

## بررسی تاثیر کوبش در خاک ماسه ای مسلح به ژئو گرید روی تغییرات تنش

حمید محمدی<sup>۱</sup>، البرز حاجیان نیا<sup>۲</sup>، سید مهدی ابطحی<sup>۳</sup>  
۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک خاک و پی، دانشگاه آزاد نجف آباد

۲- استادیار، اصفهان- نجف آباد، دانشگاه آزاد نجف آباد، دانشکده عمران

۳- دانشیار، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده عمران

hdm439@gmail.com

### خلاصه

در این تحقیق بررسی تاثیر کوبش بر تغییرات تنش با دستگاه CBR در خاک ماسه ای مسلح و غیر مسلح به ژئو گرید، با تراکم یکسان و مختلف، در ترازهای قرارگیری مختلف در نمونه بررسی گردید. افزایش مقاومت، تابعی از نوع ژئو گرید، تراکم و تراز قرارگیری مسلح کننده می باشد. رفتار خاک ماسه ای با تراکم ۱۰۰٪ با قرارگیری مسلح کننده در تراز ۰/۴H مقاومت بهتری را نشان می دهد حال آنکه در تراکم های پایینتر تراز قرارگیری مسلح کننده ۰/۲H می باشد. نتیجه حاصله عمق بهینه مسلح کننده در خاک با تراکم ۶۵/۱۰ و ۶۵/۳۰ ضربه به ترتیب در تراز ۰/۲H و ۰/۴H می باشد. خاک مسلح با تراکم ۶۵/۳۰ ضربه را میتوان تا اندازه ای جایگزینی خوب برای خاک با تراکم ۶۵ ضربه غیر مسلح دانست.

کلمات کلیدی: ژئو گرید، ماسه، درصد تراکم، تنش

### ۱. مقدمه

مفهوم نوین تسلیح خاک به وسیله مهندسی فرانسوی به نام هنری ویدال در سال ۱۹۶۶ معرفی شد. وی از نوارهای پهن فلزی در بین لایه های خاک متراکم استفاده نمود. از دهه ۸۰ میلادی به بعد استفاده از ژئوتکستایل (بافته شده یا نشده) و نیز استفاده از شبکه های مصنوعی به نام ژئو گرید به عنوان مصالح تسلیح یا عناصر تقویت کننده به طور گسترده ای متداول گردید. دلیل این مسئله عملکرد بهتر با سختی نسبی پایین که هماهنگی بهتری با خاک دارند نسبت به مصالح تسلیح کننده فلزی با سختی نسبی بالا می باشد [۱].

مطالعات آزمایشگاهی انجام شده بر روی خاکهای مخلوط با الیاف یا مسلح شده با ژئو سنتتیک هانتایچ قابل توجهی را نشان می دهد. Inanir و Yetimoglu (۲۰۰۴) آزمایش های CBR را برای بررسی رفتار نفوذ - بار ماسه مسلح با الیاف گسسته توزیع شده و پوشیده شده با رس نرم را انجام دادند. نتایج نشان دادند که اضافه کردن الیاف به ماسه باعث افزایش محسوس در بار ماکزیمم پیستون می شود [۲]. Vinod، Michael، (۲۰۰۹) تلاشی برای بررسی مزایای استفاده از ژئوتکستایل برای تسلیح زیر اساس پرداخته است. نتایج نشان دادند بیشترین مقدار CBR وقتی که ژئوتکستایل در عمق ۰/۲H بوده و منافذ آن ریزتر باشد رخ می دهد [۳]. Nikraz و Chegenizadeh، به بررسی آزمایش CBR روی ماسه تقویت شده پرداختند. افزایش الیاف طبیعی و مصنوعی باعث بالا رفتن مقدار CBR می شود افزایش طول الیاف باعث افزایش مقدار CBR می شود، به گونه ای که با افزایش تا سه برابر طول الیاف میزان CBR دو برابر می گردد. مقدار CBR برای الیاف طبیعی کمتر از الیاف پلاستیکی است [۴]. k.s.gill و

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک خاک و پی

<sup>۲</sup> استادیار

<sup>۳</sup> دانشیار

اولین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران  
 دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه محقق اردبیلی  
 ۳۰ مهر و ۱ آبان ماه ۱۳۹۲

P. Singh، به بررسی ظرفیت باربری رس مسلح شده با ژئو گرید در دو حالت اشباع و غیر اشباع پرداختند. خاک مورد آزمایش زمانیکه با ژئو گرید تقویت می شود CBR آن از ۳/۶ درصد به ۸/۷ درصد افزایش می یابد [۵]. حاجیان نیا و همکاران، عملکرد رفتار خاک های دانه ای و سست تقویت شده با الیاف مصنوعی پلی پروپیلن را بررسی کردند. افزودن الیاف پلی پروپیلن به طول ۱۲ میلیمتر با توزیع تصادفی به خاک با مقدار بهینه ۰/۱ درصد در رطوبتی با ۱۳/۸ درصد، مقاومت باربری مخلوط را افزایش می هد درحالیکه افزایش بیشتر طول، کاهش مقاومت را در پی دارد [۶].

## ۲. مصالح مورد استفاده

### ۱.۲. خاک

ماسه مورد استفاده در این تحقیق از منطقه یزد تهیه شده است. به روش پروکتور اصلاح شده طبق استاندارد AASHTOT-D180 رطوبت بهینه ۷/۳۸ درصد و وزن مخصوص خشک حداکثر ۲/۰۶ گرم بر سانتیمتر مکعب می باشد. بر اساس استاندارد ASTM T854 چگالی دانه های خاک (Gs) ۲/۶۵ تعیین گردید. مشخصات خاک مورد استفاده در جدول ۱. الی ۳ ذکر شده است.

جدول ۱- دانه بندی مطابق استاندارد ASTM T-27

اندازه الک	۱	۳/۴	۱/۲	۳/۸	۱/۴	۳/۱۶	۱۰	۴۰	۱۰۰	۲۰۰
درصد عبوری الک	۹۸/۸۰	۹۸/۴۵	۹۸/۱۰	۹۷/۶۸	۹۷/۱۰	۹۶/۳۰	۸۹/۹۵	۲۸/۴۴	۵/۵۵	۱/۷۴

جدول ۲- مشخصات خاک مورد استفاده

مشخصات	نوع خاک	طبقه بندی	جنس ذرات	چگالی توده ویژه	حد روانی	حد خمیری	شاخص خمیری
مقدار	A-3	SP	ماسه	۲/۶۵	-	-	NP

جدول ۳- مشخصات خاک مورد استفاده

نوع مصالح	Gs	D60(mm)	D30(mm)	(mm)	$\gamma$ min	$\gamma$ max	Cc	Cu
ماسه	۲/۶۵	۰/۹۳	۰/۴۲	۰/۱۹	۱/۴۱	۲/۰۶	۴/۹۰	۰/۹۹۸

### ۲.۲. ژئو گرید

ژئو گرید مورد استفاده جهت تسلیح با اندازه چشمه ۱۴\*۱۴ میلیمتر می باشد. در جدول ۴. ژئو گرید با مشخصات آن نشان داده شده است.

جدول ۴- مشخصات ژئو گرید

مصالح	چشمه mm	ضخامت mm	مدول الاستیسیته mpa
ژئو گرید	۱۴*۱۴	۱	۲۳۰

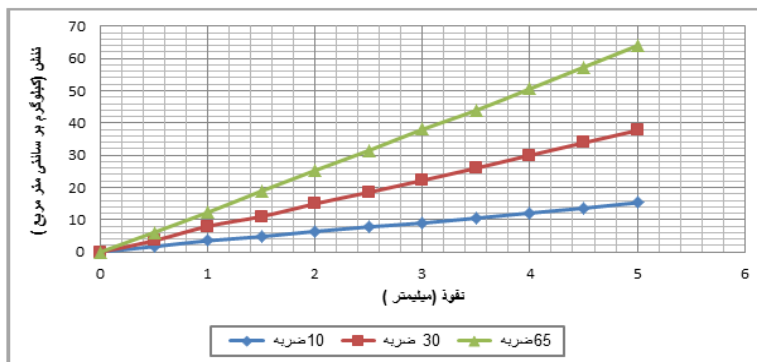
### ۳. آماده سازی نمونه ها و آزمایش

به منظور بررسی تاثیر کوبش بر ماسه تهیه شده نمونه ها در دو حالت با تراکم یکسان و مختلف با قرارگیری مسلح کننده در نمونه بررسی گردید، جهت صحت سنجی هر آزمون ۳ بار تکرار شد.

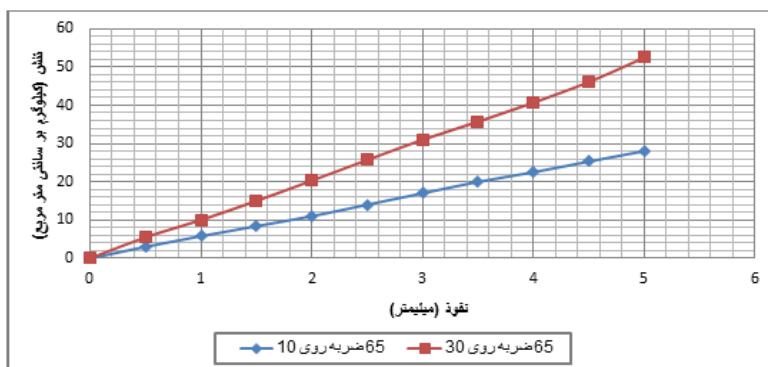
در این پژوهش آماده سازی نمونه ها بر مبنای رطوبت بهینه با کوبش های مختلف ۱۰، ۳۰ و ۶۵ ضربه بر اساس استاندارد AASHTO T-193 صورت گرفت. نتایج حاصل از متوسط آزمایشات نشان می دهد تراکم کوبش های ۱۰، ۳۰ و ۶۵ ضربه با تقریب برابر با ۸۹، ۹۶ و ۱۰۷ درصد می باشد. دستگاه بکار برده شده جهت انجام آزمایش دستگاه CBR می باشد. طبق آیین نامه AASHTO T-193 نمونه ها پس از آماده شدن در دو نفوذ ۲/۵ و ۵/۰۰ میلیمتر مورد آزمایش و تحلیل قرار گرفتند. آزمایش ها در دو مرحله پیگیری شدند: ۱- خاک با تراکم یکسان و مختلف غیر مسلح ۲- خاک با تراکم یکسان و مختلف مسلح

#### ۱.۳. مرحله اول: آزمایش خاک با تراکم یکسان و مختلف در حالت غیر مسلح با رطوبت بهینه

آزمایش تراکم خاک غیر مسلح با میزان تراکم های یکسان و مختلف انجام گرفت نتایج به صورت نمودار در شکل ۱ و ۲ آمده است.



شکل ۱- نمودار تنش- نفوذ خاک با تراکم ۱۰، ۳۰ و ۶۵ ضربه



شکل ۲- نمودار تنش- نفوذ با تراکم ۱۰/۶۵ و ۳۰/۶۵ ضربه

اولین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران  
دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه محقق اردبیلی  
۳۰ مهر و ۱ آبان ماه ۱۳۹۲

شکل ۱. نشان می دهد که با افزایش انرژی تراکم در رطوبت بهینه میزان تنش وارده برای رسیدن به نفوذ معین افزایش می یابد. رشد تنش در تراکم و نفوذ بالاتر کمتر از رشد تنش در تراکم و نفوذ های پایتتر است که این امر به فشردگی ذرات در محدوده نفوذ فوق بر می گردد. بیشترین تنش را در خاک با تراکم ۶۵ ضربه مشاهده می کنیم. در شکل ۲. نمودار تنش- نفوذ دو لایه خاک با تراکم ۱۰۰٪ در حالت غیر مسلح بر سه لایه خاک یکبار با تراکم ۸۹٪ و بار دیگر بر تراکم ۹۵٪ قرار گرفته است نشان داده شده است. مقایسه تنش هادر شکل ۲ و ۳. نشان می دهد، بالاترین میزان تنش در خاک غیر مسلح با تراکم یکسان و مختلف به ترتیب، در تراکم ۶۵ ضربه و ۶۵/۳۰ ضربه خواهد بود، تنش در خاک با تراکم ۶۵/۳۰ ضربه به حدودا ۸۲٪ تنش خاک با ۶۵ ضربه رسیده است. نتایج رشد و نسبت درصد تنش در خاک غیر مسلح بر حسب تراکم اعمال شده در جدول ۵ و ۶ آمده است.

جدول ۵ - رشد تنش و نسبت درصد تنش خاک غیر مسلح با تراکم یکسان

ضربه	نسبت درصد تنش در نفوذ ۲/۵ میلیتر٪	نسبت درصد تنش در نفوذ ۵/۰۰ میلیتر٪	رشد تنش در نفوذ ۲/۵ میلیتر٪	رشد تنش در نفوذ ۵/۰۰ میلیتر٪
۳۰ به ۱۰	۴۲/۱۶	۴۰/۶	۱۳۷/۱۸	۱۴۶/۳۱
۶۵ به ۳۰	۵۸/۷۵	۵۸/۹۴	۷۰/۲۲	۶۹/۶۶
۶۵ به ۱۰	۲۴/۷۶	۲۳/۹۳	۳۰۳/۷۲	۳۱۷/۹۰

جدول ۶ - مقایسه نسبت درصد تنش در خاک غیر مسلح با تراکم مختلف

مقایسه نسبت ضربات در خاک با تراکم مختلف	نسبت درصد تنش در نفوذ ۲/۵ میلیتر٪	نسبت درصد تنش در نفوذ ۵/۰۰ میلیتر٪	رشد تنش در نفوذ ۲/۵ میلیتر٪	رشد تنش در نفوذ ۵/۰۰ میلیتر٪
۶۵/۱۰ به ۱۰	۵۵/۷۱	۵۴/۶۲	۷۹/۴۹	۸۳/۰۸
۶۵/۱۰ به ۶۵	۲۲۴/۹۳	۲۲۸/۲۶	-۵۵/۵۴	-۵۶/۱۹
۶۵/۳۰ به ۳۰	۷۱/۹۸	۷۱/۸۲	۳۸/۹۲	۳۹/۲۲
۶۵/۳۰ به ۶۵	۱۲۲/۵۳	۱۲۱/۸۷	-۱۸/۳۹	-۱۷/۹۴
۶۵/۳۰ به ۶۵/۱۰	۵۴/۴۷	۵۳/۳۹	۸۳/۵۷	۸۷/۲۹

۲.۳. مرحله دوم: آزمایش خاک با تراکم یکسان و مختلف در حالت مسلح با رطوبت بهینه

در مرحله دوم آزمایش تنش وارد بر نمونه خاک مسلح با قرار گیری ژئوگرید در تراز (۰/۲H و ۰/۴H) از سطح در تراکم ۱۰، ۳۰ و ۶۵ ضربه در هر لایه و بار دیگر با قرار گیری ژئوگرید در تراز (۰/۲H و ۰/۴H) و (۰/۲H و ۰/۴H) از سطح در ۶۵/۱۰ ضربه و ۶۵/۳۰ ضربه انجام گردید. در جدول ۷ و ۸. تنش در نمونه خاک مسلح با تراکم یکسان و مختلف در نفوذ ۲/۵ و ۵ میلیتر آمده است.

اولین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران  
 دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه محقق اردبیلی  
 ۳۰ مهر و ۱ آبان ماه ۱۳۹۲

جدول ۷- تنش در نمونه خاک مسلح با تراکم یکسان در نفوذ ۵ و ۲/۵ میلیمتر

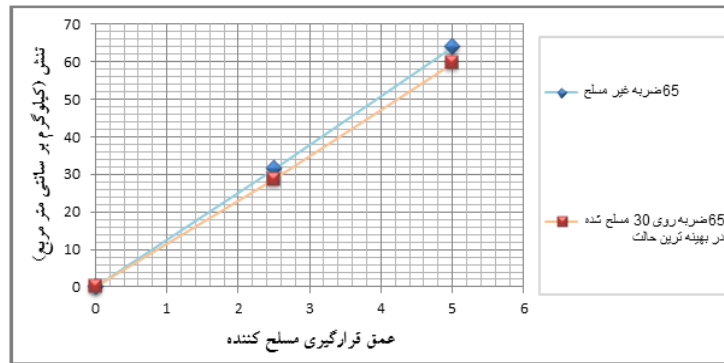
تنش اعمالی (kg/cm <sup>2</sup> ) برای نفوذ معین						کوبه
۶۵		۳۰		۱۰		
۵/۰۰	۲/۵	۵/۰۰	۲/۵	۵/۰۰	۲/۵	نفوذ (mm)
۶۳/۹۸	۳۱/۴۹	۳۷/۷۱	۱۸/۵۰	۱۵/۳۱	۷/۸	غیر مسلح
۵۸/۲۹	۲۸	۴۳/۷۰	۲۳	۱۷/۷۲	۸/۸	محل قرارگیری ژئوگرید
۶۴/۲۵	۲۹/۰۹	۴۳/۰۷	۲۱/۹۰	۱۴/۷۳	۶/۸	۰/۴H

جدول ۸- تنش در نمونه خاک مسلح با تراکم مختلف در نفوذ ۵ و ۲/۵ میلیمتر

تنش اعمالی (kg/cm <sup>2</sup> ) برای نفوذ معین				کوبه
۶۵/۳۰		۶۵/۱۰		
۵/۰۰	۲/۵	۵/۰۰	۲/۵	نفوذ (mm)
۵۲/۵۰	۲۵/۷۰	۲۸/۰۳	۱۴/۰۰	غیر مسلح
۵۳/۱۴	۲۶/۰۰	۳۰/۵۸	۱۵/۴۸	محل قرارگیری ژئوگرید
۵۹/۵۴	۲۸/۶۶	۲۶/۵۷	۱۳/۵۸	۰/۴H
۵۲/۴۶	۲۷/۰۰	۳۲/۹۷	۱۶/۵۰	۰/۲H+۰/۴H

نتایج در جدول ۷ و ۸ نشان می دهد در خاک با تراکم یکسان (۱۰، ۳۰ و ۶۵) ضربه با قرار گیری مسلح کننده در عمق ثابت ۰/۲H و ۰/۴H بیشترین تنش در عمق ۰/۴H در تراکم ۶۵ ضربه بدست می آید نیز در خاک با تراکم مختلف (۶۵/۱۰ و ۶۵/۳۰) ضربه با قرار گیری مسلح کننده در عمق ثابت ۰/۲H و ۰/۴H بیشترین تنش در عمق ۰/۴H در تراکم ۶۵/۳۰ ضربه بدست می آید. قرار گیری دو لایه مسلح کننده در نمونه خاک با تراکم مختلف ۶۵/۱۰ و ۶۵/۳۰ ضربه نشان می دهد که در نمونه ۶۵/۱۰ ضربه تنش به میزان ۷/۸٪ نسبت به وضعیت بهینه رشد داشته است اما تسلیح با دو لایه در نمونه ۶۵/۳۰ ضربه کاهش تنش دارد. خاک با تراکم ۶۵ ضربه غیر مسلح حدودا ۷/۵٪ تنش بیشتر از خاک با تراکم ۶۵/۳۰ ضربه در حالت مسلح دارد، بنابراین خاک مسلح در تراز ۰/۴H با تراکم ۶۵/۳۰ ضربه را میتوان تا اندازه ای جایگزینی خوب برای خاک با تراکم ۶۵ ضربه غیر مسلح دانست. در شکل ۳ مقایسه تنش خاک ۶۵ ضربه غیر مسلح و خاک با تراکم ۶۵/۳۰ ضربه مسلح نشان داده شده است.

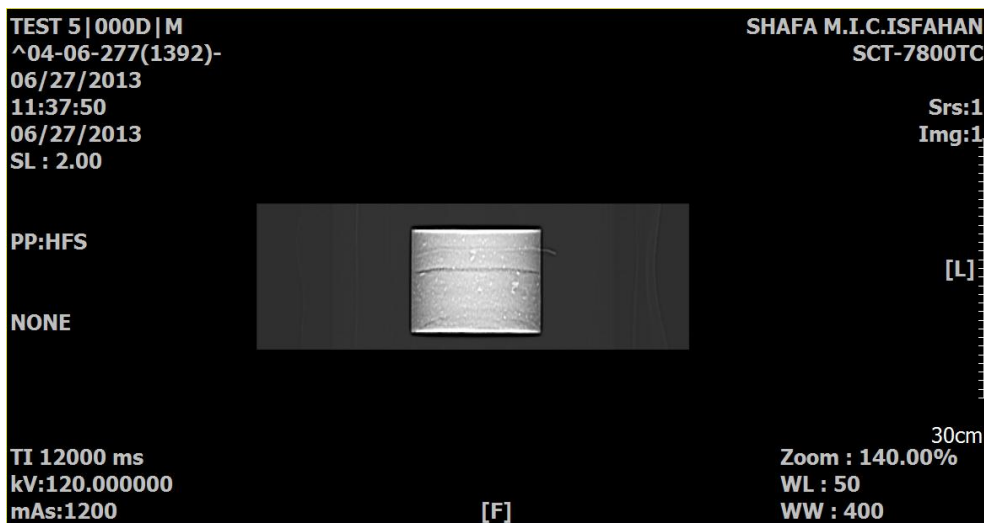
اولین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران  
 دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه محقق اردبیلی  
 ۳۰ مهر و ۱ آبان ماه ۱۳۹۲



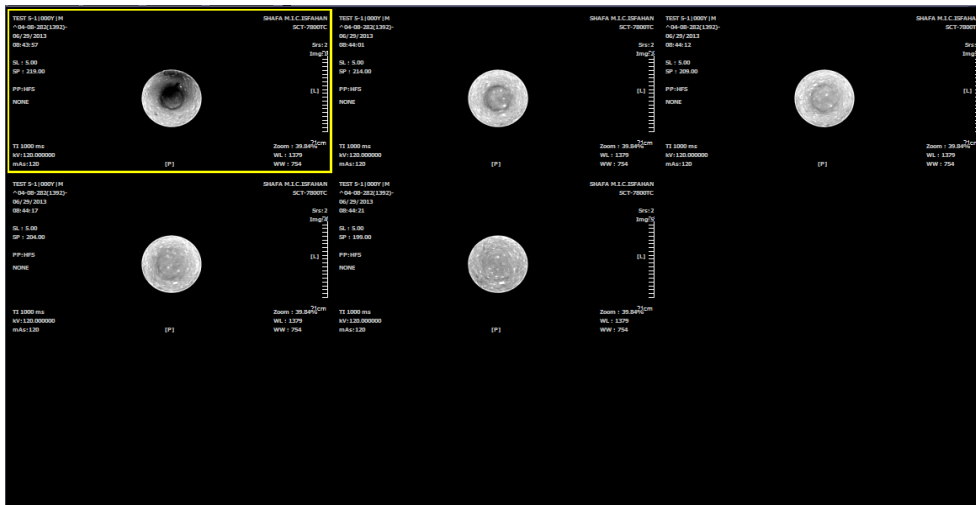
شکل ۳- مقایسه تنش خاک ۶۵ ضربه غیر مسلح با خاک مسلح متراکم شده با ۶۵/۳۰ ضربه

#### ۴. تصویر برداری از نمونه های خاک با تراکم یکسان و مختلف با CT SCAN

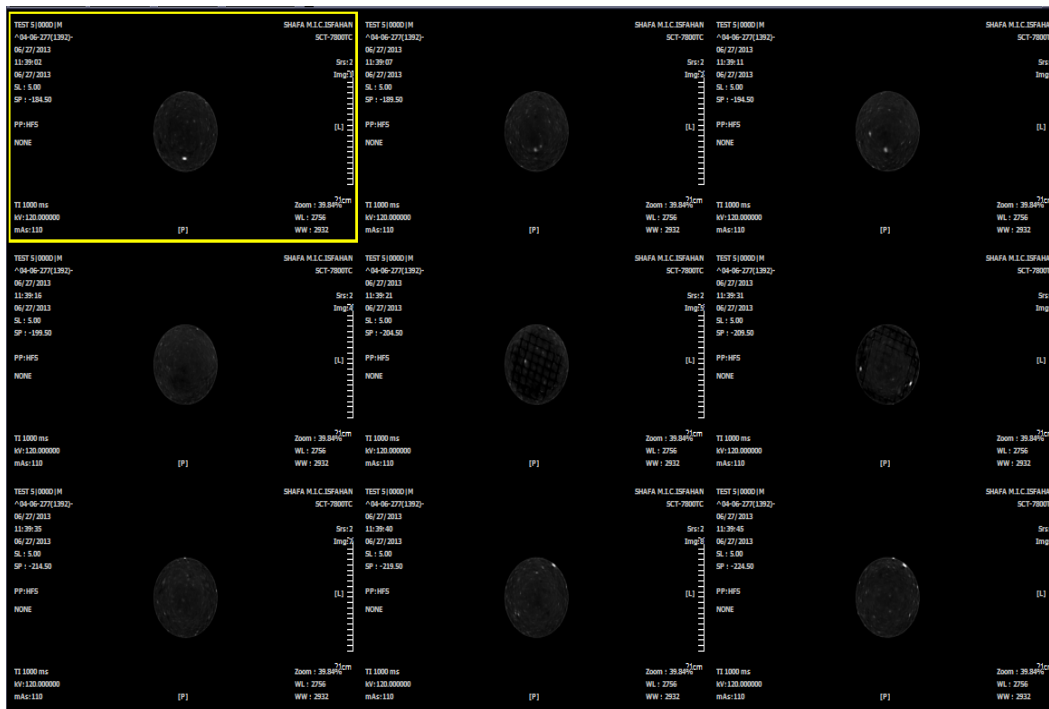
جهت روشن تر شدن تنش وارده بر نمونه های تهیه شده خاک با تراکم یکسان و مختلف، با کمک تکنولوژی CT SCAN از نمونه ها تصویر برداری شد. در شکل ۴ تصویر نمونه تحت تنش قرار گرفته در ۶۵ ضربه مسلح در عمق قرار گیری ۰/۴H نشان داده شده است. تصاویر در فاصله تراز تقریبی صفر تا عمق تقریباً ۰/۶H با ۱۶ برش در نفوذ معین تا ۵ میلیمتر تهیه شد.



اولین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران  
 دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه محقق اردبیلی  
 ۳۰ مهر و ۱ آبان ماه ۱۳۹۲



شکل ۴- نمونه تحت تنش قرار گرفته در ۶۵ ضربه مسلح در عمق قرار گیری ۰/۴H تصویر برداری شده در محدوده تراز ۰/۲H.



شکل ۵- نمونه تحت تنش قرار گرفته در ۶۵ ضربه مسلح در عمق قرار گیری ۰/۴H تصویر برداری شده در محدوده تراز ۰/۲H تا ۰/۶H.

در شکل ۵. دیده می شود تنش تقریباً در تراز ۰/۴H کم شده است و بیشترین تنش در نفوذ معین ۵ میلیمتر در تراز ماقبل ۰/۲H است. در نمونه متراکم شده تحت تنش ۶۵ ضربه، نمونه در ضخامت ۰/۲H تحت تنش بیشتری می باشد با قرار گیری مسلح کننده در تراز این

ضخامت ذرات پیوستگی لازم را نداشته و پیوند زدایی<sup>۱</sup> در این حالت حادث می شود. پیوستگی و مقاومت ذرات خاک در ضخامت ۰/۴H از ضخامت خاک ۰/۲H در برابر اعمال نیروی بیشتر است، بنابراین با قرارگیری مسلح کننده در تراز ۰/۴H تنش بیشتری داریم که البته با نمونه غیر مسلح تفاوت قابل توجهی ندارد.

## ۵. نتیجه گیری

در این راستا صرفاً استفاده از ژئو گرید در جهت افزایش ظرفیت باربری خاک با استفاده از پارامترهای متغیر کوبش و عمق قرارگیری مسلح کننده آزمایش‌هایی انجام گرفت، به عنوان نتایج کلی می توان به موارد زیر اشاره کرد.

- در خاک تک لایه با کوبش ۳۰، ۱۰ و ۶۵ ضربه دیده شد هر چه انرژی تراکم بیشتر شود تنش ثبت شده نیز بیشتر می گردد رشد تنش در تراکم پایینتر بیشتر از رشد آن در تراکم بالاتر است.
- عمق بهینه خاک ماسه ای مسلح با تراکم یکسان در ۱۰ و ۳۰ ضربه در تراز ۰/۲H و در ۶۵ ضربه در تراز ۰/۴H می باشد و در تراکم ۶۵/۱۰ و ۶۵/۳۰ ضربه به ترتیب در تراز ۰/۲H و ۰/۴H می باشد.
- رشد تنش خاک در تراکم ۶۵/۱۰ ضربه در عمق بهینه در برابر خاک با تراکم ۶۵/۱۰ ضربه غیر مسلح در نفوذ ۵ میلیمتر برابر ۹/۱٪ می باشد. رشد تنش خاک در تراکم ۶۵/۳۰ ضربه در عمق بهینه در برابر خاک با تراکم ۶۵/۳۰ ضربه غیر مسلح در نفوذ ۵ میلیمتر برابر ۱۳/۴٪ می باشد.
- دو لایه مسلح کننده در خاک با تراکم ۶۵/۱۰ ضربه در نفوذ ۵ میلیمتر باعث افزایش تنش به میزان حدوداً ۷/۸٪ نسبت به حالت بهینه قرارگیری مسلح کننده در تراکم ۶۵/۱۰ ضربه می شود و در برابر خاک با تراکم ۶۵/۳۰ ضربه در نفوذ ۵ میلیمتر باعث کاهش تنش به میزان ۱۱/۸٪ نسبت به حالت بهینه قرارگیری مسلح کننده در تراکم ۶۵/۳۰ ضربه می شود.
- تنش در خاک متراکم مسلح با ۶۵ ضربه در عمق بهینه نسبت به نمونه غیر مسلح تاثیر قابل توجهی نداشته است. عبارتی تراکم مکانیکی در این نمونه خاک، نسبت به مسلح کنندگی تقریباً یکسان است. خاک با تراکم ۶۵ ضربه غیر مسلح حدوداً ۷/۵٪ تنش بیشتری از خاک با تراکم ۶۵/۳۰ ضربه در حالت مسلح دارد، در این حالت خاک مسلح با تراکم ۶۵/۳۰ ضربه را میتوان تا اندازه ای جایگزینی خوب برای خاک با تراکم ۶۵ ضربه غیر مسلح دانست.

## مراجع

۱. سادات حسینی صابرج، " بررسی ظرفیت باربری خاک های مسلح شده دانه ای مخلوط بوسیله ژئوتکستایل توسط آزمایش CBR" وزارت علوم و تحقیقات فن آوری گروه مهندسی عمران دانشگاه تفرش پاییز ۱۳۹۰
2. Yetimoglu, T., Inanir, M. and Inanir, O.E.(2005), "A Study on Bearing Capacity of Randomly Distributed Fiber-Reinforced Sand Fills Overlying Soft Clay", Geotextiles and Geomembranes, ELSEVIER. 23, 174-184.
3. Vinod, P. Asst. Professor, (Nov 2009), "California bearing ratio of coir geotextile reinforced subgrade" college of engineering Trivandrum, kerala. 10th National Conference on Technological Trends (NCTT09) 6-7.
4. Chegenizadeh, Amin, Nikraz, Hamid3 (March 2012), "CBR test on fibre reinforced silty sand". International Journal of Structural and Civil Engineering Volume 1 Issue.

<sup>1</sup> DEBONDING



اولین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران  
دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه محقق اردبیلی  
۳۰ مهر و ۱ آبان ماه ۱۳۹۲

5. Pardeep. Singh, K.S.Gill, (June 2012) "CBR improvement of clayey soil with Geo-grid reinforcement". Website: [www.ijetae.com](http://www.ijetae.com) (ISSN 2250-2459, Volume 2, Issue 6,).

۶. حاجیان نیا، ا.، معصومی، ا.، مدرس نیا، ا.، (۱۳۹۰) "بررسی عملکرد رفتارخاک های دانه ای و سست تقویت شده با الیاف مصنوعی پلی پروپیلن" سومین کنفرانس ملی مهندسی نساجی و پوشاک، یزد، اردیبهشت.