



## تأثیر ذرات ژئوفوم در خصوصیات ژئوتکنیکی خاکهای ماسه ای

فهیید توفیق آذری<sup>۱</sup>، روزبه دبیری<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد مهندسی ژئوتکنیک، گروه مهندسی عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

<sup>۲\*</sup> استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران (rouzbeh\_dabiri@iaut.ac.ir)

(تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۰۶/۱۰، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۱۲/۰۸)

### چکیده

امروزه استفاده از مواد نوین جهت بهبود ظرفیت باربری خاک کاربرد فراوانی دارد. نوعی از مصالح جدید مورد استفاده در این زمینه ژئوسنتتیک ها است. بلوک های ژئوفوم نوعی از ژئوسنتتیک ها بوده و کارایی مناسبی داشته و جایگزین خاکریز پشت دیوار حائل یا لایه های روسازی راه می شود. هدف اصلی در تحقیق حاضر بررسی تاثیر میزان ذرات ژئوفوم بر روی بهسازی ظرفیت باربری خاکهای ماسه ای گردگوشه و تیز گوشه است. میزان ذرات ژئوفوم ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۱۵ درصد وزنی مصالح مورد مطالعه در نظر گرفته شده است. به منظور ارزیابی میزان تاثیر گذاری ذرات ژئوفوم بر پارامترهای ژئوتکنیکی خاکهای ماسه ای مخلوط شده با ژئوفوم آزمونهای آزمایشگاهی تراکم، برش مستقیم (تحت اثر تنش های قائم ۱، ۲ و ۳ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع) و نفوذ پذیری انجام گرفته است. نتایج بدست آمده از تحقیق نشان دهنده آن است که در حالت کلی با افزودن ۰/۱۵ درصد وزنی ژئوفوم به مصالح مورد مطالعه سبب بهبود وزن مخصوص خشک حداکثر، کاهش نفوذپذیری و افزایش مقاومت برشی شده است. اگرچه تاثیر ذرات ژئوفوم در خاک ماسه ای تیز گوشه به مراتب بیشتر از خاک ماسه ای گرد گوشه می باشد.

### کلمات کلیدی

ماسه، تیز گوشه، گرد گوشه، ژئوفوم، نفوذپذیری، بهسازی.



# Geofoam Particles Effect on Geotechnical Properties of Sandy Soils

Fahid Tofigh Azari <sup>1</sup>, Rouzbeh Dabiri <sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> M.Sc. of Geotechnical Engineering, Department of Civil Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

<sup>2\*</sup> Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran (rouzbeh\_dabiri@iaut.ac.ir)

(Date of received: 01/09/2018, Date of accepted: 27/02/2019)

## ABSTRACT

Nowadays new materials for improving bearing capacity of soils are widely used. Kind of new materials used in this regard are geosynthetics. Geofoam panel type of geosynthetic materials is useful and alternative for backfill in retaining wall or pavement layers. Main idea in this research is study geofoam particles effects on improvement bearing capacity of sand. Geofoam particles effects on sand in 0.05, 0.1 and 0.15% percent were considered and sand was considered in granular and angular conditions. In order to evaluating geofoam particles influence in geotechnical properties of sandy soils some laboratory tests such as compaction, direct shear (in vertical stresses 1,2 and 3 kG/cm<sup>2</sup>) and permeability tests were performed. Results of this study showed that with increasing 0.15% percent geofoam in sandy soils maximum dry density went up, permeability decreased and shear strength of specimens increased. Although, geofoam particles is more effective in angular sandy soil than granular sand.

## Keywords

Sand, Angular, Granular, Geofoam, Permeability, Improvement.



## ۱- مقدمه

ژئوفوم آن دسته از مصالح ژئوسنتتیک بوده که از فوم تشکیل شده است. بلوکهای ژئوفوم به عنوان یکی از مصالح ژئوسنتتیک به دلیل وزن حجمی ناچیز در برابر وزن حجمی خاک و همچنین تراکم پذیری بالا، اجرای سریع و آسان، عایق حرارت، مقاوم در برابر جذب آب [۱] قابلیت کاربرد بالایی در مهندسی ژئوتکنیک دارد که می توان از آن ها در دیوارهای حائل، پروژه های راه سازی به عنوان یک پرکننده سبک، کاهش تنش های ناشی از بارهای قائم در لایه های زیرین استفاده نمود [۱] [۲]. در زمینه کاربرد ژئوفوم بصورت دانه ای و یا بلوک جهت بهسازی خاک و ابنیه های ژئوتکنیکی مطالعات گسترده ای انجام شده است. اولین استفاده از ژئوفوم بعنوان خاکریز سبک در ژاپن به سال ۱۹۸۵ مربوط می شود و این کشور در این زمینه تقریباً ۵۰ درصد از کل مصرف جهان را به خود اختصاص داده است. استفاده از مصالح خاکریز سبک ژئوفومی به عنوان یک گزینه برای اصلاح خاک بستر از سال ۱۹۹۰ میلادی به دلایل موجود مورد توجه قرار گرفته است: اولاً، زمان کوتاه ساخت خاکریزهای سبک نسبت به روشهای دیگر تثبیت بستر. ثانیاً، کاهش نشست بستر و افزایش ظرفیت باربری آن در مقایسه با استفاده از مصالح دیگر جهت ساخت خاکریزها [۳]. یکی از مهمترین تحقیقات در این زمینه در سال ۱۹۹۵ میلادی توسط هورواث انجام شد. وی بر اساس نتایج آزمون های آزمایشگاهی رفتار تنش- کرنش مصالح ژئوفوم را به چهار بخش خطی و الاستیک، بخش پلاستیک با مقاومت فشاری تسلیم مشخص، بخش خطی و سخت شونده، بخش غیر خطی و سخت شونده تقسیم بندی نمود [۴]. برای بررسی رفتار ژئوفوم ها با دانسیته، اندازه و شکلهای مختلف آن، تحقیقات الراجی در سال ۲۰۰۰ نشان دهنده آن است که با افزایش اندازه ی بلوکهای ژئوفوم، مدول الاستیسیته آن افزایش یافته و رفتار نمونه های بزرگتر مقاوم تر از نمونه های کوچکتر می باشد. [۵]. هازاریکا در تحقیقات خود مشاهده نمود که در دانسیته یکسان با افزایش اندازه بلوک ژئوفوم مقاومت فشاری آن افزایش یابد [۶]. سارادهی بابو و همکاران با انجام آزمایش بر روی بتن های سبک وزن نشان دادند که با افزایش دانسیته ژئوفوم، مقاومت فشاری در بتن های حاوی دانه های ژئوفوم افزایش می یابد [۷]. نگوسی نشان داد که در آزمایش های فشاری محصور نشده، با افزایش دانسیته ژئوفوم، مقاومت و مدول بلوکهای ژئوفوم افزایش می یابد [۸]. ایلاری با انجام یک سری آزمایشات برش مستقیم و سه محوری رفتار مکانیکی مخلوط ژئوفوم - خاک و تاثیر آن بر کاهش پتانسیل تورم و کاهش حجم خاکهای متورم شونده را ارزیابی نمود. این مطالعات بر روی ماسه و بنتونیت با نسبتهای اختلاط گوناگون صورت گرفت و خرده ژئوفوم با درصد های اختلاط وزنی ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ درصد به خاک افزوده شد. نتایج آزمایشات برش مستقیم نشان داد که در مخلوط های با بنتونیت کمتر، با ازدیاد درصد وزنی ژئوفوم تنش برشی ماکزیمم قابل تحمل افزایش می یابد. لیکن در خاکهای خمیری تر عکس این قضیه برقرار است [۹]. آیتکین و همکاران بر روی یک خاک منبسط شونده بدون ژئوفوم و همین خاک با مقدارهای مختلف رول های ژئوفوم آزمایش کردند و فشار تورم جانبی و قائم را مورد ارزیابی قرار دادند [۱۰]. دنگ و ژیانو ویژگیهای تنش-کرنش مخلوط ماسه-ژئوفوم را با انجام آزمایش های برش مستقیم و سه محوری استاتیکی بررسی نمودند. آنها تاثیر نسبت اختلاط و فشار محدود کننده را بر رفتار مخلوط خاک دانه ای و ژئوفوم مطالعه کردند. نتایج آزمایشهای سه محوری بر روی سه نسبت اختلاط مختلف (۰/۵٪، ۱/۵٪ و ۲/۵٪) نشان داد که افزایش درصد اختلاط ژئوفوم سبب کاهش مقاومت برشی و افزایش کرنش های حجمی می گردد. فشار محدود کننده نیز با مقاومت مخلوط رابطه مستقیم دارد. آنها نسبت ۰/۵ درصد را به عنوان درصد اختلاط بهینه پیشنهاد نمودند [۱۱]. نجم الدین و چاناکچی تاثیر افزودن ژئوفوم های پلی استایرن انبساطی اصلاح شده (MEPS) به خاک را بر شاخص های آزمایش تراکم نظیر درصد رطوبت بهینه و بیشترین دانسیته خشک بررسی نمودند [۱۲]. اصلاح حرارتی ژئوفوم ها، روش جدیدی است که توسط کان و دمیر بوغا برای دستیابی به فوم هایی با دوام، دانسیته و مقاومت بیشتر ارائه گردیده است. نتایج تحقیقات کان و دمیر بوغا نشان داد که با افزایش درصد وزنی ژئوفوم، ماکزیمم وزن مخصوص خشک در هر دو آزمایش ترکم به صورت خطی کاهش می یابد [۱۳]. در زمینه کاربرد ژئوفوم در بهسازی مصالح خاکی در ایران می توان به مطالعات مختلفی اشاره نمود. بطوریکه



در تحقیقات صورت گرفته توسط حیدریان، نژادشیرازی و ناصحی، ذرات ژئوفوم به میزان ۰/۲۵، ۰/۴ و ۰/۵ درصد وزنی به خاکهای ماسه ای و ۰/۰۲ و ۰/۰۳ درصد به خاک رسی افزودند. نتایج مطالعات آنها نشان داد که با افزایش درصد ژئوفوم در خاک ماسه ای زاویه اصطکاک داخلی کاهش یافته و میزان چسبندگی ظاهری افزایش یافته است. همچنین در خاک رسی مقاومت فشاری تک محوری با افزایش ژئوفوم روند صعودی از خود نشان می دهد [۱۴]. در تحقیقات صورت گرفته توسط نژادشیرازی، حیدریان و جم، تاثیر ذرات ژئوفوم را بر روی مصالح درشت دانه (مانده روی الک ۴) و ریزدانه (عبوری از الک ۴) صورت گرفت. نتایج مطالعات آنها نشان داد که با افزایش درصد ژئوفوم در خاک ماسه ای زاویه اصطکاک داخلی کاهش یافته و میزان چسبندگی ظاهری افزایش یافته است. همچنین در خاک رسی مقاومت فشاری تک محوری با افزایش ژئوفوم روند صعودی از خود نشان می دهد [۱۵]. حسن پوری نوتاش و دبیری تاثیر ضخامت، چگالی، ارتفاع و تعداد بلوکهای ژئوفوم در بر روی میزان فشار جانبی وارده بر روی دیوارهای حائل سنگی و طره ای در شرایط بارگذاری استاتیکی مطالعه نمودند. نتایج تحقیقات آنها نشان داده است که قرارگیری بلوکهای ژئوفوم بطور قابل ملاحظه ای می تواند میزان فشار جانبی توده خاک موثر بر دیوار را کاهش دهد [۱۶] [۱۷].

## ۲- مواد و مصالح

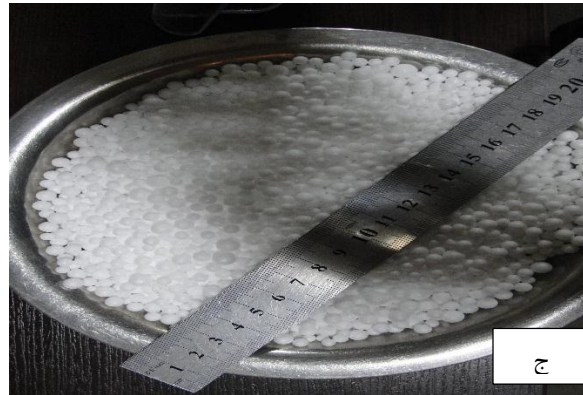
در تحقیق حاضر، خاک ماسه ای گرد گوشه و تیز گوشه مورد مطالعه از شهر تبریز در استان آذربایجان شرقی تهیه شده است (شکل ۱- الف و ب). همچنین تصویر ذرات ژئوفوم مورد استفاده در شکل (۱-ج) قابل مشاهده است. منحنیهای دانه بندی مصالح طبق استاندارد ASTM D421 [۱۸] و ASTM D422 [۱۹] برآورد شده است که مطابق شکل (۲) قابل مشاهده هست. براساس نمودارها می توان دریافت که خاکهای ماسه ای مورد مطالعه طبق طبقه بندی متحد از نوع بد دانه بندی شده SP بوده می باشند. میزان چگالی ویژه خاکهای ماسه ای مورد مطالعه براساس استاندارد ASTM D854 [۲۰] اندازه گیری شده و برای ماسه های گرد گوشه و تیز گوشه به ترتیب برابر ۲/۶۱ و ۲/۶۲ ارزیابی شده است.



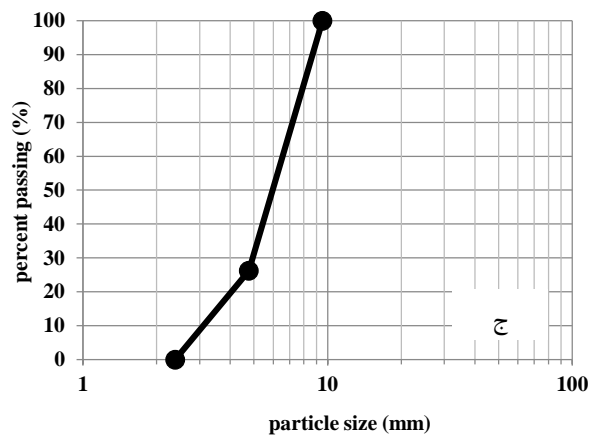
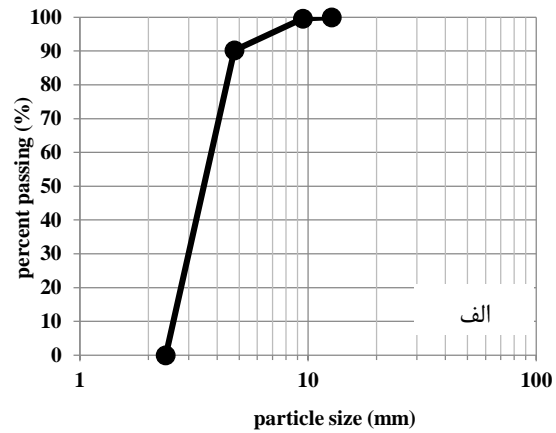
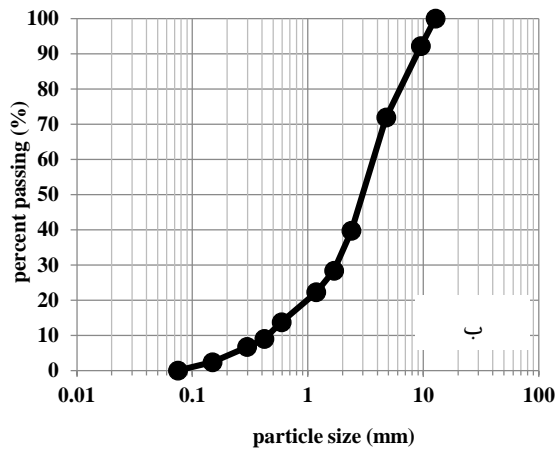
ب



الف



شکل ۱: مصالح مورد مطالعه در تحقیق حاضر، الف- ماسه گرد گوشه، ب- ماسه تیز گوشه، ج- ذرات ژئوفوم.



شکل ۲: منحنی دانه بندی مصالح مورد مطالعه در تحقیق حاضر، الف- ماسه گرد گوشه، ب- ماسه تیز گوشه، ج- ذرات ژئوفوم.



## ۳- کارهای آزمایشگاهی

همانگونه که در بخش بالا ذکر گردید هدف از تحقیق حاضر، بررسی تاثیر ذرات ژئوفوم در بهبود توانایی باربری و مشخصات فنی خاک های ماسه ای گرد گوشه و تیز گوشه به منظور کاربرد در ابنیه های ژئوتکنیکی و بدنه لایه های روسازی راه ها می باشد. در تحقیق حاضر خاک ماسه با دو شکل گرد گوشه و تیز گوشه با ذرات ژئوفوم به میزان ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۱۵ درصد وزنی مخلوط شده است تا میزان تاثیرگذاری آن بر پارامترهای ژئوتکنیکی بررسی گردد. بدین منظور، ابتدا آزمون تراکم آزمایشگاهی طبق استاندارد ASTM D698 [۲۱] بر روی نمونه های مسلح و غیر مسلح انجام گرفته است. بمنظور آماده سازی نمونه های مخلوط یکنواخت و همگن جهت ارزیابی پارامترهای ژئوتکنیکی از استاندارد ASTM C305-14 [۲۲] استفاده شد. بر این اساس، ابتدا ذرات ژئوفوم و آب (با توجه به مقدار رطوبت بهینه) با یکدیگر در داخل میکسر (مخلوط کن) مخلوط شدند. سپس اندکی صبر شده تا مقداری آب توسط ذرات ژئوفوم جذب شده تا بتواند چسبندگی بهتری با خاک پیدا بکند. در ادامه، ذرات خاکی مخلوط مورد مطالعه در حالت خشک به طور آرام به آن افزوده شد. طبق استاندارد ۳۰ ثانیه عملیات مخلوط متوقف شده تا مصالح رطوبت را جذب نمایند. در انتها، عملیات مخلوط کردن مصالح خاکی و ذرات ژئوفوم به مدت ۳۰ ثانیه با دور کند، ۱۵ ثانیه تمیزکاری و ۶۰ ثانیه با دور متوسط انجام گرفت. سپس به منظور تعیین میزان توانایی باربری نمونه های خالص و تثبیت شده، آزمون برش مستقیم براساس استاندارد ASTM D3080 [۲۳] در ابعاد قالب ۱۰×۱۰ سانتیمتر با سرعت کم در تنش های قائم ۱، ۲ و ۳ کیلو کیلو گرم بر سانتیمتر مربع در حالت رطوبت بهینه انجام گرفت. جهت بررسی تاثیر ذرات ژئوفوم بر روی میزان زهکشی مصالح آزمایش نفوذ پذیری با ارتفاع ثابت طبق استاندارد ASTM D2434-68 [۲۴] انجام گرفته است. برنامه آزمایشگاهی صورت گرفته بر روی نمونه های مورد مطالعه مطابق جدول (۱) قابل مشاهده است:

جدول ۱: برنامه آزمون های صورت گرفته بر روی نمونه های مورد مطالعه در تحقیق حاضر.

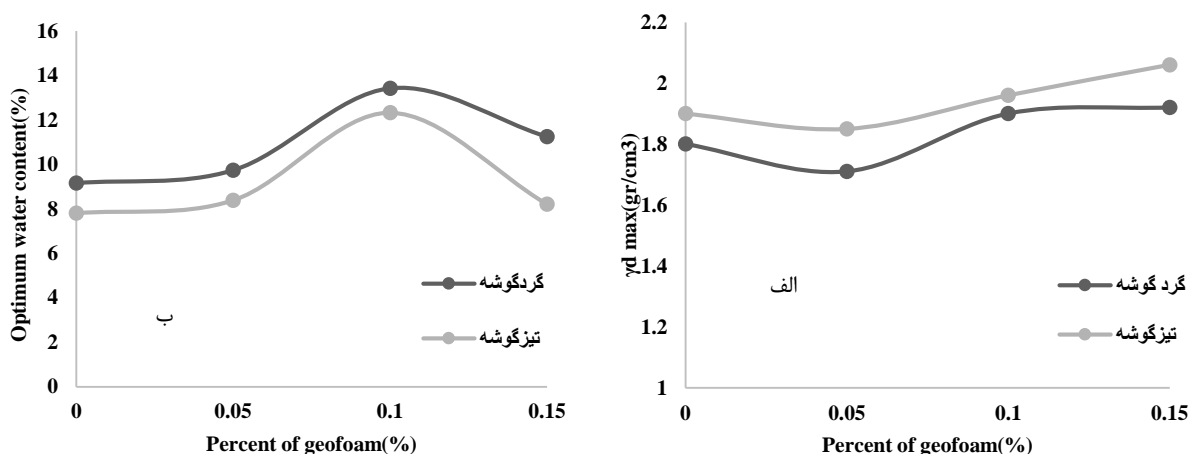
| ردیف | نام نمونه | ماتریس خاک         | درصد ژئوفوم | تراکم | برش مستقیم | نفوذپذیری |
|------|-----------|--------------------|-------------|-------|------------|-----------|
| ۱    | S1-0      | ماسه تیز گوشه (S1) | ۰           | *     | *          | *         |
| ۲    | S1-05     | ماسه تیز گوشه (S1) | ۰/۰۵        | *     | *          | *         |
| ۳    | S1-10     | ماسه تیز گوشه (S1) | ۰/۱         | *     | *          | *         |
| ۴    | S1-15     | ماسه تیز گوشه (S1) | ۰/۱۵        | *     | *          | *         |
| ۵    | S2-0      | ماسه گرد گوشه (S2) | ۰           | *     | *          | *         |
| ۶    | S2-05     | ماسه گرد گوشه (S2) | ۰/۰۵        | *     | *          | *         |
| ۷    | S2-10     | ماسه گرد گوشه (S2) | ۰/۱         | *     | *          | *         |
| ۸    | S2-15     | ماسه گرد گوشه (S2) | ۰/۱۵        | *     | *          | *         |



## ۴- نتایج و بحث

## ۴-۱- نتایج حاصل از آزمایش تراکم

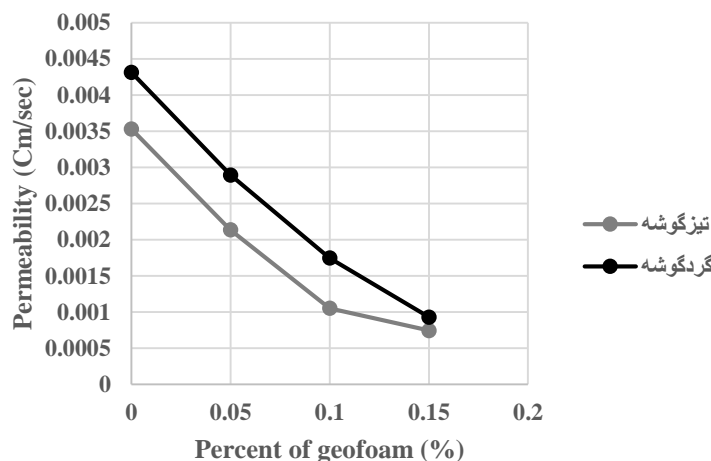
نتایج بدست آمده حاصل از آزمون تراکم آزمایشگاهی در شکل (۳-الف وب) ارائه شده است. براساس نمودارها می توان بیان نمود که با افزایش میزان ژئوفوم به ۰/۱۵ درصد در توده خاک ماسه ای تیز گوشه میزان وزن مخصوص خشک حداکثر به حداکثر میزان خود رسیده و مقدار رطوبت بهینه به حداقل اندازه رسیده است. همچنین در ماسه گرد گوشه نیز با افزایش میزان ژئوفوم به ۰/۱۵ درصد اندکی در مقدار وزن مخصوص خشک حداکثر افزایش ایجاد کرده و مقدار رطوبت بهینه را کاهش داده است. بنابراین می توان بیان کرد در حالت کلی اثر ژئوفوم در وزن مخصوص خشک حداکثر و رطوبت بهینه ماسه های تیز گوشه و گرد گوشه دارای یک روند مشابه است. با این تفاوت که در تیز گوشه در مقایسه با حالت گرد گوشه وزن مخصوص خشک حداکثری را ارائه می نماید.



شکل ۳: تاثیر ذرات ژئوفوم بر نتایج حاصل از آزمایش تراکم، الف- تغییرات وزن مخصوص خشک حداکثر-ب- تغییرات رطوبت بهینه.

## ۴-۲- نتایج حاصل از آزمایش نفوذپذیری

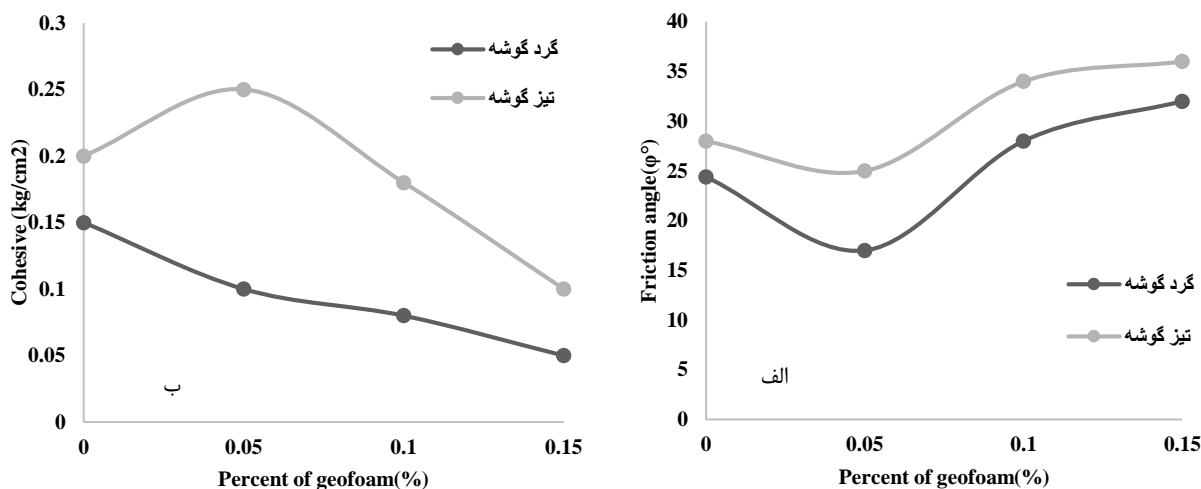
نتایج حاصل از آزمایش نفوذپذیری بر روی مصالح ماسه ای تیز گوشه و گرد گوشه طبق شکل (۴) قابل مشاهده می باشد. با توجه به نتایج آزمایش انجام گرفته دریافت که با افزایش میزان درصد ذرات ژئوفوم مقدار نفوذ پذیری کاهش یافته که این روند در خاک های ماسه ای تیز گوشه شدید تر می باشد.



شکل ۴: تاثیر ذرات ژئوفوم بر میزان نفوذپذیری مصالح مورد مطالعه.

۳-۴ - نتایج حاصل از آزمایش برش مستقیم

بمنظور مطالعه تاثیر ذرات ژئوفوم بر روی پارامترهای ژئوتکنیکی چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی ماسه های تیز گوشه و گرد گوشه آزمون برش مستقیم انجام گرفت. نتایج حاصل از این آزمایش طبق نمودارهای شکل (۵-الف و ب) قابل مشاهده می باشد. همانطور که در شکل (۵-الف) مشاهده می گردد، هنگامیکه ۰/۱۵ درصد وزنی ژئوفوم به خاک ماسه ای افزوده می شود سبب افزایش میزان زاویه اصطکاک داخلی بین ذرات شده است. اگرچه این افزایش در خاک ماسه ای تیز گوشه و گرد گوشه به ترتیب برابر ۲۸٪ و ۳۱٪ می باشد. همچنین در شکل (۵-ب) می توان دید، ذرات ژئوفوم تاثیر مناسبی بر روی چسبندگی مصالح ماسه ای ندارند. بگونه ای که در ماسه گرد گوشه، افزایش میزان ذرات ژئوفوم سبب کاهش میزان چسبندگی شده است. درحالیکه این روند در خاک ماسه ای تیز گوشه متفاوت می باشد. بطوریکه افزودن ۰/۰۵٪ ژئوفوم به خاک تیز گوشه باعث بالا رفتن چسبندگی شده ولی با افزایش درصد حضور ژئوفوم مقدار چسبندگی کاهش می یابد.

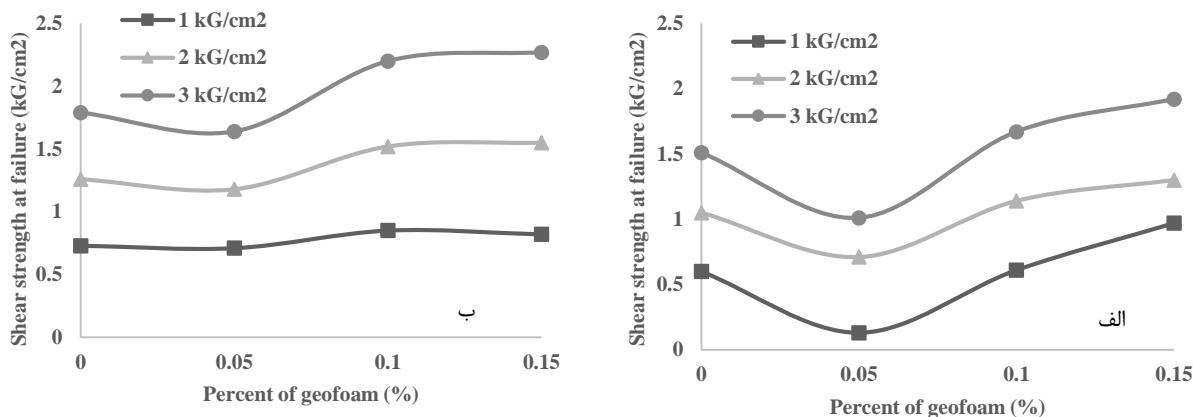


شکل ۵: تاثیر ذرات ژئوفوم بر نتایج حاصل از آزمایش برش مستقیم، الف- زاویه اصطکاک داخلی، ب- چسبندگی.





تغییرات میزان تاثیر ذرات ژئوفوم بر روی مقاومت برشی در لحظه گسیختگی نمونه های ماسه ای گرد گوشه و تیز گوشه تثبیت شده به ترتیب در نمودارهای شکل (۶-الف و ب) ارائه شده است. نمودارهای شکل (۶-الف) نشان می دهند زمانیکه ۰/۰۵٪ وزنی ذرات ژئوفوم به خاک ماسه ای گرد گوشه افزوده می شود در تمامی تنش های قائم مقاومت برشی در لحظه گسیختگی کاهش می یابد. در ادامه با افزایش میزان ژئوفوم تا ۱۵٪ توانایی باربری خاک ماسه ای یک روند افزایشی را طی می نماید. از سوی دیگر، در شکل (۶-ب) مشاهده می شود، تاثیر ذرات ژئوفوم در ماسه تیز گوشه مشابه با ماسه گرد گوشه می باشد. اگرچه با توجه به شکل ذرات، در حالت کلی می توان بیان نمود مقاومت برشی در ماسه تیز گوشه نسبت به ماسه گرد گوشه دارای میزان بیشتری می باشد.



شکل ۶: تاثیر ذرات ژئوفوم بر مقاومت برشی در لحظه گسیختگی، الف- ماسه گرد گوشه، ب- ماسه تیز گوشه.

## ۵- جمع بندی و نتیجه گیری

باتوجه به اینکه خاک یک محیط غیر یکپارچه و سمنته نشده می باشد و بدلیل وجود فضای خالی بین ذرات حالت تراکم پذیری دارد بنابراین می تواند در شرایط طبیعی دارای میزان توانایی باربری کمتری است. امروزه استفاده از مصالح نوین در بهبود و افزایش و بهبود باربری خاک کاربرد بسیاری داشته، یکی از مواد پر کاربرد در این زمینه ژئوفوم ها از خانواده ژئوسینتتیک ها بوده که کارایی بسیار مهمی در علم و صنعت دارند از جمله در خاکریزهای پشت دیوارهای حائل و یا لایه های روسازی راه. بطور کلی ژئوفوم بدلیل وزن سبک، عدم تغییر حجم در برابر آب، نفوذ پذیری پایین و مقاومت نسبتاً مناسب، قابلیت بسیاری برای رفع مشکلات ژئوتکنیکی دارد. در تحقیق حاضر، تاثیر ذرات ژئوفوم به میزان ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۱۵ درصد بر روی مقاومت برشی و توانایی باربری و نفوذپذیری خاک های ماسه ای گرد گوشه و تیز گوشه پرداخته شده است. با توجه به نتایج بدست آمده می توان اشاره نمود، هنگامیکه ذرات ژئوفوم به نمونه های مورد مطالعه افزوده می گردد مشاهده گردید، درصد بهینه ذرات ژئوفوم در نمونه های خاکی براساس نتایج تحقیق حاضر برابر ۰/۱۵ درصد وزنی است. بطوریکه ۰/۱۵ درصد ژئوفوم به نمونه های خاکی مورد مطالعه افزوده می شود، با توجه به اندرکنشی که بین مصالح خاکی و ذرات ژئوفوم بوجود می آید سبب کاهش میزان نسبت تخلخل حداقل، بالا رفتن وزن مخصوص خشک حداکثر، رطوبت بهینه، بالا رفتن زاویه اصطکاک داخلی بین ذرات، کاهش میزان نفوذ پذیری و در نتیجه میزان مقاومت برشی شده است. البته تاثیر ذرات ژئوفوم بر روی ماسه تیز گوشه به مراتب بیشتر از ماسه گرد گوشه می باشد. در ادامه پیشنهاد می گردد در تحقیقات آتی بمنظور بررسی دقیق رفتار مناسب تاثیر ذرات ژئوفوم بر روی ذرات میزان نسبت میرایی و مدول برشی ارزیابی شود.



## ۶- مراجع

- 1- Stark, T., Bartlett S. and Arellano D., 2012, **Expanded Polystyrene (EPS) Geofoam Applications & Technical Data**, EPS Industry Alliance, Crofton, MD, Available at <http://www.geofoam.com>
- 2- Koerner R. M., 2005, **Designing with geosynthetics**, Pearson Education, Inc., 5th edition.
- 3- Krishnaswamy, N. R. and Sudhaker S., **Application of Geosynthetics for the improvement of soft subgrade soils in road construction**, Proc. of International e-conference on modern trends in foundation engineering conducted by IIT Madras, Chennai, India, January 26-30, 2004, available at <http://www.ecfg.iitm.ac.in>
- 4-Horvath, J. S., 1995, **Geofoam Geosynthetic**, Horvath Engineering, P.C., Scarsdale, NY, pp.229.
- 5- Elragi, A., 2000, **Selected Engineering Properties and Applications of EPS Geofoam**, Ph.D. Thesis, State University of New York, Syracuse, N.Y.
- 6-Hazarika, H. 2006, **Stress-Strain Modeling of EPS Geofoam for Large-Strain Applications**, Geotextiles and Geomembranes, 24, 79-90.
- 7- Saradhi, B. D., Ganesh, B. K. and Tiong H. W., 2006, **Effect of Polystyrene Aggregate Size on Strength and Moisture Migration Characteristics of Lightweight Concrete**, Cement and Concrete Composites, 5, 520-527.
- 8-Negussey, D., 2007, **Design Parameters for EPS Geofoam**, Soils and Foundations, Japanese Geotechnical Society, 47(1), 161-170.
- 9-Illuri, H. K., 2007, **Development of soil-EPS mixes for geotechnical applications**, Ph.D Thesis, Queensland University of Technology, Australia.
- 10-Aytekin, M., Banu, Ikizler S. and Nas, E., 2008, **Laboratory Study of Expanded Polystyrene (EPS) geofoam used with expansive soils**, Geotextiles and Geomembranes, 26, 189-195.
- 11-Deng, A. and Xiao, Y., 2010, **Measuring and Modeling Proportion-Dependent Stress-Strain Behavior of EPS-Sand Mixture**, International Journal of Geomechanics, ASCE, 10, 214-222.
- 12-Najmaddin, D. Y. and Canakci, H., 2013, **Compaction properties of sand mixed with modified waste EPS**, Geotechnical and Geological Engineering, 31, 305-318.
- 13-Kan, A. and Demirboga, R., 2009, **A new technique of processing for waste expanded polystyrene foams as aggregates**, Journal of Material Processing Technology, 20, 2994-3000.
- 14-Heydarian, H., Nejad Shirazi, A. and Nasehi A., 2012, **Study of Geofoam Weight Percent Effects on Bearing Capacity of Lighted Soil by Geofoam**, Proc. 1st National Conference on Civil Engineering, Zibakenar, Iran, February, 1-6, (In Persian).



- 15-Nejad Shirazi, A., Heydarian, H. and Jam, M. R., 2015, **Study Strength Behavior of Soil and Geofoam Mixture with Several Weight Percent and Size of Geofoam**, Proc. 10th International Conference on Civil Engineering, Tabriz, Iran, 15-22, (In Persian).
- 16-Hasanpouri, N. N. and Dabiri R., 2018, **Effects of Geofoam Panels on Static Behavior of Cantilever Retaining Wall**, Advances in Civil Engineering, pp.1-18, 2018.
- 17-Hasanpouri, N. N. and Dabiri R., **Effects of Geofoam Panels on Statically Behavior of Gravity Retaining Wall**, Tarbiat Modares Journal of Civil Engineering, 2018, 18(5), 31-44.
- 18-ASTM D421-85, 1985, **Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Constants**, Annual book of ASTM standards, (reapproved 1998).
- 19-ASTM D422-63, 1963, **Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils**, Annual book of ASTM standards (reapproved 1998).
- 20- ASTM D 854-02, 2003, **Standard test method for specific gravity of soil solids by water pycnometer**, Annual book of ASTM standards.
- 21- ASTM-D 698-00, 2000, **Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12,400 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (600 kN-m/m<sup>3</sup>))**, Annual book of ASTM standards.
- 22-ASTM C305-14, 2014, **Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency**, Annual book of ASTM standards.
- 23- ASTM D 3080-98, 1998, **Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained condition**, Annual book of ASTM standards.
- 25- ASTM D 2434-68, 2006, **Standard test method for Permeability of Granular Soils (Constant Head)**, Annual book of ASTM standards.