



تأثیر تغییرات CBR خاک بستر تسلیح شده با ژئوسنتتیک‌های ترکیبی بر کاهش ضخامت لایه‌های روسازی

- ۱- مرتضی گلشنی منش
کارشناس ارشد عمران، گرایش مکانیک خاک و پی
دانش آموخته‌ی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد
Morteza_golshanimanesh@yahoo.com
- ۲- البرز حاجیان
استادیار دانشکده عمران - دانشگاه آزاد اسلامی
واحد نجف آباد
Alborzhn@yahoo.com
- ۳- مسعود میر محمد صادقی
استادیار عمران و رئیس مجتمع عالی
آموزشی و پژوهشی صنعت آب و برق اصفهان
Msadeghi84@yahoo.com
- ۴- مریم گلشنی منش
کارشناس ارشد معماری - عضو هیأت علمی
دانشگاه آزاد اسلامی واحد نائین
golshanimanesh@gmail.com

چکیده

بستر روسازی راه که نهایتاً پی روسازی راه محسوب می‌شود (Subgrade) سطح آخرین لایه‌ی متراکم شده‌ی خاکریزها، خاک‌برداری‌ها و یا زمین طبیعی موجود و یا اصلاح شده است. این بستر طبق مشخصات و شرایط خاص آماده شده و اولین قشر روسازی راه روی آن قرار می‌گیرد. از نتایج آزمایش نسبت باربری کالیفرنیا (CBR) معمولاً برای ارزیابی خاک بستر روسازی استفاده می‌شود. در اغلب روش‌های متداول طرح روسازی‌ها چه به صورت مستقیم و یا به صورت غیر مستقیم از نتایج آزمایش CBR استفاده می‌گردد. مشخص شده است که CBR خاک‌ها تابعی از جنس، میزان رطوبت و وزن مخصوص خاک و نحوه انجام آزمایش است. CBR خاک‌های درشت دانه از CBR خاک‌های ریز دانه بزرگ‌تر است. هر اندازه خاکی بیشتر کوبیده و متراکم شده باشد CBR آن بیشتر خواهد بود. رطوبت تأثیر منفی بر CBR خاک‌ها (به خصوص خاک‌های ریز دانه) دارد و با افزایش میزان رطوبت خاک از CBR آن کاسته می‌شود. در این مقاله با توجه به نتایج آزمایشات CBR انجام شده بر روی خاک رس بستر که با ژئوسنتتیک‌های ترکیبی (۲ لایه ژئوتکستایل و یک لایه ژئوممبرین در میان آن) مسلح گردیده است به میزان تأثیر استفاده از این محصولات با توجه به پتانسیل عملکردی موجود در آن در افزایش CBR که نهایتاً منجر به کاهش ضخامت لایه‌های روسازی می‌شود پرداخته خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: خاک بستر، ژئوسنتتیک، CBR، روسازی، ظرفیت باربری



۱- مقدمه

انسان از دیرباز با مطالعه طبیعت اطراف خود با مفاهیم تقویت، تثبیت و تسلیح خاک به منظور افزایش قابلیت‌های ضعیف آن آشنا بوده است. انسان در طبیعت اصول ساخت پناهگاه‌های جانوران را با استفاده از الیاف گیاهان و گل مشاهده می‌کرده و خود از این شیوه برای ساخت سرپناه استفاده کرده است. در تاریخ می‌خوانیم اقوامی مثل بابلیان و مصریان با استفاده از الیاف گیاهان در خاک اقدام به ساخت معابد می‌کردند. در آسیا چینی‌ها و ژاپنی‌ها با به‌کارگیری گیاه بامبو در خاک، مقاومت خاک بستر طبیعی را افزایش می‌دادند. استفاده از حصیر، شاخ و برگ، ذغال، پوست حیوانات و حتی چرم در خاک مشاهده شده است. وجود این نوع شواهد بیانگر آن است که بشر با ضعف خاک و مصالح نظیر آن در تحمل نیرو با خصوص نیروهای کششی و برشی آشنا بوده است و به‌کارگیری آن داشته تا با استفاده از موادی که از طبیعت سرچشمه می‌گرفته این ضعف را جبران کند. استفاده از مصالح مصنوعی و ساخته دست بشر در امر تقویت خاک بر خلاف تاریخچه قدیمی تسلیح خاک عمر طولانی ندارد، چرا که مصالح بادوام و مقاوم که در محیط طبیعی بتوانند عمر طولانی داشته باشند و قابلیت انعطاف کافی با خاک را نیز دارا باشند را قبل از کشف نفت و مواد حاصل از آن در اختیار انسان نبوده است. پیشرفت‌های علم شیمی به خصوص پتروشیمی و علوم وابسته در ساخت مصالح پلیمری مهم‌ترین گام در این زمینه بوده است. در دوران معاصر اولین مورد استفاده از الیاف‌ها در مسلح سازی جاده‌ها به سال ۱۹۲۶ برمی‌گردد. در این سال اداره بزرگراه‌های ایالت کارولینای جنوبی با به‌کارگیری الیاف پنبه‌ای ضخیم در پوشش لایه اساس و روکش کردن آن با آسفالت گرم نخستین تجربیات را در این زمینه کسب نمود. این آزمایش‌ها در ۸ منطقه مختلف انجام و نتایج آن در سال ۱۹۳۵ منتشر گشت. [1]

بنابراین مشاهده می‌گردد عملاً تا قبل از تولید مصنوعات پلیمری، به‌کارگیری الیاف طبیعی در امر مسلح سازی خاک چندان رایج نبوده است. با بیان مطالب فوق‌الذکر به نظر می‌رسد تاریخچه تقویت و تسلیح خاک در دوران معاصر با تاریخچه ساخت و تولید مواد پلیمری که ساخت ژئوسنتتیک‌ها را در پی داشته وجه اشتراک فراوانی داشته

باشد. به منظور آگاهی عموم از وسعت کاربرد مصنوعات ژئوسنتتیک کنفرانس‌های متعددی در سطح زمین تاکنون برگزار شده است. مهم‌ترین این کنفرانس‌ها که با عنوان اختصاصی ژئوسنتتیک‌ها و یا ژئوتکستایل‌ها برگزار گردیده‌اند عبارتند از کنفرانس پاریس در سال ۱۹۷۷ [2]، کنفرانس لاس‌وگاس ۱۹۸۱ [3]، کنفرانس وین ۱۹۸۶ [4]، کنفرانس در کشور هند ۱۹۹۰ [5]، کنفرانس سنگاپور ۱۹۹۳ [6] و کنفرانس آتلانتا ۱۹۹۸ [7].

از این رو در این مقاله با توجه به آزمایشاتی که محقق انجام داده است به تاثیر کاربرد ژئوسنتتیک‌های ساخته شده از مواد پلیمری در نتایج آزمایش CBR بستر راه و به تبع آن تغییرات ضخامت لایه‌های روسازی می‌پردازیم.

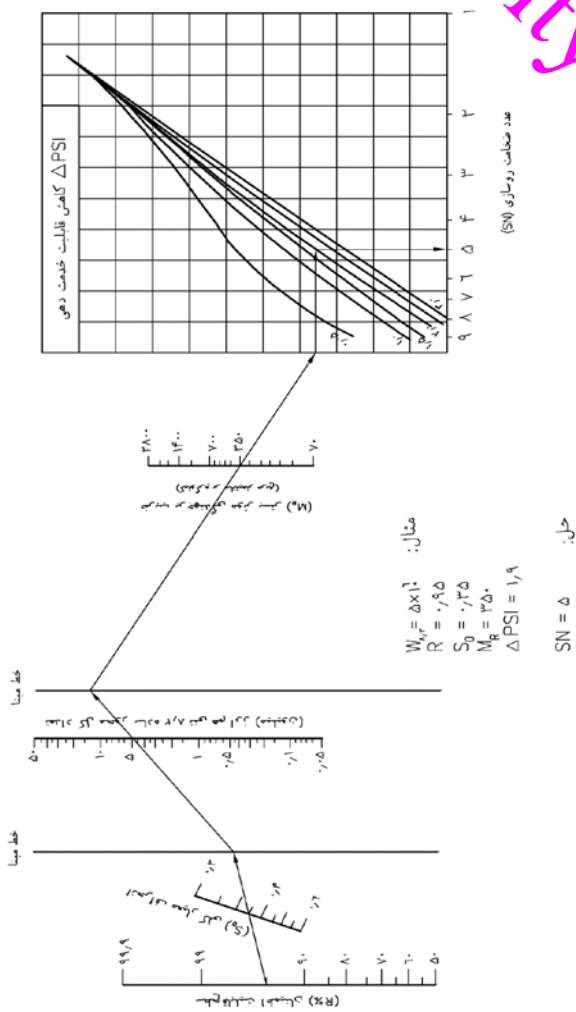
۲- روند طراحی روسازی راه و تاثیر CBR بستر

گرچه در آیین‌نامه‌های متعدد راه‌سازی از جمله آیین‌نامه CBR عدد CBR تأثیر مستقیمی بر روی ضخامت لایه‌های روسازی دارد ولیکن با توجه به اینکه بعضی از این آیین‌نامه‌ها بعضی پارامترهای دیگر نظیر عوامل جوی و رطوبت را به طور کامل در طراحی لحاظ نمی‌کنند کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند، با این حال در آیین‌نامه‌هایی هم که امروزه متداول هستند و کلیه شرایط از جمله شرایط جوی، قابلیت زهکشی، سطح قابلیت اطمینان و غیره را در طراحی لحاظ می‌کنند باز هم CBR نقش به‌سزا و تعیین‌کننده‌ای هم به طور مستقیم و هم به طور غیر مستقیم در تعیین ضخامت لایه‌های روسازی را داراست. در آیین‌نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران [8] روند طراحی مطابق با شکل (۲) می‌باشد. با توجه به این شکل مشخص است که در طراحی روسازی در کلیه شرایط یکسان و فقط با تغییر ضریب برجهندگی بستر که آن نیز مستقیماً متأثر از CBR بستر می‌باشد و با استفاده از شکل (۱) قابل تعیین است، در مراحل پایانی طراحی عدد سازه‌ای روسازی متناسب با تغییر CBR تغییر چشمگیری خواهد نمود.

با توجه به اینکه مقایسه طرح نهایی روسازی بستری که با ژئوکامپوزیت‌ها مسلح می‌شود یا به عبارتی CBR آن افزایش می‌یابد بر اساس کلیه متغیرها مانند شرایط مختلف جوی، زهکشی، بارگذاری و دیگر پارامترهای

دخیل که در شکل (۲) نیز مشخص هستند نیازمند تحقیق و پژوهش بیشتر و کاری زمان بر می‌باشد، همچنین معرفی و بحث در مورد سایر متغیرهای تأثیر گذار در ضخامت لایه‌های روسازی به غیر از عدد CBR بستر مورد تحقیق ما نمی‌باشد، لذا در این بخش به معرفی دیگر پارامترهای دخیل در طراحی روسازی نظیر سطح قابلیت اطمینان، کاهش سطح خدمت دهی و چگونگی تغییر این پارامترها نمی‌پردازیم و فقط روند به دست آوردن عدد ضخامت روسازی با ذکر یک مثال در شکل (۲) آورده شده است.

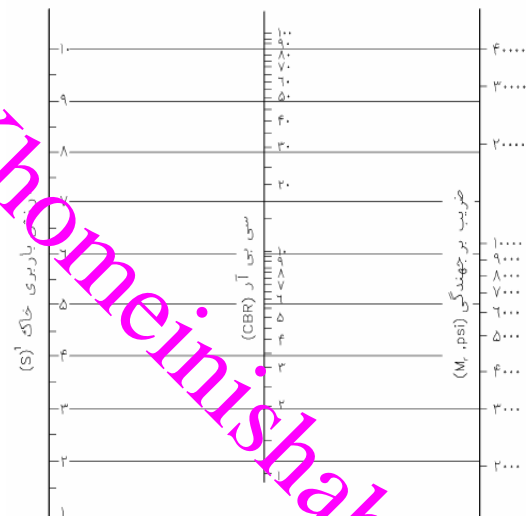
می‌کند که منجر به اثرگذاری بیشتر در کاهش ضخامت لایه‌های روسازی می‌شود ولیکن تأثیر تغییر این پارامترها موضوع پژوهش ما نمی‌باشد لذا برای اطلاع بیشتر و کم و کیف پارامترهای نشان داده شده در شکل شامل سطح قابلیت اطمینان، انحراف معیار کلی، تعداد کل محور ساده ۸/۲ هم ارزش و کاهش قابلیت خدمت دهی و همچنین چگونگی تعیین ضخامت‌های لایه زیر اساس و رویه آسفالتی به خوانندگان این پایان نامه جهت آشنایی با این پارامترها و مطالعه بیشتر منبع شماره [8] پیشنهاد می‌گردد.



شکل (۲) - طریقه بدست آوردن عدد سازه ای روسازی (SN) [8]

$$SN = \frac{1}{2.5} a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2 + a_3 m_3 D_3$$

که در آن SN: عدد سازه ای روسازی و a_3, a_2, a_1 به ترتیب ضرایب لایه‌های قشر آسفالتی، اساس شکسته و زیر اساس که بر اساس ضرایب ارتجاعی حداقل به ترتیب



1- Soil Support Value

شکل (۱) تعیین ضریب برجهندگی بستر با استفاده از عدد CBR [8]

پس از تعیین SN از شکل (۲) ضخامت لایه‌های روسازی بر اساس پارامترهای دیگر تخمین زده می‌شود. با توجه به اینکه در شکل فوق به غیر از ضریب برجهندگی مؤثر بستر که تابعی از عدد CBR بستر می‌باشد پارامترهای متغیر دیگری نیز دخیل هستند، عمده ترین مزیت و تفاوت استفاده از ژئوکامپوزیت‌ها در تسلیح خاک نسبت به سایر روش‌های مسلح سازی این است که در سایر روش‌ها فقط CBR خاک افزایش داده می‌شود و در سایر پارامترهای مؤثر در تعیین ضخامت لایه‌های روسازی تغییری ایجاد نمی‌شود ولی با توجه به روند طراحی که به آن اشاره شد با استفاده از ژئوکامپوزیت‌ها علاوه برافزایش ظرفیت باربری که متناسب با آن ضریب برجهندگی بستر تغییر می‌کند، ضرایب زهکشی لایه‌های زیر اساس و اساس و همچنین کاهش قابلیت خدمت دهی نیز با توجه به خواص و پتانسیل ژئوکامپوزیت تغییر



جدول (۳) - اطلاعات فنی مربوط به ژئوتکستایل فوقانی

ژئوکامپوزیت			
الیاف محتوا	پلی اتیلن ترفتالات		
Fiber Content	Polyethylene Terephthalate		
نوع ساختمان	اتصال سوزنی		
Construction	Needle Punch		
مشخصه	روش آزمون	واحد	نتیجه‌ی آزمون
Parameter	Method	Unit	Result
جرم واحد سطح	ASTM D5261	-2 g.m	400 ± 40
Mass Per Unit Area			
ضخامت	ASTM D5199	mm	3.00 ± 0.30
Thickness @ 2 kPa Load			
نیروی لازم برای پارگی	ASTM D4632	N	Min. 800
Grab Breaking Load			
تغییر طول در زمان پارگی	ASTM D4632	%	Min. 70
Grab Elongation			
مقاومت پارگی دوزنقه ای	ASTM D4533	N	Min. 600
Trapezoid Tear Strength			
تغییر طول پارگی دوزنقه ای	ASTM D4533	%	Min. 60
Trapezoid Tear Elongation			
ضریب مقاومت سوراخ شدگی	ASTM D4833	N	Min. 400
Puncture Index			

جدول (۴) - اطلاعات فنی مربوط به ژئوتکستایل تحتانی ژئوکامپوزیت

ژئوکامپوزیت			
الیاف محتوا	پلی اتیلن ترفتالات		
Fiber Content	Polyethylene Terephthalate		
نوع ساختار	اتصال سوزنی		
Construction	Needle Punch		
مشخصه	روش آزمون	واحد	نتیجه‌ی آزمون
Parameter	Method	Unit	Result
جرم واحد سطح	ASTM D5261	-2 g.m	200 ± 20
Mass Per Unit Area			
ضخامت	ASTM D5199	mm	2.20 ± 0.20
Thickness @ 2 kPa Load			
نیروی لازم برای پارگی	ASTM D4632	N	Min. 300
Grab Breaking Load			
تغییر طول در زمان پارگی	ASTM D4632	%	Min. 100
Grab Elongation			
مقاومت پارگی دوزنقه ای	ASTM D4533	N	Min. 200
Trapezoid Tear Strength			
تغییر طول پارگی دوزنقه ای	ASTM D4533	%	Min. 200
Trapezoid Tear Elongation			
ضریب مقاومت سوراخ شدگی	ASTM D4833	N	Min. 200
Puncture Index			

۴- خاک مورد استفاده و آزمایش CBR

از نظر کیفی می‌توان خاک‌های مورد استفاده در روسازی را طبق جدول (۵) طبقه بندی نمود.

جدول (۵) - مورد استفاده خاک‌ها در روسازی

مورد استفاده	کیفیت خاک	CBR
خاک بستر روسازی	خیلی بد	۰-۳
خاک بستر روسازی	بد	۳-۷
لایه زیر اساس	متوسط	۷-۲۰
لایه زیر اساس و اساس	خوب	۲۰-۵۰
لایه اساس	عالی	>۵۰

۰/۳۲، ۰/۱۳ و ۰/۱۱ می‌باشد و D_3, D_2, D_1 : ضخامت لایه های آسفالتی، اساس و زیراساس بر حسب سانتی متر و m_3, m_2 : به ترتیب ضرایب زهکشی لایه‌های زیراساس و اساس می‌باشند.

۳- کاربرد ژئوستنتیک‌های چند لایه، ویژگی های آن‌ها و نقش آن‌ها در افزایش CBR

در تعریف شرایط مربوط به این تحقیق ذکر این موضوع ضروری است که در بین لایه‌ی نرم کم مقاومت خاک بستر با لایه‌ی درشت دانه‌ی با مقاومت بیشتر به محصولی احتیاج است که علاوه بر افزایش ظرفیت باربری بستر که کاهش ضخامت لایه های روسازی را در پی خواهد داشت، این محصول به عنوان یک میان لایه (Interface) به منظور عدم اختلاط خاک دو لایه عمل نماید که ژئوتکستایل‌ها عملکرد های مذکور را دارا هستند علاوه بر این، این محصول باید از نفوذ پذیری در جهت قائم جلوگیری نموده که ژئوممبرین‌ها دارای این خاصیت هستند. همچنین حال این محصول خاصیت نفوذ پذیری در جهت افق را نیز باید دارا باشد که باز ژئوتکستایل‌ها در این زمینه عملکرد خوبی دارند، لذا محصول ژئوکامپوزیت (شکل ۳) (ترکیب ۲ لایه ژئوتکستایل و یک لایه ژئوممبرین در میان آن) می‌تواند بهترین گزینه در این شرایط باشد که مجموع عملکرد های فوق را به طرز هم زمان دارا باشد. مشخصات ژئوکامپوزیت مورد استفاده در این تحقیق و ژئوستنتیک های به کار رفته در آن در جداول (۱، ۲، ۳ و ۴) آمده است.



شکل (۳) - لایه ژئوکامپوزیت بریده شده به شکل مقطع قالب CBR

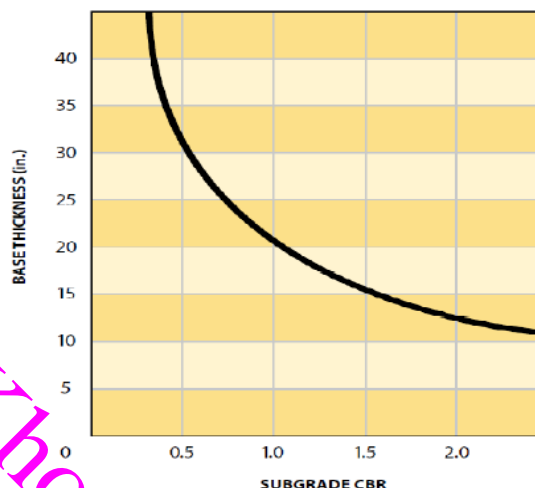
جدول (۱) - مشخصات کلی ژئوکامپوزیت مورد استفاده

ژئوکامپوزیت دو طرفه		نوع محصول	
Double-Sided		Construction	
نتیجه آزمون	واحد	روش آزمون	مشخصه
Result	Unit	Method	Parameter
100 ± 1500	-2 g.m	ASTM D5261	جرم واحد سطح
0.30 ± 3.70	Mm	ASTM D5199	ضخامت
			Thickness @ 2 kPa Load

جدول (۲) - اطلاعات فنی مربوط به ژئوممبران میانی ژئوکامپوزیت



همچنین به دلیل ساده سازی و محسوس بودن تاثیر CBR در ضخامت لایه های روسازی صرف نظر از دیگر پارامتر های دخیل در امر طراحی روسازی، می‌توان شکل (۴) را در نظر گرفت.



شکل (۴) تعیین عمق مورد نیاز مصالح دانه ای در جاده های دانه ای [9]

خاک مورد استفاده در این تحقیق و مشخصات آن بر طبق آزمایش‌های شناسایی خاک که توسط محقق انجام شده در جدول (۵) آمده است.

جدول (۵) - مشخصات خاک مورد استفاده در این پژوهش		
مشخصات	مقدار	استاندارد
نوع خاک	A-6	AASHTO
طبقه بندی	CL	ASTM-D2487
چگالی توده (Gs)	۲/۷	ASTM 854
حد روانی (Wl)	٪۳۰	AASHTO-T89
حد خمیری (Wp)	٪۱۹	AASHTO-T90
شاخص خمیری (PI)	٪۱۱	AASHTO-T90
رطوبت بهینه (Wopt)	٪۱۶	AASHTO-T180 (D)
($\gamma_{d max}$)	$\frac{1}{84} \frac{gr}{cm^3}$	AASHTO-T180 (D)

همچنین آزمایش CBR طبق استاندارد ASTM-D1883 با در نظر گیری ۳ متغیر عمق قرار گیری لایه تسلیح کننده، درجه تراکم و اشباعیت انجام گرفت. دستگاه CBR که آماده بارگذاری بر روی نمونه می‌باشد و همچنین یک نمونه از خاک مورد نظر که اشباع گردیده و تحت بارگذاری پیستون CBR قرار گرفته است به ترتیب در شکل (۵ و ۶) نشان داده شده است.

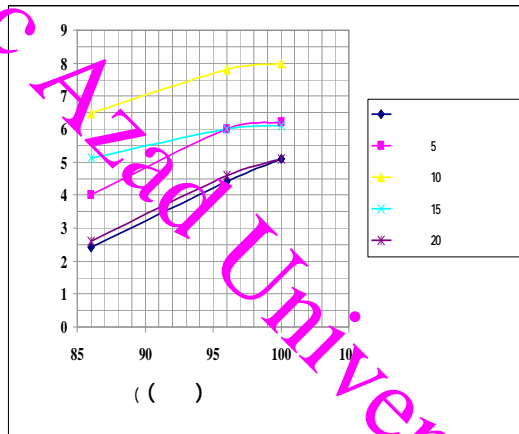


شکل (۵) - دستگاه CBR آماده نفوذ سنبه در قالب CBR

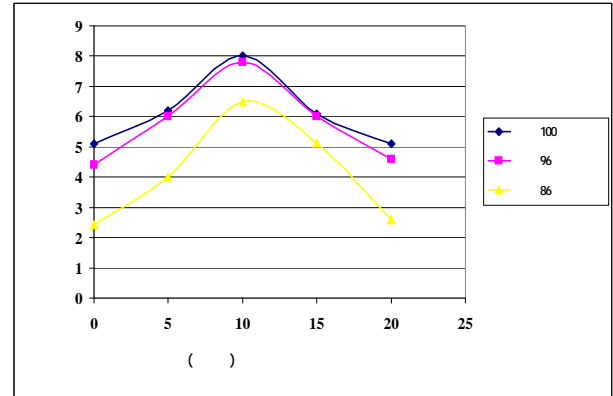


شکل (۶) - محل نفوذ سنبه در نمونه‌ی اشباع

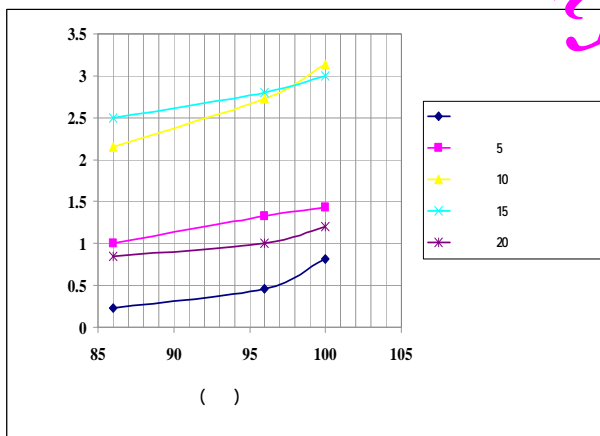
۵- بررسی متغیر عمق قرار گیری تسلیح کننده در نمونه های خشک (با رطوبت بهینه) و اشباع در نمودار شکل (۷) عمق صفر برای حالتی در نظر گرفته شده که تسلیح کننده ای در خاک به کار نرفته باشد. با توجه به نمودار مذکور مشخص است که عمقی که بیشترین CBR در نمونه های با رطوبت بهینه به دست می‌آید عمقی در حدود ۱ سانتی متر است که اگر لایه‌ی ژئوکامپوزیت در عمقی کمتر یا بیشتر از این عمق قرار گیرد تأثیر کمتری بر روی نسبت ظرفیت باربری خواهد داشت. در اعماق جایگذاری کمتر از ۱ سانتی متر نسبت ظرفیت باربری کاهش خواهد یافت که دلیل این موضوع می‌تواند کاهش محصور شدگی توسط خاک باشد همچنین در اعماق جایگذاری بیش از ۱ سانتی متر نیز نسبت ظرفیت باربری روند کاهشی خواهد داشت که این دلیل این موضوع نیز فاصله گرفتن تسلیح کننده از سنبه می‌تواند باشد.



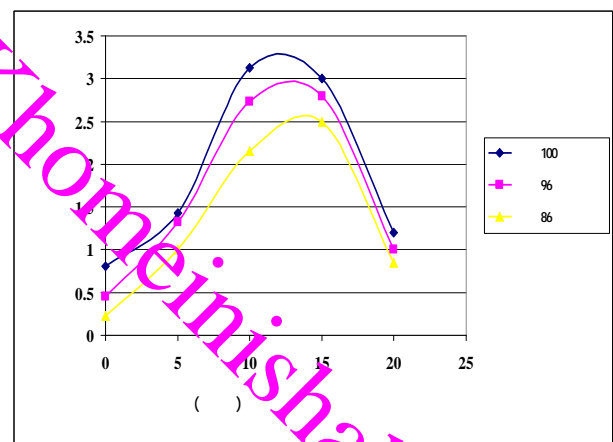
شکل (۹) - تأثیر درجه تراکم در CBR نمونه های خشک



شکل (۷) - تأثیر متغیر عمق قرار گیری تسلیح کننده در خاک در CBR نمونه های خشک (با رطوبت بهینه)



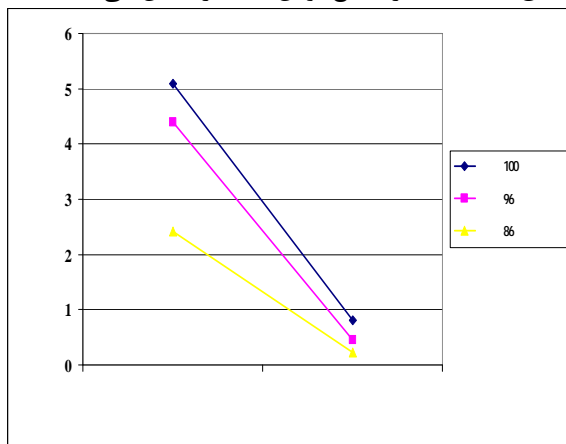
شکل (۱۰) - تأثیر درجه تراکم در CBR نمونه های اشباع



شکل (۸) - تأثیر متغیر عمق قرار گیری تسلیح کننده در خاک در CBR نمونه های اشباع

۷- بررسی متغیر میزان رطوبت (اشباع بودن)

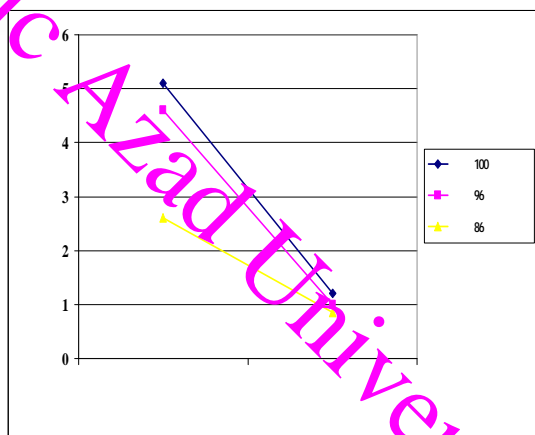
به جهت اینکه نتایج مربوط به آزمایشات و تأثیر اشباع بودن نمونه بر روی CBR خاک مشخص گردد نمودارهای (۱۱ تا ۱۵) در ادامه آمده‌اند که به صورت مجزا در نمونه های غیر مسلح و همچنین در نمونه های تسلیح شده در اعماق مختلف تأثیر اشباع بودن خاک را نشان می‌دهند.



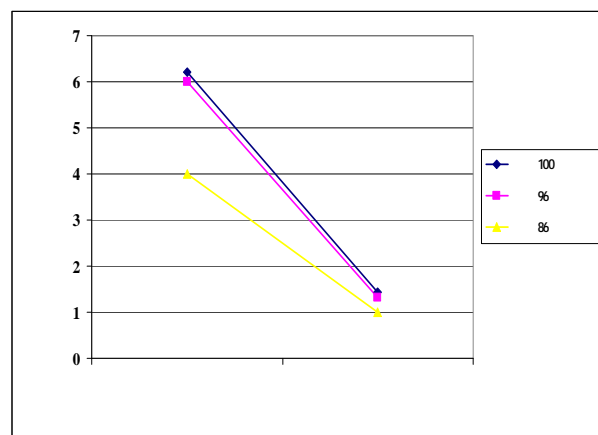
شکل (۱۱) - تأثیر اشباع شدن نمونه بر CBR در نمونه های غیر مسلح

۶- بررسی متغیر درجه تراکم در نمونه های خشک (با رطوبت بهینه) و نمونه های اشباع

برای نشان دادن میزان افزایش CBR با توجه به درجه‌ی تراکم خاک، نتایج مربوط به آزمایشات در حالتی که خاک با رطوبت بهینه کوبیده شده و همچنین نمونه‌هایی که اشباع گردیده‌اند و مورد آزمایش قرار گرفته‌اند در نمودارهای شکل (۹ و ۱۰) نشان داده شده‌اند.

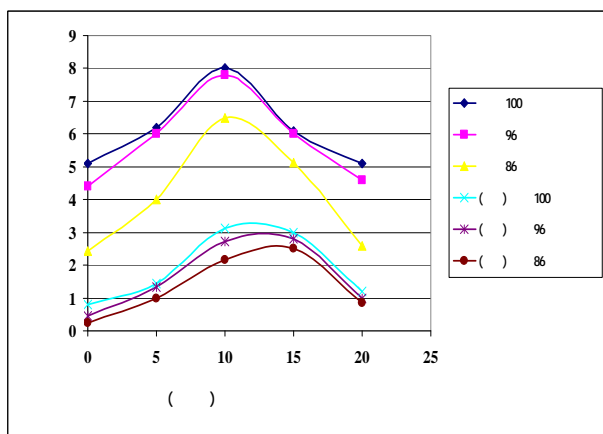


شکل (۱۱) - تأثیر اشباع شدن نمونه بر CBR در نمونه های تسلیح شده در عمق ۲۰ میلی متری



شکل (۱۲) - تأثیر اشباع شدن نمونه بر CBR در نمونه های تسلیح شده در عمق ۵ میلی متری

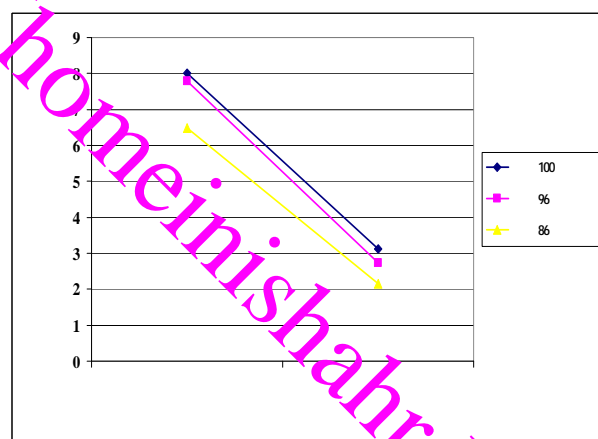
۸- بررسی نتایج با در نظر گرفتن کلیه پارامترها با توجه به اینکه پارامترهای درجه تراکم، اشباعیت و عمق قرار گیری تسلیح کننده در داخل خاک هر کدام تأثیر خاص خود بر روی CBR را خواهند داشت و به دلیل مقایسه نتایج و میزان تأثیر پارامترهای ذکر شده به طوری که همه نتایج بر روی یک گراف قابل قیاس باشند شکل (۱۶) ارائه شده است.



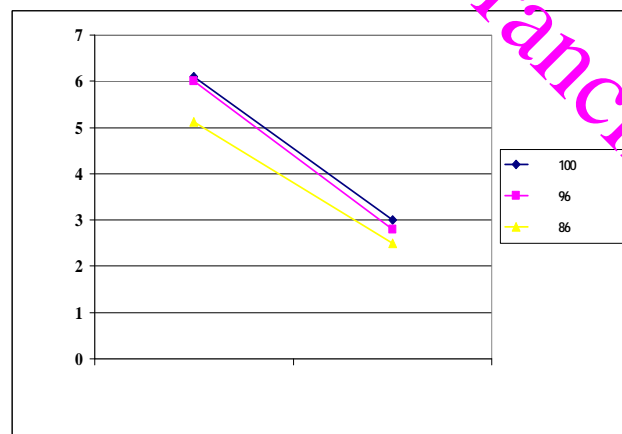
شکل (۱۶) - مقایسه کلی نتایج CBR برای نمونه های خشک و اشباع در تراکم های مختلف با توجه به عمق قرار گیری تسلیح کننده

۹- نتیجه گیری

با توجه به تحقیق انجام شده در کنار نتایج جزئی و موردی که با ارائه نمودارها به آن اشاره شد، صرف نظر از دیگر خواص و پتانسیل موجود در ژئوکامپوزیت ها نظیر افزایش عمر مفید روسازی جاده ها و همچنین افزایش میزان زهکشی در جهت افقی و موارد دیگر که هر کدام محاسنی است که در جهت کاهش ضخامت لایه های



شکل (۱۳) - تأثیر اشباع شدن نمونه بر CBR در نمونه های تسلیح شده در عمق ۱۰ میلی متری



شکل (۱۴) - تأثیر اشباع شدن نمونه بر CBR در نمونه های تسلیح شده در عمق ۱۵ میلی متری



۸- مراجع

- [1] Beckham, W.K. and Mills W.H. "Cotton-Fabric-Reinforced Roads" Eng. News - Record, oct. 3, 1935.
- [2] Proc. Intl. Conf. Use of fabrics in Geotechnics. Paris: Assoc. Amicale des Ingenious, 1977.
- [3] Proc. 2d Intl. Conf. Geotextiles. ST.Paul, MN: Industrial Fabrics Assoc. International, 1982.
- [4] Proc. 3d Intl. Conf. Geotextiles. ST.Paul, MN: Vienna Industrial Fabrics Assoc. International, 1986.
- [5] Proc. 4d Intl. Conf. Geotextiles, Geomembrances and Related Products. Rotterdam: A.A. Balkema, 1990.
- [6] Proc. 5d Intl. Conf. Geotextiles, Geomembrances and Related Products and Related Products. Singapore: Southeast Asia Chapter, IGS, 1994.
- [7] Proc. 6d Intl. Conf. Geotextiles, Geomembrances and Related Products and Related Products. Atlanta, USA, 1998.
- [8] معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، "آیین نامه روسازی آسفالتی راه های ایران"، وزارت راه و شهرسازی، موسسه قیر و آسفالت ایران پژوهشکده حمل و نقل، ۱۳۹۰.
- [9] صبا، حمید رضا و افتخار زاده، فرهاد و حسینی صابر، جمیله سادات (۱۳۹۰)، "بررسی افزایش ظرفیت باربری خاک‌های مسلح شده دانه ای مخلوط به وسیله ژئوتکستایل توسط آزمایش CBR و مدل عددی ANSYS"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تفرش.

روسازی در جای خود مؤثر خواهند بود، لیکن صرفاً با در نظر گیری تاثیر مستقیم و غیر مستقیم افزایش ظرفیت باربری خاک به خاطر تسلیح با ژئوکامپوزیت، مهم ترین نتیجه‌ای که می‌توان گرفت این است که استفاده از ژئوکامپوزیت ها یا همان ژئوسنتتیک‌های مرکب از ژئوتکستایل و ژئو ممبرین علاوه بر تاثیر مستقیم بر روی ظرفیت باربری و عدد CBR که کاهش ضخامت لایه های روسازی را در پی خواهد داشت به طور غیر مستقیم با جلوگیری از اشباع شدن خاک نیز باعث می‌شود که سی بی آری که در طراحی مد نظر قرار می‌گیرد CBR خشک باشد نه CBR اشباع که این نیز باعث کاسته شدن از ضخامت لایه های روسازی خواهد شد. میزان این تاثیرات از نظر کمی به گونه ای است که CBR خاک در بحرانی ترین حالت (حالت اشباع) از عدد کمتر از ۱ در حالت غیر مسلح به عدد نزدیک به ۲ در حالت اشباع و تسلیح شده در عمق بهینه و همچنین به عدد نزدیک به ۸ در حالت بهینه تسلیح در خاک خشک می‌رسد که با توجه به اینکه ژئوکامپوزیت مورد استفاده در عمل از اشباع شدن خاک نیز جلوگیری می‌کند سی بی آری که در طراحی ملاک قرار می‌گیرد CBR خشک یعنی تقریباً ۸ می‌باشد که این مقدار CBR در زمینهای روسازی راه مقدار قابل قبولی است به طوری که در بعضی شرایط و با در نظر گیری متغیر های دیگر به صورت خاص حتی می‌توان از اجرای لایه‌ی زیر اساس صرف نظر کرد (مراجعه به جدول ۵). شایان ذکر است که تاثیر مستقیم و غیر مستقیم محصول ژئوکامپوزیت یکی از ویژگی های منحصر به فرد این محصول می‌باشد، به عبارت دیگر اگر محصولی باشد (مثل ژئوگرید ها یا ژئوتکستایل ها به صورت مجزا و یا دیگر محصولات ژئوسنتتیک که خاصیت آب بندی ندارند) که CBR خاک در بحرانی ترین حالت (حالت اشباع) را از عدد کمتر از ۱ در حالت غیر مسلح به عدد نزدیک به ۲ در حالت اشباع و تسلیح شده در عمق بهینه و همچنین به عدد نزدیک به ۸ در حالت بهینه تسلیح در خاک خشک برساند ولی خصوصیات ژئوکامپوزیت را نداشته باشد، مثلاً در جهت قائم نفوذ پذیر باشد، سی بی آری که در طراحی ملاک قرار می‌گیرد تقریباً ۲ خواهد بود چرا که در جهت اطمینان با توجه به اینکه خاک در معرض اشباع شدن قرار دارد حالت بحرانی (حالت اشباع) را باید در نظر گرفت.