



شرکت آزمون ساز مبنا

طراحی و ساخت لوازم آزمایشگاهی

مکانیک خاک و مقاومت مصالح

## دستگاه مقاومت فشاری سه محوری

مدل تمام اتوماتیک: SO740/1

دیجیتال: SO740

## فهرست:

- ۱- مقدمه ..... ۳
- ۲- هدف ..... ۴
- ۳- شرح دستگاه و لوازم مورد نیاز ..... ۴
- ۴- نمونه آزمایش ..... ۹
- ۵- روش آزمایش ..... ۱۰
- ۶- محاسبات و گزارش ..... ۱۴
- ۷- روش کار با نمایشگر دستگاه ..... ۲۱



## دستگاه مقاومت فشاری سه محوری

مدل: SO740/1, SO740

استاندارد:

ASTM D2850, D4767, AASHTO T234, BS 1377:8

### ۱- مقدمه

آزمایش سه محوری متداول ترین روشی است که امروزه در آزمایشگاه های مکانیک خاک مورد استفاده قرار می گیرد. با این روش، مقاومت فشاری تحکیم نشده زهکشی نشده نمونه های استوانه ای شکل خاک های چسبنده در شرایط دست خورده و یا مترکم شده و با استفاده از کرنش کنترل شده یا تنش کنترل شده تعیین می گردد. نمونه در محفظه سه محوری تحت فشار همه جانبه قرار می گیرد. این آزمایش به سه شکل مقاومت فشاری سه محوری تحکیم نیافته زهکشی نشده (UU)، فشاری سه محوری تحکیم یافته زهکشی نشده (CU)، فشاری سه محوری تحکیم یافته زهکشی شده (CD)، تفاوت در این روشها بر مبنای صورت گرفتن عملیات تحکیم و سرعت بارگذاری و به تبع تأثیر فشار آب منفذی است. با این آزمایش می توان اطلاعات لازم برای تعیین مقاومت خاکها و روابط تنش - کرنش را به دست آورد.

روند کلی این آزمایش به این صورت است که یک نمونه خاک که اغلب ارتفاع آن دو برابر قطر آن است درون محفظه ای قرار گرفته و سپس تحت تاثیر یک فشار همه جانبه قرار می گیرد که در این حالت اگر قصد تحکیم نمونه را داشته باشیم شیرهای خروج آب بازنگداشته می شود تا نمونه تحکیم شود و فشار منفذی به صفر برسد. پس از این مرحله با اعمال بار قائم نمونه به گسیختگی می رسد در این حالت اختلاف بار قائم و بار همه جانبه که به تنش انحرافی معروف است باعث گسیختگی نمونه می شود در صورتی که قصد زهکشی نمونه وجود داشته باشد در این مرحله نیز شیرهای خروج آب باز نگه داشته می شود.

این آزمایش نیز با فشارهای جانبی مختلف انجام می‌شود سپس دواير موهر حاکم بر هر کدام از آزمایشها در یک دستگاه مختصات ترسیم شده و پوش این دواير رسم می‌شود، شیب این خط زاویه اصطکاک داخلی خاک و عرض از مبدا آن چسبندگی خاک می‌باشد.

## ۲- هدف

این دستگاه جهت انجام آزمایش فشار سه محوری به سه روش تحکیم نیافته زهکشی نشده (UU) و تحکیم یافته زهکشی نشده (CU) و تحکیم یافته زهکشی شده (CD) و با قابلیت اعمال پس فشار و فشار محصورکننده و اندازه گیری فشار آب منفذی و تغییرات حجم طراحی شده است.

با انجام این آزمایش بر روی سه نمونه خاک چسبنده همسان استوانه‌های دست نخورده یا بازسازی شده و ترسیم دواير موهر پارامترهای مقاومت برشی نظیر زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی به دست می‌آید. ترسیم نمودارهای تنش و کرنش نیز به شناخت رفتارهای مکانیکی خاک کمک شایانی می‌نماید.

## ۳- شرح دستگاه و لوازم مورد نیاز

۱- دستگاه بارگذاری: دستگاه بارگذاری محوری متشکل از یک جک بارگذاری است که با نیروی برق به حرکت در می‌آید. سرعت و توان بارگذاری جک های بارگذاری شرکت آزمون ساز مبنا با توجه به مدل متنوع هستند. این دستگاه در مدول UU قادر است به اعمال بار با سرعت ۰/۵ ، ۱ و ۲ میلی‌متر بر دقیقه را با قدرت ۵۰۰ کیلوگرم داراست. اما در مدل دیجیتال و تمام اتوماتیک که موتور آن از نوع سروترونیك میتوان سرعت بارگذاری را از ۰/۱ تا ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه با دقت ۰/۰۱ تنظیم نمود.

۲- ابزار اندازه گیری بار محوری: دستگاه اندازه گیری بار محوری یک حلقه نیروسنج proving ring در مدل UU یا نیروسنج الکتریکی load cell در مدل دیجیتال و تمام اتوماتیک می‌باشد که بتوان به وسیله آن

بار محوری را با حساسیت ۱ کیلوگرم اندازه گیری کرد. بار محوری از طریق یک سیستم سیلندر پیستون که در درپوش استوانه شفاف محفظه فشار تعبیه شده و هم محور با نمونه خاک در مرکز استوانه شفاف می باشد، به نمونه وارد می شود. در نتیجه نمونه بین پایه و کلاهک فشرده می گردد. پیستون انتقال بار طوری ساخته شده است که اصطکاک حداقل باشد.

۳- کمپرسور باد: جهت اعمال بار جانبی و پس فشار نیاز به کمپرسوری با حداقل توان اعمال ۵ بار می باشد. این دستگاه در مدل UU ارائه نمی شود.

۴- رگلاتور: تنظیم فشارهای جانبی و پس فشار توسط دو عدد رگلاتور صورت می گیرد.

۵- منبع فشار جانبی و پس فشار: با محفظه فشار محفظه ای باید بتوان فشار جانبی لازم را وارد کرد. این وسیله شامل یک مخزن آب می باشد که به محفظه فشار سه محوری متصل شده و تا حد معینی از مایع (معمولاً آب) پر شده است. مخزن از قسمت بالا به دستگاه تولید فشار (کمپرسور هوا) متصل می گردد. فشار هوا توسط یک شیر تنظیم کنترل شده و توسط یک فشار سنج معمولی یا الکترونیکی اندازه گیری می شود. با توجه به نیاز به دو سیستم فشار، به تعداد ۲ عدد از این منبع احتیاج است که بهتر است آب درون محفظه پس فشار از آبی زلال و جوشیده پر شده باشد تا فرایند اشباع نمونه بهتر صورت پذیرد.

۶- سلول نمونه: سلول نمونه استوانه ای است شفاف از جنس پلکسی گلاس و مقاومت و طوری ساخته شده است که نمونه در مرکز آن قرار می گیرد و از اطراف فشار هیدرواستاتیک به آن وارد می شود.

۷- کلاهک و پایه نمونه: برای زهکشی کردن نمونه از کلاهک و پایه ای استفاده می شود که یک سوراخ کوچک در مرکز آنها تعبیه شده است. کلاهک و پایه نمونه دارای یک سطح تماس دایره ای با نمونه می باشد که مقطع آنها نیز دایره ای شکل است. وزن کلاهک باید از ۰/۱۵٪ بار محوری وارد در مرحله گسیختگی نمونه کمتر و قطر کلاهک و پایه باید با قطر نمونه برابر باشد. نمونه باید به کف فلزی محفظه

فشار سه محوری پایدار گردد تا از حرکت جانبی یا کج شدن نمونه جلوگیری شود. ضمناً کلاهدک نیز طوری ساخته شده است که سطح تماس پیستون بار دهنده با کلاهدک، به صورت متحدالمرکز باشند. سطح جانبی پایه و کلاهدک نمونه که جهت آب‌بندی با غشاء لاستیکی متصل می‌شود باید کاملاً صاف و بدون خراشیدگی باشد.

۸- غشاء لاستیکی : غشاء لاستیکی برای پوشاندن نمونه به کار می‌رود و باید در برابر تراوش آب از جدار آن غیرقابل نفوذ باشد. غشاء لاستیکی قبل از استفاده با دقت بازرسی می‌شود تا اگر ترک یا سوراخ ریزی در آن مشاهده شد، کنار گذاشته شود. همانطوری که گفته شد غشاء لاستیکی توسط حلقه‌های لاستیکی O-ring به پایه و کلاهدک نمونه محکم می‌شود.

۹- صفحات متخلخل: صفحات متخلخل با مقطع دایره‌ای و با قطر برابر نمونه که در بالا و پایین نمونه قرار داده می‌شوند و جهت زهکشی نمونه بکار می‌روند.

۱۰- وسیله انبساط دهنده غشاء لاستیکی (غشا کش): نمونه استوانه‌ای خاک با استفاده از وسیله انبساط دهنده غشاء، در داخل یک غشاء لاستیکی نازک که در حدود ۵ سانتی‌متر بلندتر از خود نمونه است، قرار داده می‌شود. ضمن اینکه پایه و کلاهدک در دو انتهای نمونه قرار دارند، غشاء لاستیکی از دو طرف به پایه و کلاهدک می‌چسبد و با استفاده از حلقه‌های لاستیکی کاملاً آب‌بندی می‌شود.

۱۱- ابزار اندازه‌گیری فشار آب منفذی: این ابزار در مدل دیجیتال شامل پمپ دستی، نول اندیکاتور، جیوه و مخزن سرریز جیوه است. اما در مدل تمام اتوماتیک این ابزار تنها شامل یه سنسور است که اندازه‌گیری فشار آب منفذی را تسهیل می‌کند. این ابزار در مدل UU ارائه نمی‌شود.

۱۲- وسیله اندازه‌گیری تغییر حجم: این وسیله برای اندازه‌گیری آب خروجی از نمونه در حین تحکیم یا آزمایش تعبیه شده است. این وسیله در گذشته به صورت بورت‌های دوتایی بوده که با مایع رنگی

حجم آب ورودی به آن اندازه گیری می شده است. اما در مدل های جدید شرکت آزمون ساز مبنا دستگاه اندازه گیری تغییر حجم جایگزین بورت شده است که علاوه بر سهولت استفاده از آن دقت بالاتری نیز برای اندازه گیری حجم دارا می باشند. این دستگاه متشکل از محفظه ای است که درون آن سیلندری کالیبره شده قرار دارد که با تعبیه صفحه ای درون آن حرکت این صفحه بر اثر ورود و خروج آب با استفاده از یک گیج ( در مدل دیجیتال ) یا یک LVDT (در مدل تمام اتوماتیک) اندازه گیری و به صورت حجم بیان می شود. این دستگاه در مدل UU ارائه نمی شود.

۱۳- شاخص تغییر شکل: شاخص تغییر شکل همان گیج اندازه گیری تغییر طول است که دارای دقت ۰/۰۱ میلیمتر در مدل های UU و دیجیتال استفاده می شود. از کرنش سنجهای الکترونیکی LVDT نیز برای این منظور در مدل تمام اتوماتیک استفاده شده است.

۱۴- نمونه گیر دست خورده و دست نخورده: جهت اخذ نمونه به صورت بازسازی شده یا دست نخورده از نمونه گیر مخصوص خود برای اندازه های مختلف استفاده می گردد.

۱۵- قالب بیرون آورنده نمونه: قالبی است که می توان بوسیله آن نمونه خاک در وضعیت عمودی بیرون آورده شود، برای جلوگیری از پدید آمدن حالت خمش در نمونه (که بر اثر نیروی ثقل حاصل می شود) باید مراقبت های لازم را به عمل آورد. البته در هنگام نمونه برداری جهت حرکت به داخل لوله نمونه گیر مشخص می گردد، در نتیجه هنگام خارج کردن اشتهای رخ نخواهد داد.

۱۶- وسایل اندازه گیری ابعاد نمونه\*: برای اندازه گیری ارتفاع و قطر نمونه از کولیس استفاده می شود. اندازه گیری باید با دقت انجام گیرد و باعث دستخوردگی نمونه نشود.

۱۷- زمان سنج\*: برای کنترل سرعت تنش یا کرنش از ساعت های مخصوص استفاده می شود که به وسیله آن می توان زمان طی شده در آزمایش را با دقت یک ثانیه سنجید.

۱۸- ترازو\* : نمونه‌هایی که کمتر از ۱۰۰ گرم وزن دارند باید با دقت ۰/۰۱ گرم و نمونه‌های با ۱۰۰ گرم و بیشتر باید با دقت ۰/۱ گرم توزین شوند.

۱۹- وسایل متفرقه\* : ابزار برای تقسیم کردن و تراش نمونه آزمایشگاهی ، کاتر، خط کش، قوطی برای تعیین درصد رطوبت و جداول اطلاعات موردنیاز می‌باشد.

\* این وسایل جزء ملحقات دستگاه نمی‌باشد و بایستی جداگانه فراهم شوند.



شکل (۱) تصویری از دستگاه سه محوری تمام اتوماتیک، از راست به چپ: ۱-دستگاه اندازه گیری تغییر حجم، محفظه فشار جانبی یا پس فشار ، رگلاتور، محفظه فشار جانبی یا پس فشار، دیتالاگر (نمایشگر)، جک بارگذاری



## ۴- نمونه آزمایش

الف- ابعاد نمونه: قطر نمونه‌های آزمایشگاهی حداقل  $1/3$  اینچ (۳۳ م) و قطر بزرگترین دانه نمونه باید کوچک تر از  $0/1$  قطر نمونه باشد. برای نمونه‌ای به قطر  $2/8$  اینچ (۷۱ م) یا بزرگتر، اندازه درشت ترین ذرات باید از  $1/6$  قطر نمونه کوچکتر باشد. اگر پس از اتمام آزمایش، وجود ذرات بزرگتر از اندازه آشکار شود باید این موضوع در قسمت توضیحات آزمایش ذکر گردد. نسبت ارتفاع به قطر نیز ۲ می‌باشد. ارتفاع و قطر نمونه با دقت  $0/01$  اینچ (۰/۳ م) اندازه گیری و در برگ گزارش یادداشت نمایید. سلول‌های تهیه شده توسط آزمون برای خاکهای رسی با قطر نمونه ۳۸ م و برای ماسه های ریزدانه با قطر ۵۰ م ساخته می‌شوند. برای نمونه های بزرگتر از ۵۰ م نیاز به جک بارگذاری و سلول های با توان و اندازه بالاتر است.

ب- نمونه‌های آزمایشگاهی دست نخورده: نمونه‌های آزمایشگاهی را از نمونه‌های دست نخورده (نمونه‌هایی که مطابق روش آزمایش ASTM D1587 یا سایر روش‌های موردقبول نمونه گیری دست نخورده یا لوله نمونه گیر به دست آمده) تهیه نمایید. نمونه دست نخورده بایستی به نحوی اخذ شود که کوچکترین دستخوردگی در آن ایجاد نگردد. قبل از آنکه نمونه گیر دست خورده را از قسمت تیز وارد نمونه کنید سطح داخلی آنرا با روغن کاملاً آغشته کنید و برای صاف کردن بالا و پایین نمونه از کاتر استفاده نمائید.

وزن نمونه آزمایشگاهی را تعیین کنید. نمونه باید بلافاصله پس از آماده شدن در غشاء لاستیکی قرار گیرد. لازم به تذکر است که برای آزمایش سه محوری حداقل باید سه نمونه تهیه شود.

پ- نمونه‌های آزمایشگاهی دست خورده (دوباره قالب گیری شده) نمونه را به طریق زیر آماده کنید:

نمونه را توسط متراکم کردن خاک دستخورده (حداقل در سه لایه با استفاده از عمل فشردن یا ورز دادن خاک) درون قالب نمونه گیر دست خورده آماده کنید. قبل از استفاده از قالب سطح داخلی آن را روغنی کنید. حلقه دور استوانه نمونه گیر را در محل خود سفت کنید. نمونه‌های آزمایشگاهی را می‌توان با هر درصد رطوبت و وزن

مخصوصی که از قبل تعیین شده است تهیه کرد. این عمل توسط فشردن با دست یا کوبیدن هر لایه تا وقتی که توده خاک درون قالب به حجم معینی متراکم شود (یا با تنظیم تعداد لایه‌ها و تعداد ضربات برای هر لایه و نیروی هر ضربه) قابل کنترل می‌باشد. پس از شکل گرفتن یک نمونه (با سطح قاعده بر محور طولی) آن را از قالب خارج کرده و وزن نمونه را تعیین نمایید. برای باز کردن دو قسمت قالب از هم از کاتر استفاده کنید.

## ۵- روش آزمایش

### ۵-۱- آماده سازی نمونه

پیچ‌های پلکسی گلاس را باز کنید. با فشار آب و هوا مسدود نبودن صفحات متخلخل صافی و سوراخ‌های زهکش را کنترل کنید. مجاری زهکش آزمونه و دستگاه اندازه‌گیری فشار آب درون منفذی را با آب بدون هوا پر کنید. صفحات متخلخل را به روش جوشاندن در آب برای حداقل ده دقیقه و سپس خنک کردن در دمای اتاق اشباع کنید. نمونه آماده شده را به نحوی درون سلول قرار دهید که ابتدا صفحه متخلخل سپس کاغذ فیلتر روی پایه سلول قرار بگیرد و نمونه روی فیلتر بایستد. قبل از قرار دادن کلاهک روی نمونه صفحه متخلخل را روی نمونه و کاغذ فیلتر قرار داده و سپس غشا را به توسط غشا کش به نحوی که کاملاً با مکش به غشا کش چسبیده از روی نمونه عبور دهید. هنگامی که غشا کش کاملاً نمونه را پوشاند ابتدا از قسمت پایین غشا را از غشاکش جدا کنید سپس سطح بالایی را آزاد و غشا کش را خارج نمایید. حال دو عدد اورینگ به وسیله اورینگ‌انداز روی شیار پایه سلول به نحوی قرار دهید که غشا نمونه را از بیرون سلول کاملاً ایزوله کند. حال دو اورینگ دیگر را روی کلاهک عبور داده و هنگامی که کلاهک را به روی نمونه قرار می‌دهید بایستی اورینگ جهت پوشش کلاهک بالا آماده باشد تا شیلنگ پس فشار مانع از عبور اورینگ نگردد. سپس به آرامی و به شکلی که به نمونه هیچ آسیبی نرسد اورینگ را به درون

شیر کلاک هدایت کنید. حال نمونه آماده آزمایش می باشد، پلکسی گلاس را به شکل مناسب به روی سلول بازگردانده و با پیچ های مخصوص محکم کنید.

پیستون بارگذاری محوری را به گونه ای بر روی درپوش نمونه بنشانید تا از تماس و هم محوری آن با آزمونه اطمینان حاصل شود. طی سلسله عملیاتی باید دقت شود که فشار محوری پیستون به آزمونه از ۰/۰۵ درصد بار محوری پیش بینی شده در لحظه شکست آزمونه تجاوز نکند. وقتی پیستون در تماس با آزمونه قرار گرفت، مقادیر تغییر شکل باید ثبت شود. حال محفظه سه محوری را با وارد کردن فشار جانبی توسط رگلاتور از آب پر کنید، تا حدی که هوای محبوس شده خارج و محفظه کاملاً پر شود. برای این منظور شیر فشار جانبی و شیر بالای سلول تا زمان خروج آب از سلول بایستی باز باشند.

#### ۵-۲- اشباع سازی نمونه

برای نمونه هایی که لازم است اشباع از آب شوند لازم است مراحل ذیل به طور پیوسته صورت گیرد. ابتدا جهت انتقال آب به نمونه می بایست شیرهای دستگاه اندازه گیری تغییر حجم را در حالت عبوری (Bypass) قرار دهید. با توجه به نوع خاک و مقدار زمان لازم برای اشباع نمونه پله های فشار را ایجاد کنید. به نحوی برای شروع فشار همه جانبه را روی ۵۰ kPa قرار دهید. دقت کنید که فشار پس فشار همواره کمتر از فشار همه جانبه باشد و حدود ۰/۸ تا ۰/۹ فشار همه جانبه باشد. افزایش فشار باید به آرامی صورت گیرد. طی این پروسه شیرهای فشار همه جانبه و پس فشار باز و شیر فشار آب منفذی بایستی بسته باشد. پس از طی مدت زمان مشخصی (حداقل دو ساعت) فشار آب منفذی را اندازه گیری نمایید. برای این کار لازم است که تمامی شیرها بسته باشند و تنها شیر فشار آب منفذی باز باشد. دقت شود فشار آب منفذی تنها برای لحظه ای وجود خواهد داشت و بلافاصله از بین خواهد رفت لذا دقت لازم بایستی جهت اندازه گیری آن به عمل آید. پس از اندازه گیری فشار آب منفذی بایستی مجدداً شیرها بسته گردند و با افزایش فشار جانبی و پس فشار شیرهای مربوط باز گردند. پس از افزایش فشار به

میزان یک پله (می تواند این مقدار ۵۰ کیلو پاسکال باشد) و پس از مدتی که فشارها پایدار شدند، مجددا فشار آب منفذی مطابق با روش مشروحه اندازه گیری شود حال با رابطه :

$$B = \Delta U / \Delta \sigma$$

میزان اشباع شدگی (ضریب اسکمپتون) به دست می آید. این پروسه را تا رسیدن به ۹۰ درصد اشباع شدگی ادامه دهید.

### ۵-۳- تحکیم

با توجه به نوع آزمایش، تحکیم بایستی صورت پذیرد. اگر آزمایش از نوع UU است این مرحله صورت نمی گیرد. اما در صورتی که قصد آزمایش CU یا CD را داشته باشیم می بایست تحکیم صورت پذیرد. برای این منظور پس از آماده سازی و نصب و اشباع نمونه درون سلول و اعمال فشار همه جانبه مد نظر تمامی شیرهای سلول را بسته نگه دارید و تنها شیر مربوط به تغییر حجم را باز نمائید. به میزان ۰/۵ درصد مقاومت نهایی پیش بینی شده بار محوری اعمال نمایید.

جهت اندازه گیری آب خروجی می بایست شیرهای دستگاه اندازه گیری تغییر حجم را در حالت تغییر حجم (Volume change) قرار دهید. تمامی شیرها به استثنای شیر تغییر حجم بسته و در ادامه همانند آزمایش تحکیم طی بازه های زمانی مشخص تغییر حجم را برای مدت ۲۴ ساعت اندازه گیری نمایید. حال با ترسیم نمودار نشست به جذر یا لگارتیم زمان میتوان سرعت آزمایش CU را به دست آورد.

$$\epsilon' = 4 \% / (10 t_{50})$$

البته معادله بالا با فرض شکست در ۴ درصد تعیین شده است.

#### ۵-۴-آزمایش UU

با توجه به نوع آزمایش، پس از اعمال فشار همه جانبه مد نظر و پس از فرایند اشباع سازی نمونه در صورت نیاز، تمامی شیرها بایستی بسته نگه داشته شوند. سپس آزمایش با نرخ بارگذاری سریع به نحوی که اجازه زائل شدن فشار آب منفذی داده نشود، صورت می‌گیرد. آزمایش تا زمانی که شکست کاملاً رخ ندهد و یا تا ۲۰ درصد کرنش محوری، ادامه می‌یابد. ثبت تغییر شکل طولی و نیرو در طی آزمایش لازم است. می‌توان در صورت نیاز فشار آب منفذی را در طول آزمایش اندازه گیری نمود.

#### ۵-۵-آزمایش CU

پس از اشباع سازی و تحکیم نمونه و همچنین اعمال فشار همه جانبه مد نظر، تمامی شیرها به استثنای شیر فشار آب منفذی بایستی بسته نگه داشته شوند. سپس آزمایش با نرخ بارگذاری محاسبه شده از آزمایش تحکیم صورت می‌گیرد. آزمایش تا زمانی که شکست کاملاً رخ ندهد و یا تا ۲۰ درصد کرنش محوری ادامه می‌یابد. ثبت تغییر شکل طولی، نیرو و اندازه گیری فشار آب منفذی در طی آزمایش لازم است. برای اندازه گیری فشار آب منفذی بایستی در مدل دیجیتال ابتدا نمایشگر پس فشار را با بستن شیر مربوطه به نمایشگر فشار آب منفذی تبدیل نمود. نمایشگر را صفر نموده و جیوه را درون نول اندیکاتور روی شاخص مد نظر پایدار نمود. شیر فشار آب منفذی را در مدت اعمال بارگذاری باز نموده و با تغییر فشار جیوه از حالت شاخص خارج می‌گردد. سعی شود با پمپ دستی به طور مداوم جیوه را بر روی شاخص ثابت نگاه دارید. با اعمال فشار پمپ دستی نمایشگر، فشار آب منفذی را نمایش می‌دهد.

#### ۵-۶-آزمایش CD

پس از اشباع سازی و تحکیم نمونه و همچنین اعمال فشار همه جانبه مد نظر، تمامی شیرها به استثنای شیر فشار آب منفذی بایستی بسته نگه داشته شوند. سپس آزمایش با نرخ بارگذاری مناسب پایین صورت می‌گیرد

به نحوی که سبب شود فشار آب منفذی از ابتدا تا انتهای آزمایش صفر باشد. آزمایش تا زمانی که شکست کاملاً رخ ندهد و یا تا ۲۰ درصد کرنش محوری ادامه می یابد. ثبت تغییر شکل طولی، نیرو و اندازه گیری تغییرات حجمی در طی آزمایش لازم است. جهت اندازه گیری تغییرات حجمی بایستی شیرهای دستگاه اندازه گیری تغییر حجم را در حالت تغییر حجم (Volume change) قرار دهید. و شیر سلول مربوط به آن را باز نگه داشت.

## ۶- محاسبات و گزارش

### ۶-۱ محاسبات

الف- کرنش محوری را برای یک فشار محوری مشخص از رابطه زیر محاسبه کنید:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

که در آن:

$\Delta L$  = تغییر طول نمونه آزمایشگاهی که از روی شاخص تغییر شکل قرائت می شود.

$L_0$  = طول اولیه نمونه منهای  $\Delta L$  وقتی که پیستون با کلاهدک تماس شود.

$\varepsilon$  = کرنش محوری برای یک فشار محوری مشخص.

ب- سطح مقطع  $A$  را برای یک فشار محوری مشخص از رابطه زیر محاسبه کنید.

$$A = A_0 / 1\varepsilon$$

که در آن:

$A_0$  = سطح مقطع اولیه نمونه است.

$A$  = سطح مقطع متوسط است.

پ- تنش اضافی  $\sigma_1$ - $\sigma_2$  را برای یک فشار محوری مشخص از رابطه زیر محاسبه کنید.

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \Delta\sigma = \frac{P}{A}$$

که در آن:

$P$  = فشار محوری که در صورت لزوم برای نیروی وارده به طرف بالا و همچنین اصطکاک پیستون تصحیح شده است.  
 $A$  = سطح مقطع متوسط است.

ت- منحنی تنش- کرنش: یک نمودار را رسم کنید که رابطه تنش محوری اضافی و کرنش محوری را نشان دهد. تنش محوری اضافی را روی محور عرض ها و کرنش محوری را روی محور طول ها نمایش دهید. مقاومت فشاری و کرنش محوری در گسیختگی را مطابق با تعاریف ذکر شده در قسمت قبل انتخاب کنید. منحنی های تنش-کرنش را برای حداقل سه نمونه با فشارهای جانبی مختلف رسم کنید.

ث- تصحیح مربوط به مقاومت غشاء: در صورتی که خطای تنش محوری اضافی مربوط به مقاومت غشاء از ۵٪ تجاوز کند، رابطه زیر می تواند برای تصحیح اثر غشاء لاستیکی بر مقاومت فشاری به کار رود.

$$\Delta\sigma = \frac{4M_\varepsilon(1-\varepsilon)}{D_o}$$

که در آن:

$M$  = ضریب فشار غشاء

$\varepsilon$  = کرنش محوری

$D_o$  = قطر اولیه نمونه

$\Delta\sigma$  = تصحیحی که باید از مقاومت فشاری اندازه گیری شده کم شود.

برای تعیین ضریب فشار غشاء از دو میله باریک و یک تکه غشاء لاستیکی به طول ۰/۵ اینچ (۱۲/۷ مم)

استفاده می شود. به این ترتیب که یک میله را داخل غشاء کنید و بطور افقی روی تکیه گاه ثابت قرار دهید. در حالی

که غشاء روی میله آویزان است یک میله دیگر را در داخل آن به طور افقی قرار دهید و سپس به دو طرف میله فشار

آورید تا غشاء کشیده شود. نیروی لازم جهت کشیدن غشاء به ازاء کرنش واحد در غشاء ضریب فشار غشاء نام دارد. در آزمایش سه محوری روی خاک‌های خیلی نرم اثر غشاء می‌تواند قابل توجه باشد، ولی به هر حال برای اغلب خاک‌هایی که از غشاء لاستیکی با مشخصات ذکر شده در قسمت (ث) استفاده می‌شود، اثر غشاء قابل صرف نظر کردن بوده و تصحیح انجام نمی‌شود.

ج- تنش‌های اصلی بزرگ و کوچک را به روش زیر محاسبه کنید.

تنش اصلی کوچک،  $\sigma_3$  مساوی فشار جانبی است که در هر آزمایش مقدار آن افزایش می‌یابد.

تنش اصلی بزرگ،  $\sigma_1$  مساوی تنش اضافی در گسیختگی به اضافه فشار جانبی است که در هر آزمایش مقدار آن افزایش می‌یابد.

دایره مور را برای هر سه آزمایش در روی یک برگ کاغذ میلی متری رسم کرده و مماس بر این دوایر را نیز

رسم کنید. از شیب خط مماس مقدار زاویه  $\phi$  را به دست آورید از محل تلاقی این مماس با محور قائم، مقدار چسبندگی  $c$  را محاسبه کنید.

## ۶-۲ گزارش

گزارش باید شامل موارد زیر باشد:

الف- تعیین مشخصات و توصیف ظاهری نمونه، شامل اسم و علامت خاک، اینکه آیا نمونه دست خورده،

دست نخورده یا متراکم شده است و غیره

ب- وزن مخصوص اولیه، درصد رطوبت و درجه اشباع (اگر نمونه خیس شده است درجه اشباع به دست

آمده را ذکر کنید)

پ- ارتفاع و قطر نمونه

ت- مقدار مقاومت فشاری و مقادیر تنش‌های اصلی بزرگ و کوچک در گسیختگی

ث- منحنی‌های تنش-کرنش که در بخش (ت) شرح داده شد



ج- کرنش محوری گسیختگی به درصد بیان شود.

چ- سرعت متوسط کرنش تا مرحله گسیختگی به درصد در قیقه بیان می‌شود و اینکه از کدام روش آزمایش

یعنی کرنش کنترل شده استفاده شده است.

ح- توضیح، هر شرایط غیرمعمولی یا هر اطلاعات دیگری که ممکن است لازم باشد تا نتایج بدست آمده به

درستی تعبیر شود.

### ۳-۶ دقت و درستی آزمایش

الف- نمونه‌های دست نخورده خاک که از خاک‌های همگن یک ناحیه تهیه می‌شوند اغلب خواص مقاومت و

تنش-کرنش متفاوتی از خود نشان می‌دهند. در حال حاضر هیچ روشی وجود ندارد که تعیین کننده دقت آزمایش-

های سه محوری روی نمونه‌های آزمایشگاهی دست نخورده، در رابطه با تغییرپذیری نمونه باشد.

ب- در رابطه با مشکلات تهیه نمونه‌های آزمایشگاهی از خاک‌های چسبنده تاکنون روش تهیه مناسبی ارائه

نشده و هیچ برآوردی از دقت این روش وجود ندارد.

جدول ۱- آزمایش فشار سه محوری (برگ داده های آزمایش)  
**آزمایش سه محوری UU-CU-CD آزمایش تک محوری**

شماره گماته: تاریخ آزمایش: رطوبت نمونه:  
 شماره نمونه: پروژه: نوع نمونه:  
 صق: ضریب حلقه نیروسنج:

فشار جانبی	kg/cm <sup>2</sup>	فشار جانبی	kg/cm <sup>2</sup>
شماره قوطی	N	قطر نمونه	cm
وزن خاک تر + قوطی	gr	ارتفاع نمونه	cm
وزن خاک خشک + قوطی	gr	دانشیته خشک	gr/cm <sup>3</sup>
وزن قوطی	gr	B.P	kg/cm <sup>2</sup>
در صد رطوبت	%	V.CH	cm <sup>2</sup>

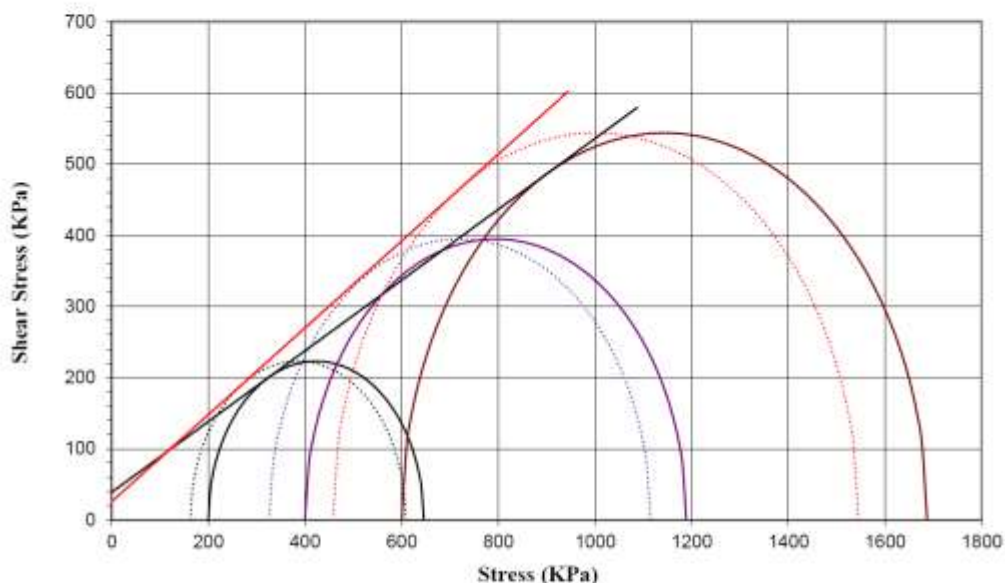
فشار جانبی						
تغییر ارتفاع	قرانت نیروسنج	تغییرات حجم/فشار منقذی	قرانت نیروسنج	تغییرات حجم/فشار منقذی	قرانت نیروسنج	تغییرات حجم/فشار منقذی
0.01(mm)	a		a		a	
0						
20						
40						
60						
80						
100						
150						
200						
250						
300						
350						
400						
500						
600						
700						
800						
900						
1000						
1100						
1200						
1300						
1400						
1500						

نمونه ای از آزمایش CU با استفاده دستگاه تمام اتوماتیک و نرم افزار آزمون ساز مبنا

Client :	
Project :	
Location :	Tehran
Date :	1391.08.03

B.H/T.P.NO.	BH-1
Depth:	0.0-2.0
Sample type:	Disturbed
Condition test:	Sat.

### TRIAxIAL COMPRESSION TEST (CU)



C (KPa)	38.7
$\phi$ (degree)	26.4

C' (KPa)	25.6
$\phi'$ (degree)	31.4

Specimen No.	Specimen Type	Dia.	Height	$\gamma_d$	$\sigma_3$	$G$	Loading rate (mm/min)	$\Delta\sigma_{max}$ (KPa)	Max Strain (%)	Pore Pressure at Failure KPa
		(mm)	(mm)	( $gr/cm^3$ )	(KPa)	(%)				
1	Disturbed	38	76	1.60	200	12.1	1.00	446	11.3	37
2	Disturbed	38	76	1.60	400	12.1	1.00	789	10.5	74
3	Disturbed	38	76	1.60	600	12.1	1.00	1087	10.0	142

Confirmed by :

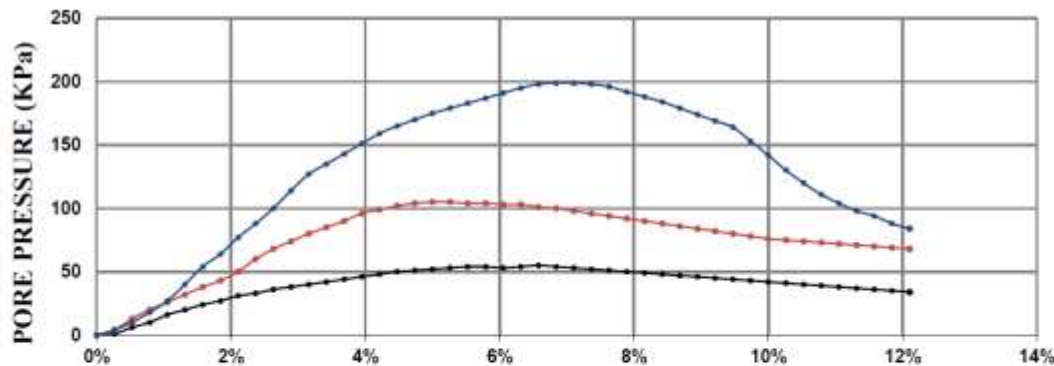
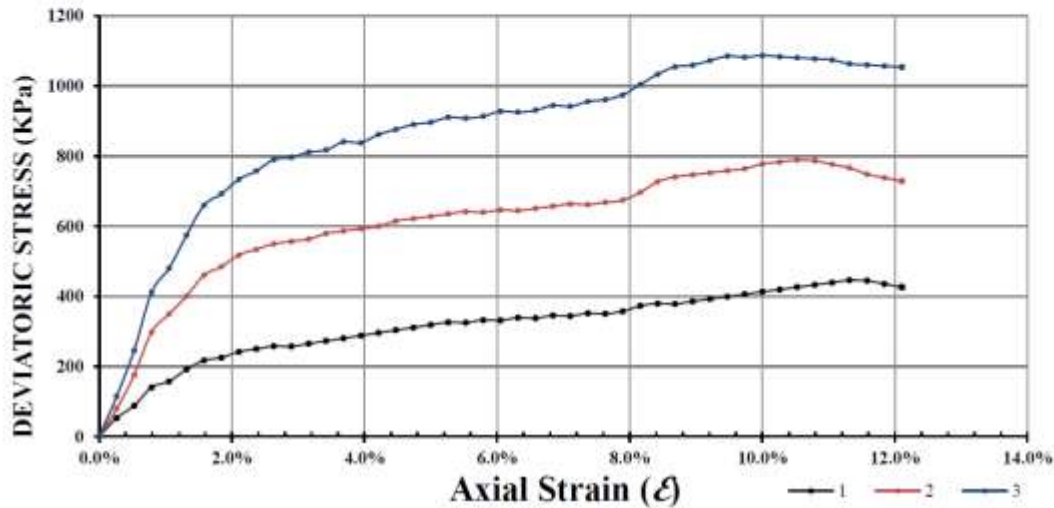
Supervised by :

Performed by :

Client :	
Project :	
Location :	Tehran
Date :	1391.08.03

B.H/T.P.NO.	BH-1
Depth:	0.0-2.0
Sample type:	Disturbed
Condition test:	Sat.

### TRIAXIAL COMPRESSION TEST (CU)



Specimen No.	Specimen Type	Dia.	Height	$\gamma_d$	$\sigma_3$	$\bar{\sigma}$	Loading rate (mm/min)	$\Delta\sigma_{max}$ (KPa)	Max Strain (%)	Pore Pressure at Failure KPa
		(mm)	(mm)	(gr/cm <sup>3</sup> )	(KPa)	(%)				
1	Disturbed	38	76	1.60	200	12.1	1.00	446	11.3	37
2	Disturbed	38	76	1.60	400	12.1	1.00	789	10.5	74
3	Disturbed	38	76	1.60	600	12.1	1.00	1087	10.0	142

Confirmed by :

Supervised by :

Performed by :

۷- روش کار با نمایشگر دستگاه

نمایشگر را بوسیله کلید (روشن / خاموش) پشت دستگاه ، روشن نموده و صفحه زیر نمایان می‌شود.



تصویر ۱

با لمس دکمه فلش سمت راست وارد صفحه منوی دستگاه می شویم. در این صفحه دو دکمه موجود است که عبارتند از:



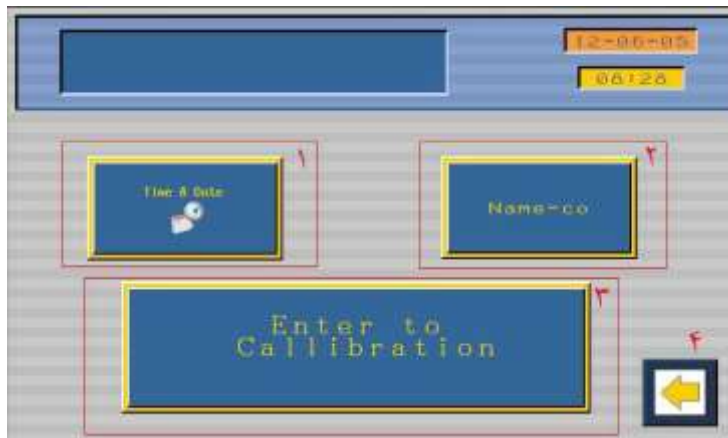
تصویر ۲

۱- تنظیمات setting

۲- شروع آزمایش start to test

به بررسی جداگانه آیتم های این صفحه می پردازیم:

تنظیمات: با لمس دکمه تنظیمات وارد صفحه تنظیمات می شویم که شامل قسمت های زیر می باشد:



تصویر ۳

۱ - Name -co

۲ - Time - Date

۳ - Enter to calibration

در صورتیکه ساعت یا تاریخ نمایشگر تنظیم نباشد با لمس این دکمه صفحه مربوط به تنظیمات ساعت و تاریخ باز شده و ساعت و تاریخ نمایشگر تنظیم می کنیم:



تصویر ۴

در صورتیکه بخواهید نام شرکت خود را در بالای سربرگ تمام صفحات نمایشگر درج کنیم، با لمس دکمه Name- CO صفحه مربوط به این قسمت ظاهر می شود. با لمس باکس آبی وسط صفحه کیبورد ظاهر می شود. نام شرکت تا ۱۵ کاراکتر وارد کرده و دکمه Ent را می زنیم تا نام شرکت ثبت شود. با لمس دکمه فلش سمت راست وارد صفحه تنظیمات می شویم.



تصویر ۵

دکمه Enter to calibration برای تنظیمات سنسورهای دستگاه می باشد که مخصوص کارخانه است و اپراتور نمی تواند وارد این صفحه کالیبراسیون شود و برای ورود نیاز به رمز عبور می باشد.



تصویر ۷

با لمس دکمه start to test وارد صفحات آزمایش می شویم.



تصویر ۸

این صفحه شامل ۳ آزمایش می باشند که شامل:

آزمایش نمونه تحکیم یافته زهکشی شده CD:Consolidation Drained

آزمایش نمونه تحکیم یافته زهکشی نشده CU:Consolidation Undrained

آزمایش نمونه تحکیم نیافته زهکشی نشده UU:Unconsolidation Undrained

اپراتور می تواند به نوع آزمایش که انجام دهد دکمه مربوطه را لمس کند و تنظیمات مربوط به آن آزمایش را انجام دهد.

برای مثال اپراتور می خواهد آزمایش نمونه تحکیم یافته زهکشی شده CD را انجام دهد. با لمس این دکمه وارد صفحه آزمایش می شویم.





تصویر ۹

این صفحه شامل ۱۲ قسمت می باشد که به توضیح جداگانه آنها می پردازیم.

۱. بخش ارسال دیتا به رایانه

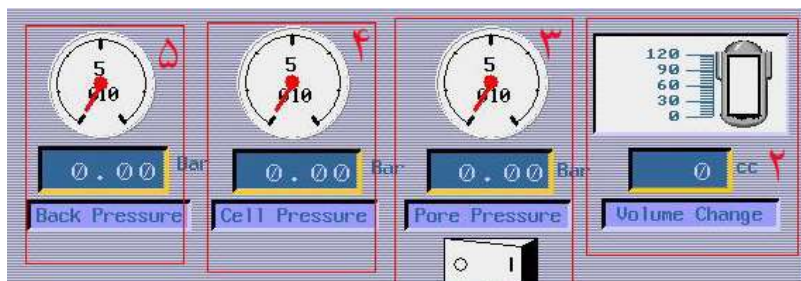
۲. نمایش Volume change

۳. pore pressure

۴. Cell pressure

۵. Back pressure

۶. تنظیم سرعت بارگذاری



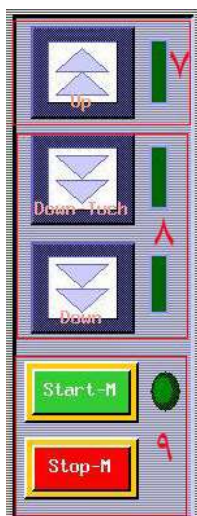
قسمتهای ۷ و ۸ و ۹ که در تصویر مشخص شده است

مربوط به جک بارگذاری می باشند که شامل:

۷. بالا بردن جک با سرعت زیاد و در محور قائم

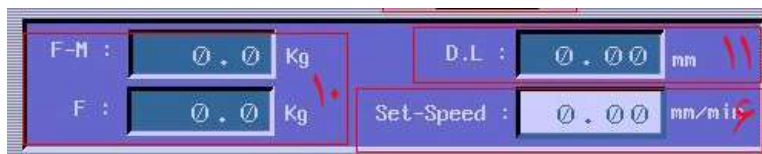
۸. پایین آوردن جک با سرعت زیاد در محور قائم

بصورت لحظه ای / پایین آوردن جک با سرعت زیاد در محور قائم تا نقطه اولیه



۹. روشن یا خاموش کردن موتور جک بارگذاری

۱۰. نمایش نیروی بارگذاری جک روی نمونه



F-M - ماکزیمم نیروی بارگذاری

F - نیروی واقعی بارگذاری

۱۱. نمایش جابه جایی جک بارگذاری

۱۲. دکمه فلش سمت چپ برای خارج شدن از صفحه آزمایش CD و وارد شدن به صفحه انتخاب آزمایشات .

حال به توضیح جداگانه موارد می پردازیم:

توجه: موارد ذکر شده در آزمایش CD ، در آزمایشات CU, UU هم می باشد که مشابه هم هستند.

بخش ارسال دیتا به رایانه

این قسمت شامل سه دکمه می باشد که عبارتند از:

۱. Send date

۲. Pause/Play

۳. Stop Date



برای ارسال دیتاها به رایانه و رسم گرافهای مربوطه در برنامه اکسل طراحی شده، می بایست زمان شروع آزمایش و مراحل آزمایش و زمان اتمام آزمایش را برای رایانه مشخص نماییم.

بعد از اینکه اپراتور نمونه خود را آماده کرده و داخل سلول مربوطه قرار داد و در ضمن فشارهای جانبی و سلولی و برگشتی را تنظیم نمود و شرایط برای انجام آزمایش آماده شد می بایست دستور ارسال دیتا به رایانه را صادر نماید. برای این کار همان طور که در تصویر ۹ مشاهده می نمائید سه دکمه تعبیه شده است.

زمانی که شرایط برای انجام آزمایش آماده است اپراتور دکمه **send date** را می زند و دیتاها به رایانه ارسال می شود.

توجه: قبل از انجام آزمایش می بایست رایانه روشن و نرم افزار مربوطه آماده بکار باشد.

با زدن دکمه **send date** ، دیتاها ی مربوط به آزمایش به رایانه ارسال می شود برای شروع بارگذاری اپراتور دکمه **start-M** را زده و جک بارگذاری شروع به اعمال نیرو به نمونه می کند.

در حین آزمایش اپراتور می تواند دیتاهای مربوطه به فشارهای جانبی ، نفوذی، برگشتی را در قسمتهای مربوطه در صفحه آزمایش و مقدار **Volume Change** و همین طور نیروی اعمالی به نمونه و جابه جایی دستگاه جک بارگذاری را در صفحه نمایش بصورت لحظه ای و واقعی مشاهده نماید. در حین آزمایش اطلاعات مربوطه به رایانه هم ارسال می گردد و رایانه گرافهای مربوطه را رسم می کند. با توجه به این که آزمایش در سه مرحله انجام می شود بعد از اتمام آزمایش در قسمت ارسال دیتا دکمه **pause** را لمس کرده و ارسال دیتا را متوقف می کند. در این حالت دکمه **pause** به **play** تبدیل می شود. اپراتور نمونه اول را در آورده و با تنظیم نمونه دوم برای شروع آزمایش دکمه **Play** را لمس می کند و ارسال دیتا به رایانه را مجدداً آغاز می کند. با زدن دکمه **start-M** شروع به بارگذاری مجدد کرد و دیتاهای آزمایش را در صفحه نمایشگر مانند مرحله قبل مشاهده می کند. در این حالت عدد داخل باکس مقابل عبارت **Sample No** ، ۲ می شود و بیانگر این است که آزمایش دوم را انجام می دهیم. بعد از انجام آزمایش دوم برای آماده کردن نمونه سوم دوباره دکمه **pause** را زده و ارسال دیتا به رایانه را متوقف می کنیم. نمونه را خارج کرده و شرایط و نمونه آزمایش سوم را مهیا می کنیم. برای شروع آزمایش سوم دکمه **play** را لمس کرده و دکمه **start-M** را لمس می کنیم تا جک بارگذاری شروع به اعمال نیرو کند و آزمایش انجام می شود با پایان آزمایش سوم اپراتور دکمه **Stop-M** را لمس می کند تا جک بارگذاری متوقف شود و برای پایان آزمایش دکمه **Stop date** را لمس کرده و آزمایش تمام می شود. نرم افزار رایانه **C,X** آزمایش همراه با گرافهای سه آزمایش انجام شده با سه رنگ مجزا و اطلاعات خروجی هر آزمایش را در اختیار اپراتور قرار می دهد.

توجه: در صورتیکه اپراتور در میان هر آزمایش دکمه **Pause/play** را لمس نکند نتایج بعدی در ادامه آزمایش قبلی ثبت می شود و نتایج آزمایش اشتباه می شود.

قسمت های ۶ و ۷ و ۸ و ۹ مخصوص جک بارگذاری می باشد و برای محفظه موقعیت سلول در جک سه محوری می باشد که به توضیح آنها می پردازیم.

Set speed با لمس باکس، مقابل set speed سرعت بارگذاری جک اعمال نیرو به نمونه را تعیین می کنیم. با لمس باکس مربوطه صفحه کلید ظاهر می شود که با وارد کردن مقدار سرعت اعمال نیرو و زدن دکمه Ent مقدار سرعت ثبت می شود.

برای مثال اگر ما عدد ۱۰ را وارد کنیم معنی آن این است که جک بارگذاری در دقیقه ۱۰ mm جا به جا می شود. ( ۱۰,۰۰ mm/min )

دکمه فلش سمت بالا، برای بالا بردن نمونه و مماس کردن آن با سنسور بالای جک می باشد که با لمس آن نمونه به سمت بالا می رود.

با لمس دکمه فلش سمت پایین به دو صورت نمونه به نقطه اولیه خود باز می گردد و اپراتور می تواند سلول نمونه را از جک خارج کند:

در صورتیکه دکمه فلش سمت پایین (Down-Touch) را لمس کنیم دستگاه بطور اتوماتیک آنقدر پایین می آید تا به نقطه اولیه خود برگردد و متوقف می شود.

در صورتیکه دکمه فلش سمت پایین (Down) را لمس کنیم دستگاه بطور اتوماتیک آن قدر پایین می آید تا به نقطه اولیه خود برگردد و متوقف می شود.

فشارهای Cell-Pressure ، Pore-Pressure ، back Pressure ، Volume Chang هم بصورت لحظه نمایش داده می شود تا در صورت وجود مشکل اپراتور بتواند اصلاحات لازم را انجام دهد.

توجه: در این دستگاه Volume Change اعمال دابل بورت در سه محوری ساده جایگزین شده است.

مراحل انجام دو آزمایش دیگر هم مانند همین آزمایش می باشد.

## ضمیمه الف ( پیغام ها )

- ۱- دستگاه برای اعلام موقعیت مکانی به اپراتور از ۲ پیغام استفاده می نماید که به شرح آنها می پردازیم :
- Limit Switch Down** : بیانگر نقطه ابتدایی محور حرکتی عمودی دستگاه جک اعمال نیرو می باشد .
- Limit Switch Up** : بیانگر نقطه انتهایی محور حرکتی عمودی دستگاه جک اعمال نیرو می باشد.
- Over Load** : بیانگر ماکزیمم بار اعمالی می باشد که با نمایان شدن این پیغام دستگاه بطور اتوماتیک خاموش شده و اپراتور می بایست دستگاه را از حالت بی باری یا اولیه باز گرداند.

- ۲- در نرم افزار رایانه در صورتیکه با لمس دکمه `send data` در صفحه `set send data` چراغ قرمز رنگ در برنامه رابط دستگاه با صفحه اکسل سبز نشد بیانگر آن است که ارتباط با رایانه برقرار نمی باشد و می بایست کابل ارتباطی را چک نمائید.

## ضمیمه ب

مواردی که می بایست قبل از استفاده از دستگاه دقت نمائیم:

- (۱) حتماً دستگاه را به سیستم درست متصل نمائید.
- (۲) صفحه نمایش دستگاه لمسی می باشد و با لمس صفحه عملیات مورد نظر شما انجام می شود، از فشار دادن زیاد به صفحه خودداری نمائید.
- (۳) دستگاه در سطحی تراز شده ، طوری قرار دهید که بدون لرزش باشد.