

## بررسی رفتار فصل مشترک خاک-ژئوگرید در آزمایش برش مستقیم، با تاکید بر اندازه ابعاد چشمه‌های ژئوگرید و تراکم نسبی

علی لکی روحانی\*، مژگان عباسیان  
دانشکده فنی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

### تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۶ فروردین ۱۳۹۶  
بازنگری: ۲۱ تیر ۱۳۹۶  
پذیرش: ۱ شهریور ۱۳۹۶  
ارائه آنلاین: ۷ شهریور ۱۳۹۶

### کلمات کلیدی:

خاک دانه‌ای  
ژئوگرید  
آزمایش برش مستقیم  
نسبت تنش برشی  
فصل مشترک خاک-ژئوگرید

**چکیده:** رفتار و مقاومت برشی فصل مشترک خاک دانه‌ای-ژئوستتیک مورد توجه برخی از محققین بوده است. اهمیت این مساله به دلیل کاربرد زیاد ژئوستتیک‌ها در لایه‌های خاک به منظورهای مختلف می‌باشد. از خانواده بزرگ ژئوستتیک‌ها می‌توان گفت که ژئوگرید بیشترین کاربرد و سطح استفاده شده را در میان لایه‌های خاک داراست. این مقاله شرح و نتایج پژوهشی است که بر روی فصل مشترک خاک دانه‌ای-ژئوگرید انجام گرفته است. روش مطالعه آزمایشگاهی با استفاده از دستگاه برش مستقیم بزرگ مقیاس برای ژئوگرید با اندازه‌های مختلف چشمه، و خاک دانه‌ای با درصد تراکم‌های مختلف می‌باشد. شاخص ارزیابی نتایج بر مبنای منحنی‌های رفتاری خاک یعنی منحنی‌های تنش-جابجایی و مقاومت پیک می‌باشد. هدف بررسی تاثیر اندازه چشمه ژئوگرید و درصد تراکم نسبی خاک بر روی رفتار و مقاومت برشی می‌باشد، چرا که مقدار مقاومت برشی ناشی از سه مولفه می‌باشد: ۱) مقاومت ناشی از اصطکاک و قفل و بست دانه‌های خاک با یکدیگر. ۲) مقاومت ناشی از اصطکاک دانه‌های خاک با سطح ژئوگرید. و ۳) مقاومت ناشی از برخورد خاک با نوارهای عرضی ژئوگرید. به منظور ارزیابی راحت تر، پارامتر  $\alpha$  به صورت نسبت تنش برشی حداکثر در سطح مشترک خاک-ژئوگرید به تنش برشی حداکثر در خاک تعریف شد. نتایج نشان می‌دهد با افزایش تراکم خاک، کاهش مقاومت در فصل مشترک خاک-ژئوگرید بیشتر می‌شود و همچنین با کاهش فواصل نوارهای عرضی ژئوگرید، مقاومت برشی فصل مشترک خاک-ژئوگرید بیشتر کاهش خواهد یافت.

### ۱- مقدمه

ناشی از اصطکاک دانه‌های خاک با سطح ژئوگرید. ۳. مقاومت ناشی از برخورد خاک با نوارهای عرضی ژئوگرید در هنگام برش [۱]. تاکنون برخی تحقیقات آزمایشگاهی در زمینه سطح مشترک خاک-ژئوگرید توسط تعدادی از محققین انجام شده است [۲-۷]. اما هنوز، اثر نوارهای عرضی<sup>۴</sup> ژئوگرید بر روی مقاومت برشی فصل مشترک به طور کامل مشخص نیست. به عنوان مثال در تحقیقات محققین بیان شده است که فشار خاک غیرفعال<sup>۵</sup> ایجاد شده توسط المان‌های رابط ژئوگرید، در مکانیزم برش ناچیز است [۸ و ۹]. مطالعه بر روی سهم نوارهای عرضی ژئوگرید روی مقاومت برشی سطح مشترک خاک-ژئوگرید همچنان مورد توجه بوده و تحقیقات در این زمینه ادامه دارد. به دلیل رفتار لغزشی ژئوگرید بر روی خاک انتظار می‌رود که مقاومت برشی فصل مشترک، از مقاومت برشی خاک کمتر باشد، پارامترهای تاثیرگذار بر کاهش مقاومت عبارتند از: دانه‌بندی خاک، اندازه چشمه‌های ژئوگرید، تراکم نمونه و مقدار سربار.

استفاده از خانواده ژئوستتیک‌ها<sup>۱</sup> در دو دهه گذشته بسیار رواج یافته و در اغلب پروژه‌های ژئوتکنیکی از این مصالح استفاده می‌شود. در زمینه کاربردها و تنوع آنها و همچنین روش‌های طراحی با آنها در اغلب کتاب‌ها و مقالات صحبت شده است.

اما ژئوگریدها<sup>۲</sup> یکی از انواع ژئوستتیک‌ها هستند که اغلب به عنوان فصل مشترک<sup>۳</sup> لایه‌های مختلف راهسازی به منظور عدم ادغام مصالح استفاده می‌شود. از طرفی وجود لایه ژئوگرید در بین لایه‌های مصالح گوناگون باعث اثرگذاری بر روی مقاومت برشی خاک، بالاخص در فصل مشترک می‌شود. در این مقاله بحث به طور خاص بر روی مقاومت برشی فصل مشترک خاک-ژئوگرید می‌باشد. به طور کلی مقاومت برشی فصل مشترک خاک-ژئوگرید ناشی از سه عامل می‌باشد: ۱. مقاومت ناشی از اصطکاک دانه‌های خاک با یکدیگر در محل حفرات ژئوگرید. ۲. مقاومت

در این مقاله برای بررسی اثر این عوامل بر روی مقاومت برشی فصل مشترک خاک دانه‌ای-ژئوگرید، با استفاده از آزمایش برش مستقیم بزرگ مقیاس، آزمایشات متعددی انجام شد که مهمترین نتایج آنها به طور خلاصه

\*نویسنده عهده‌دار مکاتبات: ou001@znu.ac.ir

- 1 Geosynthetics
- 2 Geogrids
- 3 Interface

- 4 Transverse Ribs
- 5 Passive Resistance

چشمه‌های این ژئوگرید ۲/۵ در ۲/۵ سانتی متر مربع می‌باشد اما از آنجائیکه یکی از اهداف این تحقیق بررسی بر روی تاثیر اندازه چشمه‌های ژئوگرید بر روی مقاومت برشی فصل مشترک می‌باشد، برای تولید ژئوگرید با اندازه چشمه‌های مختلف برخی از نوارهای عرضی و طولی آن حذف شدند. بدین شکل ۵ نوع ژئوگرید با ابعاد مختلف بدست آمد که در زیر اسم‌گذاری شده‌اند (شکل ۲):

n1: ژئوگرید با ابعاد چشمه  $2/5 \times 2/5$  سانتی‌متر مربع

n2: حذف نوارهای عرضی ژئوگرید n1 به صورت یک درمیان

n3: حذف نوارهای طولی ژئوگرید n1 به صورت یک درمیان

n4: حذف نوارهای عرضی و طولی ژئوگرید n1 به صورت یک در میان

n5: حذف نوارهای عرضی به شکل یک در میان و به حالت خاص

مطابق با شکل ۲

ژئوتکستایل مورد استفاده در آزمایش‌ها نیز از نوع بافته شده و با وزن مخصوص  $250 \text{ gr/m}^2$  می‌باشد.

آورده شده است. برای مقایسه تعدادی آزمایش نیز بر روی فصل مشترک خاک دانه‌ای - ژئوتکستایل<sup>۱</sup> انجام شد. برای بررسی نتایج پارامتر ضریب مقاومت برشی  $\alpha$  تعریف شد که به کمک مقایسه حالت‌های مختلف امکان پذیر شد. در ابتدا مشخصات مصالح مصرفی شامل خاک دانه‌ای، ژئوگرید، ژئوتکستایل آورده شده و پس از آن آزمایشات و نتایج بدست آمده از آنها شرح داده می‌شوند.

## ۲- مشخصات مصالح مصرفی و آزمایش‌ها

خاک دانه‌ای مورد استفاده در آزمایش‌های این مقاله دو نوع می‌باشد. یک نوع خاک ماسه که مطابق با طبقه‌بندی متحد، در گروه خاک‌های SP قرار می‌گیرد و یک نوع خاک شن که از گروه GP می‌باشد. نمودار دانه‌بندی و مشخصات این دو نوع خاک و همچنین استانداردهای استفاده شده برای تعیین مشخصات، به ترتیب در شکل ۱ و جدول ۱ و مشخصات ژئوگرید پلی استر ForTEX ۳۰/۸۰ در جدول ۲ آورده شده است. اندازه

جدول ۱: مشخصات فیزیکی خاک ماسه و شن بدست آمده از نمودار دانه‌بندی و آزمایشات تکمیلی

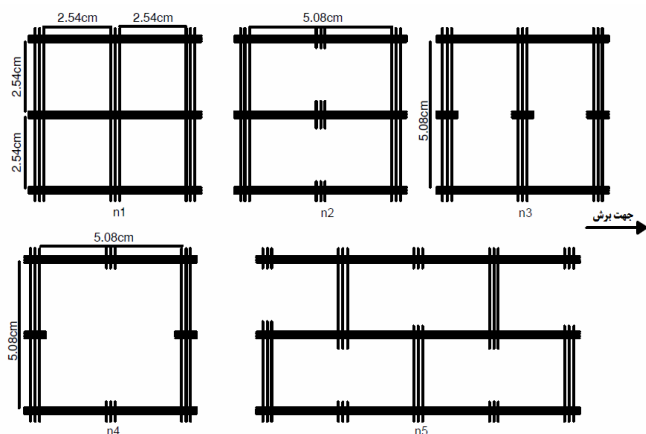
Table 1. Physical characteristics of sand and gravel soil obtained from the gradation curve and the additional testes

$c_u$	$c_c$	$G_s$	$\gamma_{d \min}$ gr/cm <sup>3</sup>	$\gamma_{d \max}$ gr/cm <sup>3</sup>	$\omega_{opt}$ (%)	
۶/۲۲	۰/۹۵	۲/۸۴	۱/۵۷	۱/۸۱	۰/۸	شن
۱/۶۵	۱/۱۰	۲/۶۹	۱/۶۶	۱/۸۷	۱۲/۶۰	ماسه
ASTM D 3080-90 [۱۰]	ASTM D 3080-90 [۱۰]	ASTM D 854-10 [۱۱]	ASTM D 4254-91 [۱۲]	ASTM D 1557-02 [۱۳]	ASTM D 2216-98 [۱۴]	استاندارد آزمایش

جدول ۲: مشخصات ژئوگرید مصرفی در آزمایشات

Table 2. Characteristics of geogrid

ژئوگرید پلی استر به نام ForTEX 80/30				
مشخصات	استاندارد	واحد	راستای طولی	راستای عرضی
مقاومت کششی اسمی [۱۵]	EN ISO 10319	KN/m	۸۰	۳۰
قابلیت افزایش طول [۱۵]	EN ISO 10319	%	۱۵	۱۵
اندازه چشمه ها [۱۵]	EN ISO 10319	mm	۲۵/۴	۲۵/۴



شکل ۲: شکل شماتیک ۵ نوع ژئوگرید استفاده شده در آزمایشات

Fig. 2. Schematic figure of the five type of geogrid used in laboratory

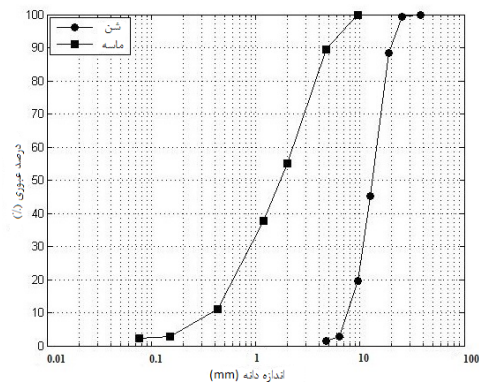
تغییر مکان برشی و جابجایی قائم-جابجایی برشی برای خاک ماسه‌ای با تراکم‌های مختلف و خاک شنی نشان داده شده است.

همان طور که مشاهده می‌شود نمودار تنش برشی-جابجایی برشی برای ماسه با تراکم‌های مختلف دارای تنش حداکثر می‌باشد که با افزایش سربار، مقدار این تنش در جابجایی‌های برشی بزرگ‌تری اتفاق می‌افتد (بین ۸ تا ۱۴ میلی‌متر). هم چنین با افزایش تراکم، مقاومت نمونه‌ها افزایش می‌یابد و مقاومت نمونه شن بیشتر از نمونه‌های ماسه می‌شود. رفتار شن متفاوت از رفتار ماسه است و در شن مقاومت برشی حداکثر در جابجایی‌های برشی بزرگ‌تری اتفاق می‌افتد. با ترسیم خطوط موهر-کولمب نمونه‌ها، برای همه نمونه‌ها مقداری چسبندگی مشاهده می‌شود، که می‌تواند ناشی از تراکم اولیه نمونه و تمایل به اتساع آن در زمان برش باشد.



شکل ۳: دستگاه برش مستقیم بزرگ مقیاس استفاده شده در آزمایشات این مقاله

Fig. 3. The large scale Direct Shear Test



شکل ۱: نمودار دانه‌بندی ماسه و شن استفاده شده در آزمایشات

Fig. 1. The gradation curves for sand and gravel

آزمایش‌ها توسط دستگاه برش مستقیم بزرگ مقیاس با ابعاد جعبه ۳۰ × ۱۵ سانتی‌متر مکعب و استاندارد ASTM D 3080-90 انجام شد. آزمایشات برای سه سربار قائم ۱، ۲ و ۳ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و با سرعت جابجایی برشی ۱ میلی‌متر بر دقیقه انجام شده است. برای انجام آزمایش‌ها از سه درصد تراکم نسبی ۴۰، ۵۵ و ۷۰ برای خاک ماسه‌ای و درصد تراکم نسبی ۷۰ برای خاک شنی استفاده شده است. بدین ترتیب که با استفاده از رابطه تراکم نسبی

$$D_r = \frac{(\gamma_d)_{\max} (\gamma_d - (\gamma_d)_{\min})}{\gamma_d ((\gamma_d)_{\max} - (\gamma_d)_{\min})} \times 100 \quad (1)$$

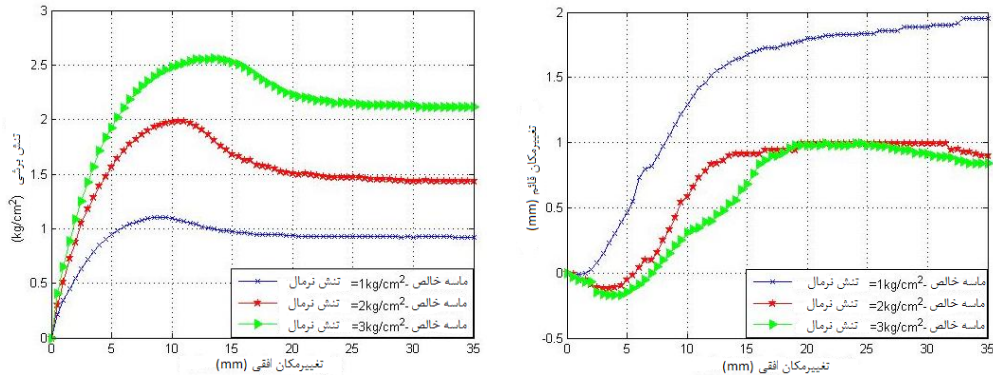
مقدار دانسیته و وزن خاک برای هر نمونه بدست می‌آید و سپس مطابق با استاندارد در تعداد لایه‌های مناسب و تعداد ضربات مشخصی نمونه داخل جعبه برش در درصد رطوبت پهنه متراکم می‌گردد.

در همه آزمایش‌ها ژئوگرید و ژئوتکستایل در فصل مشترک دو جعبه برش قرار داده شده و توسط بست‌های مخصوص در محل خود ثابت نگه داشته شده است. در شکل ۳، دستگاه برش مستقیم بزرگ مقیاس مورد استفاده در آزمایش‌های این مقاله نشان داده شده است.

در ادامه نتایج برای سه حالت به تفکیک آورده می‌شود. نتایج آزمایش برش برای خاک بدون وجود ژئوستتیک، خاک با یک لایه ژئوتکستایل در فصل مشترک برش و خاک با یک لایه ژئوگرید در محل فصل مشترک.

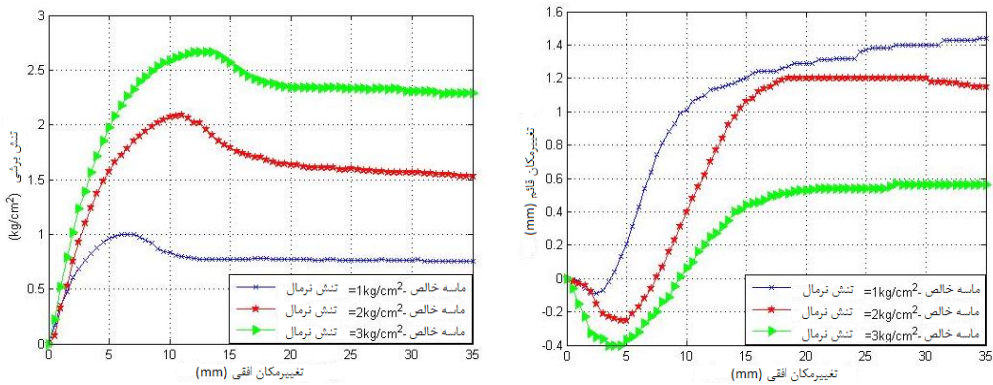
### ۳- آزمایش برش مستقیم بر روی خاک دانه‌ای به صورت خالص (بدون وجود ژئوستتیک) و تحلیل نتایج

در این قسمت نتایج آزمایش‌های برش مستقیم بر روی نمونه‌های خاک خالص آورده شده است. در شکل‌های ۴ تا ۷ نمودارهای تنش برشی-



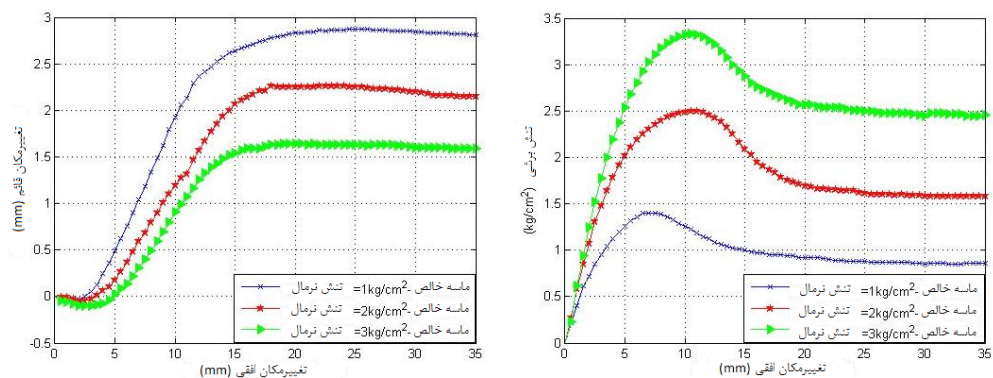
شکل ۴: نمودارهای تنش-برشی، جابجایی برشی نمونه ماسه خالص با تراکم نسبی ۴۰٪

Fig. 4. Shear stress- horizonal displacements behavior of sand samples with 40% degree of compaction



شکل ۵: نمودارهای تنش-برشی، جابجایی برشی نمونه ماسه خالص با تراکم نسبی ۵۵٪

Fig. 5. Shear stress- horizonal displacements behavior of sand samples with 55% degree of compaction



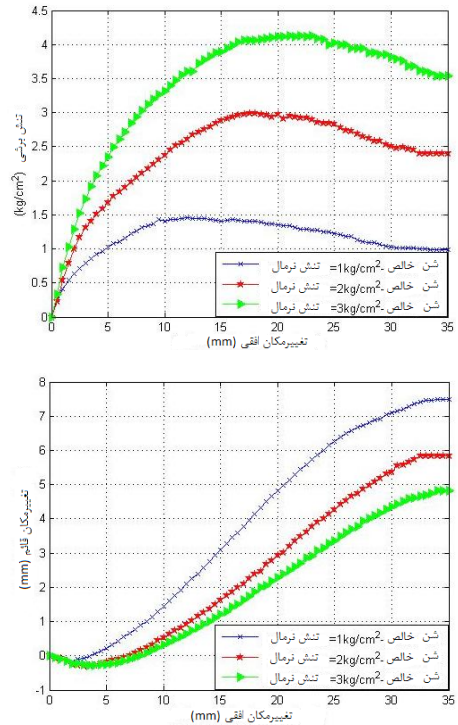
شکل ۶: نمودارهای تنش-برشی، جابجایی برشی نمونه ماسه خالص با تراکم نسبی ۷۰٪

Fig. 6. Shear stress- horizonal displacements behavior of sand samples with 70% degree of compaction



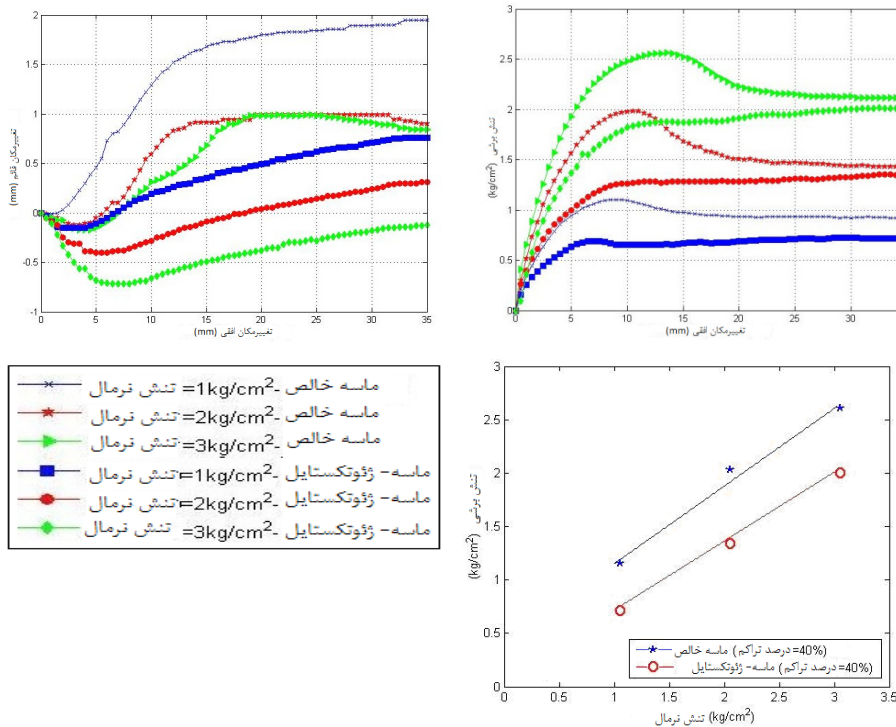
#### ۴- نتایج آزمایش برش مستقیم بر روی فصل مشترک خاک دانه‌ای و ژئوتکستایل

با توجه به شکل‌های ۸ تا ۱۰ و نتایج بدست آمده برای فصل مشترک خاک دانه‌ای- ژئوتکستایل، به ازای هر مقدار جابجایی برشی، مقاومت برشی نمونه ماسه خالص از مقاومت برشی فصل مشترک ماسه-ژئوتکستایل بیش‌تر است. همچنین با وجود ژئوتکستایل رفتار خاک از نرم کرنشی به سخت کرنشی تغییر می‌کند و نمودار تنش-جابجایی نمونه‌ها فاقد نقطه پیک می‌شود، این مساله به دلیل جدایش دانه‌ها در محل فصل مشترک است. برای یک سربار مشخص، مقاومت باقی‌مانده نمونه‌های ماسه-ژئوتکستایل با اختلاف کمی، نزدیک به مقاومت باقی‌مانده نمونه‌های ماسه خالص می‌شود که با افزایش تراکم، این اختلاف افزایش می‌یابد. در مورد شن نیز می‌توان گفت که رفتار فصل مشترک شن-ژئوتکستایل شبیه به شن خالص می‌باشد و تنها تفاوت این است که مقاومت برشی فصل مشترک شن-ژئوتکستایل کم‌تر از مقاومت برشی شن خالص است (شکل ۱۱).



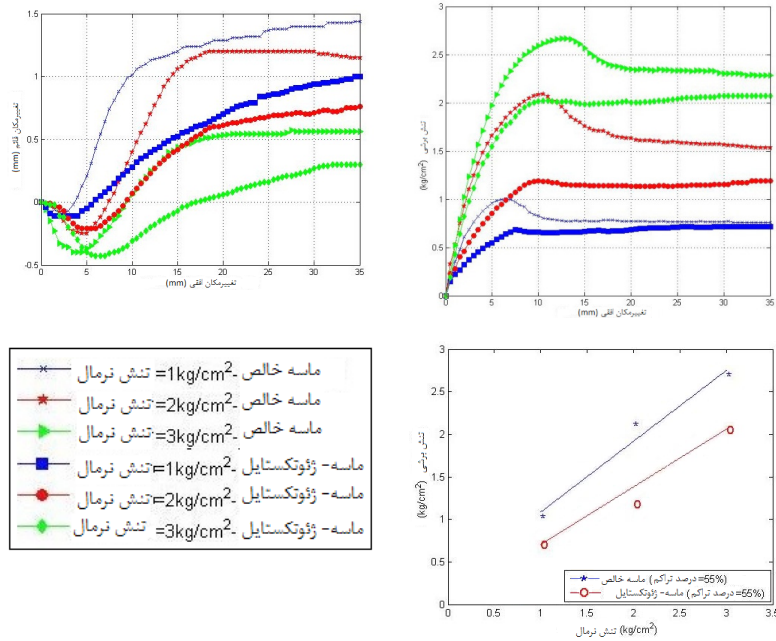
شکل ۷: نمودارهای تنش-برشی، جابجایی برشی نمونه شن خالص با تراکم نسبی ۷۰٪

Fig. 7. Shear stress- horizonal displacements behavior of gravel samples with 70% degree of compaction



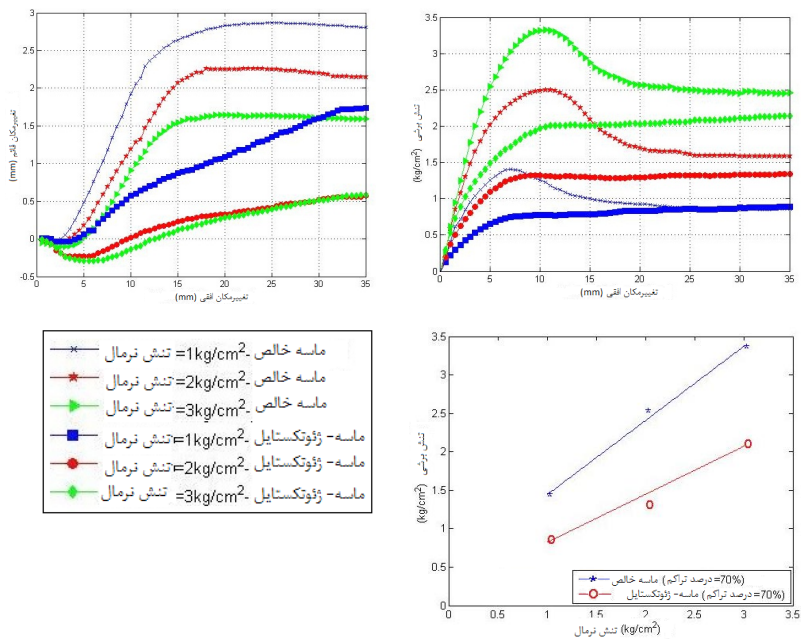
شکل ۸: نمودارهای تنش-برشی، جابجایی برشی و خط موهر-کولمب برای نمونه‌های ماسه خالص و ماسه-ژئوتکستایل با تراکم نسبی ۴۰٪

Fig. 8. Shear stress- horizonal displacements and Mohr- Coulomb line for sand and sand-geotextile samples with 40% degree of compaction



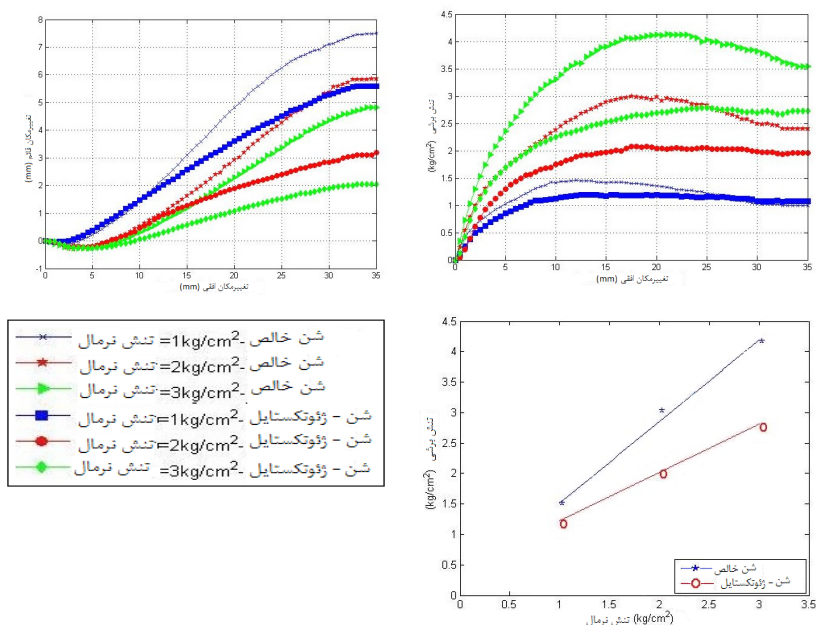
شکل ۹: نمودارهای تنش-برشی، جابجایی برشی و خط موهر-کولمب برای نمونه‌های ماسه خالص و ماسه-ژئوتکستایل با تراکم نسبی ۵۵٪

Fig. 9. Shear stress- horizonal displacements and Mohr- Coulomb line for sand and sand-geotextile samples with 55% degree of compaction



شکل ۱۰: نمودارهای تنش-برشی، جابجایی برشی و خط موهر-کولمب برای نمونه‌های ماسه خالص و ماسه-ژئوتکستایل با تراکم نسبی ۷۰٪

Fig. 10. Shear stress- horizonal displacements and Mohr- Coulomb line for sand and sand-geotextile samples with 70% degree of compaction



شکل ۱۱: نمودارهای تنش-برشی، جابجایی برشی و خط موهر-کولمب برای نمونه‌های شن خالص و شن-ژئوتکستایل با تراکم نسبی ۷۰٪

Fig. 11. Shear stress- horizontal displacements and Mohr- Coulomb line for gravel and gravel-geotextile samples with 70% degree of compaction

مشاهده نمود که مقاومت برشی فصل مشترک ماسه-ژئوتکستایل همواره از مقاومت برشی ماسه خالص و مقاومت برشی فصل مشترک ماسه-ژئوگرید کم‌تر می‌باشد و مقاومت برشی ماسه-ژئوگرید بین مقاومت برشی ماسه خالص و ماسه-ژئوتکستایل قرار می‌گیرد. در مورد شن مقاومت برشی فصل مشترک شن-ژئوگرید به طور محسوسی از مقاومت شن خالص کمتر و از مقاومت شن-ژئوتکستایل بیشتر است. این موضوع در قسمت بعد به طور کامل بحث می‌شود.

۶- بحث تکمیلی با استفاده از تعریف پارامتر ضریب مقاومت برشی  $\alpha$  و مقایسه با نتایج بدست آمده توسط محققین دیگر در ادامه پارامتر  $\alpha$  بصورت زیر تعریف می‌شود:

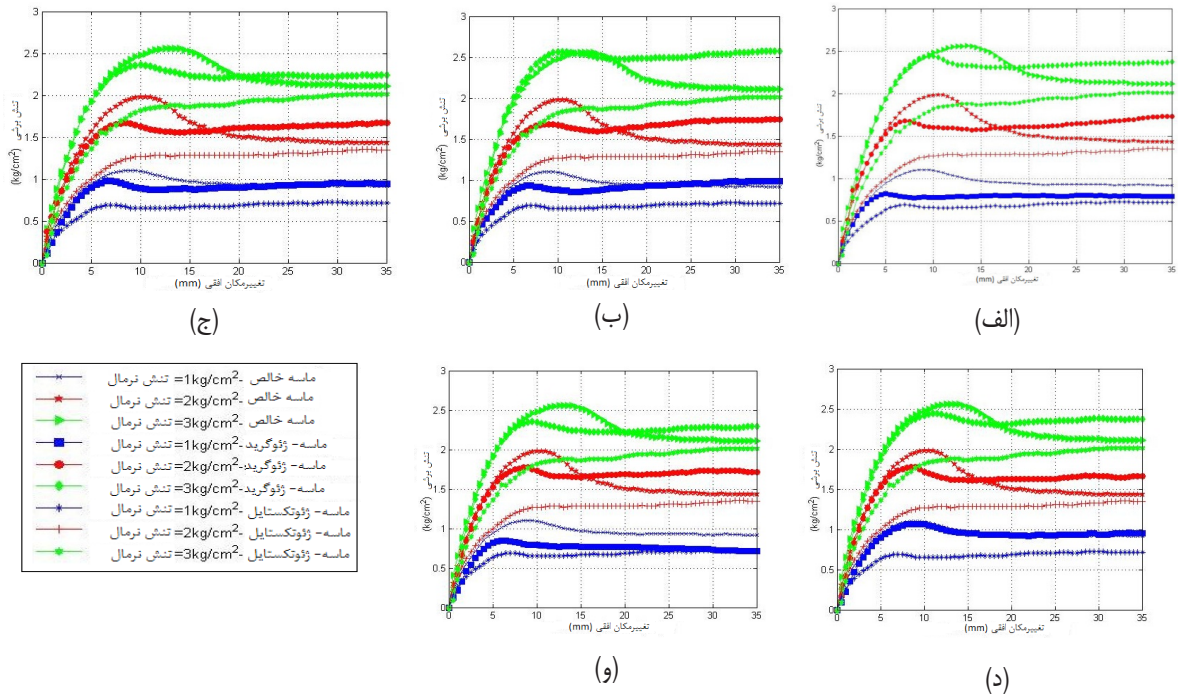
$$\alpha = \frac{\tau_{soil-geosynthetic}}{\tau_{soil}} \quad (2)$$

مقدار تنش برشی حداکثر در فصل مشترک خاک ژئوگرید یا خاک-ژئوتکستایل می‌باشد و  $\tau_{soil}$  مقدار تنش برشی حداکثر خاک خالص می‌باشد. برای همه نمونه‌ها این مقدار محاسبه شد که در جدول ۳ و ۴ میانگین سه سربار برای هر نمونه آورده شده است. با توجه به این دو جدول می‌توان نتیجه گرفت که مقاومت برشی فصل مشترک خاک-ژئوتکستایل از مقاومت خاک کم‌تر است.

## ۵- نتایج آزمایش برش مستقیم بر روی فصل مشترک خاک دانه‌ای و ژئوگرید

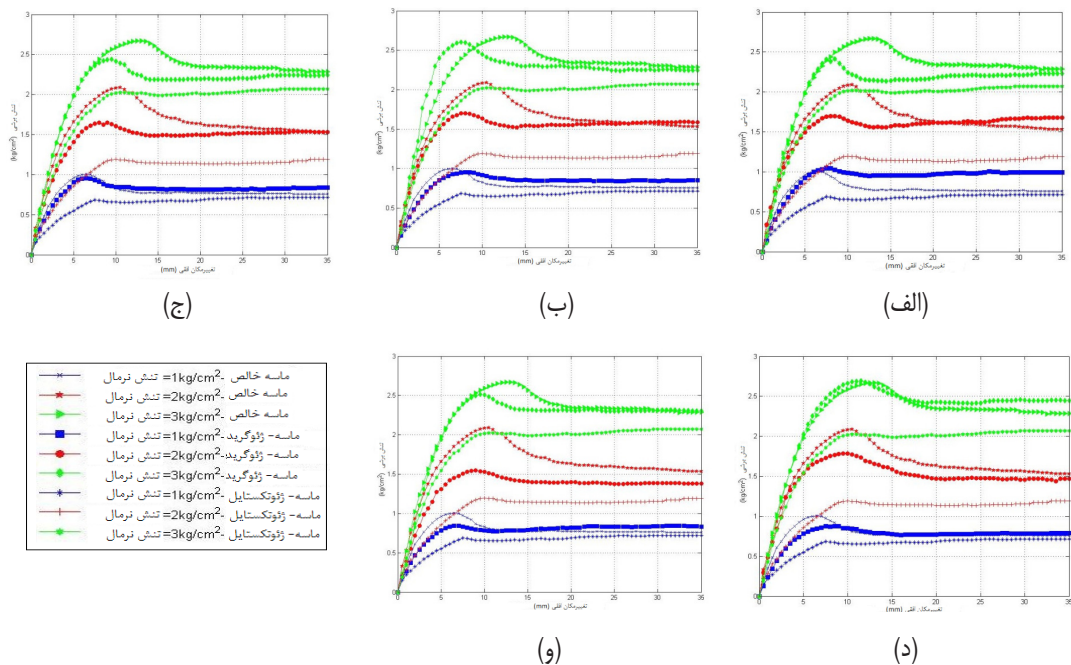
در ادامه آزمایشات، ژئوگرید در میانه نمونه‌های خاک با تراکم‌های مختلف قرار گرفت. نتایج در نمودارهای شکل ۱۲ تا ۱۵ به ترتیب برای نمونه‌های ماسه با تراکم نسبی ۴۰، ۵۵ و ۷۰ درصد و شن با تراکم نسبی ۷۰ درصد نشان داده شد است. همانطور که مشاهده می‌شود رفتار سطح مشترک ماسه-ژئوگرید با رفتار ماسه خالص و ماسه-ژئوتکستایل کاملاً متفاوت است. بدین نحو که نمونه ماسه-ژئوگرید بعد از پیک، تنش برشی تسلیم از خود نشان می‌دهد و مجدداً با شیب بسیار ملایمی، رفتار آن سخت شونده می‌شود. برای ژئوگریدهای با اندازه چشمه‌های مختلف این رفتار با تفاوت اندکی وجود دارد. نکته جالب توجه اینجاست که در قسمت سخت شونده<sup>۱</sup> و بعد از مرحله تسلیم<sup>۲</sup> در درصد تراکم نسبی ۴۰ و ۷۰، مقاومت برشی فصل مشترک ماسه-ژئوگرید از مقاومت برشی ماسه خالص بیش‌تر می‌شود و در درصد تراکم‌های نسبی ۵۵، مقاومت برشی باقی‌مانده ماسه خالص و فصل مشترک ماسه-ژئوگرید، یکسان می‌شوند. این موضوع نشان می‌دهد که به ازای جابجایی‌های برشی بزرگ، نیروی غیرفعال<sup>۳</sup> نوارهای عرضی در مقاومت برشی فصل مشترک مؤثر می‌شوند. هم‌چنین می‌توان

- 1 Hardening
- 2 Yielding
- 3 Passive



شکل ۱۲: نمودارهای تنش برشی-جابجایی برشی برای نمونه‌های ماسه با تراکم نسبی ۴۰ درصد و ژئوگریدهای مختلف (الف. ژئوگرید n1 ب. ژئوگرید n2 ج. ژئوگرید n3 د. ژئوگرید n4 و. ژئوگرید n5)

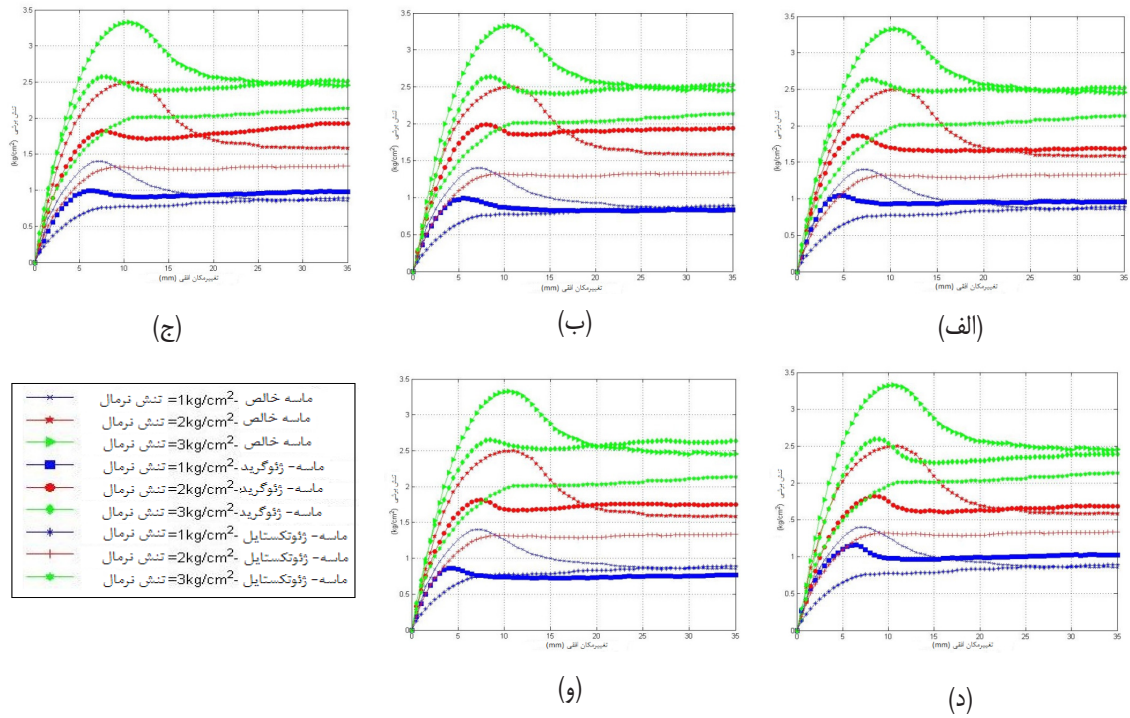
Fig. 12. Shear stress- horizonal displacements behavior of sand samples with 40% degree of compaction for n1, n2, n3, n4 and n5 geogrids



شکل ۱۳: نمودارهای تنش برشی-جابجایی برشی برای نمونه‌های ماسه با تراکم نسبی ۵۵ درصد و ژئوگریدهای مختلف (الف. ژئوگرید n1 ب. ژئوگرید n2 ج. ژئوگرید n3 د. ژئوگرید n4 و. ژئوگرید n5)

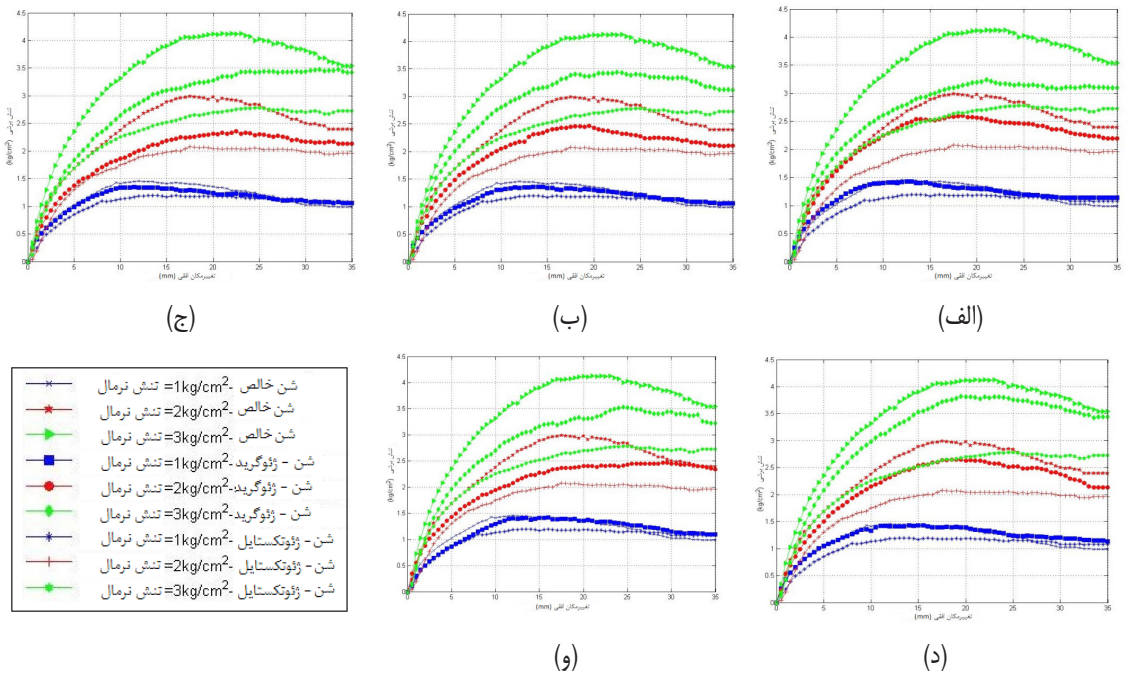
Fig. 13. Shear stress- horizonal displacements behavior of sand samples with 55% degree of compaction for n1, n2, n3, n4 and n5 geogrids





شکل ۱۴: نمودارهای تنش برشی-جابجایی برشی برای نمونه‌های ماسه با تراکم نسبی ۷۰ درصد و ژئوگریدهای مختلف (الف. ژئوگرید n1 ب. ژئوگرید n2 ج. ژئوگرید n3 د. ژئوگرید n4 و. ژئوگرید n5)

Fig. 14. Shear stress- horizonal displacements behavior of sand samples with 70% degree of compaction for n1, n2, n3, n4 and n5 geogrids



شکل ۱۵: نمودارهای تنش برشی-جابجایی برشی برای نمونه‌های شن با تراکم نسبی ۷۰ درصد و ژئوگریدهای مختلف (الف. ژئوگرید n1 ب. ژئوگرید n2 ج. ژئوگرید n3 د. ژئوگرید n4 و. ژئوگرید n5)

Fig. 15. Shear stress- horizonal displacements behavior of gravel samples with 70% degree of compaction for n1, n2, n3, n4 and n5 geogrids

(۲۰۰۶) ضریب مقاومت برشی ماسه- ژئوگرید پلی اتیلن را بین ۰/۹۰ تا ۱/۰۵ برای تراکم‌های نسبی و درصد رطوبت‌های مختلف پیدا کردند [۷]. وجود اختلاف در مقدار ضریب مقاومت برشی بدست آمده توسط محققین مختلف به دلیل تنوع در جنس، نوع و اندازه چشمه‌های ژئوگرید و شرایط نمونه و آزمایش می‌باشد.

## ۷- نتیجه‌گیری

در ادامه تحقیقات گذشته در مورد مقاومت برشی فصل مشترک خاک- ژئوسنتتیک، در این مقاله یک سری آزمایش برش مستقیم بزرگ مقیاس بر روی یک نوع خاک ماسه‌ای از نوع SP و یک نوع خاک شن از نوع GP و مسلح به ژئوتکستایل و ژئوگرید انجام شد به نحویکه لایه ژئوسنتتیک بر روی سطح برش قرار گرفت. اندازه چشمه‌های ژئوگرید اولیه  $2/5 \times 2/5$  سانتی‌متر مربع بود اما با برش برخی از نوارهای عرضی و طولی آن، ژئوگریدهای دیگری با اندازه چشمه‌های مختلف ایجاد شد. برای ارزیابی و مقایسه اثر ژئوگریدهای مختلف بر روی مقاومت برشی فصل مشترک خاک-ژئوگرید پارامتر به صورت نسبت تنش برشی حداکثر در سطح مشترک خاک-ژئوگرید به تنش برشی حداکثر در نمونه خاک خالص (نمونه غیرمسلح<sup>۶</sup>) تعریف شد.

مطابق با نتایج این پژوهش که منطبق بر مطالعات پیشین از محققین دیگر می‌باشد، وجود لایه ژئوسنتتیک در محل برش، قدری از مقاومت برشی نمونه می‌کاهد. ضریب، یا ضریب نسبت تنش برشی برای فصل مشترک خاک دانه‌ای- ژئوتکستایل برای ماسه و شن و درصدهای مختلف تراکم نسبی بین ۰/۶ تا ۰/۷۳ بدست آمد که نشان از کاهش چشمگیر مقاومت برشی با وجود لایه ژئوتکستایل در ناحیه برش می‌باشد. اگر ژئوگرید در محل فصل مشترک قرار گیرد این ضریب بین ۰/۷۱ تا ۰/۹۴ متغیر می‌شود که دوباره بیانگر کاهش محسوس مقاومت برشی است. گفته شد که به صورت کلی مقاومت برشی فصل مشترک خاک-ژئوگرید ناشی از سه مولفه است: (۱) مقاومت ناشی از اصطکاک و قفل و بست دانه‌های خاک با یکدیگر. (۲) مقاومت ناشی از اصطکاک دانه‌های خاک با سطح ژئوگرید. (۳) مقاومت ناشی از برخورد خاک با نوارهای عرضی ژئوگرید. آنچه از نتایج آزمایش‌ها برمی‌آید اینست که مولفه اول یعنی اصطکاک و قفل و بست دانه‌ها با یکدیگر دارای بیش‌ترین سهم در مقاومت برشی خاک هستند و مقدارش از دو مولفه دیگر بیش‌تر است. به نحویکه برای ژئوگریدهایی که دارای چشمه‌های بزرگتری در امتداد برش هستند ضریب افزایش می‌یابد و هرچه اندازه چشمه‌ها کوچکتر شود به دلیل جدایش بین دو حجم بالا و پایین نمونه در برش و همچنین امکان لغزش خاک بر روی سطوح ژئوگرید، مقدار این ضریب کاهش می‌یابد به عبارتی بعد از خاک خالص که بیشترین مقاومت را داراست، فصل مشترک ژئوگرید n4 و خاک دانه‌ای به دلیل دارا بودن بزرگترین بعد چشمه، بالاترین مقاومت و فصل مشترک ژئوگرید n5 و خاک

مطابق با جدول ۳ ضریب مقاومت برشی سطح مشترک خاک دانه‌ای (ماسه و شن)- ژئوتکستایل ( $\alpha$ )، بین ۰/۶ تا ۰/۷۳ می‌باشد. مقادیر مشابه‌ای توسط محققین دیگر برای فصل مشترک ماسه- ژئوتکستایل ارائه شده است، به عنوان مثال آقای لیو<sup>۱</sup> و همکاران در سال ۲۰۰۹ این نسبت را بین ۰/۷ تا ۰/۸ بدست آوردند [۱]، اعداد مشابه دیگری توسط مارتین<sup>۲</sup> و همکاران در سال ۱۹۸۴ بدست آمده بود [۱۶].

در جدول ۴ مقدار  $\alpha$  برای فصل مشترک خاک دانه‌ای- ژئوگرید آورده شده است که نشان می‌دهد محدوده تغییرات این پارامتر بین ۰/۷۱ تا ۰/۹۴ می‌باشد. از این دو جدول دو نتیجه مهم گرفته می‌شود. نتیجه اول اینکه با افزایش تراکم نسبی نمونه، کاهش مقاومت برشی در فصل مشترک خاک-ژئوگرید بیش‌تر می‌شود. و دوم اینکه با بزرگ شدن چشمه‌های ژئوگرید بالاخص در جهت برش، نسبت  $\alpha$  افزایش می‌یابد، یا به عبارتی با کاهش فواصل نوارهای عرضی ژئوگرید، مقاومت برشی فصل مشترک خاک-ژئوگرید بیش‌تر کاهش می‌یابد. در جدول ۴، بیشترین مقادیر  $\alpha$  برای ژئوگرید n4 می‌باشد که دارای بزرگترین ابعاد چشمه بالاخص در امتداد مسیر برش می‌باشد و پس از آن n1 و n2، و در آخر n3 و n5 قرار می‌گیرند. همانطور که در مقدمه گفته شد در حالت کلی مقاومت برشی فصل مشترک خاک-ژئوگرید ناشی از سه مولفه می‌باشد که مطابق با نتیجه بدست آمده مولفه اول یعنی اصطکاک و قفل و بست دانه‌ها با یکدیگر، دارای بیش‌ترین سهم در مقاومت برشی خاک هستند و مقدارش از دو مولفه دیگر بیش‌تر است. وجود ژئوگرید با توجه به اینکه حجمی از فضای برش را اشغال می‌کند به همان اندازه از مقاومت برشی خاک می‌کاهد. تشدید کاهش مقاومت برشی با افزایش تراکم نسبی نیز به این دلیل است که هرچه تراکم نسبی بالاتر رود نقش ناحیه برش در افزایش یا کاهش مقاومت برشی نیز بیش‌تر می‌شود. یعنی همان‌طور که در خاک خالص افزایش تراکم باعث افزایش مقاومت برشی می‌شود، در نمونه‌های خاک-ژئوگرید با افزایش تراکم نسبی، کاهش مقاومت بیش‌تر می‌شود. بنابراین باید دقت شود که قرار دادن لایه ژئوگرید در بین لایه های خاک به هر دلیلی که باشد مقاومت را تا حدودی کاهش می‌دهد. به طوری که در تراکم ۷۰٪، حدود ۲۵٪ کاهش مقاومت نشان داده می‌شود. مقدار  $\alpha$  بدست آمده در این پژوهش برای فصل مشترک خاک دانه‌ای- ژئوگرید، نیز به طور کلی سازگار با نتایج مطالعات پیشین است. لیو<sup>۱</sup> و همکاران این مقدار را بین ۰/۹ تا ۱ بدست آورده‌اند [۱]. کانسلی<sup>۳</sup> و همکاران در سال ۱۹۹۲ برای فصل مشترک ژئوگرید (از جنس پلی اتیلن با دانسیته بالا و پلی پروپیلن) و ماسه این مقدار را بین ۱/۰۴ تا ۱/۱۲ بدست آوردند [۳]. کازوفی<sup>۴</sup> و همکاران (۱۹۹۳) ضریب مقاومت برشی ماسه و ژئوگرید با دانسیته بالا را ۰/۹۷ گزارش کردند [۴] در حالیکه ابو فارساخ و کرونل<sup>۵</sup>

1 Liu

2 Martin

3 Cancelli

4 Cazzuffi

5 Abu-Farsakh و Coronel

نکته آخر اما مهم دیگر در مورد مقاومت برشی باقی مانده در آزمایشات است، مطابق با نمودارهای تنش-جابجایی، در ناحیه سخت شونده نمودار (مقاومت باقی مانده) و بعد از مرحله تسلیم برای درصد تراکم‌های نسبی ۴۰ و ۷۰، مقاومت برشی فصل مشترک ماسه-ژئوگرید از مقاومت برشی ماسه خالص بیش تر و در درصد تراکم‌های نسبی ۵۵، مقاومت برشی باقی مانده ماسه خالص و فصل مشترک ماسه-ژئوگرید، یکسان می‌شوند.

به دلیل کوچک بودن بعد چشمه ژئوگرید، کمترین مقاومت را از خود نشان دادند. تشدید کاهش مقاومت برشی با افزایش تراکم نیز به این دلیل است که هرچه تراکم بالاتر رود نقش ناحیه برش در افزایش یا کاهش مقاومت برشی نیز بیش تر می‌شود. یعنی همان طور که در خاک خالص افزایش تراکم باعث افزایش مقاومت برشی می‌شود، در نمونه‌های خاک-ژئوگرید با افزایش تراکم، کاهش مقاومت بیش تر می‌شود. از این جهت باید دقت شود که قرار دادن لایه ژئوگرید در بین لایه‌های خاک به هر دلیلی که باشد مقاومت را تا حدودی کاهش می‌دهد. به طوری که در تراکم ۷۰٪، حدود ۲۵٪ کاهش مقاومت نشان داده می‌شود.

جدول ۳: ضریب مقاومت برشی  $\alpha$ ، میانگین بدست آمده برای سه سربار مختلف، بر اساس تنش حداکثر فصل مشترک خاک دانه‌ای-ژئوتکستایل

Table 3. Shear strength coefficient ( $\alpha$ ), the mean of three loads, based on the maximum shear strength of sand- geotextile interface

مشخصات خاک	ماسه با تراکم نسبی ۴۰٪	ماسه با تراکم نسبی ۵۵٪	ماسه با تراکم نسبی ۷۰٪	شن
مقدار میانگین $\alpha$	۰/۷۱	۰/۶۹	۰/۶۰	۰/۷۳

جدول ۴: ضریب مقاومت برشی  $\alpha$ ، میانگین بدست آمده برای سه سربار مختلف، بر اساس تنش حداکثر فصل مشترک خاک دانه‌ای-ژئوگرید

Table 4. Shear strength coefficient ( $\alpha$ ), the mean of three loads, based on the maximum shear strength of sand- geogrid interface

مشخصات خاک	نمونه (n1)	نمونه (n2)	نمونه (n3)	نمونه (n4)	نمونه (n5)
ماسه با تراکم نسبی ۴۰٪	۰/۸۵	۰/۹۲	۰/۸۸	۰/۹۴	۰/۸۶
ماسه با تراکم نسبی ۵۵٪	۰/۹۲	۰/۸۴	۰/۸۴	۰/۹۱	۰/۸۴
ماسه با تراکم نسبی ۷۰٪	۰/۷۶	۰/۷۶	۰/۷۴	۰/۷۸	۰/۷۱
شن	۰/۸۸	۰/۸۶	۰/۸۵	۰/۹۳	۰/۸۸

- [6] R.M. Bakeer, S.M. Sayed, P. Cates, R. Subramanian, Pullout and shear tests on geogrid reinforced lightweight aggregate, *Geotextiles and Geomembranes*, 16(2) (1998) 119-133.
- [7] M.Y. Abu-Farsakh, J. Coronel, Characterization of Cohesive Soil-Geosynthetics Interactions from Large Direct Shear Tests, 2006.
- [8] R. Jewell, G. Milligan, D. Dubois, Interaction between soil and geogrids, in: *Polymer grid reinforcement*, Thomas Telford Publishing, 1984, pp. 18-30.
- [9] M.-L. Lopes, *Soil-geosynthetic interaction*, Thomas Telford, London, 2002.
- [10] ASTM D 8030-90, in.
- [11] ASTM D 854-10, in
- [12] ASTM D 4254-91, in.
- [13] ASTM D 1557-02, in.
- [14] ASTM D 2216-98, in.
- [15] EN ISO 10319, in
- [16] J. Martin, R. Koerner, J. Whitty, Experimental friction evaluation of slippage between geomembranes, geotextiles and soils, in: *Proceedings of the International Conference on Geomembranes*, IFAI Denver, CO, USA, 1984, pp. 191-196.

## ۸- تشکر و قدردانی

در پایان از شرکت ناروین گستر پارسینان به دلیل تهیه و در اختیار گذاشتن ژئوگرید و شرکت لایبی باف برای تهیه ژئوتکستایل مورد استفاده در آزمایشات این مقاله، تشکر و قدردانی می‌گردد.

## مراجع

- [1] C.-N. Liu, J.G. Zornberg, T.-C. Chen, Y.-H. Ho, B.-H. Lin, Behavior of geogrid-sand interface in direct shear mode, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 135(12) (2009) 1863-1871.
- [2] P. Jarret, R. Bathurst, Frictional development at a gravel geosynthetic peat interface, in: *Proc., 2nd Canadian Symp. of Geotextiles and Geomembranes*, 1985, pp. 1-6.
- [3] A. Cancelli, P. Rimoldi, S. Togni, Frictional characteristics of geogrids by means of direct shear and pullout tests, *Int. Symp. On Earth Reinforcement Partice*, Kyushu Univ., Fukuoka, Japan, (1992) 51-56.
- [4] D. Cazzuffi, L. Picarelli, A. Ricciuti, P. Rimoldi, Laboratory investigations on the shear strength of geogrid reinforced soils, in: *Geosynthetic soil reinforcement testing procedures*, ASTM International, 1993.
- [5] G.E. Bauer, Y. Zhao, Evaluation of shear strength and dilatancy behavior of reinforced soil from direct shear tests, in: *Geosynthetic Soil Reinforcement Testing Procedures*, ASTM International, 1993

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

Please cite this article using:

A. Lakirouhani, M. Abbasian, Investigation of Soil-Geogrid interface in direct shear test, with emphasis on the size of apertures of geogrid and different compaction degrees of soil, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 50(5) (2018) 949-960.

DOI: 10.22060/ceej.2017.12726.5258

