



دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
(پلی تکنیک تهران)

سال چهل و پنج، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۲، صفحه ۴۳ تا ۵۱  
Vol. 45, No.1, Summer 2013, pp. 43-51



نشریه علمی - پژوهشی امیرکبیر (مهندسی عمران و محیط زیست)  
Amirkabir Journal of Science & Research (Civil & Environmental Engineering)  
(AJSR - CEE)

## بررسی اثر ژئوتکستایل‌ها در افزایش باربری روسازی (قسمت اول: مطالعات آزمایشگاهی)

مسعود مکارچیان<sup>۱\*</sup>، جهانگیر الیاس<sup>۲</sup>

۱ استادیار دانشکده مهندسی دانشگاه بوعلی سینا

۲ کارشناس ارشد مهندسی عمران دانشکده مهندسی دانشگاه بوعلی سینا

(دریافت ۱۳۹۰/۵/۲۳، پذیرش ۹۱/۱۰/۳)

### چکیده

کاربرد ژئوتکستایل‌ها به‌عنوان مصالحی با مقاومت بیشتر نسبت به خاک، در چند دهه اخیر، به‌ویژه در راهسازی، مورد توجه محققین و سازمان‌های مختلف واقع شده است. در این تحقیق با استفاده از مدل‌سازی آزمایشگاهی، نقش ژئوتکستایل‌ها در افزایش باربری روسازی مورد ارزیابی قرار گرفته است. ابعاد، به‌گونه‌ای انتخاب شده است که شرایط مرزی اثر کمی بر نتایج داشته باشد. آزمایش‌های CBR اصلاح شده با استفاده از قالبی که به این منظور ساخته شده انجام شده است. ژئوتکستایل‌های بافته‌نشده سوزنی، تحت شرایط انتهای آزاد و گیردار، روی لایه رس نرم (معادل بستر نرم) و در زیر لایه ماسه (معادل زیراساس) قرار می‌گیرند. نتایج نشان می‌دهند که ژئوتکستایل‌ها، باعث افزایش باربری روسازی شده و این افزایش باربری با افزایش میزان نشست، زیاد می‌شود.

### کلمات کلیدی

ژئوتکستایل، روسازی، ظرفیت باربری، آزمایش CBR

\* نویسنده مسئول و عهده دار مکاتبات  
Email: makarchian@yahoo.com

جدول (۱): مشخصات رس مورد استفاده در آزمایش‌ها

طبقه‌بندی خاک	$\gamma_{d_{max}}$ ( $\frac{kN}{m^3}$ )	$\omega_{opt}$ (%)	$G_s$	$C_u$ (kPa)	PL	LL
CL	۱۶/۲۵	۲۰	۲/۶۷	۲۷	۱۸	۳۱

در انتخاب دانه‌بندی ماسه برای مدل‌سازی لایه درشت‌دانه (زیراساس)، مطالب و دستورالعمل‌های نشریه ۱۰۱ (مشخصات فنی و عمومی راه) [۱]، درمورد دانه‌بندی لایه زیراساس مدنظر قرار گرفت. مشخصات کلی و منحنی دانه‌بندی ماسه به ترتیب در جدول (۲) و شکل (۱) نشان داده شده است.

در این تحقیق از چهار نوع ژئوتکستایل بافته‌نشده سوزنی موسوم به ۸۰، ۶۰، ۴۰، ۲۰ TS محصول شرکت پلی‌فلت استفاده شده است. مشخصات این محصولات در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول (۲): مشخصات ماسه مورد استفاده در آزمایش‌ها

طبقه‌بندی خاک	$\gamma_{d_{max}}$ ( $\frac{kN}{m^3}$ )	$\omega_{opt}$ (%)	$G_s$	$\varphi^\circ$	C (kPa)	$C_u$	$C_c$
SP	۲۰/۳۰	۱۱	۲/۷۳	۳۴	۰	۱۴	۰/۱۰

جدول (۳): مشخصات فیزیکی، مکانیکی و هیدرولیکی

ژئوتکستایل‌های پلی‌فلت - نوع TS

خصوصیات	TS ۲۰	TS ۴۰	TS ۶۰	TS ۸۰
اندازه چشمه ( $O_{95}$ ) میلی‌متر	۰/۲۶	۰/۳۴	۰/۱۸	۰/۱
ضخامت میلی‌متر	۱/۲	۱/۷	۲/۲	۳/۲
جرم واحد سطح، گرم بر سانتی‌متر مربع	۱۲۵	۱۸۰	۲۵۰	۳۸۵

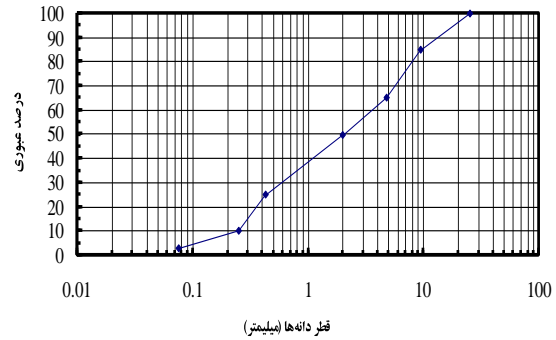
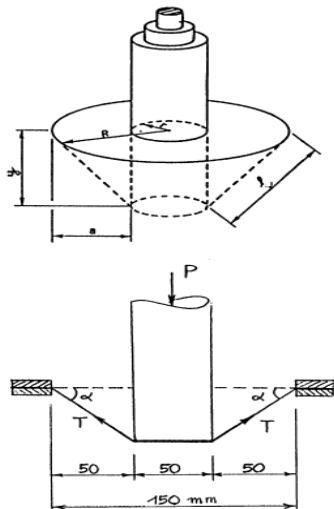
## ۱- مقدمه

تسلیح عبارت است از بهبود مقاومت کل سامانه با قراردادن ژئوتکستایل (با عملکرد مناسب در کشش) در خاک (با مقاومت فشاری نسبتاً مناسب و ضعف در کشش) [۲]. در دهه‌های اخیر استفاده از ژئوتکستایل‌ها در پژوهش‌های راهسازی، رشد زیادی داشته است. در ابتدا از این مصالح برای جدانمودن مصالح ریزدانه و درشت‌دانه و جلوگیری از اختلاط این مصالح استفاده می‌شد که در این زمینه می‌توان به تحقیقات بزرگ‌مقیاس فانین و سیگردسون [۳] (۱۹۹۹) و هولتز و بلک [۴] (۱۹۹۱) اشاره نمود. همچنین عماد القادی و همکاران [۵]، با انجام یک سری آزمایش بزرگ‌مقیاس به این نتیجه رسیدند که با استفاده از ژئوتکستایل‌های بافته‌نشده سوزنی، کم‌ترین عمق شیاری در روسازی ایجاد می‌شود و این مصالح به‌خوبی باعث جدایی لایه بستر و زیراساس می‌شوند. اما در زمینه نقش تسلیح ژئوتکستایل‌ها و نیز روش‌های مختلف تسلیح و اثر این بافته‌ها در افزایش باربری روسازی مطالعات زیادی به‌عمل آمده است. گیروود و نویری [۶] (۱۹۸۱)، به این نتیجه رسیدند که ظرفیت باربری بستر نرم روسازی در حالت غیرمسلح برابر  $q_p = (\pi) C_u$  و در حالت مسلح برابر حداکثر ظرفیت باربری، یعنی  $q_p = (\pi + 2) C_u$  خواهد بود.  $C_u$ ، مقاومت برشی زهکشی نشده رس است. با تعریف نسبت ظرفیت باربری به‌صورت حداکثر باربری در حالت مسلح به غیرمسلح، گیروود و نویری افزایش باربری را برابر با  $1/6$  پیشنهاد دادند. مطالعات مشابهی نیز توسط استوارد و همکاران [۷] (۱۹۷۷) بارنبرگ و همکاران [۸] (۱۹۷۵)، میلیگان و همکاران [۹] (۱۹۸۹) انجام شده است در این روش‌ها افزایش میزان باربری در حالت مسلح به غیرمسلح به ترتیب برابر با  $1/7$ ،  $1/8$  و  $2$  پیشنهاد شده است.

در این تحقیق، ضمن بررسی رفتار تنش- کرنش ژئوتکستایل‌ها، یک سری آزمایش CBR اصلاح شده بر روی روسازی مسلح و غیر مسلح انجام شده و نتایج حاصل مقایسه خواهند شد.

## ۲- مشخصات مصالح مورد استفاده

رس لالچین که کاربرد وسیعی در صنعت و هنر سفال دارد، برای مدل‌سازی بستر نرم مورد استفاده قرار گرفت. مشخصات کلی رس مورد استفاده در جدول (۱) ارائه شده است.



شکل (۱): منحنی دانه‌بندی ماسه مصرفی

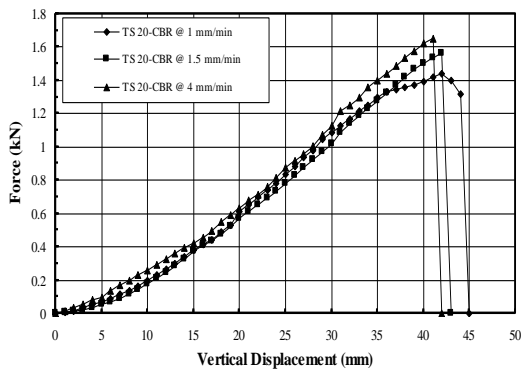
### ۳- ارزیابی رفتار تنش - کرنش ژئوتکستایل‌ها

شکل (۲): انجام آزمایش سوراخ‌شدگی CBR [۱۰]

همانگونه که دیده می‌شود، نتایج حاصل از آزمایش سوراخ‌شدگی ژئوتکستایل، فقط منحنی‌های نیروی قائم در برابر تغییر مکان قائم نمونه را به دست می‌دهد و به تنهایی نمی‌توان از آنان برای ارزیابی رفتار تنش - کرنش ژئوتکستایل بهره جست.



شکل (۳): قالب به کار رفته در تعیین مقاومت سوراخ‌شدگی ژئوتکستایل



شکل (۴): آزمایش سوراخ‌شدگی CBR بر روی نمونه ژئوتکستایل نوع TS۲۰

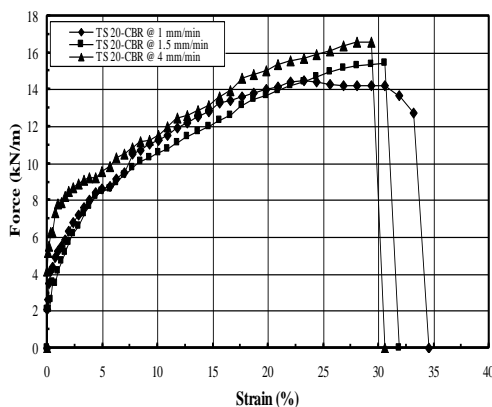
با توجه به این نکته که نسبت ابعاد سطح بارگذاری ناشی از بار ترافیکی،  $L/B$ ، کمتر از ۲ است، بارگذاری و رفتار موجود بسیار شبیه به حالت متقارن است؛ بنابراین در این قسمت، به ارزیابی رفتار تنش - کرنش ژئوتکستایل در شرایط بارگذاری متقارن پرداخته می‌شود. روش معمول برای رسیدن به این هدف، استفاده از نتایج آزمایش سوراخ‌شدگی CBR است. برای بررسی مقاومت سوراخ‌شدگی ژئوتکستایل‌ها، از روش استاندارد انگلستان طبق شکل (۲)، نمونه ژئوتکستایل، بین حلقه‌های گیردارکننده کاملاً محصور می‌شود. برای انجام آزمایش گفته شده، قالبی طبق شکل (۳) ساخته شد؛ برای اطمینان از تخریب نشدن ژئوتکستایل در لبه فلنچ‌ها، لبه‌ها به‌طور کامل صیقل زده شدند؛ و برای گیرداری کامل ژئوتکستایل، از ۶ عدد پیچ شماره ۸ استفاده شد. نمونه، در محل پیچ‌ها سوراخ شده و به‌طور کامل گیردار می‌شود. پس از آماده نمودن نمونه، آزمایش سوراخ‌شدگی CBR به‌صورت نفوذ سنبه بارگذاری در مرکز نمونه و تا لحظه گسیختگی انجام شد. برای بررسی اثر سرعت بارگذاری بر سختی ژئوتکستایل، آزمایش در سه سرعت مختلف ۱، ۱/۵ و ۴ میلی‌متر بر دقیقه انجام شد. نتایج این آزمایش‌ها به‌صورت منحنی‌های نیرو در برابر تغییر مکان، در شکل‌های (۴) و (۵) برای ژئوتکستایل‌های TS ۲۰ و ۴۰ ارائه شده است. مقادیر نمودار، میانگین دو بار تکرار آزمایش هستند. همانگونه که دیده می‌شود، سرعت بارگذاری، اثر بسیار ناچیزی بر نیروی سوراخ‌شدگی ژئوتکستایل حین گسیختگی دارد و با افزایش سرعت بارگذاری، نیروی گسیختگی حین شکست، به‌مقدار اندکی افزایش می‌یابد؛ اما در تغییر مکان‌های کمتر، این تفاوت به حداقل می‌رسد. از طرف دیگر، تغییر مکان حین گسیختگی، تابع میزان سرعت بارگذاری نیست.

۳-۱- روش انتخابی در ارزیابی رفتار تنش- کرنش ژئوتکستایل  
روش دیگری که برای ارزیابی و تحلیل مقاومت کششی و کرنش کششی ژئوتکستایلها، در شرایط متقارن مورد استفاده قرار می‌گیرد، توسط مکاران و همکاران (۱۹۹۸) [۱۱] بسط یافته است. در این روش، رابطه بین مقاومت کششی ژئوتکستایل، نیروی سوراخ‌کننده و تغییر مکان قائم سنبه بارگذاری به صورت روابط (۳) و (۴) است:

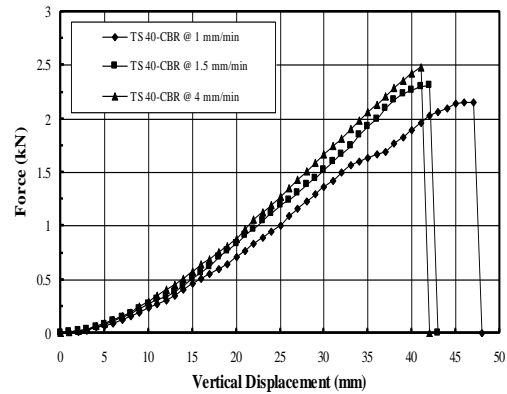
$$T = \frac{F}{2\pi r \sin\alpha} \quad (3)$$

$$\sin\alpha = \frac{y}{\sqrt{y^2 + 50^2}} \quad (4)$$

که در آن  $T$ ، نیروی کششی در واحد عرض ژئوتکستایل،  $F$ ، نیروی سوراخ‌کننده،  $r$  شعاع سنبه ( $r = 25$  میلی‌متر) و  $y$ ، تغییر مکان قائم سنبه است. همانگونه که اشاره شد، کرنش قائم سنبه از رابطه (۲) به دست می‌آید. نتایج این تحلیل در شکل‌های (۷) و (۸) برای  $TS_{20}$  و  $TS_{60}$  به عنوان نمونه نشان داده شده است. برگادو و همکاران (۲۰۰۳) [۱۰]، با ارزیابی نتایج این روش و آزمایش کششی یک‌محوره، به این نتیجه رسیدند که انرژی کرنشی (سطح زیر منحنی نیروی واحد عرض در برابر کرنش) در هر دو روش تقریباً یکسان است. با توجه به طبیعت تقریباً یکسان بارگذاری ناشی از بار ترافیکی و از طرفی انطباق نتایج آزمایش با آزمایش کششی یک‌محوره، در ارزیابی رفتار تنش- کرنش ژئوتکستایل از روش مکاران و همکاران استفاده می‌شود. با توجه به اینکه سرعت بارگذاری  $1/5$  میلی‌متر بر دقیقه، برای ارزیابی رفتار تنش- کرنش ژئوتکستایل مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل (۷): منحنی نیروی کششی در برابر کرنش با استفاده از روش مکاران برای ژئوتکستایل نوع  $TS_{20}$



شکل (۵): آزمایش سوراخ‌شدگی CBR بر روی نمونه ژئوتکستایل نوع  $TS_{40}$

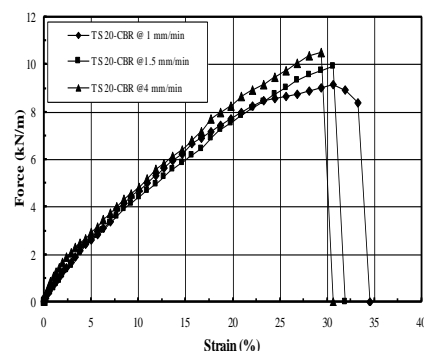
کازوفی و ونسیا، ۱۹۸۹، در مرجع [۱۱]، به مقایسه و ارزیابی نتایج حاصل از آزمایش کششی یک‌محوره و آزمایش سوراخ‌شدگی CBR پرداخته‌اند. در این تحقیق، رابطه تجربی (۱)، به دست آمد:

$$T_f = \frac{P_f}{2\pi r} \quad (1)$$

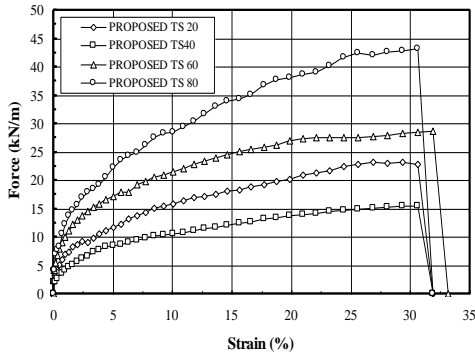
$T_f$ ، مقاومت کششی حین شکست در آزمایش کششی یک‌محوره،  $P_f$ ، نیروی سوراخ‌کننده در لحظه شکست نمونه حاصل از آزمایش سوراخ‌شدگی CBR و  $r$  شعاع سنبه CBR است (شکل (۲)). کرنش کششی ژئوتکستایل به صورت رابطه (۲) قابل محاسبه است:

$$\varepsilon_f = \frac{(l-a)}{a} \times 100 \quad (2)$$

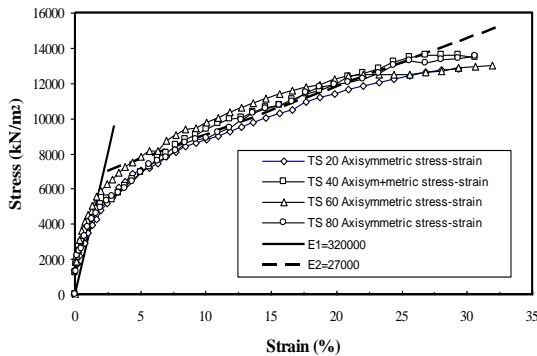
$A$ ، قطر سنبه بارگذاری و  $l$ ، طول کشیده شده بافته است. با توجه به این مطلب، نتایج آزمایش‌ها به صورت منحنی‌های نیروی واحد عرض در برابر کرنش ژئوتکستایل، قابل محاسبه و ارزیابی است؛ نتیجه این کار به عنوان نمونه در مورد  $TS_{20}$  در شکل (۶) ارائه شده است



شکل (۶): آزمایش سوراخ‌شدگی CBR بر روی نمونه منحنی نیروی کششی در برابر کرنش با استفاده از روش کازوفی برای ژئوتکستایل نوع  $TS_{20}$



شکل (۱۰): مقایسه نتایج نیروی کششی در برابر کرنش کششی برای انواع ژئوتکتایل‌ها



شکل (۱۱): منحنی تنش کششی در برابر کرنش کششی نمونه‌های آزمایشی

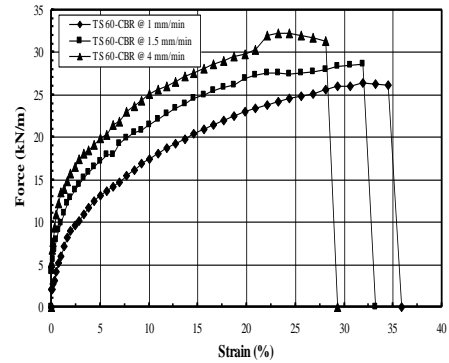
جدول (۴): مقادیر سختی ژئوتکتایل‌ها

ژئوتکتایل	سختی نمونه	
	$\varepsilon < 2/5\%$	$\varepsilon > 2/5\%$
TS۲۰	۳۸۴	۳۳
TS۴۰	۵۴۴	۴۶
TS۶۰	۷۰۴	۵۹
TS۸۰	۱۰۲۴	۸۶

#### ۴- انجام آزمایش‌های CBR اصلاح شده بر روی سامانه روسازی مسلح و غیرمسلح

##### ۴-۱- طرح قالب آزمایشی

با توجه به اینکه نسبت طول به عرض سطح تماس چرخ‌ها به‌طور معمول کمتر از ۲ است، با تقریب خوبی می‌توان بار چرخ

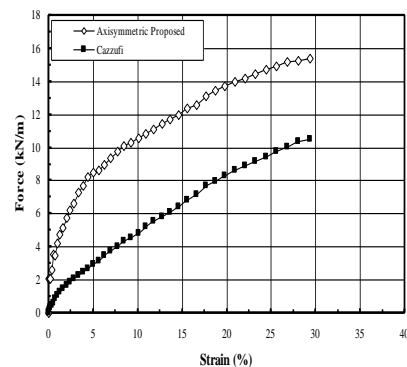


شکل (۸): منحنی نیروی کششی در برابر کرنش با استفاده از روش مک‌گاون برای ژئوتکتایل نوع TS۶۰

در شکل (۹)، به مقایسه نتایج این دو روش پرداخته شده است که در حالت کلی، شیب منحنی تنش-کرنش و نیز مقادیر نیروی موجود، حاصل از روش مک‌گاون، بیشتر از روش کازوفی حاصل می‌شود. در شکل (۱۰)، نتایج مربوط به مقادیر نیروی کششی در برابر کرنش کششی بافته‌ها ترسیم شده است.

##### ۳-۲- تعیین سختی ژئوتکتایل‌ها

برای ارزیابی مدول الاستیسیته نمونه‌ها مقادیر حاصل از شکل (۹)، بر ضخامت نمونه‌ها تقسیم شد که نتیجه این عمل در شکل (۱۰) به‌صورت تنش کششی در برابر کرنش کششی ارائه شده است. همانگونه که در شکل (۱۰) دیده می‌شود، رفتار تنش-کرنش ژئوتکتایل‌ها در یک نوار به‌خصوص بوده و می‌توان از آن برای تعیین سختی ژئوتکتایل‌ها در تحلیل عددی استفاده نمود. ژئوتکتایل‌ها تا کرنش ۲/۵ درصد، دارای سختی ۳۲۰۰۰۰ (جدول (۴)) کیلونیوتن بر متر مربع بوده و برای کرنش‌های بیشتر از ۲/۵ درصد، این مقدار به ۲۷۰۰۰ کیلونیوتن بر متر مربع کاهش می‌یابد. با ضرب این مدول در ضخامت نمونه‌ها، سختی آنها برای کاربرد در تحلیل عددی به‌دست می‌آید؛ بر این اساس سختی ژئوتکتایل‌ها در جدول (۴) ارائه شده است.



شکل (۹): مقایسه مقادیر حاصل از روش کازوفی و مک‌گاون برای ژئوتکتایل نوع TS۲۰

تهیه شده و با قرار دادن هر قسمت در دو پلاستیک محکم پس از اختلاط با آب و ورز دادن نمونه به مدت نیم ساعت، یک هفته در محلی دور از رطوبت و حرارت نگهداری می‌شد تا نمونه‌ای به‌طور کامل همگن تهیه شود. قبل از شروع آزمایش نیز همه کیسه‌ها روی هم ریخته شده و ترکیب می‌شد.

کوبش لایه رسی در چهار لایه انجام شد. تعداد ضربات لازم برای کوبش، با استفاده از چکش ۴۵/۳ نیوتنی که از ارتفاع ۴۵۷ میلی‌متر سقوط می‌نماید، برای هر لایه، از مساوی قرار دادن انرژی تراکم آزمایش تراکم استاندارد با مشخصات قالب جدید حاصل شده و ۶۴ ضربه برای هر لایه به‌دست آمد. دلیل اینکه از انرژی معادل انرژی تراکم اصلاح شده استفاده نشد، این بود که اولاً: انرژی تراکم اصلاح شده حدود ۴/۵۴ برابر آزمایش استاندارد است و با توجه به ارتباط مستقیم این عامل با تعداد ضربات هر لایه، تعداد ضربات به حدود ۲۹۱ ضربه افزایش می‌یافت که انجام آزمایش را مشکل می‌کرد. ثانیاً: در صورت تراکم بیش از حد رس، خاک رس بیش از حد متراکم شده و مفهوم رس نرم که هدف اصلی تسلیح و آزمایش بود برآورده نمی‌شد (به دلیل افزایش مقاومت برشی).

#### آماده نمودن ماسه

ماسه لازم در دو لایه هرکدام به ضخامت ۲/۵ سانتی‌متر و با ۳۶ ضربه چکش ۴۵/۳ نیوتنی متراکم شد. تعداد ضربات لازم با محاسباتی شبیه آنچه درمورد نمونه رسی ارائه شد، حاصل می‌شود (قطر ۲۵ و ارتفاع ۵ سانتی‌متر قالب و دو لایه مورد تراکم). ماسه لازم، پس از اختلاط با میزان آب لازم برای تهیه نمونه با رطوبت حدود ۱۵ درصد و وزن مخصوص مرطوب ۱۹/۸ کیلونیوتن بر متر مکعب، معادل ۹۷ درصد دانسیته حداکثر، تهیه می‌شد.

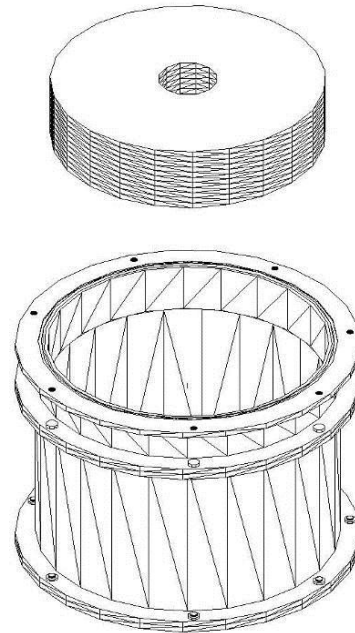
#### ۴-۳- نتایج آزمایش‌ها

پس از آماده نمودن نمونه آزمایشی، صفحات بارگذاری به‌دقت و یکی‌یکی، روی سطح ماسه قرار داده شده و نمونه زیر دستگاه بارگذاری قرار گرفت. برای انجام آزمایش، دستگاه روی نرخ تغییر مکان ۱ میلی‌متر بر دقیقه تنظیم شده و سنبه دستگاه که برای نفوذ در میان ۱۱ صفحه بارگذاری، تهیه شده، بر روی لایه رویی ماسه قرار داده و بر مرکز قالب مماس می‌شد. شکل طرح مورد آزمایش در شکل (۱۳) نشان داده شده است.

آزمایش‌ها در سه گروه کلی انجام شد. در حالت اول مدل آزمایشگاهی به‌صورت غیرمسلح و بدون وجود ژئوتکستایل انجام شد. این کار برای ارزیابی نتایج و مقایسه‌های بعدی صورت گرفت. برای اطمینان و بررسی دقیق‌تر موضوع، آزمایش‌ها دو بار تکرار شدند. نتایج منحنی نیرو در برابر تغییر مکان، در حالت

را به‌صورت متقارن و دایروی فرض نمود. از طرفی، در راه‌های خاکی و روستایی عمر خستگی، اثر کمی بر عملکرد روسازی دارند. بنابراین از دستگاه CBR برای انجام آزمایش استفاده شد.

طبیات و کارتر (۲۰۰۰) [۱۲]، با بررسی اجزاء محدود پی سطحی دایروی مستقر بر خاک نرم رسی تحت بارگذاری قائم پی و بارگذاری تا حداکثر مقدار مجاز، عمق انتشار منطقه خمیری، حداکثر ۱/۵ برابر و عرض انتشار آن در راستای طولی برابر عرض پی (فاصله نسبت به مرکز پی) است. با توجه به قطر ۵ سانتی‌متر اهرم بارگذاری، انتخاب قطر ۲۵ سانتی‌متر برای قالب آزمایش، برای کاهش قابل توجه اثر شرایط مرزی کافی است. عمق لایه معادل بستر در مدل، ۱۸ سانتی‌متر و عمق لایه زیراساس ۵ سانتی‌متر انتخاب شد. برای مدل‌سازی وزن لایه‌های روسازی (سربار)، از حلقه‌های فولادی (همانگونه که در آزمایش CBR مرسوم است)، استفاده شد. تعداد ۱۱ عدد حلقه فولادی به قطر داخلی ۵۲ میلی‌متر و قطر خارجی ۲۴۸ میلی‌متر (برای استقرار کامل بر روی خاک) و به ضخامت ۶ میلی‌متر تهیه شد. تنش کل ناشی از اعمال این وزنه‌ها برابر با ۵/۱ کیلوپاسکال است. شکل کلی قالب آزمایش در شکل (۱۲) ارائه شده است.

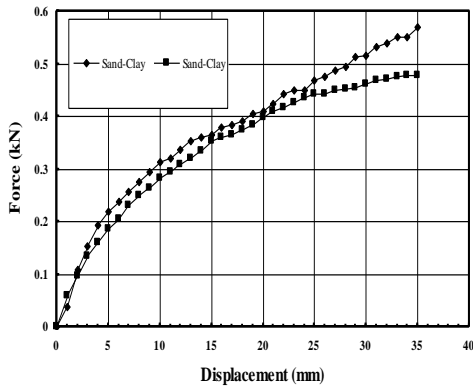


شکل (۱۲): شکل نحوه انجام آزمایش CBR اصلاح شده

#### ۴-۲- آماده نمودن نمونه‌ها

##### تهیه رس نرم

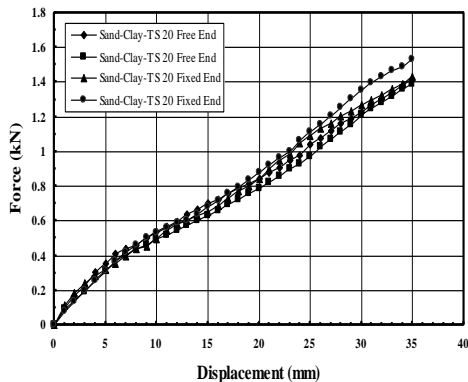
با توجه به اینکه تهیه رس نرم دست‌نخورده در ابعاد موردنظر امکان‌پذیر نبود، مقدار رس لازم برای هر آزمایش (۱۸ کیلوگرم) کیلوگرم برای هر آزمایش) به‌صورت قسمت‌های ۳ کیلوگرمی



شکل (۱۴): نتایج آزمایش CBR اصلاح شده در حالت غیر مسلح (نتایج مربوط به دو بار تکرار آزمایش ارائه شده)

#### ۴-۳-۱ مقایسه حالت گیردار و آزاد

در شکل‌های (۱۵) و (۱۶)، نتایج آزمایش‌ها در حالت آزاد و گیردار با یکدیگر مقایسه شده است؛ ملاحظه می‌شود که نتایج حاصل از آزمایش‌های آزاد و گیردار یکسان بوده و انجام آزمایش در حالت آزاد یا گیردار، اثری بر نتایج مربوط به منحنی‌های نیرو در برابر تغییر مکان نداشته است. اثر عمده این موضوع در بحث اقتصادی مربوط به پژوهش‌های راهسازی است؛ زیرا اجرای گیردار ژئوتکستایل باعث تحمیل هزینه‌های بیشتر شده و نیز زمان اجرا را طولانی‌تر می‌نماید.



شکل (۱۵): مقایسه نتایج حاصل از آزمایش‌های آزاد و گیردار برای ژئوتکستایل نوع TS۲۰

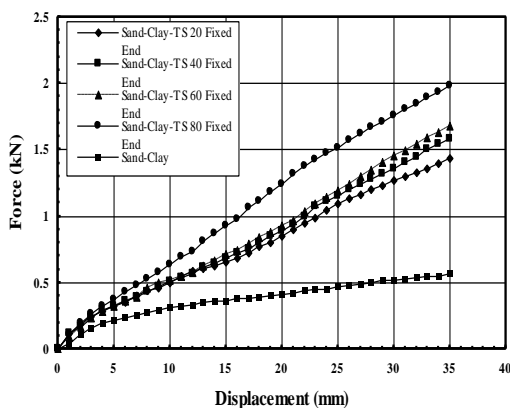
غیرمسلح، در شکل (۱۴) ارائه شده است. گروه دوم آزمایش‌ها، آزمایش‌های مدل مسلح شده با ژئوتکستایل گیردار بود، به این صورت که نمونه ژئوتکستایل در روی لایه رسی قرار گرفته و از طرفین توسط پیچ‌هایی که روی فلنچ‌ها تعبیه شده بود، گیردار می‌شد. گروه سوم، مدل‌های مسلح شده با ژئوتکستایل آزاد بودند. در این حالت، ژئوتکستایل فقط بر روی لایه رسی گسترانده می‌شد. آزمایش‌ها برای هر چهار نوع ژئوتکستایل TS ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ تکرار شد.



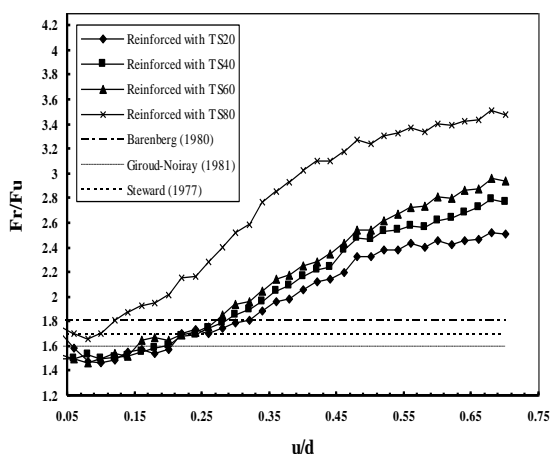
شکل (۱۳): مدل آزمایشگاهی مورد استفاده در مطالعات

در همه آزمایش‌ها، سعی شد، رطوبت مصالح به کار رفته ثابت بماند، اما درصد رطوبت نمونه رسی به دلیل نحوه خاص عمل‌آوری، رطوبت نمونه‌ها بین ۲۶ تا ۲۹ درصد تغییر نمود (مبنا ۲۸ درصد است). با توجه به اینکه خواندن سنجه تغییر مکان موجود، حداکثر تا ۳۰ میلی‌متر نیز میسر بود، این سنجه، بر روی پایه‌هایی استوانه‌ای با ارتفاع قابل تغییر قرار داده شد تا خواندن سنجه‌ها تا ۳۵ میلی‌متر آسان شود. نکته مهم اینکه، برای کاهش بیشتر اثر شرایط مرزی بر نتایج آزمایش، قبل از شروع، جداره قالب آزمایش با یک لایه روغن وازلین، آغشته می‌شد.

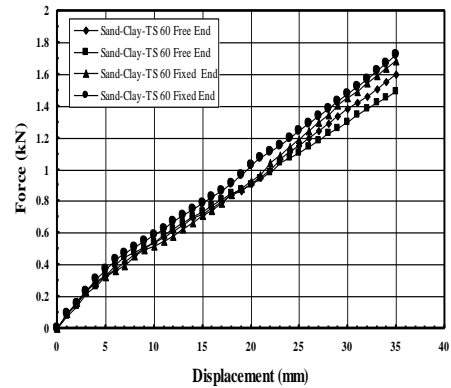
می‌دهد، در این روش‌ها نسبت باربری (در واقع افزایش باربری در حالت مسلح، در مقایسه با حالت غیرمسلح) ثابت بوده و تابع میزان تغییر مکان‌ها نیست. در واقع در نسبت‌های کم تغییر مکان، نسبت باربری حاصل از این روش‌ها بیشتر از نتایج تحقیق حاضر است (دست پایین در طراحی) و با افزایش نسبت تغییر مکان، مقادیر بیشتری (دست بالا در طراحی) به دست می‌دهند. در نسبت تغییر مکان ۰/۲ تا ۰/۳۵، برابری خوبی بین نتایج تحقیق حاضر و روش‌های ارائه شده وجود دارد. همانگونه که در این شکل دیده می‌شود، ارائه مقدار ثابتی برای افزایش باربری روسازی در حالت مسلح نسبت به حالت غیر مسلح، با واقعیت برابری چندانی نداشته و میزان باربری، با افزایش نسبت تغییر مکان، زیاد می‌شود. هم‌چنین تسلیح غشایی (ممبرینی) تنش‌های قائم که در نتیجه وجود ژئوتکستایل ایجاد می‌شود، با نسبت باربری افزایش می‌یابد. در این شکل‌ها، میزان بیشینه‌ای برای افزایش نسبت باربری در حالت مسلح، نسبت به حالت غیرمسلح دیده نمی‌شود.



شکل (۱۷): بررسی اثر ژئوتکستایل‌های با سختی متفاوت در افزایش مقاومت سامانه، نسبت به حالت غیرمسلح



شکل (۱۸): رابطه بین ظرفیت باربری روسازی با بستری نرم در حالت مسلح شده با ژئوتکستایل‌های با سختی متفاوت با تحقیقات انجام گرفته



شکل (۱۶): مقایسه نتایج حاصل از آزمایش‌های آزاد و گیردار برای ژئوتکستایل نوع TS۶۰

#### ۴-۳-۲ بررسی اثر نوع ژئوتکستایل

برای بررسی اثر نوع ژئوتکستایل در افزایش باربری روسازی (نسبت به حالت غیر مسلح)، نتایج آزمایش در حالت گیردار (با توجه به اینکه تفاوت چندانی بین حالت آزاد و گیردار وجود ندارد)، با حالت غیر مسلح در شکل (۱۷) با هم مقایسه شده‌اند. همانگونه که دیده می‌شود، در تغییر مکان‌های کم ( $u/d < 0.10$ ) که  $u$ ، نشست قائم در اثر بار وارده و  $d$ ، قطر سنبه بارگذاری، ۵ سانتی‌متر است) وجود ژئوتکستایل‌ها اثری در افزایش باربری سامانه روسازی ندارد.

اما به‌ازای تغییر مکان‌های بیشتر از ۵ میلی‌متر، وجود مسلح‌کننده، اثر بسیار زیادی در افزایش مقاومت سامانه دارد. نکته قابل تامل در این زمینه آن است که با افزایش میزان نشست ناشی از بارگذاری، اثر ژئوتکستایل‌ها نمود بیشتری می‌یابد. به‌علاوه، با وجود تغییر سختی ژئوتکستایل‌ها، دیده می‌شود، به‌جز در مورد نوع TS۸۰ (همانگونه که اشاره شد، این محصول توسط کارخانه سازنده برای کاربرد در راهسازی پیشنهاد نشده است)، در سایر انواع به‌کار رفته تغییر سختی ژئوتکستایل، افزایش قابل ملاحظه‌ای در باربری سامانه نداشته؛ هرچند، با افزایش میزان تغییر مکان قائم اعمالی به سامانه، تفاوت بیشتری در نتایج دیده می‌شود و تاثیر سختی ژئوتکستایل در بهبود باربری سامانه بیشتر نمود می‌یابد. در شکل (۱۸)، نتایج حاصل، به‌صورت نسبت وارده در حالت مسلح به غیرمسلح در برابر نسبت تغییر مکان (نسبت تغییر مکان قائم اعمالی به قطر سنبه بارگذاری) ارائه شده است. هم‌چنین مقایسه نتایج، با کارهای انجام پذیرفته توسط محققینی چون بارنبرگ، گیرود- نویری، استوارد، میلیگان و هولسبی مقایسه شده است. همانگونه که اشاره شد و در این شکل‌ها نیز به‌وضوح قابل استنباط است، با افزایش نسبت تغییر مکان، نسبت باربری نیز افزایش می‌یابد. مقایسه نتایج نسبت باربری حاصل با روش‌های گفته شده نشان



## ۵- نتایج

در این تحقیق با استفاده از مدل‌سازی آزمایشگاهی، نقش ژئوتکستایل‌ها در افزایش باربری روسازی مورد ارزیابی قرار گرفته است. آزمایش‌های CBR اصلاح شده با استفاده از قالبی که به این منظور ساخته شده انجام شده است. ژئوتکستایل‌های بافته‌نشده سوزنی، تحت شرایط انتهای آزاد و گیردار، روی لایه رس نرم (معادل بستر نرم) و در زیر لایه ماسه (معادل زیراساس) قرار گرفت. نتایج تحقیق حاکی است:

۱- نتایج حاصل از آزمایش‌های مدل مسلح شده با ژئوتکستایل در دو حالت آزاد و گیردار، به‌طور کامل یکسان بوده و انجام آزمایش در حالت آزاد و یا گیردار، اثری بر نتایج مربوط به منحنی‌های نیرو در برابر تغییر مکان نداشته است.

۲- در تغییر مکان‌های کم ( $u/d < 0.10$ ) که  $u$  نشست قائم در اثر بار وارده و  $d$  قطر سنبه بارگذاری، ۵ سانتی‌متر است،

وجود ژئوتکستایل‌ها تأثیری در افزایش باربری سامانه روسازی ندارد. اما وجود مسلح‌کننده به‌ازای تغییر مکان‌های بیشتر از ۵ میلی‌متر، اثر بسیار زیادی در افزایش مقاومت سامانه دارد.

۳- مقایسه نتایج نسبت باربری حاصل با مقادیر ارائه شده توسط محققینی چون گیروود- نویری (۱۹۸۱)، استوارد (۱۹۷۷)، بارنبرگ (۱۹۸۰) گیروود و هان (۲۰۰۴) نشان می‌دهد، در این روش‌ها نسبت باربری (درواقع افزایش باربری در حالت مسلح، در مقایسه با حالت غیرمسلح) ثابت بوده و تابع میزان تغییر مکان‌ها نیست. در واقع در نسبت‌های کم تغییر مکان، نسبت باربری حاصل از این روش‌ها بیشتر از نتایج تحقیق حاضر است (دست پایین در طراحی) و با افزایش نسبت تغییر مکان مقادیر بیشتری (دست بالا در طراحی) به‌دست می‌دهند. در نسبت تغییر مکان  $0.2$  تا  $0.35$ ، برابری خوبی بین نتایج تحقیق حاضر و روش‌های ارائه شده وجود دارد.

## ۶- مراجع

- [۱] سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، مشخصات فنی عمومی راه، نشریه ۱۰۱، تجدیدنظر اول، ویرایش دوم، ۱۳۸۲.
- [۲] Koerner, R. M., *Designing with Geosynthetics*, 4th ed., Prentice-Hall Inc, Englrwood Cliffs, NJ, 1997.
- [۳] Fannin, R. J. and Sigurdson, O., "Field observations on stabilization of unpaved roads with geosynthetics", *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, Vol. 122, No. 7, pp. 544- 553, 1996.
- [۴] Holtz, R. D., Black, P. J., "Performance of geotextile separators five years after installation", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 125, No. 5, pp. 404- 412, 1999.
- [۵] Al-Qadi, I. L. and Chair, E.V., "Eight-year of field performance of a secondary road incorporating geosynthetics at the subgrade-base interface", *Transportation Research Board and National Research Council*, Washington, D.C. Paper No. 03- 3453, 2003.
- [۶] Giroud, J. P. and Noiray, L., "Geotextile reinforced unpaved road design", *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, Vol. 107, No. 9, pp. 1233-1254, 1981.
- [۷] Steward, J., Williamson, R. and Mohny, J., "Guidelines for the use of fabrics in construction and maintenance of low- volume roads", US Department of Agricultural Forest Service, Portland, Oregon, Report No. FHWA-TS- 78- 205, 1977.
- [۸] Milligan, G. W. E., Jwell, R. A., Houlsby, G. T. and Burd, H. J., "A new approach to design of unpaved roads", *Ground Engineering*, Vol. 9, No. 1, pp. 37- 42, 1989.
- [۹] Bergado, D. T., Youwai, S., Hai, C. N. and Vootipruex, P., "Interaction non-woven needle- punched geotextiles under axisymmetric loading", *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 19 No. 4, pp. 299- 328, 2001.
- [۱۰] Cazzuffi, D., Venesia, S., "The mechanical properties of geotextiles: Italian standard and interlaboratory", *Proceedings of the Third International Conference on Geotextiles*, Vienna, Vol.3 pp. 695- 670, 1986.
- [۱۱] McGown, A., Andrawes, K. Z., Wilson-Fahmy, R.F. and Brady K.c., "Strength testing of geotechnical fabrics", *Supplementary Report 703*, Transport and Road Research Laboratory, UK, 1981.
- [۱۲] Taiebat, H. A. and Carter, J. P., "Numerical studies of the bearing capacity of shallow foundations on cohesive soil subjected to the combined loading", *Geotechnique*, Vol. 50, No. 4, pp. 409- 418, 2000.