بازسازی نمونه‌های ماسه‌ای بزرگ مقیاس با دانسیته‌ی نسبی معین با استفاده از دستگاه بارش تلفیقی

نرگس سلیمانیان[۱]، علی اخترپور[۲*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد خاک و پی، narges.soleimanian@mail.um.ac.ir
۲- استادیار گروه عمران دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، akhtarpour@ferdowsi.um.ac.ir

چکیده

در سالهای اخیر به منظور ساخت نمونه‌های بازسازی شده‌ی ماسه در دانسیته‌های مختلف برای شبیه‌سازی زمین در شرایط واقعی و انجام برخی آزمایشات، از روش بارش ماسه استفاده می‌شود. در این تحقیق از ماسه استاندارد سیلیسی شکسته فیروزکوه که به اختصار ماسه ۱۶۱ نامیده می‌شود و روش تلفیقی بارش پرده‌ای و بارش با الک پخش کننده استفاده شده است. در این سیستم دریچه بارش از پرده هایی با قطرهای مختلف، برای ایجاد شدت بارش‌های متفاوت ساخته شده است و برای افزایش درصد تراکم و یکنواختی از الک پخش کننده استفاده شده‌است. این سیستم قادر به تولید نمونه آزمایشگاهی در تراکم‌های نسبی ۱۵ الی ۹۴/۵ درصد می‌باشد، همچنین این سیستم توانایی تولید نمونه‌هایی با یکنواختی زیاد دارد. برای بررسی مطلوبیت دستگاه بارش پیشنهادی، مجموعه‌ای از آزمایش‌ها انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد برای این نوع ماسه با افزایش عرض پرده، تراکم نسبی کاهش می‌یابد و با افزایش ارتفاع بارش، تراکم نمونه افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: بازسازی نمونه‌های ماسه‌ای، بارش پرده‌ای، تراکم نسبی، شدت بارش.

۱- مقدمه

امروزه در آزمایش‌های ژئوتکنیک نیاز به تولید نمونه‌های دست نخورده می‌باشد که به دلیل مشکلات و هزینه‌های زیاد در تولید، از روش‌های بازسازی نمونه در آزمایش‌ها استفاده می‌گردد. مطالعات بسیاری در زمینه بازسازی نمونه‌ها به حالت اولیه، توسط محققین صورت گرفته است که در این تحقیقات، یکنواختی لایه‌ها، ایجاد دامنه گسترده‌ای از تراکم نسبی و همچنین جدا نشدن ذرات بسیار مورد توجه قرار گرفته است. اخیرا از روش بارش ماسه، به دلیل ایجاد دامنه‌ی گسترده‌ای از تراکم در آماده سازی نمونه‌های آزمایش‌های ژئوتکنیکی استفاده می‌شود.

اودا و همکاران [۱] در سال ۱۹۷۸، تحقیقاتی در زمینه‌ی بازسازی نمونه‌های خاک به حالت اولیه با استفاده از دستگاه بارش به همراه الک‌های پخش کننده پرداختند. آنها توانستند نمونه‌هایی از ماسه با تراکم نسبی بالاتر نسبت به سایر روش‌های بازسازی بدست آورند، همچنین دریافتند در این روش اثر جداشدگی ذرات به حداقل مقدار خود می‌رسد. میورا و توکی [۲] در سال ۱۹۸۲، با طراحی دستگاه بارش، به بررسی عملکرد پارامتر ارتفاع بارش و ارتباط آن با تراکم نسبی پرداختند، آنها به این نتیجه رسیدند که افزایش ارتفاع بارش تاثیر چندانی در افزایش تراکم نسبی نمونه‌ها ندارد. در ادامه راد و تامی [۳] در سال ۱۹۸۷، به بررسی ارتباط بین دو پارامتر مهم بارش، یعنی ارتفاع بارش و شدت بارش با تراکم نسبی پرداختند و به این نتیجه

رسیدند که با افزایش ارتفاع بارش، تراکم نسبی نمونه افزایش می‌یابد و با افزایش شدت بارش، تراکم نسبی نمونه کاهش می‌یابد. لوپرستی و همکاران [۴] در سال ۱۹۹۳ نیز با استفاده از روش بارش ماسه، بازسازی نمونه‌ها را مورد بررسی قرار دادند و به نتایج مشابه دست یافتند.

استویت و همکاران [۵] در سال ۱۹۹۵ یک سیستم جدید بارش ماسه، به نام سیستم بارش پرده‌ای ارائه کردند. در این سیستم می‌توان به طیف گسترده‌تری از تراکم نسبی خاک دست یافت و نمونه‌هایی با یکنواختی بالاتر تولید کرد همچنین در این روش می‌توان در زمان کمتری به تراکم مورد نظر دست یافت. با توجه به تحقیقات صورت گرفته در این زمینه چین و همکاران [۶] در سال ۲۰۱۰، دستورالعملی برای طراحی سیستم بارش ماسه ارائه کردند که در این سیستم به علت تاثیر کم پارامتر ارتفاع بارش بر تراکم نسبی، این پارامتر ثابت در نظر گرفته شد و با تغییر در شدت بارش به تراکم‌های مختلف دست یافتند. بلوری بزاز و کاظمی [۷] در سال ۱۳۹۵، به بازسازی نمونه‌های بزرگ ماسه‌ای به روش بارش پرده‌ای متحرک پرداختند، آنها دریافتند که با افزایش سرعت حرکت پرده بارش، تراکم نسبی نمونه افزایش می‌یابد و همچنین افزایش شدت بارش باعث کاهش تراکم می‌شود. در همین راستا در سال ۲۰۱۷، بلوری بزاز و عبداللهی [۸]، برای بازسازی نمونه‌ها از روش تلفیقی بارش پرده‌ای متحرک و بارش با الک پخش کننده، استفاده کردند و در این پژوهش مشاهده شد می‌توان با تلفیق این دو روش مقدار تراکم نسبی را به شدت افزایش داد ولی طیف دامنه تراکم نسبی کاهش پیدا می‌کند، همچنین آنها توانستند نمونه‌هایی با یکنواختی بسیار زیاد و درصد خطای ناچیز، مدلسازی کنند.

هدف از بیشتر پژوهش‌هایی که تا کنون در این زمینه صورت گرفته است ساخت نمونه‌هایی دست نخورده با مقیاس بزرگ بوده است، ولی با توجه به محدودیت‌های موجود در استفاده از این سیستم‌های بارش برای پر کردن مخزن‌هایی با ضخامت کم، این پژوهش به طراحی سیستم بارش ماسه‌ای با قابلیت تولید دامنه‌ی تراکم نسبی زیاد می‌پردازد. بدین منظور، یک دستگاه بارش با تلفیق دو روش بارش پرده‌ای و بارش با الک پخش کننده، مناسب استفاده در مدل‌هایی با ضخامت کم، طراحی شده است. از ویژگی این دستگاه می‌توان به ایجاد یکنواختی بسیار زیاد در دو راستای عمودی و افقی اشاره کرد.

۲- نوع خاک مصرفی

در پژوهش حاضر از ماسه استاندارد سیلیسی شکسته فیروزکوه که به اختصار ماسه ۱۶۱ نامیده می‌شود، استفاده شده است. به علت مشابهت خصوصیات این ماسه با سایر ماسه‌هایی که مورد پژوهش قرار می‌گیرد، امکان مقایسه‌ی نتایج وجود دارد. سایر مشخصات فیزیکی این ماسه در جدول ۱ ارائه شده است. در بسیاری از پژوهش‌های آزمایشگاهی به منظور جلوگیری از اثر جداشدگی ذرات خاک، از ماسه با دانه‌بندی یکنواخت استفاده می‌شود.

جدول۱- مشخصات ماسه ۱۶۱ فیروزکوه.

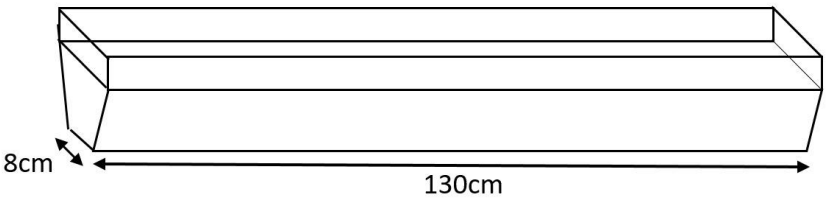
e_{max}	e_{min}	G_s	D_{50}	D_{10}	D_{60}
۰/۹۴۳۴	۰/۶۱۰۵	۲/۶۵۶	۰/۲۰	۰/۱۴	۰/۲۴

۳- معرفی دستگاه بارش

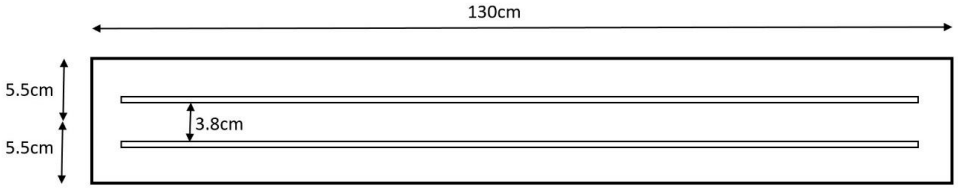
برای بازسازی نمونه های ماسه با دامنهٔ وسیعی از تراکم نسبی و یکنواختی زیاد، در این تحقیق از یک دستگاه بارش با تلفیق دو روش بارش پرده‌ای و بارش با الک پخش کننده استفاده شده‌است. این دستگاه شامل یک مخزن ذوزنقه‌ای جهت ذخیره سازی خاک و در انتهای آن، صفحات با دو روزنه مستطیلی به طول ۱۲۰ سانتی‌متر و عرض‌های ۲ تا ۴ میلی‌متر طراحی شده است. با توجه به مستطیلی بودن مخزن و ضخامت کم آن نیاز به متحرک بودن سیستم بارش نمی باشد. با توجه به اینکه هدف از این دستگاه بارش، پر کردن مخزن‌هایی با ضخامت کم می‌باشد، این سیستم محدودیت‌های دستگاه‌های بارش ساخته شده توسط محققین قبلی را نداشته و به راحتی قابل انتقال می‌باشد و خالی کردن مخزن به راحتی صورت

می‌گیرد. برای افزایش تراکم و یک نواختی از یک الک پخش کننده با چشمه بارش مربعی با ابعاد ۲/۵×۲/۵ میلی‌متر استفاده شده‌است. شکل ۱ و۲ نشان دهنده‌ی دستگاه بارش طراحی شده و مخزن بارش می‌باشد. شکل‌های ۳ و ۴، نمونه‌ای از پرده‌ی بارش و الک پخش کننده را نشان می‌دهد.

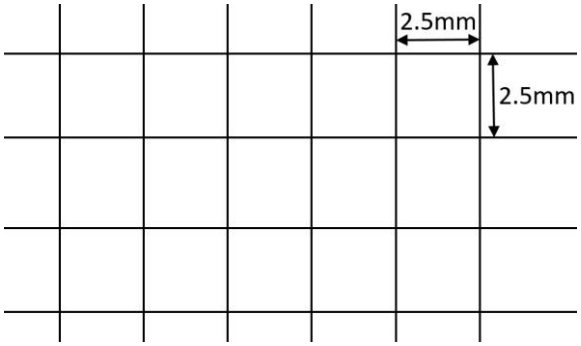
شکل۱- دستگاه بارش.



شکل۲- مخزن بارش.



شکل۳- صفحه‌ی پرده بارش با عرض ۲ میلی‌متر.



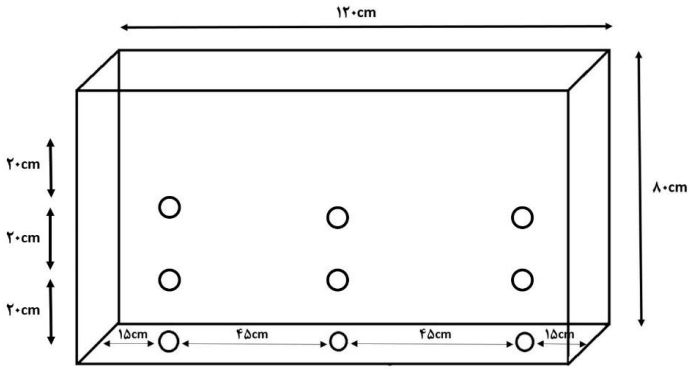
شکل۴- ابعاد الک پخش کننده.

۴- معرفی آزمایشات

در این پژوهش به منظور بررسی مطلوبیت روش بارش، آزمایش‌هایی جهت تعیین ارتباط تراکم نسبی خاک با ارتفاع و شدت بارش متفاوت انجام شده‌است. برای تعیین یکنواختی نمونه، آزمایش لازم در دو جهت افقی و عمودی در داخل مخزن انجام شده‌است. برای تعیین تراکم ماسه از تعداد ۳ ظرف نمونه برداری هم اندازه که محل قرار گیری آنها با توجه به فرم مخزن، در یک راستا و به فواصل مساوی می‌باشد، استفاده شده‌است. مشخصات ظروف نمونه برداری در جدول ۲ و طرز قرار گیری آنها در شکل ۵ نشان داده شده‌است.

جدول۲- مشخصات ظروف نمونه گیری.

ظرف نمونه گیری	وزن (گرم)	حجم (سانتی‌متر مکعب)
۱	۲۴	۸۸
۲	۲۴	۸۸
۳	۲۴	۸۸



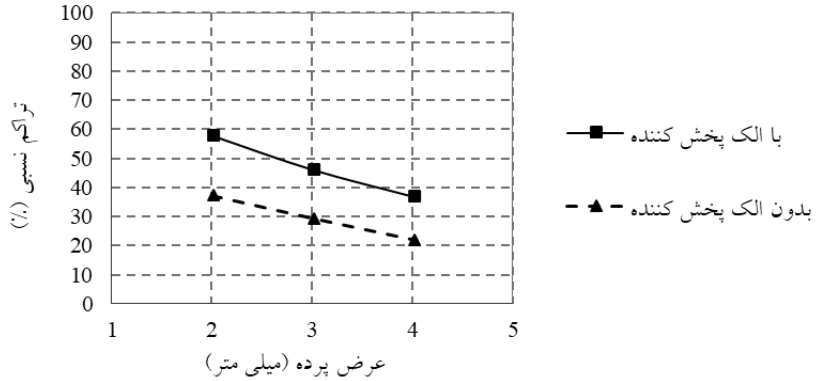
شکل۵- محل قرارگیری نمونه‌ها در مخزن.

۵-تحلیل و بررسی نتایج

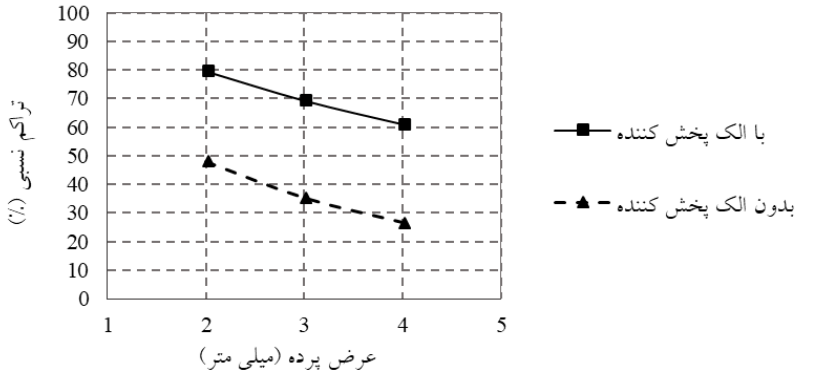
۵-۱- تعیین اثر شدت بارش بر تراکم نسبی

برای سیستم استفاده شده در این تحقیق، شدت بارش توسط پارامتر تغییر عرض پرده کنترل شده است. برای این منظور از روزنه های ۲، ۳، و۴ میلی‌متر استفاده شده است. همچنین ارتفاع‌های بارش بررسی شده ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ تا ۱۳۰ سانتی‌متر

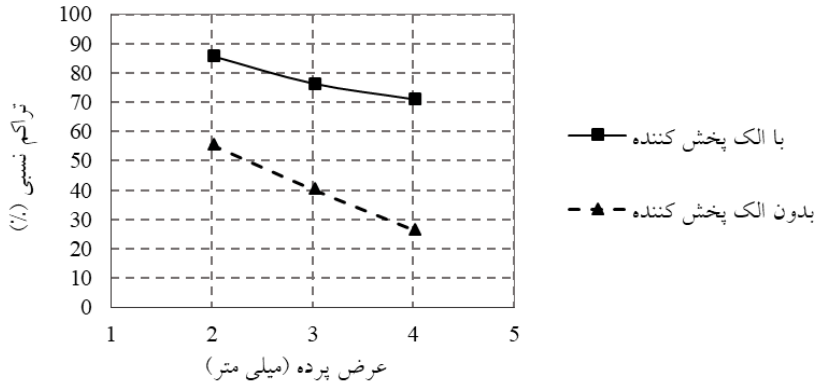
می‌باشد. ارتفاع بارش، فاصلهٔ پایین ترین قسمت خروجی ماسه تا سطح فوقانی لایه ماسه‌ی درون مخزن می باشد. ضخامت لایه خاک ریخته شده در آزمایش ۲ سانتی‌متر بوده‌است. شکل‌های ۶، ۷، ۸ و ۹ نمونه‌ای از نتایج تاثیر افزایش عرض پرده بارش بر تراکم نسبی را نشان می‌دهد. در این نمودارها، مقایسه بین دو حالت: الف) عدم وجود الک پخش کننده و ب) وجود الک پخش کننده، صورت گرفته است. نتایج در این بخش نشان می‌دهد با افزایش شدت بارش، تراکم نسبی نمونه کاهش می‌یابد و الک پخش کننده باعث افزایش چشمگیر تراکم نسبی شده است. با افزایش ارتفاع بارش، اختلاف بین دو حالت الف و ب بیشتر شده و دامنه تراکم نسبی کاهش یافته است.



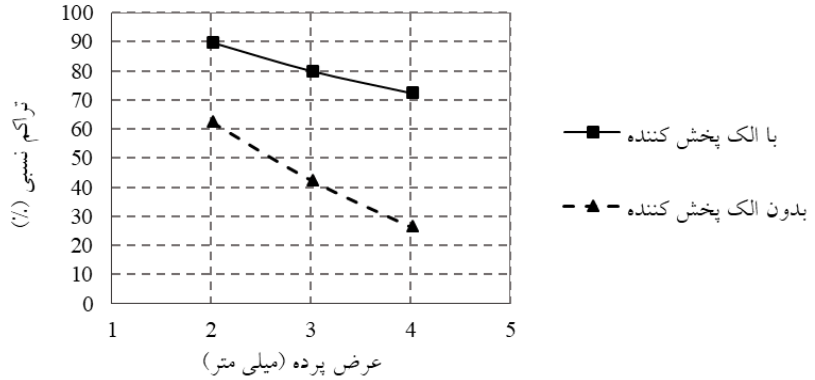
شکل۶- تاثیر عرض پرده‌ی بارش بر تراکم نسبی در ارتفاع بارش ۳۰ سانتی‌متر.



شکل۷- تاثیر عرض پرده‌ی بارش بر تراکم نسبی در ارتفاع بارش ۶۰ سانتی‌متر.



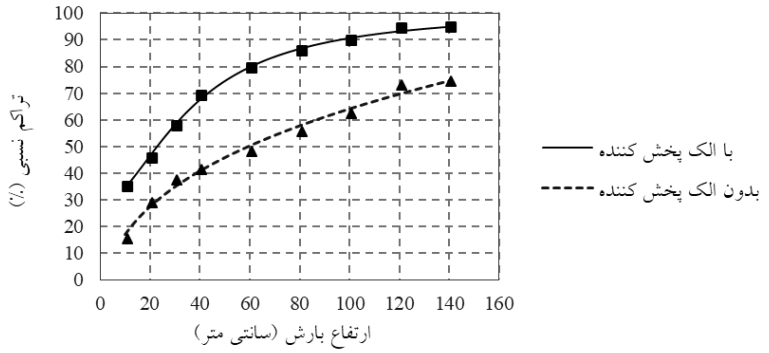
شکل۸- تاثیر عرض پرده‌ی بارش بر تراکم نسبی در ارتفاع بارش ۸۰ سانتی‌متر.



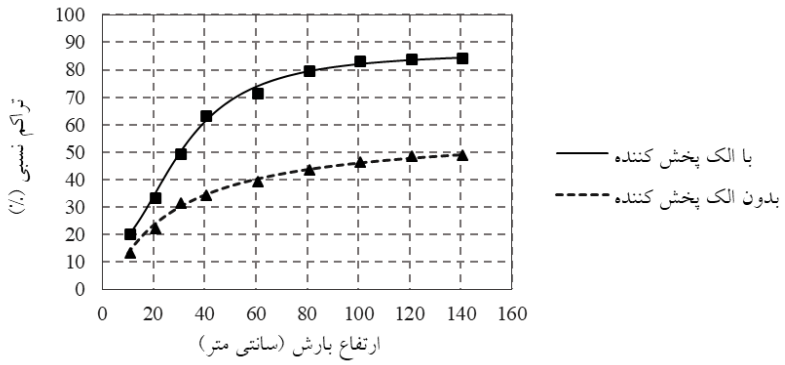
شکل۹- تاثیر عرض پرده‌ی بارش بر تراکم نسبی در ارتفاع بارش ۱۰۰ سانتی‌متر.

۵-۲- تعیین اثر تغییر ارتفاع بر تراکم نسبی

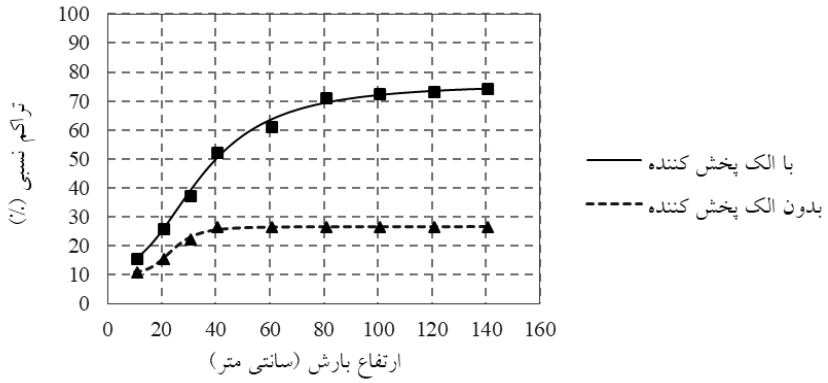
برای بررسی اثر تغییر ارتفاع بر تراکم، در سه عرض پرده‌ی ۲، ۳ و ۴ میلی‌متر، در ارتفاع‌های مختلف ۲۰ تا ۱۳۰سانتی‌متر تست بارش انجام شده‌است. ضخامت لایه خاک ریخته شده در هر مرحله از آزمایش ۲ سانتی‌متر بوده‌است. شکل‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ نشان دهنده تغییرات تراکم نسبی با ارتفاع می‌باشد. در این نمودارها، مقایسه بین دو حالت: الف) عدم وجود الک پخش کننده و ب) وجود الک پخش کننده، صورت گرفته است. نتایج نشان می‌دهد با افزایش ارتفاع تراکم نسبی افزایش می‌یابد. الک پخش کننده در این بخش باعث افزایش تراکم نسبی شده است و این افزایش تراکم در شدت بارش‌های زیاد مشهود است.



شکل۱۰- تاثیر ارتفاع بارش بر تراکم نسبی با چشمه‌ی بارش ۲ میلی‌متر.



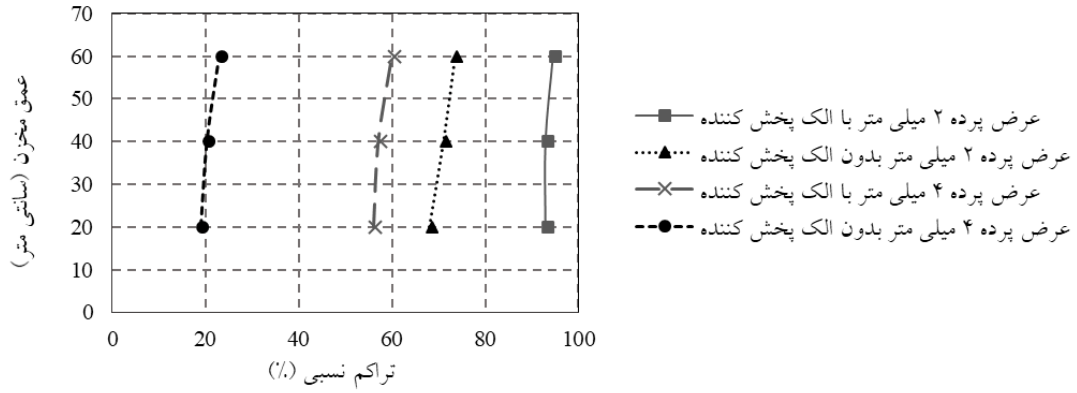
شکل۱۱- تاثیر ارتفاع بارش بر تراکم نسبی با چشمه‌ی بارش ۳ میلی‌متر.



شکل۱۲- تاثیر ارتفاع بارش بر تراکم نسبی با چشمه‌ی بارش ۴ میلی‌متر.

۵-۳- کنترل یک نواختی نمونه

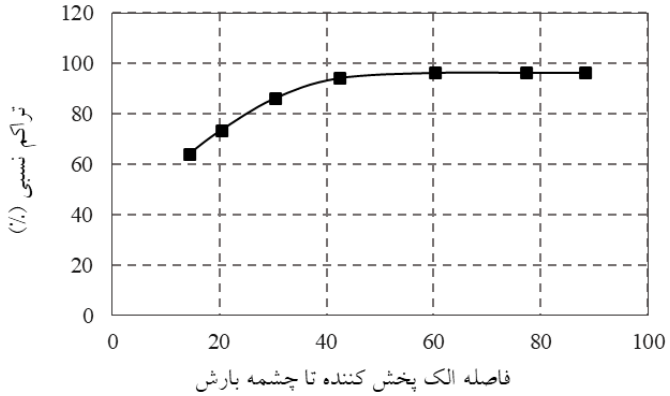
یکی از اهداف مهم در این روش، تولید نمونه‌هایی با یکنواختی بالا در جهات افقی و عمودی بوده‌است. یکنواختی تراکم در روش پیشنهادی با عرض پرده ۲ و ۴ میلی‌متر و در ارتفاع بارش ۱۲۰ سانتی‌متر بررسی شده است. ضخامت بارش خاک در هر مرحله ۲ سانتی‌متر در نظر گرفته شده‌است. در این مرحله از آزمایش فاصله الک پخش کننده تا چشمه‌ی بارش، ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است. برای تعیین تراکم، در محل نمونه‌ها ابتدا با قرار دادن ۳ ظرف در کف مخزن، بارش شروع و هنگامی که ارتفاع ماسه به ارتفاع مورد نظر رسید، آنگاه بارش متوقف و ظرف‌های نمونه جدید را قرار می‌دهیم. این فرایند تا پر شدن کامل مخزن ادامه می‌یابد. فاصله بین نمونه‌ها با توجه به شکل ۵ برابر در نظر گرفته شده‌است. خاک در مخزن تا ارتفاع ۶۰ سانتی‌متری پر می‌شود. با توجه به شکل ۱۳، نتایج نشان می‌دهد به علت استفاده از الک پخش کننده، یکنواختی در راستای عمودی بسیار زیاد است.



شکل۱۳- بررسی یکنواختی عمودی دستگاه بارش.

۵-۳- تاثیر فاصله الک پخش کننده تا چشمه‌ی بارش بر تراکم نسبی

در این مرحله از آزمایش، ارتفاع مخزن بارش ثابت و برابر ۱۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده‌است. به علت تاثیر بیشتر الک پخش کننده بر شدت‌های بارش بیشتر، با قرار دادن پرده‌ی بارش با عرض ۴ میلی‌متر، فاصله‌ی الک پخش کننده تا پرده بارش در فواصل مختلف تغییر داده شد و آزمایش‌های مربوط به تراکم انجام شد. شکل ۱۴ نشان می‌دهد با افزایش فاصله الک پخش کننده تا پرده بارش، تراکم نسبی افزایش می‌یابد و انتظار می‌رود یکنواختی نیز افزایش یابد.



شکل۱۴- بررسی تاثیر تغییر در فاصله بین الک پخش کننده تا پرده‌ی بارش، در عرض پرده ۴ میلی‌متر.

۶- نتیجه‌گیری

۱- در یک ارتفاع ثابت با کاهش شدت بارش، تراکم نسبی نمونه افزایش می‌یابد. به طور مثال در ارتفاع بارش ۱۰۰ سانتیمتر، با تغییر چشمه‌ی بارش از ۴ به ۲ میلیمتر تراکم نسبی در حالت بدون الک پخش کننده ۵۷,۶٪ و در حالت استفاده از الک پخش کننده ۱۹,۳۵٪ افزایش یافته است. تفاوت افزایش درصد تراکم در دو حالت بدون استفاده از الک پخش کننده و با استفاده از الک پخش کننده، نشان دهنده‌ی کاهش دامنه تراکم نسبی در حالت استفاده از الک پخش کننده می‌باشد.

۲- با افزایش ارتفاع بارش، تاثیر استفاده از الک پخش کننده در شدت بارش‌های مختلف بیشتر می‌شود و تراکم نسبی نمونه افزایش می‌یابد. به طور مثال در چشمه‌ی بارش ۴ میلیمتر و در ارتفاع بارش ۳۰ سانتیمتر، تراکم نسبی نمونه با استفاده از الک پخش کننده ۴۰,۱۷٪ افزایش یافته است در حالی که استفاده از الک پخش کننده در ارتفاع بارش ۶۰ و ۱۰۰ سانتیمتر، با همان چشمه‌ی بارش، به ترتیب به میزان ۵۶,۴۶٪ و ۶۳,۴۱٪ ، تراکم نسبی نمونه را افزایش داده است.

۳- در شدت‌های بارش زیاد، تاثیر استفاده از الک پخش کننده بر افزایش تراکم نسبی نمونه، بیشتر است برای مثال در ارتفاع بارش ثابت ۸۰ سانتیمتر، افزایش درصد تراکم نسبی نمونه با استفاده از الک پخش کننده، برای چشمه‌ی بارش ۲ و ۴ میلیمتر به ترتیب ۳۵,۳۳٪ و ۶۲,۶۲٪ می‌باشد.

۴- در یک شدت بارش ثابت، با افزایش ارتفاع بارش، تراکم نسبی نمونه افزایش می‌یابد. همانطور که در شکل‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ دیده شد، در چشمه‌ی بارش ثابت ۴ میلیمتر، با افزایش ارتفاع بارش از ۱۰ سانتیمتر به ۱۴۰ سانتیمتر، درصد تراکم نسبی در حالت بدون استفاده از الک پخش کننده و با استفاده از الک پخش کننده به ترتیب ۵۹,۹۶٪ و ۷۹,۲۴٪ افزایش یافته است. همچنین در چشمه‌ی بارش ۳ میلیمتر نیز این افزایش تراکم با تغییر در ارتفاع، برای حالت بدون استفاده از الک پخش کننده و با استفاده از الک پخش کننده به ترتیب به میزان ۷۲,۹۶٪ و ۷۶,۳۹٪ افزایش یافته است.

۵- یکنواختی عمودی نمونه در شدت بارش‌های کم بیشتر است و استفاده از الک پخش کننده باعث افزایش یکنواختی نمونه‌ها می‌شود. برای مثال در حالت بدون استفاده از الک پخش کننده، برای چشمه‌ی بارش ۲ و ۴ میلیمتر، درصد خطای یکنواختی به ترتیب ۳,۹۵٪ و ۸,۴۷٪ می‌باشد که این درصد خطا در صورت استفاده از الک پخش کننده برای چشمه‌ی بارش ۲ و ۴ میلیمتری به ۱,۱۳٪ و ۴,۱۷٪ کاهش می‌یابد.

۶- با ثابت در نظر گرفتن چشمه‌ی بارش، با افزایش فاصله الک پخش کننده از چشمه‌ی بارش، تراکم نسبی نمونه افزایش می‌یابد. برای مثال با در نظر گرفتن ارتفاع بارش ثابت ۱۳۰ سانتیمتر و چشمه‌ی بارش ۴ میلیمتری، می-

توان با افزایش فاصله الک پخش کننده تا چشمه‌ی بارش از ۱۰ تا ۹۰ سانتیمتر، تراکم نسبی نمونه را به میزان ۳۳,۸۱٪ افزایش داد.

مراجع

[1] Oda M, Koishikawa I, and Higuchi T. Experimental study of anisotropic shear strength of sand by plane strain test. Soils and Foundations, 18(1): 25-38, 1978.

[2] Miura S, Toki S. A sample preparation method and its effect on static and cyclic deformation-strength properties of sand. Soils and Foundations, 22(1): 61-77, 1982.

[3] Rad N. S, Tumay M. T. Factors affecting sand specimen preparation by raining. Geotechnical Testing Journal, 10(1): 31-37, 1987.

[4] Lo Presti D. C, Berardi R, Pedroni S, Crippa V. A new traveling sand pluviator to reconstitute specimens of well-graded silty sands. Geotechnical Testing Journal, 16: 18-26 1993.

[5] Stuit H. G. Sand in the geotechnical centrifuge. Doctoral dissertation, TU Delft, Delft University of Technology, 1995.

[6] Chian S. C, Stringer M. E, Madabhushi S. P. G. Use of automatic sand pourers for loose sand models. In Proceedings of VII international conference on physical model in geotechnics (ICPMG 2010), Zurich. Taylor & Francis 117-121, 2010.

[۷] کاظمی، م.، بلوری بزاز، ج. بازسازی نمونه‌های بزرگ ماسه‌ای با روش بارش پرده‌ای ماسه، نشریه زمین‌شناسی مهندسی، ۱۳۹۶.

[8] Abdollahi M, Bolouri Bazaz J. Reconstitution of sand specimens using a rainer system. International journal of engineering, 30(10): 1451-1463, 2017.