



## بررسی اثر سمناسیون بر پارامترهای مقاومت برشی ماسه در آزمایش برش مستقیم

محمودرضا عبدی<sup>۱</sup>، کاوه شکیبانی<sup>۲</sup>

دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تلفن: ۰۲۱-۸۸۷۷۰۰۰۶

:

abdi@kntu.ac.ir, shakiba@sina.kntu.ac.ir

### خلاصه

آزمایش برش مستقیم علی‌رغم کاستیها و نقاط ضعف هنوز رایج‌ترین آزمایش در آزمایشگاه‌های مکانیک خاک جهت تعیین پارامترهای مکانیکی خاک است. با توجه به اینکه آبرفتهای سیمانی شده پهنه وسیعی از شهر تهران را پوشانده اند، در تحقیق حاضر سعی شده است اثر سمناسیون بر پارامترهای مقاومت برشی ماسه شناسایی و به شیوه آزمایشگاهی اثر این عامل بر روی نتایج آزمایش برش مستقیم بررسی گردد. در این مقاله به بررسی نتایج آزمایشها پرداخته می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که سمناسیون تاثیر چشمگیری بر رفتار مکانیکی ماسه دارد به صورتی که این عامل را نمیتوان نادیده گرفت.

کلمات کلیدی: سمناسیون - ماسه - برش مستقیم - مقاومت برشی خاک

### مقدمه

ترکیب فازهای سه گانه هوا، آب و مصالح دانه‌ای در محیطهای ژئوتکنیکی سبب پیچیدگی انتخاب پارامترهای مقاومتی خاک و انتخاب روش تحلیل می‌گردد. در این میان آزمایش برش مستقیم قدیمی‌ترین شکل آزمون محاسبه پارامترهای مقاومت برشی خاک است. این آزمایش علی‌رغم کاستیها و نقاط ضعف هنوز رایجترین آزمایش در آزمایشگاههای مکانیک خاک جهت تعیین پارامترهای مکانیکی خاک است. سمناسیون به عنوان یک عامل تأثیر گذار بر پارامترهای مقاومت برشی ماسه به وسیله آزمایش برش مستقیم مورد توجه قرار می‌گیرد. این پدیده در تغییر رفتار ژئومکانیکی آبرفتهای تهران تاثیر چشمگیری دارد به صورتی که نمی‌توان این اثر را نادیده گرفت.

### مقاومت برشی

مقاومت برشی دو ذره در واقع نیرویی است که باید ایجاد شود تا یک حرکت نسبی بین دو ذره بوجود آید. منشاء مقاومت برشی در واقع نیروی جاذبه‌ایست که حول اتمهای یک ذره عمل می‌کنند که البته ماهیت این نیروها به شکل و پیوستگی ذرات شیمیائی در نقاط تماس بستگی دارد. مقاومت و تعداد پیوستگی‌ها که در فصل مشترک بین دو ذره شکل می‌گیرد، قویاً تحت تأثیر طبیعت شیمیائی و فیزیکی سطوح ذرات قرار دارد [۱]. مقاومت برشی خاک عمدتاً ناشی از دو عامل مهم است که برای کمی کردن رفتار قابل مشاهده خاک ضروری هستند.

الف: اصطکاک بین دانه‌های خاک و قفل و بست موجود بین آنها

ب: چسبندگی بین دانه‌ها [۲]

در این مطالعه، عمدتاً به تأثیر شرایط آزمایش بر پارامترهای معیار مور - کولمب (شامل چسبندگی  $c$  و زاویه اصطکاک  $\phi$ ) پرداخته شده که این امر متأثر از کثرت استفاده از این معیار در کاربردهای مهندسی می‌باشد.

<sup>۱</sup> استادیار دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک خاک و پی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی



## تاریخچه

تحقیقات انجام شده در زمینه بررسی اثر سمنتاسیون در یک تقسیم بندی به دو گروه اصلی ذیل تقسیم می شود:

الف) بررسی رفتار استاتیکی مصالح سیمانی شده و مدل رفتاری آنها نظیر تحقیقات انجام شده توسط آیری [۳]، کلاف و همکاران [۴]، هوانگ و آیری [۵].

ب) بررسی رفتار دینامیکی مصالح سیمانی شده نظیر تحقیقات انجام شده توسط آکار و التاهیر [۶].

پدیده سمنتاسیون نقش مهمی در تغییر پارامترهای مقاومتی رفتار مواد ایفا می کند. تأثیر این پدیده به خصوص در فشارهای محصور کننده پایین به چشم می خورد که تحت این فشارها، چسبندگی به وجود آمده باعث پایداری سازه های نزدیک سطح زمین نظیر خاکریزها می گردد. نقش سمنتاسیون در مقایسه با عوامل اصطکاکی تحت فشارهای محصور کننده بالاتر نظیر هسته سدهای بتنی، کمتر است. مطالعات انجام شده در زمینه تأثیر سمنتاسیون بر خواص خاک، منجر به نتایج متفاوتی شده است. در نتیجه تحقیقات ویسا و همکاران [۷]، نتایج آزمایشات نشان دادند که سمنتاسیون باعث افزایش چسبندگی و همچنین افزایش زاویه اصطکاک داخلی به میزان ۵ درجه می گردد. تنش های پسماند در اثر سمنتاسیون، تغییر چندانی نمی کنند و برای درجات مختلف سمنتاسیون می توان، تمامی آنها را در یک پوش مقاومتی تصویر نمود. لامب [۸] به این نتیجه رسید که ذرات بزرگ تر خاک به وسیله ذرات کوچک تر، سمانته می شوند به طوری که خاک در حین برش، مقاومت بیشتری از خود نشان می دهد و همین امر باعث افزایش مقدار تنش بیشینه خاک می شود. بر این اساس، سمنتاسیون منجر به افزایش زاویه اصطکاک داخلی، چسبندگی و مقاومت بیشینه خاک می گردد. در شنهای ماسه دار در حالت کر نش مسطح سمنتاسیون منجر به افزایش زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی می گردد (بهزادان [۹]). بر پایه مطالعات کلاف و همکاران نتایج متفاوتی به دست آمد. به این صورت که سمنتاسیون باعث انتقال موازی دایره موهر تنش ها به اندازه چسبندگی ایجاد شده می گردد و در نتیجه زاویه اصطکاک داخلی خاک تغییر چندانی نمی کند [۴] و [۱۰].

## سمنتاسیون

سمنتاسیون طبیعی در نتیجه فرآیندهای مشخصی که منجر به ایجاد پیوندهای بین دانه های در خاک می شود. به وجود می آید مصالح پایه سمنتاسیون عموماً سیلیکات ها، اکسیدهای آهن و کربنات های کلسیم هستند. یکی از مشخصه های مواد سیمانته طبیعی، داشتن دانسیته متغیر در یک منطقه و درجه سیمانی شدن متفاوت می باشد که این امر به همراه مشکل نمونه برداری بدون بر هم زدن سمنتاسیون، مطالعه رفتار پایه های خاک های سیمانی شده طبیعی را مشکل می سازد. برای رفع این مشکل، در بسیاری از تحقیقات از خاک های سیمانی شده مصنوعی استفاده شده است. مطالعه ذرات پیوند خورده خاک (لوریل و واگان [۱۱]) نشان داد که الگوی رفتاری خاک های رس، سیلت، ماسه و سنگ های سیمانی شده ضعیف تقریباً مشابه است. هر چند ممکن است سمنتاسیون در این مواد به روش های مختلف به وجود آمده باشد. بنابراین انتظار می رود که خاک های مصنوعی نیز در بسیاری موارد، رفتاری نظیر خاک های سیمانی شده طبیعی از خود نشان دهند.

در مناطق زیادی از ایران، خاکهای درشت دانه و سیمانی شده گسترش دارند. با توجه به اینکه عموماً آبدیها و شهرها در کوهپایه ها توسعه یافته اند و کوهپایه ها مناطقی هستند که شامل خاکهای درشت دانه ناشی از فرسایش کوهها و رسوب سنگها می شوند، بنابراین در بیشتر شهرها و نواحی ایران، خاکهای درشت دانه با درجات مختلف سیمانی شده وجود دارد. مطالعات انجام شده در زمینه تأثیر سمنتاسیون بر خواص خاک، منجر به نتایج متفاوتی شده است.

## مطالعات آزمایشگاهی

تحقیقی که در ذیل ارائه شده به منظور بررسی اثر سیمانی شدن بر رفتار ژئومکانیکی ماسه انجام گرفته است.

## نحوه تهیه نمونه ها و مصالح

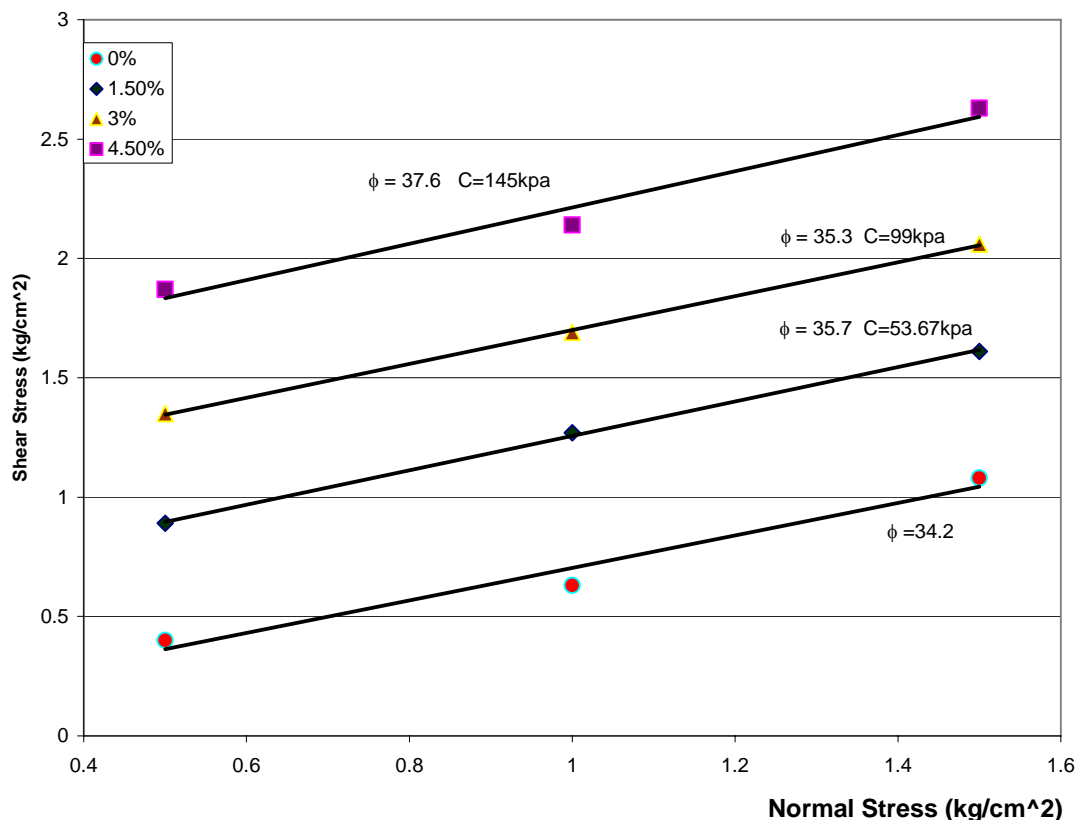
خاک مورد استفاده در این تحقیقات از انتهای غربی خیابان هویزه از یک لایه ماسه ای سیمانی شده از نوع آبرفت B استخراج و پس از انتقال به آزمایشگاه مکانیک خاک، تعیین دانه بندی و شسته شده است. با توجه به اندازه دانه ها از دستگاه برش مستقیم کوچک برای آزمایشها استفاده شد. بدین منظور از روش حذفی برای اصلاح خاک با توجه به محدودیت قطر بزرگترین دانه استفاده شده است. در خاک پایه قطر بزرگترین دانه ۴/۷۵ میلی متر،  $C_u = 6/31$  (ضریب یکنواختی)  $C_c = 1/1$  (ضریب انحنای)  $C_c = 1/1$  (اندازه متوسط دانه ها)  $D_{50}$  می باشد و خاک در زمره SW قرار می گیرد. با توجه به دانسیته کلوخه های سیمانی شده موجود در خاک و حجم قالبهای ساخته شده برای رسیدن به وزن مخصوص ۱۶۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب درصدهای مختلف از دانه های مانده بر روی هر الک ترکیب و در بسته های مختلف قرار گرفت. با استفاده از آزمایش پراکتور درصد رطوبت بهینه ۱۴٪ و حداکثر وزن مخصوص خشک ۱۸۶۴ کیلوگرم بر متر مکعب تعیین گردیده است. پس از اضافه کردن آب به خاک پایه به مقدار رطوبت بهینه (۱۴٪) به هر بسته ماسه، سیمان پرتلند نوع یک در درصدهای ۱/۵، ۳/۵ و ۴/۵ نسبت به وزن بسته های متفاوت خاک در حالت خشک اضافه و مخلوط گردید به منظور ایجاد شرایط یکسان برای تمام نمونه ها خاک در سه لایه در قالبهای تهیه شده ریخته و کوبیده شد تا به وزن مخصوص ۱۶۰۰



کیلوگرم بر متر مکعب برسد. هر قالب به مدت بیست و چهار ساعت در محفظه آبنندی شده نگهداری و سپس قالبها به دستگاه بخار انتقال داده شد تا در آنجا به مدت دو ماه عمل آوری شوند. بعد از عمل آوری آزمایش برش مستقیم با سرعت ۰/۵ میلیمتر در دقیقه بر روی نمونه ها انجام شد.

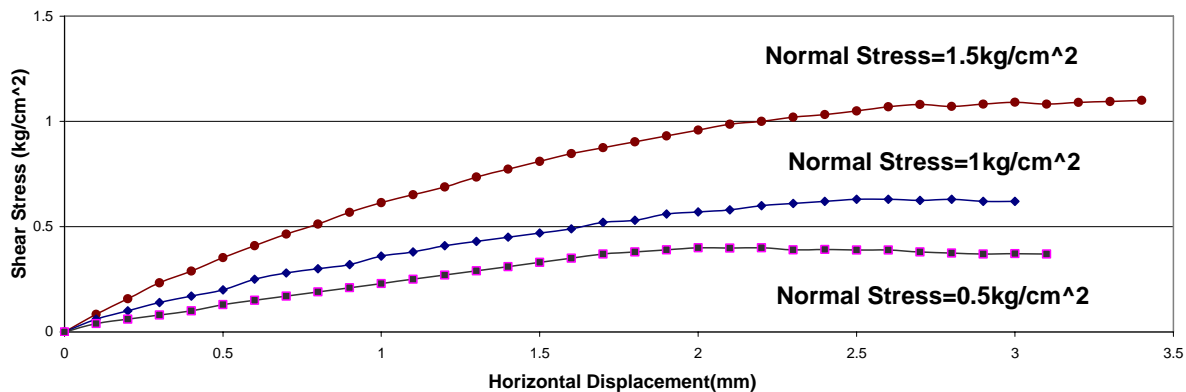
### بررسی نتایج

پوش گسیختگی نمونه ها در شکل ۱ ارائه شده است. آزمایشها در حالت  $CD$  و با پر کردن محفظه دستگاه برش مستقیم از آب صورت گرفته است.

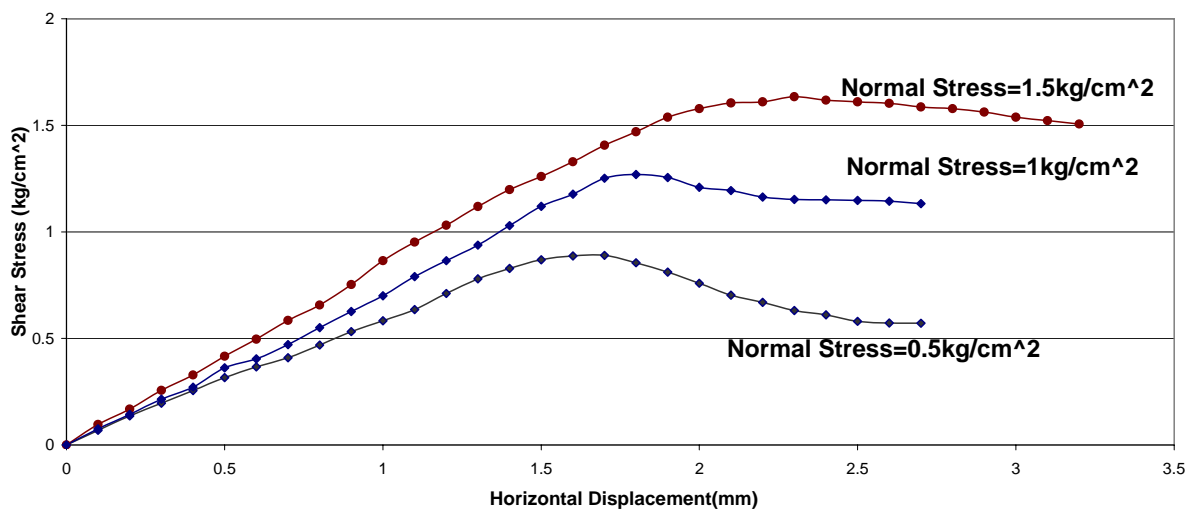


شکل ۱- پوش گسیختگی نمونه ها در درجات سمنتاسیون ۰، ۱/۵، ۳، ۴/۵ درصد سیمان

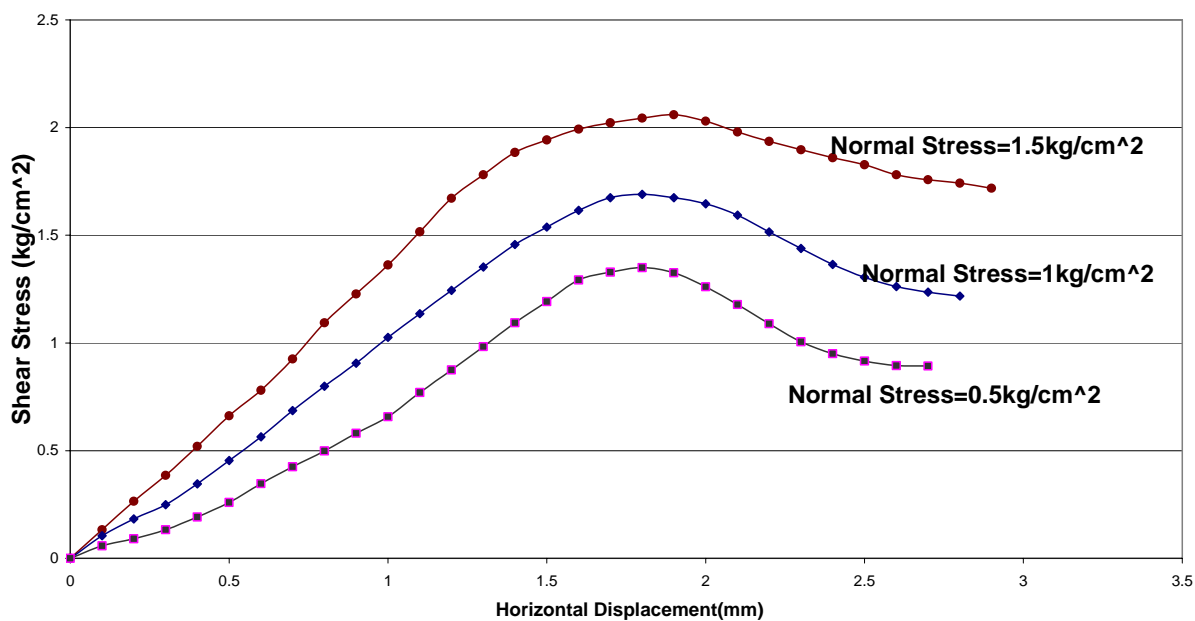
با توجه به شکل فوق مشاهده میگردد که در خاکهای دانه ای با افزایش درجه سمنتاسیون ، چسبندگی و مقاومت برشی نهائی نمونه‌ها زیاد میشود. سمنتاسیون تاثیر زیادی بر روی زاویه اصطکاک ماسه نداشته است چنانچه زاویه اصطکاک داخلی آن در حالت غیر سیمانی برابر با  $34/2$  درجه و در درجه سمنتاسیون  $4/5$  برابر با  $37/6$  درجه بوده است. ولی زاویه اصطکاک داخلی در درجه سمنتاسیون  $3$  اندکی کوچکتر از زاویه اصطکاک داخلی در درجه سمنتاسیون  $1/5$  می باشد. در هر حال زاویه اصطکاک داخلی خاک سیمانی شده بیشتر از زاویه اصطکاک خاک پایه غیر سیمانی است. این امر را میتوان به تشکیل کلوخه هایی که در اثر سیمانی شدن ایجاد می شوند و در عمل نقش دانه های بزرگتری را در خاک بازی میکنند نسبت داد. با افزایش درجه سمنتاسیون ، چسبندگی نمونه‌ها نیز افزایش یافته است. منحنی های مقاومت برشی- جابه جایی افقی نمونه ها در شکلهای زیر ارائه شده است.



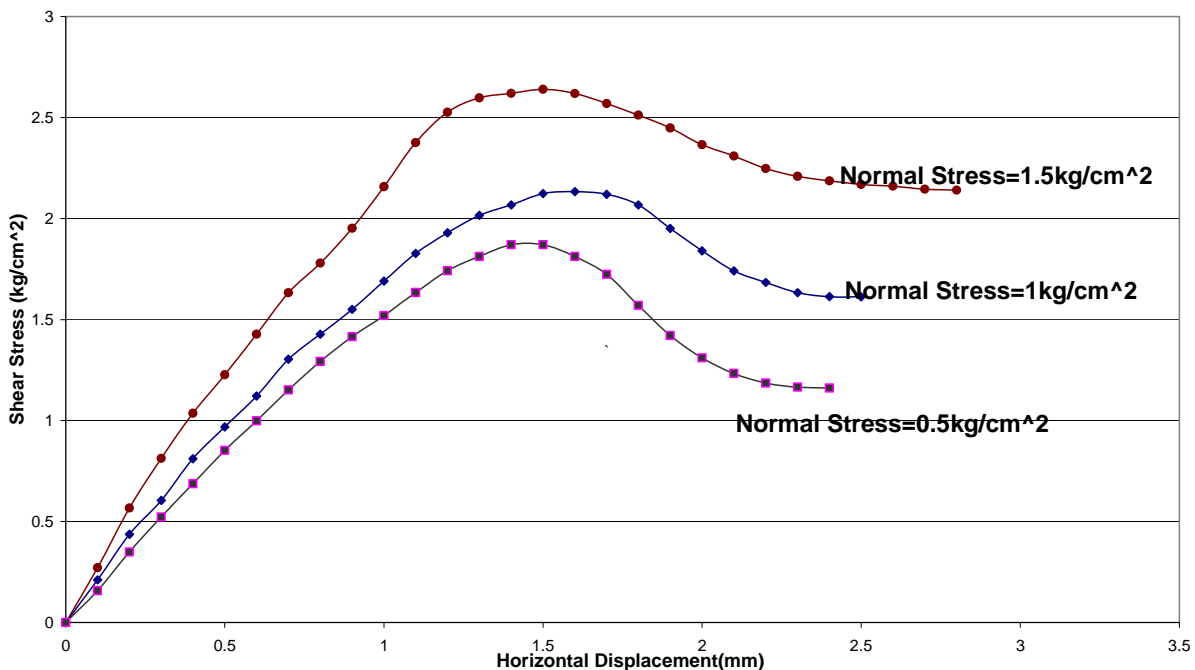
شکل ۲- منحنی مقاومت برشی - جابه جایی افقی نمونه ها در حالت غیر سیمانی



شکل ۳- منحنی مقاومت برشی - جابه جایی افقی نمونه ها در درجه سمتاسیون ۱/۵ درصد سیمان



شکل ۴- منحنی مقاومت برشی - جابه جایی افقی نمونه ها در درجه سمنتاسیون ۳ درصد سیمان



شکل ۵- منحنی مقاومت برشی - جابه جایی افقی نمونه ها در درجه سمنتاسیون ۴/۵ درصد سیمان

باتوجه به شکل‌های فوق می‌توان مشاهده نمود که:

در شرایط یکسان در تنش قائم ۰/۵ کیلو گرم بر سانتیمتر مربع رفتار نمونه ها بعد از تسلیم نرم شونده تر از همان حالت تحت تنش قائم ۱ کیلو گرم بر سانتیمتر مربع است. و همین حالت برای فشار قائم ۱ کیلو گرم بر سانتیمتر مربع نسبت به تنش قائم ۱/۵ کیلو گرم بر سانتیمتر مربع وجود دارد.



سمنتاسیون خاک سبب افزایش مقاومت حداکثر و کاهش کرنش نظیر آن می‌شود. با افزایش درجه سیمانی شدن رفتار خاک بیشتر و بیشتر نرم شونده می‌شود. با افزایش تنش قائم از رفتار نرم شونده ماسه سیمانی شده کاسته می‌شود.

### نتیجه گیری:

- در این مقاله سمنتاسیون به عنوان یک عامل تأثیر گذار بر پارامترهای مقاومت برشی ماسه در آزمایش برش مستقیم مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج تأثیر عامل مذکور بر پارامترهای مقاومتی ماسه در این آزمایش به صورت ذیل بوده است.
- ۱- درپدیده سمنتاسیون خاکهای دانه ای با افزایش درجه سمنتاسیون، چسبندگی و مقاومت برشی نهائی نمونه‌ها زیاد میشود.
  - ۲- سمنتاسیون تأثیر خیلی زیادی بر زاویه اصطکاک ماسه ندارد. ولی در هر حال زاویه اصطکاک داخلی خاک سیمانی شده بیشتر از زاویه اصطکاک خاک پایه غیر سیمانی است. این امر را میتوان به تشکیل کلوخه هایی که در اثر سیمانی شدن ایجاد میشوند و درعمل نقش دانه های بزرگتری را در خاک بازی میکنند نسبت داد
  - ۳- با افزایش درجه سیمانی شدن تحت تنش قائم یکسان رفتار خاک بیشتر و بیشتر نرم شونده می‌شود.
  - ۴- با افزایش فشار سربار تحت یک درجه سمنتاسیون یکسان از رفتار نرم شونده ماسه سیمانی شده کاسته میشود.
  - ۵- سمنتاسیون خاک سبب افزایش مقاومت حداکثر و کاهش کرنش نظیر آن می‌شود.
  - ۶- سمنتاسیون در تغییر رفتار ژئومکانیکی آبرفتهای تهران تأثیر چشمگیری دارد به صورتی که نمی توان این اثر را نادیده گرفت.

### فهرست مراجع

- ۱-شکیبانیا-کاوه، بررسی عوامل تأثیر گذار بر پارامترهای مقاومت برشی خاک، سمینار کارشناسی ارشد-دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی- ۱۳۸۵
- ۲- بهینا - کامبیز، طباطبایی - امیر محمد: « مکانیک خاک»، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۱
- 3- Airey D.W.(1993), Triaxial Testing of Naturally Cemented Carbonate Soil,Journal of Geotech. ENG. Div., ASCE,Vol. (119), 1379-1398.
- 4- Clough,G.W. , Sitar.N. , Bachus,R.C. and Rad,N.S.(1981), Cemented Sands under Static Loading, Journal of Geotech. Eng., ASCE, Vol.107(6), 799-817.
- 5- Haung J.T. and Airey D.W. (1998)"Properties of Artificially Cemented Carbonate Sand". ASCE Journal Of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering,Vol. 124,No. 6
- 6- Acar,Y.B. and EL-Tahir,A.E.(1986), Low Strain Dynamic Properties of Artificially Cemented Sand, Journal of Geotech Eng. Div,ASCE,Vol.112(11),1001-1005
- 7- Wissa A.E.Z., Ladd C.C. and Lambe T.W.(1965), Effective Stress Strength Parameters of Stabilized Soils, Proc.6<sup>th</sup> Int. Conference of Soil Mechanics , Int. Society of Soil Mechanics and Foundation Eng. 1,412-416
- 8-Lambe,T.W.(1964), Methods of Estimating Settlement, Journal of Geotech Eng. Div. ASCE,Vol.90(5)
- ۹-بهبزادان، بررسی تأثیر سمنتاسیون بر روی خواص ژئوتکنیکی شنهای ماسه دار-مجله عمران شریف-بهار ۱۳۸۳
- 11- Leroueil,S. and Vaughan,P.R.(1990),The General and Congruent Effects of Structure in Natural Soils and Weak Rocks, Geotechnique, London,40(3), 467-488