

تحقیق بر روی مقاومت برشی فصل مشترک خاک دانه‌ای - ژئوگرید با استفاده از آزمایش برش مستقیم

علی لکی روحانی، استادیار، دانشکده فنی، گروه عمران، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
مژگان عباسیان، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی، گروه عمران، دانشگاه زنجان زنجان، ایران
پست الکترونیکی نویسنده مسئول: rou001@znu.ac.ir
دریافت: ۹۴/۰۱/۱۰ - پذیرش: ۹۴/۰۳/۲۰

چکیده

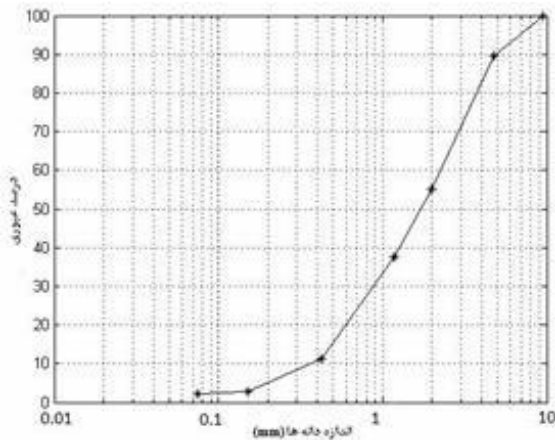
ژئوگرید یکی از محصولات خانواده ژئوستنتیک‌ها است که به عنوان جداکننده در لایه‌های مختلف اساس و زیراساس استفاده می‌شود. در دهه گذشته مقاومت برشی فصل مشترک خاک - ژئوگرید مورد توجه محققین مختلف بوده است. مقاومت فصل مشترک دارای چندین مولفه است و در این مقاله بر روی مولفه‌های مختلف آن توسط آزمایش برش مستقیم تحقیق شده است. برای ارزیابی اثر ژئوگرید بر روی مقاومت برشی فصل مشترک خاک - ژئوگرید پارامتر α به صورت نسبت تنش برشی حداکثر در سطح مشترک خاک - ژئوگرید به تنش برشی حداکثر در خاک تعریف می‌شود. مطابق با نتایج به دست آمده: الف: مقاومت برشی فصل مشترک خاک - ژئوگرید از مقاومت برشی خاک کمتر است. ب: با افزایش تراکم خاک، کاهش مقاومت در فصل مشترک خاک - ژئوگرید بیشتر می‌شود و ج: با کاهش فواصل نوارهای عرضی ژئوگرید، مقاومت برشی فصل مشترک خاک - ژئوگرید بیشتر کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: ژئوگرید، خاک ماسه‌ای، آزمایش برش مستقیم، مقاومت برشی

۱ - مقدمه

عبور کند و بین ذرات خاک قرار گرفته در بالا و پایین ژئوگرید، قفل شدگی ایجاد می‌شود. بنابراین مقاومت برشی سطح مشترک خاک - ژئوگرید حداقل ناشی از دو عامل است: ۱- مقاومت برشی بین خاک و سطح نوارهای ژئوگرید. ۲- مقاومت برشی داخلی خاک عبور کرده از بازشوهای ژئوگرید. تحقیقاتی که تاکنون در زمینه سطح مشترک خاک - ژئوگرید انجام شده شامل Jarret & Bathurst (1985)، Cancelli et al (1992)، Bauer & Zhao (1993)، Cazzuffi et al. (1993)، Abu Farsakh & Coronel (2006) (1998) می‌باشد. چیزی که در این بین اهمیت دارد اینست که اثر نوارهای عرضی ژئوگرید بر روی مقاومت برشی هنوز مشخص نیست. به عنوان مثال Jewell et al. (1985) و Lopez (2002) بیان کردند که فشار خاک غیر فعال (پاسیو) ایجاد

شناخت رفتار برشی سطح مشترک خاک - ژئوستنتیک در طراحی سازه‌های خاکی مسلح به ژئوستنتیک دارای اهمیت فراوانی است. برای بررسی رفتار فصل مشترک خاک - ژئوستنتیک اغلب از آزمایش برش مستقیم استفاده می‌شود. یکی از انواع ژئوستنتیک‌ها، ژئوگریدها هستند که به عنوان المان تسلیح کننده در لایه زیرسازی راه‌ها یا شیروانی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. چون خاک قادر به نفوذ بین بازشوهای کوچک ژئوستنتیک نیست مقاومت برشی سطح مشترک خاک در مقابل ژئوممبراین یا ژئوتکتایل ناشی از اصطکاک بین خاک و ژئوستنتیک است، اما در مورد ژئوگرید مساله پیچیده‌تر است، چون در این حالت خاک قادر است از بین بازشوهای ژئوگرید



شکل ۱. نمودار دانه‌بندی خاک ماسه

جدول ۲. مشخصات ژئوگرید استفاده شده در آزمایشات

ژئوگرید از جنس پلی استر ForTEX 80/30				
مشخصات	استاندارد	واحد	راستای طولی	راستای عرضی
مقاومت کششی اسمی	EN ISO 10319	KN/m	80	30
قابلیت افزایش طول	EN ISO 10319	%	15	15
اندازه چشمه‌ها	EN ISO 10319	mm	25.4	25.4

همانطور که در این جدول مشاهده می‌شود اندازه چشمه ژئوگرید $2.5 \times 2.5 \text{ cm}^2$ است. برای بررسی تاثیر اندازه چشمه ژئوگرید در آزمایشات مختلف، برخی از نوارهای عرضی و طولی ژئوگرید حذف شدند تا ژئوگریدهای دیگری با ابعاد چشمه‌های مختلف ایجاد شوند. در زیر نام ژئوگریدهای مختلف و نحوه به دست آوردن آن‌ها از ژئوگرید اصلی، آورده شده است و همچنین در شکل ۲ به صورت شماتیک ابعاد چشمه‌های آن‌ها نمایش داده شده است.

n1: ژئوگرید اولیه با ابعاد چشمه $2.5 \times 2.5 \text{ cm}^2$.

n2: حذف نوارهای عرضی ژئوگرید n1 به صورت یک درمیان.

n3: حذف نوارهای طولی ژئوگرید n1 به صورت یک درمیان.

(2002) بیان کردند که فشار خاک غیر فعال (پاسیو) ایجاد شده توسط المان‌های رابط ژئوگرید، در مکانیزم برش ناچیز است. اما Bergado et al. (1993) بعد از انجام یک سری آزمایش برش مستقیم عنوان کردند که مقاومت برشی سطح مشترک خاک-ژئوگرید از خاک بیشتر است. و بنابراین مطالعه بر روی سهم نوارهای عرضی روی مقاومت برشی سطح مشترک خاک-ژئوگرید مورد توجه و دارای اهمیت به سزایی است.

هدف از این مقاله مطالعه بر روی مقاومت برشی سطح مشترک خاک-ژئوگرید است. بدین منظور از یک نوع خاک ماسه‌ای و یک نوع ژئوگرید اما با اندازه چشمه‌های مختلف استفاده شده است. آزمایش‌ها با استفاده از دستگاه برش مستقیم و با مشخصات آورده شده در قسمت‌های بعد انجام شده است.

۲- مشخصات مصالح مصرفی و آزمایش‌ها

ماسه مورد استفاده در این تحقیق از قرضه‌ای در نزدیکی شهر زنجان تهیه شده است. نمودار دانه‌بندی و مشخصات خاک ماسه به ترتیب در شکل ۱ و جدول ۱ قابل مشاهده است. مطابق با طبقه‌بندی متحد، خاک ماسه از نوع SP می‌باشد. در جدول ۱، مقدار ویژه توده خاک، $\gamma_{d \min}$ وزن مخصوص حداقل، $\gamma_{d \max}$ وزن مخصوص حداکثر و ω_{opt} درصد رطوبت بهینه خاک ماسه می‌باشد. همچنین ژئوگرید مصرفی از شرکت ناروین گستر پارسیان تهیه شد و مشخصات آن در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱. مشخصات مکانیکی خاک ماسه‌ای، به دست آمده

از آزمایشات مقدماتی

مشخصات خاک	G_s	$\gamma_{d \min}$ (gr/cm^3)	$\gamma_{d \max}$ (gr/cm^3)	ω_{opt} (%)
	2.69	1.66	1.87	12.60
نوع استاندارد	ASTM D 854-10	ASTM D 4254-91	ASTM D 1557-02	ASTM D 2216-98

مشترک دو جعبه برش قرار داده شده و توسط بست‌های مخصوص ثابت نگه داشته شده است. شکل ۳، دستگاه برش مستقیم بزرگ مقیاس را نشان می‌دهد.



شکل ۳. دستگاه برش مستقیم بزرگ مقیاس استفاده شده در این تحقیق (آزمایشگاه مکانیک خاک دانشگاه زنجان)

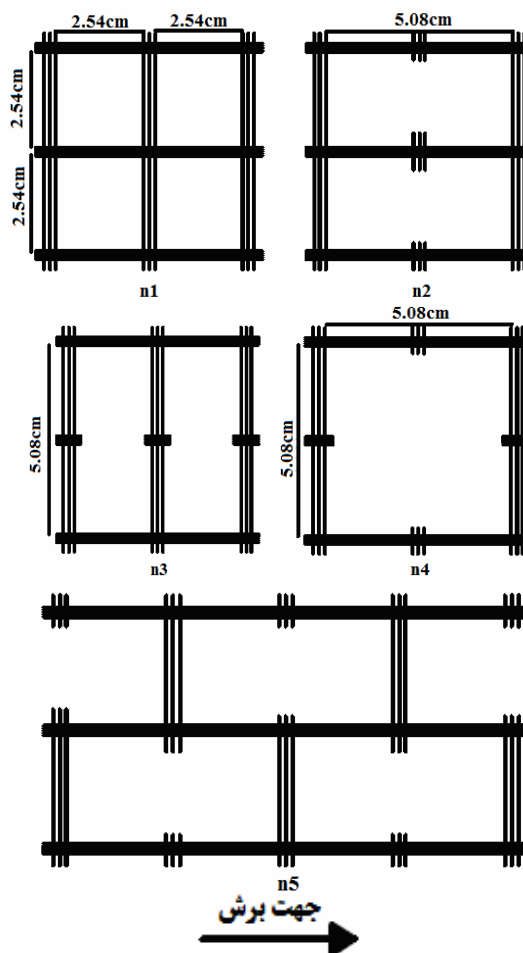
۳- نتایج آزمایشات و تحلیل آنها با معرفی

پارامتر α

در این قسمت نتایج آزمایش‌ها آورده شده است. برای رعایت اختصار نمودارهای تنش-جابه‌جایی و تغییرحجم-جابه‌جایی فقط برای نمونه با تراکم ۷۰٪ آورده شده است (شکل ۴). اما در شکل ۵ نمودارهای موه-کولمب برای نمونه n1 و در جدول ۳ مشخصات مقاومتی متناظر با هر یک از نمونه‌ها آورده شده است. اولین نکته که از نمودارها برداشت می‌شود اینست که مقاومت سطح مشترک خاک-ژئوگرید از خاک کمتر است و مقدار کاهش بستگی به درصد بازشو در ژئوگرید و همچنین مقدار تراکم نمونه دارد. با توجه به نمودارهای جابه‌جایی قائم در مقابل جابه‌جایی برشی مشاهده می‌شود که در همه نمونه‌های مسلح، اتساع نمونه نسبت به نمونه غیرمسلح کاهش یافته است.

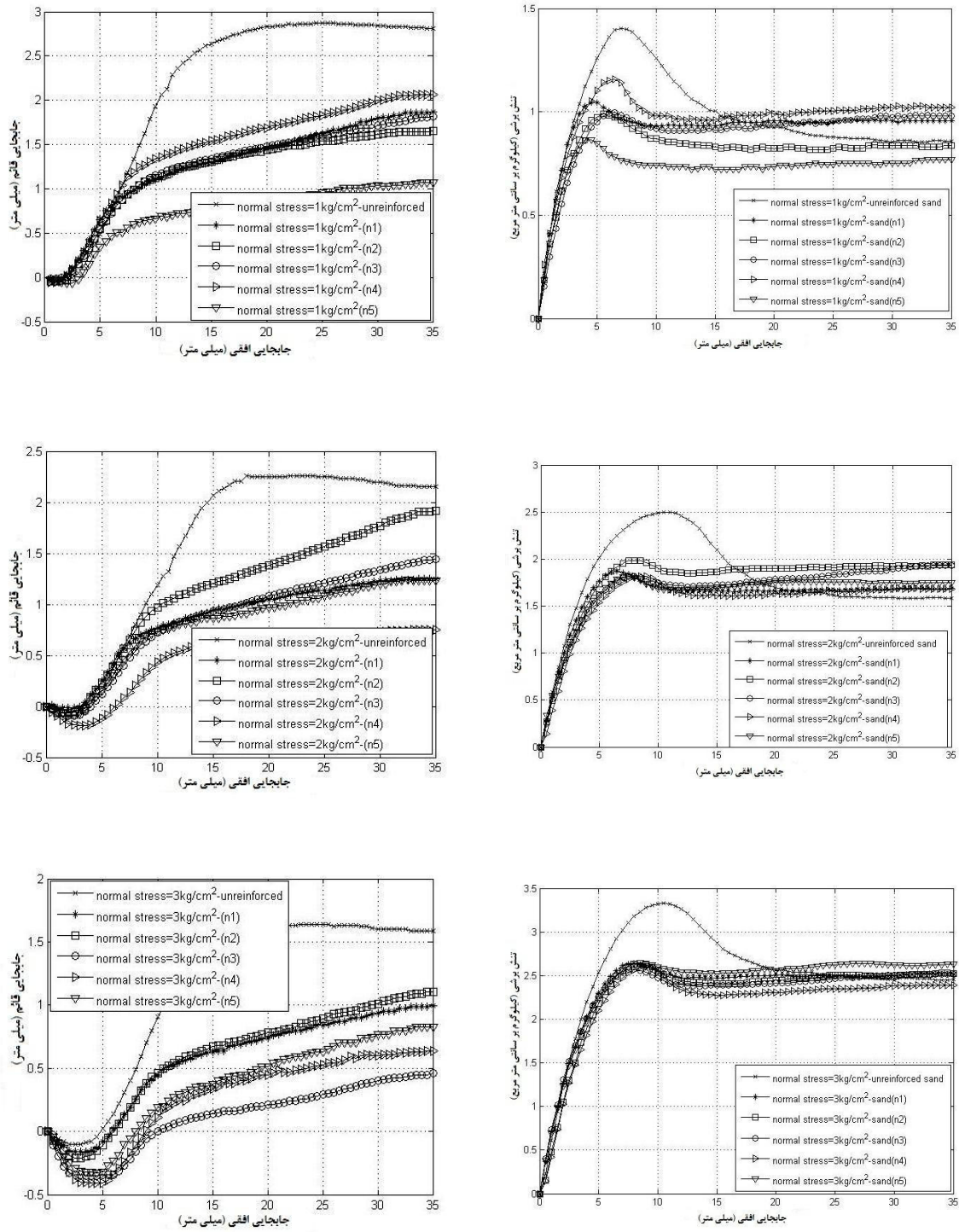
n1: حذف نوارهای عرضی و طولی ژئوگرید
به صورت یک درمیان.

n5: حذف نوارهای عرضی به شکل یک درمیان و به صورت خاص نمایش داده شده در شکل ۲.



شکل ۲. شکل شماتیک ژئوگریدهای مختلف با حذف نوارهای ژئوگرید اولیه

آزمایش‌ها توسط دستگاه برش مستقیم بزرگ مقیاس با اندازه جعبه $30 \times 30 \times 15 \text{ cm}^3$ و استاندارد ASTM D3080 انجام شده است. بارهای قائم اعمال شده برابر با ۱، ۲ و ۳ کیلوگرم بر سانتی مترمربع و سرعت انجام آزمایش‌ها ۱ میلی‌متر بر دقیقه بوده است. همچنین آزمایشات برای سه درجه تراکم مختلف یعنی ۴۰٪، ۵۵٪ و ۷۰٪ انجام شدند. در تمامی آزمایشات، ژئوگرید در فصل



شکل ۴. نمودار تنش و جابجایی در مقابل جابه جایی برشی برای نمونه با تراکم ۷۰٪

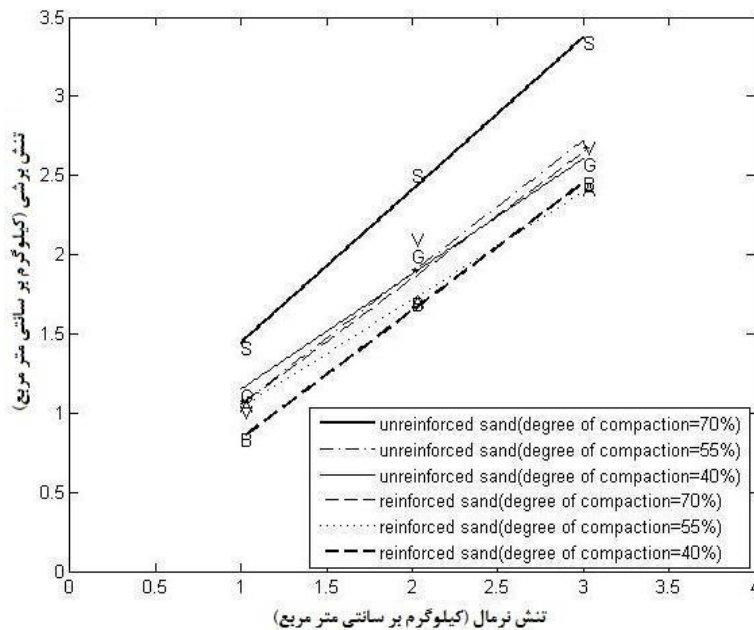
جدول ۳. پارامترهای مقاومت برشی به دست آمده برای نمونه‌های مختلف

مشخصات مصالح		نمونه غیر مسلح	نمونه (n1)	نمونه (n2)	نمونه (n3)	نمونه (n4)	نمونه (n5)
ماسه با تراکم ۴۰ درصد	C (kg/cm^2)	0.4	0.03	0.1	0.3	0.4	0.1
	φ (degree)	36.0	38.9	39.2	34.7	34.5	36.9
ماسه با تراکم ۵۵	C (kg/cm^2)	0.2	0.3	0.1	0.2	0.03	0.04
	φ (degree)	39.8	38.3	39.5	36.6	42.2	39.9
ماسه با تراکم ۷۰ درصد	C (kg/cm^2)	0.5	0.2	0.2	0.2	0.4	0.1
	φ (degree)	43.9	38.6	39.4	38.2	35.7	41.7

نمونه‌های مسلح است. همچنین هرچه قدر که تراکم نمونه افزایش یابد مشخصات مقاومتی آن نیز بالاتر می‌رود. در ادامه پارامتر α بدین شکل تعریف می‌شود:

$$\alpha = \frac{\tau_{sand - geogrid}}{\tau_{sand}} \quad (1)$$

در شکل ۵ نمودارهای موهر-کولمب برای نمونه مسلح به ژئوگرید n1 دیده می‌شود. همانطور که مشاهده می‌شود خط موهر کولمب برای نمونه غیر مسلح بالاتر از



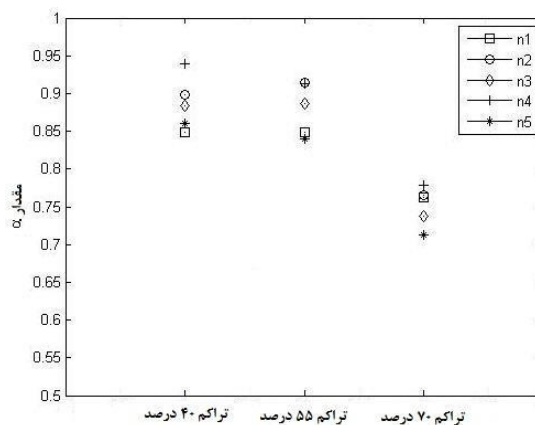
شکل ۵. نمودار موهر-کولمب نمونه‌های مسلح به ژئوگرید (n1) و نمونه‌های غیرمسلح

۴- نتیجه گیری

در ادامه تحقیقات گذشته در مورد مقاومت برشی سطح مشترک خاک- ژئوگرید در این مقاله یک سری آزمایش برش مستقیم بزرگ مقیاس بر روی یک نوع خاک ماسه‌ای از نوع SP و مسلح به ژئوگرید انجام شد. اندازه چشمه‌های ژئوگرید اولیه $2.5 \times 2.5 \text{ cm}^2$ بود اما با برش برخی از نوارهای عرضی و طولی آن، ژئوگریدهای دیگری با اندازه چشمه‌های مختلف ایجاد شد. برای ارزیابی اثر ژئوگرید بر روی مقاومت برشی فصل مشترک خاک-ژئوگرید پارامتر α به صورت نسبت تنش برشی حداکثر در خاک (نمونه غیرمسلح) تعریف شد. مطابق با نتایج بدست آمده از آزمایشات: ۱- مقاومت برشی فصل مشترک خاک-ژئوگرید از مقاومت خاک کمتر است. ۲- با افزایش تراکم خاک، کاهش مقاومت فصل مشترک خاک-ژئوگرید بیشتر می‌شود و ۳- با بزرگ شدن چشمه‌های ژئوگرید بالاخص در جهت برش، نسبت α افزایش می‌یابد، یا به عبارتی با کاهش فواصل نوارهای عرضی ژئوگرید، مقاومت برشی فصل مشترک خاک-ژئوگرید بیشتر کاهش می‌یابد.

در حالت کلی مقاومت برشی روی فصل مشترک خاک-ژئوگرید 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. بنابراین آنچه از نتایج آزمایشات این مقاله 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. 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 نیز به این دلیل است که هرچه تراکم بالاتر رود نقش ناحیه برش در افزایش یا کاهش مقاومت برشی نیز بیشتر

نسبت تنش برشی حداکثر در سطح مشترک خاک-ژئوگرید به تنش برشی حداکثر در خاک (نمونه غیرمسلح). برای آزمایشات انجام شده در این مقاله، مقدار میانگین α برای سه تنش سربار محاسبه شد و مقادیر آن برای درصد تراکم‌های مختلف در شکل ۶ و جدول ۴ آورده شده است. سه نتیجه مهم از این نقاط و جدول استخراج می‌شود. نتیجه اول اینست که مقاومت برشی فصل مشترک خاک-ژئوگرید از مقاومت خاک کمتر است. نتیجه دوم اینکه با افزایش تراکم خاک، کاهش مقاومت فصل مشترک خاک-ژئوگرید بیشتر می‌شود و نتیجه سوم آنست که با بزرگ شدن چشمه‌های ژئوگرید بالاخص در جهت برش، نسبت α افزایش می‌یابد، یا به عبارتی با کاهش فواصل نوارهای عرضی ژئوگرید، مقاومت برشی فصل مشترک خاک-ژئوگرید بیشتر کاهش می‌یابد.



شکل ۶. نمودار میانگین ضریب مقاومت برشی (α) برای نمونه‌های مختلف

جدول ۴. مقدار میانگین α برای نمونه‌های مختلف

مشخصات مصالح	نمونه (n1)	نمونه (n2)	نمونه (n3)	نمونه (n4)	نمونه (n5)
نمونه با تراکم ۷۰ درصد	0.76	0.76	0.74	0.78	0.71
نمونه با تراکم ۵۵ درصد	0.92	0.91	0.89	0.91	0.84
نمونه با تراکم ۴۰ درصد	0.85	0.90	0.88	0.94	0.86

- direct shear and pullout tests." Proc., Int. Symp. On Earth Reinforcement Partice, Kyushu Univ., Fukuoka, Japan, pp.51-56.
- Bauer, G. E., and Zhao, Y. (1993), "Evaluation of shear strength and dilatancy behavior of reinforced soil from direct shear tests." ASTM Spec. Tech. Publ., 1190, pp.138-157.
 - Cazzuffi, D., Picarelli, L., Ricciuti, A., and Rimold, P. (1993), "Laboratory investigations on the shear strength of geogrid reinforced soils." ASTM Spec. Tech. Publ., 1190, pp.119-137.
 - Baker, R. M., Sayed, M., Cates, P., and Subramanian, R. (1998), "Pullout and shear test on geogrid reinforced lightweight aggregate." Geotext. Geomembr., 16(2), pp.119-133.
 - Abu-Farsakh, M. Y., and Coronel, J. (2006), "Characterization of cohesive soil-geosynthetic interaction from large direct shear test." Proc., 85th Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
 - Jewell, R.A., Milligan, G.W.E., Sarsby, R.W., Dubois, D., (1985), "Interaction between Soil and Geogrids." Proc., Conference on Polymer Grid Reinforcement, London, pp. 18-29.
 - Lopez, M. L., (2002), "Soil geosynthetic interaction." Geosynthetics and their applications, Thomas Telford, London.
 - Bergado, D.T., Chai, J.C., Abiera, H.O., Alfaro, M.C., Balasubramanian, A.S., (1993), "Interaction between cohesive-frictional soil and various grid reinforcements." Geotextiles and Geomembranes 12 (4), pp. 327-349.

می‌شود. یعنی همانطور که در خاک غیرمسلح افزایش تراکم باعث افزایش مقاومت برشی می‌شود، در خاک مسلح به ژئوگرید با افزایش تراکم، کاهش مقاومت بیشتر می‌شود.

از این جهت باید دقت شود که قراردادن لایه ژئوگرید در بین لایه‌های خاکی به هر دلیلی که باشد، مقاومت را تا حدودی کاهش می‌دهد. به طوری که در تراکم ۷۰٪ حدود ۲۵٪ کاهش مقاومت نشان داده می‌شود.

۵- مراجع

۵-۱- استانداردها

- ASTM D 1557-02
- ASTM D 2216-98
- ASTM D 3080-90
- ASTM D 4254-91
- ASTM D 854-10
- EN ISO 10319

۵-۲- مقالات مجله‌ها

- Jarret, P. M., and Bathurst, R. J. (1985), "Frictional development at a gravel geosynthetic peat interface." Proc., 2nd Canadian Symp. of Geotextiles and Geomembranes, Edmonton, Canada, 1-6.
- Cancelli, A., Rimoldi, P., and Togni, S. (1992), "Frictional characteristics of geogrids by means of

