

بررسی اثر تسلیح بالشتک شنی با ژئوگرید در رادیه شمع‌های منفصل قرار گرفته بر خاک‌های سست ماسه‌ای در مجاورت سواحل

محمد قنبر دزفولی^۱، مسعود دهقانی^۲، عادل عساکره^{۲*}، بهزاد کلانتری^۲

۱. دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه هرمزگان

۲. استادیار گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه هرمزگان

تاریخ پذیرش: ۹۷/۸/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۲۳

شناسه دیجیتال (DOI): [10.22113/jmst.2018.130645.2157](https://doi.org/10.22113/jmst.2018.130645.2157)

چکیده:

در مناطق ساحلی و بخصوص بندرگاه‌ها به دلیل وجود رسوبات سست ماسه‌ای و سازه‌های با بارهای قائم و جانبی زیاد استفاده از رادیه شمع‌ها گزینه مناسبی جهت فونداسیون این نوع سازه‌ها می‌باشد. به دلیل ایجاد نیروهای متمرکز شدید در محل اتصال رادیه و شمع مخصوصاً به دلیل بارهای جانبی از جمله باد و موج از رادیه شمع‌های منفصل استفاده می‌شود. در این سیستم رادیه و شمع‌ها از یکدیگر جدا بوده و در فاصله بین رادیه و شمع از بالشتک شنی استفاده می‌شود. وجود لایه‌های مسلح کننده در لایه بالشتک شنی مانند ژئوگرید باعث تغییر رفتار رادیه شمع می‌شود. در این مقاله رفتار رادیه شمع‌های منفصل مسلح شده با ژئوگرید در بالشتک شنی تحت بارگذاری قائم به کمک مطالعات آزمایشگاهی در خاک ماسه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است. بارگذاری از طریق جک هیدرولیکی اتوماتیک و اندازه‌گیری نشست توسط LVDT می‌باشد. از استرین گیج‌های نصب شده در نوک شمع به منظور محاسبه نیروی وارد بر شمع‌ها استفاده شده است. آزمایشات در دو حالت مسلح و غیر مسلح انجام پذیرفت. در حالت غیر مسلح ضخامت بهینه بالشتک شنی و فاصله بهینه شمع‌ها و در حالت مسلح، محل بهینه لایه اول و دوم ژئوگرید و تاثیر طول لایه‌های ژئوگرید بر رفتار بار-نشست و سهم شمع‌ها از کل بار مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این تحقیق به خوبی نشان می‌دهد ضخامت بالشتک شنی و فاصله شمع‌ها تاثیر زیادی بر رفتار رادیه شمع منفصل دارد. وجود لایه‌های ژئوگرید در بالشتک شنی باعث افزایش فشار باربری و همچنین افزایش سهم شمع‌ها از کل بار گردیده است.

کلمات کلیدی: رادیه شمع منفصل، بالشتک شنی، ژئوگرید، ماسه سست، مناطق ساحلی

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: asakereh@hormozgan.ac.ir

۱. مقدمه

به دلیل وجود رسوبات سست ماسه‌ای واقع در مناطق ساحلی و ساخت سازه‌های بارهای قائم و جانبی (باد، موج و زلزله) زیاد در این مناطق لزوم استفاده از سیستم‌های مناسب جهت فونداسیون این نوع سازه‌ها به چشم می‌خورد. روش‌های بهسازی مختلفی در جهت افزایش مقاومت و کیفیت مهندسی خاک‌ها وجود دارد (Kamalpoor Asl et al, 2018). ارائه روش‌های بهسازی و مقاوم‌سازی بستر دریا و یا ساحل به منظور غلبه بر مشکلات ژئوتکنیکی اولین گام در طراحی فونداسیون سازه‌های مذکور می‌باشد. دو مشکل عمده در این خصوص وجود دارد: یکی رسوبات سست ساحلی و دیگری وجود بارهای قائم به دلیل ساخت سازه‌های عظیم و بارهای جانبی به دلیل بارهای باد و یا موج. زمانی که لایه‌های سطحی زمین توانایی باربری کافی دارند، استفاده از شالوده‌های سطحی توصیه شده است. مشکل عمده اینگونه شالوده‌ها افزایش ابعاد فونداسیون به منظور بالا بردن ظرفیت باربری می‌باشد که می‌تواند منجر به افزایش میزان نشست و غیر اقتصادی شدن طرح گردد (Ata et al, 2015). گزینه مطلوب جهت فونداسیون این نوع سازه‌ها استفاده از شمع و انتقال بار به لایه‌های پایین‌تر می‌باشد. انتقال تمامی بارهای وارده به شمع‌ها باعث افزایش تعداد و طول شمع‌ها و بالا رفتن هزینه‌ها می‌گردد. لذا به منظور کاهش تعداد شمع‌ها استفاده از رادیه شمع گزینه مطلوبی می‌باشد. در این سیستم هم رادیه و هم شمع‌ها در انتقال بار به لایه‌های زیرین نقش دارند. در سازه‌های ساحلی بارهای جانبی زیادی از جمله بار باد و موج وجود دارد (Orak et al, 2017). این بارها باعث ایجاد تنش‌های جانبی و به تناوب آن

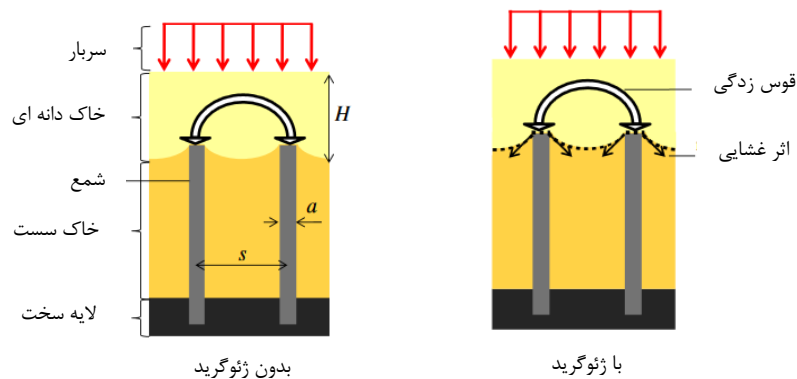
ممان خمشی بالا در شمع‌ها و محل اتصال آنها با رادیه می‌شود. یکی از راه‌های غلبه بر این مشکل منفصل کردن اتصال بین شمع و رادیه است. در این حالت شمع‌ها به جای المان‌های سازه‌ای بصورت المان‌های تسلیح کننده خاک در نظر گرفته می‌شوند که با افزایش سختی خاک زیر رادیه می‌تواند باعث کاهش نشست می‌شود. این سیستم باربری، رادیه- شمع منفصل نامیده می‌شود. در این سیستم بین شمع‌ها و رادیه یک لایه مصالح دانه‌ای کوبیده شده که بالشتک شنی نامیده می‌شود، قرار داده می‌شود.

یکی از سازه‌های مشهور کار شده به این روش، پل ریون آنتریون در یونان می‌باشد که به منظور تسلیح خاک بستر از شمع‌های بلند ۲۵ متری در کف دریا و جهت مصالح بین رادیه و شمع از مصالح دانه‌ای به ضخامت ۳ متر استفاده شده است (Rault et al, 2006).

اولین بار (burland et al., 1978) استفاده از شمع‌ها به عنوان شمع‌های "کاهنده نشست" را پیشنهاد دادند. (Davis et al., 1972) دریافتند که بر خلاف نظر اکثر مهندسين ژئوتکنیک تعداد شمع‌ها برای کاهش نشست تحت بارهای وارده، مقدار بهینه‌ای دارد که با افزایش بیشتر از این تعداد، کاهش چشمگیری در نشست‌های سیستم رادیه- شمع اتفاق نمی‌افتد.

زمانی که شمع‌ها به عنوان المان‌های مسلح کننده خاک در نظر گرفته شوند می‌توانند ضریب اطمینان کمتری در برابر گسیختگی داشته باشند که این خود می‌تواند باعث کاهش تعداد شمع‌های مورد نیاز سیستم شود همچنین عدم نیاز به طراحی و اجرای اتصالات مورد نیاز بین شمع و رادیه در این حالت باعث کاهش هزینه‌ها می‌گردد.

رادیه شمع منفصل می‌شود. لایه ژئوگرید تحت بارهای عمودی وارد شده دچار کشش شده و بخشی از بار را تحمل می‌کنند. این پدیده "اثر غشایی" نامیده می‌شود (Lu et al, 2015). همچنین مقداری از بار قائم را علاوه بر باری که در اثر قوس زدگی به شمع‌ها وارد می‌شود را مستقیم به شمع‌ها وارد می‌کند. شکل ۱ مکانیزم انتقال بار از رادیه به شمع‌ها در دو حالت مسلح و غیر مسلح را نشان می‌دهد (Blance et al, 2013).



شکل ۱: مکانیزم انتقال بار از رادیه به شمع توسط اثر قوس زدگی در دو حالت الف) غیرمسلح ب) مسلح (Blance et al, 2013)

حضور شمع‌های کوتاه ساخته شده از مصالح انعطاف‌پذیر باعث افزایش مقاومت خاک در ترازهای سطحی و حضور شمع‌های بلند ساخته شده از مصالح سخت‌تر باعث انتقال بار به لایه‌های پایین و کاهش نشست سیستم می‌شود. Sawwaf et al., (2010) عملکرد رادیه-شمع‌های منفصل و متصل را بوسیله تعدادی مدل آزمایشگاهی بررسی کرد. در این تحقیق اثر شمع‌های کوچک و محل قرارگیری آن در رادیه در هر دو سیستم منفصل و متصل تحت بارهای نامتقارن بررسی شد. با بررسی پارامترهایی

در رادیه-شمع‌های منفصل، بالشتک شنی بخشی از بار سرویس وارده شده را بوسیله پدیده‌ای به نام "قوس زدگی" به شمع‌ها منتقل می‌کند (Lai et al, 2014). بالشتک شنی باعث بازتوزیع تنش‌های وارده بر روی شمع‌ها می‌شود. میزان تاثیر این پدیده به عواملی چون ضخامت بالشتک، تعداد شمع‌ها، سطح مقطع شمع، فواصل شمع‌ها و بسیاری عوامل دیگر بستگی دارد. وجود لایه‌های مسلح کننده مانند ژئوگرید در بالشتک شنی باعث پیچیده شدن رفتار

مطالعات فراوانی در خصوص رادیه شمع‌ها صورت گرفته که می‌توان به روش‌های تحلیلی (Kumer et al, 2018, Basile 2015, Huang et al, 2017) مدل‌های عددی (Ko et al, 2017, Alnuaim et al, 2017), (2018), مطالعات آزمایشگاهی تحت بار ثقلی (El-Garhy et al, 2013), آزمایشات سانتریفیوژ (Sawada et al, 2014) و مدل‌های با مقیاس بزرگ (Sharafkhan et al, 2018) نام برد. Liang et al., (2003) رفتار رادیه-شمع منفصل با بالشتک شنی را بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که

همچنین مطالعات فراوانی در خصوص ترکیب المان-های افقی نظیر ژئوگریدها با المان‌های قائم نظیر شمع‌ها (Lai et al., 2014, Chen et al, 2016) و یا ستون‌های سنگی (Deb et al, 2013, Chen et al, 2015) در خاکریزها و سازه‌ها انجام شده است.

لایه بالشتک شنی توسط مکانیزم قوس زدگی بارهای وارده را از رادیه به شمع‌ها منتقل می‌کند. قوس زدگی ایجاد شده در لایه بالشتک شنی یا به صورت جزئی و یا کلی می‌باشد. (Lai et al., 2014) به مقایسه نحوه تشکیل قوس در بالشتک شنی در دو حالت با و بدون ژئوگرید پرداختند و نتیجه گرفتند که در حالت بدون وجود ژئوگرید در سه مرحله قوس‌ها تشکیل می‌شوند. با افزایش بار در مرحله اول قوس‌ها به تدریج تشکیل می‌شوند. در مرحله دوم قوس‌های تشکیل شده حالات تشکیل-گسیختگی- تشکیل را تجربه می‌کنند و در حالت سوم بالشتک شنی قادر به تشکیل قوس‌های پایدار نمی‌باشد. در حالت وجود لایه ژئوگرید در طول مراحل بارگذاری فقط حالات اول و دوم رخ می‌دهد. (Xing et al., 2014) به مطالعه مخزن واقع بر رادیه شمع منفصل در حالت‌های مسلح و غیر مسلح در مقیاس بزرگ پرداختند. نتایج نشان داد استفاده از لایه‌های ژئوگرید در فضای بین رادیه و شمع باعث کاهش نشست می‌گردد. همچنین در حالت مسلح اصطکاک منفی کمتری در قسمت بالایی شمع‌ها مشاهده شده است.

طراحی ایمن و اقتصادی رادیه- شمع‌های منفصل مستلزم ارزیابی موثر رفتار این سیستم‌های باربر تحت شرایط مختلف و نزدیک به واقعیت است. رادیه شمع‌ها به دلیل اندرکنش‌های موجود دارای رفتار پیچیده‌ای می‌باشند. از طرفی بیشتر مطالعات انجام گرفته قبلی به صورت عددی و یا آزمایشگاهی با

چون طول، تعداد و آرایش شمع‌ها، دانسیته نسبی بالشتک و گریز از مرکزیت بار، مشاهده شد که شمع‌های کوتاه تاثیر چشمگیری بر بهبود عملکرد سیستم رادیه- شمع تحت بارهای نامتقارن دارند. مطابق نتایج این تحقیق، لبه‌های رادیه گسترده بهترین محل قرارگیری شمع‌ها برای غلبه بر اثر خروج از مرکزیت است. (Cao et al., 2004) با تحقیق بر روی یک‌سری مدل آزمایشگاهی رادیه- شمع‌های منفصل دریافتند که با افزایش طول شمع-ها سختی سیستم رادیه- شمع افزایش یافته و سهم شمع‌ها از بار اعمال شده به سیستم بیشتر می‌شود و در نتیجه نشست‌های متقارن و نامتقارن در سیستم کاهش می‌یابند. همچنین نیروی اصطکاک منفی در بخش‌ها بالایی شمع‌ها مشاهده شد.

(Blance et al., 2013) با انجام تعدادی آزمایش بر روی مدل‌های سانتیریفیوژ در شتاب $20g$ ، تاثیر مسلح کننده در بالشتک شنی بر بهبود عملکرد رفتاری رادیه- شمع‌های منفصل را بررسی کردند. آن‌ها با بررسی تاثیر ضخامت بالشتک و سختی شبکه شمع‌ها و محل ژئوگرید دریافتند که بوسیله اثر غشایی ناشی از حضور لایه مسلح کننده، بازتوزیع تنش در شمع اتفاق می‌افتد. (Azizkandi et Saeedi al., 2015) با انجام ۱۷ آزمایش سانتیریفیوژ بر روی رادیه- شمع‌های منفصل و متصل به بررسی تاثیر بالشتک شنی بر رفتار تنش- نشست اینگونه پی‌ها پرداختند. آنها تاثیر پارامترهایی چون ضخامت و دانه بندی بالشتک، فواصل و تعداد شمع‌ها را بررسی کردند و دریافتند که بالشتک شنی نقش موثری بر کاهش نشست رادیه- شمع‌های منفصل بازی می‌کند، اگرچه این نقش به میزان سهم باربری شمع‌ها از بار کل وارد شده به سیستم بستگی دارد.

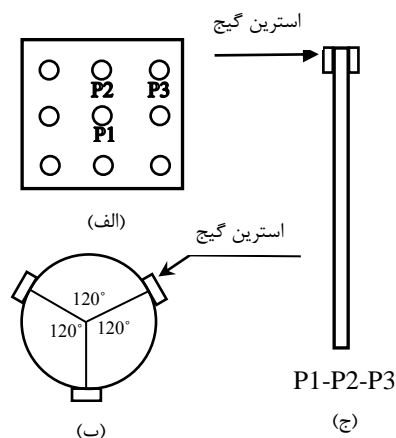
پرهیز از هرگونه خطا در تغییرشکلها در طی بارگذاری، ستونهای عمودی به دو وزنه بتنی مسلح ۷/۵ تنی حفر شده در محیط خاکی، متصل شده‌اند. کلیه آزمایشها در یک ترانشه مربع شکل با عرض ۲ و عمق ۱/۵ متر انجام شده است. جک بارگذاری از نوع هیدرولیکی اتوماتیک با ظرفیت حداکثر ۱۵ تن با حداکثر جابجایی ۱۵ سانتی‌متر می‌باشد. برای اندازه‌گیری نشست از دو عدد LVDT با دقت ۰/۰۰۱ میلی‌متر استفاده شده که درست بر روی دو لبه پی نصب شدند. شکل ۲ سیستم بارگذاری و تجهیزات نصب شده را نشان می‌دهد.

به منظور محاسبه نیروی وارد بر شمعها در حین بارگذاری، بر روی نوک شمعهای مرکزی، گوشه و کناری سه عدد کرنش سنج خطی (Single) با مقاومت ۳۵۰ اهم و عدد گیج ۲/۱۲ نصب گردیده است. تعداد شمعها در تمامی آزمایشات ۹ عدد و به صورت آرایش ۳×۳ می‌باشد. آرایش شمعها و محل نصب استرین گیجها در شکل ۳ نشان داده شده است. قرائت‌های نشست و فشار وارده، به سیستم جمع‌آوری اطلاعات و سپس به سیستم نمایشگر ارسال و با سرعت یک قرائت در هر ثانیه ذخیره شدند.

مقیاس کوچک می‌باشد و آزمایش‌های با ابعاد بزرگ به دلیل هزینه بر بودن و سختی شرایط اجرا کمتر انجام شده‌اند. بررسی وجود لایه یا لایه‌های ژئوگرید در بالشتک شنی در تحقیقات انجام شده قبلی به ندرت مشاهده می‌شود که مستلزم بررسی جامع و بیشتر در این خصوص می‌باشد. لذا در این مطالعه تعدادی آزمایش‌های ۱g بر روی رادیه-شمع‌های منفصل مستقر بر بستر ماسه ای با بالشتک شنی مسلح شده با ژئوگرید انجام شد. تاثیر پارامترهای ضخامت بالشتک شنی، فواصل شمعها، محل، طول و تعداد لایه‌های ژئوگرید بر رفتار بار-نشست رادیه-شمع‌ها و سهم باربری شمعها از بار کل بررسی شد و در نهایت بر اساس نتایج بدست آمده مقادیر بهینه این پارامترها برای یک طراحی مناسب پیشنهاد گردید.

۲. مواد و روشها

قسمت‌های اصلی تجهیزات بارگذاری و قرائت دادها شامل قاب بارگذاری، وزنه‌های بتن مسلح، جک بارگذاری، کرنش سنج، LVDT، دیتالاگر و دستگاه قرائت کرنش سنج می‌باشند. قاب بارگذاری شامل یک تیر افقی ۴ متری ساخته شده از 2IPE24 و دو ستون ساخته شده از IPE20 می‌باشد که برای



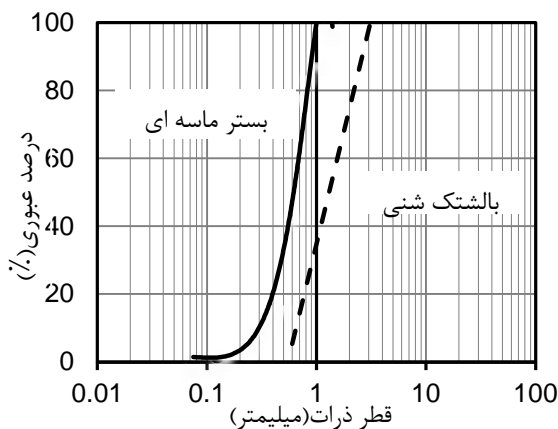
شکل ۲ تجهیزات مختلف نصب شده بر روی مدل

شکل ۳ آرایش شمع ها و محل استرین گیج ها: الف) آرایش شمع ها ب) آرایش استرین گیج ها ج) محل نصب استرین گیج ها در نوک شمع ها

در کلیه آزمایش ها از ژئوگرید دو طرفه استفاده شد. جدول ۱ مشخصات ژئوگرید مصرفی را نشان می دهد.

جنس ماسه های تشکیل دهنده ساحلی به شرایط منبع سنگی بستگی دارد که در مناطق درون قاره ای و مناطق غیر گرمسیری معمولاً از سیلیکات می باشد (Akinboboye et al, 2015). در این تحقیق دو نوع ماسه تیز گوشه سیلیکاتی به عنوان مصالح بستر ماسه ای و بالشتک شنی استفاده شدند. شکل ۴ منحنی دانه بندی و جدول ۲ مشخصات مکانیکی خاک مورد استفاده در این آزمایشات را نشان می دهد. بر اساس سیستم طبقه بندی متحد (USCS) هر دو نوع ماسه به عنوان SP (ماسه بد دانه بندی شده) شناخته شدند.

به منظور مدل کردن رادیه از یک صفحه فولادی مربعی با عرض ۳۰ و ضخامت ۲/۵ سانتی متر و برای مدل کردن شمع ها از لوله های توخالی آلومینیومی به قطر خارجی ۲/۲، ضخامت ۰/۱ و طول ۴۰ سانتی متر و مدول الاستیسیته ۷۰ گیگاپاسکال استفاده شده است. (Gui et و Bolton et al., (1999) al., (1998a, 1998b) با بررسی تاثیر دانه بندی مصالح بستر ماسه ای بر رفتار رادیه- شمع ها دریافتند که اگر نسبت قطر شمع ها به قطر متوسط مصالح بستر ماسه ای (D₅₀)، بیشتر از ۲۰ باشد دانه بندی مصالح بستر ماسه ای تاثیر ناچیزی بر رفتار رادیه- شمع خواهد داشت. در این مطالعه این نسبت برابر ۳۷ می باشد، لذا می توان از تاثیر دانه بندی مصالح بر نتایج صرف نظر کرد.



شکل ۴ منحنی دانه بندی خاک مورد استفاده

جدول ۱ مشخصات ژئوگرید مصرفی

پارامتر	واحد	مقدار
ضخامت	میلیمتر	۱/۸
جرم واحد سطح	کیلوگرم بر متر مربع	۰/۵۳۲
مقاومت کشش	کیلونیوتن بر متر	۷/۶
نهایی		
ابعاد چشمه ها	میلیمتر	۲۳

جدول ۲ مشخصات خاک مورد استفاده

پارامتر	واحد	بستر ماسه ای	بالشتک شنی
چگالی مخصوص (G_s)	-	۲/۶۶	۲/۶۱
وزن واحد خشک ماکزیمم (e_{max})	کیلونیوتن بر متر مکعب	۱۷/۷	۱۶/۵۲
وزن واحد خشک مینیمم (e_{min})	کیلونیوتن بر متر مکعب	۱۳/۳۸	۱۳/۶۲
قطر متوسط ذرات (D_{50})	میلیمتر	۰/۶	۲/۱
ضریب دانه بندی (C_c)	-	۰/۵	۱/۱۴
ضریب یکنواختی (C_u)	-	۲/۳۳	۲/۹۴
چسبندگی	کیلونیوتن بر مترمربع	۰	۰
زاویه اصطکاک داخلی	درجه	۳۲	۳۶

توسط بسیاری از محققین از جمله Naderi et al., (2014) و Mosallanezhad et al., (2008) نیز استفاده شده و نتایج مناسبی را به همراه داشته است. برای این منظور برای هر لایه مقدار مشخصی ماسه متناسب با دانسیته مورد نیاز وزن شده و

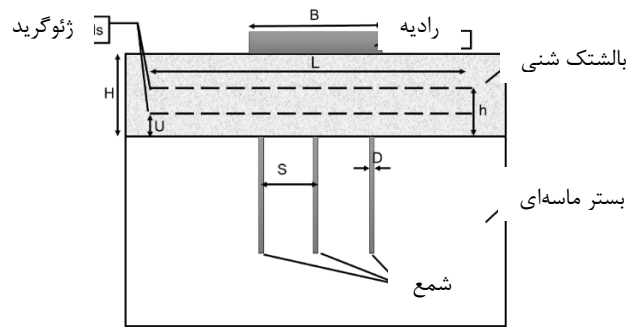
مهم ترین بخش در روند تهیه نمونه های آزمایشگاهی اطمینان از یکسان بودن دانسیته نمونه ها در عمق است. لذا در این مطالعه برای آماده سازی بستر ماسه ای از روش بارشی و کوبش با وزنه در لایه های ۱۰ سانتی متری استفاده شد. این روش تهیه نمونه

باشد. این بار تا زمانی که تغییرات نشست حاصل از بارگذاری ناچیز گردد به صورت ثابت بر روی خاک قرار داده می‌شود.

در این مطالعه ۲۴ آزمایش در ۴ سری بر روی رادیه - شمع‌های منفصل انجام گردید. شکل ۵ نمایی شماتیک از مدل و پارامترهای مورد مطالعه را نشان می‌دهد که U, B, H, h و L به ترتیب ضخامت بالشتک شنی، عرض رادیه، فاصله لایه اول ژئوگرید از تراز نوک شمع‌ها، فاصله لایه دوم ژئوگرید از تراز نوک شمع‌ها و طول لایه ژئوگرید می‌باشند. در سری اول آزمایش‌ها در حالت غیر مسلح، تاثیر ضخامت بالشتک شنی و فاصله شمع‌ها بر اساس نسبت‌های بی‌بعد (H/B) و (S/D) بر فشار باربری و سهم شمع‌ها از کل بار مورد بررسی قرار گرفته و مقادیر بهینه این نسبت‌ها بدست آمده است. در سری دوم با توجه به مقادیر بهینه H/B و S/D بدست آمده از سری اول آزمایشات، تاثیر محل قرارگیری یک لایه ژئوگرید بر اساس نسبت بی‌بعد (U/H) بر رفتار رادیه- شمع‌ها بررسی شد و محل بهینه این لایه بدست آمد. در سری سوم تاثیر محل قرارگیری لایه دوم ژئوگرید بر اساس نسبت بی‌بعد (h/H) بررسی شد و محل بهینه لایه دوم نیز مشخص گردید. در نهایت در سری چهارم به مطالعه تاثیر طول لایه‌های ژئوگرید (L/B) بر بهبود رفتار رادیه- شمع‌های منفصل پرداخته شد. برنامه آزمایشات در جدول ۳ آورده شده است.

بصورت بارشی و به کمک یک قیف از ارتفاعی مشخص رها و سپس به کمک یک وزنه فلزی کوبیده شد. تعداد ضربات و شدت ضربه وارده در هر لایه برای رسیدن به دانسیته مورد نیاز به کمک یکسری آزمایش‌های سعی و خطای اولیه تعیین گردید. در این آزمایش‌های اولیه با قرار دادن مکعب‌هایی در ترازهای مختلف دانسیته ماسه کوبیده شده با اعمال انرژی‌های مختلف تعیین گردید و در نهایت بهترین الگو برای کوبش تعیین شد.

پس از آماده‌سازی بستر ماسه‌ای شمع‌های مورد نیاز درون بستر جای‌گذاری می‌شوند. شمع‌ها به کمک جک دستی و با سرعتی بسیار آهسته به صورتی درون بستر قرار داده می‌شوند تا حداقل دست- خوردگی در خاک ایجاد شود. برای اطمینان از جای‌گذاری درست شمع‌ها از یکسری شابلون فلزی متناسب با آرایش مورد نظر استفاده شد. پس از جای‌گذاری شمع‌ها در صورت نیاز لایه ژئوگرید در تراز مورد نظر قرار گرفته و سپس بالشتک شنی با همان روش آماده سازی بستر آماده گردید. دانسیته نسبی بستر ماسه‌ای و بالشتک شنی به ترتیب ۶۰ و ۹۰ درصد می‌باشد. در نهایت مدل رادیه گسترده بر روی سطح تمام شده گذاشته شده و سپس جک هیدرولیکی دقیقاً در مرکز رادیه قرار می‌گیرد تا از هرگونه خروج از مرکزیت در حین بارگذاری جلوگیری شود. بارگذاری بصورت مرحله ای و تدریجی و با مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هر مرحله می



شکل ۵: نمایی از هندسه مدل

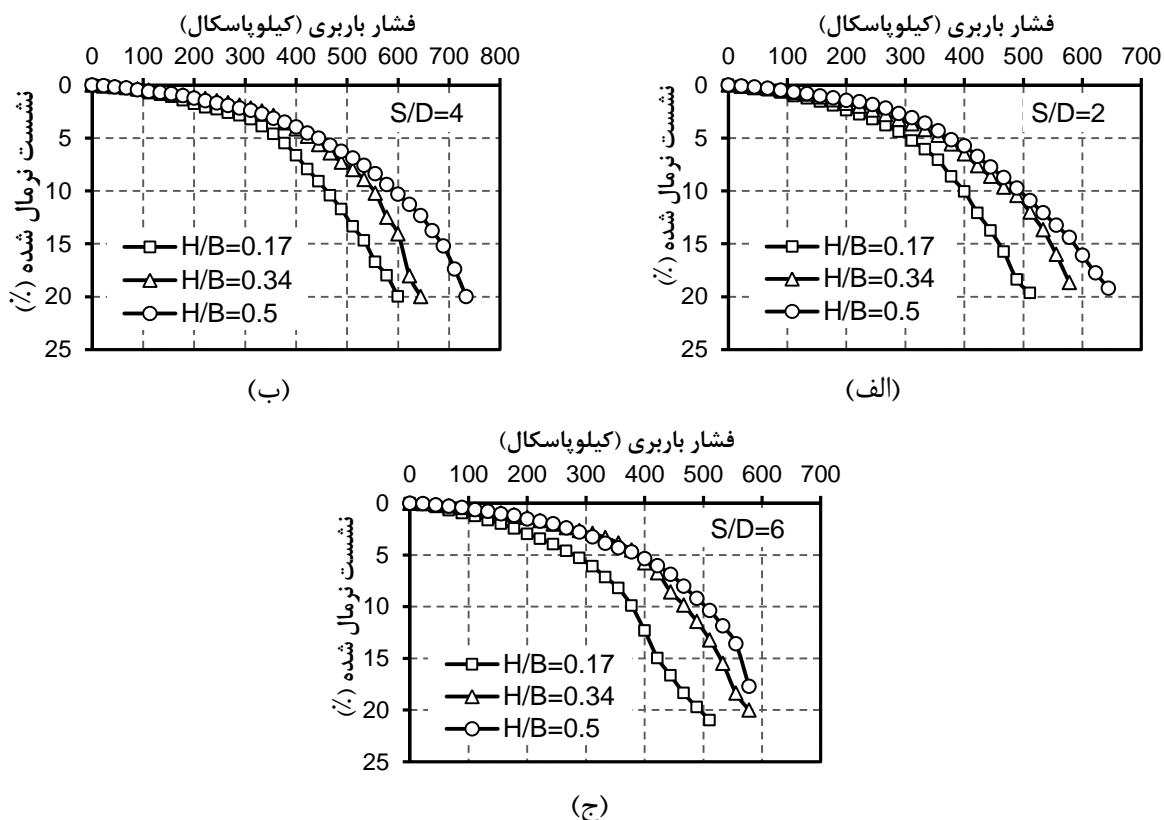
جدول ۳ طرح‌ریزی آزمایشات

تعداد آزمایشات	تعداد لایه ژئوگرید	L/B	h/H	U/H	S/D	H/B	سری آزمایشات
۱۲	۰	-	-	-	۲-۴-۶	۰/۳۴-۰/۵۰	۱
						۰/۱۷	
۴	۱	۶	-	۰/۳-۰/۶-۰/۹	۴	۰/۳۴	۲
				۰			
۳	۲	۶	۰/۶-۰/۹	۰	۴	۰/۳۴	۳
			۰/۳				
۵	۲	۳-۲-۱	۰/۶	۰	۴	۰/۳۴	۴
		۵-۴					

می‌شود در تمامی S/D ها با افزایش ضخامت بالشتک شنی نشست سیستم کاهش می‌یابد. این کاهش نشست به دلیل بالا بودن دانسیته نسبی مصالح بالشتک شنی در مقایسه با بستر ماسه‌ای است که با افزایش ضخامت بالشتک شنی، تنش‌های با سطح بالا ناشی از بار وارده به لایه بالشتک شنی و تنش‌های با سطح پایین تر به بستر ماسه‌ای وارد می‌شود.

۳. نتایج

به منظور بررسی تاثیر ضخامت بالشتک شنی بر رفتار رادیه شمع منفصل در حالت غیر مسلح، تغییرات فشار باربری در برابر نشست نرمال شده (δ/B) در H/B های برابر ۰/۱۷، ۰/۳۴ و ۰/۵ و S/D های برابر ۲، ۴ و ۶ در شکل‌های ۶ الف، ۶ ب و ۶ ج نشان داده شده است. فشار باربری در واقع تنش نرمال وارد بر رادیه می‌باشد. همان‌طور که دیده



شکل ۶ تاثیر ضخامت بالشتک شنی بر فشار باربری در S/D های مختلف
الف- S/D=2 - ب- S/D=4 - ج- S/D=6

ضخامت بالشتک شنی به فاصله شمع‌ها بستگی دارد. به منظور تشکیل قوس زدگی در لایه بالشتک شنی، ضخامت این لایه می‌بایست از یک مقدار مشخص بیشتر باشد.

Jenck et al., (2005) دریافتند اثر قوس زدگی کامل خاک در H/S های بزرگتر از ۱/۶ بخوبی مشاهده می‌شود. همچنین (1995) B. S 8006 مقادیر H/S برای تشکیل قوس زدگی جزئی و کامل خاک را به ترتیب ۰/۷ و ۱/۴ پیشنهاد کرد.

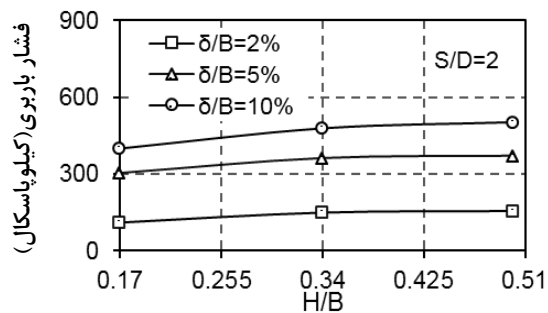
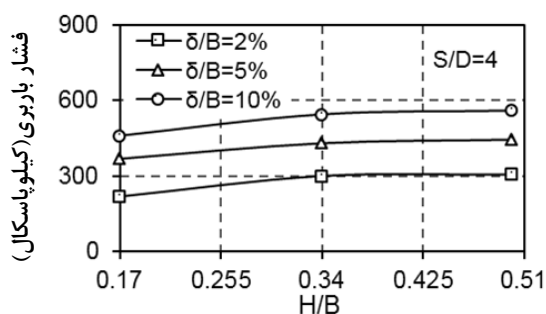
بنابراین در حالت S/D=2، قوس زدگی جزئی در H/B برابر ۰/۱۷ و قوس زدگی کامل در H/B برابر ۰/۳۴ و ۰/۵۰، در حالت S/D=4 قوس زدگی جزئی و کام در H/B به ترتیب برابر ۰/۳۴ و ۰/۵۰ رخ می-

برای درک بهتر تاثیر ضخامت بالشتک شنی بر رفتار رادیه-شمع‌های منفصل، تغییرات فشار باربری در برابر H/B در نشست‌های نرمال شده ۲، ۵ و ۱۰ درصد در شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در تمامی S/D ها با افزایش H/B فشار باربری سیستم افزایش می‌یابد. افزایش فشار باربری با تغییر H/B از ۰/۳۴ به ۰/۵ کمتر از افزایش فشار باربری با تغییر H/B از ۰/۱۷ به ۰/۳۴ می‌باشد. به عبارت دیگر افزایش ضخامت بالشتک شنی از یک ضخامت مشخص تاثیر کمتری در افزایش فشار باربری خواهد بود. این رفتار به تشکیل و یا عدم تشکیل پدیده قوس زدگی در بالشتک شنی بستگی دارد. تشکیل قوس‌ها در این لایه به H/S (نسبت

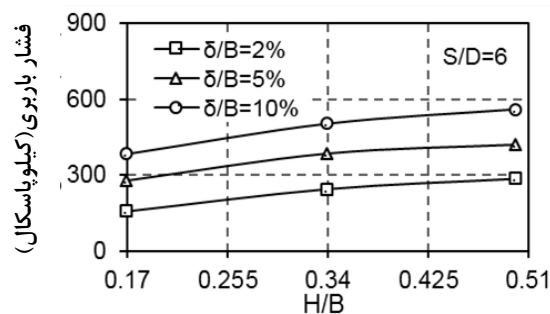
قوس زدگی جزئی در H/B های بیشتر از 0.50 اتفاق می‌افتد.

در نشست‌های کم تاثیر ضخامت بالشتک شنی کمتر مشهود می‌باشد و این تاثیر در نشست‌های بالا بیشتر مشاهده شده است. در نشست‌های پایین انتقال بار از لایه بالشتک شنی به بستر ماسه‌ای با شدت کمتری رخ می‌دهد که تاثیر ضخامت بالشتک شنی را کمتر نمایان می‌کند.

دهد. در حالت $S/D=6$ قوس زدگی جزئی در H/B برابر 0.50 تشکیل می‌شود و قوس زدگی کامل در هر سه نسبت H/B تشکیل نخواهد شد. لذا در شکل ۷-الف و ۷-ب در حالت H/B برابر 0.34 با تشکیل قوس زدگی جزئی در S/D برابر ۲ و قوس زدگی کامل در $S/D=4$ شیب قسمت دوم نمودار کمتر از شیب قسمت اول نمودار می‌باشد. در شکل ۷-ج اختلاف کمتری بین شیب قسمت اول نمودار و قسمت دوم نمودار دیده می‌شود که نشان می‌دهد



(ب)



(الف)

شکل ۷ تاثیر ضخامت بالشتک شنی بر فشار باربری در نشست‌های ۲، ۵ و ۱۰ درصد برای S/D های مختلف
الف - $S/D=2$ - ب - $S/D=4$ - ج - $S/D=6$

Saeedi Azizkandi et al., (2015) با انجام آزمایش سانتریفیوژ بر روی رادیه شمع نشان داد با افزایش

مطالعات پیشین انجام شده وجود یک لایه بهینه بالشتک شنی در رادیه شمع را نشان می‌دهد.

باربری بالاتر مشخص تر است. با افزایش ضخامت بالشتک بخش بیشتری از بار عمودی وارد شده توسط بالشتک به عنوان یک لایه سخت تر تحمل شده و بخش کمتری از آن به شمعها منتقل می-شود. در ابتدای بارگذاری سهم شمعها از کل بار مقدار کمی می-باشد و بیشتر بار توسط رادیه تحمل می-شود. با افزایش بار تا حدود ۲۰۰ کیلوپاسکال سهم شمعها با شیب نسبتاً زیاد شروع به افزایش می-کند و در یک مقدار تقریباً ثابت باقی می-ماند. در سطح بارهای کم ضخامت بالشتک شنی تاثیر کمتری در سهم شمعها از کل بار دارد. کمترین سهم شمعها از کل بار در H/B برابر ۰/۵۰ و بیشترین سهم شمعها از کل بار در H/B برابر ۰/۱۷ می-باشد. کاهش سهم شمعها در اثر افزایش ضخامت بالشتک شنی در مطالعات انجام شده توسط sharma et al., (2012) مشاهده شده است.

شکل های ۹-الف، ۹-ب و ۹-ج، تغییرات فشار باربری در برابر S/D در H/B های ۰/۱۷، ۰/۳۴ و ۰/۵۰ و در نشست های نرمال شده ۲، ۵ و ۱۰ درصد نشان می-دهد. همانطور که دیده می-شود در تمامی ضخامت های بالشتک شنی با افزایش S/D از ۲ به ۴ فشار باربری افزایش و با افزایش S/D به ۶ فشار باربری کاهش می-یابد و لذا بیشترین فشار باربری در S/D برابر با ۴ مشاهده می-شود. فواصل بین شمع ها بر دو پارامتر مهم تاثیر می-گذارد: ۱- اندرکنش بین شمع ها ۲- حجم خاک محبوس شده بین شمع ها.

ضخامت بالشتک شنی از ۱ متر به ۱/۵ متر فشار باربری رادیه شمع افزایش و با افزایش بیشتر این ضخامت به ۲ متر فشار باربری کاهش می-یابد. به عبارت دیگر در تحقیق فوق نسبت H/B بهینه ۰/۲۷ بدست آمده است. در تحقیق حاضر این نسبت برابر ۰/۳۴ می-باشد.

نسبت سهم بار شمعها از کل بار یکی از پارامترهای مهم در طراحی رادیه- شمعها می-باشد. پارامتر نسبت بار شمعها (α) مطابق معادله ۱ تعریف می-گردد.

$$\alpha = \quad (1)$$

$$\frac{\sum P_{pile}}{P_{total}} * 100\%$$

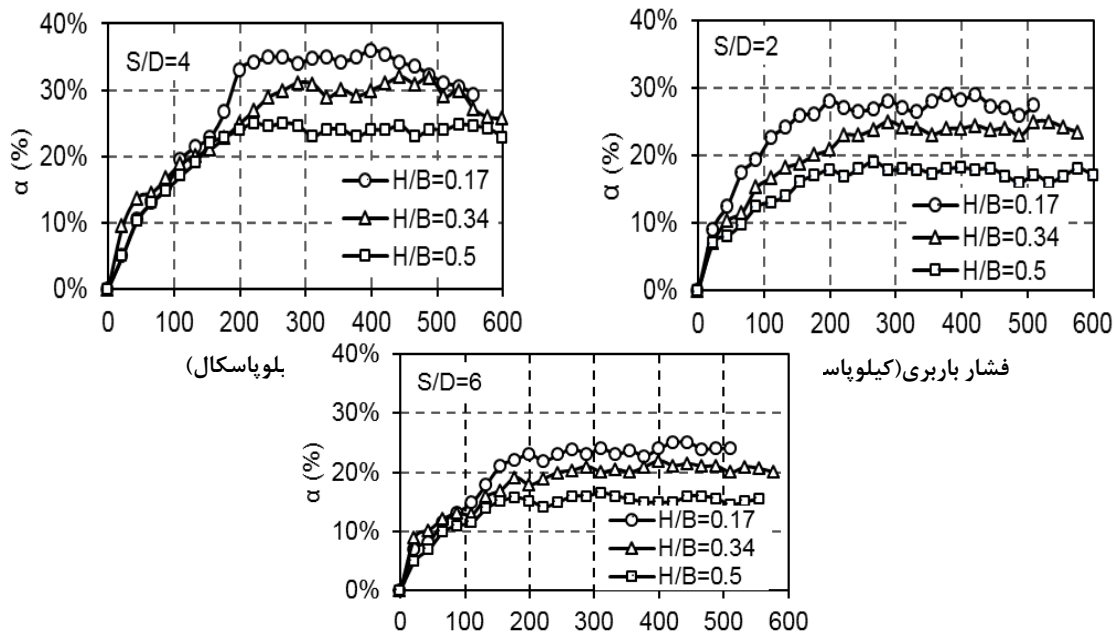
که P_{total} بار کل وارد بر سیستم و P_{pile} بار وارد بر هر شمع می-باشد. نیروی محوری در هر شمع به کمک معادله ۲ تعیین می-شود.

$$(2)$$

$$P_{pile} = \epsilon_p E_p A_p$$

که E_p ، A_p و ϵ_p به ترتیب مدول الاستیسیته، سطح مقطع خالص و کرنش محوری در شمع می-باشد. کرنش محوری در هر شمع به کمک کرنش سنج های نصب شده بر نوک هر شمع بدست می-آید.

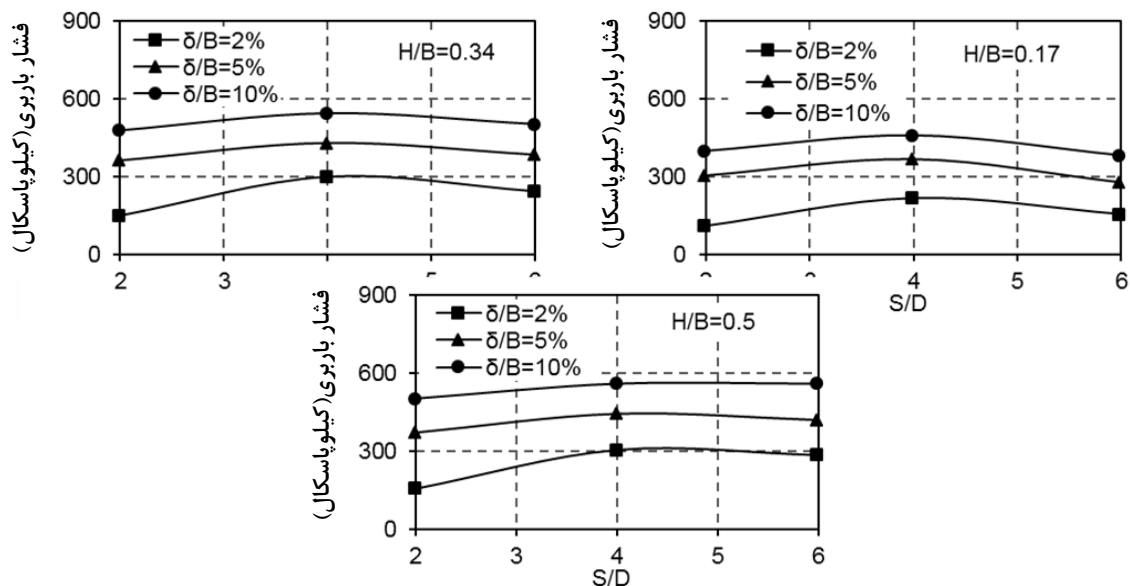
شکل های ۸-الف، ۸-ب و ۸-ج تغییرات α در برابر فشار باربری برای H/B های مختلف در طول بارگذاری در S/D های برابر ۲، ۴ و ۶ را نشان می-دهد. همان گونه که دیده می-شود در کلیه S/D ها با افزایش ضخامت بالشتک، سهم باربری شمعها کاهش می-یابد. این افزایش مخصوصاً در فشارهای



شکل ۸ تغییرات سهم فشار باربری (کیلوپاسکال) در باربری برای S/D های مختلف
الف- $S/D=2$ ب- $S/D=4$ ج- $S/D=6$

از طرفی حجم خاک محبوس بین شمع ها نیز افزایش یابد که نهایتا منجر به افزایش فشار باربری سیستم رادیه- شمع می شود. در S/D برابر با ۶ گرچه اندرکنش بین شمع ها در کمترین مقدار خود و حجم خاک محبوس بین شمع ها بیشترین مقدار خود را دارد اما اثر محبوس شدگی بر افزایش مقاومت برشی خاک با توجه به فاصله بسیار زیاد شمع ها چشمگیر نمی باشد. لذا با توجه به نتایج و نمودارهای حاصله می توان نتیجه گرفته که S/D بهینه برابر ۴ می باشد.

در S/D برابر با ۲ به دلیل نزدیکی شمع ها، بیشترین اندرکنش بین آنها وجود دارد. اندرکنش بالای بین شمع ها باعث می شود مقاومت هر شمع منفرد بصورت کامل بسیج نشود و نشست شمع ها افزایش یافته و در نتیجه بازدهی و کارایی آنها پایین باشد. از طرفی کم بودن حجم خاک محبوس شده بین شمع ها باعث می شود افزایش مقاومت برشی خاک بین شمع ها کمک کمتری به بازده شمع ها کند. در S/D برابر با ۴ افزایش فاصله بین شمع ها باعث می شود اثر اندرکنشی شمع ها بر یکدیگر کاهش یافته و



شکل ۹ تغییرات فشار باربری در برابر S/D در نشست های ۲، ۵ و ۱۰ درصد برای H/B های مختلف
الف - $H/B=0.17$ - ب - $H/B=0.34$ - ج - $H/B=0.5$

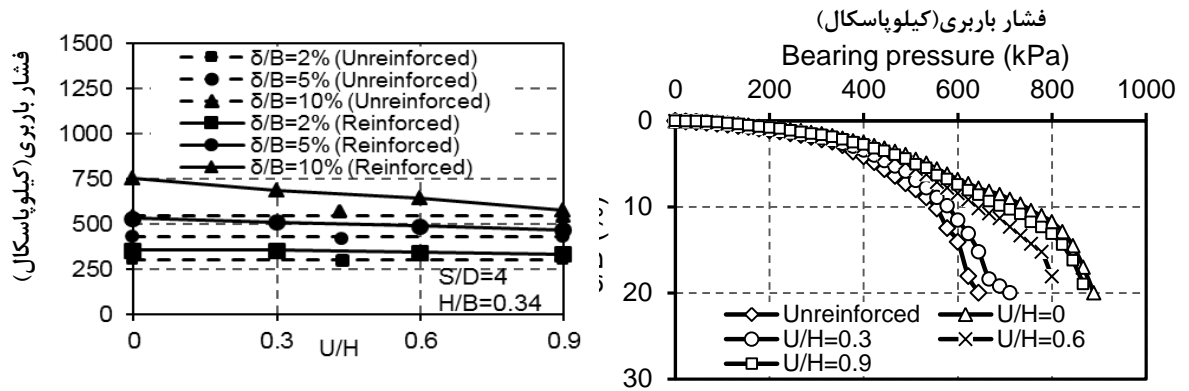
نیروی کششی ایجاد شده در ژئوگرید سهم شمع ها از بار اعمالی افزایش یافته و در نتیجه فشار باربری سیستم به شدت افزایش می یابد. همچنین قسمتی از بار قائم توسط لایه ژئوگرید در سطح افقی پخش می گردد. با افزایش U/H رفتار فشار- نشست مشابه حالت غیر مسلح می شود به طوری که فشار باربری در حالت غیر مسلح با حالت مسلح با U/H برابر $0/9$ اختلاف ناچیزی دارند.

شکل ۱۱ تغییرات فشار باربری در برابر U/H را در نشست های نرمال شده ۲، ۵ و ۱۰ درصد را نشان می دهد. برای مقایسه بهتر، نتایج نمونه های غیر مسلح نیز در این شکل نشان داده شده است. در نشست های پایین موقیت لایه اول ژئوگرید تاثیر کمی در افزایش یا کاهش فشار باربری دارد. این تاثیر در نشست های بالا مشهودتر می باشد. در نشست های بالاتر اثر غشایی ژئوگرید به خوبی بسیج

با توجه به نتایج ارائه شده در حالت غیر مسلح، مقادیر بهینه S/D و H/B به ترتیب برابر ۴ و $0/34$ می باشند. لذا کلیه آزمایش ها در حالت بالشتک مسلح با این مقادیر بهینه انجام گردید.

به منظور بررسی تاثیر مکان قرارگیری یک لایه ژئوگرید در بالشتک شنی، یک لایه ژئوگرید با طول $6B$ در موقعیت های مختلف (U/H برابر با $0/3$ ، $0/4$ و $0/6$) قرار داده شد. شکل ۱۰ تغییرات فشار باربری در برابر نشست نرمال شده در موقعیت های مختلف لایه اول ژئوگرید نشان می دهد. همان طور که دیده می شود با اضافه شدن لایه ژئوگرید نشست سیستم رادیه- شمع کاهش می یابد. کمترین میزان نشست سیستم در U/H برابر با صفر، یعنی وقتی که لایه ژئوگرید درست بالای نوک شمع ها قرار گرفته است، مشاهده گردیده است. در این حالت به دلیل انتقال مستقیم بار به شمع ها در اثر مولفه قائم

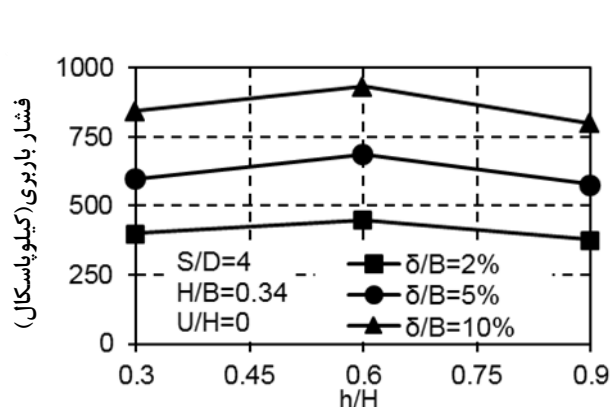
می شود و افزایش فشار باربری حالت مسلح نسبت به حالت غیر مسلح بیشتر است.



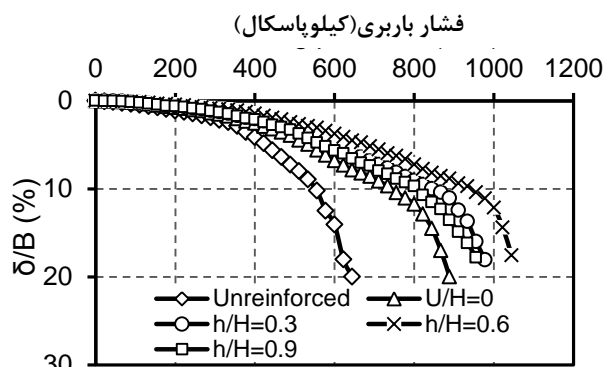
شکل ۱۰ تغییرات فشار باربری در برابر δ/B برای U/H های مختلف
شکل ۱۱ تغییرات فشار باربری در برابر U/H برای δ/B های مختلف

لذا بخش کمی از آن به لایه اول ژئوگرید و سر شمعها برسد. حداقل و حداکثر نشستها به ترتیب در h/H های برابر $0/6$ و $0/9$ مشاهده شده است. برای درک بهتر رفتار لایه دوم ژئوگرید تغییرات فشار باربری با موقعیت‌های مختلف لایه دوم ژئوگرید در نشست‌های نرمال شده ۲، ۵ و ۱۰ درصد در شکل ۱۳ نشان داده شده است. در تمامی نشست‌ها با افزایش h/H از $0/3$ به $0/6$ فشار باربری افزایش و با افزایش بیشتر به $0/9$ ، فشار باربری کاهش می‌یابد. تاثیر لایه دوم ژئوگرید در نشست ۵ و ۱۰ درصد بیشتر از نشست ۲ درصد می‌باشد.

به منظور بررسی تاثیر لایه دوم ژئوگرید بر رفتار فشار-نشست، لایه اول ژئوگرید در موقیت بهینه بدست آمده (U/H برابر با صفر) قرار داده شد و لایه دوم ژئوگرید در ترازهای مختلف (h/H برابر با $0/3$ ، $0/6$ و $0/9$) مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۱۲ نمودار فشار باربری در مقابل نشست نرمال شده در موقعیت‌های مختلف لایه دوم ژئوگرید را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود لایه دوم ژئوگرید نقش مهمی در کاهش نشست سیستم دارد. حضور لایه دوم ژئوگرید باعث می‌شود که بخش زیادی از بارهای عمودی اعمالی در سطح افقی توزیع شده و



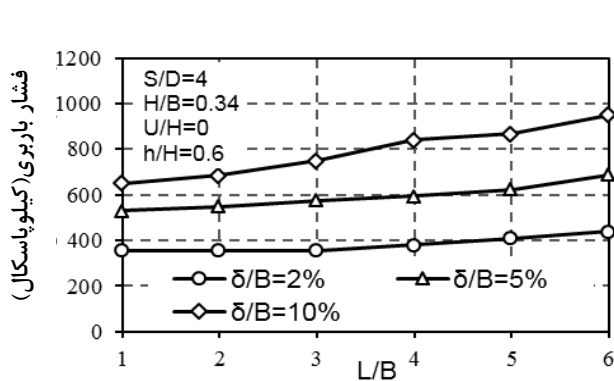
شکل ۱۳: تغییرات فشار باربری در برابر h/H در نشست‌های مختلف



شکل ۱۴: تغییرات فشار باربری در برابر δ/B در موقعیت‌های مختلف لایه دوم ژئوگرید

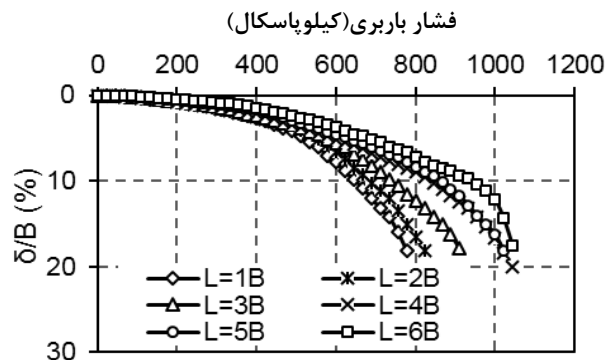
دهد. همان‌طور که دیده می‌شود در نشست‌های پایین طول لایه ژئوگرید تاثیر چشمگیری بر فشار باربری ندارد اما در نشست‌های بالا میزان تاثیر طول ژئوگرید چشمگیرتر است زیرا اثر غشایی ژئوگرید با افزایش نشست فعال می‌گردد. با کاهش L/B از ۶ به ۴ تاثیر کمی در کاهش فشار باربری مشاهده شده است در حالی که با کاهش L/B از ۴ به ۳ فشار باربری به شدت کاهش می‌یابد. کاهش طول لایه‌های ژئوگرید باعث می‌شود لایه‌های ژئوگرید در درون خاک جابجا شده و تنش برشی ماکزیمم در سطح ژئوگرید به طور کامل بسیج نگردد. لذا طول بهینه لایه‌های ژئوگرید در L/B برابر ۴ می‌باشد.

به منظور بررسی اثر طول لایه‌های ژئوگرید، رفتار سیستم رادیه-شمع در طول‌های مختلف ژئوگرید (L/B برابر با ۰، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۱) و تحت پارامترهای بهینه بدست آمده از آزمایش‌های قبلی (H/B، S/D، U/H و h/H به ترتیب برابر با ۰/۳۴، ۰/۴ و ۰/۶) بررسی گردید. شکل ۱۴ تغییرات فشار باربری در مقابل نشست نرمال شده را برای طول‌های مختلف لایه‌های ژئوگرید نشان می‌دهد. با کاهش طول ژئوگرید میزان نشست رادیه-شمع افزایش می‌یابد. افزایش طول لایه ژئوگرید باعث می‌شود مقاومت بخش‌های بیشتری از خاک در برابر بار وارده بسیج شود و اثر غشایی بخوبی فعال شود. شکل ۱۵ تغییرات فشار باربری در برابر L/B در نشست‌های نرمال شده ۲، ۵ و ۱۰ درصد نشان می‌-



شکل ۱۵: تغییرات فشار باربری در برابر L/B در δ/B های مختلف

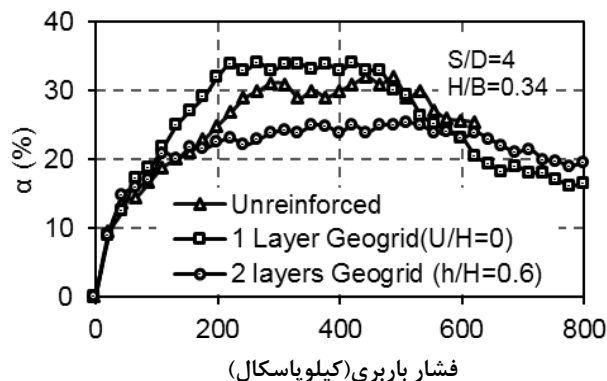
افزودن یک لایه ژئوگرید افزایش و با افزودن دو لایه ژئوگرید کاهش می‌یابد. در حالت یک لایه ژئوگرید، نیروی ایجاد شده از مولفه عمودی ناشی از کشش لایه ژئوگرید به طور مستقیم به شمع‌ها منتقل شده و سهم باربری شمع‌ها را افزایش می‌دهد. اگرچه در این حالت بخشی از بار عمودی وارده توسط اثر غشایی لایه ژئوگرید می‌تواند تحمل شود اما این پدیده در نشست‌های بالا که اثر بسیج‌کنندگی ژئوگرید بخوبی فعال می‌شود اتفاق می‌افتد. با قرار گیری لایه دوم ژئوگرید بخش زیادی از بار وارده توسط این لایه در سطوح بالایی بالشتک تحمل می‌شود که این امر باعث کاهش سهم باربری شمع‌ها از بار کل می‌گردد. این کاهش انتقال بار به لایه‌های پایین در اثر وجود لایه یا لایه‌های ژئوگرید در مطالعات تحلیلی انجام شده توسط Deb et al., (2013) مشاهده شده است.



شکل ۱۶: تغییرات فشار باربری در برابر δ/B برای طول های مختلف ژئوگرید

به منظور بررسی اثر حضور لایه‌های ژئوگرید بر سهم باربری شمع‌ها از کل بار، تغییرات α در برابر فشار باربری سیستم رادیه-شمع در حالت‌های غیر مسلح و مسلح شده با یک و دو لایه ژئوگرید، در شکل ۱۶ نمایش داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود در سطوح پایین بارگذاری (کمتر از ۱۰۰ کیلوپاسکال) سهم شمع‌ها در کلیه شرایط نزدیک بهم می‌باشد، زیرا در این سطوح بار، نشست‌ها ناچیز بوده و لذا اثر غشایی ژئوگریدها در روند انتقال بار ناچیز می‌باشد. مقادیر α در سطوح تنش زیر ۲۰۰ کیلو پاسکال با شیب تندی افزایش می‌یابد و سپس به سمت مقدار ثابتی میل می‌کنند و در نهایت شروع به کاهش می‌کنند.

حداکثر سهم شمع‌ها از کل بار به ترتیب برای حالت‌های غیرمسلح، مسلح شده با یک لایه و دو لایه ژئوگرید به ترتیب ۳۰، ۳۴ و ۲۵ درصد می‌باشد. همان‌طور که مشخص است سهم باربری شمع‌ها با



شکل ۱۶ تغییرات سهم باربری شمع‌ها در برابر فشار باربری برای حالت‌های مسلح و غیر مسلح

۴. نتیجه گیری

برابر ۴ مشاهده شده است. با حضور یک لایه ژئوگرید در بالشتک شنی و فعال شدن اثر غشایی، نشست رادیه-شمع‌ها کاهش می‌یابد. بهترین مکان برای قرار گیری لایه اول ژئوگرید درست در کف بالشتک و نوک شمع‌ها ($U/H=0$) می‌باشد. با قرار گیری این لایه ژئوگرید سهم شمع‌ها از بار کل افزایش می‌یابد. در نشست‌های کم اختلاف کمی بین حالت مسلح و غیر مسلح مشاهده شده است. اضافه کردن دو لایه ژئوگرید در بالشتک به شدت نشست‌ها را کاهش می‌دهد. بهترین مکان برای قرارگیری لایه دوم ژئوگرید در h/H برابر با $0/6$ است. علاوه بر آن با افزودن لایه دوم ژئوگرید به دلیل انتقال بیشتر بار قائم در سطح افق، سهم شمع‌ها از بار کل وارده کاهش می‌یابند. همچنین با کاهش طول لایه‌های ژئوگرید از ۶ برابر عرض رادیه تا ۴ برابر عرض رادیه تاثیر کمتری در کاهش فشار باربری مشاهده شده است که با کاهش طول

در این مقاله با انجام یکسری آزمایش بر روی رادیه-شمع‌های منفصل غیر مسلح و مسلح شده با ژئوگرید تحت بارهای قائم انجام گردید. نتایج نشان داد در حالت غیر مسلح با افزایش ضخامت بالشتک شنی فشار باربری افزایش می‌یابد. از یک مقدار مشخص ضخامت بالشتک شنی تاثیر کمتری در افزایش فشار باربری مشاهده شده است. در این حالت ضخامت بهینه بالشتک شنی در H/B برابر $0/34$ می‌باشد. در حالت غیر مسلح با افزایش ضخامت بالشتک شنی سهم باربری شمع‌ها از کل بار کاهش می‌یابد. در سطح بارهای کم ضخامت بالشتک شنی تاثیر کمتری در سهم شمع‌ها از کل بار دارد. بیشترین و کمترین سهم شمع‌ها از کل بار در H/B به ترتیب برابر $0/17$ و $0/50$ مشاهده شده است. همچنین در یک فاصله بهینه از شمع‌ها بیشترین فشار باربری و کمترین نشست مشاهده شده است. در این مطالعه حالت بهینه فاصله شمع‌ها در S/D

full-scale experimental study. *Geotextiles and Geomembranes*. 44 (2):157-169.

Davis E., Poulos H. 1972. The analysis of piled raft systems. *Australia Geotechnique Journal*. 2 (1):21-27.

Deb K., Mohapatra SR. 2013. Analysis of stone column-supported geosynthetic-reinforced embankments. *Applied Mathematical Modelling*. 37 (5):2943-2960.

El-Garhy B., Galil AA., Youssef A-F., Raia MA. 2013. Behavior of raft on settlement reducing piles: Experimental model study. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 5 (5):389-399.

El Sawwaf M. 2010. Experimental study of eccentrically loaded raft with connected and unconnected short piles. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*. 136 (10):1394-1402.

Gui M., Bolton M. 1998a. Geometry and scale effects in CPT and pile design. *Geotechnical site characterization* Edited by PK Robertson and PW Mayne Balkema, Rotterdam.1063-1068.

Gui M., Bolton M., Garnier J., Corte J., Bagge G., Laue J., Renzi R. 1998b. Guidelines for cone penetration tests in sand. In: *Centrifuge*, pp 155-160.

Huang M., Jiu Y., Jiang J., Li B. 2017. Nonlinear analysis of flexible piled raft foundations subjected to vertical loads in layered soils. *Soils and Foundations*. 57 (4):632-644.

Jenck O., Dias D., Kastner R. 2005. Soft ground improvement by vertical rigid piles two-dimensional physical modelling and comparison with current design methods. *Soils and Foundations*. 45 (6):15-30.

Kamalpoor Asl., Bakhtiari M., Ahadian J. 2018. Investigation of the effect of hammer radius parameters and number of impact on soil improvement by dynamic density method in line with the construction of offshore structures. *Journal of marine science and technology* Doi: 10.22113/JMST.2018.100314.2060

Ko J., Cho J., Jeong S. 2017. Nonlinear 3D interactive analysis of superstructure and

لایه‌های ژئوگرید به ۳ برابر عرض رادیه و کمتر کاهش فشار باربری قابل توجهی مشاهده شده است.

منابع

Akinboboye F., Adegbesan O., Ayegbusi O., Oderinde S. 2015. Comparison of the compressive strength of concrete produced using sand from different sources. *International Journal of Academic Research in Environment and Geography* 2 (1):6-16.

Alnuaim A., El Naggar M., El Naggar H. 2018. Performance of micropiled rafts in clay: Numerical investigation. *Computers and Geotechnics*. 99:42-54.

Ata A., Badrawi E., Nabil M. 2015. Numerical analysis of unconnected piled raft with cushion. *Ain Shams Engineering Journal*. 6 (2):421-428.

Basile F. 2015. Non-linear analysis of vertically loaded piled rafts. *Computers and Geotechnics*. 63:73-82.

Blanc M., Rault G., Thorel L., Almeida M. 2013. Centrifuge investigation of load transfer mechanisms in a granular mattress above a rigid inclusions network. *Geotextiles and Geomembranes*. 36:92-105.

Bolton MD., Gui M-W., Garnier J., Corte JF., Bagge G., Laue J., Renzi R. 1999. Centrifuge cone penetration tests in sand. *Géotechnique*. 49 (4):543-552.

Burland JB., Broms BB., de Mello VF. 1978. Behaviour of foundations and structures.

Cao XD., Wong IH., Chang M-F. 2004. Behavior of model rafts resting on pile-reinforced sand. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*. 130 (2):129-138.

Chen J-F., Li L-Y., Xue J-F., Feng S-Z. 2015. Failure mechanism of geosynthetic-encased stone columns in soft soils under embankment. *Geotextiles and Geomembranes*. 43 (5):424-431.

Chen R., Wang Y., Ye X., Bian X., Dong X. 2016. Tensile force of geogrids embedded in pile-supported reinforced embankment: A

- Sharafkhan M., Shooshpasha I. 2018. Physical modeling of behaviors of cast-in-place concrete piled raft compared to free-standing pile group in sand. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*.
- Sharma V., Vasanvala S., Solanki C. 2018. Effect of cushion on composite piled raft foundation in layered soil under seismic forces. *International Journal of Scientific Engineering and Technology*. 1 (6):314-322
- Standard B. 1995. Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills. British Standards Institution.
- Xing H., Zhang Z., Liu H., Wei H. 2014. Large-scale tests of pile-supported earth platform with and without geogrid. *Geotextiles and Geomembranes*. 42 (6):586-598.
- piled raft foundation. *Engineering Structures*. 143:204-218.
- Kumar A., Choudhury D. 2018. Development of new prediction model for capacity of combined pile-raft foundations. *Computers and Geotechnics*. 97:62-68.
- Lai H-J., Zheng J-J., Zhang J., Zhang R-J., Cui L. 2014. DEM analysis of “soil”-arching within geogrid-reinforced and unreinforced pile-supported embankments. *Computers and Geotechnics*. 61:13-23.
- Lu W., Miao L. 2015. A simplified 2-D evaluation method of the arching effect for geosynthetic-reinforced and pile-supported embankments. *Computers and Geotechnics*. 65:97-103.
- Liang F-Y., Chen L-Z., Shi X-G. 2003. Numerical analysis of composite piled raft with cushion subjected to vertical load. *Computers and Geotechnics*. 30 (6):443-453.
- Mosallanezhad M., Hataf N., Ghahramani A. 2008. Experimental study of bearing capacity of granular soils, reinforced with innovative grid-anchor system. *Geotechnical and Geological Engineering*. 26 (3):299-312.
- Naderi E., Hataf N. 2014. Model testing and numerical investigation of interference effect of closely spaced ring and circular footings on reinforced sand. *Geotextiles and Geomembranes*. 42 (3):191-200.
- Orak F., Bakhtiari M., Bahrami H. 2017. Assessment amount of the horizontal and vertical displacement of sea wall using FLAC3D software. *Journal of marine science and technology*. 16 (2): 114-125.
- Rault G., Thorel L., Garnier J. 2006. Modélisation physique de fondations et d'ouvrages maritimes. *Mécanique & Industries*. 7, 223 E 230 (in French)
- Sawada K., Takemura J. 2014. Centrifuge model tests on piled raft foundation in sand subjected to lateral and moment loads. *Soils and Foundations*. 54 (2):126-140
- Saeedi Azizkandi A., Baziar M., Rasouli H., Modarresi M., Shahnazari H. 2015. Centrifuge modeling of non-connected piled raft system. *International Journal of Civil Engineering*. 13 (2):114-123.

An investigation on reinforcement of cushion with geogrid in non-connected pile raft foundation resting on loose sandy soils adjacent to the coastal area

Mohammad Ghanbar Dezfouli¹, Masoud Dehghani², Adel Asakereh^{2*}, Behzad Kalantari²

1. Faculty of Engineering, University of hormozgan

2. Assistant Professor, Department of civil engineering, Faculty of Engineering, University of hormozgan

Corresponding Author: asakereh@hormozgan.ac.ir

Abstract:

In the coastal areas and especially in the harbors, due to the presence of loose sandy sediments and structures under high lateral and vertical loads, the use of pile raft is a suitable choice for the foundation of these infrastructures. In this system, raft and piles are separated and a cushion is used in the distance between the raft and the piles. The existence of reinforcement layers in the cushion such as the geogrid changes the behavior of the pile raft system. In this paper, the behavior of reinforced nonconnected pile raft with geogrid under vertical loading in sandy soils has been investigated by a laboratory studies. An automatic hydraulic jack were used in the load application and LVDT is used to measuring the settlement. The strain gages are installed at the tip of the piles to calculate the force applied to the piles. Tests were carried out under reinforced and non-reinforced condition. In non-reinforced case, the optimum thickness and pile spacing of the cushion and in the reinforced case, the optimal location of the first and second layer of the geogrid and the effect of the geogrid layers length on the load-settlement behavior and the share of the piles from the total load were evaluated. The results shows that the thickness of the cushion and the pile spacing have a significant effect on the behavior of the pile raft. The presence of geogrid layers in the cushion increases the bearing pressure and the share of piles from loads.

Keywords: Non-Connect pile raft, Cushion, Geogrid, Loose sand, coastal area

List of tables & figures

Figure 1. Load shared mechanism from raft to piles by arching effect in two cases: a) unreinforced b) reinforced (Blance et al, 2013)

Figure 2. Different equipment installed on the model

Figure 3. Arrangement of piles and location of strain gauges a) arrangement of piles b) arrangement of strain gauges c) location of strain gauges on piles

Figure. 4. Diagram of Particle size distribution

Figure 5. Geometry of the tests

Figure 6. Effect of the height cushion on bearing ratio at different S/D. a) S/D=2, b) S/D=4, S/D=6.

Figure 7. Effect of the height cushion on bearing ratio at 2%, 5% and 10 % settlement for different S/D. a) S/D=2, b) S/D=4, S/D=6.

Figure 8. Variation of the pile ratio load versus bearing ratio at different settlement a) S/D=2, b) S/D=4, c) S/D=6.

Figure 9. Variation of the bearing ratio versus S/D in 2%, 5% and 10% settlement at different H/B. a) H/B=0.17, b) H/B=0.34, c) H/B=0.5.

Figure 10. Variation of the bearing ratio versus δ/B for different U/H

Figure 11. Variation of the bearing ratio versus U/H for different δ/B

Figure 12. Variation of the bearing ratio versus δ/B at different location of the second layer of the geogrid

Figure 13. Variation of the bearing ratio versus h/H at different settlement

Figure 14. Variation of the bearing ratio versus δ/B for different lengths of the geogrid

Figure 15. Variation of the bearing ratio versus L/B for different δ/B

Figure 16. Variation of pile load ratio versus bearing ratio for reinforced and unreinforced cases

Table 1. Properties of geogrid

Table 2. Properties of the soils

Table 3. Test program