

# بررسی تأثیر روش بازسازی و درصد ریزدانه‌ی خمیری بر رفتار ماسه‌ها

فرامرزی رامیار<sup>۱</sup>، سید شهاب‌الدین یثربی<sup>۲\*</sup>، امید نعیمی‌فر<sup>۳</sup>

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مکانیک خاک و پی، دانشکده‌ی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشیار گروه مکانیک خاک و پی، دانشکده‌ی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

۳- دانشجوی دکتری مکانیک خاک و پی، عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

yasrobi@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۸/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۷/۲۰

**چکیده-** برای بررسی اثر روش بازسازی نمونه و درصد ریزدانه‌ی خمیری روی رفتار ماسه‌ها آزمایشات سه‌محوری زهکشی شده‌ی مونوتونیک انجام شد. برای تولید نمونه‌ها با روش ریزش خشک، دستگاه نمونه‌ساز (A.P)<sup>۱</sup> برای اولین بار در ایران به‌وسیله‌ی نگارندگان طراحی و ساخته شد. نمونه‌هایی از ماسه‌ی تمیز و با ۱۰ درصد ریزدانه‌ی خمیری در نرخ ریزش و ارتفاع سقوط مختلف به‌منظور بررسی تأثیر روش بازسازی و درصد ریزدانه‌ی خمیری ساخته شدند. تعدادی نمونه هم با روش تراکم مرطوب (M.T)<sup>۲</sup> ساخته و آزمایش شدند تا امکان مقایسه‌ی بهتر بین روش‌های مختلف نمونه‌سازی فراهم شود. نمونه‌های ساخته شده با روش A.P رفتار سخت‌شوندگی با کرنش از خود نشان داده و به اتساع تمایل دارند، اما نمونه‌های ساخته شده با روش M.T دارای رفتار نرم‌شوندگی با کرنش می‌باشند. نتایج ارزشمندی نیز در خصوص تغییرات پتانسیل روانگرایی ارائه شده است.

**واژگان کلیدی:** ماسه، سه‌محوری، رفتار اتساعی، ریزش خشک، تراکم مرطوب.

## ۱- مقدمه

خاک (ساختار خاک) است که ناشی از روش بازسازی

نمونه می‌باشد [۱].

اغلب برداشت‌های ما از رفتار پایه‌ای مکانیک خاک از مطالعات آزمایشگاهی کنترل شده، ناشی شده است. این مطالعات آزمایشگاهی نیازمند آزمایش‌های متعدد و تکرارپذیر روی نمونه‌های آزمایشی یکنواخت (همگن) می‌باشند. این موضوع استفاده از نمونه‌های آزمایشی بازسازی شده را به‌منظور یافتن خصوصیات پایه‌ای رفتار

### ۱-۱- خلاصه‌ای از روش‌های مختلف نمونه‌سازی

خصوصیات خاک مثل مقاومت، نفوذپذیری و تراکم‌پذیری وابسته به اندازه و شکل ذرات، آرایش ذرات (بافت خاک) و نیروهای بین ذره‌ای می‌باشد. بنابراین شناخت واقعی این فاکتورها به درک درست از خصوصیات خاک می‌انجامد. یکی از عوامل تأثیرگذار بر رفتار تنش - کرنش بافت اولیه‌ی

1- Air Pluviation  
2- Moist Tamping

با حداقل انرژی (ارتفاع سقوط صفر) می‌باشد. در این روش، انتهای قیف لوله‌دار در پایین قالب نمونه‌ساز قرار می‌گیرد. مخلوط ماسه و سیلت یا رس درون قیف ریخته شده و سپس قیف لوله‌دار به آرامی در طول محور تقارن به سمت بالا آورده می‌شود. [۳].

**روش WS:** این روش مناسب‌ترین روش در شبیه‌سازی بافت ماسه مشابه آنچه که در رودخانه طبیعی یا رسوبات هیدرولیکی مصنوعی یافت می‌شود، می‌باشد. ترکیب اشباع شده از خاک و آب وارونه شده، سر ظرف روی کف قالب سه‌محوری قرار گرفته، و درپوش ظرف برداشته می‌شود. شبیه به روش DFD نمونه‌های ماسه‌ای با بالا بردن آرام ظرف در طول محور تقارن ساخته می‌شود که ارتفاع سقوط ماسه صفر است. [۲].

**روش SD:** به‌منظور غلبه بر مشکلات موجود در روش بازسازی Water Pluviation مخصوصاً جدایی دانه‌ها در نمونه‌های بد دانه‌بندی شده یا ماسه‌های سیلتی از این روش استفاده می‌شود. بر خلاف روش WS، محتویات تنگ به داخل لوله‌ی مخلوط‌کننده که انتهای آن با غشای لاستیکی و اورینگ آب‌بندی شده، ریخته شده و به‌صورت وارونه داخل قالب سه‌محوری قرار داده، به دوغاب اجازه تخلیه داده می‌شود [۳].

**روش WP:** روش W.P بهترین روش مدل‌سازی رسوبات ماسه‌ای و خاکریزهای آبی که با روش مکانیکی ریخته می‌شوند، می‌باشد [۴]. این روش بازسازی نمونه‌ی بسیار شبیه به روش AP است، به‌جز این‌که محیطی که ماسه در آن ریخته می‌شود به‌جای هوا، آب بدون هوا جوشانده شده است و از اشباع کامل نمونه اطمینان حاصل می‌گردد. روش W.P باعث ایجاد نمونه‌های یکنواخت با دانه‌بندی ضعیف می‌شود. ولی موجب جدایی دانه‌ها در ماسه‌ی سیلتی یا خوب دانه‌بندی شده نیز می‌شود. از آنجا که در آزمایشات سه‌محوری به نمونه‌های

خاک ایجاب می‌کند. نمونه‌های متعددی از رس یکنواخت و قابل بازسازی را به‌راحتی می‌توان با برش بلوک‌های بزرگی از رس تحکیم یافته تهیه کرد. در حالی‌که این پروسه برای ماسه‌ها امکان‌پذیر نیست و هر نمونه آزمایشی بایستی به‌صورت مجزا تهیه شود. دلیل این امر این است که نمونه‌گیری دست نخورده از این خاک‌ها بسیار مشکل و پرهزینه می‌باشد [۲].

در روش بازسازی نمونه ماسه‌ای باید معیارهای زیر برآورده شود: ۱- روش بازسازی نمونه بایستی قابلیت تولید نمونه‌های سست و مترکم با تراکمی در محدوده‌ی رسوبات خاکی موجود در محل را داشته باشد. ۲- نمونه‌ی تولید شده باید دارای نسبت تخلخل یکنواخت در طول کل نمونه باشد. ۳- نمونه‌ها باید بدون جدایی دانه‌ها تولید شوند، علی‌رغم این‌که دانه‌بندی یا درصد ریزدانه‌ها ممکن است به هم بخورد. ۴- مهم‌ترین فاکتور در مطالعات آزمایشگاهی آن است که بافت خاک تولید شده با یکی از روش‌های بازسازی نمونه، بافت خاک رسوبی موجود در طبیعت را شبیه‌سازی کند [۲]. تاکنون روش‌های مختلفی برای بازسازی نمونه‌های ماسه‌ای را محققان مختلف پیشنهاد کرده‌اند که به‌صورت خلاصه در جدول ۱ آمده است [۳]. در ادامه، خلاصه‌ای درباره‌ی روش‌های مختلف نمونه‌سازی ارائه شده است.

جدول (۱) روش‌های مختلف بازسازی نمونه‌های ماسه‌ای

روش بازسازی نمونه	علامت اختصاری
Dry Funnel Deposition	DFD
Water Sedimentation	WS
Slurry Deposition	SD
Water Pluviation	WP
Moist Tamping	MT
Air Pluviation	AP

**روش DFD:** این روش بازسازی بهترین روش در فرایند شبیه‌سازی رسوب‌گذاری طبیعی خاک (ماسه‌های سیلتی)

یکنواخت نیاز است، بنابراین این روش تنها در مورد ماسه‌ها با دانه‌بندی بد کاربرد دارد. [۲، ۵، ۶].

**روش MT:** این روش بهترین مدل شبیه‌سازی بافت خاک خاکریزهای کوبیده شده (غلثکی) است. این روش قدیمی‌ترین روش بازسازی نمونه در آزمایشگاه است که Lambe در سال ۱۹۵۱ ابداع کرد. این روش برای تهیه‌ی نمونه‌های خاکی سست بدون چسبندگی مناسب می‌باشد، به این دلیل که اثر کشش موئینگی آب به ذرات خاک اعمال می‌شود. نمونه‌های تهیه شده با این روش دارای ساختار (بافتی) که نشان‌دهنده شرایط خاک در محل باشد، نمی‌باشند. هرچند روش تراکم مرطوب ممکن است به طور کامل ساختار واقعی خاک در محل را مدل نکند، اما ایشیهارا (۱۹۹۳) و یثربی (۱۳۷۶) نشان دادند که تهیه نمونه به این روش دارای مزایای قابل توجهی است. همگنی کامل نمونه در لایه‌های مختلف، عدم وقوع جداشدگی دانه‌ها از همدیگر، امکان ساخت نمونه‌ی بسیار سست حتی با دانسیته منفی و ... از جمله این مزایا است (در این مطالعه، برای ایجاد همگنی کامل در ساخت نمونه‌ها، تکنیک‌های اصلاحی لد (۱۹۷۸) مورد توجه قرار گرفته است).

در این روش، لایه‌های ماسه در دو حالت خشک یا تر، با ضخامت‌های مشخص پشت سر هم درون قالب نمونه‌ساز ریخته شده و هر لایه با نیروی مشخصی به‌وسیله چکش متراکم و تا رسیدن به تراکم مورد نظر، کوبیده می‌شود [۲، ۷، ۸، ۹].

**روش AP:** این روش بازسازی نسبت به دیگر روش‌های نمونه‌سازی دو مزیت دارد. اولاً ریزش ذرات ماسه تقریباً از طریق رسوب‌گذاری طبیعی با تولید نمونه‌هایی با بافت ناهمسان و ساختمان خاکی شبیه به آنچه در محیط آبرفتی طبیعی دیده می‌شود، انجام می‌گیرد [۴]. به‌علاوه نمونه‌هایی که با این روش تهیه می‌شوند نسبت به یکنواختی بیش‌تر

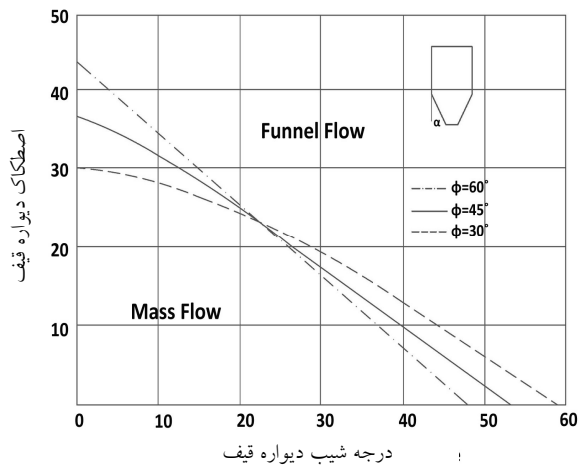
در طول ارتفاع نمونه نسبت به دیگر روش‌ها، مثل روش M.T تمایل دارند [۱۰].

مکانیزم جریان ماسه به بیرون در روش نمونه‌سازی A.P بسیار به جریان مصالح حجیم دانه‌ای از مخازن و سیلواها شبیه است. دو الگوی اصلی جریان ثقلی در طول تخلیه مصالح دانه‌ای از مخازن قیف‌دار رخ می‌دهد. این الگوها جریان جرمی و جریان قیفی می‌باشند (شکل ۱). در جریان جرمی تمامی ذرات در طول زمان تخلیه در حال حرکت می‌باشند؛ در حالی‌که در جریان قیفی جابجایی ذرات در داخل کانالی درون ذرات رخ می‌دهد و این کانال با ذرات راکد احاطه شده است. در روش نمونه‌سازی A.P جریان جرمی ترجیح داده می‌شود به این علت که نرخ جریان ماسه در طول زمان تخلیه نسبتاً ثابت است. الگوی جریان مصالح دانه‌ای به‌وسیله‌ی خصوصیات مصالح همانند زاویه‌ی اصطکاک<sup>۱</sup> داخلی ذرات و مشخصات قیف مثل اصطکاک دیواره‌ی قیف و زاویه شیب دیواره‌ی قیف تعیین می‌شود (شکل ۲) [۱۱].

در این روش، از سه لوله‌ی آلومینیومی با قطر داخلی یکسان، که از طریق دو قطعه (دریچه و پخش‌کننده) به یکدیگر متصل شده‌اند، استفاده می‌شود. مقدار مشخصی ماسه‌ی خشک درون اولین لوله (مخزن دستگاه) ریخته می‌شود. پس از باز کردن دریچه‌ی مخزن، ذرات ماسه از صفحه مدور استیل با تعداد روزنه‌های با قطر مشخص عبور کرده و با گذر از لوله‌ی هدایت‌کننده روی پخش‌کننده که از توری مشبک ساخته شده و ۱۰ سانتی‌متر پایین‌تر از صفحه‌ی روزنه قرار دارد، برخورد می‌کند و از طریق لوله‌ی هدایت‌کننده به داخل قالب نمونه‌ساز سه‌محوری می‌ریزد [۱۲].

به‌منظور تهیه‌ی نمونه با تراکم یکسان در طول نمونه، Vaid و Negussey (۱۹۸۸) پیشنهاد کردند که ارتفاع سقوط

1- Friction Angle

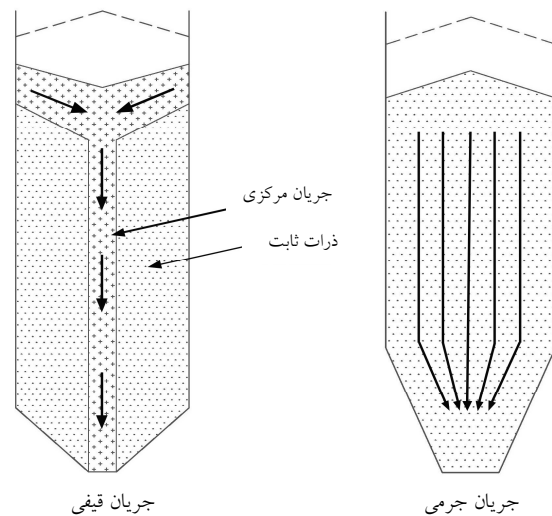


شکل (۲) رابطه‌ی الگوی جریان با زاویه‌ی اصطکاک داخلی ذرات، اصطکاک دیواره‌ی قیف و زاویه‌ی شیب دیواره‌ی قیف [۱۱].

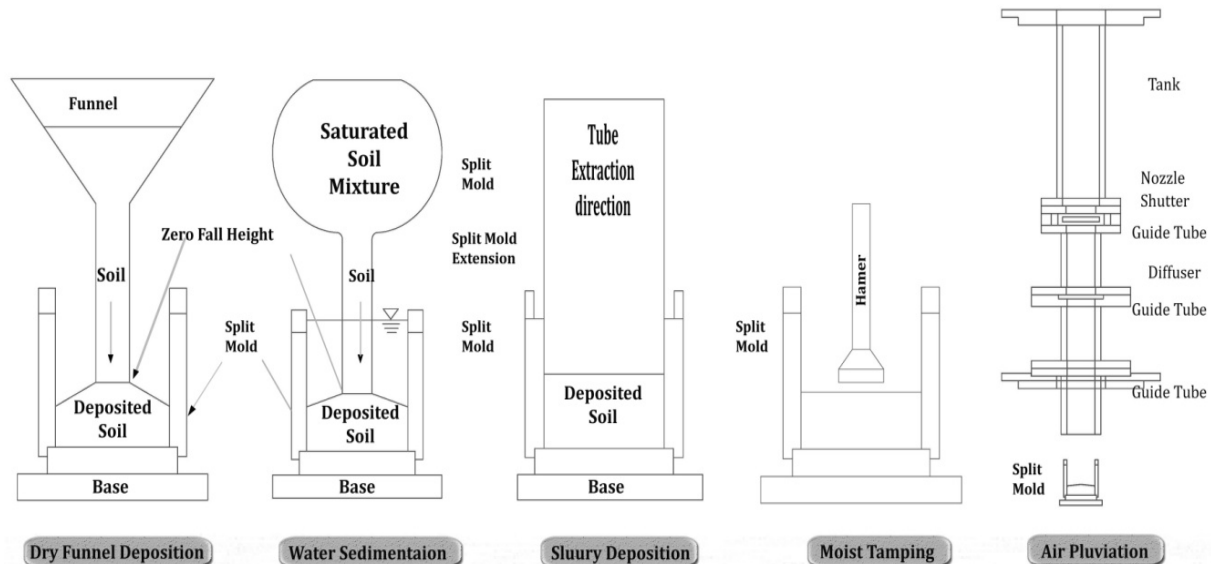
فاکتورهای اصلی تأثیرگذار در تراکم و یکنواختی نمونه‌های خاک تهیه شده با این روش، شامل سرعت رسوب‌گذاری ذرات ماسه (ارتفاع سقوط) و شدت جریان (نرخ جریان) است [۱۱، ۶].

شکل ۳ نشانگر روش‌های مختلف بازسازی نمونه‌ی ماسه‌ای به صورت شماتیک است.

ذرات ماسه از بالای ماسه رسوب کرده داخل قالب سه‌محوری، بایستی ثابت نگه داشته شود. مبنای ارتفاع سقوط، فاصله‌ی صفحه‌ی روزنه تا ته قالب سه‌محوری است [۱۰]. به منظور ثابت نگه داشتن ارتفاع سقوط، تمام تجهیزات اشاره شده در بالا، باید با سرعت ثابت، به سمت بالا حرکت داده شوند.



شکل (۱) مقایسه دو الگوی اصلی جریان جرمی و قیفی در طول تخلیه‌ی مصالح دانه‌ای از مخازن قیف‌دار [۱۱].



شکل (۳) مقایسه‌ی روش‌های مختلف بازسازی نمونه ماسه‌ای

## ۱-۲- تأثیر روش‌های مختلف بازسازی نمونه

نتایج آزمایشات سه‌محوری زهکشی نشده شده *Chen* و *Chuang* (۲۰۰۱) روی ماسه *Mailiao* واقع در سواحل جنوب غرب تایوان ساخته شده با دو روش *M.T* و *A.P* در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. مشخصات آزمایشات در جدول ۲ و ۳ ارائه شده است.

نمونه‌های ساخته شده با روش *M.T* رفتار جریان روانگرایی به صورت نرم‌شوندگی با کرنش از خود نشان می‌دهند و حالت پایدار به وضوح در این نمونه‌ها مشخص است، در حالی که نمونه‌های ساخته شده با روش *A.P* رفتار اتساعی<sup>۱</sup> داشته و در کرنش‌های بسیار زیاد (۲۵٪ کرنش) نیز به حالت پایدار نهایی نمی‌رسند. برای این نمونه‌ها، آخرین نقاط کرنش به عنوان حالت پایدار نهایی در نظر گرفته می‌شود [۱۳].

جدول (۲) فشار مؤثر تحکیمی

Air Pluviation	Moist Tamping	فشار مؤثر تحکیمی (KPa)
MSPC-1.0	MTC-1.0	۹۸
MSPC-2.0	MTC-2.0	۱۹۶
MSPC-3.0	MTC-3.0	۲۹۴
MSPC-4.0	MTC-4.0	۳۹۲

جدول (۳) مشخصات ماسه *Mailiao*

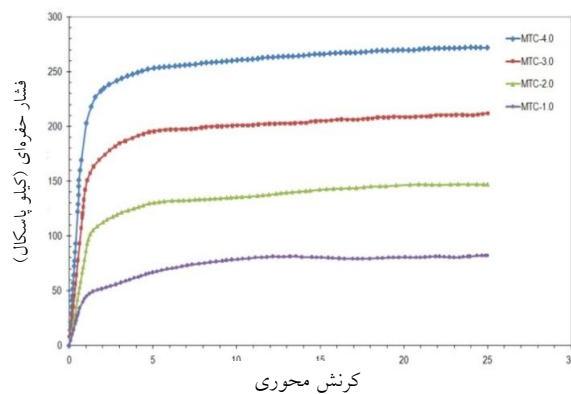
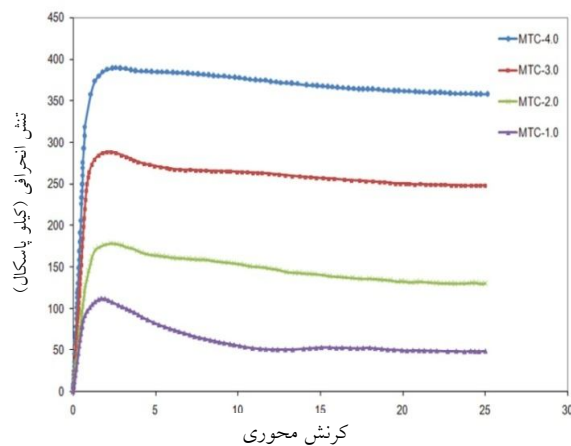
Mailiao Sand	خصوصیات
2.72	چگالی ویژه ( $G_s$ )
0.996	نسبت تخلخل حداقل
0.485	نسبت تخلخل حداکثر
0.388	$D_{50}$ (mm)
0.115	$D_{10}$ (mm)
5	درصد ریزدانه
4.13	ضریب یکنواختی ( $C_u$ )

*Ladd* (۱۹۷۸) در تحقیقاتی گسترده از روش‌های تراکم

مرطوب، تراکم خشک، ارتعاش مرطوب و ارتعاش خشک استفاده کرد و نشان داد که روش نمونه‌سازی تأثیر زیادی بر رفتار دینامیکی ماسه دارد [۱۴].

*Rathje* و همکاران (۲۰۰۵) به این نتیجه رسیدند که روش نهشته‌گذاری در آب، با توجه به این که تا حد زیادی بافت طبیعی خاک محل را تولید می‌کند، می‌تواند روش مناسبی برای نمونه‌سازی باشد [۱۵].

*Hazirbaba* (۲۰۰۵) نشان داد که روش تراکم مرطوب می‌تواند به عنوان روشی مناسب برای نمونه‌سازی از خاک‌های دانه‌ای و همچنین سیلت‌ها به کار رود، در حالی که *Vaid* (۱۹۹۴) روش تراکم مرطوب را روش مناسبی برای تولید نهشته‌های آبرفتی غیرخمیری ندانسته است [۱۶ و ۱۷].



شکل (۴) نتایج آزمایشات فشاری سه‌محوری زهکشی نشده روی

نمونه‌ی ماسه‌ای *Mailiao* ساخته شده با روش *MT* [۱۳].

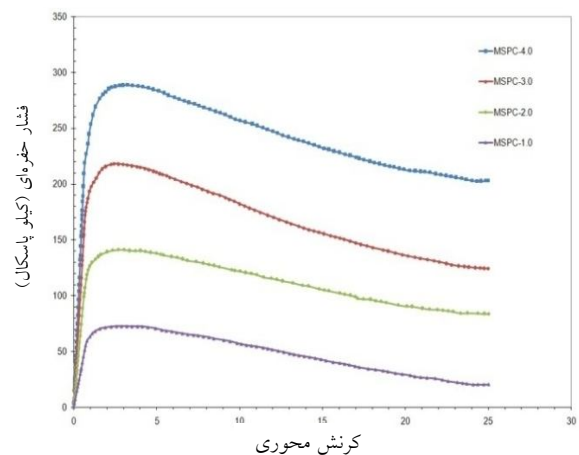
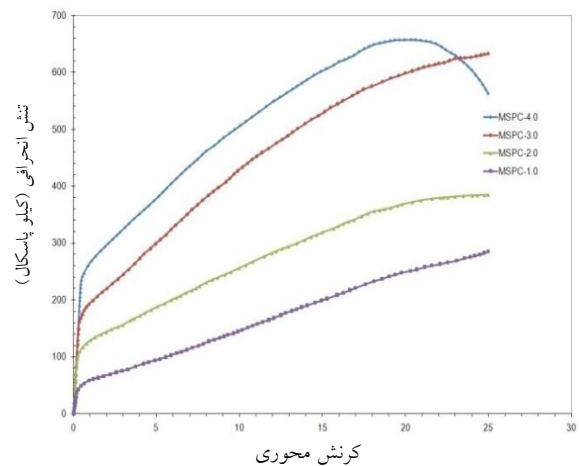
1- Dilatation  
2- Strain

درصد سیلت تفاوت محسوسی در رفتار زهکشی نشده نمونه‌ها مشاهده نمی‌شود. همچنین آن‌ها نتیجه‌گیری کردند که با افزایش دانسیته تأثیر روش نمونه‌سازی کاهش می‌یابد، در حالی که افزایش ریزدانه به افزایش تأثیر روش نمونه‌سازی به‌ویژه در دانسیته‌های پایین منجر خواهد شد [۱۹].

Siam و Kenichi در (۲۰۱۱) با مطالعات میکروسکوپیکی و مکانیکی بافت خاک‌های تولید شده با روش‌های مختلف، نحوه‌ی قرارگیری ذرات در بافت میکروسکوپی ایجاد شده با روش‌های مختلف و ارتباط آن با نتایج به‌دست آمده در تحقیقات مختلف را بررسی و دسته‌بندی کردند [۲۰].

## ۲- دستگاه نمونه‌ساز Air Pluviation

با توجه به این‌که در داخل کشور تاکنون هیچ‌گونه پژوهش و یا مطالعات آزمایشگاهی روی تأثیر روش نمونه‌سازی A.P بر رفتار ماسه‌های رس‌دار در آزمایشات سه‌محوری اشباع و غیر اشباع صورت نگرفته است، طرح ساخت یک دستگاه نمونه‌ساز Air Pluviation در دستور کار قرار گرفت. این دستگاه را برای اولین بار در کشور نگارندگان مقاله، طراحی و با حمایت معاونت پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس ساختند. دستگاه نمونه‌ساز ساخته شده در شکل (۶) و قطعات جعبه‌ی نمونه‌ساز در شکل (۷) نشان داده شده است. مهم‌ترین ویژگی این دستگاه، دقت بالا و کارایی آن در ساخت انواع نمونه با مشخصات دلخواه و با دقت تکرارپذیری بسیار زیاد است. امکان انتخاب ارتفاع سقوط، روزنه‌ی ریزش و نحوه‌ی ریزش دلخواه از ویژگی‌های این دستگاه است.



شکل (۵) نتایج آزمایشات فشاری سه‌محوری زهکشی نشده روی

نمونه‌ی ماسه‌ای Mailiao ساخته شده با روش AP [۱۳]

Yamamuru در (۲۰۰۴) بیان کرد که روش‌های نهشته‌گذاری مرطوب نمونه‌های نسبتاً پایداری را تولید می‌کنند، در حالی که نمونه‌های ساخته شده با روش‌های نهشته‌گذاری خشک، رفتارهای ناپایداری را نشان می‌دهند [۱۸].

Yamamuru و Fletcher در ۲۰۰۸ با آزمایشاتی که روی نمونه‌های ماسه نوادا در درصدهای سیلت ۱۰ و ۲۰ درصد با دانسیته‌ی ۸۰ درصد و ساخته شده با روش‌های AP، SD و TFD انجام دادند، نتیجه‌گیری کردند که همه‌ی روش‌ها رفتار سخت‌شوندگی با کرنش<sup>۱</sup> از خود نشان می‌دهند، ضمن آن‌که با افزایش

1- Strain Hardening

### ۳- مشخصات خاک‌ها و روند آزمایشات

#### ۳-۱- مشخصات خاک‌ها

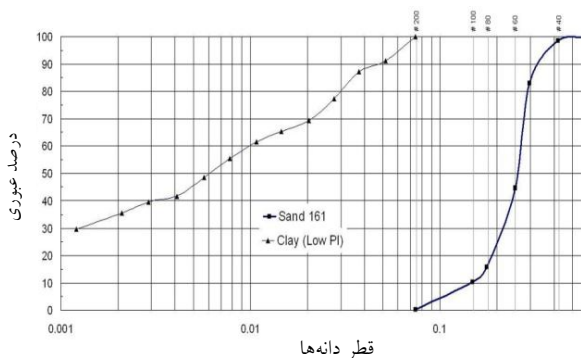
برای مصالح ماسه‌ای این آزمایشات از ماسه‌ی استاندارد سیلیسی شکسته‌ی فیروزکوه استفاده شده است که به اختصار ماسه ۱۶۱ نامیده می‌شود. این ماسه دارای رنگ زرد متمایل به طلایی بوده و مشخصات بیش‌تر آن در جدول ۴ آمده است. ریزدانه‌ی خمیری مورد استفاده، یک ریزدانه طبیعی با پلاستیسیته‌ی پایین و رنگ تقریباً روشن می‌باشد که از سایت سد درونگر در استان خراسان شمالی به‌دست آمده است. جدول ۵ بیانگر مشخصات بیش‌تر این نوع رس است. شکل ۸ نشانگر منحنی‌های دانه‌بندی مصالح مورد استفاده است.

جدول (۴) مشخصات ماسه‌ی ۱۶۱

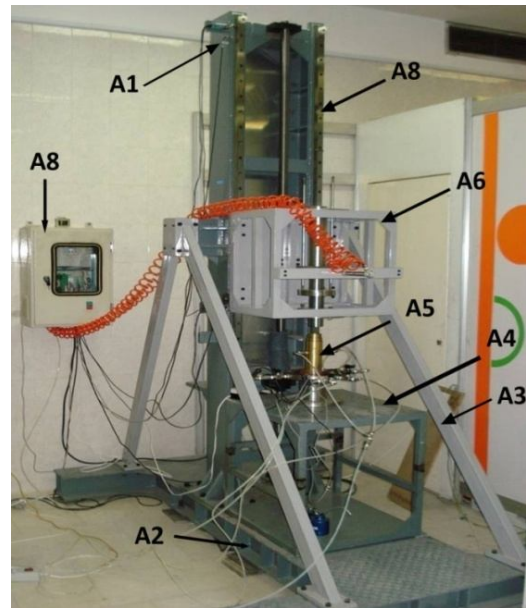
Sand 161	خصوصیات
2.66	چگالی ویژه ( $G_s$ )
0.928	نسبت تخلخل حداکثر
0.583	نسبت تخلخل حداقل
0.26	$D_{50}$ (mm)
0.15	$D_{10}$ (mm)
0	درصد ریزدانه
1.80	ضریب یکنواختی ( $C_u$ )
1.14	ضریب خمیدگی ( $C_c$ )

جدول (۵) مشخصات ریزدانه‌ی خمیری مورد استفاده

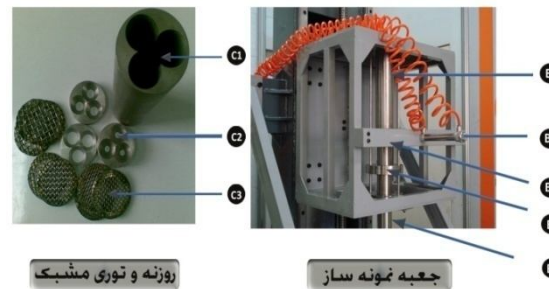
نوع رس	(LL%)	(PL%)	(PI%)	$G_s$
رس درونگر	28	17	11	2.64



شکل (۸) منحنی‌های دانه‌بندی مصالح مورد استفاده



شکل (۶) دستگاه نمونه‌ساز Air Pluviation ساخته شده در این مطالعات



شکل (۷) جعبه‌ی نمونه‌ساز و قطعات داخل آن

جدول (۳) توصیف قسمت‌های مختلف جعبه‌ی نمونه‌ساز

Part Number	Description	Part Number	Description
B1	مخزن نگهداری ماسه	A1	ستون اصلی
B2	جک پنوماتیک باز کننده دریچه	A2	شاسی دستگاه
B3	قطعه‌ی روزنه	A3	نگهدارنده جلو و عقب دستگاه
B4	قطعه‌ی پخش کن بنده	A4	میز نگهدارنده سلول سه‌محوری
B5	لوله‌ی راهنما	A5	قالب سه‌محوری
C1	مخزن هدایت کننده ماسه	A6	جعبه نمونه‌ساز
C2	صفحات روزنه	A7	ریل راهنما
C3	صفحات مشبک	A8	تابلو کنترل

### ۳-۲- روند آزمایشات

در بخشی از این مطالعه (روش بازسازی نمونه‌ی A.P) تأثیر تراکم نمونه و درصد ریزدانه (۱۰ درصد رس) بررسی شد. برای بررسی تأثیر تراکم، که خود تابعی از ارتفاع سقوط و نرخ ریزش (قطر و تعداد روزنه‌ی خروجی) است، از ارتفاع سقوط (فاصله‌ی دریچه تا ته قالب نمونه‌ساز) ۳۰، ۵۵ و ۷۵ سانتی‌متر و نرخ جریان‌های ۲۸، ۷۵ و ۱۰۰ گرم بر ثانیه استفاده شده است. آزمایشات انجام شده از نوع سه‌محوری استاتیکی بوده و برش به صورت کنترل کرنش با سرعت معادل ۰/۵ میلی‌متر بر دقیقه انجام شده است. نمونه‌ها نیز دارای ۵ سانتی‌متر قطر و ۱۰ سانتی‌متر طول می‌باشند. تمام آزمایشات در فشار همه‌جانبه ۱۰۰ کیلو پاسکال انجام گرفته است. آزمایشات انجام شده با روش AP به ۴ گروه طبقه‌بندی شدند. تفاوت این گروه‌ها در ارتفاع سقوط، نرخ جریان و درصد رس به کاررفته است. جدول ۶ بیانگر مشخصات این گروه‌ها است. برای ساخت نمونه‌ی وزن مشخصی از ماسه‌ی خشک شده در آن به داخل مخزن اصلی دستگاه نمونه‌ساز ریخته می‌شود. وزن کل ریخته شده‌ی درون این مخزن، به ارتفاع سقوط و روزنه مورد استفاده در دستگاه وابسته است. پس از ریختن خاک درون مخزن، قالب آماده شده نمونه‌سازی آزمایش سه‌محوری اشباع برای انجام آزمایش، در زیر جعبه‌ی نمونه‌ساز قرار می‌گیرد.

پس از راه‌اندازی نرم‌افزار مربوطه، ارتفاع سقوط، کورس و سرعت حرکت جعبه به نرم‌افزار معرفی می‌شود. سرعت بالا رفتن جعبه قبلاً چندین بار کالیبره شده، به‌گونه‌ای که پس از رسیدن جعبه به انتهای کورس حرکتی هیچ‌خاکی درون مخزن باقی نمی‌ماند. با کلیک یک دکمه، حرکت جعبه آغاز و پس از ریختن کامل ذرات ماسه، متوقف می‌شود. کاغذ صافی، سنگ متخلخل و کلاهک بالایی را به آرامی روی نمونه‌ی ماسه‌ای قرار داده و مرحله‌ی اشباع، شامل عبور با دقت دی اکسیدکربن و آب از نمونه و اعمال پس فشار و سپس مرحله‌ی تحکیم انجام می‌شود.

پس از پایان مرحله‌ی تحکیم، بارگذاری نمونه‌ی آغاز شده و فشار آب حفره‌ای، نیروی محوری و میزان کرنش نمونه با سنسورهای مربوطه قرائت و به‌وسیله‌ی دیتالاگر به کامپیوتر منتقل شده و با نرم‌افزار مربوطه از این داده‌ها برای رسم نمودارهای مختلف استفاده می‌شود. در پایان آزمایش، نمونه با احتیاط کامل از جای خود خارج و توزین شده و از آن درصد رطوبت گرفته می‌شود. برخی نمونه‌ها در حین برش خمره‌ای شکل و برخی دیگر دچار اتساع می‌شوند (شکل ۹). آزمایشات انجام شده با روش MT نیز در مراحل تحکیم، اشباع و برش روند مشابهی داشته و عمده‌ی تفاوت آن‌ها در بخش مربوط به روش نمونه‌سازی است.



شکل (۹) دو نمونه‌ی ماسه‌ی بازسازی شده با روش A.P با دو روزنه‌ی مختلف پس از بارگذاری

جدول (۶) مشخصات گروه‌بندی آزمایشات

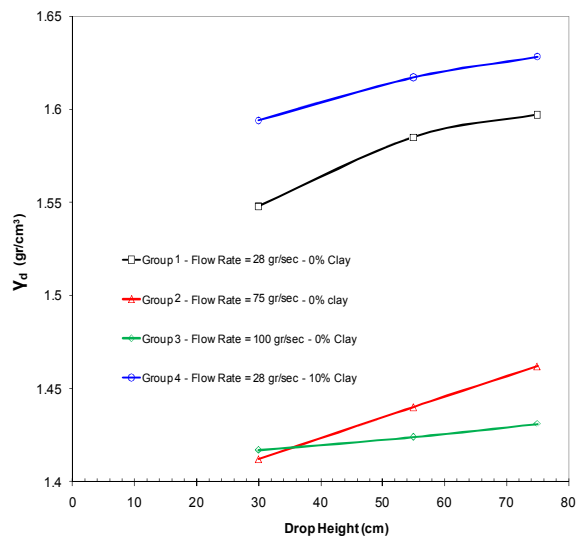
شماره‌ی گروه	مشخصات گروه
اول	ماسه‌ی تمیز عبوری از روزنه با خروجی 3*7.8 میلی‌متر (نرخ جریان ۲۸ گرم بر ثانیه) (3*7.8-X-0)
دوم	ماسه‌ی تمیز عبوری از روزنه با خروجی 3*11.8 میلی‌متر (نرخ جریان ۷۵ گرم بر ثانیه) (3*11.8-X-0)
سوم	ماسه‌ی تمیز عبوری از روزنه با خروجی 3*16.8 میلی‌متر (نرخ جریان ۱۰۰ گرم بر ثانیه) (3*16.8-X-0)
چهارم	ماسه با ۱۰ درصد رس عبوری از روزنه با خروجی 3*7.8 میلی‌متر (نرخ جریان ۲۸ گرم بر ثانیه) (3*7.8-X-10)



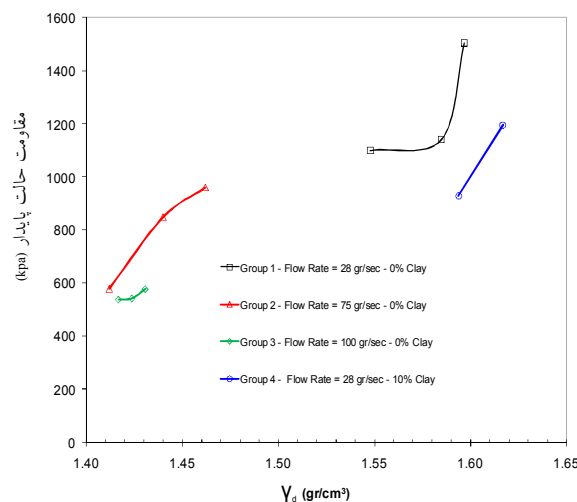
نمونه‌ی شل تر (سست تر) می‌شود.

#### ۴-۲- بررسی روند تغییرات مقاومت حالت پایدار نهایی<sup>۲</sup>

شکل (۱۱) نشانگر تغییرات مقاومت حالت پایدار نهایی گروه‌های مختلف در مقابل  $\gamma_d$  است. مقاومت حالت پایدار نهایی تمام گروه‌ها با افزایش  $\gamma_d$ ، افزایش می‌یابد، در گروه اول در ابتدا این روند کمی نامحسوس است.



شکل (۱۰) تأثیر ارتفاع سقوط و درصد رس بر وزن مخصوص خشک ترکیبات ماسه



شکل (۱۱) تغییرات مقاومت حالت پایدار نهایی در مقابل  $\gamma_d$

به منظور تعیین تکرارپذیری آزمایشات، هر آزمایش حداقل ۲ بار تکرار شده و در صورت نزدیک نبودن نتایج آزمایش، دوباره تکرار شده است. در مجموع، تکرارپذیری آزمایشات حتی درباره‌ی روش MT بسیار خوب بوده است.

#### ۴- نتایج به دست آمده و تحلیل نتایج

##### ۴-۱- بررسی روند تغییرات وزن مخصوص خشک

وزن مخصوص خشک ( $\gamma_d$ ) به دست آمده برای گروه‌های مختلف در جدول (۷) ارائه شده است. همانطور که در جدول (۷) و همچنین در شکل (۱۰) دیده می‌شود،  $\gamma_d$  همه‌ی گروه‌ها با افزایش ارتفاع سقوط، افزایش می‌یابد. همچنین در یک ارتفاع سقوط ثابت، با افزایش نرخ جریان،  $\gamma_d$  کاهش می‌یابد.

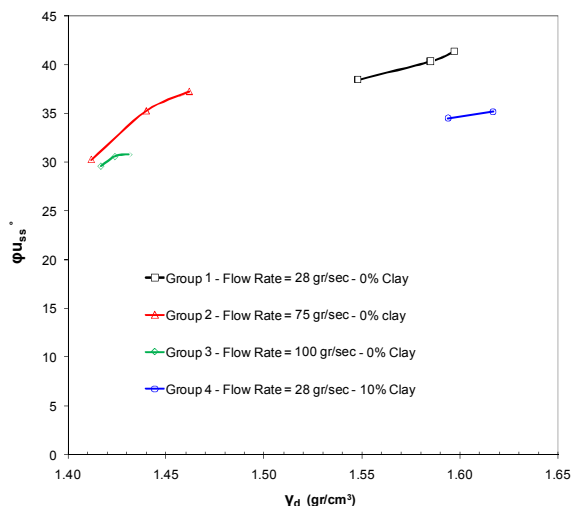
جدول (۷) وزن مخصوص خشک نمونه‌های ساخته شده در گروه‌های مختلف و ارتفاع سقوط‌های ۳۰، ۵۵ و ۷۵ سانتی‌متر

وزن مخصوص خشک ( $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> ))				
ارتفاع سقوط cm	گروه اول	گروه دوم	گروه سوم	گروه چهارم
۳۰	۱/۵۴۸	۱/۴۲۱	۱/۴۱۷	۱/۵۹۴
۵۵	۱/۵۸۵	۱/۴۴۰	۱/۴۲۴	۱/۶۱۷
۷۵	۱/۵۹۷	۱/۴۶۲	۱/۴۳۱	۱/۶۲۸

این مسئله به این دلیل است که ارتفاع سقوط زیاد باعث رسوب‌گذاری با انرژی جنبشی بالاتر شده و ذرات ماسه به علت برخورد با یکدیگر و داشتن لبه‌های تیز گوشه، با انرژی بیشتری به یکدیگر قفل و بست شده و فضای کم‌تری نسبت به حالتی که همان ماسه با ارتفاع سقوط کم‌تر درون قالب نمونه‌ساز رسوب می‌کند. اشغال می‌کنند؛ در نتیجه نمونه‌ای متراکم‌تر ایجاد خواهد شد، در حالی که نرخ جریان زیاد ماسه به علت افزایش ریزش ذرات و کاهش زمان و فضای برخورد ذرات با یکدیگر باعث ایجاد

است. علاوه بر روند عمومی این تغییرات که نشانگر افزایش زاویه‌ی اصطکاک داخلی حالت پایدار با افزایش  $\gamma_d$  می‌باشد، مشاهده می‌شود که زاویه‌ی اصطکاک داخلی حالت پایدار نمونه دارای ۱۰ درصد ریزدانه‌ی خمیری کم‌تر از نمونه‌ی ساخته شده با ماسه‌ی تمیز در شرایط یکسان است. با افزایش درصد ریزدانه‌ی خمیری بین ذرات، همانطور که درباره‌ی مقاومت حالت پایدار نهایی نیز اشاره شد، لغزش آن‌ها روی هم تسهیل شده و لذا اصطکاک بین ذرات کاهش می‌یابد.

علت افزایش زاویه‌ی اصطکاک داخلی حالت پایدار در ماسه‌های تمیز با افزایش  $\gamma_d$  را می‌توان اینگونه بیان کرد که با توجه به این که زاویه‌ی اصطکاک بسیج شده  $\phi_{uss}$  در حالت پایدار نهایی، تابعی از مؤلفه‌های به‌وجود آورنده‌ی آن (اصطکاک لغزشی + خردشدگی ذرات + آرایش مجدد ذرات + اتساع (قفل و بست بین دانه‌ای) می‌باشد، با کاهش نسبت تخلخل (به‌علت افزایش  $\gamma_d$ )، خردشدگی ذرات افزایش، آرایش مجدد ذرات کاهش و قفل و بست بین دانه‌ها (اتساع) افزایش یافته و در نتیجه زاویه‌ی اصطکاک بسیج شده  $\phi_{uss}$  در حالت پایدار نهایی، افزایش می‌یابد [۴].



شکل (۱۲) تغییرات زاویه اصطکاک داخلی حالت پایدار در مقابل  $\gamma_d$

با مقایسه‌ی روند تغییرات گروه‌های ۱ و ۴، مشاهده می‌شود که مقاومت حالت پایدار نهایی نمونه دارای ۱۰ درصد ریزدانه خمیری، کم‌تر از نمونه‌ی ساخته شده با ماسه‌ی تمیز در شرایط یکسان می‌باشد. اصولاً با اضافه شدن ریزدانه‌ی خمیری، دو تأثیر کلی مورد انتظار است. یکی این که افزایش خاصیت خمیری ترکیب باعث ایجاد چسبندگی بین ذرات ماسه‌ای و مقاومت بیش‌تر در لغزش آن‌ها روی هم شود و دوم این که ریزدانه‌ها باعث لغزش راحت‌تر ذرات درشت‌تر ماسه‌ای روی هم شوند. این که کدامیک از این دو اثر در رفتار مشاهده شده غالب باشد، به درصد ریزدانه‌ی خمیری و همچنین درصد پلاستیسیته‌ی آن بستگی دارد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، به نظر می‌رسد که با توجه به استفاده از ۱۰ درصد ریزدانه‌ی خمیری که پلاستیسیته‌ی پایینی نیز دارد، اثر دوم غالب شده و لذا وجود ریزدانه‌ی خمیری باعث تسهیل لغزش بین دانه‌ها و کاهش مقاومت حالت پایدار نهایی نسبت به نمونه‌ی ماسه‌ای تمیز شده است.

نتایج به‌دست آمده به‌وسیله جورجیانهو و همکاران [۲۱] که روی ترکیبات ماسه با رس کائولن با PI برابر ۳۰ درصد انجام شده، کاهش در مقاومت حالت پایدار با افزایش درصد رس تا ۷ درصد را نشان داده است. نتایج شلی و پرز [۲۲] نیز که به ترکیبات ماسه با رس با  $PI=10$  مربوط است، کاهش مشابهی را در مقاومت حالت پایدار با افزایش درصد رس تا ۷ درصد نشان داده است. بوفرا و شهرور [۲۳] نیز نتیجه‌گیری کردند که با افزایش درصد رس تا ۱۵ درصد، مقاومت حالت پایدار کاهش می‌یابد، در حالی که با ادامه‌ی افزایش درصد رس این روند معکوس می‌شود.

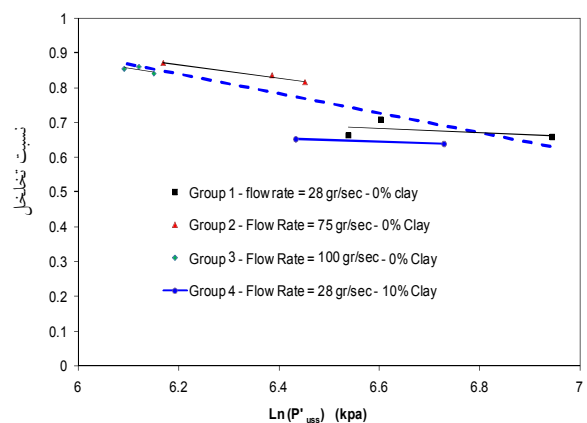
### ۳-۴- بررسی روند تغییرات زاویه‌ی اصطکاک

#### داخلی حالت پایدار نهایی

تغییرات زاویه‌ی اصطکاک داخلی حالت پایدار در مقابل  $\gamma_d$  برای گروه‌های مختلف در شکل (۱۲) نشان داده شده

## ۴-۴- بررسی خطوط حالت پایدار ماسه

شکل (۱۳) نشانگر خطوط حالت پایدار گروه‌های مختلف مورد آزمایش است. نتایج بیانگر تأثیر قابل توجه ارتفاع و نرخ ریزش روی موقعیت خط حالت پایدار است. با جمع‌بندی نتایج تمامی آزمایشات انجام شده روی ماسه‌ی تمیز، خط حالت پایدار مربوط به ماسه‌ی تمیز به دست آمده و به صورت خط چین در شکل (۱۳) مشخص شده است. بر اساس تحقیقات گذشته، حرکت خطوط حالت پایدار به سمت پایین (در فضای  $e-Ln p'_{ss}$ ) نشان‌دهنده‌ی افزایش پتانسیل روانگرایی است. بر اساس نظریه‌ی معروف، نسبت تخلخل بحرانی و نیز سایر نتایج تحقیقات مختلف، نمونه‌هایی که در زیر خط حالت بحرانی قرار دارند. نسبت به نشان دادن رفتار اتساعی و نمونه‌هایی که در بالای خط حالت پایدار یا بحرانی قرار دارند، تمایل به رفتارهای انقباضی دارند، بنابراین حرکت رو به پایین خط حالت بحرانی، موجب افزایش سطح ناحیه‌ی دارای پتانسیل ناپایداری و لذا افزایش پتانسیل روانگرایی خواهد شد. این مسئله در تحقیقات زیادی از جمله تحقیقات کاسترو (۱۹۶۹)، آلارکون (۱۹۸۸) و کرامر (۱۹۸۸) اشاره شده است [۲۴، ۲۵، ۲۶].



شکل (۱۳) خط حالت پایدار گروه‌های مختلف در فضای لگاریتمی

1- Steady State Line

مشاهده می‌شود که خط حالت پایدار نهایی ماسه با ۱۰ درصد رس نیز پایین‌تر از خط حالت پایدار ماسه‌ی تمیز قرار دارد که نشانگر افزایش پتانسیل روانگرایی با افزایش درصد رس تا ۱۰ درصد می‌باشد. البته چنانچه تعداد آزمایشات بیش‌تری برای رسم خط حالت پایدار موجود باشد، روند خطوط می‌تواند نتایج را به صورت دقیق‌تری پیش‌بینی نماید.

Abedi (۲۰۱۰) نیز روند مشابهی را درباره‌ی ترکیبات ماسه و رس ساخته شده با روش تراکم مرطوب نتیجه‌گیری کرده است. بر اساس نتایج وی نیز با افزایش درصد رس خطوط حالت پایدار ماسه به سمت پایین حرکت می‌کنند [۲۷].

درخشندی (۱۳۸۵) نیز بر اساس نتایج آزمایشات سه‌محوری سیکلیک که روی ترکیبات ماسه و رس کائولن انجام شده، نتیجه‌گیری کرده است که با افزایش درصد رس تا حدود ۲۰ درصد، تعداد سیکل‌های لازم برای روانگرایی کاهش می‌یابد، در حالی که پس از ۲۰ درصد احتمال رخداد روانگرایی به شدت کاهش می‌یابد [۲۸].

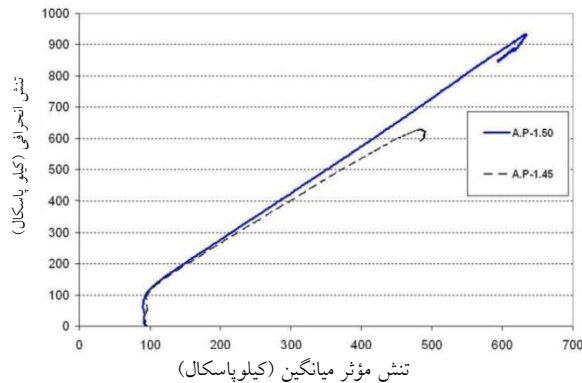
## ۴-۵- مقایسه‌ی رفتار نمونه‌های ساخته شده با

## روش‌های A.P و M.T

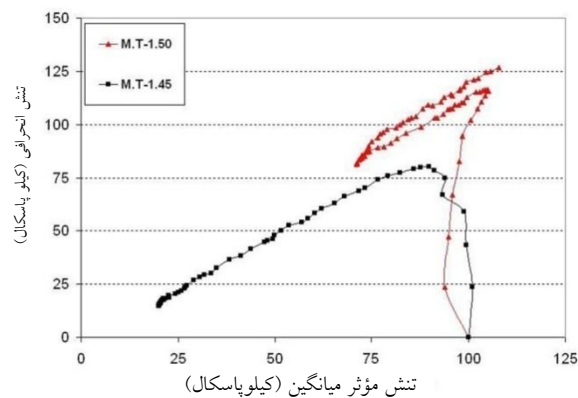
در شکل (۱۴) نمودارهای تنش کرنش نمونه‌های ساخته شده با دو روش نمونه‌سازی تراکم ماسه‌ی مرطوب (M.T) و روش ریزش خشک (A.P) ارائه شده است. برای هر یک از این روش‌ها، نتایج دو آزمایش مربوط به نمونه‌های ساخته شده در تراکم ۱/۴۵ و ۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب ارائه شده است.

مقایسه‌ی منحنی‌های تنش انحرافی - کرنش نمونه‌های ساخته شده با دو روش M.T و A.P، نشان می‌دهد که در تراکم ۱/۴۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب، نمونه‌ی ساخته شده با روش M.T رفتار نرم‌شوندگی با کرنش از خود نشان داده

بسیار متراکم‌تری را نسبت به نمونه‌های ساخته شده با روش M.T تولید می‌کنند.



شکل (۱۵) مسیر تنش نمونه‌های ساخته شده با روش A.P و تراکم‌های ۱/۵ و ۱/۴۵ گرم بر سانتی متر مکعب

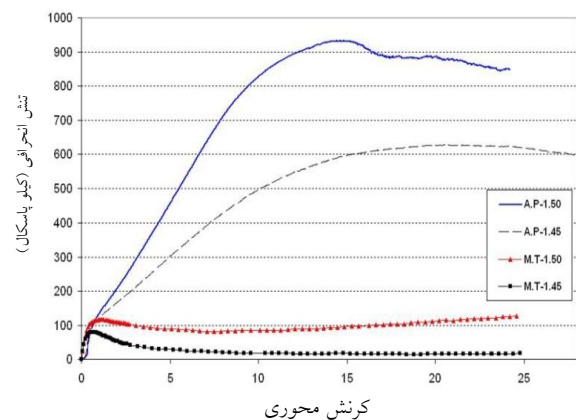


شکل (۱۶) مسیر تنش نمونه‌های ساخته شده با روش M.T و تراکم‌های ۱/۵ و ۱/۴۵ گرم بر سانتی متر مکعب

برای بررسی بهتر تفاوت‌های رفتاری نمونه‌های ساخته شده با روش‌های A.P و M.T، در شکل (۱۷) تغییرات فشار آب حفره‌ای در مقابل کرنش برای نمونه‌های ساخته شده با دو روش نمونه‌سازی در تراکم‌های ۱/۵ و ۱/۴۵ گرم بر سانتی متر مکعب ارائه شده است.

در نمونه‌ی ساخته شده در تراکم ۱/۴۵ گرم بر سانتی متر مکعب با روش تراکم ماسه مرطوب، فشار آب حفره‌ای تا رسیدن به حالت پایدار به صورت پیوسته افزایش می‌یابد که نشانگر تمایل شدید بافت نمونه برای

است، در حالی که نمونه‌ی ساخته شده با روش A.P و با تراکم ۱/۴۵ گرم بر سانتی متر مکعب، رفتار سخت‌شونده و مقاومت بسیار بالاتری از خود نشان داده است. مقایسه‌ی نمونه‌های ساخته شده در تراکم ۱/۵ گرم بر سانتی متر مکعب برای روش‌های مختلف نمونه‌سازی نیز، نتایج مشابهی را نتیجه می‌دهد. مقاومت به دست آمده در روش نمونه‌سازی A.P حدود ۱۰ برابر بزرگ‌تر از مقاومت نمونه‌های ساخته شده با روش M.T در شرایط مشابه می‌باشد.



شکل (۱۴) مقایسه‌ی رفتار تنش - کرنش نمونه‌های ساخته شده با روش‌های مختلف نمونه‌سازی

در شکل‌های (۱۵) و (۱۶) نیز، مسیر تنش نمونه‌های ساخته شده با روش‌های مختلف نمونه‌سازی به صورت جداگانه رسم شده است تا با انتخاب مقیاس‌های بهتر برای نمودارها، روند تغییرات به نحو مناسب‌تری قابل بررسی باشد. مشاهده می‌شود که هر چند در تراکم ۱/۵ گرم بر سانتی متر مکعب، نمونه ساخته شده با روش M.T نیز تا حدودی از خود رفتارهای پایدارتری (رفتار شبه حالت پایدار) نسبت به نمونه‌های سست نشان داده است، اما همچنان با تغییر روش نمونه‌سازی، میزان مقاومت‌ها تقریباً ۱۰ برابر و نوع رفتار نیز سخت‌شونده شده است.

بر اساس نتایج ارائه شده به نظر می‌رسد که صرف‌نظر از تراکم نمونه‌ها، نمونه‌های ساخته شده با روش A.P بافت

خواهد شد.

به نظر می‌رسد که علت تولید بافت سست‌تر در نمونه‌های ساخته شده با روش M.T، تا حد زیادی به حضور رطوبت کم در خاک در هنگام نمونه‌سازی مربوط است که با ایجاد مویبندی در بین ذرات مانع از فرو رفتن آن‌ها به طور کامل در فضاهای خالی یکدیگر و در نتیجه ایجاد بافت سست و ناپایدار می‌شود.

همانطور که اشاره شد، نتایج آزمایشات Chuang و Chen در ۲۰۰۱ نیز نشان داده است که نمونه‌های ساخته شده با روش M.T رفتار جریان روانگرایی به صورت نرم‌شوندگی با کرنش از خود نشان می‌دهند، در حالی که نمونه‌های ساخته شده با روش A.P رفتاری اتساعی دارند [۱۳].

## ۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

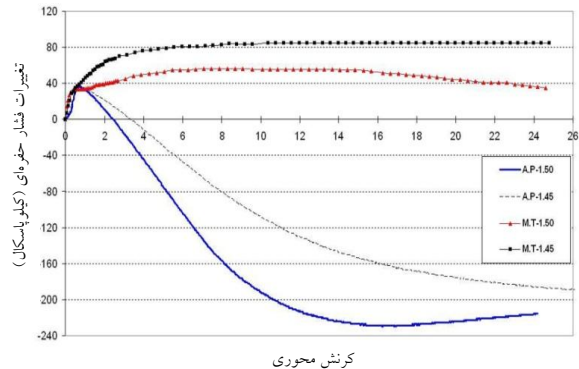
در این مطالعات، دستگاه نمونه‌ساز پیشرفته برای نمونه‌سازی به روش ریزش خشک (A.P) به‌وسیله‌ی نگارندگان طراحی و ساخته شد و با استفاده از آن و همچنین ساخت نمونه با روش تراکم ماسه‌ی مرطوب، رفتار نمونه‌های ماسه‌ای رس‌دار بررسی شد. مهم‌ترین نتایج به‌دست آمده به شرح ذیل است:

۱- وزن مخصوص خشک تمام نمونه‌های ساخته شده با روزنه‌ای ثابت (نرخ جریان ثابت)، با افزایش ارتفاع سقوط، افزایش می‌یابد، در حالی که افزایش نرخ جریان در ارتفاع سقوط ثابت به ایجاد بافت سست‌تری منجر خواهد شد.

۲- با افزایش وزن مخصوص خشک، مقاومت حالت پایدار و همچنین زاویه‌ی اصطکاک داخلی حالت پایدار افزایش می‌یابد. افزایش ۱۰ درصد ریزدانه‌ی خمیری موجب کاهش قابل ملاحظه در مقاومت و زاویه‌ی اصطکاک داخلی حالت پایدار شده است.

۳- روند تغییرات خطوط حالت پایدار نشان داده است که خط

انقباض و کاهش حجم می‌باشد. در مقابل نمونه‌ی مشابه ساخته شده با روش A.P پس از یک افزایش زودگذر و اولیه در فشار آب حفره‌ای، تمایلات اتساعی قابل ملاحظه‌ای نشان داده، به طوری که فشار آب حفره‌ای کاهش شدید داشته و منفی می‌شود.



شکل (۱۷) مقایسه‌ی تغییرات فشار آب حفره‌ای بین نمونه‌های ساخته شده با روش‌های A.P و M.T در تراکم‌های مختلف

مشابه همین روند در مقایسه‌ی نمونه‌های ساخته شده با تراکم ۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب و با روش‌های مختلف نمونه‌سازی، قابل ملاحظه است. البته نمونه‌ی ساخته شده در تراکم ۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب و با روش M.T، از خود تا حدودی تمایلات اتساعی بیش‌تری نسبت به نمونه مشابه ساخته شده با تراکم ۱/۴۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب نشان می‌دهد، به طوری که فشار آب حفره‌ای آن پس از افزایش قابل توجه دوباره کاهش یافته و در کرنش‌های بزرگ روند نزولی دارد. روند به دست آمده در نمودارهای تغییرات فشار آب حفره‌ای نیز گویای ایجاد بافت با قفل و بست بیشتر بین دانه‌ها و لذا با تمایلات اتساعی قابل توجه در نمونه‌های ساخته شده با روش ریزش خشک است، در حالی که ساخت نمونه در همین محدوده‌ی تراکم و با روش تراکم ماسه‌ی مرطوب به ایجاد نمونه‌هایی با بافت سست و تمایلات انقباضی زیاد در ضمن برش منجر

- [7] Vaid, Y.P., Sivathayalan, S., and Stedman, D., "Influence of Specimen-Reconstituting Method on the undrained Response of Sand," Geotechnical Testing Journal, ASTM, 22(3), pp. 187-196, 1999.
- [8] Yasrobi, S.S. "Investigating the Effects of Content and Shapes of Fines on Steady State Behavioural Properties of Saturated Sands to Assess Liquefaction Potential in Such Soils" Thesis for Ph.D. Civil Engineering School. Sharif University of Technology, 1376.
- [9] Ishihara, K., "Liquefaction and flow failure during earthquakes" Geotechnique, VOL43, No.3, 351-415, 1993.
- [10] Vaid, Y.P. and Negussey, D., "Preparation of Reconstituted Sand Specimens." Advanced Triaxial Testing of Soil and Rock, ASTM STP 977, PP. 405-417, 1988.
- [11] Jang, Deh-Jeng., "Quantification Of Sand Structure and Its Evolution During Shearing Using Image Analysis", Phd Thesis, Georgia Institute of Technology, 1997.
- [12] Lagioia, Rocco., Sanzeni, Alex., and Colleselli, Francesco. "Air, Water and Vacuum Pluviation of sand Specimens for the Triaxial Apparatus" Journal of Soils and Foundations, 46(1), PP 61-67, 2006.
- [13] Chen, Yao-Chung., Chuang, Jiun-Chi., "Effects of Fabric on Steady State and Liquefaction Resistance," Proceeding of the Eleventh International Offshore and Polar Engineering Conference, Stavanger, Norway, pp 524-529, 2001.
- [14] Ladd, R.S., "Preparing specimens using under compaction" ASTM, Geotechnical Testing Journal, GTGODJ, VOL1, No.1, pp16-23, 1978.
- [15] Rathje, E. M., Chang, W. J., and Stokoe II, K. H. Development of an In Situ Dynamic Liquefaction Test, Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, Vol. 28, No. 1, pp. 50-60, 2005.
- [16] Hazirbaba, K. Pore Pressure Generation Characteristics of Sands and Silty Sands: A Strain Approach, PhD Thesis, University of Texas, 2005.
- [17] Vaid Y. Liquefaction of silty soils. In: Prakash S, Dakoulas P (eds) Ground failures under seismic conditions. ASCE Geotech Spec Publ 44:55-56, 1994.

حالت پایدار نهایی ماسه با ۱۰ درصد ریزدانه‌ی خمیری پایین‌تر از ماسه‌ی تمیز قرار دارد که نشانگر افزایش پتانسیل روانگرایی با افزایش ۱۰ درصد ریزدانه‌ی خمیری می‌باشد.

۴- مقایسه‌ی روند تغییرات رفتاری نمونه‌های ساخته شده با روش M.T با نمونه‌های ساخته شده با روش A.P، نشان داده است که روش ریزش خشک (A.P) نسبت به تولید بافت بسیار متراکم‌تر و با تمایلات اتساعی بیش‌تر تمایل دارد.

## ۶- تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از هیأت محترم داوری به خاطر مطالعه و راهنمایی‌های ارزنده در راستای بهبود این مقاله تشکر نمایند.

## ۷- مراجع

- [1] Mitchell, James K., Soga, Kenichi., "Fundamentals of Soil Behavior,". John Wiley and Sons, 2005.
- [2] Vaid, Y.P., Kuerbis, R., "Sand Sample Preparation – The Slurry Deposition Method," Journal of Soils and Foundations, 28(4), PP. 107- 118, 1988.
- [3] Wood, Fletcher M., Yamamuro, Jerry A. and Lade, Poul V., "Effect of Depositional Method on the Undrained Response of Silty Sand" Canadian Geotechnical Journal, 45(11), pp. 1525-1537, 2008.
- [4] Oda, M., Koishikawa, I., and Higuehi, T., "Experimental study of Anisotropic Shear Strength of Sand by Plane Strain Test," Journal of Soils and Foundations, 18(1), PP 25-38, 1978.
- [5] Oda, Masanobu, "Deformation Mechanism of Sand in Triaxial Compression Test. SOILS AND FOUNDATIONS, VOL 12, NO 4, pp. 45 – 63, 1972.
- [6] Oda, M., "The Mechanism of Fabric Changes during Compressional deformation of sand," Journal of Soils and Foundations, 12(2), PP. 1-18, 1972.

- [24] Castro, G. "Liquefaction of sands "Harvard Soil Mechanics Series , No.81 ,Cambridge, 1969.
- [25] AlarconGuzman, A., Lwonards, G., Chameau, J.I. "Undrain monotonic and cyclic strength of sands" Journal Of Geotechnical Eng .ASCE ,VOL.114. No10, pp.1089-1109, 1988.
- [26] Kramer, SandSeed, H.B., "Initiation of soil liquefaction under static loading condition " Journal Of Geotechnical Eng .ASCE, VOL.114.No4, pp.412-430, 1988.
- [27] Abedi, M. and Yasrobi, S.S, "Evaluation the Effects of plastic fines on the instability of sand", Journal of Soil dynamic and earthquake engineering, 30, PP 61-67, 2010.
- [۲۸] درخشندی، مهدی "مطالعه آزمایشگاهی اثر مصالح ریزدانه پلاستیک بر پتانسیل روانگرایی ماسه‌ها" پایان‌نامه‌ی دوره دکتری، دانشگاه امیر کبیر، ۱۳۸۵.
- [18] Yamamuro, J.A., and Wood, F.M. Effect of depositional method on the undrained behavior and microstructure of sand with silt. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 24: 751, 760. doi: 10.1016/j.soildyn. 2004.06.004, 2004.
- [19] Fletcher M. Wood, Jerry A. Yamamuro, and Poul V. Lade "Effect of depositional method on the undrained response of silty sand" Can. Geotech. J. 45: pp:1525–1537, 2008.
- [20] Yimsiri, Siam., Soga, Kenichi., "Effects of Soil Fabric on Behaviors of Granular Soils: Microscopic Modeling" Computers and Geotechnics, 38, pp 861-874, 2011.
- [21] Georgiannou, V. N., Burland, J. B. & Hight, D. W., "The undrained behaviour of clayey sands in triaxial compression and extension" Geotechnique 40, No. 3, 431-449, 1990.
- [22] Ovando-Shelley, E., Perez G., B. E., "Undrained behaviour of clayey sands in load controlled triaxial tests" Geotechnique 47, No. 1, pp97-111, 1997.
- [23] Bouferra, R. Shahrour, I., "Influence of fines on the resistance to liquefaction of a clayey sand" Laboratoire de Mécanique de Lille, University of Sciences and Technologies of Lille, Polytech Lille, France, 2003.