



اثر استفاده از ژئوسنتتیک‌ها در تقویت موج‌شکن قرار گرفته بر روی خاک سست با رویکردی عددی

رهام منصوری بروجنی^{۱*}، حامد بایسته^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران، دانشگاه قم، rohammb71@gmail.com

۲- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه قم، h.bayesteh@qom.ac.ir

چکیده

این مقاله با استفاده از نرم‌افزار PLAXIS به شبیه‌سازی موج‌شکن شاه‌عبدالله که بر روی خاک سست و ضعیف قرار گرفته و با استفاده از لایه‌های ژئوسنتتیک تقویت شده می‌پردازد. این موج‌شکن در بخش شمال غربی استان بوشهر قرار دارد. مشاهدات سایت و مطالعات ژئوتکنیک نشان می‌دهد که خاک این منطقه رطوبت بالا و ظرفیت باربری پایین دارد که باعث می‌شود موج‌شکن ساخته شده بر روی آن از پایداری برخوردار نباشد. هدف اصلی این مقاله ارزیابی تأثیر مسلح کردن خاک سست با استفاده از ژئوسنتتیک در قرارگیری موج‌شکن بر روی آن می‌باشد. تأثیر برخی از پارامترها، مانند تعدا لایه‌های مسلح‌کننده، طول لایه‌های مسلح‌کننده و عمق لایه خاک سست، نیز تحلیل می‌شود. نتایج حاصل نشان می‌دهد استفاده از ژئوسنتتیک‌ها در جابجایی‌ها و نشست‌های بزرگ تأثیر زیادی در تقویت خاک دارد و بهبود این پدیده به علت نیروهای بوجود آمده در درون ژئوسنتتیک‌ها استفاده شده می‌باشد. در انتها سه الگوی اجرا شده در موج‌شکن شاه‌عبدالله که با نشست‌های متفاوت هستند در نرم‌افزار مدل شده و باهم مقایسه می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: مدل‌سازی عددی، روش اجزا محدود، موج‌شکن شاه‌عبدالله، ژئوسنتتیک

۱- مقدمه

با توجه به انقلاب صنعتی در اواسط قرن نوزدهم که به یک پیشرفت عظیم در حوزه‌های اجتماعی، اقتصادی و علمی در یک زمان کوتاه منجر شد، تقاضا برای زیرساخت‌هایی برای اماکنی مانند خانه‌ها، جاده‌ها و راه‌آهن‌ها در مقیاس کوچک و سازه‌هایی مانند بندر، سدها و فرودگاه‌ها در مقیاس بزرگ افزایش یافت. این شرایط، ساخت و ساز را مجبور به حرکت به اراضی باتلاقی و مکان‌هایی با خاک به شدت نامساعد کرد [۱]. این مهم خصوصاً در ایران و در استان‌های ساحلی کشور خصوصاً استان خوزستان و ناحیه شمال غربی استان بوشهر که از لایه‌های رسی نرم تشکیل شده‌اند، به خوبی مشهود است. خاک‌های لجنی معمولاً از مصالح ریز دانه (رس و لای) شل با درصد بالای رطوبت (نزدیک حد روانی و بالاتر از آن) تشکیل شده‌اند [۲]. این خاک‌ها حالتی بین جامد و مایع داشته و مقاومت برشی و ظرفیت باربری بسیار پایینی دارند. این نوع از خاک‌ها را نمی‌توان به صورت متعارف متراکم نمود و به‌عنوان بستر مناسب مورد استفاده قرار داد. جز در حالت‌های استثنایی، در اغلب موارد، عامل سستی، وجود میزان رطوبت نسبتاً زیاد می‌باشد. روش‌های مختلفی برای مقابله با این پدیده نشست سازه درون



خاک سست وجود دارد که برخی روش‌های ساخت بر روی این خاک‌ها عبارتند از: ساخت مرحله‌ای، پیش بارگذاری با استفاده از زهکش‌های قائم، تراکم دینامیکی، برداشت خاک لجنی، استفاده از شمع، استفاده از مصالح سبک با وزن مخصوص کم برای کاهش سربار و استفاده از ژئوسنتتیک‌ها، که ممکن است به تنهایی یا به صورت ترکیبی استفاده شوند. بیشتر روش‌های فوق گران بوده یا مشکلات اجرایی خاصی را خصوصا در نواحی ساحلی دریا به همراه دارند. از بین روش‌های ذکر شده، روش استفاده از ژئوسنتتیک‌ها کاربرد بیشتری داشته و بیشتر از همه مورد استفاده قرار گرفته است [۳].

احمدی تطفی و فاخر (۱۳۸۰)، با شرح آزمایش‌هایی به بررسی چگونگی نفوذ و پخش مصالح درشت دانه خاکریز به داخل خاک لجنی و همچنین نفوذ خاک لجنی به داخل مصالح درشت‌دانه پرداختند و اثر جدا کننده‌های مختلف در این فرآیند را مورد بررسی قرار داده‌اند. همچنین نتیجه‌گیری‌های انجام شده توسط آن‌ها نشان می‌دهد با تغییر نوع مصالح خاکریز در کف آن و در نتیجه کاهش نفوذ لجن در خاکریز و پخش شدگی مصالح در لجن و تشکیل سریع کیک لجنی ایجاد یک بستر اولیه نموده، همچنین یک لایه جدا کننده مانع از پخش شدگی مصالح خاکریز در خاک لجنی می‌شود [۳]. در پژوهشی دیگر پدیده فرورفت سنگدانه‌های موج‌شکن در یک روش آزمایشگاهی پیشنهادی توسط میرز و فاخر (۱۳۸۴)، مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه به طور خاص لایه مترس در کف موج‌شکن بر روی بسترهای لجنی بررسی و اثر عوامل مختلف مانند اندازه سنگ‌دانه‌ها و خصوصیات خاک لجنی مطالعه شده‌است و نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد تغییر مصالح خاکریز در نزدیکی بستر (مترس)، باعث کاهش نفوذ و فرورفت سنگدانه‌ها شده و یک بستر اولیه مناسب ایجاد می‌گردد. در انتها نیز رابطه‌ای را هم برای تعیین ضخامت لایه مترس پیشنهاد داده‌اند [۴]. به منظور بررسی تاثیر ژئوسنتتیک‌ها در کاهش نشست در بسترهای سست، تحقیقاتی در زمینه باربری استاتیکی خاک مسلح توسط Lee و Binqut (۱۹۷۵)، با تمرکز بر ظرفیت باربری خاک مسلح، به ارائه روابطی در مورد نیروی وارد شده و تغییر شکل حاصله منجر شد. در این مطالعه نمونه‌های آزمایشگاهی با خاک بستر ماسه تهیه شده و مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. یکی از نقاط ضعف این مطالعه، در نظر گرفتن معیارهای شکست به صورت پیش فرض می‌باشد. نتایج حاصل از داده‌های آزمایشگاهی این مطالعه نشان داد که استفاده از ژئوسنتتیک‌ها بر روی میزان باربری و نشست تاثیر بسزایی داشته و هر دو عملکرد را بهبود می‌بخشد [۵]. محققین مختلفی، رویکردهای دیگری را به منظور پیشگیری از نشست و فرورفت مصالح در بسترهای نرم را مد نظر قرار دادند که در ادامه به مواردی اشاره خواهد شد.

رفتار خاکریز ایجاد شده بر روی بستر لجنی برای بررسی اثرات ناهمگنی و ناهمسانی ذرات خاک با استفاده از روش المان محدود به صورت تجزیه و تحلیل استاتیکی توسط Cudny و Neher (۲۰۰۳)، انجام گرفت و مشکلات مربوط به مناطق تحت تنش و شرایط پیش‌بارگذاری و همچنین مشکلات مربوط به برآورد پارامترها در مدل‌سازی انجام شده مورد بررسی قرار گرفت و بعد از بررسی رفتار خاک در واقعیت و مدل پیش‌بینی شده با نرم‌افزار مشخص شد که مدل عددی توانایی مناسبی برای توجیه رفتار خاک را دارا است [۶]. بوشهریان و هاتف (۲۰۰۳)، در زمینه آنالیز عددی ظرفیت باربری سازه‌های واقع بر خاک مسلح مطالعاتی را انجام دادند. در این مطالعه تاثیر بارگذاری بر روی خاک مسلح هم به صورت آزمایشگاهی و هم به صورت عددی مورد بررسی قرار گرفت و پارامترهای دخیل نیز آنالیز حساسیت شد. این محققین نشان دادند که افزایش سختی مسلح کننده بعد از یک بازه مشخص در میزان نشست‌ها تغییر ایجاد نمی‌کند [۷]. مرندی و همکاران (۲۰۰۸)، نیز در تحقیقاتی به بررسی رفتار فونداسیون‌های سطحی دایره‌ای شکل بر روی خاک‌های ماسه‌ای پرداخته‌اند، که در این مطالعه از روش‌های عددی استفاده شد که اختلاف حاصل از نمونه مدل‌سازی شده و نتایج تجربی ناچیز بود [۸]. Karstunen و همکاران (۲۰۱۳)، به بررسی استفاده از برخی روش‌های عددی برای مدل‌سازی رفتار خاک رس نرم تراکم‌پذیر و لجنی که به تازه‌گی از آن‌ها استفاده شده است، پرداختند. در این پژوهش علاوه بر بررسی پیشرفت روش‌های عددی جدید برای شبیه‌سازی رفتار خاک‌های رسی به بررسی رفتار تنش-کرنش در این نوع از خاک‌ها پرداختند و مدل‌های عددی وابسته به ساختار ذرات خاک رس را پایه



و اساس پیشرفت در شناسایی رفتار این نوع خاکها معرفی کردند. در انتها با مقایسه مدل‌های عددی و نتایج تجربی مشخص شد که این روش‌ها از توانایی خوبی برای توصیف رفتار خاک‌های رسی برخوردار هستند [۹]. طاهرخانی و همکاران (۱۳۹۲)، به بررسی تاثیر ژئوسنتتیک‌ها بر نشست خاکریزها بر روی بسترهای سست با استفاده از روش‌های تفاضل محدود پرداختند. تمرکز این مطالعه بر روی خاکریزهای راهسازی بود و در این مطالعات وجود آب زیرزمینی در مطالعات در نظر گرفته نشد و پیشنهاد گردید از مسلح کننده‌های ژئوسنتتیکی برای بهسازی استفاده گردد. در ضمن نشان داد با بکارگیری مواد ژئوسنتتیکی می‌توان تا حدود ۶۰ درصد مقدار نشست را کاهش داد [۱۰].

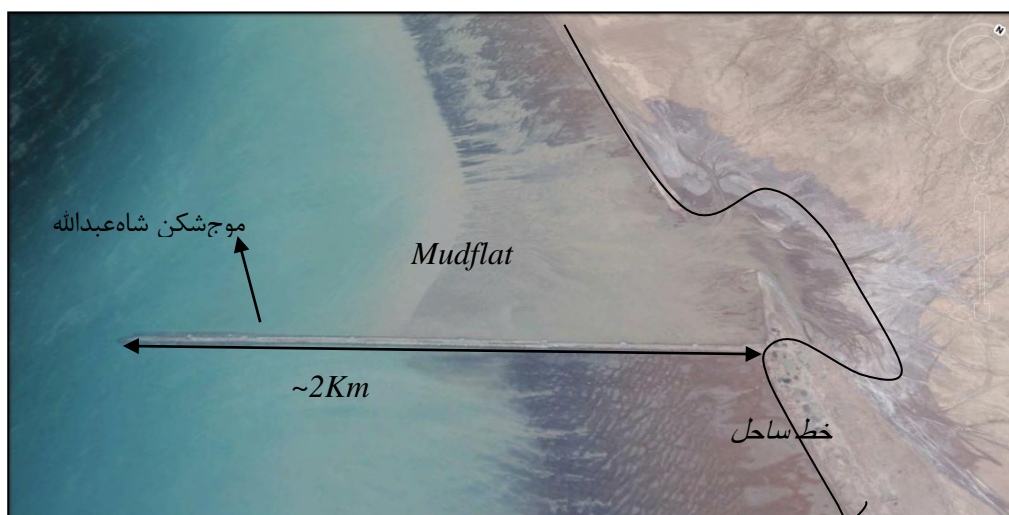
در تمام مطالعات فوق، اثربخشی تقویت ژئوسنتتیک به منظور بهبود ثبات و رفع مشکل نشست خاکریزها بر روی خاک سست با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است. با این حال، اثر تقویت ژئوسنتتیک‌ها بر عملکرد موج‌شکن‌های ساخته شده بر روی خاک سست به روش عددی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین هدف این مقاله، بررسی رفتار عددی موج‌شکن شاه‌عبدالله که با ژئوسنتتیک‌ها تقویت شده و بر روی خاک سست قرار گرفته است، می‌باشد. علاوه بر این در مناطق گسترده‌ای از سواحل جنوب کشور به دلیل شرایط خاص ساختگاه، تغییرات مورفولوژیک، انباشت رسوبات و بالا بودن درصد رطوبت، بستر رفتاری شبیه مایع از خود نشان داده، دارای ظرفیت باربری کم و تراکم‌پذیری بالاست و در این گونه بسترها به دلیل عدم تشکیل پی و فقدان ظرفیت باربری کافی، سنگدانه‌ها در داخل بستر فرورفته و مصالح سست بستر پس از پر کردن فاصله بین سنگدانه‌ها، از زیر سازه کنار رفته و تورم رخ می‌دهد. در این موارد ممکن است مقدار فرورفت مصالح به قدری زیاد باشد که توجه اقتصادی احداث پروژه از بین برود. بنابراین یک شبیه‌سازی عددی مناسب می‌تواند با پیش‌بینی رفتار خاک به ساخت و ساز بر روی این نوع خاک‌ها کمک فراوانی کند.

۲- ویژگی‌های سایت

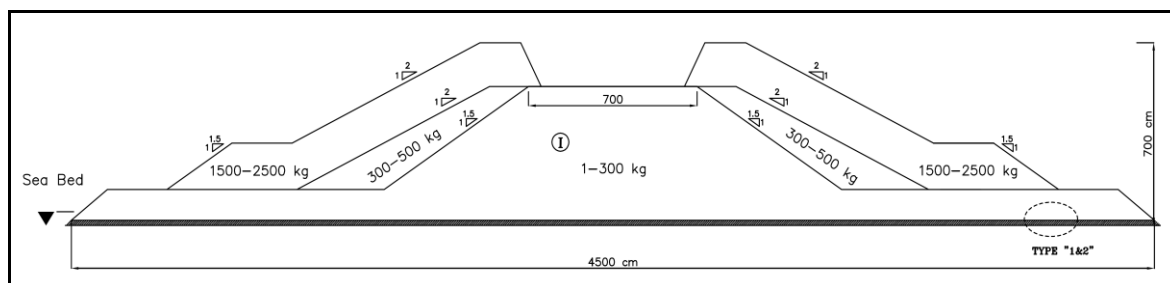
موج‌شکن شاه‌عبدالله در استان بوشهر در ۲۰ کیلومتری شمال بندر دیلم در قالب طرح احداث موج‌شکن‌های بنادر چندمنظوره در سواحل و جزایر جنوبی کشور مدنظر قرار گرفت. مختصات شروع موج‌شکن نقطه $x=411825.20$ و $y=3339322.6N$ می‌باشد. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی موج‌شکن شاه‌عبدالله را نشان می‌دهد و شکل ۲ بازوی موج‌شکن و محل قرارگیری آن را در خلیج فارس نشان می‌دهد. در حین اجرای بازوی دسترسی و بعد از حدود ۱۳۹۵ متر پیشروی، عملیات اجرایی به دلیل برخورد با بستر سست متوقف شد. راهکارهای مختلفی برای مواجهه با این مشکل مطرح و اجرا شد که در این مطالعه به بررسی استفاده از ژئوسنتتیک‌ها برای جلوگیری از نشست پرداخته خواهد شد. خاک بستر موج‌شکن نیز مانند بسیاری از سازه‌های دیگر به دلیل اضافه تنش اعمالی به لایه‌های بستر دریا در اثر احداث سازه، دچار نشست آبی و تحکیمی خواهد شد. به طور کلی این نشست، عملکرد موج‌شکن‌های توده‌سنگی را چندان مختل نمی‌نماید، زمانی مشکل جدی بروز می‌کند که به دلیل شرایط خاص ساختگاه، تغییرات مورفولوژیک، انباشت رسوبات و بالا بودن درصد رطوبت، بستر رفتاری شبیه مایع از خود نشان داده، دارای ظرفیت باربری کم و تراکم‌پذیری بالاست و به دلیل عدم تشکیل پی و فقدان ظرفیت باربری کافی، سنگدانه‌ها در داخل بستر فرو رفته و مصالح سست از زیر سازه فرار می‌کنند. شکل ۳ مقطع عرضی موج‌شکن را نشان می‌دهد که در آن ویژگی‌های موج‌شکن شامل عرض تاج و ارتفاع موج‌شکن، طول اولین لایه ژئوسنتتیک استفاده شده، وزن مصالح استفاده شده در قسمت‌های مختلف موج‌شکن و شیب قرارگیری آنها مشخص شده است.



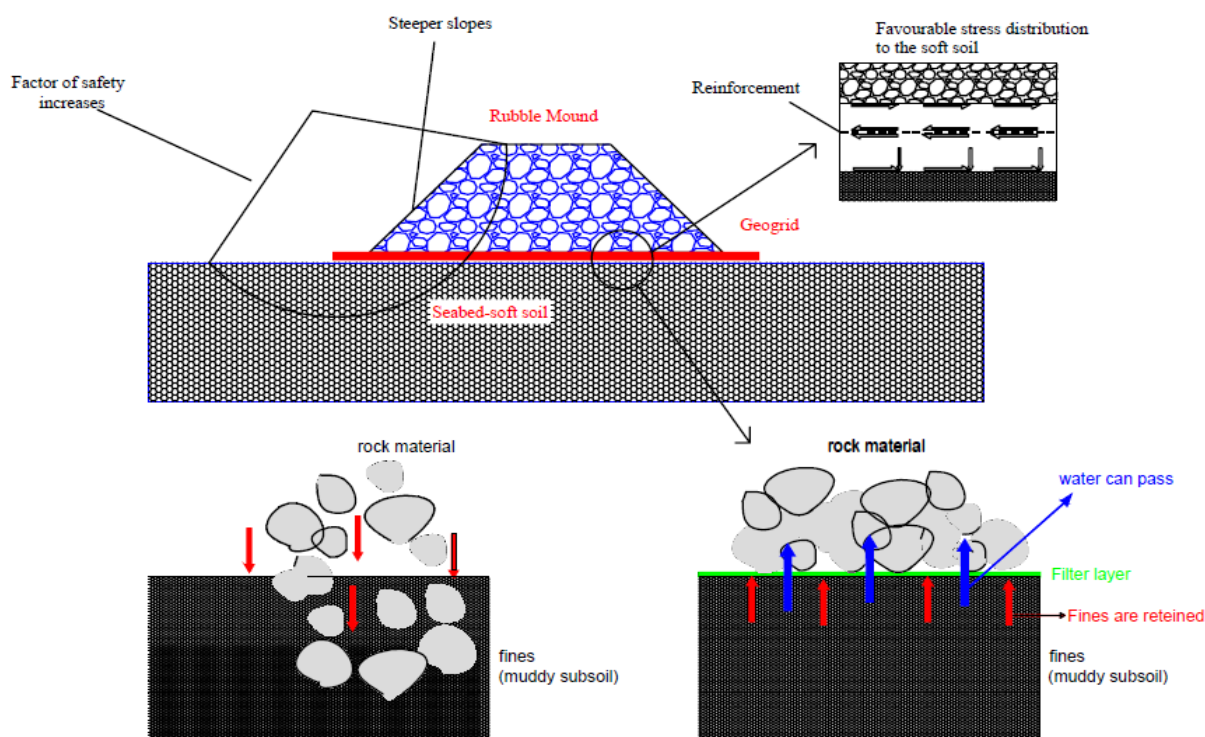
شکل ۱: محل قرار گیری موج شکن شاه عبدالله در خلیج فارس



شکل ۲: بازوی موج شکن و محل قرار گیری آن



شکل ۳: مقطع عرضی موج شکن



شکل ۴: نحوه فرورفت مصالح با استفاده از محصولات ژئوسنتتیک و بدون آن

استفاده از محصولات ژئوسنتتیک و مسلح ساختن بستر، فشار سربار ناشی از احداث سازه بر روی بستر لجنی که به صورت تنش‌های برشی در خاک بستر وارد می‌شود را تحمل کرده، تغییر شکل افقی را کاهش داده و باعث افزایش ظرفیت باربری و پایداری می‌شود [۱۱]. در شکل ۴ نحوه فرورفت مصالح با استفاده از محصولات ژئوسنتتیک و بدون آن نشان داده شده است. ژئوتکستایل و ژئوگرید مورد استفاده در پروژه شاه‌عبدالله دارای عرض ۵ و طول ۴۵ متر هستند. پهن نمودن این لایه‌ها در کنار یکدیگر با رعایت همپوشانی ۰/۵ متر انجام می‌شود. جهت سهولت اجرا ابتدا ژئوتکستایل و ژئوگرید لایه اول که باید بر روی سطح بستر قرار گیرند، به هم دوخته می‌شوند و سپس دور دو لوله ۴ اینچی پیچیده می‌شوند تا از دو طرف به هم برسند، این دو لوله در آکس مقطع موج‌شکن قرار می‌گیرند و توسط غواص باز می‌شوند. همزمان با باز کردن رول کم مصالح مغزه (-۵۰



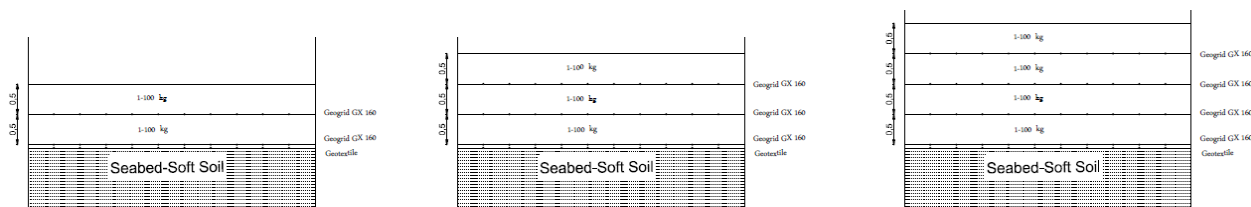
۱۵۰ kg) روی آن ریخته می‌شود تا توسط آب بلند نشوند. ارتفاع مغزه‌ریزی بر روی لایه ژئوسنتتیک حدود ۵۰ سانتیمتر است. نحوه اجرای لایه اول مسلح‌کننده روی خاک سست در شکل ۵ نشان داده شده است. سه الگوی مختلف از مسلح‌سازی با استفاده از ژئوتکستایل‌ها در ۳ مقطع متفاوت هر کدام به طول تقریبی ۳۰ متر استفاده شده است، الگوی شماره یک شامل استفاده از یک لایه ژئوتکستایل و ژئوگرید بافته شده به هم که بر روی خاک سست قرار دارد و مغزه‌ریزی روی آن به ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر انجام می‌شود و بعد از آن یک لایه ژئوگرید روی آن قرار می‌گیرد و مغزه‌ریزی روی این لایه تا رسیدن به ارتفاع مورد نظر ادامه می‌یابد. در الگوی شماره دو همانند الگوی شماره یک مسلح‌سازی انجام می‌شود با این تفاوت که از دو لایه ژئوگرید استفاده می‌شود (هر کدام از لایه‌های ژئوگرید با هم ۵۰ سانتی‌متر فاصله دارند)، الگوی شماره سه نیز همانند دو الگوی پیشین می‌باشد با این تفاوت که از سه لایه ژئوگرید برای مسلح‌سازی موج‌شکن استفاده شد. شمای کلی اجرای این سه حالت در شکل ۶ نشان داده شده است. بعد از اجرای سه الگوی بیان شده، نتایج نشست انجام شده با استفاده از ابزار دقیق اندازه‌گیری شده و در جدول ۱ قابل مشاهده می‌باشد



شکل ۵: نحوه قرار دادن ژئوتکستایل بر روی خاک سست و قرار دادن ذرات بر روی ژئوتکستایل

جدول ۱: نتایج اندازه‌گیری میزان فرورفت در موج‌شکن

ردیف	نحوه استفاده از ژئوسنتتیک	متراژ (m)	مدت زمان گذشته	میزان فرورفت (m)
۱	I ژئوسنتتیک الگوی	۱۴۱۱-۱۴۴۱	۴ ماه و نیم	۰.۶۳
۲	II ژئوسنتتیک الگوی	۱۴۴۱-۱۴۷۱	۳ ماه و نیم	۰.۷۲
۴	III ژئوسنتتیک با الگوی	۱۵۰۶-۱۵۳۸	۱ ماه و ۲۱ روز	۰.۸۱

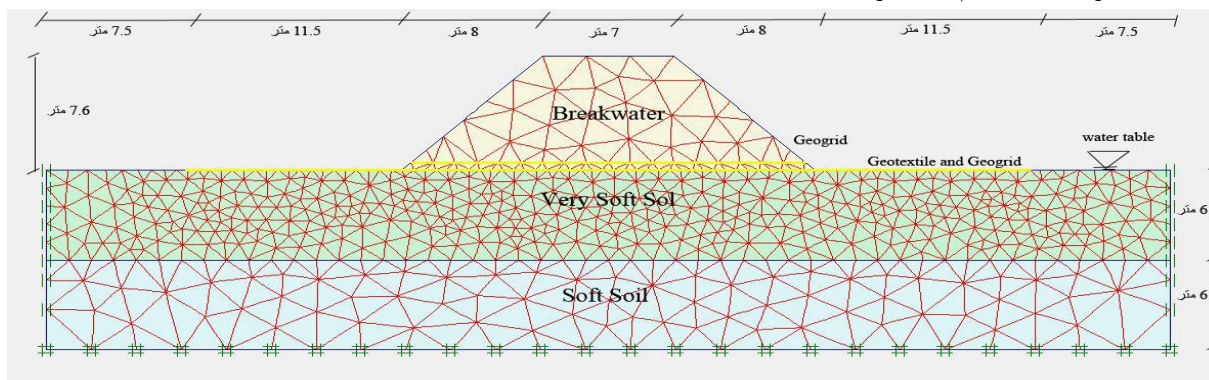


شکل ۶: سه الگوی متفاوت استفاده شده برای مسلح سازی موج شکن

۳- مدل سازی عددی

در این مقاله، نرم افزار المان محدود PLAXIS برای مطالعه اثر تقویت ژئوسنتتیک در موج شکن قرار گرفته بر روی خاک سست مورد استفاده قرار گرفت. PLAXIS یک نرم افزار مبتنی بر المان محدود می باشد که برای توجیه رفتار خاک و سنگ و تجزیه و تحلیل تغییر شکل و ثابت در پروژه های مهندسی ژئوتکنیک توسعه یافته است. چندین مدل رفتاری متفاوت حالت های مختلف و زمینه های کاربردی در کد تجاری گنجانده شده است. کد PLAXIS محدوده فشارها، تنش ها و حالت های ناپایداری خاک را محاسبه می کند و اجازه می دهد مش های ایجاد شده در هر فاز به روز رسانی شده و محاسبات ادامه یابد [۱۲]. موضوع مورد بررسی در این پژوهش نشست انجام شده در موج شکن می باشد که در شکل ۷ مدل ایجاد شده در نرم افزار قابل مشاهده می باشد.

با توجه به نتایج آزمایشات صحرایی و آزمایشگاهی مشخص شد که خاک زیر موج شکن را می توان به دو لایه خاک سست و خاک بسیار سست تقسیم بندی کرد.



شکل ۷: مش های ایجاد شده به روش اجزای محدود برای ژئوسنتتیک ها و خاک سست و موج شکن

محل قرار گیری مرزها بر اساس محاسبات آزمایشی، تعیین شد که طی آن مش ها مدام به روز رسانی می شدند و مرزها تا زمانی که تغییرات تنش ها در آن به میزان زیادی کاهش یابد گسترش پیدا کردند. نتایج محاسبات باعث شد که امتداد مرزها از هر طرف مدل تا ۷،۵ متر و در عمق به میزان ۱۲ متر ادامه یابد. مدل ایجاد شده در طرفین غیرقابل نفوذ می باشد و سطح خاک ایجاد شده (سطح بین خاک سست و بسیار سست) کاملاً نفوذپذیر در نظر گرفته می شود. سطح آب موجود برابر با سطح زمین در نظر گرفته شده و برای ایجاد نمونه در ویژگی های عمومی از مدل Plane strain و المان ۱۵ گره ای استفاده شده است و با توجه به تغییر شکل های صورت گرفته در خاک زیر موج شکن شاه عبدالله، مش بندی ایجاد شده در خاک بسیار سست ریزتر از سایر مناطق در نظر گرفته شد.

در تجزیه و تحلیل عددی، برای خاک های زیر موج شکن از مدل رفتاری (SSM) soft soil model استفاده می شود. این یکی از مدل های رفتاری است که در نرم افزار Plaxis وجود دارد و برای خاک های نرم و سست استفاده می شود. خاک استفاده شده برای



موج‌شکن با توجه به رفتارهای که در واقعیت از خود نشان می‌دهد با استفاده از مدل رفتاری Mohr-Coulomb (M-C) مدل شد که برای رفتار الاستوپلاستیک از آن استفاده می‌شود. رفتار ژئوسنتتیک‌ها (ژئوگرید و ژئوتکستایل) با استفاده از المان خطی با دو درجه آزادی در هر گره شبیه‌سازی شد. ژئوسنتتیک‌ها تنها می‌توانند نیروهای کششی را تحمل کنند و به‌عنوان ماده الاستوپلاستیک مدل سازی شدند. تنها پارامتر مورد استفاده برای ژئوسنتتیک‌ها سختی کششی است که در این مقاله این مقدار برای ژئوگرید 580 kn/m^2 و برای ژئوتکستایل 50 kn/m^2 در نظر گرفته شد. برای ایجاد ارتباط بین خاک و ژئوسنتتیک‌ها با قرار دادن المان رابط (interface) که یک المان با ضخامت خیالی است و تنها برای ایجاد رابطه بین مواد مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد، استفاده شد و مقدار آن 0.33 در نظر گرفته شد، این مقدار بر اساس پژوهش‌های انجام شده توسط *ali* و *aiban* و *ali* بدست آمد [۱۳].

برای صحت‌سنجی رفتار موج‌شکن و خاک مدل شده در نرم‌افزار با استفاده از تغییر پارامترهای استفاده شده در هر مدل رفتاری به نشست انجام شده در الگوی اولیه رسیدیم و برای مدل‌سازی سایر الگوهای بیان شده بدون تغییر در پارامترها به تحلیل نتایج پرداخته می‌شود. مشخصات استفاده شده برای انواع خاک‌ها در این مدل‌سازی در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲: پارامترهای استفاده شده برای موج‌شکن، خاک بسیار سست و خاک سست

پارامتر	خاک سست	خاک بسیار سست	موج‌شکن
مدل رفتار	مدل خاک سست	مدل خاک سست	موهر کلمپ
نوع رفتار خاک	زهکشی نشده	زهکشی نشده	زهکشی شده
وزن مخصوص kn/m^3	17	14	22
نفوذپذیری افقی m/day	$1*10^{-4}$	$1*10^{-3}$	-
نفوذپذیری قائم m/day	$1*10^{-4}$	$1*10^{-3}$	-
ضریب فشردگی	0.1	1	-
ضریب تورم	0.04	0.15	-
نسبت تخلخل	1.3	2.5	-
چسبندگی موثر kn/m^2	8	5	5
زاویه اصطکاک موثر	17	8	42
مدول یانگ موثر	-	-	40000
ضریب پواسون موثر	-	-	0.3

۴- تحلیل پارامترهای استفاده شده

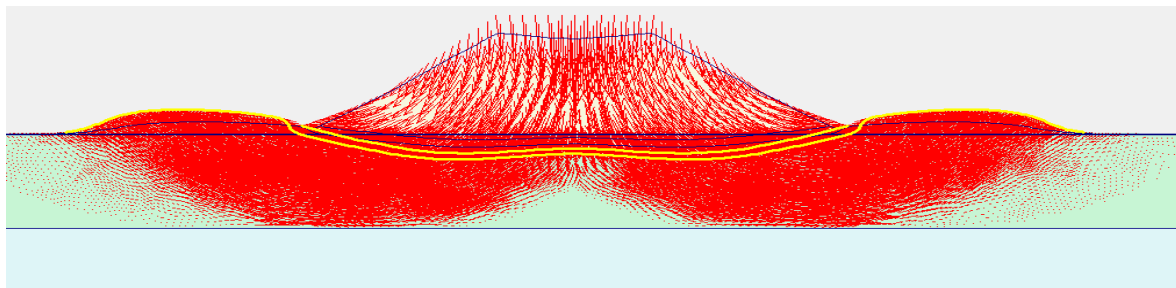
مدل‌سازی موج‌شکن و خاک زیر آن برای تجزیه و تحلیل عددی در نرم‌افزار انجام شد و نمای اولیه از مدل‌سازی الگوی شماره یک بعد از اعمال سربار را می‌توان در شکل ۸ مشاهده نمود. مدل‌سازی این ساختگاه بدون استفاده از ژئوگرید نیز انجام گرفت که به‌علت تغییر شکل بسیار زیاد در خاک سست زیرین و گسیختگی موج‌شکن ادامه بار گذاری با مشکل مواجه شد.



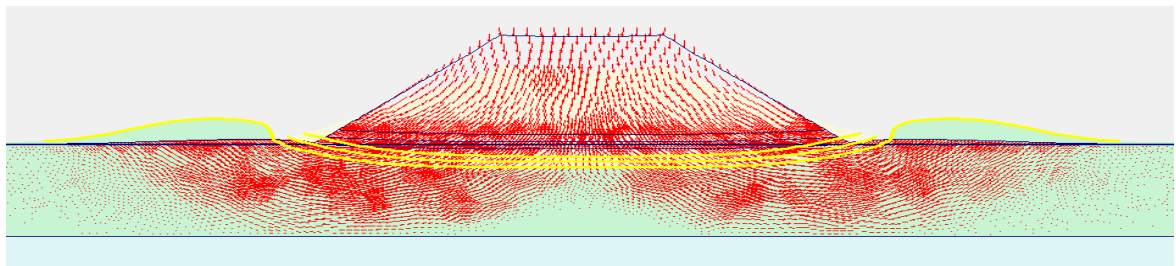
بنابراین اجرای این موج شکن فقط با استفاده از مسلح کننده‌ها امکان پذیر می‌باشد و در صورت عدم استفاده از مسلح کننده‌ها امکان ادامه مدل سازی در نرم افزار امکان پذیر نمی‌باشد و در واقعیت تیز نشست زیاد صورت گرفته هزینه زیادی را به پروژه تحمیل می‌کند.

۱-۴- تاثیر تعداد لایه‌های مسلح کننده در نشست نهایی

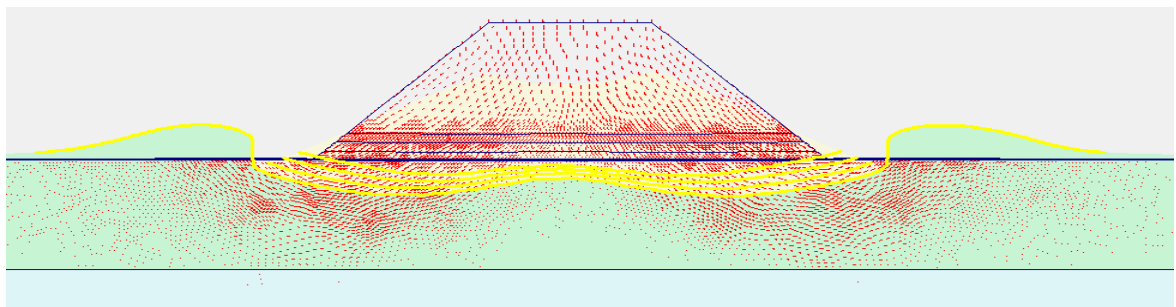
تاثیر استفاده از مسلح کننده در کاهش نشست در تحقیقات گذشته مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش به بررسی استفاده از تعداد لایه‌های مختلف و فاصله قرارگیری این لایه‌ها از یکدیگر پرداخته خواهد شد. در این بخش اثر استفاده از لایه‌های مختلف مسلح کننده با فاصله ۵۰ سانتی متری از یکدیگر پرداخته می‌شود. در الگوی شماره یک بعد از اعمال سربار (قرار گرفتن موج شکن بر روی خاک) نشست انجام شده به مقدار ۰/۶۳ متر رسید که با نشست اندازه گیری شده در موج شکن مطابقت دارد. و همان طور که مشاهده می‌شود در کناره‌های موج شکن با بالازدگی خاک زیر موج شکن مواجه می‌شویم که ناشی از اعمال سربار می‌باشد و علاوه بر آن تغییر شکل ایجاد شده در ژئوسنتتیک‌های استفاده شده مشخص می‌نماید که استفاده از این مواد برای مسلح سازی موج شکن باعث ایجاد نیرو در این مواد شده و این نیرو با انتقال به قسمت‌های دیگر خاک مانع از نشست زیاد در موج شکن می‌شود. وجود موارد ذکر شده در دو الگوی دیگر نیز با اندکی تغییر در مقدار آنها اتفاق افتاد که در شکل ۹ و ۱۰ می‌توان این موارد را مشاهده کرد.



شکل ۸: جابجایی انجام شده در موج شکن و خاک زیر آن به دلیل اعمال سربار در الگوی شماره یک



شکل ۹: جابجایی انجام شده در موج شکن و خاک زیر آن به دلیل اعمال سربار در الگوی شماره دو





شکل ۱۰: جابجایی انجام شده در موج شکن و خاک زیر آن به دلیل اعمال سربار در الگوی شماره سه

همان طور که در شکل های ۸-۱۰ مشخص است افزایش تعداد لایه های مسلح کننده باعث کاهش چشم گیر جابجایی های انجام شده در خاک و موج شکن می شود. شکل ۱۱ میزان نشست انجام شده در سه الگوی استفاده شده را در قالب یک نمودار نشان می دهد.

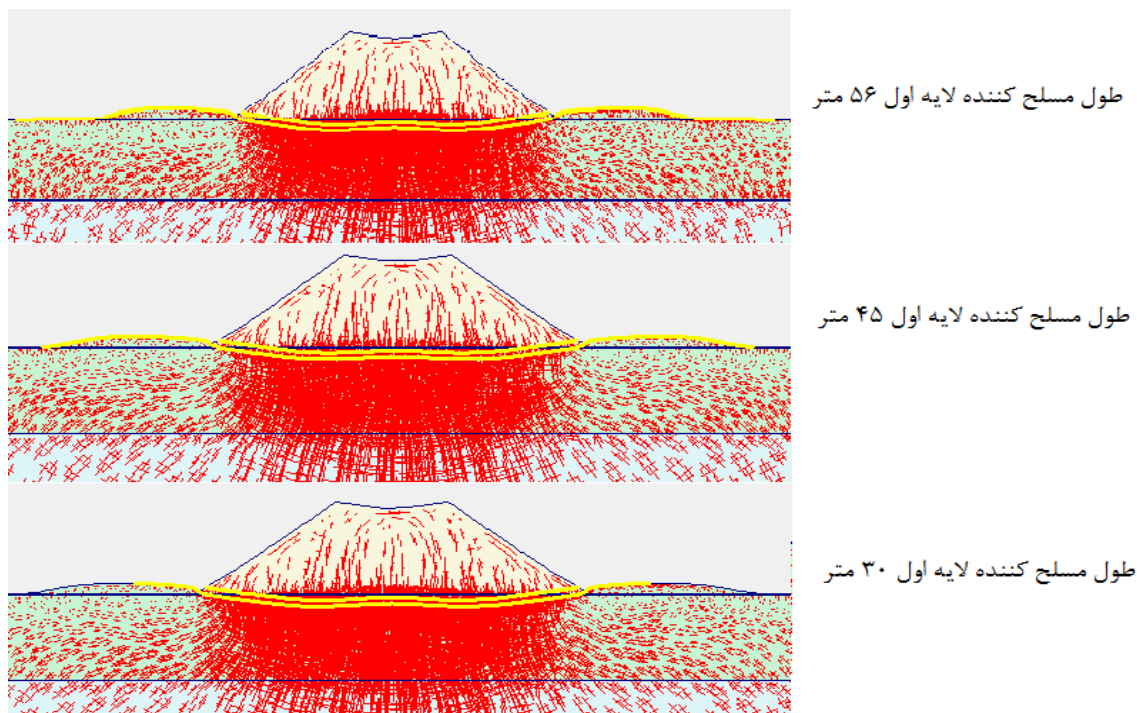


شکل ۱۱: نشست انجام شده در هر سه الگوی مدل سازی شده

نشست انجام شده در الگوی شماره سه که از تعداد بیشتری مسلح کننده در آن استفاده شده بسیار کمتر از الگوی اول می باشد، این رفتار را می توان با انتقال انرژی از لایه های مختلف ژئوگرید به ذرات خاک توضیح داد. بدین ترتیب استفاده از لایه های بیشتر در خاک انتقال نیرو را تعدیل کرده و باعث می شود نیروی وارد شده از موج شکن به خاک در سطح بیشتری به خاک منتقل شده و از نشست زیاد موج شکن جلوگیری نماید.

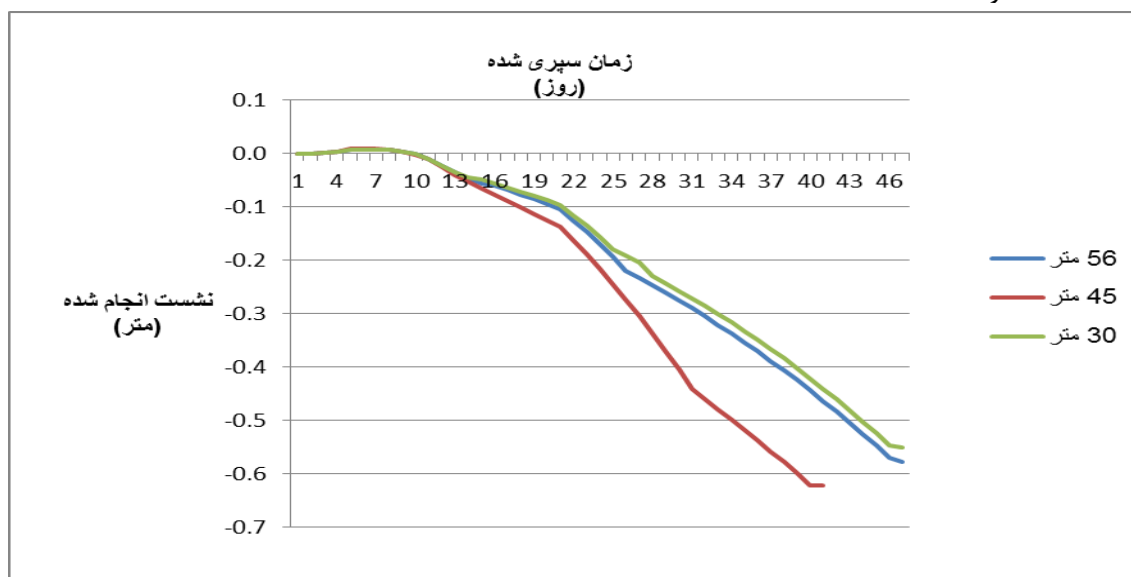
۲-۴- تاثیر طول لایه های مسلح کننده در نشست نهایی

به منظور بررسی اثر طول لایه های مسلح کننده در نشست انجام شده با استفاده از الگوی اول و ایجاد تغییر در طول لایه اول مسلح کننده، که ترکیبی از ژئوگرید و ژئوسنتتیک می باشد، این موضوع بررسی می شود. در شکل ۱۲ تنش های ایجاد شده در دو مدل با طول مسلح کننده به مقدار ۵۶ و ۴۵ و ۳۰ متر قابل مشاهده است.



شکل ۱۲: تنش ایجاد شده در خاک زیر موج شکن با طول های متفاوت مسلح کننده

همان طور که در شکل ۱۲ مشاهده می شود افزایش طول مسلح کننده تاثیری در تنش ایجاد شده در زیر موج شکن نداشته و این موضوع را می توان در شکل ۱۳ که نشست های انجام شده در مدل های ایجاد شده با طول های متفاوت مسلح کننده را نشان می دهد مشاهده نمود.



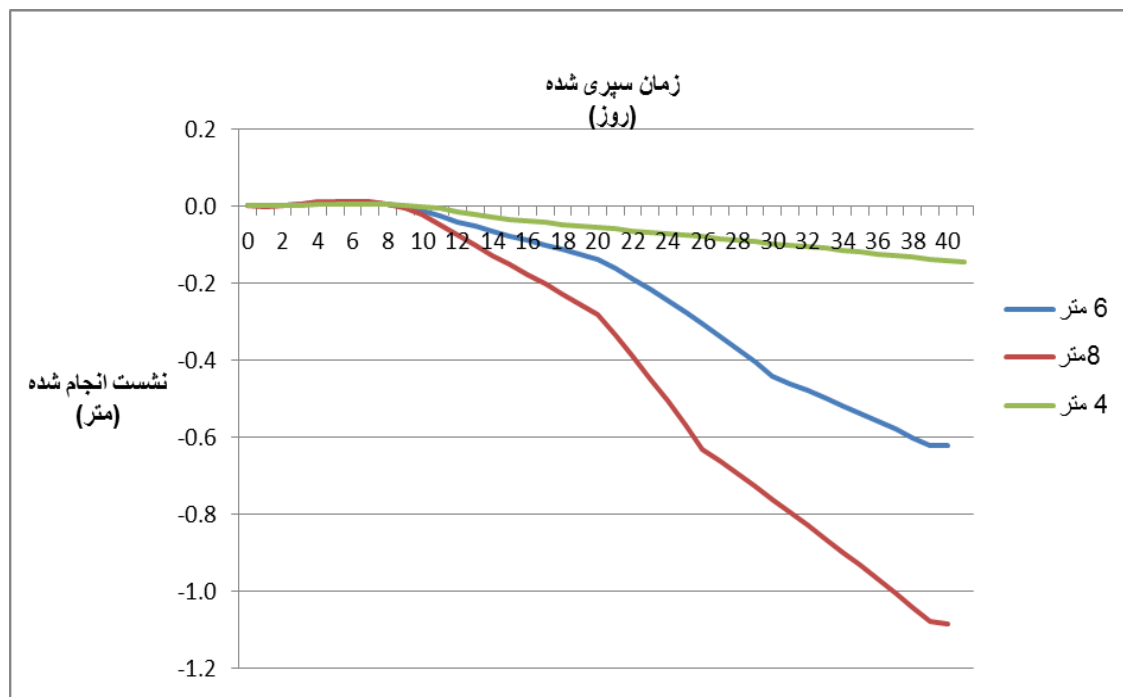
شکل ۱۳: نشست صورت گرفته در سه طول مختلف ژئوسنتتیک ها



همان‌طور که در شکل ۱۳ قابل مشاهده است افزایش طول مسلح‌کننده‌ها تاثیر چشم‌گیری بر نشست انجام شده ندارد و افزایش یا کاهش طول ژئوگریدها از روند افزایش یا کاهش خاصی پیگیری نمی‌کند. بنابراین استفاده از مسلح‌کننده با طول بیشتری تنها هزینه بالاتری را در پی خواهد داشت.

۳-۴- تاثیر عمق لایه بسیار سست در نشست موج‌شکن

همان‌طور که در شکل‌های ۸-۱۰ مشخص است تغییر مکان و جابجایی ایجاد شده در خاک سست که زیر لایه بسیار سست قرار دارد بسیار اندک می‌باشد، بنابراین تاثیر این لایه در نشست موج‌شکن نیز اندک است. بنابراین برای بررسی تاثیر عمق لایه خاک بر روی نشست انجام شده تنها تاثیر عمق لایه بسیار سست را مورد بررسی قرار می‌دهیم. برای این منظور در یک نمونه عمق لایه سست را مقدار ۴ متر کاهش داده و در نمونه دیگر این عمق را به مقدار ۸ متر افزایش داده و نتایج را با نمونه واقعی مقایسه می‌کنیم.



شکل ۱۴: نشست انجام شده در سه عمق متفاوت از خاک بسیار سست

تغییر عمق خاک بسیار سست که عامل اصلی نشست و تغییر مکان در موج‌شکن می‌باشد در این قسمت مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که افزایش عمق به شدت باعث افزایش نشست موج‌شکن می‌شود و کاهش این عمق نشست صورت گرفته را کاهش می‌دهد.



نتایج

- با توجه به استفاده از نرم افزار PLAXIS که بر اساس المان محدود می باشد و برای مدل سازی موج شکن بر روی خاک سست از آن استفاده شد، نتایج زیر حاصل گردید:
- استفاده از ژئوسنتتیک ها برای ساخت موج شکن قرار گرفته بر روی خاک سست بسیار مفید بوده و از نشست زیاد و فرورفت مصالح در خاک سست جلوگیری می نماید.
 - با توجه به رفتار ژئوسنتتیک ها که باعث انتقال نیرو به طرفین می شود، استفاده از لایه های بیشتر در مسلح سازی موج شکن باعث کاهش نشست انجام شده در سازه می گردد.
 - افزایش طول مسلح کننده ها تاثیر چشم گیری در کاهش نشست صورت گرفته ندارد و بدست آوردن طول بهینه برای کاهش نشست و کاهش هزینه ها بسیار موثر می باشد.
 - با کاهش یافتن عمق خاک بسیار سست نهایی در موج شکن بسیار کاهش یافته و نشان از تاثیر لایه های سطحی در تغییر شکل صورت گرفته دارد، بنابراین با تغییر در پارامترهای لایه سطحی می توان تاثیر فراوانی در نشست ایجاد شده ایجاد کرد.

مراجع

- [1] Amavasai, A. Numerical Analysis of Embankments on soft soil. Master's thesis in Structural Engineering and Building Technology, 2015.
- [۲] Fakher, A. and Jones, C. J. F. P. and Clake, B. G. The yield stress of super soft clays. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 1999. Vol. 125, No. 6, pp.499-509.
- [۳] احمدی تطفی، حسن؛ علی فاخر، ۱۳۸۰، نفوذ مصالح خاکریز در بسترهای سست لجنی و اثر جدا کننده ها، نشریه دانشکده فنی، جلد ۳۵، شماره ۳، ۲۲۱-۲۳۳.
- [۴] Azaraiah, I.; Dhat, N.R.; Gupta, R.P.; Chhatre, M.V.; "Foundation problems in soft marine clays for breakwater"; GEO shore; Porc. Of Int. Conf. on Offshore and Nearshore Geotechnical Eng.; 1999; pp. 371-376.
- [۵] Cudny, M. and H.P.Neher, Numerical analysis of a test embankment on soft ground using an anisotropic model with destructuration. Institute of Geotechnical Engineering, University of Stuttgart, Germany, 2003.
- [۶] Boushehrian, J.H. and N. Hataf, Experimental and numerical investigation of the bearing capacity of model circular ring footing on reinforced sand. Journal of Geotextiles and Geomembranes, 2003. 21: p. 241-256.
- [۷] Marandi, S., et al., Numerical Investigation Into The Behavior of Circular Pad Shallow Foundation Supported By Geogrid Reinforced Sand. American Journal of Applied Sciences, 2008. 5(4): p. 355.



**1th.Miaad University National Conference on
Civil Engineering , Architecture**

۱۵-December 2017, Shahid Beheshti University , Tehran , Iran



[۸] Karstunen, M., et al., Modelling rate-dependent behaviour of structured clays. Canadian Geotechnical Journal, 2013. 47:1127-1138.

[۹] ولیزاده، مهدی؛ محمد ولیزاده و حسن طاهرخانی، ۱۳۹۲، اثر مصالح سنگی تثبیت نشده بر روی رفتار ارتجاعی لایه اساس، هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

[۱۰] Verhaeghe, H., et al., USING FIELD DATA TO IMPROVE THE SETTLEMENT PREDICTION MODEL OF A BREAKWATER ON SOFT SOIL. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 2013.

[۱۱] Rowe, R.K., Li, A.L. (2004), Geosynthetic-Reinforced Embankments over Soft Foundations, Geosynthetics International Journal, 2005, 12, No. 1, 50-85.

[12] Brinkgreve RBJ, Swolfs WM, Engin E. PLAXIS finite element code. The Netherlands: Delft university of technology & PLAXIS bv; 2011.

[13] Aiban SA, Ali SM. Nonwoven geotextile-sabkha and -sand interface friction characteristics using pullout tests. Geosynth Int 2001;8(3):193–220.