

## بررسی تأثیر ژئوگرید بر کنترل تنش‌ها و نشست خط راه‌آهن

محمدعماد مطیعان نجار\*، استادیار، دانشکده مهندسی عمران و حمل و نقل، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران  
یزدان محمدیان هفت چشمه، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران و حمل و نقل، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران  
\*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: [m.motieyan@eng.ui.ac.ir](mailto:m.motieyan@eng.ui.ac.ir)

دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۰ - پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۵

صفحه ۲۹۴-۲۷۷

### چکیده

استفاده روز افزون از خطوط ریلی سبب شده است مهندسی در پی افزایش بهره وری از خط ریلی باشند و به همین منظور بدنبال افزایش فاصله دوره‌های تعمیر و نگهداری و هزینه چرخه عمر کمتر هستند. در خطوط ریلی پرسرعت و خطوط با حجم ترافیک بالا، بویژه خطوط ریلی با بسترهای سست و نرم، موضوع نشست خط یکی از عوامل چالش برانگیز می‌باشد. با توجه به روش‌های معرفی شده جهت تقویت بستر تاکنون، استفاده از ژئوگرید یکی از روش‌های مرسوم جهت کاهش نشست و عملیات تعمیر و نگهداری است که امروزه نیازمند بررسی بیشتر در انتخاب بهینه آن می‌باشد. در این مقاله سعی شده کارایی ژئوگرید برای کاهش تنش‌های وارد بر بستر، لایه زیربالاست و لایه بالاست بررسی و نحوه انتخاب مناسب آن بر اساس پارامترهای فنی تبیین شود. در این مطالعه انواع ژئوگرید و تأثیر اندازه ابعاد چشمه آن، تنش وارده و تأثیر آن بر مقاومت لایه‌ها، بررسی و روش دستیابی به انتخاب مناسب ژئوگرید پیشنهاد داده شده است. مطالعات نشان می‌دهد با بکارگیری مناسب ژئوگرید می‌توان تا میزان ۷۰ درصد نشست عمودی و جابجایی افقی خط ریلی را کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: بالاست، بستر راه‌آهن، تعمیر و نگهداری، ژئوگرید، نشست خط ریلی

### ۱- مقدمه

معدنی مانند سیمان، آهک، قیر و تزریق دوغاب برای تثبیت بستر و افزایش ظرفیت باربری خاک انجام شده است (مهرپژوه *et al.*, 2015). از اوایل دهه ۱۹۸۰ مطالعات اولیه درباره بهره‌گیری از ژئوگرید برای سازه‌های مهندسی صورت گرفت. یکی از راهکار پیشنهادی برای کاهش تعمیر و نگهداری خط، در دهه اول سال ۲۰۰۰ استفاده از لایه ژئوگرید معرفی شد (Cook *et al.*, 2015). هدف اصلی استفاده از ژئوگرید، کاهش قابل ملاحظه‌ی تنش‌ها و بارهای دینامیکی وارده از روسازه، به دلیل ارتباط سنگدانه‌ها با چشمه‌ها و حفره‌های ژئوگرید، به بستر می‌باشد

الزام ظهور و استفاده از سیستم حمل و نقل ریلی با ظرفیت بیشتر و کارآمد با افزایش بارمحوری و سرعت سیر قطار، به ناچار تنش‌های اضافی را بر روی اجزا خط، بویژه لایه بالاست اعمال می‌نماید. این تنش‌های اضافه باعث نشست زودرس خط شده و با نرخ زوال بیشتر، عمر خط را کاهش می‌دهند و به تبع آن هزینه نگهداری خط افزایش می‌یابد (مهرپژوه *et al.*, 2015). از سوی دیگر عوامل طبیعی نیز یک مساله چالش برانگیز برای راه آهن می‌باشند. با توجه به مطالعات انجام شده، استفاده از روش‌های مختلفی از قبیل پایه گذاری، شمع‌گذاری، استفاده از ترکیبات

نگهداری آن را افزایش دهد و یا بر روی لایه بستر قرار گیرد تا ظرفیت تحمل بستر نیز افزایش یابد (Grossoni et al., 2021). در این مقاله با بررسی تجربیات استفاده از ژئوگرید در خطوط ریلی، اثر آن بر کاهش تنش‌های رسیده به لایه بستر و کنترل نشست خط مورد مطالعه قرار گرفته و با استفاده از پارامترهای فنی آن، الگوریتم انتخاب ژئوگرید پیشنهاد داده شده است.

## ۲-ژئوگرید

ژئوگرید رشته‌هایی به صورت بافته و یا غیر یافته شده از مواد پلیمری است و به طور معمول از پلی پروپیلن (PP)، پلی اتیلن با تراکم بالا (HDPE) و پلی استر (PET) ساخته می‌شوند. ژئوگریدها به سه روش مطابق جدول (۱) تولید می‌شوند (Kang, 2016). به طور کلی ژئوگریدها امروزه در سه نوع تک محوری، دو محوری و سه محوری ساخته می‌شوند (جدول (۲)).

جدول ۱. انواع ژئوگرید از نظر نحوه تولید (Kang, 2016)

نوع ساخت ژئوگرید		
پانچ ورقه پلی اتیلن یا پلی پروپیلن با تراکم بالا	با پوشش پلی ونیل کلرید	بافتن نخ‌هایی از پلی استر و پلی پروپیلن
	زدن پلیمرها با ابعاد دیافراگمی (چشمه) مشخص	قرار دادن کمربندی از پلی استر تحت کشش و جوش

همانطور که از جدول شماره (۳) مشخص است، پارامتر سختی برای ژئوگرید بسیار مهم می‌باشند، به نحوی هرچه سختی ژئوگرید بیشتر باشد کارایی آن برای تحمل بار بیشتر است. ابعاد ژئوگریدها معمولاً از ۲۰ تا ۱۵۰ میلی‌متر متغیر هستند.

ژئوگریدهای با چشمه‌های مستطیلی، مثلثی و مربعی شکل بیشتر تولید می‌شوند. نیروی کششی ژئوگرید در چشمه‌ها و نقاط اتصال از اهمیت بیشتری برخوردار است چرا که محل اتصال تار و بود ژئوگرید تحت بار دچار تمرکز تنش شده و امکان و احتمال گسیختگی بیشتر می‌باشد (Kang, 2016). پژوهشگران آلمانی یک رابطه برای نیروی کششی ژئوگرید ارائه دادند که در آن RFID ضریب کاهش مقاومت در هنگام به کارگیری

(Das et al., 2010). به همین منظور پژوهشگران روش‌های متفاوتی را با استفاده از مواد طبیعی و مصنوعی، در جهت کنترل نشست و تحمل تنش خط ارائه دادند (مهرپژوه et al., 2015). لایه‌ی زیرسازی تقویت شده با ژئوگرید، با ایجاد مقاومت برشی و کششی، در دو جهت طولی و عرضی به تسلیح لایه‌های زیرسازی خط می‌انجامد، به این صورت که با کاهش یافتن تنش‌های رسیده به بستر، از میزان نشست‌های عمودی و جابجایی‌های افقی خط جلوگیری می‌شود (Fakher & Jones, 1996). محققان با آزمایش‌های متعدد ثابت کردند که طول دوره تعمیر و نگهداری خط می‌تواند تا ۱۲ مرتبه توسط ژئوگرید افزایش یابد (Fischer & Horvát, 2011). مطالعات نشان می‌دهند با بکارگیری ژئوگرید در بالا و پایین لایه بالاست و اعمال کردن سیکل‌های بارگذاری دینامیکی، ۵۰ درصد از تنش‌های عمودی وارد بر لایه بالاست کاهش داده می‌شود. همچنین پژوهشگران نشان دادند که استفاده از ژئوگرید در لایه بالاست، میزان شکستگی دانه‌ها را تا حد قابل توجهی کاهش می‌دهد (Fleury et al., 2019). ژئوگرید را می‌توان در لایه بالاست قرار داد تا تغییر شکل بالاست را کاهش داده و چرخه

پارامترهای فنی ژئوگرید، ویژگی‌های از ژئوگرید است که توانایی عملکرد جهت تقویت خاک را مشخص می‌نماید. مقاومت کششی، سختی، شکل و نوع بافت، مدول و جرم واحد سطح از پارامترهای فنی هستند که در یک ژئوگرید معمولاً مورد بررسی قرار می‌گیرند. در جدول شماره (۳) این خصوصیات توصیف شده است (Kang, 2016) و (Lim & Song, 2010)

جدول ۲. انواع ژئوگرید از نظر تعداد محور (Kang, 2016)

ژئوگرید	
تک محوره	دیوارهای حائل یا نیروی طولی در یک راستا
دو محوره	زیرساخت سدها و زیرسازی راه‌ها
سه محوره	سازه‌های با بار دینامیکی زیاد

ژنوگرید در آن به کار می‌رود، مقاومت در برابر نیروی کششی ژنوگرید را محاسبه کرده‌اند (Hussaini & Sweta, 2020).

$$T_D = \frac{T_L}{FS} = \frac{T_{ult}}{FS.(RF_{CR} * RF_{ID} * RF_D)} \quad (2)$$

در رابطه شماره (۲)،  $T_L$  استحکام کششی بلند مدت و  $FS$  ضریب اطمینان می‌باشند. همچنین محققین در ژاپن نیروی کششی در ژنوگرید را با رابطه زیر پیشنهاد دادند (Indraratna & Nimbalkar, 2013):

$$T_{all} = \frac{T_{ult}}{RF} = \frac{T_{ult}}{RF_{CR} * RF_{ID} * RF_D * RF_J} \quad (3)$$

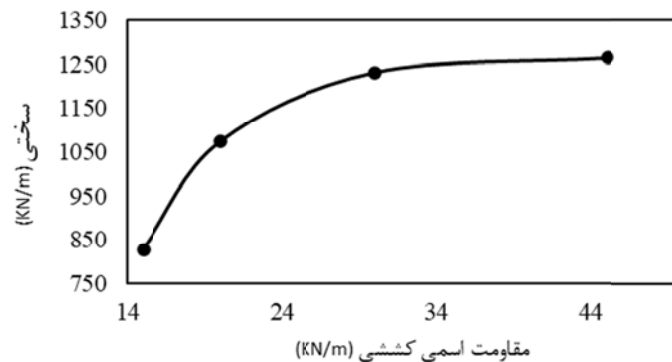
ژنوگرید،  $RF_{CR}$  ضریب کاهش مقاومت ناشی از خزش و  $RF_D$  ضریب کاهش مقاومت ناشی از فرایندهای شیمیایی و بیولوژیکی است. رابطه شماره (۱) مقدار مقاومت در برابر نیروی کششی مجاز ( $T_{all}$ ) را برای ژنوگرید محاسبه کرده است (Hussaini et al., 2016).

$$T_{all} = \frac{T_{ult}}{RF_{CR} * RF_{ID} * RF_D} \quad (1)$$

در رابطه شماره (۱)،  $T_{ult}$  مقاومت نهایی در برابر نیروی کششی است. پژوهشگران در کره جنوبی بر اساس استحکام کششی بلند مدت و ضریب اطمینان بر اساس مصالحی که

جدول ۳. پارامترهای فنی ژنوگرید [Kang, 2016] و [Lim & Song, 2010]

توضیحات	شاخصه هر پارامتر	پارامتر
اگر جوش با کیفیت بالا باشد توان خوبی را در برابر بارهای وارده تحمل می‌کند	پایداری اندازه چشمه	اتصال و جوش
ژنوگرید سخت‌تر بهتر است	سختی	چشمه
اندازه دقیقی تعریف نشده است اما باید بین رنج ۲۵ تا ۴۰ میلیمتر باشد	اندازه چشمه	بعد
ژنوگرید برای سختی بهتر نیاز به آزمایش‌هایی برای میزان سختی دارد. بسته به نوع سختی محوری، سختی ژنوگرید بیشتر است	سختی	پارامترهای فنی ژنوگرید
مربع و مستطیلی بر دایره‌ای و گرد شکل ارجحیت دارد	شکل چشمه	تاروپود
مدول بالاتر بهتر خواهد بود. مدول بالا به سختی محوری بستگی دارد.	مدول	
هرچه سختی ژنوگرید بیشتر باشد جرم واحد آن نیز بیشتر است	سختی	جرم واحد سطح



شکل ۱. رابطه بین سختی و مقاومت کششی ژنوگرید انجام گرفته توسط محققان در انگلیس (Kang, 2016)

برخی موارد به عنوان جداکننده دانه بندی‌ها و عدم آمیختگی آنها با یکدیگر خواهد بود و در برخی موارد به عنوان مسلح کننده که عموماً با این هدف مورد استفاده قرار می‌گیرد. از سوی دیگر دو عامل در عملکرد ژئوگرید نقش مهمی دارند که یکی از آنها عامل اصطکاک و دومی عامل قفل شدگی ذرات خاک در چشمه‌های ژئوگرید می‌باشد، با این دو مکانیزم ژئوگرید لایه‌های روسازی را تقویت می‌کند (Saleh Ahmadi & Nikbakht, 2017). تحت بارهای دینامیکی زیاد و لرزش‌های قطار روی خطوط بالاستی، خط دچار تغییر شکل عمودی و از جهت افقی نیز دچار لغزش می‌شود (Liu et al., 2016). معمولاً بنا بر اندازه‌گیری‌های انجام شده در خطوط بالاستی با بار محوری ۲۰ تا ۳۰ تن تغییر شکل‌های قائم خط ریلی در حدود ۱۰ تا ۱۸ میلی‌متر می‌باشد (Indraratna & Nimbalkar, 2013). تغییر شکل‌های افقی در قوس‌ها تحت بار محوری ۱۲ تن به ۲۵ میلی‌متر نیز می‌رسد (Indraratna et al., 2019).

از سوی دیگر تنش‌های وارده در ۳۰ تا ۴۰ سانتی‌متر زیر تراورس به ترتیب از ۱۰۰ تا ۱۱۰ کیلوپاسکال و در صورت وجود بارهای دینامیکی بیش از اندازه، این عدد در همان عمق تا ۱۶۰ کیلوپاسکال نیز می‌رسد (Miyata & Bathurst, 2015) و (Mulhall et al., 2016). عملکرد ژئوگرید در زیرسازی خط راه آهن به این صورت است که با به دام انداختن سنگدانه‌ها داخل چشمه‌های خود، با تسلیح خاک و افزایش مقاومت برشی، از ایجاد تنش و نشست بیش از اندازه در خاک جلوگیری می‌کند.

### ۳-۱- کنترل تنش

در خطوط ریلی با توجه به محل قرارگیری ژئوگرید، این لایه به دو صورت می‌تواند تنش‌های وارد بر بستر ریلی را کاهش دهد. اولین راه کنترل تنش این است که بین لایه بالاست و زیربالاست قرار گیرد. در این حالت علاوه بر کاهش تنش‌های رسیده به بستر، از یک جهت دیگر می‌تواند هزینه تعمیر و نگهداری لایه بالاست را نیز کاهش دهد. دومین راه کنترل تنش، قرارگیری ژئوگرید بر روی لایه بستر و زیر لایه‌ی زیر بالاست می‌باشد که

در رابطه فوق  $T_{ult}$  مقاومت نهایی در برابر نیروی کششی،  $T_{all}$  مقاومت مجاز در برابر نیروی کششی و  $RF_j$  ضریب کاهش مقاومت در اثر اتصالات ژئوگریدها می‌باشند (Kwan, 2006). همانطور که مشاهده می‌شود کامل‌ترین رابطه، رابطه شماره ۳ یا روش محققان ژاپنی است، چرا که در این رابطه کاهش مقاومت در اثر نحوه اتصالات نیز داده شده است. با توجه به شکل (۱) در انگلستان محققان با توجه به سختی ژئوگرید، مقاومت نهایی آنرا در برابر نیروی کششی ( $T_{ult}$ )، برای نوع جوش خورده آن، به دست آوردند. این مقدار بین رنج ۴۵-۶۵ کیلو نیوتون بر متر می‌باشد (Fakher & Jones, 1996). در ژئوگریدهای مختلف، نیروی کششی با توجه به نوع ساخت و جنس مواد استفاده شده در آنها متفاوت است. بعنوان مثال برای یک نمونه آزمایش از نوعی ژئوگرید بافته شده با پلی استر روکش دار (روکش پلی ونیل کلرید)، نتایج به این شرح بود که برای خاک‌های با دانه بندی ریز و درشت، چشمه مربعی با سایز متناسب ۱،۴ برابر قطر بزرگترین سنگدانه، تاثیر بهتری از خود نشان می‌داد، این در حالی بود که برای خاک‌های با دانه‌بندی گسسته و حاوی ریز دانه و درشت دانه، چشمه مستطیلی شکل با بعد متناسب ۱،۴ برابر سنگدانه، دارای تاثیر بهتری بودند. در تحقیقاتی که صورت گرفت، از میزان تاثیر ژئوگرید روکش دار بر کنترل تنش‌ها مشخص شد که این نوع از ژئوگرید تا حداکثر ۶ کیلو نیوتن بر متر می‌تواند نیروی کششی را تحمل کند و مانع از گسیختگی خاک شود (Kwan, 2006). ژئوگرید جوش خورده به دلیل نحوه ساخت متفاوت می‌تواند از ۴۵ تا ۶۵ کیلو نیوتون کشش بیشتری نسبت به سایر ژئوگریدها تحمل کند. شکل چشمه‌هایی از این نوع ژئوگرید که می‌تواند تا این مقدار کشش را تحمل کند شکل مثلی است که به عنوان سه محوره شناخته می‌شود (مهرپژوه et al., 2015).

### ۳-عملکرد ژئوگرید در خط

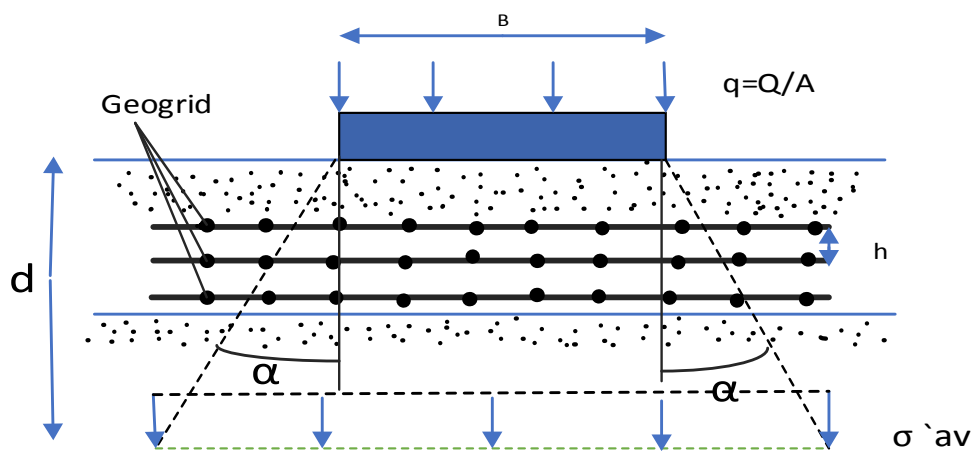
طبق مطالعات صورت گرفته، ژئوگرید در سیستم خط عموماً به دو صورت جدایش و تسلیح استفاده میشود. به گونه‌ای که در

یک زیرسازی خط راه آهن به کار بردند و با توجه به شکل (۳) لایه‌های ژئوگرید را در فواصل برابر از هم ( $h$ ) قرار دادند. در رابطه  $q=Q/A$  مشخص است که  $Q$  بار استاتیکی چرخ بر مساحت سطحی که به آن وارد می‌آید ( $A$ ) تقسیم می‌شود. بنابراین با انجام آزمایش و محاسبه‌ی تنش  $q$  برحسب آلفا در شکل (۴) نتایج زیر بدست آمده است (Ngo et al., 2016).

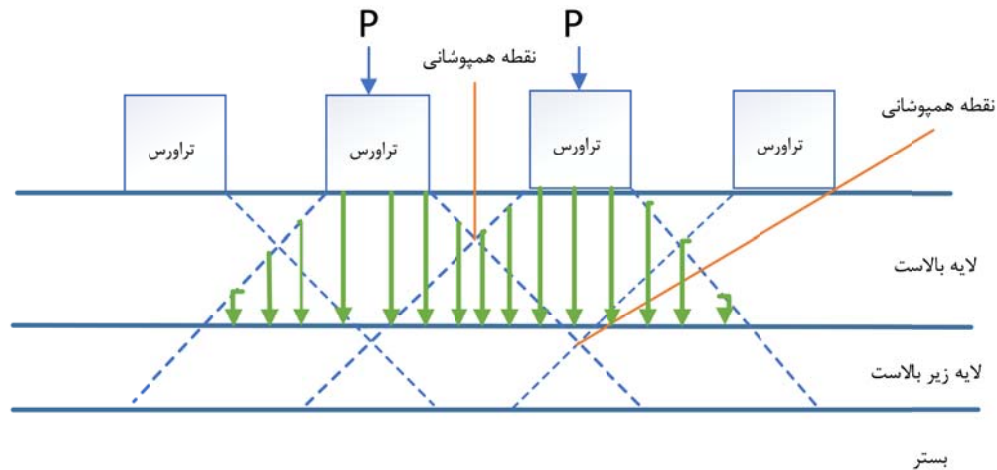
با افزایش تنش در زیر تراورس، مقدار زاویه آلفا بصورت غیر خطی افزایش می‌یابد. همانطور که مشخص است برای مقدار تنش ثابت، نمونه تقویت شده با ژئوگرید، توزیع تنش گسترده تری را از خود نشان می‌دهد. زمانی که همان تنش بر نمونه تقویت نشده اعمال شود، شدت تنش بیشتری را به لایه‌های زیرین وارد می‌کند زیرا زاویه آلفا کمتر و بارورده در سطح کمتری اعمال می‌شود. برای بستر تقویت شده زاویه آلفا تابعی از بار  $Q$  است. همانطور که از شکل (۴) ملاحظه می‌شود در مقادیر کمتر  $Q$  زاویه آلفا تغییرات با حساسیت بیشتری را تجربه می‌کند.

در این حالت ظرفیت تحمل پذیری موثر بستر نرم بالا برده می‌شود (Ngo et al., 2016).

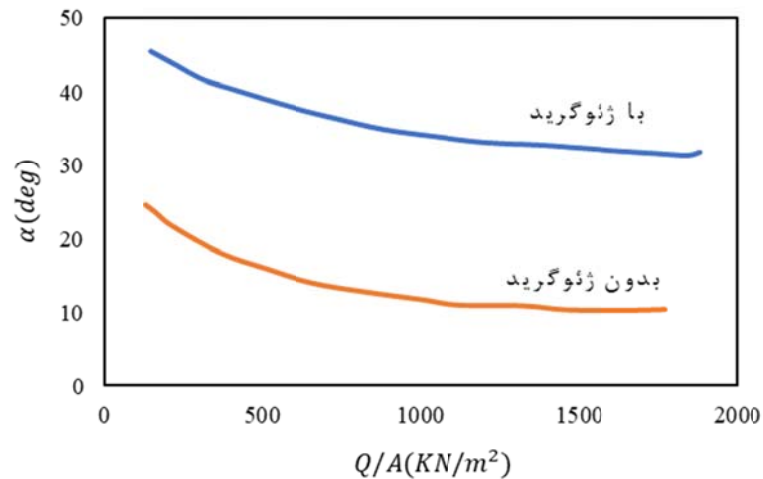
زمانی که تنش از طریق بار چرخ بر روسازه خط وارد می‌شود، این تنش با یک زاویه مشخص آلفا در زیر تراورس به لایه‌های زیرین فشار اعمال می‌کند، از همین رو تنش وارده از تراورس‌ها با یک نسبت و در یک عمق مشخص، بر یک دیگر اثر همپوشانی دارند. اثر همپوشانی تراورس‌ها باعث ایجاد تنش بیشتری در زیرسازی خط می‌شود. در همان عمقی که اثر تراورس‌ها در زیر روسازه خط به یکدیگر می‌رسد همانند شکل (۲)، تنش برشی بیشتری در زیرسازی به وجود می‌آید به همین دلیل خط از آن ناحیه دچار زوال و خرابی می‌گردد. ژئوگرید با قرار گیری در آن عمق مشخص، با قفل و بست کردن سنگدانه در چشمه‌های خود، مقاومت برشی را افزایش داده و از گسیختگی برشی بیش از حد زیرسازی جلوگیری می‌کند. در این حالت ژئوگرید زاویه آلفا را افزایش و شدت تنش را کاهش می‌دهد و از زوال زودرس خط جلوگیری می‌کند. در اوایل سال ۲۰۰۰ شین و همکاران یک آزمایش انجام دادند، در آن آزمایش چند لایه ژئوگرید را برای



شکل ۳. نحوه اثر بار روی لایه‌های زیرین با زاویه آلفا (Ngo et al., 2016)



شکل ۲. نحوه اثر هم پوشانی تراورس‌ها برای افزایش تنش در لایه‌های زیرسازی خط



شکل ۴. نمودار آلفا برحسب سطح تنش وارده q (Ngo et al., 2016)

تنش کاهش میابد. در نتیجه اگر تمامی پارامترها ثابت فرض شوند، میزان تنش تا ۸۰ درصد کاهش میابد (Ngo et al., 2016). طبق تحقیقات و مطالعات انجام شده، مکانیزم تسلیح ژئوگرید در بستر از طریق ایجاد مقاومت جانبی، تقویت ظرفیت باربری و عملکرد غشایی رخ می‌دهد. مقاومت جانبی به علت محصور شدگی دانه‌ها درون چشمه‌های ژئوگرید تامین می‌گردد. از آنجا که خصوصیات مقاومتی دانه‌های خاک وابسته به تنش است، افزایش محصور شدگی باعث افزایش مدول مصالح لایه زیرسازی می‌گردد. این افزایش در مدول مواد دانه‌ای، باعث باز

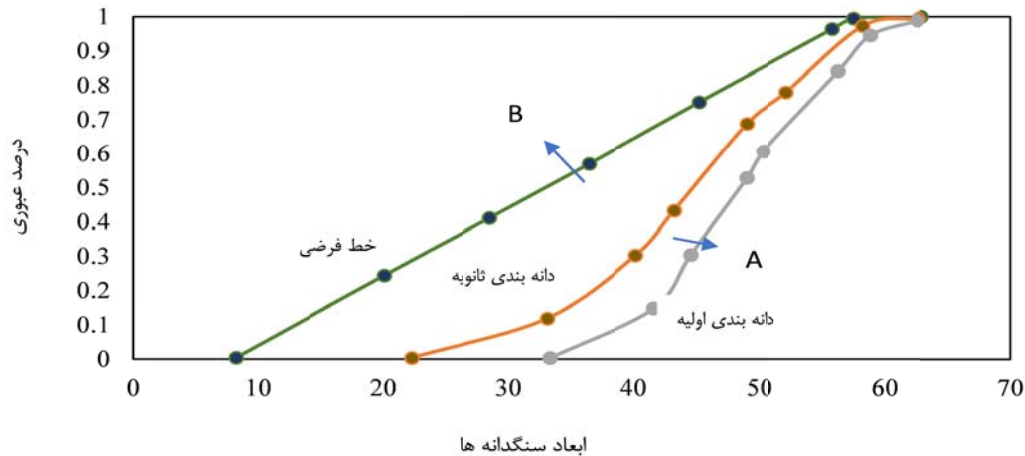
در رابطه (۴) میزان تنش عمودی موثر محاسبه شده است.

$$\sigma'_{av} = \frac{qB^2}{(B + 2d * \tan\alpha)^2} \quad (۴)$$

در رابطه‌ی شماره (۴)، مقدار تنش میانگین موثر،  $q$  مقدار تنش وارده،  $\alpha$  زاویه‌ای که بار بر لایه‌های زیرین اثر می‌کند  $B$  پهنای تراورس و  $d$  عمق مورد بررسی است. با توجه به شکل (۴)، با دو برابر شدن زاویه آلفا و تغییر آلفا از ۲۵ به ۴۵ درجه، زمانی که در در رابطه (۴) به جای ۲۵ درجه، ۴۵ درجه قرار دهیم مشخص است که مخرج کسر بزرگتر می‌شود و به طبع آن میزان

ضربه، با استفاده از رهاکردن یک وزنه بزرگ با شرایط ضربه‌ای (در مجموع ۱۲ ضربه) ارزیابی می‌گردد. در این آزمون مقدار خردایش بالاست با استفاده از شاخص شکست بالاست (BBI) در شکل (۵)، اندازه‌گیری می‌شود [Esmaeili et al., 2018] و [Brown et al., 2007].

توزیع تنش قائم روی بستر و به تبع آن، کاهش تنش رسیده به بستر تا حد تحمل آن می‌گردد (Petriaev & Konon, 2019). آزمایش دیگری که برای کنترل تنش در خط راه‌آهن توسط ژئوگرید انجام می‌شود، تست ضربه بر روی سنگدانه‌های توده بالاست است که با استفاده از ژئوگرید خردایش دانه‌های بالاست را به حداقل می‌رساند. نقش ژئوگریدها در بهبود میزان زوال، فرسایش بالاست و تغییر شکل آن در شرایط بارگذاری



شکل ۵. شاخص شکستگی بالاست (BBI) (Brown et al., 2007)

موقعیت قرارگیری ژئوگرید در کف لایه بالاست یا در فاصله ۱۰۰ میلی‌متری از کف لایه بالاست می‌باشد (Esmaeili et al., 2018).

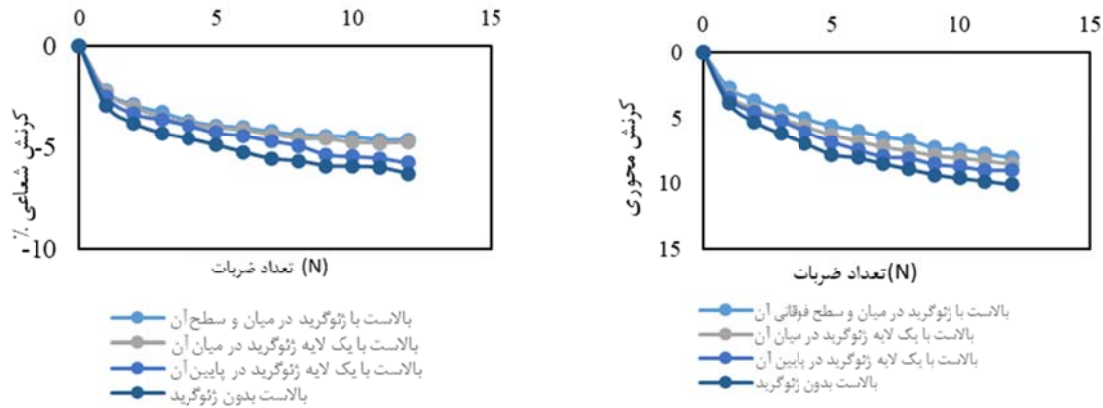
نمودارهای تغییر شکل محوری و تغییر شکل شعاعی از بالاست اندازه‌گیری شده در طول آزمایش، در شکل (۶) نشان داده شده‌اند. همانطور که مشاهده می‌شود، تغییرات محوری و شعاعی بالاست در طول ضربات متوالی افزایش یافته است. یک نرخ افزایش کرنش نسبتاً سریع در اولین ضربه‌ها به دلیل تغییر مکان و خرد شدن سنگدانه‌ها ثبت شد که پس از یک مرحله خاص به تدریج کاهش یافته است. به وضوح می‌توان دید که ژئوگرید دو محوره، کرنش‌های جانبی و عمودی بالاست را کاهش می‌دهد. اتصال ذرات بالاست با چشمه‌های ژئوگرید، منجر به کاهش حرکات جانبی ذرات می‌شود و بار را به طور یکنواخت توزیع می‌کند. در شکل (۶) نشان داده شده است که بهره‌وری بالاتر از بالاست یا تغییر شکل کمتر در هنگام ضربات، زمانی است که ژئوگرید ۱۰ سانتی‌متر بالاتر تر از سطح لایه‌ی زیربلاست قرار بگیرد. در این صورت سنگدانه‌ها از طرفین در داخل چشمه‌های ژئوگرید قفل می‌شوند.

شاخص شکستگی بالاست (BBI)

$$BBI = \frac{A}{A+B} \quad (5)$$

در رابطه (۵) با ترسیم خط فرضی که از ۹۵ درصد سایز درشت به ریزترین سایز الک دانه بندی متصل می‌شود مساحت دانه بندی قبل و بعد از آزمایش را تا خط فرضی بدست آورده و مقدار شاخص شکستگی بالاست بدست می‌آید. نمونه‌های آزمایشی در داخل یک غشای لاستیکی استوانه‌ای به قطر ۳۰۰ میلی‌متر و با ضخامت نسبتاً بالا (۷ میلی‌متر) تهیه می‌شود تا از سوراخ شدن غشا توسط دانه‌های تیز تحت بارگذاری جلوگیری شود. ابتدا یک لایه زیر بالاست شامل مخلوطی از شن و ماسه، (در شرایط خشک با وزن واحد  $\gamma = 19 \text{ KN/m}^3$ ) در دو لایه به ضخامت ۷۵ میلی‌متر متراکم می‌گردد.

بلاست در بالای توده لایه زیربلاست قرار گرفته و در سه لایه ۱۰۰ میلی‌متری ( $\gamma = 15.3 \text{ kN/m}^3$ ) با استفاده از یک چکش ارتعاشی متراکم می‌شود (Esmaeili et al., 2018). ژئوگرید مورد استفاده در آزمایش یک ژئوگرید دو محوری بصورت جوش داده شده، از جنس پلی پروپیلن با چشمه ۳۱.۳۳۱ میلی‌متر، با حداکثر مقاومت کششی ۴۰ کیلو نیوتن بر متر می‌باشد.



شکل ۶. تغییر شکل‌های دائمی بالاست بر سبکل بارگذاری (a) تغییر شکل محوری (b) تغییر شکل شعاعی (Esmaeili et al., 2018)  
(با ژئوگرید در سطح، میان لایه و کف لایه بالاست و بدون ژئوگرید)

$T 2$  و  $T 3$ ، نسبت به بالاست غیر تقویت شده در آزمایش  $T 1$  شکستگی کمتری دارد. قرار دادن ژئوگرید درون لایه بالاست منجر به عملکرد کلی بهتر ( $BBI$  پایین‌تر) می‌شود. مقایسه نتایج حاصل از تست  $T 3, T 4$  بدیهی است که مقدار کلی شاخص خردایش سنگ‌ها ( $BBI$ )، ۲۸ درصد کاهش داشت (Esmaeili et al., 2018).

مقادیر اندازه‌گیری شده از شاخص شکستگی بالاست برای هر لایه با مقادیر متناظر کل ۳۰ سانتی‌متر نمونه بالاست، در جدول (۴) قابل مشاهده است. سنگدانه‌های بد شکسته شده در سطح قرار داشتند و با عمق لایه کاهش پیدا می‌کردند. در حالت عمومی زمانی که از سه لایه ژئوگرید در آزمایش استفاده شد، بالاست تقویت شده با ژئوگرید در آزمایش

جدول ۴. میزان خردایش سنگدانه‌های بالاستی در آزمایش‌ها (Esmaeili et al., 2018)

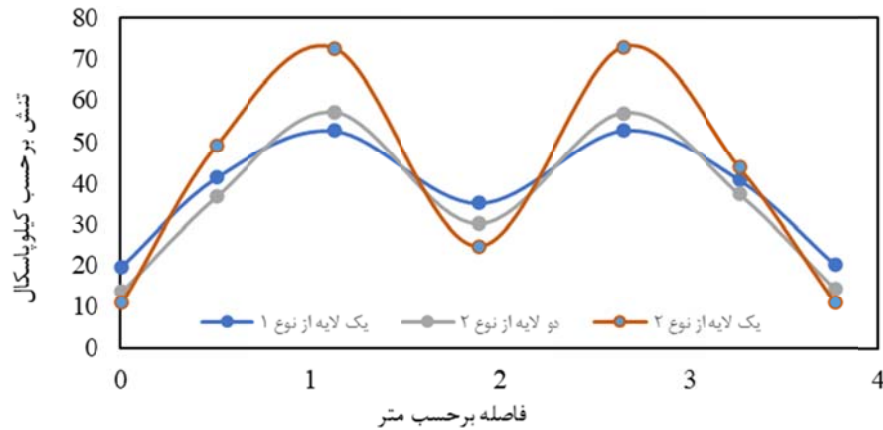
آزمایش‌ها	شکستگی در پایین سطح لایه			
	بالاترین درصد شاخص شکستگی	شکستگی در بالای سطح لایه بالاست	شکستگی در وسط لایه بالاست	بالاترین درصد شاخص شکستگی
T1	0.150	0.187	0.109	0.155
T2	0.141	0.190	0.122	0.111
T3	0.130	0.155	0.143	0.091
T4	0.093	0.072	0.107	0.100

جدول ۵. ژئوگریدهای استفاده شده در آزمایش (Mulhall et al., 2016)

پارامترها	نوع ۱	نوع ۲
ابعاد چشمه‌ها	۳۹×۳۹	۴۵×۳۵
حداکثر مقاومت کششی $KN/m$	۳۰	۴۰

در شکل (۷) مقایسه‌ای بین این دو نوع ژئوگرید و نحوه کنترل تنش آنها در زیر تراورس شده است (Mulhall et al., 2016).

محققان روسی آزمایش دیگری در مسیر قوسی انجام دادند که از دو نوع ژئوگرید برای بالاست استفاده کردند. جدول شماره (۵) نوع‌های ژئوگرید استفاده شده در آزمایش را نشان می‌دهد. زمانی که از یک لایه ژئوگرید در خط استفاده شد، میزان تنش تا ۱۷ درصد کاهش پیدا کرد، این در حالی بود که استفاده از دو لایه ژئوگرید با نوع (۱ یا ۲)، کاهش ۳۰ تا ۳۷ درصدی تنش را به همراه داشت. در این آزمایش با افزایش سرعت، تاثیر ژئوگرید در کاهش تنش بیشتر بود (Mulhall et al., 2016).



شکل ۷. کنترل تنش توسط لایه های متفاوت ژئوگرید در زیر تراورس (Mulhall et al., 2016)

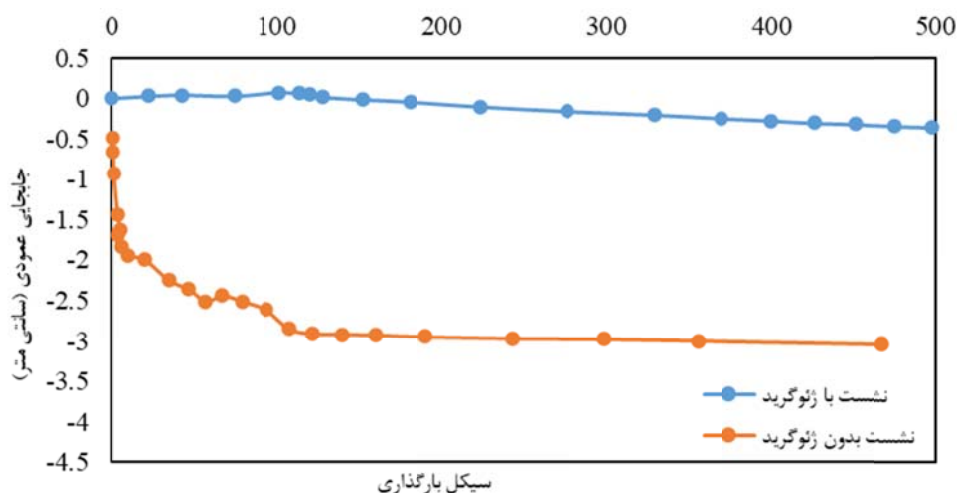
### ۳-۲- کنترل نشست

با داشتن بستر نسبتاً سختی (کف جعبه بالاست) کارایی ژئوگرید به خوبی مشخص شد. شکل (۸) میزان نشست عمودی تحت سیکل بارگذاری را نشان می‌دهد. مشخص است در همان بارگذاری‌های اولیه در جعبه بالاست بدون ژئوگرید ۱٫۵ سانتیمتر نشست دارد، این درحالی است که بارگذاری‌های اولیه به آرامی صورت گرفته اند تا مانند نمونه‌های واقعی عمل کنند. در مقابل، با همین نحوه بارگذاری در جعبه بالاست با ژئوگرید، هیچ نشست چشمگیری را تجربه نکرده است و مشخص است که با بارگذاری‌های بیشتر، بالاست بدون ژئوگرید با سرعت بیشتری نشست نموده که این امر به دلیل فرار سنگدانه‌ها از زیر بار و شکستن دانه‌های بالاست است. اما در مقابل نرخ نشست بالاست در سیکل‌های بیشتر بارگذاری با ژئوگرید، تا ۸۰ درصد کندتر است که به دلیل قفل و بست دانه‌های بالاست با چشمه‌های ژئوگرید می‌باشد. در شکل (۹) مشاهده می‌شود برای نمونه بدون ژئوگرید، علاوه بر کاهش سختی لایه بالاست به طور عمومی در شرایط اولیه، مجدداً با افزایش بارگذاری سختی کاهش یافته سپس به آرامی افزایش یافته این در حالی است که لایه بالاستی به همراه ژئوگرید تغییران اندکی را با افزایش بارگذاری در مقدار سختی از خود نشان می‌دهد.

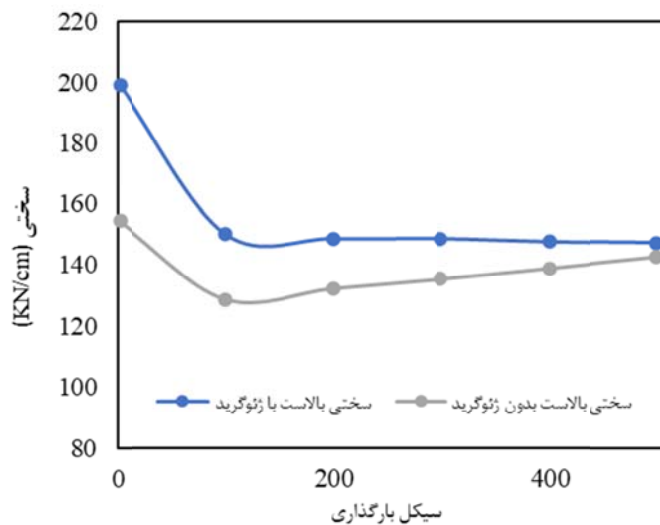
با مطالعه نقش ژئوگرید در تغییر شکل خط و مدول الاستیسیته سیکل بارگذاری دوم (EV 2)، اگر از ژئوگرید بر روی لایه بستر استفاده شود میزان تغییر شکل عمودی کاهش و مدول الاستیسیته در خط راه‌آهن افزایش می‌یابد. استفاده از ژئوگرید علاوه بر افزایش مدول بستر، باعث کاهش تغییر شکل عمودی آن می‌شود. طی مطالعاتی که در انگلستان توسط گشر و همکاران انجام شد، با استفاده از ژئوگرید، مدول بستر خط می‌تواند تا ۲۰ درصد افزایش یابد (Yu et al., 2019).

یکی از روش‌های آزمایش کنترل نشست در لایه بالاست با و بدون ژئوگرید آزمایش جعبه بالاست است. محققان در کشور آمریکا یک آزمایش با مشخصاتی شامل سنگدانه‌های با ابعاد ۵۰ میلی‌متر، ژئوگرید دارای چشمه‌های ۶ سانتی‌متری با شکل مثلثی، به همراه ریل و تراورس، در جعبه بالاست مطابق با شرایط خط اصلی انجام دادند. شیب ۱ به ۲ برای شانه بالاست و دو تراورس پشت هم با ابعاد ۱۳۰ سانتی‌متر طول، ۲۳ سانت عرض و ۱۸ سانتی‌متر ضخامت با فاصله ۵۰ سانتی‌متر مورد استفاده قرار گرفت (Göbel et al., 1994).

از آنجایی که در خطوط اصلی، بالاست طی دو مرحله تراکم می‌یابد (مرحله اول در لحظه بالاست ریزی و سیکل‌های اول بارگذاری که باعث چیدمان دوباره سنگدانه‌های بالاستی شده و تراکم ثانویه که در طول بهره برداری از خط انجام می‌شود). در این آزمایش ۵۰۰ چرخه بارگذاری روی جعبه بالاست انجام و



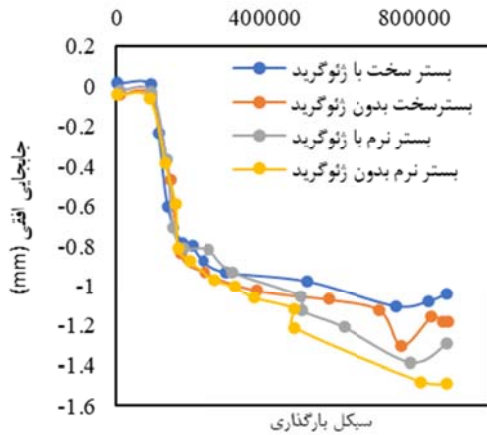
شکل ۸. نحوه نشست بالاست با و بدون ژئوگرید در سیکل‌های بارگذاری (Göbel et al., 1994)



شکل ۹. تغییرات سختی بالاست در مقابل سیکل بارگذاری (Göbel et al., 1994)

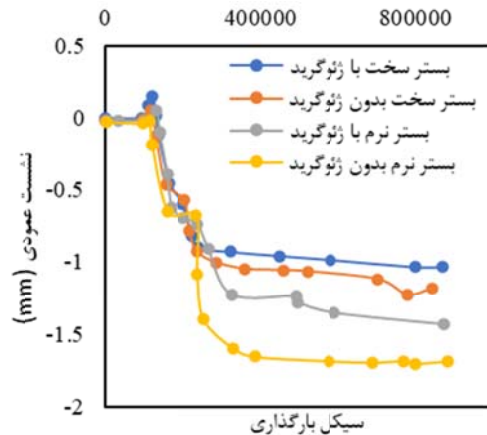
سخت با ژئوگرید مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد با استفاده از ژئوگرید سه محوره با ابعاد چشمه‌های ۸۰ میلی‌متر و شکل مثلثی به طور متوسط تا ۲۰ درصد نشست خط کاهش می‌یابد. در راستای جابجایی جانبی خط نیز این عدد به ۸ تا ۱۰ درصد می‌رسد (شکل‌های (۱۰) و (۱۱)) (Chen, 2013).

یک آزمایش دیگر با استفاده از جعبه بالاست در دانشگاه لیدز انگلستان انجام شد. در این آزمایش تاثیر ژئوگرید را بر رفتار بستر بررسی کردند. در این مطالعه ۴ آزمایش انجام گرفت. در آزمایش اول خاک نرم، آزمایش دوم خاک نرم با ژئوگرید، آزمایش سوم خاک نسبتاً سخت و در آزمایش چهارم خاک نسبتاً



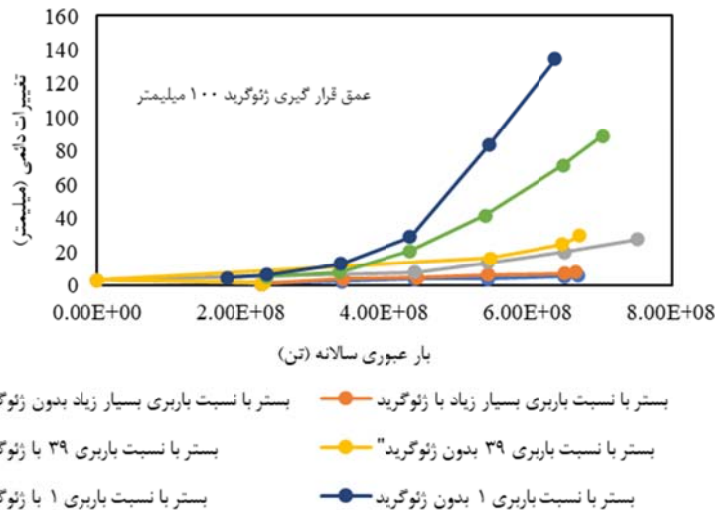
شکل ۱۱. تاثیر ژئوگرید بر جابجایی افقی در خاک‌های با سختی متفاوت (Chen, 2013)

برای بسترهای با سختی مختلف (CBR) (نسبت باربری) بر اساس تعداد محور بارگذاری خط ریلی نشان می‌دهد. در این آزمایش بار چرخ وارده بر نشیمنگاه تراورس در حدود ۸,۵ تن بوده است (Ngo et al., 2016).



شکل ۱۰. تاثیر ژئوگرید بر نشست در خاک‌های با سختی متفاوت (Chen, 2013)

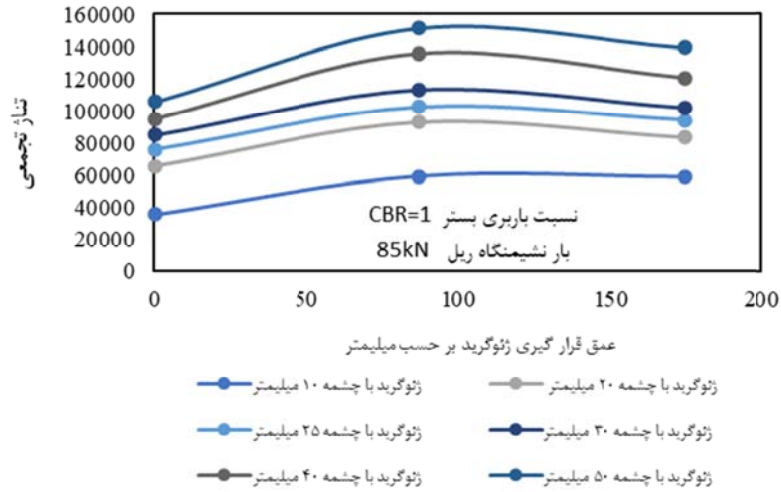
طبق مطالعات صورت گرفته، قرار گرفتن ژئوگرید در خاک‌های با نسبت باربری کم باعث افزایش ظرفیت باربری، چسبندگی، سختی و مدول الاستیسیته می‌شود (Saleh Ahmadi & Nikbakht Moghadam, 2017). تحقیقات انجام گرفته در کانادا مطابق شکل (۱۲) اثر کنترل کننده ژئوگرید در لایه بالاست



شکل ۱۲. تاثیر ژئوگرید با لایه مقاوم ساز بر روی خاک‌های با CBR متفاوت در عمق ۱۰۰ میلی‌متری (Ngo et al., 2016)

بسنجایی نیز دارد (Ngo et al., 2016). از سوی دیگر مشاهده شد هرچه ژئوگرید در عمق بیشتری از لایه بالاست قرار بگیرد، برای زمان بهره برداری بالاتر، تاثیر بیشتری برای کنترل حرکت جانبی خط دارد (Ngo et al., 2016).

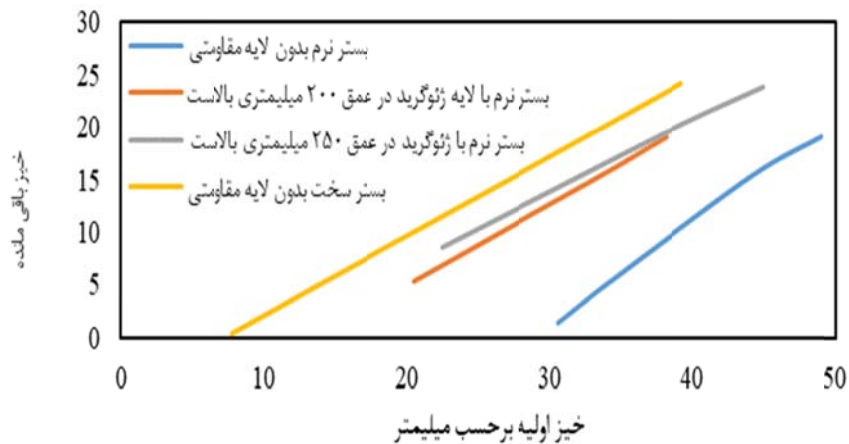
۳-۲-۱- تاثیر عمق قرارگیری و تعداد لایه ژئوگرید در نشست نتایج شکل (۱۳) نشان می‌دهد ژئوگرید در عمق‌های ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر پایین‌تر از سطح بالاست، تاثیر بیشتری را بر خاک‌های با نسبت باربری کم دارد، اما به لحاظ عملیاتی و کاربردی در خطوط ریلی ژئوگرید در عمق حداقل ۲۰۰ میلی‌متری از سطح لایه بالاست می‌بایست قرار گیرد که البته تاثیر



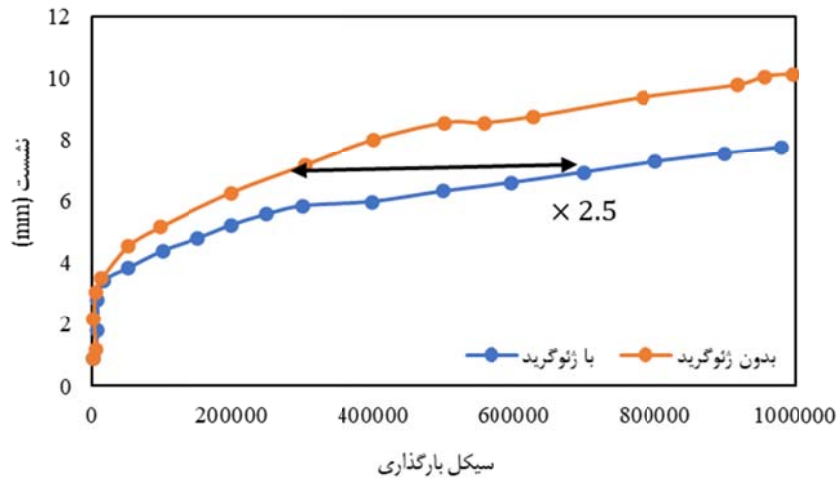
شکل ۱۳. تاثیر ژنوگرید بر خاک‌های با CBR کم برای عمق‌های مختلف (Ngo et al., 2016)

۵۰x۵۰ در عمق ۲۵۰ میلی‌متری از سطح بالاست، دارای تغییر شکل کمتری می‌باشد. از همه بحرانی‌تر بستر نرم تقویت نشده دارای بیشترین تغییر شکل است (Ngo et al., 2016).

همانطور که در شکل شماره (۱۴) نشان داده شده است، تغییر شکل اولیه بستر با خاک خیلی متراکم یا سخت، کمتر از بستر نرم تقویت شده است. بستر تقویت شده با ژنوگرید دارای چشمه



شکل ۱۴. مقایسه نشست در بستر نرم، بستر تقویت شده با ژنوگرید ۱۰۰ میلی‌متر، بستر تقویت شده با ژنوگرید ۵۰ میلی‌متر و بستر سخت (Ngo et al., 2016)



شکل ۱۵. مقایسه‌ی بالاست تقویت شده با ژئوگرید و بالاست بدون تقویت در برابر نشست تحت سیکل‌های بارگذاری (Ngo et al., 2016)

$$\frac{\text{اندازه چشمه ژئوگرید}}{\text{اندازه سنگدانه}} = \frac{70}{50} = 1.4 \quad (۶)$$

باتوجه به بعد سنگدانه و چشمه ژئوگرید، میتوان نتیجه گرفت که مطلوب‌ترین حالت برای تاثیر مناسب ژئوگرید و جلوگیری از نشست بالاست، نسبتی است که چشمه ژئوگرید ۱٫۴ برابر قطر سنگدانه‌ها باشد (Ngo et al., 2016).

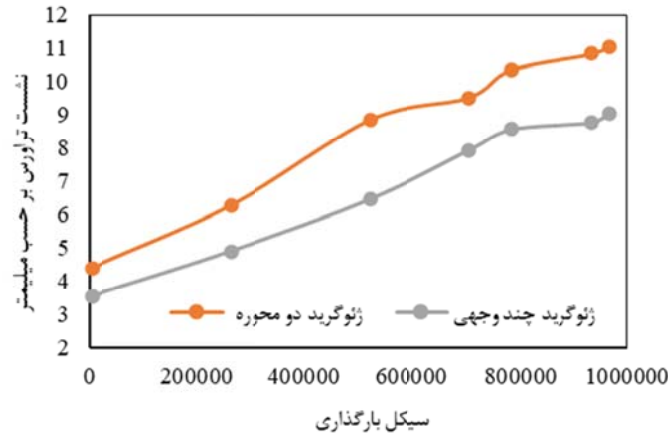
### ۳-۲-۳- تاثیر تعداد وجه و شکل ژئوگرید بر نشست تراورس یا بالاست

تحقیقات در انگلستان نشان می‌دهد که هرچه وجه‌های ژئوگرید بیشتر باشد، دارای قدرت کشسانی بیشتری نیز خواهد بود. بنابراین ژئوگرید ۳ محوره دارای قدرت بیشتری از ژئوگرید ۲ محوره و ژئوگرید ۲ محوره دارای قدرت بیشتری از ژئوگرید تک محوره است شکل (۱۶) به خوبی این نتیجه را تایید می‌کند (NAVARATNARAJAH, 2019).

یک آزمایش دیگر روی بالاست تقویت شده با ژئوگرید و بدون ژئوگرید انجام شد. مشخص است که در یک میلیون سیکل بارگذاری، بالاست تقویت شده با ژئوگرید دارای چشمه ۶۵x۶۵ و مقاومت کششی ۳۰، ۲٫۵ کیلو نیوتن بر متر برابر یا ۳۰ درصد بار بیشتری را نسبت به بالاست بدون لایه تقویتی (بلاست بدون ژئوگرید) تحمل می‌کند. (شکل ۱۵) (Ngo et al., 2016). محققان در کره جنوبی تستی را با قرار دادن لایه‌های ژئوگرید در زیرسازی یک خط سریع‌السیر با سرعت ۳۸۵ کیلومتر بر ساعت، انجام دادند. با نتیجه‌گیری مشخص شد در صورت استفاده از ۳ لایه ژئوگرید در لایه‌های مختلف زیرسازی، می‌توان تا ۸۰ درصد از نشست تحت ۵۰۰۰۰۰ سیکل بارگذاری پیش‌گیری کرد. (Ngo et al., 2016).

### ۳-۲-۳- تاثیر اندازه چشمه‌های ژئوگرید در نشست خط

تحقیقات نشان می‌دهند که ژئوگرید با سایز چشمه ۶۰ یا ۷۰ میلیمتر برای کاهش نشست خط، برای ابعاد سنگدانه‌های بالاستی در محدوده ۵۰ میلی‌متر مناسب می‌باشد. در نتیجه نسبت زیر به دست می‌آید (Ngo et al., 2016).

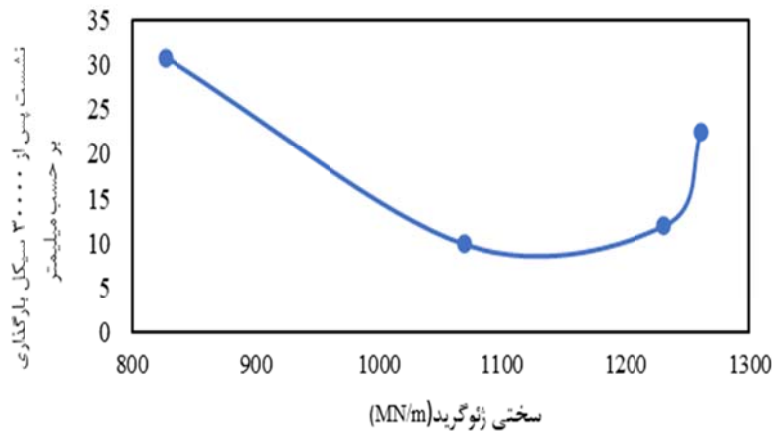


شکل ۱۶. مقایسه ژئوگرید از منظر تحمل بار گذاری (NAVARATNARAJAH, 2019)

شود. اما نتایج نشان می‌دهد که از مقدار ۱۱۰۰ مگانیوتن بر متر این امر صادق نیست و با بیشتر شدن سختی ژئوگرید میزان نشست نیز افزایش می‌یابد (Ngo et al., 2016). به همین دلیل می‌توان گفت سختی‌های بین ۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰ مگانیوتن بر متر بهترین اثر را برای اینگونه ژئوگریدها دارد.

### ۳-۲-۴- تاثیر سختی ژئوگرید در نشست

شکل (۱۷) ژئوگریدی که دارای چشمه ۶۵ میلی‌متر است را برای ۳۰ هزار سیکل بارگذاری با سختی‌های متفاوت بر اساس جنس آن نشان داده است. در آزمایش مشخص شد هرچه سختی ژئوگرید بالاتر برود میزان نشست بالاست تا ۶۰ درصد کمتر می



شکل ۱۷. نشست بستر تحت ۳۰ هزار سیکل بارگذاری نسبت به سختی ژئوگرید با دیافراگم ۶۵ میلی‌متر (Ngo et al., 2016)

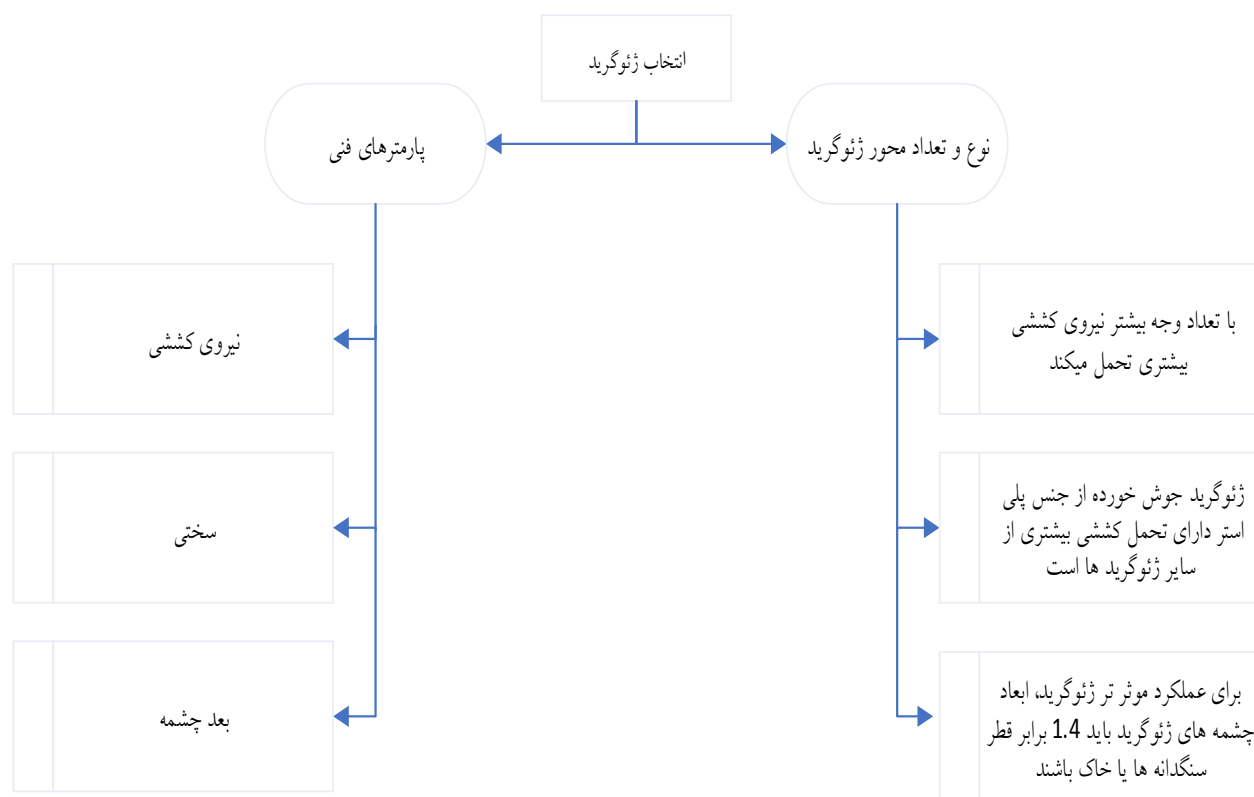
### ۴- نتیجه گیری

نقش ژئوگرید در کاهش تنش و نشست خط موثر می‌باشد، نوع ژئوگرید و مشخصات فنی آن بر کارایی آن در خطوط ریلی اثرگذار می‌باشد. در این مطالعه نیروی کششی ژئوگرید و

در این مقاله با مطالعه انواع ژئوگریدها و عملکرد آنها در خطوط راه آهن به بررسی تاثیر آن در کنترل تغییر شکل و تنش‌های رسیده به لایه‌های زیرین پرداخته شد. از آنجایی که

بالاست و زیربالاست، جلوگیری از ادغام لایه‌های زیربالاست و بستر، جلوگیری از گسیختگی برشی لایه بالاست و زیربالاست و با کاهش تنش رسیده به خاک‌های زیرین با توزیع بیشتر تنش، جلوگیری از کثیف شدن بالاست و موجب کاهش احتمال گسیختگی مقطعی و پیشرونده در بستر خط خواهد شد. همچنین با استفاده از لایه ژئوگرید امکان ساخت خط ریلی در مناطق شیب‌دار، کاهش نشست عمودی، جابجایی افقی و شکستگی بالاست فراهم می‌آید. این امر جلوگیری از زوال زودرس خط نموده و دوره‌های تعمیر و نگهداری را افزایش می‌دهد. با استفاده از آزمایش‌های متعدد مشخص شد که ژئوگرید در عمق ۲۰۰ میلی‌متر پایین‌تر از سطح بالاست یکی از گزینه‌های مناسب است تا میزان نشست خط را به حداقل برساند

خصوصیات فیزیکی آن مورد بررسی قرار گرفت. با آزمایش‌های متعدد عمق موثر ژئوگرید در کاهش نشست خط مشخص شد. از سوی دیگر نوع شکل و بعد چشمه ژئوگرید برای تاثیر بهتر در خط بررسی و تاثیر سختی آن بر کنترل نشست نیز نشان داده شد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که استفاده از یک لایه ژئوگرید در خط تا چه مقدار تنش‌ها و نشست‌های خط را کنترل می‌کند. زمانی که از لایه‌های بیشتر ژئوگرید در سطح‌های مختلف خط استفاده شود، میزان نشست بستر تقریباً برابر حالتی است که بستر سخت باشد. بر اساس مطالعات انجام شده در این مقاله در شکل (۱۸) دیگرامی از نحوه انتخاب ژئوگرید آورده شده است. به طور کلی نقش ژئوگرید در خط ریلی، افزایش ظرفیت باربری خاک با کاهش سطح تنش وارده از خط، جلوگیری از ادغام لایه‌های



شکل ۱۸. نحوه انتخاب ژئوگرید

۵- مراجع

- Fleury, M. P., Santos, E. C. G. d., Lins da Silva, J., & Palmeira, E. (2019). Geogrid installation damage caused by recycled construction and demolition waste. *Geosynthetics International*, 26(6), 641-656.
- Göbel, C. H., Weisemann, U. C., & Kirschner, R. A. (1994). Effectiveness of a reinforcing geogrid in a railway subbase under dynamic loads. *Geotextiles and Geomembranes*, 13(2), 91-99.
- Grossoni, I., Powrie, W., Zervos, A., Bezin, Y., & Le Pen, L. (2021). Modelling railway ballasted track settlement in vehicle-track interaction analysis. *Transportation Geotechnics*, 26, 100433.
- Hussaini, S. K. K., Indraratna, B., & Vinod, J. S. (2016). A laboratory investigation to assess the functioning of railway ballast with and without geogrids. *Transportation Geotechnics*, 6, 45-54.
- Hussaini, S. K. K., & Sweta, K. (2020). Application of geogrids in stabilizing rail track substructure. *Frontiers in Built Environment*, 6, 20.
- Indraratna, B., & Nimbalkar, S. (2013). Stress-strain degradation response of railway ballast stabilized with geosynthetics. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 139(5), 684-700.
- Indraratna, B., Qi, Y., Ngo, T. N., Rujikiatkamjorn, C., Neville, T., Ferreira, F. B., & Shahkolahi, A. (2019). Use of geogrids and recycled rubber in railroad infrastructure for enhanced performance. *Geosciences*, 9(1), 30.
- Kang, G. (2016). Influence and control strategy for local settlement for high-speed railway infrastructure. *Engineering*, 2(3), 374-379.
- Kwan, C. C. J. (2006). *Geogrid reinforcement of railway ballast* University of Nottingham Nottingham, UK].
- Lim, S.-Y., & Song, C.-S. (2010). Evaluation of Installation Damage Factor for Geogrid with
- قیاسی، واحد و نجفی، ف. (۱۴۰۱). بررسی روش‌های بهسازی خاک‌های روانگرا. جاده.
- مهرپژوه، آیدا، آقائی، تفرشی، م. و ناصر، س. (۲۰۱۵). بررسی اثر تسلیح خاک با ژئوگرید بر پارامترهای مقاومتی بستر راه. جاده، ۲۳(۸۴)، ۲۱۹-۲۲۰.
- Brown, S., Kwan, J., & Thom, N. (2007). Identifying the key parameters that influence geogrid reinforcement of railway ballast. *Geotextiles and Geomembranes*, 25(6), 326-335.
- Chen, C. (2013). *Discrete element modelling of geogrid-reinforced railway ballast and track transition zones* University of Nottingham England].
- Cook, J., Buckley, J., Dobie, M., & Bhavsar, R. (2015). The Use of Multiaxial Geogrids in Rail Trackbed Stabilisation. IHHA Conference, Perth Australia,
- Das, B., Penman, J., & Anderson, P. (2010). Use of geogrid in subgrade-ballast system of railroads subjected to cyclic loading for reducing maintenance. *California State University, Sacramento, USA*.
- Esmaili, M., Naderi, B., Neyestanaki, H. K., & Khodaverdian, A. (2018). Investigating the effect of geogrid on stabilization of high railway embankments. *Soils and Foundations*, 58(2), 319-332.
- Fakher, A., & Jones, C. (1996). A New Unit-Cell to Study the Deformation Mechanism of Super Soft Clay Overlaid by Geogrid and Sand. *Geosynthetics International*, 3(3), 349-367.
- Fischer, S., & Horvát, F. (2011). Investigation of the reinforcement and stabilisation effect of geogrid layers under railway ballast. *Slovak Journal of Civil Engineering*, 19(3), 22-30.

- Ngo, N. T., Indraratna, B., & Rujikiatkamjorn, C. (2016). Modelling geogrid-reinforced railway ballast using the discrete element method. *Transportation Geotechnics*, 8, 86-102.
- Petriaev, A., & Konon, A. (2019). Tests of geosynthetics-reinforced ballast stressed state under heavy trains. MATEC Web of Conferences,
- Saleh Ahmadi, M., & Nikbakht Moghadam, P. (2017). Effect of geogrid aperture size and soil particle size on geogrid-soil interaction under pull-out loading. *Journal of textiles and polymers*, 5(1), 25-30.
- Yu, Z., Woodward, P., Laghrouche, O., & Connolly, D. P. (2019). True triaxial testing of geogrid for high speed railways. *Transportation Geotechnics*, 20, 100247.
- Particle Size. *Journal of The Korean Society of Agricultural Engineers*, 52(3), 113-120.
- Liu, S., Huang, H., Qiu, T., & Kwon, J. (2016). Effect of geogrid on railroad ballast particle movement. *Transportation Geotechnics*, 9, 110-122.
- Miyata, Y., & Bathurst, R. J. (2015). Reliability analysis of geogrid installation damage test data in Japan. *Soils and Foundations*, 55(2), 393-403.
- Mulhall, C., Balideh, S., Macciotta, R., Hendry, M., Martin, D., & Edwards, T. (2016). Large-scale testing of tie lateral resistance in two ballast materials. Third international conference on railway technology: research, development and maintenance.
- NAVARATNARAJAH, S. K. (2019). Resilient element attached under the concrete sleepers to improve the rail track performances. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 13, 2506-2520.

# Investigating the Effect of Geogrid on the Control of Stresses and Settlement of the Ballasted Railway

*Mohammad Emad Motieyan Najar, Assistant Professor of Civil Engineering and Transportation Faculty, University of Isfahan, Isfahan, Iran.*

*Yazdan Mohammadian, M.Sc., Student, Civil Engineering and Transportation Faculty, University of Isfahan, Isfahan, Iran.*

*E-mail: m.motieyan@eng.ui.ac.ir*

Received: June 2023- Accepted: February 2024

## **ABSTRACT**

The growth of railway lines has caused engineers to seek to increase the efficiency of the ballasted railway track, and for this reason, they are looking for an increase in the maintenance intervals and a lower life cycle cost. In high-speed railways and lines with high traffic volume, especially railways with stiff and soft subgrade, the issue of line settlement is one of the challenging factors. According to the methods introduced to strengthen the subgrade so far, the use of geogrid is one of the conventional methods to reduce settlement and maintenance operations, which today requires more investigation in its optimal selection. In this article, an attempt has been made to investigate the effectiveness of geogrid to reduce stresses on the subgrade, sub-ballast layer, and ballast layer, and to explain how to choose it based on the technical parameters. In this study, the types of geogrid and the effect of mesh size, applied stress, and its effect on soil resistance have been investigated and the method of achieving the appropriate selection of geogrid has been suggested. Studies show that by using geogrid, the vertical settlement and horizontal movement of the railway panel can be reduced by 70%.

**Keywords:** Ballast, Railway Subgrade, Maintenance, Geogrid, Track Settlement