

بررسی تأثیر پارامترهای هندسی و مشخصات خاک بر پایداری موجشکن قائم

سید جاسم سعیدی^۱، مرتضی بختیاری^۲، نیما شهینی کرمزاده^۳، حسین بهرامی^۴

۱- گروه مهندسی رودخانه و سواحل دانشگاه علوم و فنون دریایی، خرمشهر، ایران

۲- گروه مهندسی رودخانه و سواحل دانشگاه علوم و فنون دریایی، خرمشهر، ایران

۳- گروه مهندسی رودخانه و سواحل دانشگاه علوم و فنون دریایی، خرمشهر، ایران

۴- گروه مهندسی رودخانه و سواحل دانشگاه علوم و فنون دریایی، خرمشهر، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۴/۱۷

چکیده

سواحل هر کشور از نظر اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و حتی نظامی اهمیت خاص دارند دلیل این مطلب گستردگی اقیانوس‌ها و دریاها بر روی سطح زمین و همچنین استقرار بسیاری از تأسیسات دریایی در مناطق ساحلی می‌باشد. موجشکن یکی از اجزاء اصلی بندر به شمار می‌رود که هزینه اصلی بندر سازی را تشکیل می‌دهد و این امکان را بوجود می‌آورد تا در تمام فصول سال بندر قابل بهره‌برداری باشد. پایداری سازه موجشکن از جمله مهم‌ترین موضوعات در طرح این سازه‌ها می‌باشد که باید مورد توجه مهندسیین سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی واقع گردد. نظر به اهمیت این موضوع پایداری سازه موجشکن به عنوان هدف این تحقیق در نظر گرفته شده است. در تحقیق حاضر میزان تنش‌ها و نشست در بستر سازه موجشکن قائم با استفاده از داده‌های میدانی برداشت شده و بکارگیری نرم‌افزار plaxis مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور دستیابی به اهداف این تحقیق ابتدا داده‌های میدانی خاک منطقه بندر امام خمینی که محل احداث موجشکن می‌باشد برداشت گردید سپس سناریوهایی برای اجرای مدلسازی طرح یاد شده تعریف گردید. این سناریوها بر اساس تغییر پارامترهای هندسی سازه بر اساس استانداردها و همچنین داده‌های خاک به مدل معرفی گردید. داده‌های برداشت شده شامل دو گمانه حفر شده در سه عمق (۵-۲/۰ متر)، (۵ تا ۵/۵ متر) و (۸ تا ۸/۵ متر) و داده‌های هندسی شامل ارتفاع، ارتفاع پی، شیب کناره بوده است. نتایج حاصل از تحقیق نشان می‌دهد در شرایط یکسان ژئوتکنیکی که در آن جنس خاک و مشخصات فنی آن برابر باشد، در صورتیکه شیب سازه توده سنگی افزایش یابد اصطلاحاً "شیب تندتر گردد سازه دارای پایداری بیشتر و نشست کمتری خواهد بود. همچنین از نظر ایمنی، سازه ایمن تر بحساب می‌آید. همچنین در شرایط یکسان ژئوتکنیکی با فرض ثابت بودن شیب‌ها در صورتیکه ارتفاع سازه توده سنگی افزایش یابد، پایداری آن کمتر و در واقع سازه از لحاظ ایمنی از ایمنی کمتری برخوردار خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: مهندسی سواحل، موجشکن قائم، نرم افزار plaxis، پارامترهای هندسی، ژئوتکنیک بستر

مقدمه

زمینه‌های مختلف از جمله اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و ... پیشرفت نماید. بررسی‌ها نشان می‌دهد جهت بهره‌برداری مناسب از سواحل راهکارهای مختلفی وجود دارد که جهت نیل به این اهداف هزینه‌های بسیار زیاد باید صرف گردد لذا

سواحل از جمله مناطق حائز اهمیت برای هر کشور می‌باشد به نحوی که می‌توان گفت هر کشوری توانسته است از سواحل خود بیشترین استفاده را داشته باشد در

لزوم ارائه طرح‌های با دقت بالا بیش از پیش مشخص می‌گردد. طراحی و اجرای سازه‌های مختلف از جمله اقدامات متداول در سواحل می‌باشد که متأسفانه عدم توجه به اصول طراحی و اجراء بسیاری از این طرح‌ها را در رده طرح‌های ناموفق در آورده است.

موج شکن‌ها از جمله متداول‌ترین سازه‌های ساحلی هستند که با اهداف مختلفی از جمله ایجاد محیط آرام جهت پهلوگیری شناورها و نیز حفاظت سواحل طرح و اجراء میشوند. در خصوص جنبه‌های مختلف این سازه تاکنون تحقیقات گسترده‌ای صورت گرفته است که در میان این تحقیق‌ها لزوم توجه به پایداری سازه‌ها کمتر مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به بیان مطالب فوق می‌توان به لزوم و اهمیت پایداری سازه‌هایی از قبیل موج شکن پی برد.

در تحقیق حاضر هدف بررسی پایداری سازه موج شکن قائم می‌باشد بدین منظور تأثیر پارامترهای مختلف هندسی از جمله ارتفاع، شیب کناره، ارتفاع پی توده سنگی و همچنین خصوصیات ژئوتکنیک بستر بر پایداری سازه مورد بررسی قرار گرفته است.

مروری بر تحقیقات گذشته

چگینی و همکاران (۱۳۷۵ تا ۱۳۷۹) تغییر شکل موج شکن‌های شکل پذیر را در اثر برخورد امواج مورد بررسی قرار دادند. آنها آزمایش‌هایی بر روی مدل هیدرولیکی یک نوع موج شکن شکل پذیر موسوم به مسلح توده‌ای انجام دادند. همچنین آنها تغییر شکل موج شکن‌های سکویی را در اثر برخورد امواج مورد بررسی و مطالعه قرار دادند. این موج شکن برای ساخت در بندر چند منظوره پسابندر طراحی شده بود. نتایج بدست آمده از آزمایشات نشان می‌دهد موج شکن‌های شکل پذیر مورد آزمایش تا حد رسیدن به نیم رخ پایدار تغییر شکل می‌دهند. تغییر شکل سازه با افزایش ارتفاع موج برای یک مقطع خاص و در نتیجه عدد پایداری افزایش می‌یابد [۱].

Van der Meer (۱۹۹۴) تحقیقات گسترده‌ای با تعداد زیادی آزمایش مدل فیزیکی برای تعیین روابط بین پارامترهای مشخص کننده نیم رخ و پارامترهای هیدرولیکی و سازه‌ای، برای تهیه یک مدل (مدل کامپیوتری Breakwat) انجام داد [۹].

به علاوه جزئیات بسیاری درباره موج شکن‌های سکویی به صورت گسترده در موسسه هیدرولیک دلفت هلند بررسی شدند. بخش اصلی مطالعات اخیر توسط Van der Meer و Veldman (۱۹۹۲) انجام گرفت. [۱۰] همچنین تحقیقاتی توسط Kao و Hall (۱۹۹۰) انجام شد که در پروژه های MAST I, II، توسط اتحادیه اروپا حمایت می شدند [۴].

Kobayashi و Melby (۱۹۹۸) بعنوان اولین قدم یک روش احتمالی را برای نگهداری و بازسازی موج شکن‌ها توصیه کرده‌اند که بر یک سری آزمایش‌های مدل فیزیکی در فلوم موج استوار است. در این تحقیق میزان تعمیرات در پیشرفت آسیب در لایه آرمور بر روی موج شکن‌های سنتی تحت تأثیر یک سری امواج شکنای محدود به عمق برای شرایط مختلف موج و سطح تراز آب اندازه‌گیری شده است. آنها در نهایت یک فرمول تجربی را برای پیش‌بینی مقدار میانگین سطح آسیب ناشی از طوفانهای مختلف را برای یک سازه موج شکن با شیب ۱:۲ و شیب ساحل ۱:۲۰ ارائه نموده‌اند [۵].

Sayao (۱۹۹۹) پروفیل تغییر شکل موج شکن شکل پذیر را به وسیله یکسری آزمایش‌های مدل فیزیکی تحلیل نموده است. نتایج نشان می‌دهد که تأثیر پارامتر تشابه شکست بر روی این پروفیل بسیار زیاد است [۷].

Torum و همکاران (۲۰۰۲) نیز آزمایش‌های گسترده‌ای را روی این دسته موج شکن‌ها انجام دادند و توانستند رابطه‌ای برای میزان عقب نشینی سکو در حالت تشکیل نیمرخ پایدار نهایی ارائه کنند. آنها در این روابط جملاتی شامل تأثیر ضریب دانه بندی و ضریب عمق را نیز به روابط خود اضافه نمودند [۸].

موقعیت واقعی سازه ممکن است هم با کرنش صفحه‌ای و یا با مدل تقارن محوری مدل شود. این برنامه از امکانات گرافیکی ساده‌ای استفاده می‌کند تا کاربر را برای ایجاد مدل ژئوتکنیکی و مش بندی المان محدود که بر مبنای مقطع‌های عرضی عمودی که معرف وضعیت موجود است قادر سازد.

فرآیندهای ورودی گرافیکی ساده یک تولید سریع مدل‌های المان محدود پیچیده را توانمند می‌کند و تسهیلات خروجی بیشتر، یک نمایش جزئی نتایج محاسباتی را فراهم می‌کند. خود محاسبه کاملاً اتوماتیک شده است و بر اساس فرآیندهای عددی قدرتمند قرار دارد. این مفهوم کاربران جدید را برای کار کردن با بسته بعد از تنها چند ساعت تلاش توانا می‌کند.

اطلاعات مورد استفاده

به منظور انجام تحقیق داده‌های میدانی دو گمانه حفر شده در منطقه بندر امام خمینی استان خوزستان استفاده شده است. برای هر گمانه نیز اطلاعات سه عمق (۰-۲/۵ متر)، (۵-۵/۵ متر) و (۸-۸/۵ متر) استخراج شده است. در جدول‌های (۱) تا (۶) اطلاعات بدست آمده از گمانه‌ها ارائه شده است.

گمانه اول

الف) عمق ۲ تا ۲/۵۰ متری

با توجه به نتایج اخذ شده از گمانه اول بستر محل احداث، نشان می‌دهد که متوسط دانسیته خشک مصالح در این عمق حدود ۱/۶۰ گرم بر سانتیمتر مکعب بوده و متوسط رطوبت طبیعی این مصالح نیز ۲۷ درصد می‌باشد. لایه‌های خاک از نوع رسی و مطابق با گمانه‌های اخذ شده در لایه‌های ۲/۵۰ متری از نوع رس با مشخصات جدول (۱) می‌باشد.

Rao و همکاران (۲۰۰۳) با انجام آزمایش‌هایی دریافتند که با کوچک شدن ابعاد سنگها، میزان آسیب وارده به آنها افزایش می‌یابد. این دو با استفاده از پارامتر سطح آسیب (S) و کاهش ۱۰ و ۳۰ درصدی وزن سنگها نشان دادند که یک رابطه نمایی بین افزایش پارامتر پایداری و افزایش سطح آسیب برقرار می‌باشد [۶].

آق‌تومان و همکاران (۲۰۰۵) دستورالعمل طراحی ضخامت لایه آرمور موج‌شکن‌های شکل پذیر را ارائه نمودند [۲].

آق‌تومان و همکاران (۲۰۱۱) تاثیر عرض سکوی موج‌شکن‌های شکل‌پذیر را بر تغییر شکل نهایی آنها ارائه نمودند [۳].

مواد و روش‌ها

معرفی نرم افزار مورد استفاده

Plaxis یک برنامه المان محدود برای تحلیل دو بعدی تغییر شکل و پایداری در مهندسی ژئوتکنیک می‌باشد. کاربردهای ژئوتکنیکی نیازمند مدل‌های پیوسته پیشرفته برای شبیه‌سازی رفتار غیر ایزوتروپیک و غیرخطی وابسته به زمان خاک و یا سنگ می‌باشد. به علاوه از آنجائیکه خاک یک ماده چند فازه است برای بحث در مورد فشارهای منفذی هیدرو استاتیک و غیر هیدرو استاتیک در خاک فرآیندهای ویژه‌ای مورد نیاز است.

بدیهی است جهت کار با این نرم‌افزار باید مطالعه و پیش‌زمینه عمیقی در رابطه با مهندسی ژئوتکنیک وجود داشته باشد تا آنچه به عنوان مدل و داده‌های ورودی به نرم‌افزار معرفی می‌کنیم نزدیک به واقعیت پروژه باشد.

Plaxis یک برنامه کامپیوتری المان محدود دو بعدی باهدف به خصوصی است که برای انجام آنالیز پایداری و تغییر شکل در کاربرد های مختلف ژئوتکنیکی استفاده می‌شود.

جدول ۱- مشخصات لایه‌های خاک تا عمق ۲,۵ متری

OCR	P ₀	p _c	e'o	eo	Cr	Cs
4.73	0.22	1.04	0.724	0.647	0.03	0.19

درصد می‌باشد با توجه به نتایج حاصله از گمانه اول جنس و مشخصات خاک در این عمق از نوع رس قهوه‌ای و اطلاعات بدست آمده مطابق با جدول (۲) می‌باشد.

ب) عمق ۵ تا ۵,۵۰ متری

با توجه به نتایج اخذشده از گمانه اول بستر محل احداث، نشان می‌دهد که متوسط دانسیته خشک مصالح در عمق ۵/۵۰ متری حدود ۱/۶۰ گرم بر سانتیمتر مکعب بوده و متوسط رطوبت طبیعی این مصالح نیز ۳۰

جدول ۲- مشخصات لایه‌های خاک تا عمق ۵,۵ متری

OCR	P ₀	p _c	e'o	eo	Cr	Cs
3.23	0.53	1.71	0.800	0.662	0.05	0.36

با توجه به نتایج حاصله از گمانه اول جنس و مشخصات خاک در این عمق از نوع رس قهوه‌ای و اطلاعات بدست آمده مطابق با جدول (۳) می‌باشد.

ج) عمق ۸ تا ۸/۵۰ متری

با توجه به نتایج اخذشده از گمانه اول بستر محل احداث، نشان می‌دهد که متوسط دانسیته خشک مصالح در عمق ۸/۵۰ متری حدود ۱/۶۰ گرم بر سانتیمتر مکعب بوده و متوسط رطوبت طبیعی این مصالح نیز ۳۲ درصد می‌باشد

جدول ۳- مشخصات لایه‌های خاک تا عمق ۸,۵ متری

OCR	P ₀	P _c	e'o	eo	Cr	Cs
1.14	0.88	1.00	0.853	0.662	0.04	0.22

و متوسط رطوبت طبیعی این مصالح نیز ۲۷ درصد می‌باشد. لایه‌های خاک از نوع رسی و مطابق با گمانه‌های اخذشده در لایه‌های ۲/۵۰ متری از نوع رس با مطابق با جدول (۴) می‌باشد.

گمانه دوم

الف) عمق ۲ تا ۲/۵۰ متری

با توجه به نتایج اخذشده از گمانه دوم بستر محل احداث، نشان می‌دهد که متوسط دانسیته خشک مصالح در این عمق حدود ۱/۶۰ گرم بر سانتیمتر مکعب بوده

جدول ۴- مشخصات لایه‌های خاک تا عمق ۲,۵ متری

OCR	P ₀	p _c	e'o	eo	Cr	Cs
4.48	0.22	0.98	0.720	0.657	0.03	0.17

ب) عمق ۵ تا ۵/۵۰ متری

درصد می‌باشد با توجه به نتایج حاصله از گمانه اول جنس و مشخصات خاک در این عمق از نوع رس قهوه‌ای و اطلاعات بدست آمده مطابق با جدول (۵) می‌باشد.

با توجه به نتایج اخذشده از گمانه اول بستر محل احداث، نشان می‌دهد که متوسط دانسیته خشک مصالح در عمق ۵/۵۰ متری حدود ۱/۶۰ گرم بر سانتیمتر مکعب بوده و متوسط رطوبت طبیعی این مصالح نیز ۳۰

جدول ۵- مشخصات لایه‌های خاک تا عمق ۵,۵ متری

OCR	P ₀	p _c	e' ₀	e ₀	Cr	Cs
1.58	0.54	1.00	0.802	0.662	0.02	0.16

ج) عمق ۸ تا ۸/۵۰ متری

مکعب بوده و متوسط رطوبت طبیعی این مصالح نیز ۳۲ درصد می‌باشد.
با توجه به نتایج حاصله از گمانه اول جنس و مشخصات خاک در این عمق از نوع رس قهوه‌ای و اطلاعات بدست آمده مطابق با جدول (۶) می‌باشد.

با توجه به نتایج اخذشده از گمانه اول بستر محل احداث، نشان می‌دهد که متوسط دانسیته خشک مصالح در عمق ۸/۵۰ متری حدود ۱/۶۰ گرم بر سانتیمتر

جدول ۶- مشخصات لایه‌های خاک تا عمق ۸,۵ متری

OCR	P ₀	p _c	e' ₀	e ₀	Cr	Cs
1.57	0.88	1.38	0.855	0.664	0.02	0.21

سناریوهای انجام تحقیق

در عمق های ۲ تا ۲,۵۰ متری، ۵ تا ۵,۵۰ متری و ۸ تا ۸,۵۰ متری از گمانه اول لحاظ گردیده است.

به منظور انجام تحقیق حاضر، ابتدا نسبت به ترسیم مدل موج‌شکن قائم مطابق با طرح سازه انتخابی اقدام گردید سپس در مدل موج‌شکن قائم ترسیم شده مطابق با آیین‌نامه ایران سناریوهای انجام مدلسازی شامل پارامترهای شیب کناره‌ها، عرض و ارتفاع پی موج‌شکن، ارتفاع سازه به نرم افزار معرفی گردید.

مدل دوم

در این مدل طرح سازه با تغییر شیب از ۱:۳ به ۱:۱,۲۵ و ۱:۲ به ۱:۱,۱۵ و ثابت بودن ارتفاع پی سازه (۲,۵۰ متر) لحاظ شده و اطلاعات مربوط به این مدل با c و Ø اخذشده از گمانه اول در عمق های ۲ تا ۲,۵ متری، ۵ تا ۵,۵۰ متری و ۸ تا ۸,۵۰ متری وارد شده است.

مدل اول

در این مدل سازه انتخابی مورد نظر با وارد نمودن شیب ۱:۳ و ۱:۲ و در نظر گرفتن ارتفاع ۲,۵ متری پی سازه محل استقرار سازه بتنی قائم لحاظ شده است. اطلاعات مربوط به این مدل مطابق با c و Ø اخذشده

مدل سوم

در این مدل طرح سازه با شیب ۱:۳ و ۱:۲ و با تغییر ارتفاع پی از ۲,۵۰ متری به ۳,۵ متر انجام و داده‌ها و

مدل ششم

در این مدل طرح سازه را با تغییر شیب به ۱:۱,۲۵ و ۱:۱,۱۵ و با فرض ثابت بودن ارتفاع پی سازه و با لحاظ کردن داده‌های گمانه دوم محاسبه گردیده است.

مدل هفتم

در این مدل طرح سازه را با تغییر شیب به ۱:۳ و ۱:۲ و با تغییر ارتفاع پی سازه از ۲,۵۰ متری به ۳,۵۰ متر و با استفاده از داده‌های گمانه مدل گردیده است.

مدل هشتم

در این مدل طرح سازه با شیب ۱:۱,۲۵ و ۱:۱,۱۵ و با تغییر ارتفاع از ۲,۵۰ به ۳,۵۰ متری و لحاظ نمودن داده‌ها و اطلاعات گمانه دوم وارد نرم‌افزار شده است.

اطلاعات اولیه نرم‌افزار مطابق با نتایج اخذ شده از گمانه اول در عمق‌های ذکر شده صورت پذیرفته است.

مدل چهارم

در این مدل طرح سازه با شیب ۱:۱,۲۵ و ۱:۱,۱۵ و با ارتفاع ۳,۵۰ متر جهت پی سازه انجام شده و داده‌ها و اطلاعات اولیه نرم‌افزار مطابق با نتایج موجود گرفته شده از گمانه اول در عمق‌های متفاوت لحاظ شده است.

مدل پنجم

در این مدل سازه را با شیب ۱:۳ و ۱:۲ و ارتفاع پی ۲,۵۰ متری با لحاظ کردن داده‌ها و اطلاعات گمانه دوم در عمق‌های متفاوت صورت گرفته است.

جدول ۷- مشخصات مدل‌های مختلف انجام شده

گمانه	شیب		ارتفاع پی توده سنگی (m)	ارتفاع موج شکن (m)	حالت (مدل)
	چپ	راست			
اول	۱:۳	۱:۲	۲/۵۰	۱۱/۵	A1
اول	۱:۱,۲۵	۱:۱,۵	۲/۵۰	۱۱/۵	B1
اول	۱:۱,۲۵	۱:۲	۳/۵۰	۱۲/۵	C1
اول	۱:۱,۲۵	۱:۱,۵	۳/۵۰	۱۲/۵	D1
دوم	۱:۳	۱:۲	۲/۵۰	۱۱/۵	A2
دوم	۱:۱,۲۵	۱:۱,۵	۲/۵۰	۱۱/۵	B2
دوم	۱:۳	۱:۲	۳/۵۰	۱۲/۵	C2
دوم	۱:۱,۲۵	۱:۱,۵	۳/۵۰	۱۲/۵	D2

نتایج

اثر احداث سازه قائم بتنی، فاز پنجم نشست تحکیمی در اثر احداث سازه بتنی قائم، فاز ششم نشست تحکیمی نهایی و فاز هفتم کنترل پایداری در نظر گرفته شده است که نتایج به صورت زیر ارائه شده است.

همانگونه که بیان گردید هدف تحقیق حاضر بررسی میزان تنش‌ها و میزان نشست در اعماق مختلف بستر پس از اجرای سازه موج شکن قائم می‌باشد که در این بخش نتایج حاصل از اجرای مدل‌های مختلف ارائه گردیده است. همچنین برای هر مدل هفت فاز شامل فاز اول نشست آبی در اثر احداث پی توده سنگی، فاز دوم نشست تحکیمی در اثر احداث پی توده سنگی، فاز سوم تحکیم ۱۰۰ روزه سازه، فاز چهارم نشست آبی در

بررسی میزان تنش در اثر اجرای مدل اول
در جدول (۸) میزان تنش کل اتفاق افتاده در
لایه‌های مختلف خاک (عمق‌های متفاوت) ارائه شده
است.

جدول ۸- تغییرات تنش و جابجایی در مدل اول

فاز	مقدار جابجایی کل (m)	تنش موثر (KN/m^2)	تنش کل (KN/m^2)
اول	۰/۸۵	۲۷۵/۷۳	۵۲۷/۰۷
دوم	۰/۸۵	۲۷۵/۷۵	۵۲۷/۱۰
سوم	۰/۸۵	۲۷۵/۷۵	۵۲۷/۱۰
چهارم	۱/۸۳	۳۳۰/۱۶	۵۸۳/۴۳
پنجم	۱/۸۵	۳۳۳/۲۰	۵۸۴/۵۵
ششم	۱/۸۷	۳۳۳/۲۰	۵۸۴/۵۵

بررسی میزان تنش در اثر اجرای مدل دوم
در جدول (۹) میزان تنش موثر، تنش کل و میزان
جابجایی اتفاق افتاده در لایه‌های مختلف خاک
(عمق‌های متفاوت) ارائه شده است.

جدول ۹- تغییرات تنش و جابجایی در مدل دوم

فاز	مقدار جابجایی کل (m)	تنش موثر (KN/m^2)	تنش کل (KN/m^2)
اول	۱/۰۹	۲۸۰/۹۳	۵۳۰/۹۳
دوم	۱/۰۹	۲۸۰/۹۶	۵۳۰/۹۶
سوم	۱/۰۹	۲۸۰/۹۶	۵۳۰/۹۶
چهارم	۲/۰۲	۳۳۷/۳۱	۵۸۷/۳۱
پنجم	۲/۰۲	۳۳۷/۳۱	۵۸۷/۳۱
ششم	۲/۰۵	۳۳۷/۳۱	۵۸۷/۳۱

بررسی تأثیر پارامترهای هندسی و مشخصات خاک بر پایداری موجکن قائم

بررسی میزان تنش در اثر اجرای مدل سوم در جدول (۱۰) میزان تنش موثر، تنش کل و میزان جابجایی اتفاق افتاده در لایه های مختلف خاک (عمق های متفاوت) ارائه شده است.

جدول ۱۰- تغییرات تنش و جابجایی در مدل سوم

فاز	مقدار جابجایی کل (m)	تنش موثر (KN/m^2)	تنش کل (KN/m^2)
اول	۱/۰۸	۲۸۸/۹	۵۳۷/۵۶
دوم	۱/۱۲	۲۸۸/۹۲	۵۳۷/۵۸
سوم	۱/۱۴	۲۸۸/۹۱	۵۳۷/۵۷
چهارم	۲	۳۴۵/۳۳	۵۹۳/۹۹
پنجم	۲/۰۵	۳۴۵/۳۲	۵۹۳/۹۹
ششم	۲/۰۷	۳۴۵/۳۲	۵۹۳/۹۸

بررسی میزان تنش در اثر اجرای مدل چهارم در جدول (۱۱) میزان تنش موثر، تنش کل و میزان جابجایی اتفاق افتاده در لایه های مختلف خاک (عمق های متفاوت) ارائه شده است.

جدول ۱۱- تغییرات تنش و جابجایی در مدل چهارم

فاز	مقدار جابجایی کل (m)	تنش موثر (KN/m^2)	تنش کل (KN/m^2)
اول	۱/۱۱	۲۹۵/۰۶	۵۴۴/۷۳
دوم	۱/۱۲	۲۹۵/۰۹	۵۴۴/۷۵
سوم	۱/۱۵	۲۹۵/۱۰	۵۴۴/۷۵
چهارم	۱/۹۹	۳۵۳/۰۹	۶۰۲/۸۵
پنجم	۲/۰۱	۳۵۳/۰۸	۶۰۲/۸۵
ششم	۲/۰۴	۳۹۳/۰۳	۶۰۲/۸۵

بررسی میزان تنش در اثر اجرای مدل پنجم در جدول (۱۲) میزان تنش موثر، تنش کل و میزان جابجایی اتفاق افتاده در لایه‌های مختلف خاک (عمق‌های متفاوت) ارائه شده است.

جدول ۱۲- تغییرات تنش و جابجایی در مدل پنجم

فاز	مقدار جابجایی کل (m)	تنش موثر (KN/m^2)	تنش کل (KN/m^2)
اول	۰/۶۵	۲۸۸/۱۶	۵۳۸
دوم	۰/۶۷	۲۸۸/۱۹	۵۳۸/۰۳
سوم	۰/۷۰	۲۸۸/۲۰	۵۳۸/۰۴
چهارم	۱/۲۷	۳۴۹/۱۲	۵۹۸/۵۲
پنجم	۱/۳۷	۳۴۹/۱۲	۵۹۸/۵۳
ششم	۱/۴۰	۳۴۹/۱۲	۵۹۸/۵۳

بررسی میزان تنش در اثر اجرای مدل ششم در جدول (۱۳) میزان تنش موثر، تنش کل و میزان جابجایی اتفاق افتاده در لایه‌های مختلف خاک (عمق‌های متفاوت) ارائه شده است.

جدول ۱۳- تغییرات تنش و جابجایی در مدل ششم

فاز	مقدار جابجایی کل (m)	تنش موثر (KN/m^2)	تنش کل (KN/m^2)
اول	۰/۸	۲۹۰/۷۱	۵۴۲/۰۵
دوم	۰/۸۲	۲۹۰/۷۴	۵۴۲/۰۸
سوم	۰/۸۷	۲۹۰/۷۵	۵۴۲/۰۹
چهارم	۱/۴۰	۳۵۲/۱۲	۶۰۳/۴۶
پنجم	۱/۴۱	۳۵۲/۱۲	۶۰۳/۴۶
ششم	۱/۵۴	۳۵۲/۱۲	۶۰۳/۴۶

بررسی میزان تنش در اثر اجرای مدل هفتم در جدول (۱۴) میزان تنش موثر، تنش کل و میزان جابجایی اتفاق افتاده در لایه‌های مختلف خاک (عمق‌های متفاوت) ارائه شده است.

جدول ۱۴- تغییرات تنش و جابجایی در مدل هفتم

فاز	مقدار جابجایی کل (m)	تنش موثر (KN/m^2)	تنش کل (KN/m^2)
اول	۰/۸۴	۳۰۸/۹۹	۵۵۹/۰۴
دوم	۰/۸۵	۳۰۹	۵۵۹/۰۵
سوم	۰/۸۵	۳۰۹	۵۵۹/۰۵
چهارم	۱/۴۰	۳۷۰/۲۳	۶۲۰/۲۰
پنجم	۱/۴۶	۳۷۰/۲۳	۶۲۰/۲۰
ششم	۱/۵۴	۳۷۰/۲۳	۶۲۰/۲۰

بررسی میزان تنش در اثر اجرای مدل هشتم در جدول (۱۵) میزان تنش موثر، تنش کل و میزان جابجایی اتفاق افتاده در لایه‌های مختلف خاک (عمق‌های متفاوت) ارائه شده است.

جدول ۱۵- تغییرات تنش و جابجایی در مدل هشتم

فاز	مقدار جابجایی کل (m)	تنش موثر (KN/m^2)	تنش کل (KN/m^2)
اول	۰/۸	۲۹۷/۸۵	۵۴۹/۶۸
دوم	۰/۸۱	۲۹۷/۸۶	۵۴۹/۶۹
سوم	۰/۸۴	۲۹۷/۸۷	۵۴۹/۶۹
چهارم	۱/۴۸	۳۵۹/۵۶	۶۱۰/۲۲
پنجم	۱/۵۰	۳۵۹/۵۶	۶۱۰/۲۱
ششم	۱/۵۸	۳۵۹/۵۶	۶۱۰/۲۱

می‌گردد نشان می‌دهد که مدل اول نسبت به مدل دوم پایدارتر و نشست کمتری دارد.

ضریب ایمنی سازه در مدل اول نیز بالاتر از مدل دوم می‌باشد. یعنی سازه با مشخصات مدل اول ایمن‌تر می‌باشد.

با توجه به نتایج حاصل از مدل اول در مقایسه با نتایج حاصل از مدل دوم که در آن شیب از ۱:۳ و ۱:۲ به ترتیب به ۱:۱،۲۵ و ۱:۱،۱۵ تغییر می‌یابد، با توجه به یکسان بودن مشخصات خاک محل (c و ϕ یکسان) در این حالت بدلیل افزایش زاویه شیب که باعث افزایش سطح مقطع پی توده سنگی (نشیمنگاه سازه بتنی)

سازه دیگر نامحسوس می باشد اما با توجه به محاسبات صورت گرفته سازه دوم از ایمنی بیشتری برخوردار است.

با حفظ شرایط و مشخصات یکسان برای خاکهای هردو مدل (c و \emptyset) یکسان، وبا توجه به نتایج حاصل از مدل سوم که در آن ارتفاع پی توده سنگی از ۲/۵ به ۳/۵ تغییر یافته، در مقایسه با نتایج حاصل از مدل چهارم که در آن شیب و ارتفاع پی توده سنگی تغییر یافته، میزان نشست در هردو مدل تقریباً یکسان ولی با توجه به نتایج محاسبات صورت گرفته ضریب ایمنی در مدل سوم بالاتر است .

با توجه به نتایج حاصل از مدل اول در مقایسه با نتایج حاصل از مدل پنجم که در آن مشخصات لایه های خاک نسبت به مدل اول تغییر کرده و مشخصات هر خاک دارای c و \emptyset متفاوت می باشد، میزان نشست در مدل پنجم کمتر بوده و این سازه دارای پایداری بیشتری می باشد.

با توجه به نتایج حاصل از مدل دوم در مقایسه با نتایج حاصل از مدل ششم که در آن مشخصات لایه های خاک تغییر کرده، میزان نشست در سازه ششم کمتر می باشد ولذا این سازه از پایداری بیشتری برخوردار است.

با توجه به نتایج حاصل از مدل سوم در مقایسه با نتایج حاصل از مدل هفتم که در آن مشخصات لایه های خاک نسبت به مدل سوم تغییر کرده، میزان نشست کمتر مشاهده می شود

با توجه به نتایج حاصل از مدل چهارم در مقایسه با نتایج حاصل از مدل هشتم که در آن مشخصات لایه های خاک نسبت به مدل چهارم تغییر کرده، میزان نشست کمتری مشاهده می گردد.

بررسی رفتار خاک طی بارگذاری

به منظور بررسی رفتار خاک از دستگاه تحکیم استفاده شده است نتایج نشان می دهد با افزایش تنش عمودی، تغییرات منافذ در خاک تحکیم عادی یافته،

با توجه به نتایج حاصل از مدل اول در مقایسه با نتایج حاصل از مدل سوم که در آن ارتفاع پی توده سنگی نسبت به مدل اول تغییر داده شده و از ۲/۵ متر به ۳/۵ متر افزایش یافته است نشان می دهد که میزان نشست کمتری در مدل اول نسبت به مدل سوم اتفاق می افتد و این حاکی از آن است که مدل اول پایدارتر می باشد.

ضریب ایمنی نیز در مدل سوم کمتر است. این نشان می دهد که این مدل نسبت به مدل با مشخصات اول از ایمنی کمتر برخوردار است.

با توجه به نتایج حاصل از مدل اول در مقایسه با نتایج حاصل از مدل چهارم که در آن شیب از ۱:۳ و ۱:۲ به ترتیب به ۱:۱،۲۵ و ۱:۱،۱۵ تغییر می یابد و ارتفاع پی توده سنگی از ۲/۵ متر به ۳/۵ متر افزایش یافته و با توجه به اینکه مشخصات خاک (c و \emptyset) یکسان می باشد میزان نشست در مدل چهارم بیشتر مشاهده می گردد لذا مدل با مشخصات اول دارای پایداری بیشتری می باشد همچنین ضریب ایمنی در مدل اول بیشتر است و این نشان می دهد که این مدل ایمن تر است.

با توجه به نتایج حاصل از مدل دوم که در آن شیب از ۱:۳ و ۱:۲ به ترتیب به ۱:۱،۲۵ و ۱:۱،۱۵ تغییر یافته، در مقایسه با نتایج حاصل از مدل سوم که در آن ارتفاع پی توده سنگی افزایش یافته و با حفظ مشخصات یکسان خاک (c و \emptyset) برای هردو مدل، میزان نشست کلی در هر دو مدل تقریباً یکسان بنظر می رسد اما ضریب ایمنی در مدل دوم بیشتر از مدل سوم می باشد لذا می توان گفت مدل دوم نسبت به مدل دیگر ارجحیت داشته و ایمنی آن بیشتر است.

با توجه به نتایج حاصل از مدل دوم که در آن شیب از ۱:۳ و ۱:۲ به ترتیب به ۱:۱،۲۵ و ۱:۱،۱۵ تغییر یافته ، در مقایسه با نتایج حاصل از مدل چهارم که در آن هم شیب تغییر داده شده است و هم ارتفاع سازه افزایش پیدا کرده است با توجه به اینکه نوع و جنس (c و \emptyset) خاک محل یکسان است. تغییرات نشست سازه دوم نسبت به

سازه دارای پایداری بیشتر و نشست کمتری خواهد بود. همچنین از نظر ایمنی، سازه ایمن تر بحساب می آید. در شرایط یکسان ژئوتکنیکی با فرض ثابت بودن شیب ها در صورتیکه ارتفاع سازه توده سنگی افزایش یابد، پایداری آن کمتر و در واقع سازه از لحاظ ایمنی از ایمنی کمتری برخوردار خواهد بود.

در شرایط یکسان ژئوتکنیکی در صورت تغییر شیب و افزایش آن و همچنین افزایش ارتفاع پی توده سنگی، سازه از لحاظ پایداری دارای پایداری کمتر و لذا از نظر ایمنی حساس تر بوده و دارای ایمنی کمتری می باشد.

در شرایطی که مدل سازه تغییر نکرده و شیب و ارتفاع یکسان بوده عامل اصلی تعیین کننده میزان پایداری و کاهش میزان نشست، مشخصات ژئوتکنیکی خاک محل احداث می باشد.

قدردانی

بدینوسیله نویسندگان این مقاله از دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر به جهت ایجاد شرایط انجام تحقیق حاضر، سپاسگزاری می نمایند.

بیشتر از خاک بیش تحکیم یافته است. این امر نشان می دهد که خاک های بیش تحکیم یافته سختی بیشتری نسبت به خاک های عادی تحکیم یافته دارند. خاک های بیش تحکیم یافته پس از رسیدن به منحنی تحکیم بکر کاهش سختی سریعی از خود نشان می دهند.

همچنین به منظور بررسی رفتار برشی خاک آزمایش آزمایش سه محوری کلاسیک انجام شده است که نتایج نشان داده شده است که خاک بعد از اعمال برش به تدریج نرم تر می شود که در مورد نمونه های کمتر بیش تحکیم یافته شدت آن بیشتر است همچنین نتایج نشان دهنده کاهش سختی با افزایش کرنش و نیز رابطه غیرخطی بین سختی و تنش موثر متوسط می باشند.

نتیجه گیری

از نتایج حاصل از تحقیق نشان می دهد که در شرایط یکسان ژئوتکنیکی که در آن جنس خاک و مشخصات فنی آن برابر باشد، در صورتیکه شیب سازه توده سنگی افزایش یابد اصطلاحاً "شیب تندتر گردد"

منابع

- ۱- چگینی و. ، آق تومان پ. ، یثربی ف. و حسینی بندرآبادی س م. ۱۳۷۵. بررسی تغییر شکل موج شکن های شکل پذیر. مجموعه مقالات دومین کنفرانس بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی، تهران، دانشگاه علم و صنعت، ۱۱ تا ۱۴ آذر، صفحات ۱۲۳-۱۱۰.
- 2- Aghtouman, P., Chegini, V. , Shirian, N. , Hejazi, M. 2005. Design of reshaping breakwater's armor layer thickness. 2nd International Coastal Symposium (ICS 2005), Hofn, Iceland, 5-8 June.
- 3- Aghtouman, P., Aliyari, F., Aghtouman, Z. 2011. Efect of berm width on reshaped profile of berm breakwaters. 5th International Short Conference On Applied Costal Research (5thSCACR), Aachen, Germany, June.
- 4- Kao, J. S and Hall, K. R .1990. Trends in stability of dynamically stable breakwaters. ASCE. Proc. 22nd ICCE, Delft, the Netherlands, Ch. 129.
- 5- Melby J. A. and Kobayashi N. 1998 .Progression and variability of damage on rubble mound breakwaters. Journal Of Waterway, Port, Coastal And Ocean Engineering, vol. 124, No. 6, Nov / Dec.
- 6- Rao, S. and Pramod, Ch. and Rao, B. 2003. Technical Note, Stability of berm breakwater with reduced armor stone weight, Ocean Engineering 31 (2004) , PP. 1577- 1589.
- 7- Sayao, O. J. 1998 . On the profile reshaping of berm breakwaters, Coastal structures 99.

- 8- Torum, A. & Kuhnen, F. & Menze, A. 2002. On berm breakwaters, Stability, Scour, Overtopping, Coastal Engineering 49 (2003), PP.209-238.
- 9- Van der Meer, J.W. 1994. Conceptual design of rubble mound breakwaters", Delft, Jan.
- 10- Van der Meer, J. W. And Veldman, J.J.1992. Stability of the seaward slope of berm breakwaters. Elsevier, Journal of Coastal Engineering, 16, PP 205-234. Amsterdam, September Issue.