مجله علمی – پژوهشی مهندسی عمران مدرس دوره ۲۴، شماره ۶۰ سال ۱۴۰۳ صفحات ۲۳ تا ۲۷



# مطالعه آزمایشگاهی رفتار پی نواری لبهدار شده با ریزشمع بر روی ماسه به روش مدلسازی فیزیکی

بهراد بختیاری'، آرش رزم خواه'\*، حسن قاسمزاده"، فرجالله عسکری ٔ

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی ژئوتکنیک، دانشکده فنی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. ۲- استادیار گروه مهندسی ژئوتکنیک، دانشکده فنی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. ۳- دانشیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی تهران، خیابان میرداماد. ٤- استاد پژوهشکده مهندسی ژئوتکنیک، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.

a\_razmkhah@azad.ac.ir:ايميل

تاريخ پذيرش:[١٤٠٣/٠٦/١١]

#### چکیدہ

امروزه افزایش ظرفیت باربری و کاهش نشست در پی.ها به ویژه در پی ساختمان.های موجود، به یکی از موضوعات مهم در رشته مهندسی ژئوتکنیک تبدیل شده است. بطور کلی در مواجهه با خاکهای سست با قابلیت باربری کم با نشست زیاد یکی از راههای پیش روی مهندسان استفاده از المان،ای باربر در خاک می،باشد. در این میان ریزشمع علاوه بر آنکه به عنوان یک المان باربر و مقاوم در برابر نشست عمل میکند. به دلیل تزریق دوغاب سیمان، سبب بهبود مشخصات مقاومتی خاک اطراف نیز میشود. در بسیاری از پروژهها، از ریزشمعها به عنوان عناصر سازهای استفاده میشود. ریزشمعها در واقع شمعهای جانشینی کوچکی (معمولا با قطر کمتر از ۳۰۰ میلیمتر) هستند که بیشتر با تقویت فولادی و تزریق دوغاب سیمان همراه میباشند. در این مطالعه با استـــفاده از مدلسازی فیزیکی، به بررسی تاثیر استفاده از ریزشمع به منظور لبهدار کردن پی مستقر بر بستر ماسهای پرداخته شد. برای این منظور در ابتدا اثر شرایط مرزی محفظه ماسه، بر نتایج مورد بررسی قرار گرفت. بررسی اثر فاصله پی از سطح تحتانی محفظه فولادی نسبت به عرض پی نشان داد که وقتی فاصله پی از سطح تحتانی محفظه کمتر از دو برابر عرض پی باشد. مرز پایین بر نتایج مدلسازی فیزیکی تأثیر میگذارد. ارزیابی مرزهای جانبی با در نظر گرفتن فاصله پی از دیواره محفظه نسبت به عرض پی نشان داد که اگر فاصله پی از جدار محفظه بیش از پنج برابر عرض پی باشد، مرز جانبی بر نتایج تأثیری نخواهد داشت. سپس تأثیر پیکربندیهای مختلف ریزشمع در اطراف پی، از جمله طول ریزشمع و فاصله بین دو ریزشمع متوالی بر ظرفیت باربری و نشست مورد بررسی قرار گرفت. بررسی نتایج نشان داد که با افزایش طول ریزشمع و کاهش فاصله بین دو ریزشمع متوالی، ظرفیت باربری بهبود یافته است. استفاده از ریزشمع به عنوان لبه پی، ظرفیت باربری پی.های سطحی را بین ۱.۳ تا ۲.۹۵ برابر بهبود بخشید. مقایسه منحنی.های فشار– نشست نشان داد که، نسبت ظرفیت باربری بهینه در کمترین فاصله بین ریز شمعهای متوالی بدست آمد. علاوه بر این، ریزشمع به عنوان لبه پی، نشست پی نواری را بین ۳٦ تا ۸۲ درصد کاهش داد. همچنین پی نواری لبهدار شده با ریزشمع، منجر به افزایش طول سطح گسیختگی شده و بسته به طول و فاصله ریزشمعها، سازوکار گسیختگی را تغییر داد.

**واژگان کلیدی**: ظرفیت باربری، ریزشمع، مدلسازی فیزیکی، سازوکار گسیختگی، محصورکننده.

تاریخ دریافت: [۱٤٠٢/٠٥/١٠]

۱. مقدمه

ریزشمعها، شمعهایی با قطر کوچک هستند (معمولا با قطر کمتر از ۳۰۰ میلیمتر) که حفاری و دوغاب شده و با فولاد تقویت میشوند. آرماتورهای فولادی در یک ریزشمع اغلب درصد بیشتری (تا نصف) از حجم شفت را نسبت به سایر شمعهای درجاریز اشغال میکنند. با توجه به این مزایا، ریزشمعها بیشتر برای افزایش ظرفیت باربری یا کاهش نشست در مهندسی پی مورد استفاده قرار گرفتهاند. همچنین استفاده از ریزشمعها برای اهداف دیگری مانند کنترل نشست سازههای موجود و تثبیت شیبها استفاده شدهاند [1]. سیستم پی مستقر روی ریزشمع، از ریزشمعها و یک پی گسترده تشکیل شده است که به موجب آن پی گسترده در بالای گروه ریزشمع موجود، قرار میگیرد. بنابراین، مفهوم طراحی پی مستقر بر گروه ریزشمع مانند پیهای سطحی مســـــــــقر بر گروه شمع میباشد [2، 3]، که در آن بار اصلی توسط ریزشمعها و خاک زیر پی تحمل میشود. برخی از پژوهشگران به عملکرد پیهای سطحی لبهدار شده با ریزشمع پرداخته و رفتار آنها را گزارش کردهاند. هان و ای در یک مطالعه میدانی، [4] به بررسی سازوکار انتقال بار ریزشمعهای عمودی در خـاک رس پرداختهاند. افزایش ظرفیت باربری پیهای دایرهای سطحی بهسازی شده با ریزشمع با در نظر گرفتن پارامترهای آرایش و زاویه ریزشمعها توسط تسوکادا و همکاران بررسی شده است [5]. همچنین سینگ و همکاران [6] به تأثیر محصور شدن خاک بر رفتار یک پی مربعی مستقر بر ماسه گانگا تحت بارگذاری مایل با خروج از مرکزیت پرداختهاند. در این تحقیق به بررسی پارامترهای ارتفاع، عرض و فاصله کف پی تا نوک محصورکننده ریزشمع، مقدار خروج از مرکزیت و زاویه مایل بودن بار پرداخته شده است. نتایج نشان داد که ظرفیت باربری نهایی پی مربعی محصورشده در مقایسه با حالت محصورنشده، تحت بار محوری و بار مایل با خروج از مرکزیت تا ۲.۷۵ برابر افزایش یافته است. آنها همچنین مشاهده کردند که محصورکردن خاک زیر پی منجر به کاهش قابل توجهی در نشست شد.

تحقیق دیگری توسط اوننیکریشنان و ساچین [7] در مورد پیهای محصور شده با الوارهای چوبی روی ماسه سست انجام شد و پاسخ با پی های محصور نشده مقایسه شد. نتایج نشان داد که شمعهای محصور کننده می توانند ظرفیت باربری را تا ۲.۲۸ برابر نسبت به یک پی محصور نشده افزایش دهند. فاصله کمتر بین ریزشمعها باعث بهبود محصور شدگی و در نتيجه ظرفيت باربرى مىشود. افزايش طول ريزشمع محصور کننده تا مقدار بهینه، ظرفیت باربری را بهبود میبخشد و افزایش طول ریزشمع بیش از طول بهینه، اثر معکوس دارد. السعید [8] ظرفیت باربری یک پی نواری صلــــب که در یک طرف آن از ریز شمعها برای پایداری شیب ماسهای استفاده شده بود را بررسی کرد. در این تحقیق برای تعیین قابلیت ریزشمعها در پایداری شیبها، پنج گروه ریزشمع با طولهای مختلف تحت بارهای خروج از مرکز و مایل بررسی شدند. بررسی نتایج نشان داد که با افزایش طول ریزشمع، ظرفیت باربری پی ۷.۹ برابر افزایش یافته است. تحقیق آزمایشگاهی توسط یداو و دینورکار [9] برای مشاهده آثار طول لبه (ریزشمع) و تأثیر پیکربندیهای مختلف ریزشمع بر منحنی بار- نشست پی بررسی شد. نتایج نشان داد که افزایش یافت. هوانگ و همکاران [10] به بررسی سازوکار شکست و ظرفیت باربری پی گسترده مستقر روی ریزشمع از طریق مدل،های فیزیکی و تحلیل عددی پرداختند. تاثیر نوع خاک، طول ریزشمع و زاویه نصب ریزشمع-ها مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از ریزشمعها باعث تغییر در سازوکار گسیختگی خاک می شود. همچنین می توان با تغییر در نوع گسیختگی، زاویه و طول ریزشمعها ظرفیت باربری را افزایش داد. در گسیختگی برشی کلی، طول مناسب ریزشمع به منظور افزایش ظرفیت باربری، در حدود ۲.۵ برابر عمق سطح گسیختگی بوده است، در حالی که در گسیختگی از نوع برشى پانچ طول موثر حدوداً ٣ برابر عمق سطح گسيختگى بود. در ادامه بررسی نتایج نشان داد که تأثیر پیکربندیهای متفاوت لبه ریزشمع بر ظرفیت باربری پی نواری بین ۲ تا ۸ برابر بود.

در این تحقیق به ارائه نتایج آزمایش های مدل فیزیکی پی نواری لبهدار شده با ریزشمع مستقر بر ماسه فیروزکوه (۱۳۱#) تحت بارگذاری قائم پرادخته شد. تاثیر پیکربندی های مختلف ریزشمع ها مانند طول ریزشمع و فاصله دو ریزشمع متوالی در اطراف پی بر ظرفیت باربری و نشست مورد بررسی قرارگرفت. بر اساس پارام\_\_\_\_رهای مذکور، ۱۲ آزمایش روی مدل فیزیکی انجام شد. همچنین در پایان به بررسی.سازوکار گسیختگی پی لبهدار شده با ریزشمع در بستر ماسهای پرداخته شد.

# ۲. مدلسازی فیزیکی

۲-۱. دستگاه مدلسازی فیزیکی و مدلهای آزمایشگاهی

این مطالعه آزمایشگاهی روی مدل کوچک مقیاس پی نواری انجام شد. دستگاه آزمایش مورد استفاده در این تحقیق شامل یک مخزن صلب، قاب بارگذاری، سیستم بارش ماسه و ابزارهایی مانند لودسل، جابهجایی سنج و دیتالاگر بود. شکل (۱) نمای شماتیک از دستگاه آزمایش را نشان میدهد. ابعاد

مخزن ۵۰×۱۰۰×۲۰۰ (سانتی متر) بود. به منظور جلوگیری از هرگونه تغییر شـــکل در زمان بارگذاری، مخزن مدل سازی صلب ساخته شد. برای مشاهده پدیده های ژئو تکنیکی، وجه روبه رو در جهت طولی مخزن از ورق پلکسی گلاس ۲.۵ سانتی متری ساخته شد. برای کاهش اثر مرز مدل بر تغییر شکل قائم ابتدا دیواره های وجوه داخلی مخزن با ورق پلکسی گلاس به ضخامت ۵ میلی متر پوشانده شد، سپس جداره های وجه داخلی روغن کاری شد. به منظور جلوگیری از تغییر شکل قاب بارگذاری تحت بار اعمالی، از پروفیل فولادی 128220 در ساخت آن استفاده شد. عرض دهانه ( فاصله ستونها) و ارتفاع قاب بارگذاری به ترتیب ۲۰۳۳ و ۱۷۸ متر در نظر گرفته شد. ستون های قاب بارگذاری به یک پی صلب با طول ۳ متر، عرض ۲.۲ متر و ارتفاع ۲۰۸۰ متر پیچ شدند. سیستم بارگذاری شامل یک جک هیدرولیک ۲۰ کیلونیو تن بود که بارگذاری شامل یک جک هیدرولیک ۲۰ کیلونیو تن بود که





Fig. 1. Schematic view and details of the physical modeling system



Fig. 2. Grain size distribution curve of Firuzkuh sand (#161)

در این تحقیق برای ساخت هندسه مدل از روش بارش ماسه در هوا استفاده شد. شکل (۳) نمای کلی از سیستم بارش ماسه در هوا را ارائه میدهد. در تمام مدلهای آزمایشگاهی تراکم نسبی خاک ۳ ± ۷۵ درصد در نظر گرفته شد. به منظور اطمینان از تراکم نسبی بستر در هنگام بارش، ظرف اندازه گیری استوانهای در سه ارتفاع مختلف در محفظه مدلسازی، پایین، وسط و بالا قرار داده شد. درصد تراکم نسبی از آزمایش روی نمونهها به دست آمد.





Fig. 5. view of the pluviation system

پی نواری و ریزشمع. به منظور شبیهسازی پی نواری در مدل فیزیکی از یک صفحه فولادی استفاده شد. به منظور ایجاد شرایط صلب، ضخامت ورق فولادی ۳ سانتیمتر در نظر گرفته شد. عرض پی (پی شامل، صفحه فولادی با عرض ۹.٦ سانتیمتر به اضافه ضخامت تسمه ۳.۰ سانتیمتر در دو طرف صفحه فولادی) در تمام آزمایشها برابر با ۱۰ سانتیمتر انتخاب شد. مدل پی با یک فاصله ۲.۵ سانتیمتری از دو طرف مخزن قرار گرفت. طول مدل پی ۵.۹ سانتیمتر در نظر مطالعه آزمایشگاهی رفتار پی نواری لبهدار شده با ریزشمع بر روی ماسه ...

جک هیدرولیک قابلیت حرکت در جهت طولی محفظه برای اعمال بار را داشت. بار با استفاده از میله بارگذاری و یاتاقان توپی به منظور جلوگیری از ایجاد لنگر خارجی به پی منتقل شد. نیروی اعمال شده توسط جک هیدرولیک از طریق یک لودسل با ظرفیت ۱۰۰ کیلو نیوتن اندازهگیری شد. نشست پی با استفاده از دو خطکش اهمی با دامنه تغییرات محدود به ۱۵ سانتی متر اندازه گیری شد. تمام دادههای خطکشهای اهمی و لودسل توسط یک دیتالاگر چهار کاناله و کامپیوتر قرائت و پردازش شدند.

#### ۲-۲. مشخصات مصالح

**ماسه**. در این تحقیق از ماسه سیلیسی فیروزکوه (شماره ۱**٦۱**، با یک درصد ریزدانه) استفاده شد. مقدار ناخالصی های ماسه مورد استفاده ناچیز بوده و ۹۸.٤۱ درصد آن از کوارتز تشکیل شده است. ماسه فیروزکوه شماره ۱٦۱ به عنوان ماسه استاندارد در ایران شناخته می شود و پر مصرفترین ماسه برای مطالعات آزمایشگاهی به شمار میآید. منحنی دانهبندی و مشخصات فیزیکی ماسه مطابق آزمایش استاندارد الک در شکل (۲) و جدول (۱) ارائه شده است. ضریب یکنواختی و ضریب انحنا به ترتیب ۲.۰ و ۱.۳۵ می باشد. این ماسه بر اساس سیستم طبقهبندی یکیارچه، در زمره خاک ماسهای بددانهبندی شده طبقهبندی می شود. وزن مخصوص خشک کمترین و بیشترین ماسه به ترتیب ۱۳.۳۷ و ۱٦.۲۱۷ کیلونیوتن بر مترمکعب میباشد (چنگیزی و همکاران، ۲۰۲۲ [11]، جهانیان و همكاران، ۲۰۲۲ [12]، سعيدي و همكاران [13]). اگرچه شرایط اشباع و غیراشباع بودن بستر خاکی بر ظرفیت باربری تأثير خواهد داشت (قاسمزاده و اكبري، ۲۰۱۹ [14]، ۲۰۲۰ [15])، اما این تحقیق روی خاک در شرایط خشک متمرکز شده است.

جدول ۱. مشخصات فیزیکی ماسه ۱٦۱ فیروزکوه

Firuzkuh	D <sub>50</sub> , mm	e <sub>max</sub>	e <sub>min</sub>	Gs	
(No.	0.35	0 943	0.603	2 658	
161)	0.55	0.715	0.005	2.050	
Table Dh	vaical abamaat	amiation of	Einzalaul	and	

 
 Table. Physical characteristics of Firuzkuh sand (No.161)

گرفته شد که منجر به شرایط کرنش صفحه در طول آزمایش ها می شود. ریز شمع از لوله های آلومینیومی با قطر ۱۲ میلی متر و ضخامت جداره ۱ میلی متر انتخاب شد. در این تحقیق طول ریز شمع ها به ترتیب ۱، ۲ و ۳ برابر عرض پی در نظر گرفته شد. برای اتصال صلب ریز شمع ها به مدل پی، غلاف فولادی با قطر داخلی ۱۲ میلی متر و طول ۳۰ میلی متر استفاده شد. برای اتصال هر ریز شمع به غلاف فولادی از یک پیچ استفاده شد. غلاف های فولادی به یک تسمه فولادی (به ابعاد ۹.۵ در ۲ در ۳. سانتی متر در دو طرف از عرض صفحه فولادی صلب) جوش داده شد. از پنج پیچ برای اتصال تسمه های فولادی به مدل پی استفاده شد. جزئیات پی نواری لبه دار شده با ریز شمع در شکل (٤) نشان داده شده است. زبری سطح پایین پی و ریز شمع در تمام آزمایش ها ثابت در نظر گرفته شد.





Fig. 4 Details of MSSF

۳. روش مدلسازی و انجام آزمایش

در ابتدا اثر شرایط مرزی محفظه، مورد بررسی قرار گرفت. پارامترهای اصلی برای یک پی نواری مستقر بر بستر ماسهای شامل عرض پی (B)، فاصله پی از سطح انتهایی مخزن (Z)، فاصله پی از جدار سمت راست/چپ محفظه (X, X)، است.

ظرفیت باربری در حالت تقویت نشده (Q0) و نشست ماسه در حالت تقویت نشده (So)، می باشد. با تغییر پارامترها، آثار شرایط مرزی مخزن، بررسی شد. به این منیظور، ماسه در لايههاي ۱۰ سانتيمتري ريخته شد. پي نواري با فاصله پيش بینی شده از دیواره سمت راست/چپ مخزن آزمایش، روی بستر ماسهای قرار گرفت. پس از قرار دادن پی، بار قائم به روش کنترل جابهجایی با سرعت ثابت ۳ میلیمتر در دقیقه اعمال شد. به منظور اندازه گیری جابهجاییهای عصمودی پی، دو خطکش اهمی به صورت قائم روی پی قرار گرفت. دیتالاگر، بار اعمال شده و نشست مربوطه (پاسخ بار- نشست) را تا زمان گسیختگی ثبت کرد. در ادامه، پاسخ بار-نشــست پی نواری لبهدار شده با ریزشمع مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور همانطور که در شکل (٥ الف) ملاحظه می-شود، ابتدا ردیفهای ریزشمع، به گونهای که نوک ریزشمعها در تراز ٤٠ سانتيمتر از كف محظه واقع شوند، قرار مي گيرند و ردیفهای ریزشمع توسط یک میله رابط به طول ۱۰ سانتیمتر (معادل عرض پی) به هم متصل شدهاند و مجموعه توسط یک گیره آهنربایی به جدار محفظه ثابت می شوند و سپس عمل بارش ماسه صورت می گیرد تا تراز سطح ماسه به ارتفاع ۷۰ سانتیمتر از کف محفظه برسد، در این حالت شرایط بارش ماسه بین دو ردیف ریزشمع با سایر قسمتهای محفظه تفاوتی نخواهد داشت. پس از رسیدن سطح ماسه به تراز نهایی میله رابط و گیره آهنربایی جدا و پی نواری در بین ریزشمــــعها جانمایی میشود، سپس هر ردیف ریزشمع توسط پنج عدد پیچ به پی متصل میشود.

نشست پی توسط دو خط کش اهمی میستقر روی پی اندازه گیری شد. پارامترهای تاثیر گذار بر پاسخ بار-نشست پی نواری لبهدار شده با ریزشمع شامل طول ریزشمع (L)، فاصله بین دو ریزشمع متوالی (S)، قطر ریزشمع (D)، سختی خمشی ریزشمع (EA)، سختی محوری ریزشمع (A)، فاصله بین نوک ریزشمع و سطح انتهایی مخزن (Y)، ظرفیت باربری ماسه نوک ریزشمع و سطح انتهایی مخزن (Y)، ظرفیت باربری ماسه درحالت بهسازی شده (Qm) و نشست پی درحالت بهسازی شده (Sm) می باشد.علاوه بر این، وزن مخصوص ماسه (γ)، زاویه اصطکاک داخلی خاک (φ) و مدول الاستیسیته خاک (E)

مطالعه آزمایشگاهی رفتار پی نواری لبهدار شده با ریزشمع بر روی ماسه ...

در مدل آزمایشگاهی و نمونه واقعی به دلیل یکسان بودن خاک مورد استفاده در دو حالت، مشابه بود.



Fig. 5. Preparation of sand bed, (a) micropiles tip level, (b) bottom level of foundation base

یکی از روش های رایج برای پیش بینی رفتار خاک در مقیاس واقعی، انجام آزمایش روی مدل های فی۔۔زیکی است. در مدل سازی فیزیکی، لازم است آثار مقیاس برای اجزای مدل آزمایشگاهی در نظر گرفته شود. آنالیز ابعادی برای ارزیابی آثار مقیاس مطابق با قضیه IT باکینگهام (۱۹۱٤) انجام می شود. در این تحقیق، تابع F (معادله ۱) حاکم بر سیستم را می توان به صورت زیر بیان داشت:

 $F(Q_{m}, Q_{0}, S_{m}, S_{0}, B, L, D, S, EA, EI, \gamma, E, \phi) = 0 \qquad (1)$ 



جزئیات طرح و برنامه آزمایش ها در جدول (۳) ارائه شده است. ظرفیت باربری نهایی مستقیماً از عملکرد پی تخمین زده شد. متداول ترین روش ها برای ارزیابی ظرفیت باربری نهایی شامل روش ۱۰٪ عرض پی، روش مماس متقاطع، روش لگاریتمی و روش هذلولی است [16، 17 و 18]. تفسیر هر یک از این روش های ممکن است مقدار متفاوتی از ظرفیت باربری را ارائه دهد و بنابراین انتخاب یک روش واحد به منظور سازگاری نتایج ضروری است. در این تحقیق، ظرفیت باربری نهایی هر مدل از روی منحنی بار – نشست با استفاده از روش نهایی هر مدل از روی منحنی بار – نشست با استفاده از روش



Fig. 6. Schematic view of (a) variable parameters of boundary condition, (b, c) MSSF details

<b>جدول ۲</b> . ضرائب مقياس پارامترها											
Parameter	$Q_{m}\left(0 ight)$	S <sub>m</sub> (0)	В	L	D	S	EA	EI	γ	Е	φ
Scale factor	N	N	N	N	N	N	$N^2$	N <sup>3</sup>	1	Ν	1

Table 2. Scale factors of parameters

		<b></b>				
Test series	Type of model	Z/B	x/B	S/D	L/ B	No. of tests
Series. 01 (Test No. 01-07)	bottom boundary Unreinforced- surface strip footing located on sand	1,2,3,4,5,6, 7	9.5	-	-	7
Series. 02 (Test No. 08-15)	lateral boundary Unreinforced- surface strip footing located on sand	5	0,1,2,3,4,5,6, 7	-	-	8
Series. 03 (Test No. 16-21)			-	2,4,6,8, 10	1	5
Series. 04 (Test No. 22-26)	Reinforced-Pile skirted Foundation	7	-	2,4,6,8, 10	2	5
Series. 05 (Test No. 27-33)			-	2,4,6,8, 10	3	5

جدول ۳. جزئیات طرح و برنامه آزمایش ها

Table 3. Test program details

اجتناب ناپذیری در مدل سازی فیزیکی یک برابر شتاب زمین وجود خواهد داشت و صرفنظر کردن از آن غیر ممکن میباشد. علاوه بر این، از آنجایی که نسبت قطر ریز شمع به اندازه ذرات ماسه در مدل سازی فیزیکی حدود ۳٤ است، اثر نامطلوب مقیاس را در مدل سازی فیزیکی می توان ناچیز در نظر گرفت [30 و 31].

# ٤. نتایج مدلهای فیزیکی

٤-١. آثار مرز تحتانی (آزمایشهای سری ۰۱)

مشکل اساسی در بررسی رفتار کل توده ژئوتکنیکی با مدل سازی فیزیکی تحت شتاب زمین، ارتباط بین مدل و نمونه واقعی میباشد. مرزهای توده خاک در واقیت نامحدود بوده ولی در مدلهای کوچک مقیاس، مرزهای توده خاک بازسازی شده تحت تاثیر مرزهای جانبی و تحتانی محفظه محدود بوده و بر پاسخ مدل فیزیکی اثر گذار میباشد، بنابراین تأثیر شرایط مرزی باید مورد بررسی قرار گیرد. از این رو ابعاد محفظه ۳–۱. آثار مقیاس

 ٤-۲. آثار مرز جانبی (آزمایش های سری ۲۰) برای ارزیابی تاثیر مرز جانبی بر ظرفیت باربری نهایی، هشت آزمایش مدلسازی فیزیکی انجام شد. نسبت فاصله پی از دیواره سمت راست محفظه آزمایش به عرض پی، در این آزمایش ها متغیر بوده است. فاصله پی از دیواره سمت راست محفظه آزمایش بین ۰ تا هفت برابر عرض پی متغیر در نظر گرفته شد. منحنی های بار – نشست پی نواری روی خاک ماسهای با نسبتهای X/B مختلف در شکل (۸) نشان داده آزمایش ها با افزایش فاصله پی از مرز جانبی قرار گرفت. سپس مرز جانبی بر ظرفیت باربری خاک شد. هنگامی که فاصله پی از دیواره های محفظه آزمایش کمتر از پنے برابر عرض پی باشد، مرز جانبی بر ظرفیت باربری و نشست تأثیر پی باشد، مرز جانبی بر ظرفیت باربری و نشست تأثیر





Fig. 8. Pressure -settlement curves with different x/B ratios

٤–۳. پی نواری لبهدار شده با ریزشمع مستقر بر بستر ماسهای رفتار پی نواری لبهار شده با ریزشمع مستقر بر بستر ماسهای با در نظر گرفتن آثار پارامترهایی مانند طول ریزشمعها و فاصله

آزمایش باید به اندازه کافی بزرگ باشد تا اثر شرایط مرزی ناچیز باشد [32]. نتایج ارائه شده در ادبیات نشان میدهد که اگر فاصله کف پی تا مرز صلب تحتانی ۱.۵ تا ۲ برابر عرض یی باشد، بسته به نوع ماسه و چگالی نسبی، اثر مرز صلب تحتاني منجر به افزايش ظرفيت باربري مي شود [33]. به منظور بررسی اثر مرز صلب تحتانی بر ظرفیت باربری هفت آزمایش انجام شد، که در آزمایش اول ضخامت خاک معادل عرض پی بوده و در آزمایش.های بعدی معادل عرض پی به ضخامت خاک اضافه شد، به گونهای که در آزمایش هفتم ضخامت خاک معادل هفت برابر عرض پی در نظر گرفته شد. منحنی-های بار– نشست پی نواری به عرض ۱۰ سانتیمتر مستقر بر خاک ماسهای با چگالی نسبی ۷۵ درصد با نسبتهای مختلف Z/B در شکل (۷) نشان داده شده است. ارزیابی نتایج شکل (۷) نشان داد که وقتی فاصله پی از سطح تحتانی مخزن فولادی کمتر از دو برابر عرض پی باشد، نتایج ظرفیت باربری غیر واقعی است. به عبارت دیگر، زمانی که Z کمتر از دو برابر عرض پی باشد، مرز تحتانی بر نتایج مدلسازی فیزیکی تأثیر می گذارد. در نسبتهای مختلف Z/B بزرگتر از ۳، منحنی های بار-نشــست همگرا شدهاند.





بین ریزشمعها مورد مطالعه قرار گرفت. بررسی نتایج بهدست آمده (پاسخ بار-نشست) نشان داد که وجود لبه ریزشمع، ظرفیت باربری و عملکرد نشست یک پی سطحی مستقر بر بستر ماسهای را بهبود میبخشد. با افزایش طول ریزشمعها و كاهش فاصله بين ريزشمعها ظرفيت باربرى افزايش يافته و نشست کاهش مییابد. منحنیهای بار-نشست برحسب یک ضریب بی بعد به عنوان نسب\_\_\_\_ نشان داده می شوند که در آن نشست (S) وعرض پی (B) می باشد. نمودارهای بار-نشست برای طولهای مختلف و فواصل مختلف ریزشمعها در شکل (۹) نشان داده شده است. همانطور که پیشتر ذکر شد، ظرفیت باربری نهایی برای هر آزمایش از منحنی بار- نشست با استفاده از روش ۰.۱ عرض پی تعیین میشود. نمودارهای بار- نشست بر اساس مقادیر میانگین نشست رسم شد. مقادیر اندازهگیری شده ظرفیت باربری نهایی برای پی نواری لبهدار شده با ریزشمع (Qm) و پی نواری بدون لبه (Q0) در جدول (٤) ارئه شده است. افزایش ظرفیت باربری به دلیل محصور شدن خاک زیر پی با ضریب بى بعد BCR نشان داده شده است. اين ضريب به عنوان نسبت ظرفیت باربری نهایی پی نواری لبهدار به ظرفیت باربری پی نواري بدون لبه تعريف مي شود.

## ٤-٤. اثر طول ريزشمع

به منظور بررسی اثر طول ریزشمع بر پاسخ پی نوری، آزمایش های مختلفی با سه نسبت (طول ریزشمع به عرض پی) ۱، ۲ و ۳ انجام شد. تغییرات BCR، با توجه به نسبتهای طول ریزشمع به عرض پی، در شکل (۱۰) نشان داده شده است. در پی لبهدار شده با ریزشمع، ظرفیت باربری پی سطحی افزایش قابل توجهی داشته است. ظرفیت باربری نهایی پی لبهدار شده با ریزشمع با افزایش نسبت طول ریزشمع به عرض پی، افزایش مییابد. ظرفیت باربری بین ۳۰ تا ۱۹۵ درصد افزایش داشته است. بررسی نتایج نشان داد که، ظرفیت باربری پی سطحی در حالتی که طول لبه برابر با عرض پی باشد ۲.۱ برابر حالت بدون لبه و در حالتی که طول لبه سه برابر عرض پی میباشد، ۲.۹۵ برابر حالت بدون لبه، می شود. این افزایش میباشد، ماسه و افزایش

طول سطح شکست، در مقادیر L/B بالاترمی باشد. در ادبیات فنی شواهدی وجود دارد که این نتیجه را تائید میکند. به عنوان نمونه، یاداو و دینورکار [34] از یک مدل پی محصور شده به ابعاد ۱۰۰ ×۱۰۰ میلی متر مستقر بر بستر ماسهای استفاده کردند. آنها نشان دادند که محصورکردن خاک زیر پی سطحی مستقر بر بستر ماسهای، ظرفیت باربری را تا دو برابر حالت محصور نشده افزایـــــــش میدهد. همچنین، سینگ و همکاران [35] نشان دادند که ظرفیت باربری پی محصور نشده می تواند تا ۲۰۷۵ برابر ظرفیت باربری پی محصور نشده

## ٤–٥. اثر فاصله بين ريزشمعها

در این تحقیق تاثیر فاصله بین ریزشمعها بر BCR مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی تأثیر فاصله بین ریزشمعها بر رفتار پی لبهدار شده با ریزشمع، فاصله ریزشمعها ۲، ٤، ۲، ۸ و ۱۰ برابر قطر ریزشمع در نظر گرفته شد. شکل (۱۱) تغییرات BCR را به عنوان تابعی از فاصله بین ریزشمعها و سه طول مختلف نشان میدهد. مشاهده شد که هر چه فاصله بین ریزشمعها نزدیکتر باشد، ظرفیت باربری بیشتر است. به طور کلی، روند مشابهی برای آزمایش های انجام شده با استفاده از طول های مختلف ریزشمع مشاهده می شود. با افزایش فاصله بین ریزشمعها، اثر محصور شدگی کاهش مییابد. در مجموع، ظرفیت باربری نهایی پی سطحی محصور شده در هر فاصله بین ریزشمعها به طور قابل توجهی بیشتر از ظرفیت باربری نهایی پی سطحی محصور نشده است. مقایسه نمودارهای بار-نشست پی نواری محصور شده و محصور نشده نشان داد که افزایش BCR در S/D=2 نسبت به سایر موارد، بیشتر بوده است. به عنوان نمونه، نتایج ارائه شده در منحنیها نشان میدهد که وجود ریزشمع ظرفیت باربری پی سطحی را در S/D=2 تا ۲.۹۵ برابر و در S/D=10 تا ۱.۳ برابر افزایش مىدھد.

### ٤-٦. نشست

در این مطالعه، مقادیر نشست مدلهای پی لبهدار شده با ریزشمع و پی سطــــحی بدون لبه در هنگام گسیختگی مقایسه شد.

مطالعه آزمایشگاهی رفتار پی نواری لبهدار شده با ریزشمع بر روی ماسه ...



جدول ٤. ظرفیت باربری نهایی پی لبهدار و بدون لبه

quit (kPa), Q <sub>0</sub> , Q <sub>m</sub>			S/D							
			0	2	4	6	8	10		
Series. 01 (Test No. 07) Without skirt		0	164	-	-	-	-	-		
Series. 03 (Test No. 16-20)		1	-	268	246	243	216	214		
Series. 04 (Test No. 21-25)	- L/B -	2	-	397	358	318	293	263		
Series. 05 (Test No. 26-30)		3	-	484	416	379	362	346		

Table 4. Ultimate bearing capacities of strip footing with and without confinement

می توان ظرفیت باربری مجاز را در نشست بسیار پایین تر به دست آورد. محصور شدن خاک تأثیر قابل توجهی در بهبود رفتار پی لبهدارشده با ریزشمع مستقر بر بستر ماسهای دارد. میزان کاهش نشست در مقایسه با پی بدون لبه حدود ۳٦ تا ۸۲ درصد بوده است.

#### ٤–٧. سازوكار شكست

در ماسه متراکم، سازوکار گسیختگی از نوع شکست برشی کلی است. بنابراین هنگام گسیختگی جابه جایی از جهت عمودی به افقی تبدیل شد. همانطور که در شکل (۱۳) نشان داده شده است، رفتار منبسط شوندگی ماسه متراکم در هنگام گسیختگی در زیر پی باعث گسترش طول سطح گسیختگی برشی به سمت سطح زمین می شود و گسیخنگی برشی کلی در جایی که جابه جایی به سطح زمین می رسد، رخ می دهد. با این حال، در این تحقیق، گسیختگی برشی کلی فقط در زیر پی نواری رخ داده است.



Fig. 13. General shear failure pattern induced by the movement of the surface footing (Tsukada et al, 2006)

لبهدار کردن پی با ریزشمع به طور قابل ملاحظهای طول سطح گسیختگی خاک را افزایش می دهد و حالت گسیختگی همچنان گسیختگی برشی کلی مشابه با پی نواری محصور نشده بود. با این حال، با توجه به چگونگی نصب لبه ریزشمع، ناحیهای که سطح گسیختگی در بر می گیرد، اصلاح شد. یک سازوکار احتمالی که بیانگر بهبود سطح گسیختگی است، تشکیل یک قوس از دانههای خاک است که در اثر محصور شدگی دانهها ایجاد می شود (شکل ۱۲.الف). ایجاد شکل قوسی (طاق) در برخورد با ریزشمع، از حرکت جانبی دانههای خاک و در نتیجه افزایش نشست جلوگیری میکند و ظرفیت باربری خاک را افزایش می دهد. در این فرآیند، قوس، عکس-



Fig. 11. Variation in BCR (Q<sub>m</sub>/Q<sub>0</sub>), in terms of spacing between micropiles ratios (S/D)



**Fig. 12.** Variation in settlement reduction factor  $(s_m/s_0)$ , in terms of spacing between micropiles ratios (S/D)

گسیختگی در نشستی معادل ۱۰٪ عرض پی در نظر گرفته شد (%S/B=10 که در آن B عرض پی و S نشست پی می باشد). میزان کاهش نشست به دلیل وجود لبه بر حسب ضریب کاهش نشست (Sm/S0) در شکل (۱۲) ارائه شده است. مقایسه نتایج نشست در یک بار معین (Q0) نشان داد که، استفاده از لبه باعث کاهش نشست می شود. میزان نشست بستگی به طول دامنه ریزشمع و فاصله بین ریزشمعها دارد. مقدار نشست با افزایش طول لبه ریزشمع و همچنین با کاهش فاصله بین ریزشمعها، کاهش می بابد.

بنابراین در مواردی که سازهها به نشست بسیار حساس هستند، با افزایش طول لبه ریزشمع یا با کاهش فاصله بین ریزشمعها، و همچنین ظرفیت باربری را بهبود میبخشد و نشست را کاهش میدهد.

٥. نتيجه گيري

در پژوهش حاضر، ظرفیت باربری و رفتار نشست پی نواری مستقر بر بستر ماسهای با/بدون لبه ریزشمع تحت بارگذاری عمودی با استفاده از یک سری آزمایشهای فیزیکی ارزیابی شد. این تحقیق کاربرد بالقوه پی نواری لبهدار شده با ریزشمع را برای افزایش قابل توجه ظرفیت باربری و کاهش نشست را در مقایسه با پیهای سطحی بدون لبه نشان میدهد. پی ن\_واری لبهدار شده با ریزشمع منجر به افزایش سطح گسیختگی شد و بسته به طول ریزشمع و همچنین فاصله بین ریزشمعها، الگوی شکست خاک تغییر یافت. افزایش طول سطح گسیختگی مقاومت برشی بالاتری را به همراه داشت و منجر به افزایش ظرفیت باربری شد. از آزمایشهای مدل فیزیکی نتایج زیر را به دست آمد:

 ۱. بررسی فاصله پی از سطح تحتانی محفظه فولادی نسبت به عرض پی (B) ، نشان داد که وقتی فاصله پی از سطح تحتانی محفظه کمتر از دو برابر عرض پی باشد، مرز پایین بر نتایج مدلسازی فیزیکی تأثیر می گذارد.

۲. ارزیابی مرزهای جانبی با در نظر گرفتن فاصله پی از دیواره محفظه (X) نسبت به عرض پی نشان داد که در 5≤X/B، مرز جانبی بر نتایج تأثیری نداشته است.

۳. در پی ابهدار شده با ریزشمع، بسته به نسبت L/B و فاصله بین ریزشمعها، ظرفیت باربری پیهای سطحی را با ضریب ۲.۹–۲.۹۰ بهبود داده شد.

٤. تجزیه و تحلیل نتایج نشان داد که ظرفیت باربری پی های سطحی با افزایش طول ریزشمع بهبود یافته است. بنابراین بیشترین افزایش ظرفیت باربری در E/B=3 مشاهده شد.

 پیکربندیهای مختلف پی نواری لبهدار شده با ریزشمع با فاصله متغیر بین ریزشمعها مورد آزمایش قرار گرفت. مقایسه نمودارهای بار-نشست نشان داد که افزایش BCR در S/D=2 نسبت به سایر موارد در طولهای ثابت ریزشمع، بیشتر می-شود. العمل نیروها را به دو انتهای خود (ریزشمعها) منتقل میکند و ریزشمعها به دلیل سختی خود مقاومت میکنند. با افزایش فاصله بین ریزشمعها، دهانه قوس نیز بزگتر میشود و قوس با بار جانبی کمتری فرو میریزد. اگر ریزشمعها از هم فاصله زیادی داشته باشند یا اگر خاک بالای سطح لغزش بسیار ضعیف باشد، امکان جابهجایی دانههای خاک در بین ریزشمعهای مجاور وجود دارد (شکل ۱٤.ب).

**شکل ۱٤. (الف)** سازوکار محصور شدگی با ریزشمعهای محصور کننده کننده [۳۷]، (ب) تغییر شکل پلاستیکی خاک بین دو ریزشمع مجاور



Fig. 14. (a) Mechanism of confinement with confining piles (Unnikrishnan, N., & Sachin, 2009), (b) plastically deforming soil between two adjacent micropiles



Fig. 15. Failure mechanism (a) variations L/B ratio, (b) variations S/D ratio

ناحیهای که سطح گسیختگی را شامل میشود، نسبت به طول ریزشمع و همچنین فاصله بین ریزشمعها، اصلاح شد. در شکل (۱۵)، مشاهده میشود که با افزایش طول ریزشمع و کاهش فاصله بین ریزشمعها سطح گسیختگی برشی گسترش مییابد. افزایش سطح گسیختگی مقاومت برشی را بالاتر برده

#### دوره ۲۲ / شماره ٦ / سال ۱٤۰۳

nonlinear matric suction distribution in the soil. Can. J. Soil Sci. 99 (4).

- Ghasemzadeh, H., and F. Akbari. (2020). Investigation of soil active wedge angle with linear matric suction distribution below the footing. Int. J. Civ. Eng. 18 (2): 161–168.
- 16. De Beer, E. E. (1970). Experimental determination of the shape factors and the bearing capacity factors of sand. Geotechnique, 20(4),387-411.
- Briaud, J. L., & Jeanjean, P. (1994). Load settlement curve method for spread footings of sand. In Vertical and Horizontal Deformations of Foundations and Embankments (pp. 1774-1804). ASCE.
- Lutenegger, A. J., & Adams, M. T. (1998, March). Bearing capacity of footings on compacted sand. In Proceedings of the 4th International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering (Vol. 1216, p. 1224).
- 19. De Beer, E. E. (1963). The scale effect in the transposition of the results of deep-sounding tests on the ultimate bearing capacity of piles and caisson foundations. Geotechnique, 13(1), 39-75.
- 20. Shiraishi, S. (1990). Variation in Bearing Capacity Factors of Dense Sane Assessed by Model Loading Tests. Soils and Foundations, 30(1), 17-26.
- Ueno, K., Miura, K., & Maeda, Y. (1998). Prediction of ultimate bearing capacity of surface footings with regard to size effects. Soils and Foundations, 38(3), 165-178.
- 22. Zhu, F., Clark, J.I. and Phillips, R. (2001) Scale Effect of Strip and Circular Footings Resting on Dense Sand. Journal of Geotechnical and Environmental Engineering, ASCE, Vol.127, No. 7, p.p 613-621.
- 23. Cerato AB and Lutengger AJ (2007) Scale effects of shallow foundation bearing capacity on granular material. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering ASCE 133(10): 1192–1202.
- 24. Herle I and Tejchman J (1997) Effect of grain size and pressure level on bearing capacity of footings on sand. In IS-Nagoya'97: Deformation and Progressive Failure in Geomechanics (Asaoka A and Adachi T Oka F (eds)). Pergamon, Elsevier Science Ltd, Oxford, UK, pp. 781–786.
- 25. Kusakabe, O., Maeda, Y., & Ohuchi, M. (1992). Large-scale loading tests of shallow footings in pneumatic caisson. Journal of geotechnical engineering, 118(11), 1681-1695.
- 26. Tatsuoka F, Okahara M, Tanaka T et al. (1991) Progressive failure and particle size effect in bearing capacity of a footing on sand. Geotechnical Special Publication 27(2): 788–802.
- 27. Tatsuoka F, Siddiquee MSA and Tanaka T (1994) Link among design, model tests, theories and sand properties in the bearing capacity of footing on sand. Proceeding of the 13<sup>th</sup>.
- Yamaguchi H, Kimura T and Fujii N (1977). On the scale effect of footings in dense sand. Proceeding of the 9th International Conference on Soil Mechanics

 ۲. پی نواری لبهدار شده با ریزشمع در مقایسه با پی نواری بدون لبه، مقدار نشست را ۳٦ تا ۸۲ درصد کاهش داده است.

٦. مراجع

- FHWA, 2005. Micro-pile Design and Construction. United States Department of Transportation, No. FHWA NHI-05-039, December, pp. 5-1–5-18.
- Poulos, H.G., Davis, E.W., 1981. Pile Foundation Analysis and Design. John Wiley & Sons Inc., New York, pp. 71–142.
- Reul, O., Randolph, M.F., 2003. Pile raft in over consolidated clay: comparison of in situ measurement and numerical analysis. Geotechnique 40 (2), 351–361.
- 4. Han, J., Ye, S.L., 2006. A field study on the behavior of a foundation underpinned by micropiles. Can. Geotech. J. 43 (1), 30–42.
- Tsukada, Y., Miura, K., Tsubokawa, Y., Otani, Y., You, G., 2006. Mechanism of bearing capacity of spread footings reinforcing with micro-piles. J. Soils Found. 46 (3), 367–376.
- Singh, V. K., Prasad, A., & Agrawal, R. K. (2007). Effect of soil confinement on ultimate bearing capacity of square footing under eccentric-inclined load. EJGE, 12, 1-14.
- Unnikrishnan, N., & Sachin, P. (2009). Influence of confining micro piles on the bearing capacity of sand. In Contemporary Topics in Deep Foundations (pp. 367-374).
- Elsaied, A. E. (2014). Performance of footing with single side micro-piles adjacent to slopes. Alexandria Engineering Journal, 53(4), 903-910.
- Yadav, M. S., & Dindorkar, N. (2014) IMPROVEMENT OF BEARING CAPACITY OF PILE SKIRTED FOOT-INGS IN SAND DUE TO VARYING SIZE & LENGTH OF SKIRT.
- Hwang, T. H., Kim, K. H., & Shin, J. H. (2017). Effective installation of micropiles to enhance bearing capacity of micropiled raft. Soils and Foundations, 57(1), 36-49.
- Changizi, F., Razmkhah, A., Ghasemzadeh, H., & Amelsakhi, M. (2022). Behavior of geocellreinforced soil abutment wall: A physical modeling. Journal of Materials in Civil Engineering, 34(3), 04021495.
- Jahanian, M. S., Razmkhah, A., Ghasemzadeh, H., & Vosoughifar, H. (2022). Bearing capacity of the strip footing located on the sand reinforced by geocell under eccentric load. Arabian Journal of Geosciences, 15(15), 1-18.
- Saeedi E, Razmkhah A, kamalian M, Askari F. 2024. "Bearing Capacity Evaluation of Skirted Reinforced Sand Slopes by Physical Modeling." Modares Civil Engineering journal, 2025; 24 (1).
- 14. Ghasemzadeh, H., and F. Akbari. (2019). Determining the bearing capacity factor due to

- 33. Mandel, J., & Salencon, J. (1972). BEARING CAPACITY OF A SOIL LAYER RESTING ON A RIGID BASE (THEORETICAL STUDY). GEOTECHNIQUE, 22(1).
- 34. Yadav, M. S., & Dindorkar, N. (2014) IMPROVEMENT OF BEARING CAPACITY OF PILE SKIRTED FOOT-INGS IN SAND DUE TO VARYING SIZE & LENGTH OF SKIRT.
- 35. Singh, V. K., Prasad, A., & Agrawal, R. K. (2007). Effect of soil confinement on ultimate bearing capacity of square footing under eccentric-inclined load. EJGE, 12, 1-14.
- 36. Tsukada, Y., Miura, K., Tsubokawa, Y., Otani, Y., You, G., 2006. Mechanism of bearing capacity of spread footings reinforcing with micro-piles. J. Soils Found. 46 (3), 367–376.
- Unnikrishnan, N., & Sachin, P. (2009). Influence of confining micro piles on the bearing capacity of sand. In Contemporary Topics in Deep Foundations (pp. 367-374).

and Foundation Engineering, Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Tokyo, Japan, vol. 1, pp. 795–798.

- 29. Kusakabe, O, Foundations, in: R.N. Taylor (Ed.), Geotech. Centifuge Technology, vol. 37, Blackie Academi & Professional, London, 1995, pp. 828– 842, Cand. Geotechnical J (Chapter 6).
- Ovesen, N. K. (1979). Panel discussion in session 9. In The use of physical models in design)", Proc. 7" European Conf Soil Mech. and Found. Eng (Vol. 4, pp. 318-323).
- 31. Miura, K., Otsuka, N., Kohama, E., Supachawarote, C., & Hirabayashi, T. (2003). The size effects of earth pressure cells on measurement in granular materials. Soils and foundations, 43(5), 133-147.
- 32. Ullah, S. N., Hu, Y., Stanier, S., & White, D. (2017). Lateral boundary effects in centrifuge foundation tests. International Journal of Physical Modelling in Geotechnics, 17(3), 144-160.

37

# Improving The Bearing Capacity of Strip Footing with Micropile Skirts Located On Sand Soil

Behrad Bakhtiari1, Arash Razmkhah2, Hasan Ghasemzadeh3, Farajollah Askari4

1 Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Ahang Bld., Abouzar Bld., Basij Highway, Tehran, Iran. E-mail;

2 Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Ahang Bld., Abouzar Bld., Basij Highway, Tehran, Iran, (Corresponding author),

3 Associate Professor, Faculty of Civil Engineering, K.N.Toosi University of Technology, Mirdamade Ave, Tehran, Iran. E-

4 Geotechnical Engineering Research Centre, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), No. 21, Arghavan Street, North Dibajee, Farmanieh, Tehran, Iran.

#### Abstract:

Recently, the modification of bearing capacity and the reduction in settlement of existing foundations and buildings has become one of the important topics in the field of geotechnical engineering. Also, the foundation of the buildings on the problematic and flowing sand bed, especially in the coastal strips is inevitable. In general, when faced with problematic soils such as loose soils with low load-bearing capacity, high settlement, liquefaction, disturbed soils, etc., there are two ways for geotechnical engineers, one of which is to use bearing elements in the soil and the other is to improve and modify the physical-mechanical properties of the soil mass. In addition to acting as a bearing and settlement-resistant element, the micro pile also improves the bearing strength of the surrounding soil due to the injection of cement slurry. In many projects, micro piles are used as structural elements. In fact, micro piles are small replacement piles (usually less than 300 mm in diameter) that are often accompanied by steel reinforcement and cement grout injection. Micro piles can be designed and used at any angle and for different purposes, including bearing axial and lateral loads, replacing conventional piles, or as part of a soil-pile system, depending on the purpose of the design. In this study, by physical modeling, the effect of using micro piles on the edge the foundation on sand bed was investigated. For this purpose, the effect of the boundary conditions of the chamber was first investigated. The parameters included the width of the foundation (B), the distance of the foundation from the end surface of the tank (Z), the distance of the foundation from the right/left wall of the chamber (X, X'), unreinforced bearing capacity (Q0) and unreinforced sand settlement (S0). Also, the investigation of the effect of the distance of the foundation from the lower surface of the steel chamber to the width of the foundation (B) showed that when the distance of the foundation from the lower surface of the chamber was less than twice the width of the foundation, the lower boundary affected the results of physical modeling. The evaluation of the lateral boundaries given the distance of the foundation from the chamber wall (X) to the width of the foundation showed that for X/B≥5, the lateral boundary had no effect on the results. Influences of various micropile skirt configurations were investigated, including micropile length (L) and spacing between two consecutive micropiles (S) on bearing capacity-settlement. The micropile skirts improved the bearing capacity of shallow foundations, depending on the L/B ratio and spacing between micropiles depending on the S/D ratio. Analysis of the results indicated that improved bearing capacity upon increasing the length of micropile skirt and reducing the spacing between two consecutive micropiles. Comparison of the pressure-settlement curves showed that in constant micropile lengths, the optimum Bearing Capacity Ratio (BCR) was in S/D=2. Further, the skirt piles reduced the settlement of strip footing. The Micropile Skirted Strip Footing (MSSF) led to increased failure surface and, depending on the pile length and spacing micropiles, it changed the failure pattern of the soil.

Keywords: Bearing capacity, micropile, physical Models, failure mechanism, confinement.