

# بررسی عملکرد و مبانی طراحی خاکریز مسلح با ژئوسل

جمشید آقائی، کارشناس ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران  
آیدا مهرپژوه، کارشناس ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران  
مرتضی اسماعیلی، دانشیار، دانشکده راه آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

پست الکترونیکی نویسنده مسئول: [aghajam@gmail.com](mailto:aghajam@gmail.com)

دریافت: 94/06/08 - پذیرش: 94/10/09

## چکیده

یکی از روش‌های نوین جهت پایدارسازی خاکریزها و شیروانی‌های خاکی، استفاده از ژئوسل‌ها می‌باشد. در این مقاله با مروری بر تحقیقات انجام شده در طول دو دهه‌ی اخیر در ارتباط با طبقه‌بندی ژئوسل و کاربردهای آن در مهندسی عمران، مکانیزم‌های عملکرد ژئوسل در خاک مسلح مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی‌ها نشان می‌دهد در اثر تسلیح خاک با ژئوسل، خصوصیات مقاومتی خاک از قبیل چسبندگی، سختی و مدل الاستیسیته، افزایش می‌یابد. ولی این تسلیح، تغییر خاصی در زاویه اصطکاک داخلی خاک ایجاد نمی‌کند همچنین در این مقاله بررسی‌های صورت گرفته در خصوص تعیین پارامترهای طراحی خاکریز مسلح شده با ژئوسل و نظریه‌های متداول در طراحی، ارایه شده است.

واژه‌های کلیدی: ژئوستتیک، خاکریز مسلح، ژئوسل، ظرفیت باربری

## 1-مقدمه

تسلیح در توده خاک قرار می‌گیرند. (ظهیرکاشانی، 1389) از روش‌های رایج تسلیح در دو دهه اخیر، استفاده از ژئوستتیک‌ها<sup>1</sup> را می‌توان برشمرد. استاندارد D-4439 (2006) ASTM 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 پروژه‌های عمرانی، می‌توان به ژئوسل‌ها<sup>2</sup> اشاره نمود. ژئوسل از خانواده‌ی ژئوستتیک‌ها می‌باشد که از

خاک، مصالحی است که به خوبی در مقابل فشار مقاومت می‌کند اما قادر نیست در برابر نیروی کششی از خود مقاومت چندانی نشان دهد. (صدریان، 1383) از سوی دیگر در برخی پروژه‌های عمرانی با توجه به وزن و ابعاد سازه‌های موردنظر، نیاز به مقاومت برشی زیاد خاک یا حتی مقاومت کششی در خاک می‌باشد. در چنین مواردی، روش‌های مختلفی برای بهبود خاک از جمله تسلیح خاک پیشنهاد شده است. خاک مسلح مصالح ساختمانی مرکبی است که در آن عناصر دارای مقاومت کششی به عنوان عامل

الیاف پلیمری تشکیل شده و از اتصال نوارهای ژئوممبران یا ژئوتکستایل به صورت لانه زنبوری به وجود می‌آید که بسته به ضخامت نوارهای تشکیل‌دهنده می‌تواند ضخامت مشخصی از خاک، شن، ماسه و حتی بتن را از طریق محدود کردن حرکت جانبی در سلول‌های خود نگه دارد. بر اساس تحقیقات (Ambedkar, 2004)، ارتفاع متداول لایه‌ی ژئوسل از 75 تا 100 میلی‌متر و قطر سلول‌های ژئوسل در حدود 100 تا 300 میلی‌متر می‌باشد.

اولین بار در سال 1970 ارتش آمریکا از ژئوسل برای مسلح‌سازی سریع خاک‌های غیرچسبنده در خاکریزهای نظامی استفاده کرده است (Yang, 2010). ژئوسل‌ها جهت سهولت حمل و نقل و جابه‌جایی، به شکل هندسی سه بعدی ساخته شده‌اند که معمولاً بعد از کشیدن و باز کردن آن به شکل شش‌گوشه لانه زنبوری درخواهند آمد. پس از پر کردن این سلول‌ها با مصالح خاکی با عبور دادن غلتک‌های مختلف، خاک داخل آن متراکم می‌گردد. معمولاً یک لایه ژئوتکستایل بافته‌نشده در زیر ژئوسل قرار داده می‌شود تا مصالح پرکننده از خاک زیرین آن جدا گردد (شریفی، 1390).

## 2- معرفی و کاربرد ژئوسل

ژئوسل‌ها یکی از اعضای پرکاربرد خانواده ژئوستنتیک‌ها هستند که از بافت‌های پلی‌اتیلن به صورت یکپارچه و بدون هیچگونه نقطه‌ی جوش مشخص، درست می‌شوند. پلیمر مورد استفاده در ساخت ژئوسل باید دست‌نخورده، کاملاً تمیز و عاری از هرگونه آلودگی بر روی آن و همچنین نباید در اثر حرارت صدمه دیده باشد (Yang, 2010). از خصوصیات مهم ژئوسل‌ها می‌توان به مقاومت بیولوژیکی، مقاومت شیمیایی، مقاومت در برابر اشعه فرابنفش، مقاومت حرارتی، مقاومت کششی، مدول الاستیسیته بالا، میزان کرنش در لحظه‌ی شکست، مقاومت انفجاری، مقاومت ساییدگی و میزان نفوذپذیری آن‌ها اشاره نمود. امروزه

ژئوسل در شاخه‌های مختلف مهندسی عمران از جمله ژئوتکنیک مورد استفاده قرار می‌گیرد. از جمله کاربردهای ژئوسل می‌توان به محدود کردن حرکت جانبی لایه‌های خاک، قلوه‌سنگ و حتی بتن (قبل از گیرش)، افزایش ظرفیت باربری قشر خاکی محدودشده و کاهش نشست در خاکریزها، توزیع بار ترافیک در سطح وسیع‌تر و انتقال به لایه‌ی بستر، کاهش ضخامت لایه‌های روسازی و کنترل فرسایش سطح شیب‌های تند خاکی، اشاره کرد. بیشترین کاربرد ژئوسل در پایداری خاکریزها و شیروانی‌های خاکی به منظور افزایش مقاومت برشی خاک می‌باشد. خاک مسلح‌شده با ژئوسل چسبندگی بیشتری نسبت به خاک غیرمسلح دارد و سبب بهبود خواص مقاومتی و دوام خاک خواهد شد. همچنین این محصول سختی خاک مورد نظر را نیز افزایش می‌دهد.

## 3- انواع ژئوسل

ژئوسل را می‌توان بر اساس جنس نوارهای تشکیل‌دهنده- ی چشمه‌ها، ساختار نوارها (یکپارچه و سوراخ‌دار) و نیز نحوه‌ی اتصال نوارها (ساختار نقاط اتصال) دسته بندی کرد.

### 3-1- دسته بندی ژئوسل بر اساس جنس نوارها

نوارهای ژئوسل دارای حفره‌بندی‌های مخصوص می‌باشد، بدان معنا که کارخانه‌ی سازنده معمولاً اندازه‌ی حفرات در نوار دیوار ژئوسل را ارائه می‌کنند. با توجه به حفره‌بندی، احتمال عبور جریان آب و نوع اندرکنش خاک در دو سمت دیواره‌ی سلول‌های ژئوسل مشخص می‌گردد. ژئوسل‌های پارچه‌ای از نوارهای ژئوتکستایل بافته‌نشده، معمولاً از جنس پلی‌استر ساخته شده‌اند. خصوصیت انتقال و گذردهی آب ژئوتکستایل همراه با جلوگیری از عبور ذرات خاک از مشخصات این نوع ژئوسل است و عدم مقاومت در برابر اشعه‌ی فرابنفش خورشید و گران بودن نسبی آن در مقایسه با دیگر نوارهای مورد استفاده در

ساخت ژئوسل را می‌توان از نقاط ضعف این محصول دانست.

ژئوسل‌های پلاستیکی شامل نوارهای ژئوممبرین، ساخته شده از جنس پلی‌اتیلن با دانسیته‌ی بالا<sup>3</sup> می‌باشند. به طور کلی ژئوممبرین‌ها در مقابل سیالات نفوذناپذیر می‌باشند و اگر در خاک‌های اشباع از آن‌ها استفاده شود با اعمال بار بر روی خاک به علت عدم امکان زهکشی، فشار منفذی افزوده شده و در مقابل، تنش موثر خاک کاهش می‌یابد، که این امر به معنای کاهش مقاومت برشی خاک می‌باشد. در نتیجه در صورت استفاده از این محصول در مکان‌های اشباع، بهتر است که از نوارهای سوراخ‌دار استفاده گردد که در زیر به تقسیم بندی آنها اشاره شده است.

### 3-2- دسته بندی ژئوسل بر اساس ساختار نوار

در این دسته‌بندی می‌توان دو نوع ژئوسل بدون سوراخ و سوراخ‌دار را در نظر گرفت. در ژئوسل‌های بدون سوراخ امکان زهکشی و عبور آب از نوارها وجود نخواهد داشت. بنابراین استفاده از این نوع ژئوسل‌ها در خاک‌های اشباع و همچنین در خاک‌های با کاربری کشاورزی مناسب نمی‌باشد و باید از ژئوسل‌های سوراخ‌دار برای مسلح کردن این نوع خاک‌ها استفاده گردد. همچنین در این نوع ژئوسل‌ها هیچگونه اندرکنشی بین خاک در دو طرف نوار وجود ندارد. در هر دو مورد اشاره شده در بالا، نوع حفره‌بندی نوارها بسیار مهم می‌باشد.

لازم به ذکر است که حفرات موجود بر روی دیواره‌ی سلول‌های ژئوسل سوراخ‌دار علاوه بر اینکه اجازه‌ی زهکشی را از داخل لایه‌ی ژئوسل می‌دهد، سبب ایجاد یک اندرکنش و یک نوع قفل و بست بین دانه‌ای در داخل لایه-ی ژئوسل می‌گردد که این عمل باعث کاهش ارتفاع لایه‌ی ژئوسل مورد نیاز نسبت به ژئوسل بدون سوراخ می‌شود (Zhao, 2009).

### 3-3- دسته بندی ژئوسل بر اساس نحوه ی اتصال

#### نوارها

یکی دیگر از عوامل موثر در ارزیابی نوع ژئوسل، چگونگی اتصال نوارها به یکدیگر می‌باشد. به طور کلی در کارخانه، نوارهای دیواره‌ی ژئوسل را پس از حرارت دادن و استفاده از چسب‌های مخصوص به شکل لانه‌زنبوری در می‌آورند. تکنولوژی پیشرفته‌ای برای تولید ژئوسل از پلی‌اتیلن با دانسیته‌ی بالا نیز وجود دارد که سوراخ‌های مورد نیاز برای زهکشی را در نقطه‌ی اتصال تعبیه می‌کند. بدین ترتیب ایجاد سوراخ‌های مورد نیاز برای زهکشی، موجب کاهش مقاومت کششی نوارهای ژئوممبرین به علت کاهش سطح مقطع (ایجاد مقطع بحرانی) در دیواره‌ی ژئوسل نخواهد شد.

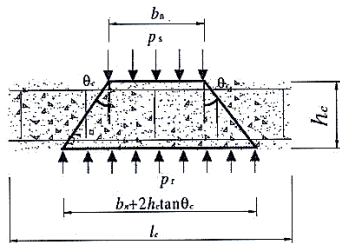
### 3-4- ژئوسل ساخته شده با استفاده از ژئوگرید

در این نوع از ژئوسل‌ها از ژئوگرید با اندازه‌ی حفرات مختلف به عنوان نوارهای ژئوسل استفاده می‌شود. این نوع ژئوسل‌ها می‌تواند از ژئوگریدهای مختلف در اندازه و شکل‌های متفاوت درست شوند. مشخصات ژئوگرید مصرفی توسط استاندارد آزمایش کشش پهنای باندها<sup>4</sup>، به دست می‌آید.

برای ساخت این نوع ژئوسل‌ها در ابتدا طول و ارتفاع مورد نظر را از رول ژئوگرید می‌برند، سپس آن‌ها را در جهت عرضی و قطری قرار می‌دهند و در نهایت آن‌ها را در نقاط اتصالشان به صورت نوار پلاستیک می‌دوزند. به طور معمول دو نوع از این ژئوسل‌ها ساخته می‌شوند که در زیر به آن‌ها اشاره شده است:

- الگوی الماسی<sup>5</sup>
- الگوی نظامی<sup>6</sup>

سطح وسیع تر می شود. به عبارت دیگر، فشار خاک توزیع شده بر تراز خاک زیر ژئوسل نسبت به حالتی که ژئوسل وجود ندارد، به مقدار قابل توجهی کاهش می یابد (Shukla, 2006).



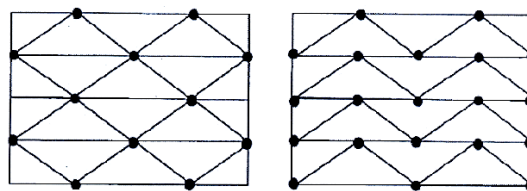
شکل 1. اثر توزیع تنش قائم از مسلح کننده ژئوسل

#### 4-3- اثر غشایی

بارگذاری ناشی از خاکریز باعث تغییر شکل مسلح کنندهی ژئوسل و ایجاد یک نیروی کششی اضافی در آن می گردد. مولفه ی قائم این نیروی کششی به کاهش فشار بر روی بستر خاک کمک نموده و سبب کاهش تغییر شکل قائم بستر نرم و افزایش ظرفیت باربری خاک بستر می شود. با افزایش عمق فرورفتگی ناحیه ی تحت اثر تنش، مقدار تغییر شکل افزایش یافته و موجب افزایش نیروی کششی در ژئوسل می گردد (شریفی، 1390).

#### 4-4- طراحی خاکریز مسلح با ژئوسل

روش های طراحی مختلفی به منظور استفاده از خاک مسلح با ژئوتکستایل و ژئوگرید در بستر راه پیشنهاد شده است (Steward et al., 1977; Bender and Barenberg, 1980; Giroud et al., 1985; Giroud and Han, 2004). از آنجا که ژئوسل یکی از اعضای سه بعدی خانواده ژئوستتیک ها می باشد، با تغییر برخی پارامترها از جمله ارتفاع و ضخامت، می توان از مبانی طراحی ژئوستتیک های دوبعدی در طراحی ژئوسل نیز بهره برد. حضور ژئوسل در راه سازی جهت پایداری بستر و کاهش ضخامت و شیب خاکریز به کار می رود. Al Qadi et



(ب)

(الف)

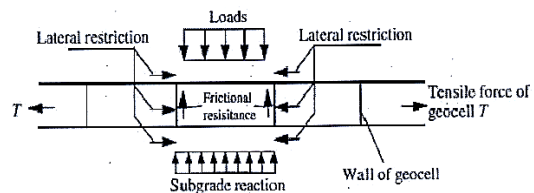
شکل 1. (الف) الگوی الماسی (ب) الگوی نظامی

#### 4-عملکرد لایه ی ژئوسل در خاک مسلح

در مطالعات بر روی نقش و عملکرد لایه ی مسلح کننده ی ژئوسل، عملکرد اصلی لایه ی ژئوسل را در سه جنبه ی اثر مقاومت جانبی، اثر توزیع تنش قائم و اثر غشایی معرفی شده است.

#### 4-1- اثر مقاومت جانبی

یک لایه ژئوسل، به جهت دارا بودن سلول های سه بعدی از لغزش جانبی مصالح پر شده درون سلول ها جلوگیری می نماید و موجب افزایش مقاومت برشی مصالح پرکننده درون سلول ها می گردد. همچنین با اندرکنش حاصله بین لایه ی مسلح کننده ی ژئوسل و لایه های خاک بالا و پایین آن، محدودیت جانبی و کاهش در کرنش جانبی افزایش می یابد. این امر اصلاح توزیع تنش قائم بر روی بستر را خواهد داشت (Saran, 2013).

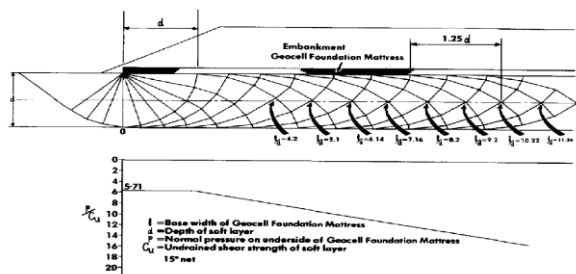


شکل 2. اثر مقاومت جانبی از مسلح کننده ژئوسل

#### 4-2- اثر توزیع تنش قائم

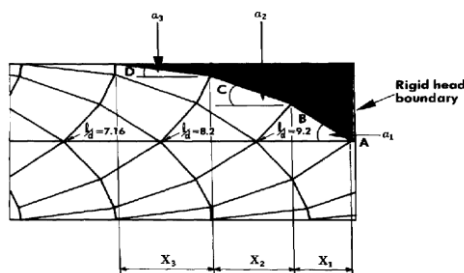
لایه ی مسلح کننده ی ژئوسل همچون یک صفحه ی نسبتاً صلب رفتار می کند که موجب توزیع بار پی در یک

بر چسبندگی خاک نرم، اثرات تغییر نیرو را به نمودار اضافه کرده و نمودار شکل 5 حاصل شده است.



شکل 5. تعیین ظرفیت باربری از روی نمودار

در فاصله‌ای مشخص از پاشنه‌ی خاکریز، منطقه‌ای به وجود می‌آید که در آن منطقه، خاک وارد حالت پلاستیک نمی‌شود. به این ناحیه، ناحیه‌ی صلب (rigid head) اطلاق می‌گردد.



شکل 6. ناحیه ی صلب

در نمودار  $\frac{P}{C_u}$  به  $\frac{L}{d}$  باید اثر این منطقه نیز لحاظ گردد و به مقاومت برشی خاک اضافه گردد. برای این کار از رابطه‌ی زیر استفاده می‌گردد.

$$\bar{P} = \frac{2 * (2l + 0.5d)}{2 + x} * \frac{P}{C_u} \quad (6)$$

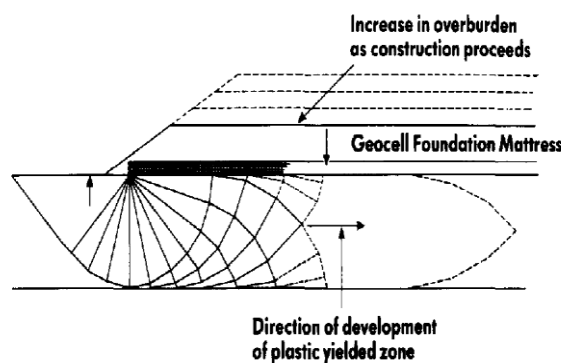
که در این رابطه:

$\bar{P}$  = تنش میانگین در منطقه‌ی صلب،  $l$  = مجموع زاویه‌ی انحراف خطوط لغزش \* طول افقی خطوط لغزش،  
 $x$  = طول افقی خطوط لغزش،  $d$  = عمق لایه‌ی خاک نرم.

(1997) al, میزان کارایی تسلیح با ژئوستتیک‌ها، با توجه به مقاومت خاک و نوع ژئوستتیک قابل پیش‌بینی می‌باشد. دو نمونه از نظریه‌های متداول برای طراحی خاکریز مسلح‌شده با ژئوسل نظریه جنر (1990) و نظریه لچنسکی (2007) می‌باشد.

### نظریه جنر

در سال 1990 جنر نظریه‌ای برای طراحی خاکریزهای مسلح‌شده با ژئوسل پیشنهاد داده‌است. این نظریه بر پایه‌ی تئوری پلاستیسیته و اثر پانچ بین مواد سخت و خاک نرم بنا شده‌است. بدینگونه که با افزایش بار بر روی خاکریز، این خاکریز از قسمت پاشنه‌ی وارد حالت پلاستیک می‌شود و خطوط لغزشی برای آن قابل ترسیم است. (Bush and Jenner, 1990)



شکل. Error! No text of specified style in document.

تشکیل گوه‌های گسیختگی از قسمت پاشنه‌ی خاکریز

برای نشان دادن خاصیت پلاستیک براساس نقطه‌ی گسیختگی و بار وارده بر آن نقطه و همچنین با تقسیم عرض خاکریز به عمق لایه‌ی نرم و بی‌بعد کردن این پارامتر مکان گسیختگی را رسم نموده‌است. با تقسیم نیروی وارده

که در این رابطه:

$\tau$  = تنش برشی، و  $\varphi'$  = زاویه اصطکاک مواد پر شده داخل ژئوسل.

حال با ارزیابی تنش‌های وارده بر ژئوسل و مقایسه آن با تنش‌های قابل تحمل توسط ژئوسل پایداری آن بررسی می‌گردد.

### نظریه لجنسکی

این نظریه بر پایه‌ی نظریه‌ی گایرود و هان که در سال 2004 مطرح شده است، بنا گردید. نظریه‌ی گایرود و هان فقط برای جاده‌های بدون روسازی مسلح‌نشده و مسلح‌شده با ژئوگرید و ژئوتکستایل قابل استفاده است (Han et al., 2007). رابطه‌ای که گایرود و هان برای طراحی ژئوگرید و ژئوتکستایل ارائه کرده اند به صورت زیر می باشد:

$$h = \frac{0.868 + (0.661 - 1.006j)^2 - (r/h)^2 \log N}{1 + 0.204(R_E - 1)} * \sqrt{\frac{P/\pi r^2}{(S/f_s) [1 - 0.9 \exp(-(r/h)^2)] N_c f_c CBR_{sg}}} - 1 * r \quad (1)$$

که در این رابطه:

$h$  = ضخامت لایه‌ی اصلی که باید مسلح شود (m)،

$P$  = بار محوری (بار چرخ) (KN)،

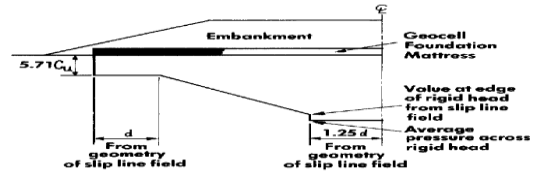
$N$  = تعداد محور عبوری،

$j$  = مدول پایداری دهانه‌ی ژئوگرید ( $j = 0$  برای خاک مسلح‌نشده و یا مسلح‌شده با ژئوتکستایل)

$r$  = شعاع سطح تماس چرخ و زمین،

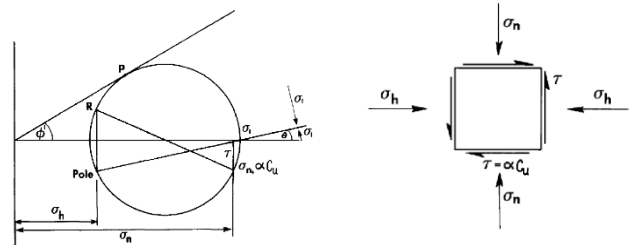
$R_E$  = نسبت مدول حدی لایه اساس به بستر خاکی،

باداشتن بار اعمالی بر خاکریز و نقطه‌ی موردنظر می‌توان  $C_u$  قابل تحمل توسط خاکریز را بر اساس نمودار رسم شده، به دست آورد و این مقدار را با  $C_u$  موجود خاکریز مقایسه نمود و با تقسیم این دو مقدار بر یکدیگر، ضریب اطمینان خاکریز را محاسبه کرد.



شکل 7. تغییرات ظرفیت باربری در زیر خاکریز

بعد از تحلیل پایداری خاکریز، باید مقاومت و پایداری شبکه‌های ژئوسل را در برابر پارگی و گسیختگی کنترل کرد. بدین منظور تنش‌های افقی و قائم وارد بر ژئوسل اندازه‌گیری شده و با روابط زیر کنترل می‌گردد.



شکل 8. دایره Mohr برای تک سلول ژئوسل تحت آزمایش سه محوری

$$\sigma_h = \sigma_n - 2x \quad (7)$$

در این رابطه:

$\sigma_h$  = تنش افقی،  $\sigma_n$  = تنش عمودی، و  $x$  پارامتری که از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$x = \frac{2\sigma_n \sin^2 \theta' \mp [4\sigma_n^2 \sin^4 \varphi' - 4(\sin^2 \varphi' - 1)(\sigma_n^2 \sin^2 \varphi' - \tau^2)]^{1/2}}{2(\sin^2 \varphi' - 1)} \quad (9)$$

$$\frac{1}{\tan \alpha} = 1 + \frac{k \log N}{\tan \alpha_0 [1 + 0.204(R_E - 1)]} \quad (4)$$

که در این رابطه:

$\eta$  = فاکتور کالیبراسیون بین عملکرد خاک محل و عملکرد خاک آزمایشگاه،

$\alpha$  = زاویه توزیع تنش برای نمونه‌ای که تعداد محور عبوری از آن N باشد،

$\alpha_0$  = زاویه توزیع تنش برای خاک همگن (معادل است با  $38.5^\circ$ ).

$n$  و  $w$  و  $\xi$  = پارامترهای تجربی که به ترتیب 0.9 و 1 و 2 است و به وسیله گایرود و هان اندازه‌گیری شده است،

$N_c$  = ضریب ظرفیت باربری که به طور معمول همانند ضریب ظرفیت باربری ژئوگرید 5.71 در نظر گرفته می‌شود،

$k$  = فاکتور کنترل برای نسبت کاهش زاویه توزیع تنش که به نسبت  $\frac{r}{h}$  و مدول پایداری دهانه‌ی ژئوگرید بستگی دارد.

کاهش زاویه‌ی توزیع تنش با تعداد محور عبوری منجر به بدتر شدن کیفیت لایه ی اساس تحت بار سیکلیک می‌گردد. گابر در سال 2001 بیان نمود که ژئوسل و ژئوگرید می‌توانند نرخ زوال کیفیت لایه ی اساس را کاهش دهند. در رابطه 4 میزان کاهش نرخ زوال کیفیت در ضریب k گنجانده شده است. در این رابطه نسبت مدول لایه‌ی اساس به بستر محدود به یک عدد ثابت نبوده و از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$R_E = I_f \frac{E_{bc}}{E_{sg}} = I_f \frac{3.48 CBR_{bc}^{0.3}}{CBR_{sg}} \quad (5)$$

$s$  = عمق خط شیار مجاز،

$f_s$  = فاکتور معادل 75 میلی‌متر،

$N_c$  = فاکتور ظرفیت باربری، که برای خاک مسلح نشده  $j = 0$  و  $N_c = 3.14$ ، برای خاک مسلح شده با ژئونکستایل  $j = 0$  و  $N_c = 5.14$  و برای خاک مسلح شده با ژئوگرید  $j \geq 0$  و  $N_c = 5.14$

$f_c$  = فاکتور معادل 30 kpm

$CBR = CBR_{sg}$  خاک بستر.

نسبت مدول لایه‌ی اساس به بستر نیز به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$R_E = \min\left(\frac{E_{bc}}{E_{sg}}, 5\right) = \min\left(\frac{3.48 CBR_{bc}^{0.3}}{CBR_{sg}}, 5\right) \quad (2)$$

که در این رابطه:

$E_{bc}$  = مدول لایه‌ی اساس، که به صورت تخمینی برابر خواهد بود با  $f_{EBC} CBR_{bc}^{0.3}$  و  $f_{EBC} = 5220 \text{ psi}$  یا  $36 \text{ Mpa}$

$E_{sg}$  = مدول لایه‌ی اساس،

که به صورت تخمینی برابر خواهد بود با  $f_{ESG} CBR_{sg}$  و

$f_{ESG} = 1500 \text{ psi}$  یا  $10.35 \text{ Mpa}$

$CBR = CBR_{bc}$  لایه اساس

رابطه پیشنهادی لچنسکی برای طراحی خاک مسلح شده با ژئوسل بر اساس رابطه‌ی بالا و نتایج حاصل از آزمایشات آزمایشگاهی می‌باشد و به صورت زیر بیان می‌گردد:

$$h = \frac{\eta}{\tan \alpha} \left[ \frac{P/\pi r^2}{\sqrt{\left(\frac{s}{f_s}\right) \left[1 - \xi \exp(-w(r/h)^n)\right] N_c C_u}} - 1 \right] r \quad (3)$$

در این رابطه:

## 6- پی‌نوشت‌ها

1. Geosynthetic
2. Geocell
3. High Density Polyethelene (HDPE)
4. Wide-Width Tensile Strength Test
5. Diamond Pattern
6. Chevron Pattern

$I_f$  = فاکتور تقویت لایه اساس به دلیل استفاده از ژئوسل.

نتایج مشاهدات استفاده از ژئوسل نشان می‌دهد در رابطه‌ی بالا استفاده از ژئوسل سبب بهبود مدول پایداری به بالاتر از 1 می‌گردد. که سبب کاهش ضخامت لایه‌ی اساس استفاده شده می‌گردد. همچنین به دلیل کاهش شکست لایه‌ی اساس، ظرفیت ترافیکی را نیز افزایش می‌دهد (Han et al., 2007)

## 7- مراجع

- صدریان زاده، م.، (1383)، "معرفی ژئوسنتتیکها و کاربرد آنها در مهندسی عمران"، یازدهمین کنفرانس دانشجویان عمران سراسرکشور.

## 5- نتیجه‌گیری

در چند دهه اخیر، رونق استفاده از ژئوسنتتیکها در مهندسی عمران، محققین را به سوی انجام مطالعات گسترده‌ای پیرامون عملکرد این مصالح سوق داده است. طبق مطالعات انجام‌شده، استفاده از ژئوسنتتیکها موجب بهبود ویژگی‌های مکانیکی خاک می‌گردد. علاوه بر آن، حضور تسلیح نرخ کرنش قائم را کاهش داده و یا متوقف می‌کند. بهبود عملکرد خاک مسلح با ژئوسل به عنوان نوع خاصی از ژئوسنتتیکها، استفاده از آن را در مواردی همچون خاکریزها و شیروانی‌های خاکی مورد توجه قرار داده است.

- ظهیرکاشانی، ح.ر. خداوردیان، ه.، بهنیا، س.، (1389)، "معرفی ژئوسنتتیکها و کاربرد آنها در مهندسی عمران"، کنفرانس مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد.

- شریفی، پ.، (1390)، "رفتار پی مربعی بر روی ماسه مسلح شده با ژئوسل لایه‌ای تحت بارگذاری تناوبی"، پایان نامه کارشناسی ارشد.

- 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.

- Ambedkar, P.P., (2004), "Cellular confinement systems for retaining walls", India.

- ASTM D4439. (2006) "Standard Terminology for Geosynthetics", Annual Book of ASTM Standards, Vol. 4.13, ASTM International, West Conshohocken, PA, pp. 19-23.

- Bender, D.A., and Barenberg, E.J., (1980), "Design and behaviour of soil-fabric-aggregate systems", Transportation research record 671,

با در نظر گرفتن اثرات افزایش مقاومت جانبی، توزیع تنش قائم و اثر غشایی، استفاده از این محصولات می‌تواند عاملی در جهت پایداری خاکریزها و شیروانی‌های خاکی و کاهش ضخامت لایه‌ی روسازی گردد. همچنین تسلیح با ژئوسل باعث افزایش چسبندگی خاک می‌شود. این در حالی است که تغییر مشهودی در زاویه اصطکاک داخلی خاک دیده نمی‌شود. حضور ژئوسل در خاک، باعث افزایش قابل ملاحظه‌ای در مقدار مدول الاستیسیته خاک می‌گردد. طبق مطالعات ارائه شده در این مقاله، قرارگیری ژئوسل در خاکریز و شیروانی‌های خاکی باعث بهبود قابل ملاحظه‌ای در پارامترهای مقاومتی آن می‌گردد.



- Han, J., Yang, X. and Parsons, R. L. Leshchinsky, D. (2007), " Design Of Geocell-Reinforced Bases", University of Kansas, Transportation institute, USA.
- 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.
- Steward, J., Williamson, R., and Mohny, J. (1977), Guidelines for Use of Fabrics in Construction and Maintenance of Low-Volume Roads. Report FHWA-TS-78-205, United States Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington D.C., 9 chapters.
- Yang, X., (2010), "Numerical Analyses of Geocell-Reinforced Granular Soils under Static and Repeated Loads", Doctoral dissertation, University of Kansas, USA.
- Zhao, M.H., Zhang, L., Zou, X.J. and Zhao, H., (2009), "Research progress in two direction composite foundation formed by geocell reinforced mattress and gravel piles", Chinese Journal of Highway and Transport, vol. 22(1), pp. 1-10.
- TRB, National Research Council, Washington, DC, USA, pp.64-75.
- Bush, D. I. Jenner, C. G. (1990), "The Design and Construction of Geocell Foundation Mattresses Supporting Embankments over Soft Ground", Geotextiles and Geomembranes, 9, pp.83-98.
- Giroud, J.P., Ah-Line, C., and Bonaparte, R. (1985), "Design of unpaved roads and trafficked areas with geogrids." Polymer Grid Reinforcement, Thomas Telford Limited, London, pp.116-127.
- Giroud, J.P. and Han, J. (2004a), "Design method for geogrid-reinforced unpaved roads – Part I: theoretical development." ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 130(8), pp.776-786.
- Giroud, J.P. and Han, J. (2004), "Design method for geogrid-reinforced unpaved roads – Part II: calibration and verification." ASCE Journal of Geotechnical and Geo environmental Engineering, 130(8), pp.787-797.

# Investigation on the Performance and Design of Soil Embankment Reinforced by Geocell

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

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

*M. Esmaeili, Associate professor, Department of Railway Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.*

*E-mail: Aghai.jam@gmail.com*

## ABSTRACT

Stabilization and improvement the strength parameters of the soil embankments is one of the major concerns during the road construction and maintenance. Therefore, lots of solution methods including use of geosynthetic, grouting, pre-cast walls and so on are considered to untangle the problem. The mechanisms of the geosynthetic reinforcement can be highlighted as lateral constraint, increased bearing capacity, and tensioned membrane effect. Use of geocell, as a member of three dimensional geosynthetic group, is a cutting edge cost-effective method to reinforce and enhance the soil strength in the last two decades. Geocell is a polymerical cellular product in which the cells often are honeycomb shape when expanded. In this paper, the recent researches about geocell sorts and performances are considered. According to the context, soil reinforcement with geocell cause to increase the strength parameters such as cohesion, stiffness and elastic modulus (E) due to its superior confining effect on unbound materials contain weak soil. Despite that, the frictional angle remains constant by geocell reinforcement. Also, the studies about design parameters and conventional theories for a reinforced embankment with geocell are represented here.

**Keywords:** Embankment, Stabilization, Geocell, Reinforcement