

بررسی اثر تسلیح خاک با ژئوگرید بر پارامترهای مقاومتی بستر راه

آیدا مهرپژوه، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

جمشید آقائی، دانش آموخته کارشناسی، دانشکده عمران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

سید ناصر مقدس تفرشی، استاد، دانشکده عمران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

پست الکترونیکی نویسنده مسئول: a.mehrpajouh@yahoo.com

دریافت: 94/01/18 - پذیرش: 94/04/30

چکیده

یکی از روش‌های افزایش ظرفیت باربری و کنترل میزان نشست و تغییر شکل خاک در روسازی راه، استفاده از ژئوگریدها می‌باشد. در این مقاله با مروری بر تحقیقات انجام شده در طول دو دهه‌ی اخیر در ارتباط با مکانیزم‌های عملکرد ژئوگرید و کاربردهای آن در راه‌سازی، خصوصیات مقاومتی بستر مسلح با ژئوگرید مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی‌ها نشان می‌دهد در اثر تسلیح خاک با ژئوگرید در خاک‌های با ظرفیت باربری کم، خصوصیات مقاومتی خاک از قبیل CBR، چسبندگی، سختی و مدل الاستیسیته، به صورت چشمگیری افزایش می‌یابد ولی تغییر قابل ملاحظه‌ای در زاویه اصطکاک داخلی خاک ایجاد نمی‌کند. هرچه خاک بستر ضعیف‌تر باشد، تأثیر تسلیح با ژئوگرید پررنگ‌تر می‌گردد. همچنین در این مقاله مطالعات صورت گرفته در خصوص تعیین پارامترهای طراحی روسازی مسلح شده با ژئوگرید و ارزیابی عملکرد ژئوگرید برای روسازی دانه‌ای و روسازی انعطاف‌پذیر، ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: روسازی، ژئوگرید، بستر مسلح، CBR، ظرفیت باربری

1- مقدمه

پیشنهاد شده است. از روش‌های رایج در دو دهه اخیر، استفاده از ژئوستتیک¹ها به عنوان مسلح‌کننده خاک را می‌توان برشمرد. استاندارد (2006) ASTM D-4439 ژئوستتیک را چنین تعریف می‌کند: «مواد و مصالح پلیمری هستند که به همراه خاک، سنگ و یا دیگر مصالح مرتبط ژئوتکنیکی، در سازه‌ها و پروژه‌های ساخته بشر استفاده می‌شود.» از جمله ژئوستتیک‌های پرکاربرد در راه‌سازی، می‌توان به ژئوگریدها اشاره نمود. ژئوگریدها شبکه‌های پلیمری (پلی اتیلن با چگالی بالا²، پلی پروپیلن و یا پلی استر³) هستند که معمولاً به شکل شبکه‌های مشبک منظم در یک جهت و یا دو جهت ساخته می‌شوند. این شبکه‌ها و به خصوص حفره‌های میان آن‌ها موجب می‌شوند که ذرات خاک و یا مصالح سنگی به خوبی با

احداث سازه‌ها روی خاک موجود در محل، حفاظت از گودبرداری‌ها و ساختمان‌های مجاور و بهینه‌سازی هزینه ساخت و ساز، همواره هدفی است که مهندسیین به آن توجه دارند. در مواردی، با توجه به وزن و ابعاد سازه‌های موردنظر، نیاز به مقاومت برشی زیاد خاک یا حتی مقاومت کششی در خاک می‌باشد. این در حالی است که خاک به خوبی در مقابل فشار مقاومت می‌کند اما در برابر نیروی کششی از خود مقاومت چندانی نشان نمی‌دهد. برای مثال در راه‌سازی، با افزایش خطوط عبوری، ظرفیت باربری لازم برای تحمل بار وارده افزایش می‌یابد. همچنین عبور متوالی ترافیک باعث افزایش تغییر شکل‌های الاستیک و پلاستیک بستر راه خواهد شد. در چنین مواردی، روش‌های مختلفی برای بهبود خاک

آن‌ها درگیر شده و مجموعه ژئوگرید و مصالح اطراف آن از خاصیت قفل و بست خوبی برخوردار گردد. به این ترتیب ژئوگرید به کار گرفته شده در لایه‌های خاکریز، همانند عناصر مقاوم در مقابل کشش عمل کرده و نواحی که تنش‌ها و تغییرشکل‌های کششی در خاک به وجود می‌آید به خوبی می‌تواند نیروها و تغییرشکل‌ها را در خود مهار نماید (شفابخش، 1384).

تولید اولین نسل ژئوگریدهای یکپارچه از جنس پلی‌استر و پلی‌پروپیلن به کشور انگلستان باز می‌گردد. پس از آن در سال 1980 نسل دیگری از ژئوگریدها با انعطاف‌پذیری بالا و از جنس پلی‌استر با روکش پلی‌پروپیلن در کشور انگلستان تولید شد. در این نوع از ژئوگرید از بافتن نوارهای ژئوگرید، متشکل از رشته‌های بسیار زیاد پلی‌استری استفاده گردید. سپس نسل سوم ژئوگریدها با جوش دادن نوارهای یکپارچه ی پلی‌استری با پروپیلن به یکدیگر در آلمان و برخی کشورهای اروپایی دیگر تولید و به بازار معرفی و عرضه شدند (صدریان‌زاده، 1383).

از ژئوگریدها در راه‌سازی جهت جلوگیری از بروز ترک‌های انعکاسی و همچنین جلوگیری از ترک خوردگی‌های ناشی از حرارت نیز استفاده می‌شود. (ظهورکاشانی و همکاران، 1389) Gupta and Zornberg در سال 2009 مطالعاتی بر روی کاهش عرض ترک در راه‌سازی بر روی خاک‌های رسی متورم شونده در ایالت تگزاس انجام دادند. در خاک‌هایی با شاخص خمیری بالا، در فصول مرطوب، پدیده تورم و در فصول گرم و خشک، انقباض رخ می‌دهد. این چرخه باعث ترک‌خوردگی در روسازی جاده‌ها می‌گردد. آزمایش‌های این دو تن نشان داده است که وجود لایه ژئوگرید در بستر، از وقوع ترک‌خوردگی تا حد امکان جلوگیری می‌کند.

علاوه بر کارهای آزمایشگاهی، مدلسازی‌های عددی بسیاری نیز در زمینه تسلیح با ژئوگرید صورت گرفته است. از جمله میتوان مدل (Dondi 1994) را در نرم‌افزار

ABAQUS مثال زد که به کاهش 20 درصدی جابجایی قائم در اثر تسلیح اشاره نموده است. یکی از جدیدترین مدل‌سازی‌های صورت گرفته توسط Pandy et al در سال 2012 می‌باشد که در نرم‌افزار plaxis، رفتار خاک مسلح شده با ژئوگرید را در برابر بارگذاری سیکلی بررسی نموده‌اند. آن‌ها میزان کاهش کرنش قائم و میزان کاهش تغییرشکل ناشی از خستگی را به ترتیب 7.39٪ و 11.8٪ گزارش نموده‌اند و طبق تحقیقات آن‌ها ارقام به دست آمده تطابق خوبی با داده‌های آزمایشگاهی دارد.

2- معرفی و کاربرد ژئوگرید در راه‌سازی

ژئوگریدها یکی از اعضای پرکاربرد خانواده ژئوسنتتیک‌ها هستند که از خصوصیات مهم آن‌ها می‌توان به تغییرشکل کم در برابر نیروی کششی زیاد، مقاومت کششی نهایی بالا، رفتار بلند مدت مناسب به دلیل کرنش کم، مقاومت مطلوب در برابر میکروارگانیزم‌های خاک و مواد شیمیایی، اشعه ماورابنفش و آسیب‌های مکانیکی، اندرکنش مناسب بین شبکه ژئوگرید و دانه‌های خاکی، اجرای ساده به دلیل وزن کم، انعطاف‌پذیری مناسب آن حتی در هوای سرد و تولید در مقاومت‌های کششی متنوع اشاره نمود.

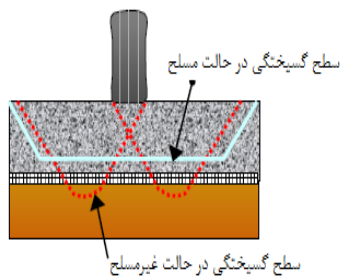
دو عامل مهم در عملکرد ژئوگریدها، عامل اصطکاک

خاک با ژئوگرید و عامل قفل شدگی ذرات خاک در چشمه‌های ژئوگرید می‌باشد. (گرایلی افرا، 1389)

2-1- مکانیزم تسلیح با ژئوگرید

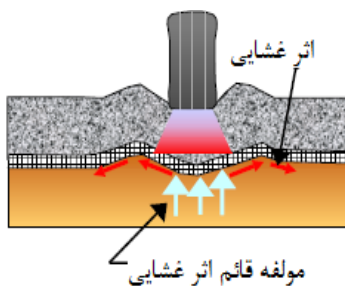
طبق مطالعات صورت گرفته توسط vulcanhammer (2002)، ژئوگرید در سیستم راه‌سازی عموماً به دو منظور جدایش و تسلیح استفاده می‌شود. اما با توجه به اندازه چشمه‌های ژئوگریدهای معمول، از آن به عنوان فیلتر استفاده نمی‌گردد و منظور از جدایش، غالباً رعایت ترتیب لایه‌های روسازی می‌باشد. لذا کاربری اصلی آن، تقویت لایه‌های روسازی است.

مناسب در لایه اساس صورت می‌گیرد. شکل 2، مکانیزم موردنظر را به صورت شماتیک نشان می‌دهد.



شکل 2. تصویر شماتیک انتقال سطح گسیختگی در حالت مسلح (Vulcanhammer Company, 2002)

سومین اثر حضور ژئوگرید، اثر غشایی⁴ نام دارد. بار وارده به ژئوگرید، باعث ایجاد تنش کششی در لایه ژئوگرید تغییرشکل یافته می‌شود. مولفه قائم این تنش کششی، تنش قائم رسیده به بستر را کاهش می‌دهد. شکل 3، مبین اثر غشایی در ژئوگرید می‌باشد.



شکل 3. تصویر شماتیک عملکرد غشایی در حالت مسلح (Vulcanhammer Company, 2002)

2-2- انواع ژئوگریدها

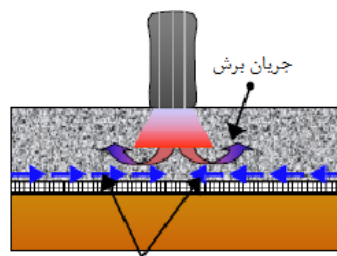
ژئوگریدها به سه دسته تقسیم می‌شوند: بافته شده، تزریقی و اتصالی.

ژئوگریدهای بافته شده از بافتن الیاف پلی استر به همدیگر ساخته می‌شوند که به شبکه‌های تار و پودی آن، چشمه می‌گویند. همچنین با پوشاندن این الیاف بافته شده با پلی وینیل کلراید⁵، ژئوگریدهای انعطاف پذیر پلی استری ایجاد می‌شود. مهمترین مزیت این نوع از ژئوگریدها، کرنش پایین و در نتیجه مقاومت مناسب در برابر خزش و همچنین اجرای راحت تر آنها می‌باشد. این نوع ژئوگرید

سه هدف اصلی استفاده از ژئوگرید در ساختار راه، تقویت بستر نرم، افزایش عمر بهره‌وری و کاهش سطح مقطع عرضی لازم برای یک پروژه می‌باشد.

ژئوگرید به عنوان مسلح کننده، باعث می‌شود عمل تراکم لایه بستر راحت تر صورت گیرد و مقدار مصالح درشت دانه مورد نیاز را کاهش می‌دهد. (Cancelli et al., 1996; Douglas, 1997; Haas et al., 1988; Santoni et al., 2001). ژئوگرید همچنین برای پایداری مکانیکی بستر، تسلیح لایه اساس و تسلیح پوشش آسفالت بتنی نیز به کار می‌رود. (Haas et al., 1984; Brown et al., 1984; Chang, 1999).

طبق مطالعات صورت گرفته، مکانیزم تسلیح ژئوگرید در بستر راه از طریق ایجاد مقاومت جانبی، تقویت ظرفیت باربری و عملکرد غشایی رخ می‌دهد (Perkins, 1997). مقاومت جانبی به علت محصورشدگی دانه‌ها درون چشمه‌های ژئوگرید تامین می‌گردد. از آنجا که خصوصیات مقاومتی دانه‌های خاک وابسته به تنش است، افزایش محصورشدگی باعث افزایش مدول مصالح لایه اساس می‌گردد. این افزایش در مدول مواد دانه‌ای، باعث باز توزیع تنش قائم روی بستر و به تبع آن، کاهش تنش رسیده به بستر تا حد تحمل آن می‌گردد. شکل 1، مکانیزم ایجاد مقاومت جانبی را توسط ژئوگرید نشان می‌دهد.



شکل 1. تصویر شماتیک مقاومت جانبی ایجاد شده به علت تسلیح (Vulcanhammer Company, 2002)

عملکرد بعدی ژئوگرید که به آن نقش مسلح کننده می‌دهد، تقویت ظرفیت باربری می‌باشد. این مکانیزم، از طریق انتقال سطح گسیختگی از بستر ضعیف به مصالح

al., 2006) به عنوان گابیون در ساختمان دیوارها و سازه‌های کنترل فرسایش و حتی تسلیح بتن اشاره نمود.

3- بررسی خصوصیات مقاومتی بستر مسلح با ژئوگرید

در سال‌های اخیر، تحقیقات بسیاری در زمینه تسلیح با ژئوگرید صورت گرفته است. Zhao and Foxworthy, 1999; Retzlaff et al., 2006; Virgili et al., 2009; Abu Farsakh et al., 2010; Singh and Gill, 2012) مطالعات صورت گرفته حاکی از بهبود رفتار خاک به واسطه‌ی تسلیح می‌باشد، به طوری که قرارگیری لایه تسلیح در خاک به خصوص در خاک‌های با ظرفیت باربری اولیه کم، تأثیر قابل ملاحظه‌ای در افزایش پارامترهای مقاومتی آن از جمله CBR، چسبندگی، سختی و مدول الاستیسیته خاک دارد. (Kamel et al., 2004) مطالعاتی جهت بررسی رفتار خاک مسلح با ژئوگرید با استفاده از آزمایش‌های CBR، فشاری تک محوری، فشاری سه محوری استاتیکی و دینامیکی انجام دادند. خاک‌های مورد مطالعه، خاک ماسه‌ای نرم (SP)، ماسه رس (SC) و رس سیلتی (CM) می‌باشد. همچنین خصوصیات دو نوع ژئوگرید به کار گرفته شده در جدول 1 آمده است. میزان دانسیته خشک بیشینه خاک‌ها به ترتیب، 1840 ، 1740 ، 1660 و رطوبت بهینه نظیر آن‌ها 11.7 ، 13 و 19% گزارش شده است.

جدول 1. خصوصیات ژئوگرید به کار گرفته شده (Kamel et al., 2004)

خصوصیات	ژئوگرید نوع	
	1	2
شکل	صفحه ای	صفحه ای
اندازه چشمه	22*22	19*19
مقاومت کششی طولی در کرنش 2٪	5.8	2.5
سختی کششی طولی	290	125
مقاومت کششی عرضی در کرنش 2٪	5.2	2.8
سختی کششی عرضی	260	140
قابلیت ازدیاد طول	16.5٪	15٪
قابلیت ازدیاد طول (در خلاف جهت دستگاه)	10٪	10٪

به روش مکانیکی و اصطکاکی با بلوک‌های خاکی ارتباط برقرار می‌کند و به دلیل ماهیت تار و پودی، از دو جهت دارای مقاومت کششی می‌باشد. در کارهای راه‌سازی، به دلیل رویکرد دوسویه، به این نوع ژئوگرید بیشتر توجه می‌گردد. (شه کلاهی، 1390).

اکثر ژئوگریدهای پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن به روش تزریقی تولید می‌شوند. این نوع ژئوگرید دچار پوسیدگی نمی‌گردد و یکپارچگی کامل دارد. اما محدودیت این ژئوگریدها در این است که باید به صورت مکانیکی با بلوک‌ها اتصال پیدا کنند. همچنین خزش زیاد، عملکرد این نوع را در درازمدت دچار مشکل می‌کند. ژئوگریدهای تزریقی به صورت تک‌سویه در دنیا وجود دارد و در ایران تنها از این نوع به ویژه در کوله‌های خاک مسلح استفاده می‌شود. ژئوگریدهای اتصال‌ی نوع خاصی از ژئوگریدها هستند که به صورت تسمه‌های تزریقی در جهت‌های طولی و عرضی روی هم قرار داده شده و از طریق اشعه‌های لیزری، نوارهای طولی و عرضی به هم متصل شده‌اند. محدودیت این نوع از ژئوگریدها، عدم اتصال آن‌ها به روش مکانیکی است (شه کلاهی، 1390).

2-3- کاربرد ژئوگرید در راه‌سازی

از ژئوگریدها در راه‌سازی جهت افزایش ظرفیت باربری لایه‌های خاک، پایداری شیروانی‌های خاکی با شیب تند، مسلح کردن لایه اساسی جاده‌ها با روکش آسفالتی، مسلح کردن قسمت اساسی جاده‌ها بدون روکش آسفالت، توزیع مناسب‌تر بار بر روی بستر روسازی و کاهش ضخامت لایه‌های سنگی روسازی استفاده می‌گردد. علاوه بر این، ژئوگریدها در پروژه‌های زیست محیطی از جمله محل دفن زباله‌ها، ایجاد سایت فاضلاب‌های صنعتی و دیوارهای حائل صوتی نیز کاربرد دارند. از دیگر موارد استفاده از ژئوگریدها می‌توان به کوله پل‌ها (Fakharian and Attar, 2007)، کاهش مساحت زمین موردنیاز به دلیل ایجاد شیروانی با شیب تند، به عنوان لایه جداساز بین لایه‌های بستر و زیر بالاست در راه آهن (Indraratna et

ژئوگرید نسبت به حالت غیرمسلح باشد. بدین منظور آن‌ها، آزمایش‌های CBR را طبق استاندارد ASTM D1883-99 روی خاک مسلح شده با یک لایه ژئوگرید انجام دادند.

برای تعیین ضخامت لایه سنگریزه لازم در راه‌سازی عموماً از آزمایش CBR برای لایه بستر استفاده می‌شود. اگرچه آزمایش CBR برای یک ماده واحد معتبر است، با این حال می‌تواند معیاری کیفی برای تاثیر مثبت تسلیح با

جدول 2. درصد CBR با توجه به نوع خاک، نوع ژئوگرید و محل قرارگیری آن (Kamel et al., 2004)

نوع ژئوگرید	محل قرارگیری (%)	درصد CBR اشباع			درصد تغییر با توجه به مقدار آن در حالت غیرمسلح		
		SP	SC	CM	SP	SC	CM
بدون ژئوگرید	-	4.15	1.1	1.05	-	-	-
ژئوگرید نوع 1	20	5.25	1.52	1.26	28	38	20
	40	5.83	1.84	1.52	40	67	45
	60	6.46	2.24	1.84	56	104	75
	80	6.83	2.52	2.15	65	129	105
ژئوگرید نوع 2	20	4.62	1.41	1.15	11	28	5
	40	4.99	1.7	1.31	20	66	25
	60	5.83	1.97	1.58	40	79	50
	80	6.3	2.23	1.84	52	103	75

ژئوگرید، بیشتر می‌شود. آن‌ها همچنین با رسم دوایر مور، تاثیر تسلیح را بر چسبندگی خاک و زاویه اصطکاک خاک بررسی کردند. طبق این تحقیق، تسلیح با ژئوگرید باعث افزایش چسبندگی خاک می‌شود. این در حالی است که تغییر مشهودی در زاویه اصطکاک داخلی خاک دیده نمی‌شود. در این آزمایش‌ها، با توجه به فشار محصورکنندگی ثابت و جانمایی ژئوگرید در موقعیت‌های مختلف، افزایش قابل ملاحظه‌ای در مقدار مدول الاستیسیته اولیه⁷ خاک گزارش کردند. همانند آن‌چه در مورد آزمایش CBR گفته شد، در این جا نیز بیشینه مقدار مدول الاستیسیته در 0.8 ارتفاع نمونه از پایین آن رخ داده است. به عبارت دیگر، نمونه خاک مسلح، رفتار انعطاف‌پذیرتری نسبت به حالت غیرمسلح، از خود بروز می‌دهد. افزایش مقاومت ژئوگرید نیز تاثیر بیشتری بر افزایش مدول الاستیسیته داشته است. در مورد جانمایی ژئوگرید، براساس نتایج حاصل از آزمایش CBR و درون‌یابی، بازه‌ای در حدود 72-76٪ ارتفاع نمونه از پایین آن پیشنهاد شده است.

براساس آیین‌نامه AASHTO مقدار 54٪ از کل تغییرشکل‌های ماندگار روسازی، مربوط به تغییرشکل لایه بستر و زیرساز می‌باشد. بنابراین خصوصیات پلاستیک خاک بستر دارای اهمیت می‌باشد. از این رو، آن‌ها آزمایش

لایه ژئوگرید در موقعیت‌های 20٪، 40٪، 60٪ و 80٪ نسبت به پایین نمونه قراردادده شد. جدول 2 نتایج حاصل از آزمایش CBR را نشان می‌دهد. تفاوت در میزان افزایش ظرفیت خاک به دلیل تفاوت در نوع خاک، نوع ژئوگرید و همچنین محل قرارگیری آن می‌باشد. همان‌طور که دیده می‌شود، هرچه خاک بستر غیرمسلح ضعیف‌تر باشد، تاثیر تسلیح با ژئوگرید، پررنگ‌تر است. ژئوگرید با سختی بیشتر، عملکرد تاثیرگذارتری داشته است.

آن‌ها همچنین رفتار خاک مسلح را در آزمایش تحکیم‌نیافته زهکشی‌نشده⁶ طبق استاندارد ASTM D2850-03 بررسی نمودند. آن‌ها تاثیر میزان فشار محصورکننده و محل قرارگیری ژئوگرید را بر مدول الاستیسیته خاک مورد مطالعه قراردادند. با توجه به نتایج حاصله، در حضور تسلیح، گسیختگی در تنش انحرافی بیشتری رخ می‌دهد. در یک تنش محصورکنندگی به اندازه 40 کیلوپاسکال، میزان تنش انحرافی نظیر گسیختگی، از 215.4 کیلوپاسکال در حالت غیرمسلح به 426 کیلوپاسکال در حالت مسلح رسیده است. این نتیجه از جانمایی ژئوگرید در 0.8 ارتفاع کل نمونه نسبت به پایین آن حاصل شده است. آن‌ها گزارش نموده‌اند که تنش انحرافی با افزایش تنش محصورکنندگی و افزایش سختی

است که افزایش سختی ژئوگرید، نقش موثری در کاهش کرنش‌های ماندگار دارند.

4- طراحی روسازی مسلح با ژئوگرید

تسلیح با ژئوگرید در راه سازی، برای پایداری بستر و کاهش ضخامت لایه اساس به کار می رود. Al Ghadi et al., (1997) میزان کارایی تسلیح با ژئوستتیک ها، با توجه به مقاومت خاک و نوع ژئوستتیک قابل پیش بینی می باشد. ژئوگرید در بسترهای بسیار ضعیف عموماً برای پایداری بستر به کار می رود و با افزایش مقاومت بستر، هدف، بهینه سازی ضخامت لایه اساس می باشد.

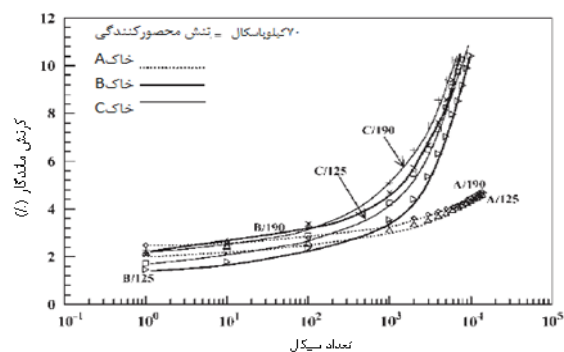
Zhao and Foxworthy در سال 1999 رفتار خاک مسلح شده با ژئوگرید جهت تعیین پارامترهای طراحی روسازی انعطاف-پذیر با استفاده از استاندارد AASHTO مورد بررسی قرار داده اند. بار سیکی روی یک صفحه صلب دایره ای با شعاع 300 میلی متر اعمال شده و بیشینه بار وارده 40 کیلو نیوتن است که در نتیجه آن مقدار تنش اعمالی 570 کیلو پاسکال می باشد. ضخامت لایه آسفالت 75 میلی متر و ضخامت لایه اساس 300 میلی متر در نظر گرفته شده است. ژئوگرید به کار رفته دارای خصوصیات زیر می باشد.

جدول 3. خصوصیات ژئوگرید به کار رفته در آزمایش Zhao and Foxworthy (1999)

عمود بر جهت دستگاه	در جهت دستگاه	واحد	جنس
پلی پروپیلن تزریقی			
240		g/m ²	وزن مخصوص
75		%	اندازه چشمه
20.5	13.5	kN/m	مقاومت کششی نهایی
325	220	kN/m	مدول کششی در کرنش 2٪
260	180	kN/m	مدول کششی در کرنش 5٪
19.2	12.2	kN/m	مقاومت نقطه اتصال

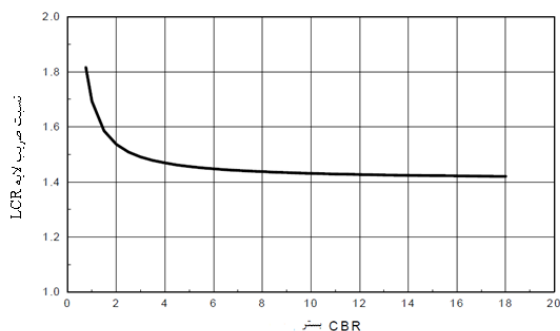
در خصوص نحوه آزمایش به استاندارد ASTM D1883-94 اشاره شده است. با توجه به تحقیقات آن ها، نمودار شکل 5 تعداد سیکل های

سه محوری سیکی را برای بررسی رفتار خاک مسلح تحت بار دینامیکی انجام دادند. محل قرارگیری ژئوگرید در این آزمایش ها، 0/8 ارتفاع نمونه (مقدار بهینه جانمایی) در نظر گرفته شد. در این آزمایش ها، تاثیر تنش انحرافی، تعداد سیکل، تنش محصورکنندگی و تسلیح، بر نرخ کرنش های ماندگار مورد بررسی قرار گرفت. مقدار تنش اصلی حداکثر بین 195 تا 260 کیلو پاسکال با سرعت 70 سیکل بر دقیقه و مقدار تنش محصورکنندگی به ترتیب 40، 70 و 140 کیلو پاسکال اعمال شد. تغییرشکلی معادل 20٪ ارتفاع نمونه را به عنوان تغییرشکل لحظه گسیختگی در نظر گرفته شده است. آن ها مشاهده نمودند که با افزایش سیکل بارگذاری پس از 100 سیکل و خارج شدن نمونه از محدوده الاستیک، میزان کرنش های ماندگار افزایش می یابد. در هزارمین سیکل بارگذاری، در خاک ماسه ای، میزان کرنش های ماندگار از 4.86٪ در حالت غیرمسلح به 4.51٪ در حالت مسلح با ژئوگرید نوع دو و 4.07٪ با ژئوگرید نوع اول کاهش می یابد. این نتایج نشان می دهد که با افزودن ژئوگرید به خاک، میزان کرنش های ماندگار در حدود 7 تا 16 درصد کاهش می یابد و میزان کاهش تغییرشکل، بستگی به نوع خاک و میزان سختی ژئوگرید دارد. نمودار شکل 4 نیز تاثیر تنش انحرافی را بر کرنش های ماندگار در یک تنش محصورکنندگی ثابت ارائه می دهد.



شکل 4. نمودار کرنش های ماندگار در برابر در تنش محصورشدگی ثابت و ژئوگرید نوع اول (Kamel et al., 2004)

مطابق شکل 4، با افزایش تنش محصورکنندگی، میزان کرنش ماندگار کاهش می یابد؛ اما با افزایش تنش انحرافی به میزان آن افزوده می شود. همچنین نمودارها حاکی از آن



شکل 6: نمودار نسبت ضریب لایه در برابر CBR در آزمایش (Zhao and Foxworthy, 1999). با توجه به آزمایش ها و نتایج فوق، ضخامت لایه دانه‌ای مورد نیاز برای خاکی با $SN=1500000$ و $CBR=5\%$ از 32.58 به 42.52 سانتی متر کاهش خواهد یافت. آن‌ها همچنین برای ارزیابی این بررسی، چندین آزمایش بزرگ مقیاس نیز ترتیب دادند. نتایج آزمایش های بزرگ مقیاس نیز در تایید نتایج آزمایش های آزمایشگاهی برآمد و نشان داد که با افزودن ژئوگرید به روسازی، میزان ضخامت لایه دانه ای کاهش می یابد و این امر باعث صرفه جویی در هزینه‌های ساخت می‌گردد. طبق مطالعات صورت گرفته توسط شرکت (2002) vulcanhammer، گام اول در طراحی یک سیستم تسلیح مناسب برای روسازی راه، تعیین ویژگی‌های بستر شامل دانه‌بندی، حدود اتربرگ، مقاومت برشی درجا و ظرفیت باربری می‌باشد. مقاومت برشی برجا را می توان از طریق آزمایش برش پره به صورت مستقیم بدست آورد و یا به صورت غیرمستقیم از نسبت ظرفیت باربری کالیفرنیا (CBR) و جداول تبدیل، تعیین نمود.

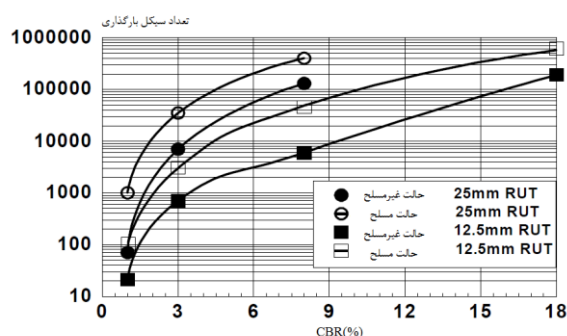
4-1- ارزیابی عملکرد ژئوستتیک ها برای روسازی دانه‌ای

در تحقیقی از شرکت (2002) vulcanhammer، میزان تسلیح مورد نیاز برای روسازی های دانه ای با توجه به CBR لایه بستر، تقسیم بندی شده است.

- بستر با CBR کمتر از 0.5

تسلیح بستر با CBR کمتر و یا مساوی 0.5، عموماً جهت پایداری صورت می‌گیرد. در این تحقیق یک لایه

بارگذاری در مقابل مقدار CBR را نشان می‌دهد که برای میزان گودافتادگی چرخ 12.5 میلی متر و 25 میلی متر رسم شده است.



شکل 5. نمودار میزان CBR در برابر تعداد سیکل بارگذاری در حالت مسلح و غیرمسلح (Zhao and Foxworthy, 1999)

طبق آیین نامه AASHTO برای طراحی روسازی مسلح شده با ژئوگرید، از رگرسیون زیر می توان استفاده کرد که در آن تعداد ساختمانی SN نشان دهنده ظرفیت باربری لازم برای گروه لایه های روسازی می باشد.

$$SN = a_1 * d_1 + LCR * a_2 * d_2 \quad (1)$$

و a_1 و a_2 : ضریب لایه های روسازی یعنی لایه آسفالت و لایه اساس دانه‌ای می‌باشد که از روی مدول ارتجاعی مصالح تخمین زده می‌شود.

d_1 و d_2 : ضخامت لایه های روسازی

LCR: ضریبی تحت عنوان نسبت ضریب لایه تعریف شده است که اگر این ضریب کوچکتر از یک شود، میتوان ضخامت لایه دانه‌ای را کاهش داد و در صورت ثابت ماندن ضخامت، عمر بهره وری افزایش خواهد یافت.

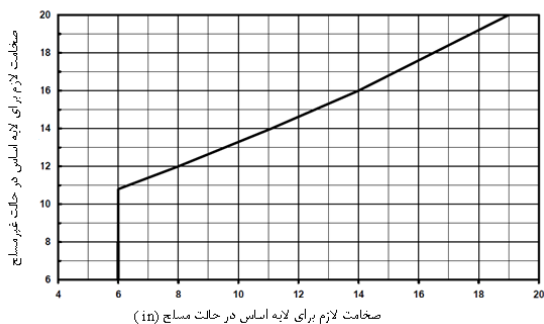
پیش از این، (1997) Carroll et al. چنین ضریبی را برای کمی کردن اثر تسلیح روسازی انعطاف پذیر با ژئوگرید معرفی کردند.

آن‌ها رابطه بین LCR و CBR بستر را با استفاده از تابع شکل زیر تعیین کردند که نشان می دهد هرچه CBR کمتر باشد میزان LCR بیشتر شده و ضخامت بهینه افزایش می یابد.

هزینه چرخه عمر بهره وری سنجیده شود.

- بستر با CBR بزرگتر از 8

چنین بستری غالباً بدون تسلیح، از خود عملکرد مناسبی نشان می دهد؛ مگر این که برای فیلتر لایه های روسازی نیاز به استفاده از یک لایه ژئوتکستایل بافته نشده داشته باشد.



شکل 7. نمودار وبستر برای تعیین ضخامت لایه مساج (Webster, 2001)

5- نتیجه گیری

در دو دهه اخیر، رونق استفاده از ژئوسنتتیک ها در مهندسی عمران، محققین را به سوی انجام مطالعات گسترده ای پیرامون عملکرد این مصالح سوق داده است. طبق مطالعات صورت گرفته، استفاده از ژئوسنتتیک ها موجب بهبود ویژگی های مکانیکی خاک می شود. علاوه بر آن، حضور تسلیح، باعث توقف یا کاهش نرخ کرنش قائم خواهد شد. بهبود عملکرد خاک مسلح با ژئوگرید به عنوان نوع خاصی از ژئوسنتتیک ها، استفاده از آن را در مواردی همچون راه سازی مورد توجه قرار داده است.

با در نظر گرفتن دو اثر افزایش ظرفیت باربری بستر و توزیع مناسب بارهای متمرکز بر بستر مسلح با ژئوگرید، استفاده از این محصولات می تواند عاملی در جهت کاهش ضخامت لایه روسازی گردد. همچنین تسلیح با ژئوگرید باعث افزایش چسبندگی خاک می شود. این در حالی است که تغییر مشهودی در زاویه اصطکاک داخلی خاک دیده نمی شود. حضور ژئوگرید در خاک، باعث افزایش قابل ملاحظه ای در مقدار مدول الاستیسیته خاک می گردد. طبق مطالعات ارائه شده در این مقاله، قرارگیری ژئوگرید در

ژئوتکستایل بافته نشده برای جدایش و یک لایه ژئوگرید دوماحوری برای تسلیح پیشنهاد شده است. با توجه به مقاومت کم بستر، ضخامت لایه اساس باید به همان میزانی باشد که برای بستر غیرمسلح مورد استفاده قرار می گیرد. لایه ژئوگرید در این موقعیت، از طریق انتقال سطح گسیختگی، ظرفیت باربری بستر را افزایش می دهد.

- بستر با CBR بین 0.5 تا 2

تسلیح در این حالت علاوه بر پایدارسازی بستر، برای بهینه سازی ضخامت لایه اساس نیز به کار گرفته می شود. یک لایه ژئوتکستایل بافته نشده جهت جدایش و یک لایه ژئوگرید دوماحوری برای کاهش ضخامت لایه اساس توصیه شده است.

- بستر با CBR بین 2 تا 4

در این حالت غالباً از ژئوتکستایل بافته نشده برای جدایش استفاده می گردد اما تسلیح با ژئوگرید باید از لحاظ اقتصادی سنجیده شود. حضور ژئوگرید به عنوان تسلیح به منظور افزایش چرخه عمر بهره وری، می تواند یک گزینه اقتصادی باشد.

4-2- ارزیابی عملکرد ژئوسنتتیک ها برای روسازی

انعطاف پذیر

- بستر با CBR کمتر از 0.5.

همانند آن چه در روسازی دانه ای گفته شد، یک لایه ژئوتکستایل به عنوان فیلتر و یک لایه ژئوگرید برای تسلیح به کار می رود و ضخامت لایه دانه ای نباید نسبت به حالت غیرمسلح کاهش یابد.

- بستر با CBR بین 0.5 تا 4

در این حالت نیز، یک لایه ژئوتکستایل به عنوان فیلتر و یک لایه ژئوگرید برای تسلیح به کار می رود و ضخامت لایه دانه ای طبق روش تجربی (Webster 2001) در صورت امکان کاهش می یابد.

- بستر با CBR بین 4 تا 8

برای چنین بستری، لایه ژئوتکستایل جهت جدایش لازم نیست. همچنین استفاده از ژئوگرید نیز باید با توجه به

low volume flexible pavements: accelerated testing of full scale heavily instrumented pavement sections", International Journal of Pavement Engineering, 12 (2), pp.121-135.

- ASTM D4439. (2006), "Standard Terminology for Geosynthetics", Annual Book of ASTM Standards, Vol. 4.13, ASTM International, West Conshohocken, PA, pp. 19-23.
- ASTM D1557-02. (2002), "Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort".
- ASTM D1883-99. (1999), "Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of Laboratory-Compacted Soil".
- ASTM D2850 – 03. (2003) "Standard Test Method for Unconsolidated Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils".
- Basset, R.H., and Last, N.C. (1978) "Reinforcing earth below footings and embankments, Proc", symposium on earth reinforcement, Pittsburgh, pp. 202-231.
- Brown, S. F., Brodrick, B. V., and Hughes, D. A. B. (1984). "Tensar Reinforcement of Asphalt: Laboratory Studies Polymer Grid Reinforcement", A Conference Sponsored by SERC and Netlon, Ltd, London, England, pp. 158-165.
- Cancelli A., M. F. (1996) "Full scale laboratory testing on geosynthetics reinforced paved roads. on Earth Reinforcement", pp. 573-578.
- Carroll, R.G., Walls, J.C. and Haas, R. (1997) "Granular base reinforcement of flexible pavements using geogrids", Proceeding of Geosynthetics '87, IFAI, New Orleans, pp. 46-57.
- Chang, F. W. K. (1990) "Permanent Deformation Resistance of Granular Layers in Pavements", Ph.D. Thesis, University of Nottingham, United Kingdom.
- Dondi, G. (1994) "Three-dimensional finite element analysis of a reinforced paved road",

فاصله کمتر از لایه‌های روسازی درون بستر راه، باعث بهبود قابل توجهی در پارامترهای مقاومتی آن می‌گردد.

6- پی‌نوشت

1. Geosynthetic
2. High Density Polyethylene (HDPE)
3. Polyethylene Terephthalate (PET)
4. Membrane effect
5. Polyvinyl chloride (PVC)
6. Unconfined un drained(UU)
7. Elasticity modulus initial

7- مراجع

- شفاابخش، غ.ع.، (1390) "نسل‌بندی خاکریز و بستر راهها با استفاده از ژئوگرید"، پژوهش‌های حمل و نقل.
- شه‌کلاهی، الف.ر.، (1390) "معرفی و تاریخچه محصولات ژئوستتیک"، مجله ژئوستتیک صص. 11-15.
- گرایلی افرا، م.، (1389) "ژئوگرید و کاربرد آن در پروژه‌ها"، فناوری حمل و نقل صص. 60-65.
- صدیریان‌زاده، م.، (1383) معرفی ژئوستتیک‌ها و کاربرد آن‌ها در مهندسی عمران، یازدهمین کنفرانس دانشجویان عمران سراسر کشور.
- ظهیر کاشانی، ح.ر.، خداوردیان، ه.، بهنیا، س.، (1389)، معرفی ژئوستتیک‌ها و کاربرد آن‌ها در مهندسی عمران، کنفرانس مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد.
- Abu Farsakh, M. Y., and Qiming, C. (2010) "Evaluation of geogrid base reinforcement in flexible pavement using cyclic plate load testing", International Journal of Pavement Engineering, 12 (3), pp.275-287.
- Al-Qadi, I. L., Brandon, T. L., and Bhutta, A. (1997) "Geosynthetic Stabilized Flexible Pavements, Proceedings of Geosynthetics", 97, IFAI, Vol. 2, Long Beach, California, pp. 647-662.
- Al-Qadi, I. L., Dessouky, S., Tutumluer, E. and Kwon, J. (2010) "geogrid mechanism in

- (1995) Journal of the Society of Materials Science, Japan, 44 (503), pp.1011-1014.
- Pandy, S., Ramachandra, R., and Devesh, T. (2012), "effect of geogrid reinforcement on critical responses of bituminous pavements", 25th ARRB conference, Perth, Australia, pp. 1-13.
 - Perkins, S. a. (1997), "A synthesis and evaluation of geosynthetic-reinforced base layers in flexible pavements", Geosynthetics International , 4 (6), pp.549-604.
 - Retzlaff, J., Turczynski, K., and Schwerdt, S. (2006), "The effect of geogrids under unbound sub base layers", the 8th International Conference on Geosynthetics. Yokohama.
 - Santoni, Rosa L., Smith, Carroll J., Tingle, J.S., and Webster, S.L. (2001), "Expedient Road Construction Over Soft Soils", Technical Report TR-01-7, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
 - Saran, S. (2013), "Reinforced Soil and Its Engineering Applications (2 ed.)" , New Delhi: I K International Publishing House.
 - Shukla, S. K., and Yin, J.-H. (2006), "Fundamental of geosynthetic engineering", London: Taylor and Francis group.
 - Singh, P., and Gill, K. (june 2012), "CBR improvement of clayey soil with geogrid reinforcement", international journal of Emerging technology and advance engineering , 2 (6), pp.315-318.
 - The American Association of State Highway and Transportation Officials, A. A. (1993), AASHTO design of pavement structures.
 - Virgili, A., Canestrari, F., Grilli, A. and Santagata, F.A. (2009), "Repeated Load Test on Bituminous. Systems Reinforced by Geosynthetics", pp.187-195.
 - Vulcanhammer company. (2002), "use of geogrid in pavement construction".
 - 5th international conference on geotextile, singapore, 1, pp. 95-100.
 - Douglas, R. A. (1993), "Stiffness's of Geosynthetic Built Unpaved Road Structures: Experimental Program, Analysis and Results", Proceedings of Geosynthetics '93, IFAI, Vol. 1, Vancouver, British Columbia, Canada, pp. 21-34.
 - Fakharian, K. & Attar, I. H. (2007), "Static and seismic numerical modeling of geosynthetic-reinforced soil segmental bridge abutments" , Geosynthetics International 14, No. 4, pp.228-243.
 - Fukuoka, M. (1988), "Earth Reinforcement West and East", Proceeding of the International Geotechnical Symposium on Theory and Practice of Earth Reinforcement, pp.33-47.
 - Gupta, R., and Zornberg, J. (2005), "quantifying the benefits for using geosynthetics in unbound base course of pavement in high PI clays", the Graduate Engineering Council. Austin: University of Texas at Austin.
 - Gupta, R., and Zornberg, J. G. (2009), "reinforcement of pavements over expansive clay subgrades", the 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Alexandria, egypt, pp. 765-768.
 - Haas, R. (1984) "Structural Behavior of Tensar Reinforced Pavements and Some Field Applications, Polymer Grid Reinforcement", A Conference Sponsored by SERC and Netlon, Ltd., Thomas Telford, London, England, pp. 166-170.
 - Indraratna, B., Khabbaz, H., Salim, W., Christie, D., (2006), Geotechnical properties of ballast and the role of geosynthetics in rail track stabilization, Ground Improvement, 10, No. 3, pp.91-101.
 - Kamel, M. A., Satish, C., and Kumar, P. (2004), "behaviour of subgrade soil reinforced with geogrid", the international journal of pavement engineering , 5 (4), pp.201-209.
 - Nishigata, Tatsuaki and Nishida, Kazuhiko,

reinforced pavements over expansive", 9th International Conference on Geosynthetics. Brazil.

- Zornberg, J., Gupta, R., Prozzi, J., and Goehi, D. (2008), "case histories on geogrid reinforced pavements to mitigate problems associated with expansive subgrade soils", the first Pan American Geosynthetics Conference and Exhibition, Mexico., pp.983-992.
- Wathugala, G. B. (1996), "Numerical Simulation of Geosynthetic Reinforced", Transportation Research Record , 58-65.
- Zhao, A., and Foxworthy, P. T. (1999), "geogrid reinforcement of flexible pavements a practical perspective", Technical reference, GRID-DE-6 , pp.28-34.
- Zornberg, J., Gupta, R., and Ferreira, J. (2010), "Field performance of geosynthetic

Investigation on the Effect of Geogrid Reinforcement on the Strength Parameters of Subgrade

A. Mehrpajouh, M.Sc., Department of Civil Engineering, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

J. Aghaei, M.Sc., Department of Civil Engineering, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

S.N. Moghaddas Tafreshi, Professor, Department of Civil Engineering, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

E-mail: nas_moghaddas@kntu.ac.ir

ABSTRACT

In last decade, Geosynthetics as polimerical products have been applied for various use in civil engineering such as reinforcement, separation, filtration, Drainage, Fluid barrier and Protection. Subgrade soil and its properties are very important in the design of road pavement structure and Its main function is to give acceptable base to the pavement from underneath. Since Pavements constructed over soft subgrade having poor strength parameters such as CBR leading to more thickness of the pavement, successful use of geosynthetics is ensured in a given geotechnical application. As it is well-matched and effective in improving the soil properties when appropriately used. A geogrid as a geosynthetic material containing connected parallel sets of tensile ribs with apertures of sufficient size to allow strike-through of surrounding soil, stone, or other geotechnical material is a common form of subgrade reinforcement. Geogrids used in subgrade as a part of road pavement, has primary functions of geosynthetics which are separation and reinforcement. Geogrid have been successfully used to provide a construction platform over subgrades. Due to recent studies, lateral restraint, improved bearing capacity and tensioned membrane effect are reinforcement mechanisms which have been identified the use of geogrids to reinforce pavement materials. This study investigated the behavior of reinforced subgrade with geogrid and the effect of reinforcement on soil properties. it is considered various research on geogrid use in pavement. It is shown that the composite of geogrid and soil can reduce the desired thickness of aggregate layer. It is also mentioned that the use of geogrid in pavement system will affect the cohesion of subgrade and improve the mohr-coloumb strength parameter of the soil.

Keywords: Geosynthetic, Geogrid, Reinforcement, Subgrade