحران در راه آهن، مناطق ماسه‌گیر

◀ **استناد فارسی (شبه APA، ویرایش ششم ۲۰۱۰):** منوری، ایمان؛ مرتضوی، علی‌اصغر؛ امراللهی، عابد (بهار، ۱۳۹۶). روش‌های کنترل ماسه‌های روان به منظور پیشگیری از بروز بحران در خطوط ریلی راه آهن ایران. *فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران*، ۷ (۱)، ۲۵-۳۴.

## Sand dunes control methods to prevent the crisis on the Iran railway lines

I. Monavari<sup>1</sup>, A. Mortazavi<sup>2</sup> & A. Amrollahi<sup>3</sup>

1. MSc student of Natural Disaster Management, Faculty of civil, Water and Environment, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran, i.monavari@ace.sbu.ac.ir

2. Associate Professor in faculty of civil, Water and Environment, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran. A\_mortazavi@sbu.ac.ir

3. BSc in Mining engineering, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Arak, Iran, aa.0057@gmail.com

### ABSTRACT

**Background and objective:** Moving Sands phenomenon, as a natural hazard in desert areas, has always imposed a lot of damages to the transportation sector; so that 5.5% of all rail lines are located in the sandy areas of Iran. On the other hand, the need of crossing railway lines in the deserts and sand dunes created numerous problems for railways, including the sudden deviation of trains from the railway, numerous blockings, pavement stiffness, wearing devices connecting to line, decreasing immunity and the high costs of maintenance and repair has made it necessary to provide and implement strategies to stabilization sand dunes of the desert railway.

**Method and Findings:** Research in this context has been done by reviewing the literature and field studies attending the railway lines of East Railway Department.

**Findings:** The solutions offered on the problem of fixation of flowing sands before reaching the rails including vegetation, trench and embankment construction, sands traps and building walls as well as the problem of prevention of entry of sands on tracks such as humped slab track and tunnel have been introduced and discussed in the present research.

**Conclusion:** It can be seen from field observations in East Railway Department that several solutions like planting and slipper walls have been used in the Iranian railway; however, the problem has not been solved completely since the related limitations have not been considered. In some cases, these solutions were useful for a while, but after that, sands have passes the barriers and reached the rail. In fact, conditions and characteristics of the rail track are such that administrative procedures or methods of sand dune stabilization in the country's rail must be according to Iran's climate, geographical conditions, geomorphology, and soil erosion. Since each solution has their own limitations, the best way is to use the combination of two or more solutions. It should be noted that track and region conditions where tracks have been constructed must be studied in order the use the best combination.

**Keywords:** sand dune, flowing sands in railway lines, sands fixation methods, crises management in railways, sandy regions

► **Citation (APA 6th ed.):** Monavari I, Mortazavi A, Amrollahi A. (2017, Spring). Sand dunes control methods to prevent the crisis on the Iran railway lines. *Disaster Prevention and Management Knowledge Quarterly (DPMK)*, 7(1), 25-34.

## مقدمه

پدیده حرکت ماسه‌های روان به عنوان یکی از بلایای طبیعی مناطق کویری همواره خسارات فراوانی را به بخش حمل‌ونقل کشور تحمیل می‌کند. به طوری که از ۱۰۳۱۱ کیلومتر شبکه سراسری راه‌آهن ایران، حدود ۵۶۵ کیلومتر معادل ۵/۵٪ از کل خطوط ریلی در مناطق ماسه‌گیر قرار دارند. از طرفی الزام عبور خطوط راه‌آهن از مناطق کویری و ماسه‌گیر و مشکلات متعدد ایجاد شده برای خطوط راه‌آهن، از جمله، خروج از خط ناگهانی قطارها، مسدودی‌های متعدد، صلبیت روسازی، فرسودگی ادوات اتصال خط، کاهش ایمنی و هزینه‌های بالای تعمیرات و نگهداری باعث گردیده تا ارائه و اجرای راهکارهای تثبیت ماسه‌های روان در مناطق کویری به یک امر ضروری تبدیل شود.

فرسایش بادی و حرکت ماسه‌های روان در کشور ایران در دهه‌های اخیر افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته است به طوری که؛ باعث بروز مشکلات عدیده‌ای در صنعت حمل‌ونقل کشور، به‌خصوص در صنعت حمل‌ونقل ریلی عبوری از این مناطق شده است. در بحث اهمیت این موضوع، مهم‌ترین اثرات مخرب ماسه بر عملکرد راه‌آهن ج.ا.ا. را می‌توان به صورت ذیل عنوان کرد:

- ایجاد اختلال در ترافیک شبکه، عدم امکان برنامه‌ریزی مناسب جهت سیر منظم قطارها و افزایش تاخیرات قطارهای مسافری (کاهش ظرفیت خط)
- بروز سوانح متعدد در مناطق ماسه‌گیر (خروج از خط لکوموتیو، واگن و گسیختگی قطار)
- ایجاد اختلال در عملکرد لکوموتیوها در مناطق ماسه‌گیر به دلیل سرعت سیر پائین و وجود ماسه در قطعات مکانیکی و برقی آن‌ها
- آسیب به تاسیسات زیر بنائی راه‌آهن و ایجاد اختلال در عملکرد مطلوب سوزن‌های برقی و دستی و عدم چسبندگی مناسب تیغه‌ها و فرسودگی زودرس قطعات آن‌ها
- مسدود شدن آبراه‌ها و پل‌های زیر خطوط راه‌آهن با ماسه
- بروز نارضایتی در بین مأمورین ایستگاه‌های واقع در مناطق ماسه‌گیر به دلیل کمبود امکانات، ایجاد بیماری‌ها و مشکلات تنفسی
- عدم بازدید کامل برخی قطارها توسط مأمورین به دلیل مشکلات ناشی از عدم دید کافی در مواقع طوفانی

- نارضایتی مسافرین قطارهای مسافری به دلیل وجود گردوغبار در داخل سالن‌ها به‌هنگام سیر در بلاک‌های ماسه‌گیر
- مجموعه این آثار مخرب، منجر به تمایل راه‌آهن کشور به احداث کمربندهای حفاظتی خطوط ریلی در مناطق ماسه‌گیر آن شده است.
- در این تحقیق به روش‌های تثبیت ماسه‌های روان در مناطق کویری در خطوط راه‌آهن اشاره خواهیم کرد.



شکل ۱: هجوم ماسه‌های روان به خط ریلی در بلاک تل‌حمید - منتظر قائم محور شرق راه‌آهن کشور (نگارندگان ۱۳۹۵)

## روش

انجام تحقیقات در این زمینه به صورت مطالعات کتابخانه‌ای یعنی کاوش در متون موجود و همچنین مطالعات میدانی با حضور در خطوط ریلی ماسه‌گیر در اداره کل راه‌آهن شرق کشور صورت پذیرفت. مطالعات با هدف یافتن راهکارهای تثبیت ماسه‌های روان و جلوگیری از ترسیب (رسوب) آن‌ها در خطوط ریلی صورت پذیرفت. در نهایت نیز به کمک مشاهدات میدانی و تحلیل روش‌های اشاره شده و نیز ضوابط احداث بادشکن به ارائه طرح احداث کمربند حفاظتی خطوط ماسه‌گیر در قسمتی از بلاک ماسه‌گیر تل‌حمید - منتظر قائم واقع در محور شرق راه‌آهن کشور خواهیم رسید.

## یافته‌ها

مجموعه مطالعات کتابخانه‌ای و کاوش‌های میدانی به ارایه ۸ راهکار جهت جلوگیری از رسوب ماسه‌های روان در خطوط ریلی راه‌آهن منجر گردید. در ادامه به توضیح در مورد هر کدام از این راهکارها می‌پردازیم.



و توانایی آن‌ها در محیط‌های خاکی بودند. بدین منظور منطقه نیمه‌خشک موآس<sup>۷</sup> در شمال چین که بوته‌های گیاه آرتمیسیا اوردوزیکا در آن رشد کرده‌بودند را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج بدست آمده از تحقیق آن‌ها نشان می‌دهد، بهترین فاصله ترکیب نهال‌های کوچک و بزرگ برای اثر مثبت بر نشست ماسه‌های روان ۶-۳/۰ متر می‌باشد.

در ایران، معرفی گونه‌های مشخص جهت احداث بادشکن‌های زنده برای هر منطقه مستلزم انجام مطالعات تخصصی محلی جهت احداث بادشکن می‌باشد (ضوابط و معیارهای فنی احداث بادشکن بیولوژیک، ۱۳۹۳). تجربه کاشت نهال‌های تاغ و ترات در ادارات کل راه‌آهن شرق و اصفهان بیانگر این موضوع می‌باشد که این دو گونه درختی با مناطق در معرض حمل ماسه‌های روان سازگار می‌باشند. البته تجارب در این دو اداره کل نشان می‌دهد، بهترین حالت زمانی اتفاق خواهد افتاد که به مدت دو سال از نهال‌های کاشته‌شده مراقبت و نگهداری گردد.

#### ۲-۱. پوشش شرنجی

در قسمتی دیگر از کویر شاپوتوی چین برای تثبیت ماسه‌های روان از روش پوشال‌های شرنجی<sup>۸</sup> استفاده می‌شود. به این صورت که پوشال‌های نی<sup>۹</sup>، برنج، گندم و سایر گیاهان را به صورت شرنجی به هم تابانده و نیمی از آن‌ها را درون خاک و باقی را روی خاک قرار می‌دهند که در نهایت از بالا مانند خطوط صفحه شرنج قابل مشاهده می‌باشند. دانشمندان در ایستگاه تحقیقات کویر شاپوتو<sup>۱۰</sup>، آکادمی علوم چین، این تکنیک را در سال ۱۹۵۷ ابداع کردند و این روش از آن پس در مناطق بیابانی چین به دلیل موفقیت در تثبیت ماسه‌های روان، استفاده می‌شود. کی‌یو، لی، شیمیزو، جائو و دینگ (۲۰۰۴)<sup>۱۱</sup> توانستند به نتایج خوبی در این موضوع برسند:

اول اینکه که ارتفاع مناسب این شبکه شرنجی روی سطح خاک از دو منظر اقتصادی و تثبیت مناسب ماسه‌ها بین ۱۰ تا ۲۰ سانتیمتر می‌باشد.

#### ۱. استقرار پوشش گیاهی

##### ۱-۱. پوشش درختی و درختچه ای

دکتر صالحی در مورد آثار پوشش گیاهی بیان می‌دارد (صالحی، اسفندیارپور بروجنی، مهاجر و باقری بداغ‌آبادی ۱۳۹۳، ص ۱۶۵) شاید بتوان گفت که استقرار یک پوشش گیاهی محافظ در سطح خاک، مؤثرترین روش برای کنترل فرسایش بادی است. اگر زمین همواره دارای پوشش گیاهی باشد، فرسایش بادی ناچیز خواهد بود. این پوشش، علاوه بر اینکه در حفظ رطوبت خاک اهمیت دارد؛ بر کاهش سرعت باد در نزدیکی‌های سطح زمین نیز اثرگذار می‌باشد و مهمتر از همه اینکه جلوی حرکت ذرات انتقال‌یافته توسط باد را می‌گیرد و آن‌ها را در پشت خود نگه می‌دارد. به‌طور معمول، گیاهانی که نزدیک هم کشت می‌شوند (مانند علف‌ها، گندم و جو)، تأثیرشان در کاهش فرسایش بادی، بیشتر از گیاهان ردیفی است که بین آن‌ها فاصله وجود دارد. برای اینکه تأثیر گیاهان ردیفی در کاهش فرسایش، زیاده‌تر شود؛ بایستی ردیف‌های کشت، عمود بر جهت باد غالب طراحی شوند.

در جهان گیاهان مختلفی برای تثبیت ماسه‌های روان به کار گرفته شده‌اند. به منظور تثبیت ماسه در منطقه شاپوتو چین<sup>۱</sup>، گیاهانی از قبیل آرتمیسیا اوردوزیکا<sup>۲</sup>، خارشتر اسکوپاریوم<sup>۳</sup> و کاراگانا کورشینسکی<sup>۴</sup> کاشته شده است. میشل، فیرونا، فولن و ترومن (۱۹۹۶)<sup>۵</sup> پی بردند که رابطه مستقیم و مثبتی بین درصد پوشش درختچه‌ها و ارتفاع ماسه تجمع‌یافته وجود دارد. به‌ازای هر ۱۰٪ افزایش پوشش درختچه‌ای، ۴ میلی‌متر به ارتفاع رسوب ماسه افزوده می‌شود. علاوه بر تراکم پوشش درختچه، نوع و شکل آن‌ها نیز موثر است. باید درختچه‌ها هم‌زمان کاشته شوند تا در آینده ارتفاع و عرض مشابهی داشته باشند.

بو و هانگسیا (۲۰۱۳)<sup>۶</sup> روابط بین الگوهای فضایی درختچه بومی و توانایی بقای خود در محیط‌های شنی را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها به‌دنبال رابطه‌ای بین مدل‌های فضایی درختچه‌ها

7. Mo Us  
8. straw checkerboard  
9. wheat  
10. Shapotou Desert Research Station  
11. Qiu, Lee, Shimizu, Gao, Ding(2004)

1. Shapotou  
2. Artemisia ordosica  
3. Hedysarum scoparium  
4. Caragana korshinskii  
5. Mitchell, Fearnough, Fullen and Trueman(1996)  
6. Bo and Hongxiao (2013)

### ۳. تله رسوب گیر

از دیگر روش‌های مورد استفاده که حتماً باید توأم با سایر روش‌ها استفاده شود، احداث تله رسوب گیر می‌باشد. مقطع تله رسوب گیر، شبیه خندق با ابعاد کوچکتر می‌باشد و یکی از مناسب‌ترین مکان‌ها برای احداث آن، داخل طرح پوشش گیاهی است تا ماسه‌هایی که از بین نهال‌ها و درختان عبور می‌کنند، با رسیدن به این تله‌ها در آن‌ها رسوب کنند و در نتیجه کارایی اثر آن‌ها بالا رود. تعداد این تله‌ها بستگی به حجم آورد ماسه و سرعت باد خواهد داشت.



شکل ۳: تله رسوب گیر - ایستگاه تل حمید در محور شرق راه آهن ج.ا.ا. (نگارندگان ۱۳۹۵)

### ۴. احداث دیوار

از روش‌های بسیار مرسوم دیگر در راه آهن، احداث دیوار در برابر طوفان‌های ماسه‌ای می‌باشد. برای این منظور از مصالح مختلفی چون تراورس‌های مستعمل چوبی و فلزی، دیوارهای بتنی پیش‌ساخته و دیوارهای حائل استفاده می‌گردد. احداث دیوار با استفاده از تراورس‌های چوبی مستعمل که در راه آهن کشور بارها استفاده گردیده‌است، در صورت طراحی مناسب نسبتاً موفق بوده و تا حد فراوانی مسیر رسوبات را مسدود خواهد کرد.

تصاویری از دیوارهای تراورسی در شکل ۳-۹ نشان داده شده است. این روش متناسب با جهت انرژی باد طراحی و اجرا می‌گردد. اگر این دیوارها عمود بر جهت جریان باد قرار داشته باشد، کارایی آن‌ها بهترین حالت را دارا بوده و در غیر این صورت نه تنها برطرف کننده خطرات هجوم رسوبات روان نبوده، بلکه آسیب‌های بیشتری نیز به همراه خواهد داشت.

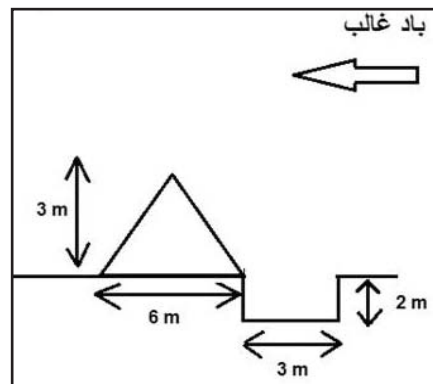
دوم اینکه ابعاد ۱ در ۱ متر برای خانه‌های شطرنجی عملکرد مناسبی در شکست سرعت باد و نیز تثبیت ماسه‌های روان دارند. همچنین از منظر ساخت نیز راحت‌تر می‌باشد.

سوم اینکه استفاده از این روش به علت افزایش طول زبری سطح زمین به میزان ۹۹/۵٪ ماسه‌های روان را در محل مورد استفاده تثبیت می‌نماید.

هنگامی که ماسه تثبیت شد به مرور یک لایه سخت از خاک تشکیل و شرایط برای رشد گیاهان فراهم می‌شود. در این تحقیق سهولت ساخت و ساز، نتایج سریع، و نداشتن آلودگی محیط زیستی از دیگر مزایای آن به‌شمار رفته‌است. لیکن هزینه نیروی کار و نیاز به جایگزینی پس از ۳ تا ۵ سال از معایب آن به‌شمار رفته‌است. (کی‌یو، لی، شیمیزو، جائو و دینگ، ۲۰۰۴)

### ۲. احداث خاکریز و خندق

یکی از ابتدایی‌ترین روش‌های تثبیت ماسه‌های روان احداث خاکریز بوده است. این روش در صورتی که با سایر روش‌های تثبیت به کار گرفته شود و اصول احداث آن رعایت شود می‌تواند یکی از مؤثرترین روش‌ها در کاهش سرعت باد نیز باشد. مشاهدات میدانی بیان نشان داد از جمله اصولی که باید در این روش در نظر گرفته شود؛ این است که طول خاکریز تا حد امکان در جهت عمود بر باد قرار گیرد تا کارایی آن در کاهش سرعت باد افزایش یابد و یک خندق نیز در پای خاکریز احداث گردد، تا ماسه‌ها پس از برخورد با دیواره خاکریز در خندق یاد شده رسوب کرده و با تغییر جهت یا سرعت بالاتر باد مجدداً به حرکت درنیایند. لازم به ذکر است که در مناطق با حجم بالای ماسه، ممکن است پس از مدتی خندق یاد شده پرگردیده و به مرور شیب شیروانی خاکریز کم شود؛ در نتیجه امکان عبور ماسه از خاکریز فراهم گردد.



شکل ۲: نمونه‌ای از مقطع یک خاکریز خندق (نگارندگان ۱۳۹۵)

اول تثبیت ماسه‌های تجمع یافته در پهنه‌های اطراف خطوط ریلی جهت جلوگیری از حرکت آنها به سمت خط ریلی. دوم پوشاندن شیروانی‌های خاکریز خط جهت جلوگیری از آسیب به زیرسازی آن. در ادامه به نمونه‌هایی از انواع مالچ اشاره می‌کنیم.

#### ۱-۵. مالچ نفتی

دکتر رفاهی در کتاب خود بیان می‌دارد (رفاهی ۱۳۸۸، ص ۳۲۰): یکی از فناوری‌هایی که برای مقابله با فرسایش بادی استفاده می‌شود، استفاده از مالچ‌های نفتی می‌باشد، که از فراورده‌های سنگین نفت است. این مواد به صورت امولسیون در می‌آیند، این ماده امولسیونه پس از آنکه در سطح زمین پاشیده شد با از دست دادن آب خود قشر نازکی از ماده اصلی آن در سطح زمین برجای می‌ماند. استفاده از مالچ‌های نفتی از یک سو از تبخیر شدید رطوبت خاک جلوگیری نموده و آن را تا زمان گسترش کامل ریشه‌های گیاهان در خاک ذخیره می‌نماید و از سوی دیگر باعث افزایش حرارت خاک از طریق جذب بیشتر انرژی نورانی می‌شود. این امر باعث تسریع در جوانه زدن بذرهای کاشته شده می‌شود. در عین حال رضایی (۱۳۸۸) معتقد است به کرات دیده شده که مالچ نفتی در زمان عملیات مالچ‌پاشی روی گیاهان موجود و یا نهال‌های تازه کاشته شده، اثرهای منفی باقی می‌گذارد. با این حال اثرات مالچ نفتی روی جوانه‌زنی بذر و استقرار گیاه همواره از جمله دغدغه‌های مسئولان امر و محدودیت‌های کاربرد این مالچ بوده است.

در سال‌های اخیر، قیمت بالای تهیه این مالچ یکی از ایرادات اساسی آن، جهت استفاده در مناطق ماسه‌گیر به شمار می‌آید.

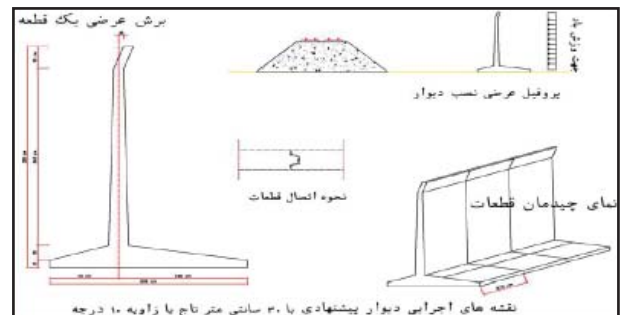
#### ۲-۵. مالچ کلرید کلسیم و کلرید منیزیم

بررسی و تحقیق روی تأثیر مالچ‌ها با ترکیبات کلریدی مختلف شامل منیزیم کلرید و کلسیم کلرید روی تپه‌های ماسه‌ای در روستای مصر (خورویا بانک - استان اصفهان) انجام شده است. رحمانی بیان می‌دارد (رحمانی ۱۳۹۱) که محلول کلرید کلسیم و کلرید منیزیم که مانند دیگر مالچ‌های نفتی و شیمیایی به‌عنوان یک تثبیت‌کننده معرفی شده (البته بیشتر برای جاده‌های خاکی)، به علت خاصیت سخت‌کنندگی و جاذبه‌الرطوبه بودنش استفاده از این ماده به عنوان



شکل ۴: احداث دیوار با تراورس‌های چوبی - ایستگاه تل حمید در محور شرق راه آهن ج.ا.ا. (نگارندگان ۱۳۹۵)

فتحعلی (۱۳۸۷) بیان می‌دارد یکی از روش‌های احداث دیوار، استفاده از قطعات پیش‌ساخته بتنی است. دیوارها در ۳۰ سانتیمتری بالای آن با زاویه ۱۰ درجه به طرف خارج تمایل پیدا می‌کند تا طوفان‌های ماسه‌ای را حتی الامکان به نقاط دورتری برگرداند. نمونه‌ای از پروفیل عرضی دیوارها در شکل ۳-۱۰ نشان داده شده است. مزایای این روش حل نسبی مشکل، ارزان بودن نسبی، قابلیت انتقال‌پذیری و قابلیت استفاده مجدد می‌باشد. این روش خسارت ناشی از اثرات مکانیکی باد را کاهش می‌دهد. سرعت عمل بالای اجرا نیز (طبق برآورد، روزانه ۱۰۰ متر) از مزایای دیگر آن و هزینه تهیه و ساخت بالا از معایب آن می‌باشد. از طرفی با توجه به وجود نمک و املاح زیاد در منطقه باید در تهیه این دیوارها ملاحظات خاصی را لحاظ کرد.



شکل ۵: نقشه‌های اجرایی دیوار پیش‌ساخته بتنی (فتحعلی ۱۳۸۷)

#### ۵. راهکار تثبیت شیمیایی ماسه

در دو سه ده اخیر، مالچ‌های زیادی در کشور ساخته شده‌اند و در حوزه بررسی اثر آن‌ها بر تثبیت ماسه‌های روان نیز مطالعات خوبی صورت گرفته است. استفاده از مالچ جهت تثبیت ماسه در خطوط ریلی به دو منظور مطرح می‌شود.



بیشتر جهت استفاده از آن در ترکیب با پوشش گیاهی باید صورت گیرد.

#### ۵-۵. مالچ MNF

طبق گزارش شرکت ساتراپ (۱۳۹۱)، این مالچ طبیعی سال ۹۱ برای نخستین بار در دنیا توسط شرکت ساتراپ تهیه شده و برای احیای دریاچه ارومیه نیز بکار گرفته شده است. مالچ طبیعی عاری از هرگونه مواد پلیمری و ترکیبی از انواع مواد معدنی شامل پروتئین‌های گیاهی و حیوانی، الیاف طبیعی بوده و مواد شیمیایی سازگار با محیط زیست است. این مالچ به صورت روکش عمل کرده و به خاطر رنگ روشنی که دارد گرمای کمتری را به محیط جذب و برای جانداران و زیستگاه آن‌ها هیچگونه خطری ندارد.

پس از پاشیدن این مالچ بر روی زمین پس از گذشت چند روز، مالچ شروع به ترک خوردگی‌های مویی می‌کند که این مساله برای نفس کشیدن زمین مفید است. مالچ طبیعی رطوبت زیادی را در مدت زمان طولانی در خود حفظ کرده و از جذب آب بسیار بالایی برخوردار است به گونه‌ای که؛ آب باران را جذب و به سطح تحت پوشش خود هدایت می‌کند. مصرف آب در مالچ طبیعی یک به نیم بوده و قادر است با هرگونه آبی مخلوط شود (آبهای نمکی، آهکی، گچی). دوز مصرفی این محصول نیز ۱ کیلوگرم در ۵ متر مربع می‌باشد.

پیرو ارائه پروپوزال شرکت ساتراپ در اداره کل خط و سازه‌های فنی شرکت راه آهن ج.ا.ا. در خصوص مالچ MNF، پس از اصلاح مالچ یادشده و تایید کنترل کیفی آزمایشگاهی در نامه رسمی شماره ۹۴۰۱۶۱۳ مورخ ۱۳۹۴/۰۵/۱۰ از سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران به شرکت ساتراپ و بررسی آن، این مالچ طبیعی به‌عنوان یک مالچ مناسب جهت تثبیت ماسه‌ها در برخی از مناطق ماسه‌گیر راه آهن تایید شد. (گزارش سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران به مدیریت محترم شرکت ساتراپ. ۱۳۹۴. شماره ۹۴۰۱۶۱۳).

یکی از مزایای اصلی مالچ MNF این است که به علت استفاده از الیاف، پیوستگی خود را از دست نمی‌دهد و مانع از لغزش سطح زیرین می‌شود.

#### ۶. اجرای دال خط

ماسه‌های روان با پرکردن خلل و فرج بالاست، باعث کاهش عملکرد

نوعی محلول تثبیت‌کننده آزمایش شده است. با توجه به اینکه این محلول قابلیت حلالیت بالایی دارد و می‌تواند در اثر بارندگی به داخل خاک نفوذ کرده و یا در اثر بارندگی شدید از بین برود و یا با مقدار کمی از مواد پتاسیمی که در خود دارد، می‌تواند برای گیاه مفید باشد و موجب رشد بهتر بذر و نهال شود.

یکی از معضلات مالچ محلول کلریدکلسیم و کلریدمنیزیم، رسوب کردن آن در فصل سرما است، کلریدکلسیم زمانی که هوا سرد می‌شود شروع به رسوب کردن و کریستاله شدن می‌کند.

#### ۵-۳. مالچ پلیمر پلی لاتیس

(رضایی ۱۳۸۸) با مطالعه روی مالچ پلیمر پلی لاتیس، دریافت که هیچ اثر سویی در استفاده از ماده پلی لاتیس در نفوذپذیری نسبت به آب و در استقرار گیاهان سبز در آزمایشات دیده نشده ولی جوانه زدن بذر را با تاخیر مواجه کرده که عمدتاً به دلیل ممانعت فیزیکی ایجاد شده نسبت به شاهد بوده است. همچنین درصد بذرهای سبز شده در تیمار پلی لاتیس و شاهد نسبت به مالچ نفتی بسیار معنی‌دار بوده و از این منظر نسبت به مالچ نفتی دارای اولویت می‌باشد. در عین حال اثر پلی لاتیس در آزمایش میدانی اختلاف معنی داری با مالچ نفتی در استقرار نهال و قلمه کاشته شده نشان نداده است در حالی که نتایج میانگین صفات مورد اندازه‌گیری نشان می‌دهد که درصد استقرار نهال و قلمه به طور قابل ملاحظه‌ای در تیمار مالچ نفتی بالاتر از بقیه تیمارها می‌باشد که علت آن را می‌توان به تثبیت بهتر عرصه توسط مالچ نفتی نسبت داد.

#### ۵-۴. مالچ رسی آهکی

مالچ رسی آهکی از ترکیب رس، آهک و آب تشکیل شده است. نتایج تحقیق مجدی (۱۳۸۵) نشان داد که این نوع مالچ‌ها در برابر باد مقاوم هستند، ولی زمانی که زیر ذرات موجود در جریان باد قرار گیرند فرسایش می‌یابند براساس تحقیق مذکور تیمار ترکیبی از ۲۵۰ گرم شن و ۲۵۰ گرم خاک رس و ۲۵ گرم کاه بهترین تیمار برای تثبیت ماسه‌ها شناخته شده است. معظمی، بیگی و رنج پیشه (۱۳۹۲) نیز معتقداند این مالچ طبیعی بوده و منابع قرضه آن به وفور در منطقه قابل دسترسی است و دارای مزیت‌های فراوان زیست محیطی و اقتصادی می‌باشند.

لیکن به دلیل استفاده از آهک در این مالچ نیاز به تحقیقات

مشکلات استفاده از دال خط کوهاندار با در نظر گرفتن شکل هندسی خطوط ریلی

- با توجه به شکل این تراورس در اثر خروج از خط، دو ضربه به قطار وارد می‌شود. ضربه اول هنگامی که چرخ‌ها روی لبه کوهان‌ها می‌افتند و ضربه دوم که قوی‌تر می‌باشد هنگامی است که چرخ‌ها از روی لبه کوهان به پایین می‌افتند.
- به همین جهت بهتر است از این تراورس‌ها در محل قوس خطوط و همچنین ارتفاع زیاد خاکریز استفاده نشود. زیرا با خروج از خط چرخ‌ها، با توجه به بیشتر بودن ارتفاعی که ریل از کف نسبت به تراورس‌های معمولی دارد و دوری (شیب عرضی) که در قوس وجود دارد، احتمال واژگونی قطار در اثر ضربات یاد شده، بالا می‌باشد.
- هزینه ساخت و اجرای این خط نیز نسبت به سایر خطوط بالا می‌باشد.
- نکته دیگر این که در صورتی که پابندهای اتصالی ریل به خط با پوشش مناسبی محافظت نگردند بعد از مدتی به علت خاصیت خوردگی ماسه معیوب و خود عاملی بر جابه جایی ریل و خروج از خط قطار خواهند شد.

#### ۸. احداث گالری

بین انواع گالری‌های موجود، از منظر هزینه و زمان اجرا در راه آهن، دو مدل گالری سبک بتنی و گالری فلزی، نسبت به سایر گالری‌ها مناسب‌تر به نظر آمدند که در ادامه به توضیح ویژگی آن‌ها اشاره می‌گردد.

#### ۸-۱. گالری سبک بتنی

این نوع گالری برای بارهای نه چندان سنگین مانند ماسه‌های روان، پیش بینی می‌شود. از مزایای این گالری می‌توان به پیشگیری از ورود ماسه به خط و پایین بودن هزینه تعمیر و نگهداری خط اشاره کرد. ایجاد محدودیت در تعمیرات خط مخصوصاً اگر طول اجرای گالری زیاد باشد، هزینه و زمان بالای اجرا و نیاز به مسدودی خط در حین اجرا از معایب این نوع گالری به‌شمار می‌آید.

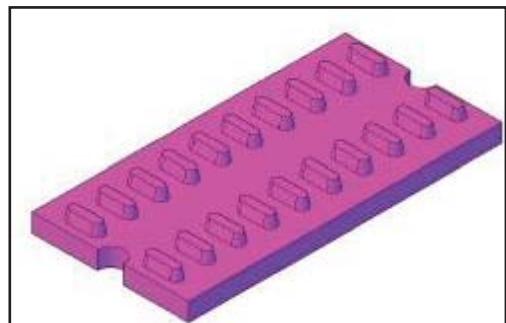
با توجه به شکل و ساختار گالری در صورتی که جهت تونل در جهت عمود بر باد غالب منطقه باشد به میزان زیادی در جلوگیری از ورود ماسه به خط موثر واقع خواهد شد. در غیر این صورت اثر آن

ارتجاعی خط شده و آن را صلب می‌نماید که در این حالت نیروها و ضربات ناشی از عبور قطار، ضمن مستهلک نمودن زیرسازی و روسازی راه‌آهن، همچنین با انعکاس آن به آلات ناقله، سبب کوتاه شدن عمر و افزایش هزینه‌های تعمیر و نگهداری آن‌ها می‌شوند. هزینه نصب اولیه سیستم دال خط بسیار زیاد است، ولی هزینه نگهداری آن ناچیز بوده و کمتر نیاز به تعمیرات دارد. در روسازی دال خط، مشکل رسوب ماسه در خط کاهش یافته و آلودگی بالاست که به کاهش خاصیت ارتجاعی خط و مقاومت جانبی آن منجر می‌شود و نیز مشکلاتی چون خرابی و شکستگی تراورس و فرسایش ناشی از حرکت شن‌های روان، در سیستم دال خط از بین رفته‌است. هزینه بالای ساخت و اجرا و عدم رفع معضل مسدودی خط، در اثر حجم بالای ماسه‌های روان از محدودیت‌های این روش می‌باشد (فتحعلی، ۱۳۸۷).

#### ۷. استفاده از دال خط کوهاندار

این روش که ترکیب دو روش قبلی می‌باشد اولین بار توسط دکتر ذاکری، اسماعیلی و فتحعلی (۱۳۸۹) مطرح شد. آن‌ها عملکرد دال خط کوهاندار در مناطق ماسه گیر را پس از ساخت مدل، در محیط نرم افزار مورد بررسی قرار دادند.

دال کوهاندار سیستم روسازی ویژه‌ای است که از ترکیب ویژگی‌های روسازی‌های بدون بالاست و نیز تراورس‌های کوهاندار به عنوان روشی برای عبور ماسه‌های روان از درون مقطع خط، در مناطق کویری ارائه شده است. در این روش با ارتفاع‌دهی لازم به ریل و ایجاد فضای خالی در زیر آن، کانال‌هایی برای حرکت ماسه از روی دال و زیر ریل فراهم و با پیوسته بودن دال بتنی، مشکل صلیب لایه بالاست با نفوذ ماسه‌های روان به داخل لایه حل می‌گردد. شکل دال خط کوهاندار در شکل ۳-۱۳ به صورت شماتیک نشان داده شده‌است (ذاکری، اسماعیلی، فتحعلی، ۱۳۸۹).



شکل ۶: نمای سه بعدی دال کوهاندار (ذاکری، اسماعیلی، فتحعلی، ۱۳۸۹)

شرق راه آهن کشور انتخاب گردید. خلاصه نتایج مطالعات مورد نیاز در این بلاک نشان می‌دهد از کیلومتر ۲۱۲+۸۷۵ تا ۲۱۷+۴۹۴ طول خط ریلی، در جهت جنوب غربی - شمال شرقی بوده و باد غالب منطقه از سمت غرب و شمال غرب می‌وزد؛ سالانه ۵۷ روز شاهد وزش شن باد در این منطقه می‌باشیم که خط ریلی واقع در این ترانشه، به مدت ۳۵ روز در سال ۹۴، کاملاً مسدود شده و باعث بروز تأخیرهای چندین ساعته، در سیر قطارهای باری و مسافری گردیده؛ قسمت اعظمی از این قطعه درون ترانشه قرار گرفته است و در محدوده غربی آن تا فاصله حدود ۲۵۰ متری از خط وجود عوارضی سنگی را شاهد هستیم که بین آنها ماسه زیادی رسوب کرده است و با وزش باد شدید به حرکت درآمده و به سمت خط هدایت می‌شوند؛ همچنین سرعت باد حداکثر در منطقه ۳۰ متر بر ثانیه اندازه‌گیری شده و وجود پوشش گیاهی از نوع تاغ در مناطق دورتر نشان از مناسب بودن خاک منطقه جهت کاشت این گیاه دارد. (منوری ۱۳۹۵). شکل ۷ عکس هوایی محل خط ریلی و عوارض سنگی در مجاورت آن را نشان می‌دهد.



شکل ۷: عوارض طبیعی محدوده غربی مسیر خط ریلی از کیلومتر ۲۱۲+۸۷۵ تا ۲۱۷+۴۹۴ در بلاک ریلی تل حمید-منتظر قائم محور شرق

با توجه به موارد فوق مناسب‌ترین روش برای این قسمت از خط کاشت پنج ردیف نهال زردتاغ و احداث دو ردیف خاکریز خندق در سمت غربی آنها در فاصله ۲۵۰ متری از خط پیشنهاد می‌گردد. هم چنین لازم است فواصل بین سنگ‌ها در حدفاصل خط تا پوشش گیاهی با مالچ مناسبی مالچ‌پاشی شده تا از حرکت ماسه به سمت خط جلوگیری نماید. فواصل نهال‌های تاغ ۵ متر از هم در نظر گرفته شده است. نقشه پلان این طرح در شکل ۸ مشخص شده است.

کاهش می‌یابد. بنابراین در گام اول باید متذکر شد که این روش مختص خطوطی است که عمود بر جهت باد غالب باشند.

این نکته را هم باید یادآور شد که ارتفاع خاکریز زیرسازی در خطوطی که از قبل احداث شده‌اند به جز خطوط داخل ترانشه‌ها، متفاوت و بیشتر از یک متر است و این باعث می‌شود در نقاطی که ارتفاع خاکریز بیشتر از دو متر باشد هزینه‌های احداث جهت تأمین گاباری لازم قطارها فراتر از حدانتظار شده و غیراقتصادی به نظر برسد.

#### ۸-۲. گالری فلزی با صفحات موج دار

این نوع گالری‌ها یا به صورت یک حجم کامل با کف (مثل یک استوانه) که بدون نیاز به فونداسیون بتنی و یا به صورت آرک (فرم نیم دایره) که نیازمند احداث یک فونداسیون بتنی به شکل نواری است اجرا می‌شود. در حالتی که فونداسیون بتنی نیاز نباشد، می‌توان با برداشت خاک بستر سازه به میزان حداقل ۳۰ سانتیمتر و تسطیح و متراکم کردن آن و جایگزینی آن با خاک نرم، بسترسازی را انجام داد که البته این در حالتی است که جنس زمین مناسب بوده و سطح آب زیرزمینی هم اجازه عملیات را بدهد (فتحعلی ۱۳۸۷).

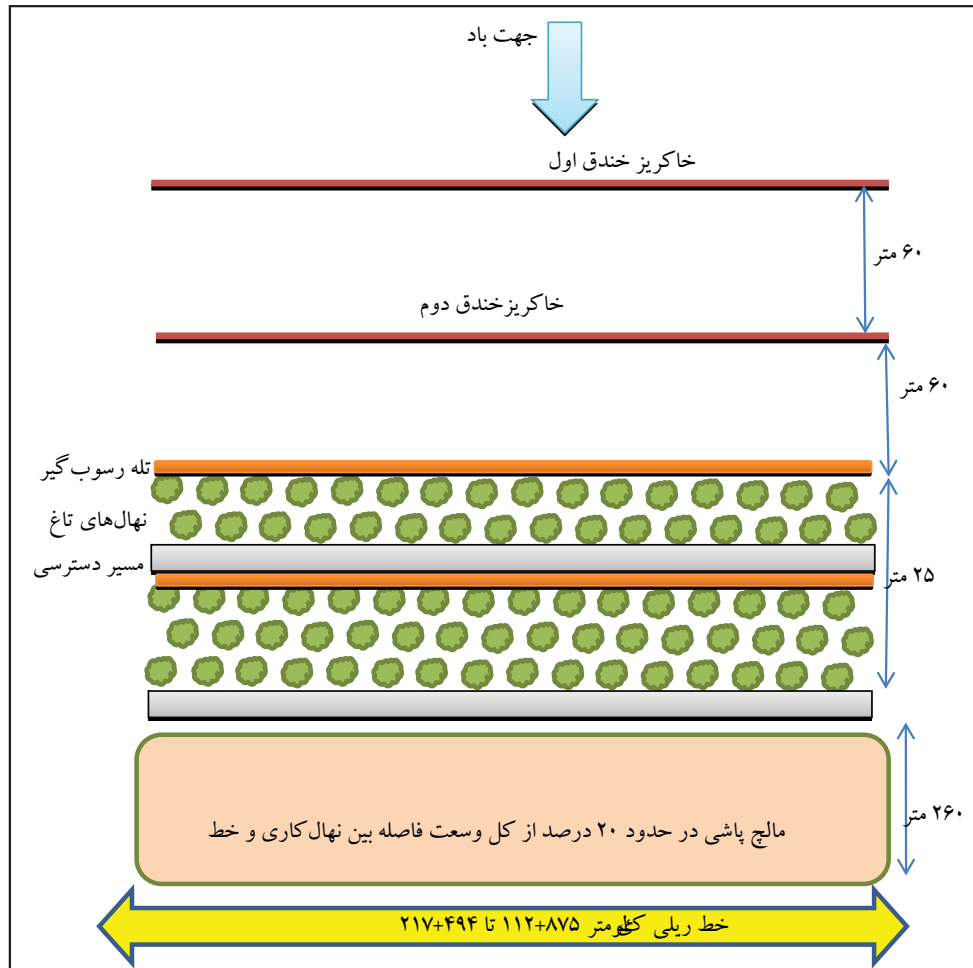
جهت جلوگیری از خوردگی در این سازه و افزایش طول عمر آن با در نظر گرفتن وضعیت رسوبات آب، pH خاک و آب، مقاومت الکتریکی آب پوشش‌هایی چون پلی اتیلن، گالوانیزه، آلومیناز و یا پوشش‌های قیری به کار می‌رود و می‌توان طول عمر سازه را نهایتاً تا ۱۲۰ سال افزایش داد. برای رفع مشکل جمع‌آوری تجمع ماسه می‌توان از پوشش خاکی با تراکم ۸۰٪ تا ۹۰٪ استفاده کرد که میزان باربری را افزایش می‌دهد و تحمل تجمع ماسه را خواهد داشت. برای اجرای این سازه در ترانشه‌های ماسه‌گیر می‌توان پی بتنی اجرا کرد که سازه فلزی روی آن سوار می‌شود و از آنجایی که برای اجرا روی خاکریز، نمی‌توان پی بتنی ساخت، باید تا ارتفاعی از سازه فلزی را خاک ریخت و متراکم کرد. این سازه‌های فلزی قابلیت باربری خاک را دارا می‌باشند و با تجمع ماسه روی آنها دیگر نیازی به جمع‌آوری نیست. علاوه بر مزایای گالری سبک، عدم نیاز به انسداد ترافیک در حین اجرا از مزیت‌های خاص این گالری می‌باشد.

ارائه راهکار از کیلومتر ۲۱۲+۸۷۵ تا ۲۱۷+۴۹۴ در بلاک

ماسه‌گیر تل حمید-منتظر قائم در محور شرق راه آهن کشور

در این تحقیق، قسمتی از بلاک تل حمید-منتظر قائم در محور





شکل ۸: نقشه پلان کمر بند حفاظتی خط ریلی از کیلومتر ۸۷۵+۱۱۲ تا ۴۹۴+۲۱۷ در بلاک تل حمید-منتظر قائم محور شرق راه آهن کشور

به علت سرعت بالای باد لازم است دو خاکریز خندق را قبل از پوشش گیاهی در نظر بگیریم تا ماسه‌ها در دوره رشد نهال‌ها پس از برخورد با خاکریزها، مجال حرکت به سمت پوشش گیاهی را پیدا نکنند؛ پس از چند سال با کاهش کارایی خاکریز خندق‌ها، درختان تاغ که به رشد خوبی رسیده‌اند، مانع حرکت ماسه‌ها به سمت خط خواهند شد. مشاهدات میدانی در خاکریز خندق احداثی در محدوده ایستگاه تل حمید در سال ۹۴ نشان می‌دهد؛ در صورتی که فقط یک خاکریز خندق احداث گردد پس از یک سال امکان عبور ماسه وجود داشته و پس از آن حرکت خود را با سرعت به سمت خط ادامه خواهند داد و وارد ترانشه‌های کیلومتر ۷۰۰+۲۱۳ تا ۵۰۰+۲۱۴ و کیلومتر ۲۰۰+۲۱۶ تا ۲۱۷ شده و درون آن‌ها حبس خواهند شد. در تعیین فواصل ارائه شده در این طرح، از نشریه ضوابط و معیارهای فنی احداث بادشکن بیولوژیک (نشریه ۶۵۸) استفاده گردید. پایداری دائم، هزینه کم و جلوگیری از ورود ماسه به خط

### بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله، به اهمیت و روش‌های مختلف پیشگیری از تجمع ماسه‌های روان در خطوط ریلی و مختصراً به مزایا و محدودیت‌های آنها اشاره گردید. مشاهدات میدانی در خطوط ادارات کل راه آهن شرق، تهران و اصفهان بیانگر این مطلب است که تاکنون راهکارهایی مانند احداث دیوارهای تراورسی، کاشت نهال و احداث خاکریز خندق به طور جداگانه و به صورت محدود در راه آهن کشور اجرایی گردیده؛ ولی در اغلب موارد به دلیل توجه نکردن به محدودیت‌های روش‌های اشاره شده، مشکل ورود ماسه به خطوط به طور کامل برطرف نشده، یا در صورت برطرف شدن، پس از مدتی از این موانع عبور کرده و مجدداً به خط رسیده‌است. در حقیقت شرایط و ویژگی‌های مسیر ریلی به گونه‌ای

است که آرایه روش یا روش‌های اجرایی تثبیت ماسه‌های روان در راه‌آهن کشور نیازمند مطابقت با مطالعات شرایط اقلیمی، جغرافیایی، ژئومورفولوژی، فیزیکی و فرسایشی خاص هر منطقه ماسه‌گیر می‌باشد. از طرفی استفاده از منابع علمی در طراحی بادشکن‌های زنده و غیر زنده مانند ضابطه شماره ۶۵۸ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور (۱۳۹۳) یا کتب تالیفی در این زمینه، کمک بسزایی در برطرف شدن این مشکل خواهد کرد. بنابراین می‌توان گفت هر یک از روش‌های اشاره شده، ویژگی‌ها و محدودیت‌های خاص خود را دارا می‌باشد. در این تحقیق، بهترین حالت به منظور جلوگیری از ترسیب ماسه درون خطوط ریلی راه‌آهن ج.ا.ا، ترکیب دو یا چند راهکار از راهکارهای اشاره شده، آن هم بر اساس مطالعات خاص هر منطقه و شرایط اجرایی در خطوط ریلی معرفی می‌گردد تا محدودیت‌های هر راهکار همزمان توسط راهکارهای دیگر پوشش داده و برطرف شود؛ زیرا هدف در خطوط ریلی راه‌آهن کشور، استفاده از روش‌هایی می‌باشد که ویژگی‌های زیر را دارا باشد:

- با توجه به شرایط محل پروژه، کارایی مناسب را داشته باشد یعنی بتواند مانع ترسیب ماسه در داخل خط شود.
- ایمنی قطارهای باری و مسافری را بالا ببرد.
- از لحاظ اقتصادی کم‌هزینه‌ترین کمربند حفاظتی باشد که ویژگی‌های بالا را نیز دارا باشد.
- با شرایط محیطی منطقه سازگاری داشته باشد.
- روش ارائه شده، دوام و پایداری لازم را داشته باشد.

بنابراین احداث دو ردیف خاکریز خندق به همراه کاشت نهال زردتاغ، احداث تله‌های رسوب‌گیر و نیز مالچ‌پاشی که تمامی ویژگی‌های فوق را نیز دارد، جهت کمربند حفاظتی کیلومتر ۱۱۲+۸۷۵ تا ۲۱۷+۴۹۴ از بلاک تل حمید-منتظر قائم محور شرق راه‌آهن کشور مناسب به نظر می‌آید.

## منابع

### منابع فارسی

مجدی، هادی؛ کریمیان اقبال، مصطفی؛ کریم زاده، حمیدرضا؛ جلالیان، احمد. تاثیر انواع مالچ رسی بر میزان مواد فرسایش یافته بادی. مجله علوم آب و خاک-علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. [http://jstnar.iut.ac.ir/browse.php?fa\\_id=572&slc\\_lang=fa&sid=1&ftxt=1/](http://jstnar.iut.ac.ir/browse.php?fa_id=572&slc_lang=fa&sid=1&ftxt=1/) گزارش پروپوزال اولیه رسمی شرکت ساتراپ به اداره کل خط و سازه‌های فنی

شرکت راه آهن ج.ا.ا. اسفند (۱۳۹۳).  
 رحمانی، حسین. (۱۳۹۱). بررسی کارایی کلرید کلسیم و کلرید منیزیم در تثبیت ماسه‌های روان و نقش آن در کنترل گردوغبار. پایان نامه کارشناسی ارشد، مرکز تحقیقات بین‌المللی بیابان، دانشگاه تهران.  
 ذاکری، جبارعلی؛ اسماعیلی، مرتضی؛ فتحعلی، مسعود. (۱۳۸۹). معرفی روسازی نوین "دال خط کوهاندار" برای حل مشکل راه آهن مناطق کویری. [http://mcej.modares.ac.ir/article\\_1756\\_c412595e5e18b6402c3fff0c22574543.pdf](http://mcej.modares.ac.ir/article_1756_c412595e5e18b6402c3fff0c22574543.pdf)  
 رفاهی، حسین. (۱۳۸۸). فرسایش بادی و کنترل آن. چاپ پنجم. تهران: انتشارات دانشگاه تهران. ص ۳۲۰.  
 ضوابط و معیارهای فنی احداث بادشکن بیولوژیک، ضابطه شماره ۶۵۸ (۱۳۹۳). تهران: معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور.  
 رضایی، سیدعطا. (۱۳۸۸). مقایسه تاثیر پلیمر پلی لاتیس و مالچ نفتی در جوانه زنی بذر و استقرار گیاه به منظور تثبیت بیولوژیک تپه‌های شنی. فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان، جلد ۱۶ شماره ۱. [http://www.sid.ir/fa/VEWSSID/J\\_pdf/71113883412.pdf/](http://www.sid.ir/fa/VEWSSID/J_pdf/71113883412.pdf/).  
 فتحعلی، مسعود. (۱۳۸۷). ارائه و تحلیل سیستم دال خط کوهاندار جهت رفع معضل راه آهن در مناطق کویری. تهران. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران. تهران.  
 گزارش سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران به مدیریت شرکت ساتراپ. (۱۳۹۴). شماره ۱۶۱۳/۹۴۰.  
 صالحی، محمدحسن؛ اسفندیارپور، عیسی؛ مهاجر، رضا و باقری، محسن. (۱۳۹۳). حفاظت آب و خاک تکمیلی. دانشگاه پیام نور. ص ۱۶۵.  
 معظمی و نسرین؛ بیگی، نادره و رنج پیشه، مهناز. (۱۳۹۲). مقایسه انواع مالچ بر روی تثبیت ماسه‌های روان. سومین همایش ملی فرسایش بادی و طوفان‌های گردوغبار. دانشگاه یزد. [http://www.civilica.com/Paper-ISADMC03-ISADMC03\\_074.html/](http://www.civilica.com/Paper-ISADMC03-ISADMC03_074.html/)  
 مجموعه مقالات مشکلات راه آهن در مناطق کویری و راه آهن جمهوری اسلامی ایران. ۱۳۸۴.  
 منوری، ایمان. (۱۳۹۵). امکان سنجی روش‌های احداث کمربند حفاظتی خطوط ریلی در مناطق ماسه‌گیر (مطالعه موردی: بلاک منتظر قائم-تل حمید واقع در محور شرق راه آهن ج.ا.ا). پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید بهشتی. تهران.

### منابع انگلیسی

Mitchell DJ, Fearnough W, Fullen MA, Trueman IC. (1996). Wind Erosion and Dune Stabilisation in Ningxia, China. [https://www.researchgate.net/profile/Michael\\_Fullen/publication/242237016\\_Wind\\_Erosion\\_and\\_Dune\\_Stabilisation\\_in\\_Ningxia\\_China/links/00b4952d6a3be3524c000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Michael_Fullen/publication/242237016_Wind_Erosion_and_Dune_Stabilisation_in_Ningxia_China/links/00b4952d6a3be3524c000000.pdf)  
 Wu B, Yang H (2013) Spatial Patterns and Natural Recruitment of Native Shrubs in a Semi-arid Sandy Land. PLoS ONE 8(3): e58331. <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0058331/>  
 Qiu GY, Lee IB, Shimizu H, Gao Y, Ding G. (2004). Principles of sand dune fixation with straw checkerboard technology and its effects on the environment. 29;56(3):449-64. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196303000661/>