

بررسی روشهای مختلف بازسازی نمونه های ماسه ای جهت مطالعات آزمایشگاهی

مجید کاظمی^۱، جعفر بلوری بزازی^۲

۱- دانشجوی دکتری خاک و پی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشیار گروه عمران دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

Kazemi_majid@stu.um.ac.ir

خلاصه

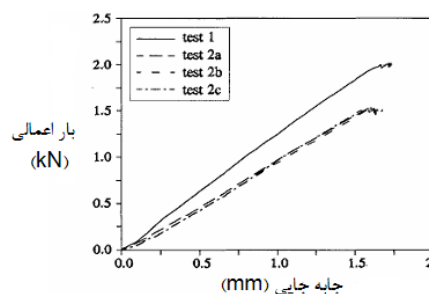
به دلیل مشکلات و هزینه های بسیار در تهیه نمونه های دست نخورده مورد قبول در خاکهای ماسه ای، بازسازی نمونه به حالت اولیه در مطالعات آزمایشگاهی به طور گسترده ای مورد استفاده قرار می گیرد. آماده سازی لایه های ماسه به صورت یکنواخت و تکرارپذیر با وزن مخصوص مورد نیاز، قطعاً پیش نیاز انجام آزمایشات قابل اعتماد بر روی نمونه های بازسازی شده ماسه در آزمایشگاه می باشد. چرا که روشهای مختلف ساخت نمونه خاک روی بافت و در نتیجه، روی پاسخ تنش-کرنش خاک تأثیر می گذارد. یک روش خوب به منظور آماده سازی مدل زمین باید توانایی بازسازی نمونه های ماسه ای با دامنه گسترده ای از تراکم نسبی (خیلی شل تا خیلی متراکم) را داشته باشد. همچنین یکنواختی حفرات در سرتاسر نمونه، عدم جداشدگی ذرات و تراکم پذیری از شرایط لازم برای موفقیت فعالیتهای آزمایشگاهی است. در خصوص روشهای مختلف بازسازی نمونه های ماسه، تلاشهای ویژه و مطالعات فراوانی انجام شده است. لذا در این تحقیق به بررسی و مقایسه روشهای مختلف پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: روشهای بازسازی نمونه، خاک ماسه ای، مطالعات آزمایشگاهی

۱. مقدمه

آماده سازی لایه های ماسه به صورت یکنواخت و تکرارپذیر با وزن مخصوص مورد نیاز، قطعاً پیش نیاز انجام آزمایشات قابل اعتماد بر روی نمونه های بازسازی شده ماسه در آزمایشگاه می باشد. تنها با تهیه نمونه هایی با مشخصات یکسان و یکنواخت، می توان نتایج آزمایشات را به منظور بررسی پارامترهای مختلف با یکدیگر مقایسه نمود.

علاوه بر نوع ماسه مصرفی، اکثر پارامترهای فیزیکی ماسه به طور عمده به تراکم نمونه بستگی دارند. بنابراین تهیه نمونه با کمترین اختلاف در تراکم آن بسیار حائز اهمیت است. لذا برای اطمینان از یکنواختی نمونه، روش تهیه آن باید بهترین و مناسب ترین روش باشد. اهمیت یک روش خوب جهت تهیه نمونه با نتایج آزمایشات مربوط به بارگذاری یک پی در شکل ۱ نشان داده شده است. در این آزمایشات تمام پارامترها یکسان می باشد به جز اینکه در آزمایش ۱ از روش بارش ماسه و در آزمایش ۲ از روش کوبش دستی استفاده شده است. با وجود اینکه تراکم نسبی بدست آمده از هر دو روش یکسان می باشد اما بار اعمالی جهت رسیدن به یک تغییر مکان خاص، در نمونه تهیه شده با روش بارش حدود ۲۵ درصد بزرگتر از روش کوبش است.



آزمایش ۱: تهیه نمونه با سیستم بارش

آزمایش ۲: تهیه نمونه با روش کوبش دستی (سه بار تکرار)

شکل ۱- تأثیر روش تهیه نمونه ماسه در نتایج آزمایشات بارگذاری یک پی [۱]



۲. روشهای مختلف بازسازی نمونه های ماسه ای

یک روش خوب به منظور آماده سازی مدل زمین باید توانایی بازسازی نمونه های ماسه ای با دامنه گسترده ای از تراکم نسبی (خیلی شل تا خیلی متراکم) را داشته باشد. همچنین یکنواختی حفرات در سرتاسر نمونه، عدم جداشدگی ذرات و تراکم پذیری از شرایط لازم برای موفقیت فعالیتهای آزمایشگاهی است [۲]. روشهای مختلفی برای آماده سازی نمونه های ماسه ای در مطالعات تجربی به کار رفته است که می توان به روش ارتعاش^۱ [۳]، کوبش^۲ [۴، ۵، ۶، ۷]، روش جوشش ماسه^۳، روش اشباع شیمیایی^۴ و روش یخ زدن^۵ [۱۳، ۱۴]، روش تحکیم دوغاب^۶ [۸] و بارش در هوا، آب یا خلا^۷ [۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲] اشاره نمود. در ادامه به برخی از این روشها اشاره می گردد.

۲.۱ روش کوبش

در روش کوبش با توجه به تراکم مورد نیاز مقداری ماسه مشخص در یک لایه ریخته می شود. سپس این لایه توسط یک کوبه دستی یا کوبه دینامیکی متراکم می شود [۱۵]. عمل کوبش تا رسیدن لایه به مقدار تعیین شده و در نتیجه تراکم مطلوب ادامه خواهد یافت. بعد از آماده شدن لایه پایین می توان همین عملیات را به صورت لایه به لایه تا ارتفاع کلی نمونه ادامه داد. همچنین می توان قبل از ریختن ماسه به مخزن و به منظور کنترل گرد و غبار، مقداری آب به ماسه اضافه نمود.

نمونه های ماسه ای با تراکم نسبی ۴۰٪ تا ۸۰٪ با استفاده از روش کوبش مرطوب تهیه شده است. نمونه تهیه شده بوسیله این روش به طور کلی غیریکنواخت بوده و می تواند بر نتایج آزمایشات آزمایشگاهی تأثیرگذار باشد [۱]. همچنین این روش توانایی ساخت نمونه در بازه محدودی از تراکم نسبی را دارد.

۲.۲ روش جوشش ماسه

در این روش همه خاک مورد نیاز در مخزن ریخته می شود. انتهای مخزن دارای زهکش می باشد. بوسیله این سیستم زهکش و حرکت رو به بالای جریان آب، ماسه درون مخزن به حالت جوشش در می آید. هنگامی که جوشش تمام مخزن را تحت تأثیر قرار داد، جریان آب قطع و ذرات ماسه به آرامی ته نشین می شوند. این روش فقط نمونه های خیلی شل تولید می نماید.

۲.۳ روش اشباع شیمیایی

روش اشباع شیمیایی با نفوذ یک مایع با دماهای بالا به لایه های خاک انجام می پذیرد. هنگامی که مایع سرد می شود آن را جامد نموده و به اندازه و شکل مورد نیاز برش می دهند. این روش و روش یخ زدن به دلیل محدودیت های اجرایی و هزینه نسبتاً زیاد آن برای تهیه نمونه های بزرگ مقیاس کاربردی ندارند.

۲.۴ روش تحکیم دوغاب

براندن و همکاران^۸ [۸] از روش تحکیم دوغاب استفاده نمودند و نشان دادند که این روش توانایی ساخت نمونه هایی با طیف وسیعی از تراکم نسبی را دارد. دوغاب از آمیختن خاک با آب بدست می آید. پس از مخلوط کردن کامل آن توسط مخلوط کن و انتقال به مخزن اصلی، با یک پیستون به نمونه

^۱ Vibration method (including tapping)

^۲ Tamping method

^۳ Fluidization Method

^۴ Chemical impregnation method

^۵ Freezing method

^۶ Slurry Consolidation method

^۷ Air, Water or Vacuum Pluviation method

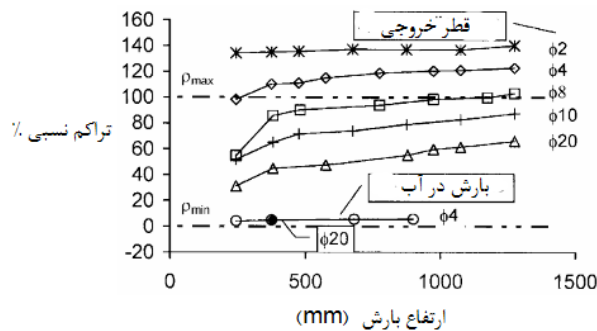
^۸ Brandon et al.

فشار وارد می‌شود. زه کشهای عمودی در کف مخزن تعبیه شده است. برای تعیین زمان پایان تحکیم اولیه، مقدار نشست در طول زمان اندازه‌گیری می‌شود. این روش برگرفته از طبیعت و ته‌نشینی خاکهای آبرفتی در آب و تحکیم آن طی سالیان متمادی بوده و در ساخت نمونه جهت آزمایشات روانگرایی و در خاکهای ماسه سیلتی کاربرد فراوان دارد. یکی از معایب اصلی آن زمان‌بر بودن تحکیم و ساخت نمونه می‌باشد به طوری‌که به ۱۸ تا ۲۰ روز زمان جهت انجام فرآیند تحکیم نیاز است. همچنین مقداری جداشدگی دانه‌ها نیز در این روش مشاهده می‌گردد.

۴.۲. روش بارش ماسه

در بین همه روشها، روش بارش ماسه به علت توانایی منحصر به فرد آن در تکرارپذیری، بازسازی دامنه وسیعی از تراکم نسبی ماسه، عدم شکستگی ذرات، سهولت در اجرا، آسانی در نصب ابزار دقیق، توانایی ایجاد لایه‌های خاک با جنس متفاوت در بین محققین از محبوبیت قابل توجهی برخوردار می‌باشد [۱۲، ۱۴، ۱۶]. در چند دهه اخیر به منظور آماده‌سازی نمونه‌های ماسه بزرگ و کوچک در مطالعات مدلسازی فونداسیون، آزمایشات کالیبراسیون، مدلسازی به کمک سانتریفوژ، مدلسازی به کمک میز لرزه و آزمایشات سه محوری به صورت گسترده‌ای از روش بارش ماسه استفاده می‌گردد [۱۴]. در این تحقیق نیز توضیحات کامل در خصوص سیستم بارش ارائه می‌گردد.

لاجیویا و همکاران^۱ [۱۱] یک سیستم بارش ماسه در آب، هوا و خلأ به قطر ۷۰ میلی‌متر جهت تهیه نمونه آزمایش سه‌محوری طراحی نمودند. آنها گزارش دادند که با بارش ماسه در آب کمترین وزن مخصوص بدست می‌آید و مقدار آن برابر با روش پیشنهادی ASTM D۴۲۵۴ جهت تعیین تراکم حداقل می‌باشد. در حالیکه با بارش ماسه در خلأ بیشترین وزن مخصوص حاصل شده و مقدار آن حدود ۴۰ درصد بیشتر از روش تراکم دینامیکی پیشنهادی ASTM D۴۲۵۳ می‌باشد (شکل ۲). همچنین تراکم نسبی نمونه‌های تهیه شده با بارش در آب، مستقل از هر دو عامل شدت و ارتفاع بارش است.



شکل ۲ - اثر ارتفاع و شدت بارش بر تراکم نسبی در بارش ماسه در خلأ و آب: خطوط خط چین نشانگر مقدار حداقل و حداکثر پیشنهادی ASTM می‌باشد [۱۱].

در سیستم بارش در هوا، معمولاً ماسه تحت نیروی جاذبه از قسمت تحتانی یک قیف خارج می‌گردد. بر اساس نوع انتقال ماسه از قیف به سطح نمونه، سیستم بارش به سه گروه اصلی زیر تقسیم‌بندی می‌گردد:

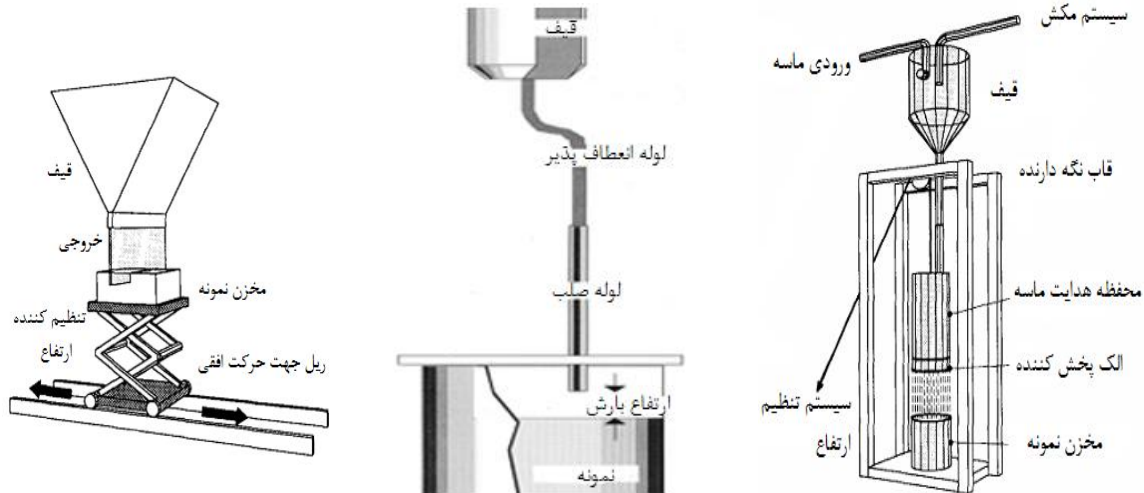
۱- بارش با الک‌های پخش کننده^۲ که مانند شکل ۳ با عبور ماسه از روی یک یا چند پخش کننده با سطح مساوی یا بزرگتر از سطح نمونه، روی کل سطح نمونه پخش می‌شود [۳، ۱۱، ۱۳، ۱۷].

۲- لوله به صورت منفرد^۳ که مانند شکل ۴ با حرکت لوله مطابق یک الگوی منظم بر روی کل سطح نمونه بارش انجام می‌شود. بسیاری از محققین از این سیستم متحرک شامل یک قیف ثابت جهت تغذیه ماسه، یک لوله انعطاف پذیر و یک لوله صلب در دو حالت با پخش کننده و بدون پخش کننده جهت بازسازی نمونه استفاده نموده‌اند [۱۲، ۱۸، ۱۹].

۳- بارش پرده‌ای^۴ که در این سیستم ماسه موجود در قیف از یک شکاف باریک به صورت لایه نازک پرده‌ای بارش می‌نماید. استیوت^۵ [۱] از این سیستم متشکل از یک قیف ثابت دارای خروجی روزنه باریک مستطیلی استفاده نمود. در این سیستم نمونه واقع بر یک چرخ به صورت اتوماتیک در

^۱ Lagioia et al.
^۲ Diffuser sieves rainer
^۳ Single nozzle rainer
^۴ Curtain rainer
^۵ Stuit

جهت افقی و قائم زیر قیف جابه‌جا می‌شود و توانایی تولید نمونه‌هایی با تراکم نسبی مختلف با تغییر در ارتفاع بارش و سرعت حرکت نمونه را دارد (شکل ۵). از روش بارش پرده‌ای متحرک به صورت مکانیزه جهت پر نمودن نمونه‌هایی به ترتیب به ابعاد (۱/۲×۰/۸)، (۰/۶×۰/۶۵)، (۲×۰/۷۵)، (۲×۰/۷۵) برای آزمایشات کرنش صفحه‌ای استفاده شده است [۱۲].



شکل ۵- سیستم

شکل ۴- سیستم بارش با نازل تک [۱۸]

شکل ۳- سیستم بارش با الک پخش کننده [۱]
بارش پرده‌ای [۱]

۳. پارامترهای تأثیرگذار بر تراکم نسبی در سیستم بارش ماسه

دو پارامتر مهم و تأثیرگذار در تراکم نسبی در سیستم بارش، ارتفاع سقوط ماسه (فاصله پایین‌ترین خروجی تا سطح خاک) و شدت بارش ذرات (مقدار ماسه خروجی در واحد سطح و در واحد زمان) می‌باشد [۴، ۱۶، ۱۷].

۳.۱. ارتفاع بارش^۱

ارتفاع بارش فاصله پایین‌ترین قسمت خروجی ماسه از قیف تا سطح فوقانی لایه ماسه باریده شده می‌باشد. ارتفاع بارش کم منجر به سرعت بارش کم می‌شود که به نوبه خود چیدمان ذرات به صورت شل و تراکم نسبی پایین است. کاملاً واضح است که علت افزایش تراکم در صورت افزایش ارتفاع بارش را می‌توان نتیجه انرژی جنبشی بیشتر ذرات دانست که از فاصله دورتر سقوط می‌نمایند [۱۷].

سرعت ذرات در هنگام سقوط (یا همان انرژی جنبشی ذرات) تابعی از ارتفاع بارش بوده و با افزایش ارتفاع بارش تا زمان رسیدن به سرعت نهایی^۲ به صورت غیرخطی افزایش می‌یابد. سرعت ذرات پس از تعادل بین نیروهای اعمالی به مقدار نهایی خود می‌رسد. هر چند امکان دارد در ارتفاعهای بارش کم، سرعت به مقدار نهایی خود نرسد. افزایش ارتفاع بارش به بیش از ارتفاع نهایی (متناظر با سرعت نهایی) تأثیر بسیار جزئی بر تراکم نسبی دارد. ارتفاع نهایی برای یک نوع ماسه بیش از ۱۲۰۰ میلی‌متر گزارش شده است. همچنین هر چه مقدار ذرات خاک ریزتر باشد در نتیجه سرعت ذرات در حین بارش نیز کمتر می‌شود [۱۹].

در شکل ۶ دو ناحیه متمایز در نمودار تغییرات نسبت تخلخل - ارتفاع بارش پیشنهاد شده است [۱۰]. در ناحیه اول اثر تغییرات ارتفاع بارش بر روی تراکم نسبی کاملاً مشهود است. در ناحیه دوم شدت بارش نقش اصلی در تعیین تراکم نسبی را بر عهده دارد. از آنجا که یک نمونه آماده شده در سیستم بارش نسبتاً به تغییرات ارتفاع بارش در ناحیه دوم حساس نمی‌باشد، لذا در این حالت بهتر است با ثابت نگه داشتن ارتفاع و تنظیم شدت بارش،

^۱ Height of fall

^۲ Terminal Velocity

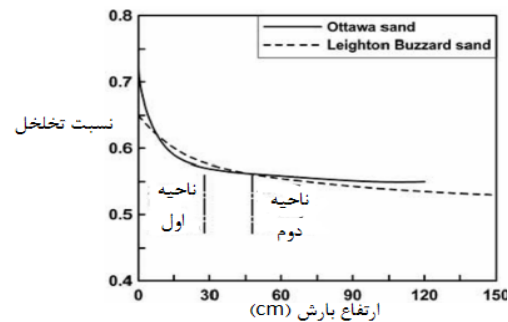
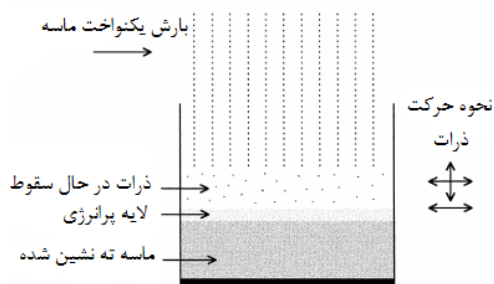
نمونه‌هایی با تراکم مختلف بدست آورد. شایان ذکر است سرعت سقوط ذرات ماسه در هوا خیلی بیشتر از سرعت سقوط در آب می‌باشد. به طور مثال سرعت نهایی برای یک نوع ماسه در آب ۶ سانتی‌متر بر ثانیه و ارتفاع نهایی متناظر بر آن ۰/۲ سانتی‌متر است. در حالیکه برای همین ماسه ارتفاع نهایی بارش در هوا ۲۷۰ سانتی‌متر است. در نتیجه ارتفاع بارش در آب اهمیت چندانی ندارد و نمی‌توان با افزایش آن به تراکم نسبی بیشتری رسید. به همین دلیل اکثر مطالعات بر روی سیستم بارش در هوا انجام شده است.

۲.۳. شدت بارش^۱

شدت بارش مقدار جرم ماسه ریخته شده به مخزن در واحد سطح و زمان می‌باشد و با تغییر سطح موثر خروجی‌های قیف قابل کنترل است. شدت بارش نشانگر اثر اندرکنش‌های داخلی ذرات در هنگام سقوط را نشان می‌دهد. روشهای مختلفی جهت تنظیم شدت جریان بکار برده شده است. می‌توان با تغییر در سرعت حرکت قیف و یا استفاده از خروجی‌هایی با قطر یا عرض متفاوت و یا تقسیم کننده ماسه شدت جریان را تنظیم نمود. در یک ارتفاع بارش ثابت، افزایش شدت بارش منجر به کاهش تراکم نسبی می‌گردد. علت آن نیز این است که در شدت‌های بارش زیاد، فرصت جانمایی مناسب ذرات وجود ندارد. نرخ بارش بیشتر باعث بوجود آمدن اثرات اندرکنشی ذرات می‌گردد که این امر مانع از ایجاد چیدمان پایدار ذرات می‌شود. همچنین نرخ بارش بیشتر ممکن است منجر به محبوس شدن هوا در داخل نمونه گردد که با خروج احتمالی هوای پایین، انرژی جنبشی ذرات در حال سقوط کم شده و در نتیجه تراکم نسبی کاهش می‌یابد [۱۰]. معمولاً انجام بارش با شدت‌های بالا باعث بوجود آمدن غیریکنواختی در نمونه‌های بازسازی شده خواهد گردید.

۳.۳. مکانیزم بارش

به منظور بررسی مکانیزم تراکم ذرات در حین فرآیند بارش، با استفاده از یک مخزن با جداره‌های شفاف یک الگوی متمایز ارائه گردید [۱۷]. دقیقاً بالای لایه رسوب یافته، یک لایه نازک به ضخامت اندازه ۳ تا ۴ ذره با نام لایه پرنرزی شکل می‌گیرد. حرکات ذرات به طور عمده در این لایه به صورت افقی می‌باشد. در بالای لایه پرنرزی منطقه‌ای به ضخامت حداکثر تا ۲۰ میلی‌متر شامل ذرات در حال سقوط و ذرات خارج شده از لایه پرنرزی وجود دارد (شکل ۷). متراکم شدن ذرات در لایه پرنرزی به دو دلیل انجام می‌شود: ۱- حرکت ذرات به سمت مکانهای دارای انرژی پتانسیل حداقل ۲- ایجاد کوبش بوسیله دانه‌های در حال حرکت.



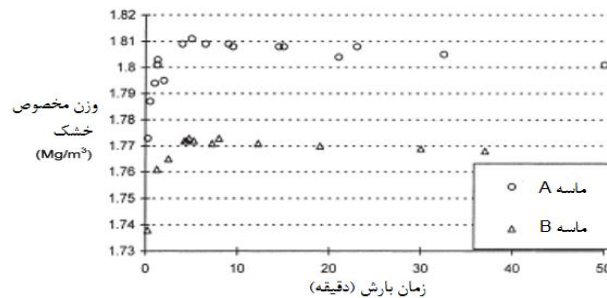
شکل ۷- حالت ذرات ماسه در زمان بهینه بارش

شکل ۶- اثر ارتفاع بارش بر نسبت تخلخل در روش بارش ماسه [۱۰]
[۱۷]

فرآیند فوق در یک زمان بهینه بارش بوجود می‌آید. بدین منظور سه منطقه در نمودار زمان بارش در مقابل وزن مخصوص (شکل ۸) مشاهده می‌گردد.
۱- زمان بارش کوتاه که با شدت بارش زیاد همراه است. این شدت زمان کافی برای ذرات باقی نمی‌گذارند تا ذرات به مکانهای با انرژی پتانسیل حداقل بروند و یا کوبش لازم توسط خود ذرات فراهم آید. به این ترتیب با کاهش زمان بارش مقدار تراکم نسبی نمونه کاهش می‌یابد.

^۱ Deposition Intensity

- ۲- زمان بارش بهینه که در این زمان لایه پراثری به صورت کامل شکل می گیرد.
- ۳- زمان بارش زیاد که بارش به صورت دانه به دانه می باشد. در این حالت نرخ انرژی ذرات برای تشکیل یک لایه پیوسته کافی نمی باشد و لایه پراثری به صورت محلی شکل می گیرد. بدین ترتیب مقدار تراکم نسبی نسبت به حالت بهینه کاهش می یابد.
- با توجه به تقسیم بندی فوق می توان دریافت که هر چه زمان انجام بارش بیشتر از زمان بهینه گردد، مقدار وزن مخصوص افزایش نمی یابد بلکه تا حدودی کاهش می یابد.



شکل ۸- بررسی اثر زمان بارش بر تراکم نسبی در دو نوع خاک A و B [۱۷]

۴.۳. نتایج مطالعات در خصوص کارآیی سیستم بارش

در استفاده از هر سیستم بارش، نیاز به تعیین روابط بین تراکم، ارتفاع و شدت بارش می باشد. با افزایش ارتفاع بارش مقدار تراکم نسبی افزایش می یابد، اما با افزایش شدت بارش مقدار آن کاهش می یابد [۱، ۹، ۱۱، ۱۳]. اثر جداسدگی ذرات در روش بارش ماسه به صورت چشمگیری کاهش پیدا کرده است [۱۹]. دستورالعملی برای طراحی سیستم بارش ماسه وجود دارد [۱۶، ۱۹]. توصیه شده است که برای تهیه نمونه در تراکم های نسبی متفاوت، ضمن ثابت نگه داشتن ارتفاع بارش، شدت بارش را تغییر داد. علاوه بر این از دو الک پخش کننده موازی و افقی در ساخت نمونه استفاده گردد. اگر چنانچه نمی توان ارتفاع بارش را در طول فرآیند تهیه نمونه ثابت نگه داشت آنگاه می بایست ارتفاع بارش بیش از ارتفاع بارش نهایی (متناظر با سرعت نهایی) باشد [۱۶].

ژائو و همکاران^۱ [۱۹] یک دستگاه اتوماتیک بارش ماسه با لوله تک و دارای قابلیت حرکت مطابق یک الگوی خاص را طراحی نمودند. آنها بیان نمودند که اندازه و شکل ظروف نمونه گیری جهت کنترل وزن مخصوص بر روی نتایج تأثیر دارد. استفاده از اکثر سیستم های بارش جهت آماده سازی نمونه های بزرگ با محدودیت هایی همراه است. به طور مثال استفاده از الک های پخش کننده ثابت بسیار هزینه بر است. همچنین سیستم بارش به کمک لوله دارای دو محدودیت اساسی به شرح زیر می باشد:

- ۱- با توجه به اینکه خروجی قیف ثابت می باشد، لذا در هنگام آماده سازی نمونه های بزرگ در نقاط دورتر از مرکز و جداره ها شیب لوله انعطاف پذیر کم شده و جریان ماسه یکنواخت نیست.
 - ۲- هنگام عبور ماسه از لوله صلب، امکان تجمع ذرات ماسه بر روی پخش کننده ها وجود دارد. لذا مساحت خروجی قیف باید طوری در نظر گرفته شود که این امر مانع از ایجاد جریان یکنواخت نباشد. با توجه به این محدودیت، زمان آماده سازی نمونه های بزرگ به شدت افزایش می یابد.
- در جدول ۱ به معرفی و بیان مزایا، معایب و نتایج چند سیستم بارش متفاوت پرداخته شده است.

۴. بررسی یکنواختی نمونه

یکی از مهم ترین مسائل در مطالعات آزمایشگاهی تهیه نمونه ای با تراکم یکنواخت در جهات افقی و عمودی است. تاکنون از روشهای متعددی جهت

^۱ Zhao et al.

بررسی یکنواختی نمونه ماسه‌ای استفاده شده است که به برخی از آنها اشاره می‌گردد: روش آزمایش نفوذ، روش اندازه‌گیری سرعت موج برشی، بررسی تراکم در عمق با استفاده از ظروف نمونه‌گیری تعبیه شده در عمقهای خاص، روش اشباع شیمیایی، روش کنترل نشست، روش استفاده از میله حرارتی [۸، ۹، ۱۳، ۱۶، ۱۹].

غیریکنواختی عمودی به دلیل اثر سربار در زمان تشکیل لایه‌های جدید و در نتیجه فشردگی لایه‌های پایین بوجود می‌آید و اثر آن در تراکم‌های نسبی پایین بیشتر ملاحظه می‌گردد. با توجه به اینکه مقدار اختلاف بین تراکم در بالا و پایین نمونه در نمونه‌های با تراکم و ارتفاع متفاوت، یک معیار برای بررسی یکنواختی عمودی خاک نمی‌باشد، لذا بهتر است که از انحراف معیار مقادیر میانگین تراکم نسبی در هر لایه استفاده شود. [۱۳].

جدول ۱- برخی از مطالعات در خصوص سیستم های بارش

سیستم مورد استفاده	اجزای سیستم	مزایا	معایب
نازل متحرک یا بدون الک پخش کننده [۱۸]	قیف ساکن، لوله انعطاف پذیر، لوله صلب به قطر ماکزیمم ۲۲ میلی متر، الک پخش کننده ($D=1.5m, H=1.2m$)	کم بودن گرد و غبار، روش آسان، به دلیل نازک بودن لایه‌ها اثر لایه‌ها ناچیز است.	زمان بر بودن تهیه نمونه، غیریکنواخت بودن جریان ماسه در چداره‌ها به دلیل احتضال وجود ذرات در لوله صلب
نازل متحرک یا بدون الک پخش کننده [۱۲]	تنظیم کننده شدت جریان به قطرهای ۴ تا ۱۰ میلی متر، الک پخش کننده با ۲۰/۸ درصد سطح سوراخ	---	کم بودن یکنواختی در تراکم‌های پایین، غیریکنواخت بودن جریان در چداره‌ها، احتضال وجود تجمع ذرات در لوله صلب
سیستم مکانیزه نازل متحرک [۱۴]	قیف متحرک به ظرفیت ۵۰ کیلوگرم تنظیم کننده به قطر ۱۵ تا ۵۰ میلی متر تعداد پخش کننده (۰.۲۴، ۰.۳۴، ۰.۴۴)	استفاده از جنس شفاف انتهای لوله جهت مشاهده حرکت ماسه جهت جلوگیری از تجمع آن، یکنواخت بودن جریان در کل سطح نمونه	نیاز به فضای زیاد جهت ساخت آن- زمان‌بر
دو روش ثابت و متحرک- حرکت رفت و برگشتی یک روزنه مستطیلی با دو سرعت [۹]	محفظه فلزی، روزنه مستطیلی، موتور کنترل حرکت	بررسی تأثیر سرعت بارش، توانایی تولید لایه‌های نازک با سطح یکنواخت	تهیه نمونه با سایز کوچک ارتفاع بارش ثابت
بهبود عملکرد سیستم بارش به کمک یک صفحه متخلخل جهت تولید نمونه‌هایی با یکنواختی بیشتر [۱۳]	صفحه روزنه دار جهت کنترل شدت بارش، دو عدد پخش کننده، یک صفحه متخلخل جهت استهلاک انرژی	بررسی کامل یکنواختی عمودی و افقی در نمونه‌های بزرگ مقیاس	فضای زیاد جهت احداث نیاز دارد، هزینه‌بر، نمونه‌های تهیه شده با استفاده از صفحه متخلخل نسبت به نمونه‌های بدون صفحه متخلخل تراکم نسبی پایین‌تری دارند.
بررسی پارامترهای تأثیرگذار در روش بارش به کمک الک- های پخش کننده [۱۶]	مخزن، الک پخش کننده، مخزن متحرک، ریلها و موتور مربوط به جابجایی مخزن متحرک، لوله صلب، الک پخش کننده، قطر خروجی ۵ تا ۹ میلی متر	ارائه دستورالعمل جهت طراحی سیستم بارش و انتخاب متغیرها	در تهیه نمونه‌های بزرگ با مشکل مواجه است. ۱۰ تا ۳۰ دقیقه برای نمونه
بارش پرده‌ای [۱]	مخزن، روزنه مستطیلی دستگاه حرکت اتوماتیک نمونه در جهت قائم و افقی، تقاله تسهیل جهت کنترل عرض پرده	نمونه با یکنواختی بالا، سرعت زیاد، دامنه تراکم زیاد	ابعاد کوچک نمونه
سیستم مکانیزه بارش با لوله تک [۱۹]	مخزن متحرک، ریلها و موتور مربوط به جابجایی مخزن متحرک، لوله صلب، الک پخش کننده، قطر خروجی ۵ تا ۹ میلی متر	افزایش دقت با حذف خطاهای انسانی، ایجاد نمونه‌هایی کاملاً یکنواخت با دامنه وسیعی از تراکم، ارائه دستورالعملی جهت طراحی بارش	هزینه زیاد طراحی سیستم مکانیزه جهت تهیه نمونه‌های بزرگ

۵. نتیجه‌گیری

برای انجام مطالعات آزمایشگاهی، بازسازی و تهیه نمونه‌های ماسه به صورت یکنواخت و تکرارپذیر با شرایط موجود در محل لازم و ضروری است. در این تحقیق روشهای مختلف بازسازی نمونه‌های ماسه ارائه شده است. با در نظر گرفتن مزایا، معایب و کاربرد روشهای مختلف و با استفاده

نتایج	دامنه تراکم: بدون الک ۲۰٪-۷۰٪ بالک تا ۹۰٪ - حدود ۸ ساعت تهیه نمونه	دامنه تراکم: در خاک اول ۴۵٪-۱۰۰٪ در خاک دوم ۳۶٪-۱۰۰٪	کاهش تراکم با افزایش تعداد پخش کننده‌ها به بیش از ۲ عدد در یک ارتفاع و شدت بارش ثابت، افزایش شدت بارش به صورت درجه دوم با افزایش سایز روزنه خروجی	بررسی اثر خروجی و سرعت حرکت بر روی تراکم توصیه به سرعت حرکت ۴ cm/s برای تهیه نمونه‌های عمای بزرگ	با استفاده از یک صفحه متخلخل می‌توان به نمونه‌های یکپارحت‌تر دست یافت. هرچه تراکم نسبی افزایش یابد آنگاه یکپارختی نمونه نیز افزایش می‌یابد.	نسبت روزنه‌داری الک‌های پخش کننده بر تراکم نسبی اثر بیشتری دارد و اثر ارتفاع بارش و الگوی منافذ پخش کننده اثر کمتری دارد. اثر ارتفاع ماسه در مخزن، فاصله بین الک‌های پخش کننده، تعداد الک‌ها و فاصله بین مخزن و الک‌های پخش کننده بر تراکم نسبی ناچیز است.	افزایش تراکم نسبی با افزایش ارتفاع بارش، کاهش تراکم با افزایش عرض پرده که این تأثیر در ارتفاعهای بارش کم قابل توجه است. کاهش یکپارختی نمونه با افزایش عرض پرده	زمان بر جهت نمونه‌های بزرگ، تهیه نمونه‌هایی با تراکم متوسط و زیاد، تهیه نمونه‌هایی با تراکم متوسط و مثل
-------	---	---	---	---	---	--	--	---

از امکانات موجود، انتخاب یک روش قابل اعتماد، تکرارپذیر و منطبق بر شرایط آزمایش جهت بازسازی نمونه‌ها ماسه با دانسیته مشخص، با تأکید بر کاهش زمان مورد نیاز قطعاً بسیار حائز اهمیت است. لذا مطالعات تکمیلی و ارائه و طراحی روشهای ترکیبی مطابق با شرایط خاص هر مدل‌سازی نیاز می‌باشد. در بین سیستم‌های معرفی شده، سیستم بارش به دلیل توانایی در شبیه‌سازی مکانیزم رسوب خاک در طبیعت و قابلیت تهیه طیف‌های وسیعی از نمونه‌های کوچک (آزمایش سه محوری) تا نمونه‌های بزرگ (آزمایشات مدل‌سازی فیزیکی) به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۶. مراجع

- Stuit, H. G. (۱۹۹۵). Sand in the geotechnical centrifuge (Doctoral dissertation, TU Delft, Delft University of Technology).
- Kuerbis, R., & Vaid, Y. P. (۱۹۸۸). Sand sample preparation-the slurry deposition method. SOILS AND FOUNDATIONS, ۲۸(۴), ۱۰۷-۱۱۸.
- Lo Presti, D. C. F., Pedroni, S., & Crippa, V. (۱۹۹۲). Maximum dry density of cohesionless soils by pluviation and by ASTM D ۴۲۵۳-۸۳: A comparative study. ASTM geotechnical testing journal, ۱۵(۲), ۱۸۰-۱۸۹.
- MIURA, S. and TOKI, S. (۱۹۸۲). A sample preparation method and its effect on static and cyclic deformation-strength properties of sand. SOILS AND FOUNDATIONS, ۲۲(۱), ۶۱-۷۷.
- Konrad, J. M. (۱۹۹۸). Sand state from cone penetrometer tests: a framework considering grain crushing stress. Geotechnique, ۴۸(۲), ۲۰۱-۲۱۵.
- Vaid, Y. P., Sivathayalan, S., & Stedman, D. (۱۹۹۹). Influence of specimen-reconstituting method on the undrained response of sand. ASTM geotechnical testing journal, ۲۲(۳), ۱۸۷-۱۹۵.
- Boushehrian, J. H., & Hataf, N. (۲۰۰۳). Experimental and numerical investigation of the bearing capacity of model circular and ring footings on reinforced sand. Geotextiles and Geomembranes, ۲۱(۴), ۲۴۱-۲۵۶.
- Brandon, T. L., Clough, G. W., & Rahardjo, P. P. (۱۹۹۱). Fabrication of silty sand specimens for large and small scale tests. Geotechnical Testing Journal, ۱۴(۱), ۴۶-۵۵.
- Lo Presti, D. C., Berardi, R., Pedroni, S., & Crippa, V. (۱۹۹۳). A new traveling sand pluviator to reconstitute specimens of well-graded silty sands. Geotechnical Testing Journal, ۱۶, ۱۸-۱۸.



نهمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۲۱ و ۲۲ اردیبهشت ماه ۱۳۹۵
دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران



۱۰. Vaid, Y. P., & Negussey, D. (۱۹۸۸). Preparation of reconstituted sand specimens. Advanced triaxial testing of soil and rock, ASTM STP, ۹۷۷, ۴۰۵-۴۱۷.
۱۱. Lagioia, R., Sanzeni, A., & Colleselli, F. (۲۰۰۶). Air, water and vacuum pluviation of sand specimens for the triaxial apparatus. Soils and foundations, ۴۶(۱), ۶۱-۶۷.
۱۲. Dave, T. N., & Dasaka, S. M. (۲۰۱۲). Assessment of portable traveling pluviator to prepare reconstituted sand specimens. Geomechanics and Engineering, ۴(۲), ۷۹-۹۰.
۱۳. Choi, S. K., Lee, M. J., Choo, H., Tumay, M. T., & Lee, W. (۲۰۱۰). Preparation of a large size granular specimen using a rainer system with a porous plate. ASTM geotechnical testing journal, ۳۳(۱), ۴۵-۵۴.
۱۴. Gade, V. K., & Dasaka, S. M. (۲۰۱۵). Development of a Mechanized Traveling Pluviator to Prepare Reconstituted Uniform Sand Specimens. Journal of Materials in Civil Engineering, ۰۴۰۱۵۱۱۷.
۱۵. محمدی، س. د. و اجل لوثیان، ر. (۱۳۹۲)، بررسی مطلوبیت روش بارش ماسه برای نمونه‌سازی خاک‌های ماسه‌ای در مدل‌های آزمایشگاهی. *عمران مدرس*، ۱۴(۴)، ۵۳-۶۳.
۱۶. Rad, N. S., & Tumay, M. T. (۱۹۸۷). Factors affecting sand specimen preparation by raining. Geotechnical Testing Journal, ۱۰(۱), ۳۱-۳۷.
۱۷. Cresswell, Andrew, Max E. Barton, and Robin Brown. "Determining the maximum density of sands by pluviation." ASTM geotechnical testing journal ۲۲,۴ (۱۹۹۹): ۳۲۴-۳۲۸.
۱۸. Fretti, C., Lo Presti, D. C. F., & Pedroni, S. (۱۹۹۵). A pluviial deposition method to reconstitute well-graded sand specimens. ASTM geotechnical testing journal, ۱۸(۲), ۲۹۲-۲۹۸.
۱۹. Zhao, Y., Gafar, K., Elshafie, M. Z. E. B., Deeks, A., Knappett, J., & Madabhushi, S. (۲۰۰۶). Calibration and use of a new automatic sand pourer. Physical modelling in Geotechnics, ۶th ICPMG'۰۶, ۲۶۵-۲۷۰.