



مرکز پژوهشی مطالعات دریایی

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.



سازمان بنادر و دریانوردی



ICOPMAS

تحلیل عددی فونداسیون‌های عمیق تحت تأثیر نیروی زلزله در سازه‌های دور از ساحل

مهندس مهدی احسانی
دانشگاه صنعتی شریف

دکتر محمد مهدی احمدی
دانشگاه صنعتی شریف

mahdi.ehsani@yahoo.com

mmahmadi@sharif.edu

چکیده

از آنجا که ایران یکی از کشورهای لرزه‌خیز جهان می‌باشد و بر اساس نقشه‌های پهنه‌بندی زلزله آیین‌نامه ۲۸۰۰ اکثر مناطق ساحلی جنوب و تمامی مناطق ساحلی شمال در پهنه خطر نسبی زیاد زلزله قرار دارند (آیین‌نامه ۲۸۰۰)، لذا تعیین نیروهای ناشی از زلزله و روشهای طراحی انواع سازه‌ها در مقابل زلزله در مناطق ساحلی و بنادر از اهمیت بسیار بالایی برخوردار می‌باشد. در سازه‌های دور از ساحل با توجه به عمق نسبتاً زیاد آب و همچنین با در نظر گرفتن اینکه لایه‌های رویی خاک از مقاومت کافی برای تحمل بار سازه‌ها برخوردار نیستند، پی‌های عمیق یا شمع‌ها کاربرد بسیار زیادی در فونداسیون آنها دارا می‌باشند. تعداد زیادی از سازه‌های مواجه با اندرکنش لرزه‌ای خاک - شمع - سازه دچار خرابی و یا گسیختگی شمع و یا حتی کل سازه شده‌اند. پیچیدگی‌های موجود در مسائل مربوط به شمع و اندرکنش شمع و خاک به همراه اثرات ناشی از نیروی زلزله و همچنین عدم وجود روشهای دقیقی که از فرضیات ساده‌کننده استفاده نکنند، نیاز به استفاده از روشهای عددی را برای تحلیل و شناخت هر چه بیشتر، روشن می‌سازد. در این مقاله سعی شده است که روشهایی برای تعیین نیروهای وارده به شمع‌ها ناشی از زلزله بدست آید تا بتوان با استفاده از این نیروها فونداسیون‌های سازه‌های دور از ساحل را در مقابل بار زلزله طراحی کرد. عبارت دیگر هدف اولیه این تحقیق تعیین نحوه توزیع تغییرمکان، نیروی برشی و ممان خمشی در طول شمع در بار زلزله می‌باشد. در نهایت، آنالیزهای حساسیت سنجی بر روی پارامترهای خاک موردنظر که خاک رسی می‌باشد انجام شده تا اثر این پارامترها بر روی رفتار جانبی لرزه‌ای شمع مشخص گردد. در تمامی آنالیزهای دینامیکی انجام گرفته در این تحقیق، از نرم‌افزار المان محدود ABAQUS استفاده شده است.

۱- مقدمه

در زمینه رفتار جانبی شمع تک، مطالعات زیادی انجام گرفته است. روشهای متفاوتی برای تعیین رفتار جانبی استاتیکی و دینامیکی بکار گرفته شده‌اند مانند روش المان مرزی (Banerjee, 1978 و Kaynia & Kausel, 1982). اما در این روش در نظر گرفتن رفتار غیرخطی خاک بسیار مشکل می‌باشد. آنالیزهای دینامیکی دیگری در بازه زمانی برای تعیین رفتار دینامیکی شمع با کمک روش وینکلر انجام شده است (Nogami & Konagai, 1986 و 1988). همچنین روشی غیر خطی برای رفتار دینامیکی گروه شمع بر اساس تئوری وینکلر ارائه شده است (El Naggar & Novak, 1995 و 1996). مشکل اصلی این روش اینست که مدل کردن اثرات اینرسی و میرایی خاک که یک محیط پیوسته است توسط این روش ناپیوسته دشوار می‌باشد. یکی از روشهای مرسوم که در سالهای اخیر بطور گسترده‌ای به آن پرداخته شده است، روش المان محدود می‌باشد. در مدل‌های اولیه، پاسخ سینماتیکی شمع با در نظر گرفتن رفتار پلاستیک خاک و بدون اثرات سخت شوندگی مورد بررسی قرار گرفت (Bentley & El Naggar, 2000). تلاشهایی برای لحاظ کردن اثرات سخت شوندگی علاوه بر رفتار پلاستیک خاک در مدل‌های المان محدود صورت گرفت. ولی از میرایی زیرسازه فونداسیون و اثرات غیر خطی خاک صرفنظر شده بود (Cai et al., 2000). این تلاشها در انتها به ایجاد مدلی سه بعدی با در نظر گرفتن تمامی اثرات غیرخطی، سخت شوندگی و پلاستیسیتته خاک منجر شد (Maheshwari et al., 2005). در این تحقیق با استفاده از روش المان محدود آنالیزهایی دینامیکی بر روی مدل سه‌بعدی ساخته شده انجام گرفته است تا رفتار جانبی دینامیکی شمع و پارامترهای تأثیرگذار خاک رسی بر روی این رفتار هر چه بیشتر مشخص گردد.

۲- مراحل مدلسازی خاک در نرم‌افزار

در این قسمت اجزای مختلف مدلسازی خاک اعم از شرایط مرزی، خصوصیات مصالح و میرایی خاک بطور جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرد. نحوه المان بندی و خصوصیات خاک استفاده شده در بخش ارزیابی صحت مدل مانند مدل (Maheshwari et al., 2005) انتخاب شده است.

۲-۱- مدلسازی هندسه و شرایط مرزی

در اینجا از محیط مکعب مستطیلی شکل استفاده شده است که در انتها المان‌های شمع به آن اضافه می‌شوند. برای بالا بردن دقت تحلیل و محاسبه کرنش‌های پلاستیک، در اطراف شمع از نواحی کوچکتری استفاده شده است. در بارگذاری دینامیکی بستن مرزها سبب ایجاد اثر

جمعی‌های (بازتاب امواج به درون مدل) می‌شود. مگر اینکه مرزها به اندازه کافی از شمع دور شود که اینکار سبب افزایش قابل ملاحظه زمان تحلیل می‌شود. بنابراین برای اعمال شرایط مرزی دینامیکی از مرزهای میدان جاذب استفاده شده است. این مرز از قابلیت‌های نرم‌افزار بوده و سبب جلوگیری از انعکاس امواج اضافی به خاک می‌شود. برای استفاده از این مرزها، در اطراف مدل از المان‌های نیمه‌بی‌نهایت استفاده شده است. یعنی فرض می‌شود که مصالح خاک در جهت مورد نظر تا بی‌نهایت ادامه دارند و امواج حاصل از زلزله بدون انعکاس تا بی‌نهایت در مصالح خاک منتشر می‌شوند. شرایط مرزی انتهایی مدل نیز با فرض قرار گرفتن لایه خاک بر روی سنگ بستر در هر سه جهت بسته شده است.

۲-۲- تعریف خصوصیات خاک

برای المان‌بندی خاک از المان‌های مکعبی شکل ۸ گره‌ای به ابعاد مختلف استفاده شده و اندازه آنها طوری تعیین شده که تغییرات تنش و پلاستیسیته ایجاد شده در خاک را بطور مناسبی نشان دهد. برای این کار ابعاد مکعب‌های خاک در اطراف شمع کوچکتر بوده و با دور شدن از شمع افزایش می‌یابند. همچنین در راستای قائم از ابعاد یکسان به اندازه یک متر استفاده شده است تا امواج برشی در راستای قائم بطور یکنواخت توزیع شوند. مدل مورد نظر ابعاد افقی 8×12 متر و ارتفاع ۱۰ متر دارد. برای مدلسازی رفتار الاستوپلاستیک خاک در بخش ارزیابی صحت مدل از معیار گسیختگی دراگر- پراگر و در بخش آنالیزها از معیار گسیختگی موهر-کولمب استفاده شده است. پارامترهای خاک رس استفاده شده در بخش ارزیابی صحت مدل عبارتند از: مدول الاستیسیته (E) برابر با ۲۰ مگاپاسکال، وزن مخصوص اشباع (γ_{sat}) برابر با ۱۱/۸ کیلونیوتن بر متر مکعب، ضریب پواسون (ν) برابر با ۰/۴۵، چسبندگی (c) برابر با ۳۴ کیلوپاسکال، زاویه اصطکاک داخلی (ϕ) برابر با ۱۶/۵ درجه، زاویه اتساع (ψ) برابر با ۱۶/۵ درجه، سرعت موج برشی (V_s) برابر با ۱۲۰-۶۰ متر بر ثانیه و ضریب فشار جانبی خاک در حالت سکون (K_0) برابر با ۰/۶۵.

خاک بکار رفته در بخش آنالیزهای دینامیکی خاک رس است که پارامترهای مربوط به آن عبارتند از:

$$E=27 \text{ MPa}, \gamma_{sat}=18 \text{ kN/m}^3, \nu=0.5, c=30 \text{ kPa}, \phi=0^\circ$$

در مدل ساخته شده، علاوه بر میرایی تشعشی که بصورت سه‌بعدی در مرزهای میدان آزاد وجود دارد از میرایی رایلی که در واقع میرایی برحسب سختی و فرکانس سیستم می‌باشد نیز استفاده شده است. معادله کلی این میرایی به شکل زیر می‌باشد:

$$C = \alpha M + \beta K \quad (1)$$

که در آن α ثابت میرایی وابسته به جرم، β ثابت میرایی وابسته به فرکانس، M ماتریس جرم و K ماتریس سختی می‌باشد. مقادیر α و β برحسب ضریب میرایی بحرانی و فرکانس طبیعی سیستم بدست می‌آیند. برای بدست آوردن فرکانس طبیعی سیستم از ارتعاش مصنوعی سیستم بدون میرایی، تحت شتاب ثقل در حالت الاستیک استفاده می‌شود. ضریب میرایی بحرانی خاک برابر با ۵٪ فرض شده است.

۳- مراحل مدلسازی شمع در نرم‌افزار

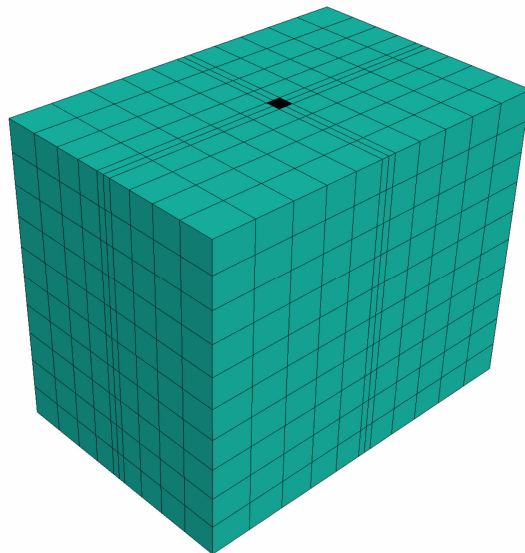
همانند خاک، نحوه المان‌بندی و پارامترهای بکار رفته برای بتن نیز مانند مدل (Maheshwari et al., 2005) انتخاب شده است. شمع مورد استفاده در این تحقیق دارای مقطع مربعی شکل به ابعاد 0.5×0.5 متر با طول ۱۰ متر و از جنس بتن می‌باشد و برای المان‌بندی آن مانند خاک از المان‌های مکعبی شکل ۸ گره‌ای استفاده شده است. ابعاد این المان‌ها طوری انتخاب شده است که با المان‌های خاک اطراف خود سازگاری داشته باشند. مدل کلی ساخته شده شامل شمع و خاک اطراف آن در شکل ۱ نشان داده شده است.

رفتار مصالح شمع، رفتاری الاستیک در نظر گرفته شده است و برای مدلسازی رفتار آن از مدل الاستیک استفاده شده است. در این مدل پارامترهای مدول یانگ و ضریب پواسون به شمع داده می‌شود. پارامترهای مورد استفاده برای بتن عبارتند از:

$$E=20000 \text{ MPa}, \gamma=23 \text{ kN/m}^3, \nu=0.3, I=5.208 \times 10^{-3} \text{ m}^4 \text{ (ممان اینرسی)}$$

۴- فصل مشترک خاک و شمع در نرم‌افزار

مدل کردن این بخش از اهمیت بالایی برخوردار است زیرا تاثیر بسزایی در پاسخ شمع تحت بارهای دینامیکی دارد. در این تحقیق از روش تماس بین سطوح استفاده شده است. برای استفاده از این روش باید سطوح تماس بین شمع و خاک برای نرم‌افزار تعریف شوند. سطوح تماسی به عنوان جفت سطوح تماسی در نرم‌افزار معرفی شده‌اند و در آن یک سطح به عنوان سطح اصلی و سطح دیگر به عنوان سطح فرعی تعریف می‌شوند. روش معمول در تماس بین دو سطح، تماس گره با سطح است یعنی هر گره در سطح فرعی با یک نقطه در سطح اصلی در اندرکنش است. بنابراین هر تماس شامل یک گره در سطح فرعی و گروهی از گره‌های نزدیک در سطح اصلی است (ABAQUS Manual).



شکل ۱- مدل شمع - خاک بکارگرفته شده در تحلیل

در این مطالعه از تماس سطح با سطح با امکان لغزش محدود و تماس از نوع سخت استفاده شده است. تماس از نوع سخت امکان نفوذ سطح فرعی به داخل سطح اصلی را به حداقل می‌رساند و اجازه انتقال تنش کششی در سطح تماس را نمی‌دهد. در این نوع تماس وقتی سطوح در تماس با هم قرار می‌گیرند هر فشار تماسی بین آنها منتقل می‌شود. اگر این فشار تماسی به صفر برسد سطوح از یکدیگر جدا می‌شوند. سطوح جدا شده بار دیگر در تماس با هم قرار می‌گیرند اگر فاصله بین آنها از بین برود. در این تحقیق دو نوع تماس بین سطوح مشترک، در نظر گرفته شده است: تماس اصطکاکی و تماس عمودی. در تماس اصطکاکی از نوع فرمولاسیون پنالتی با ضریب اصطکاک ۰/۷ استفاده شده است، همانطور که در تحقیق صورت گرفته توسط (Maheshwari et al., 2005) آمده است. در تماس عمودی بین دو سطح باز هم از فرمولاسیون پنالتی و تماس سخت با امکان ایجاد جدایی بین دو سطح استفاده شده است.

۵- بارگذاری

بارگذاری وارد بر مدل در بخش ارزیابی صحت مدل، هارمونیک بوده و در بخش آنالیزهای دینامیکی نهایی، از ۷/۹۴ ثانیه اول تاریخچه زمانی شتاب زلزله کوبه استفاده شده است. این بارها بصورت تاریخچه زمانی شتاب، در جهت افقی x به بستر سنگی اعمال شده و در تمام آنالیزها فرض شده است که بستر سنگی در کف مدل قرار دارد.

۶- ارزیابی صحت مدل برای بار دینامیکی

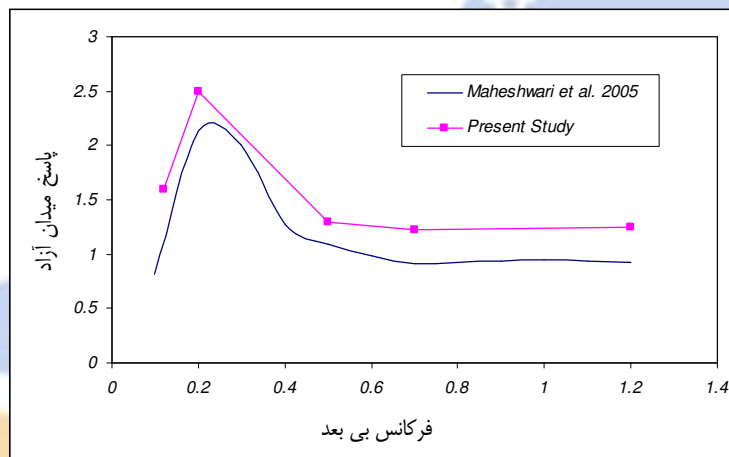
ارزیابی صحت مدل برای بار دینامیکی برای پاسخ میدان آزاد خاک و میدان خاک و شمع بررسی شده است. در حالت اول نسبت پاسخ میدان آزاد و در حالت دوم پاسخ سر شمع با استفاده از دامنه موج ورودی تراز شده و با مقادیر بدست آمده از مطالعات قبلی مقایسه شده است. موج سینوسی یکنواخت با دامنه واحد به عنوان موج ورودی از کف به مدل اعمال شده و پاسخ تاریخچه زمانی بدست آمده برای فرکانس‌های مختلف موج ورودی محاسبه شده است. به نسبت دامنه پاسخ میدان آزاد به دامنه پاسخ موج ورودی که در واقع نشان‌دهنده اثر خاک بر روی موج می‌باشد، تابع انتقال گفته می‌شود.

منحنی تابع انتقال بدست آمده در مطالعه حاضر و مطالعات قبلی در شکل ۲ نشان داده شده است. همچنین در شکل ۳ منحنی بدست آمده از پاسخ سر شمع به همراه مطالعات قبلی آورده شده است. لازم به ذکر است که در این منحنی‌ها از مقادیر فرکانس بی بعد (معادله ۲) استفاده شده است.

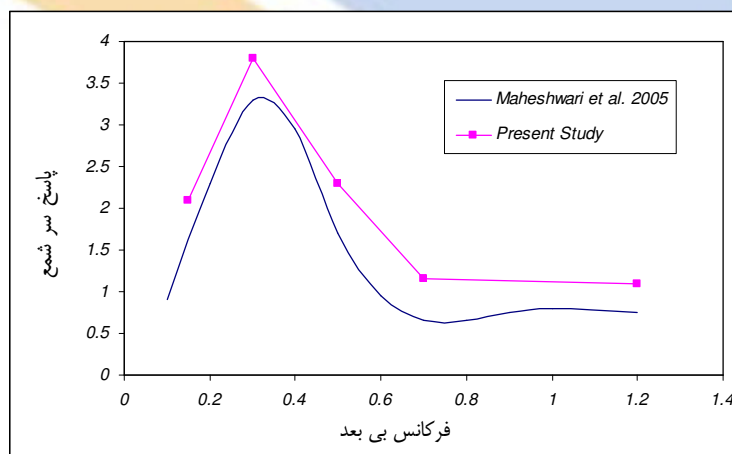
$$a_0 = \omega \times d / V_s \quad (2)$$

که در آن ω فرکانس زاویه‌ای موج، d قطر شمع و V_s سرعت موج برشی در خاک می‌باشد. لازم به ذکر است که به دلیل همخوانی نسبتاً خوب نتایج اشکال ۲ و ۳ و زمان بر بودن تحلیل‌ها، در چند فرکانس به عنوان نمونه دامنه پاسخ میدان آزاد و پاسخ سر شمع نسبت به دامنه پاسخ موج ورودی اندازه‌گیری شده است. در واقع چند مقدار a_0 بعنوان نمونه انتخاب شده است و سپس با داشتن قطر شمع و فرض V_s مقداری بین ۶۰-۱۲۰ m/s که در مطالعات قبلی آمده است، ω به کمک رابطه ۲ بدست می‌آید. در نهایت با داشتن ω موج سینوسی با دامنه واحد ساخته می‌شود و به کف مدل اعمال می‌گردد. در هر دو نمودار اشکال ۲ و ۳ می‌توان مشاهده کرد که تطابق نتایج بدست آمده با مطالعات قبلی در

فرکانس‌های پایین بهتر است. تا فرکانس حدود $a_0 = 0.5$ هماهنگی نتایج بسیار خوب است و از این فرکانس به بعد فاصله نتایج بدست آمده نسبت به مطالعات قبلی، کمی بیشتر می‌شود. مسئله‌ای که می‌تواند سبب اختلاف بین تغییرمکان‌های بدست آمده از این تحقیق با نتایج قبلی باشد، شرایط متفاوت در مرزهای کناری مدل است. در تحقیق (Maheshwari et al., 2005) در کناره‌ها از المانهای کلوبین یعنی فنر و میراگر در حالت موازی استفاده شده است تا اثر محیط نیمه بی‌نهایت خاک در نظر گرفته شود. در صورتی که در این تحقیق از مرزهای جاذب و المانهای نیمه بی‌نهایت در مرزهای کناری مدل استفاده شده است. بنظر می‌رسد که این تفاوت‌ها، بیشترین اثر خود را در فرکانس‌های بالا بخصوص از $a_0 = 0.5$ به بعد گذاشته است. همانطور که در دو شکل زیر نشان داده شده است، در فرکانس‌های پایین دامنه پاسخ میدان آزاد و سر شمع در مقابل دامنه حرکت موج ورودی بطور ناگهانی افزایش یافته است. این افزایش حرکت ناشی از پدیده تشدید در خاک می‌باشد. زیرا فرکانس بارگذاری و فرکانس طبیعی سیستم در این نواحی تقریباً با هم برابر است. لازم به ذکر است که در هر دو نمودار زیر پدیده تشدید در حدود مقادیر فرکانس $a_0 = 0.1$ تا $a_0 = 0.6$ رخ داده است. همچنین قابل توجه است که در یک فرکانس مشخص کمتر از $a_0 = 0.6$ ، پاسخ سر شمع نسبت به پاسخ میدان آزاد مقادیر بیشتری را نشان می‌دهد. البته این نکته، هم در نتایج تحقیق حاضر و هم در نتایج کار (Maheshwari et al., 2005) دیده می‌شود. به عبارت دیگر هنگامی که شمع به مدل اضافه شده، باعث شده است که تغییرمکان نقطه‌ای در سر شمع نسبت به تغییرمکان همان نقطه در حالتی که شمع وجود ندارد افزایش یابد و این مسئله می‌تواند به دلیل ایجاد تغییر در سختی سیستم میدان آزاد بر اثر افزودن شمع باشد. در فرکانس‌های بیشتر از $a_0 = 0.6$ مشاهده می‌شود که پاسخ سر شمع نسبت به پاسخ میدان آزاد مقادیر کمتری دارد. به عبارت دیگر تغییرمکان‌های ماندگار در مدل خاک میدان آزاد بیشتر است.



شکل ۲- ارزیابی صحت مدل در حالت دینامیکی برای میدان آزاد

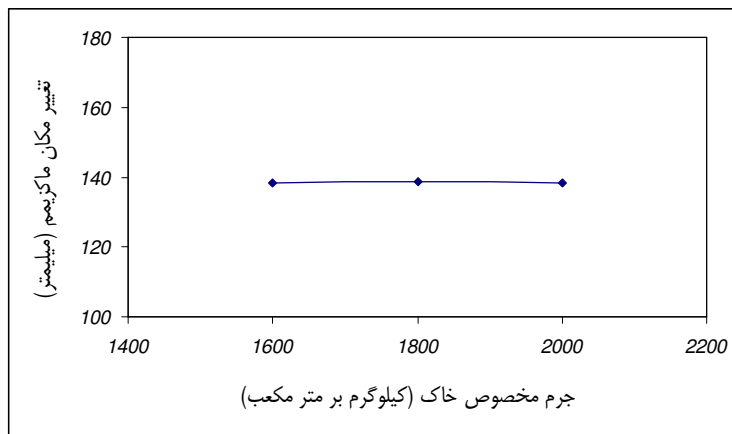


شکل ۳- ارزیابی صحت مدل در حالت دینامیکی برای میدان شمع و خاک

۷- آنالیزهای حساسیت سنجی

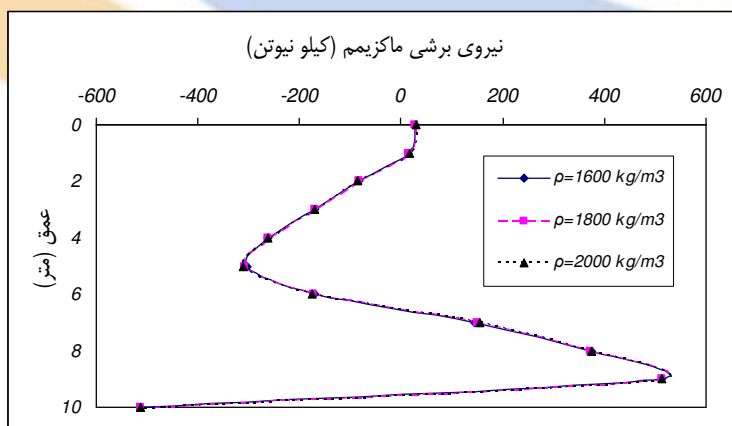
در این قسمت هدف جداسازی پارامترهای تاثیرگذار در رفتار شمع تحت اثر بار جانبی لرزه‌ای می‌باشد. پارامترهای خاک که در این قسمت بررسی شده‌اند عبارتند از: جرم مخصوص، زاویه اصطکاک، ضریب پواسون و چسبندگی خاک. در واقع به بررسی اثرات این پارامترها بر روی ممان خمشی ماکزیمم، نیروی برشی ماکزیمم و تغییر مکان ماکزیمم در طول شمع پرداخته گردیده است.

در این بخش با تغییر مقدار جرم مخصوص خاک در دامنه 1600 kg/m^3 الی 2000 kg/m^3 به نحوه اثر این پارامتر در رفتار شمع تحت اثر بار جانبی در خاک رسی پرداخته می‌شود. در شکل ۴ تغییر مکان ماکزیمم شمع نسبت به جرم مخصوص خاک نشان داده شده است. شکل ۴ نشان می‌دهد که تغییر مکان ماکزیمم در شمع با افزایش جرم مخصوص خاک تغییری نمی‌کند. بطوری که در جرم مخصوص برابر با 1600 kg/m^3 تغییر مکان مساوی $138/5 \text{ mm}$ و در جرم مخصوص برابر با 2000 kg/m^3 تغییر مکان ماکزیمم شمع $138/4 \text{ mm}$ است.



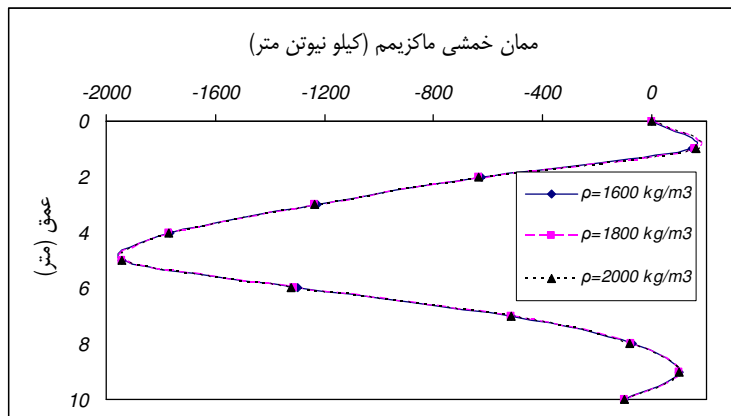
شکل ۴- تغییرات تغییر مکان ماکزیمم شمع در مقابل جرم مخصوص خاک رسی

نتایج تغییرات نیروی برشی ماکزیمم شمع در طول آن در شکل ۵ نشان داده شده است. با دقت در منحنی شکل ۵ مشخص می‌شود که نیروی برشی ماکزیمم شمع با افزایش جرم مخصوص خاک تغییری نمی‌یابد. به طوری که در جرم مخصوص 1600 kg/m^3 نیروی برشی ماکزیمم شمع $513/92 \text{ kN}$ و در جرم مخصوص 2000 kg/m^3 نیروی برشی ماکزیمم شمع $514/06 \text{ kN}$ می‌باشد یعنی $0/14 \text{ kN}$ افزایش که در مقابل کل نیروی برشی بسیار ناچیز می‌باشد. همچنین با مراجعه به شکل ۵ می‌توان دریافت که مقدار نیروی برشی ماکزیمم برای همه جرم مخصوص‌ها در یک متری انتهای شمع رخ می‌دهد. در همه نقاط شمع مقادیر نیروی برشی ماکزیمم به ازای جرم مخصوص‌های مختلف تقریباً با هم برابرند.



شکل ۵- تغییرات نیروی برشی ماکزیمم در شمع در جرم مخصوص‌های مختلف خاک رسی

در شکل ۶ تغییرات ممان خمشی ماکزیمم شمع در طول آن نشان داده شده است. ممان خمشی ماکزیمم هم مانند نیروی برشی ماکزیمم با افزایش جرم مخصوص تقریباً ثابت می‌ماند. به نحوی که ممان خمشی در تغییر جرم مخصوص از 1600 kg/m^3 به 2000 kg/m^3 ، از $1941/8 \text{ kN.m}$ به $1944/5 \text{ kN.m}$ افزایش می‌یابد. یعنی $2/7 \text{ kN.m}$ افزایش که در مقابل کل ممان خمشی مقدار بسیار ناچیزی است. این مسئله در شکل ۶ مشهود است. همچنین از شکل ۶ می‌توان فهمید که ممان خمشی ماکزیمم به ازای تمام مقادیر جرم مخصوص خاک در وسط عمق شمع رخ می‌دهد و در همه نقاط شمع مقادیر ممان خمشی ماکزیمم به ازای جرم مخصوص‌های مختلف خاک تقریباً با هم برابرند.



شکل ۶- تغییرات ممان خمشی ماکزیمم در شمع در جرم مخصوص‌های مختلف خاک رسی

۲-۷- اثر زاویه اصطکاک داخلی خاک

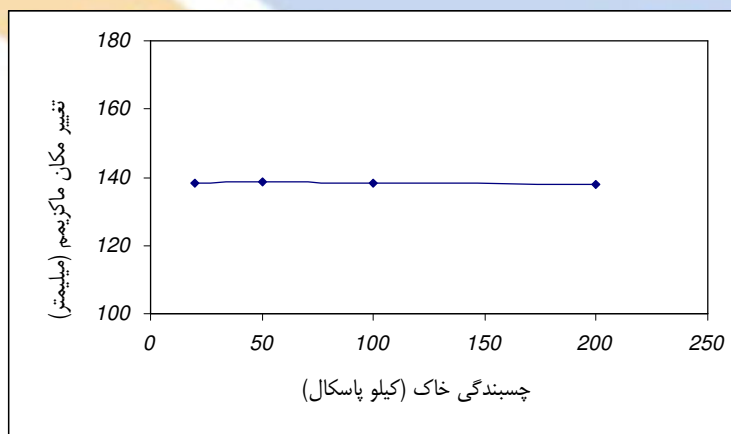
همانطور که در بخش ۲-۲ بیان شد زاویه اصطکاک داخلی خاک رسی در شرایط زهکشی نشده و کوتاه مدت برابر با صفر می‌باشد، لذا این پارامتر تأثیری در رفتار شمع تحت اثر بار جانبی دینامیکی در خاک رسی نخواهد داشت.

۳-۷- اثر ضریب پواسون خاک

از آنجاییکه ضریب پواسون در خاک رسی اشباع در شرایط زهکشی نشده و کوتاه مدت تقریباً ثابت و برابر با مقدار ۰/۵ می‌باشد و همچنین بر اساس نتایج موجود در ادبیات فنی که نشان می‌دهد این پارامتر تأثیر محسوسی در رفتار شمع ندارد، لذا این پارامتر در این تحقیق ثابت در نظر گرفته شده است.

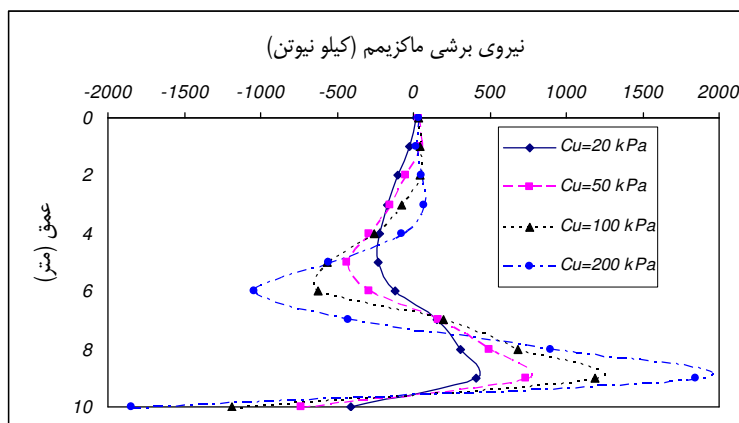
۴-۷- اثر چسبندگی خاک

آخرین پارامتر خاک که مورد بررسی قرار گرفته است، چسبندگی آن می‌باشد. جهت بررسی اثرات این پارامتر تعدادی آنالیز بر روی شمع و خاک صورت گرفت. در شکل ۷ تغییر مکان ماکزیمم شمع نسبت به چسبندگی خاک نشان داده شده است. شکل ۷ نشان می‌دهد که تغییر مکان ماکزیمم در شمع با افزایش چسبندگی خاک تقریباً تغییری نمی‌یابد. بطوری که در چسبندگی برابر با ۲۰ kPa تغییر مکان مساوی ۱۳۸/۴ mm و در چسبندگی برابر با ۲۰۰ kPa تغییر مکان ماکزیمم شمع ۱۳۸/۱ mm است.



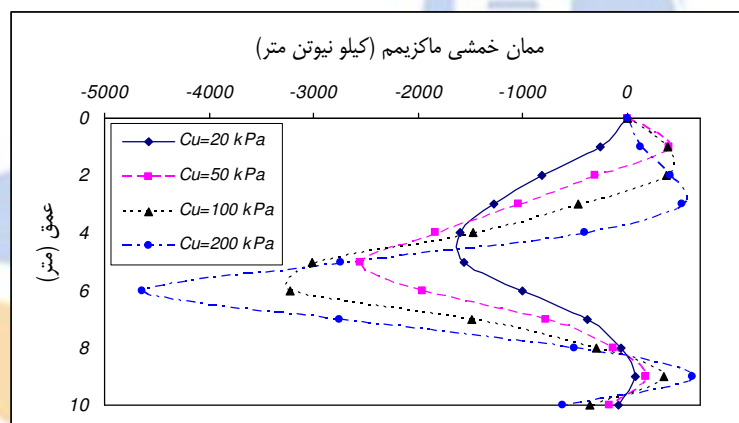
شکل ۷- تغییرات تغییر مکان ماکزیمم شمع در مقابل چسبندگی خاک رسی

شکل ۸ تغییرات نیروی برشی ماکزیمم در طول شمع را نشان می‌دهد. بر اساس شکل ۸ نیروی برشی ماکزیمم افزایش قابل توجهی با زیاد شدن چسبندگی خاک پیدا می‌کند. بطوری که در چسبندگی ۲۰ kPa مقدار نیروی برشی ماکزیمم ۴۱۴ kN و در چسبندگی ۲۰۰ kPa مقدار نیروی برشی ماکزیمم ۱۸۴۶/۴ kN است. همچنین از شکل ۸ می‌توان دریافت که نیروی برشی ماکزیمم در طول شمع برای تمام چسبندگی‌ها در یک متری انتهای شمع حاصل شده است.



شکل ۸- تغییرات نیروی برشی ماکزیمم در شمع در چسبندگی‌های مختلف خاک رسی

شکل ۹ تغییرات ممان خمشی ماکزیمم در طول شمع را نشان می‌دهد. براساس شکل ۹ می‌توان نتیجه گرفت که ممان خمشی ماکزیمم شمع تغییرات قابل توجهی به ازای تغییرات چسبندگی پیدا خواهد کرد. به نحوی که ممان خمشی در تغییر چسبندگی از ۲۰ kPa به ۲۰۰ kPa، از ۱۵۹۲/۱ kN.m به ۴۶۴۱/۳ kN.m افزایش می‌یابد. همچنین از شکل ۹ می‌توان دریافت که ممان خمشی ماکزیمم در طول شمع، به ازای چسبندگی ۲۰ kPa در عمق حدود ۴ متری شمع رخ داده و با افزایش چسبندگی محل ممان خمشی ماکزیمم به اعماق پایینتر می‌رود به نحوی که در چسبندگی ۲۰۰ kPa ممان خمشی ماکزیمم شمع در عمق حدود ۶ متری اتفاق افتاده است.

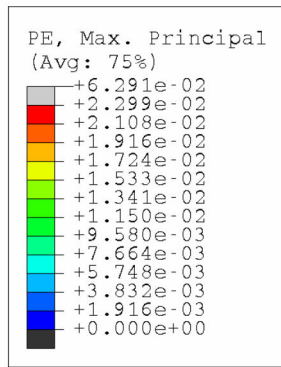


شکل ۹- تغییرات ممان خمشی ماکزیمم در شمع در چسبندگی‌های مختلف خاک رسی

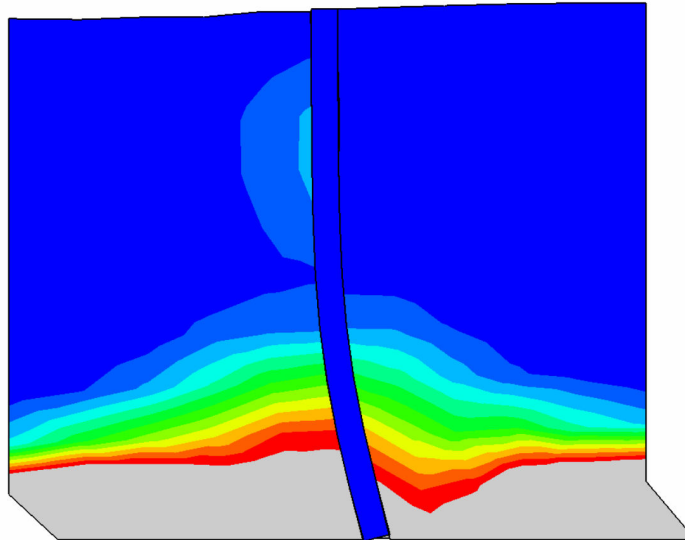
علت تاثیر بسزای چسبندگی خاک رسی در رفتار شمع را می‌توان به پلاستیک شدن خاک اطراف شمع، مربوط دانست. همانطور که در شکل ۱۰ دیده می‌شود، در زمانی که مقدار ماکزیمم بارگذاری رخ می‌دهد، در نواحی زیادی در اطراف شمع کرنش‌های پلاستیک قابل توجهی بوجود می‌آید و این بدان معنی است که این قسمتهای خاک، تسلیم شده‌اند. پس می‌توان نتیجه گرفت که تغییر پارامتر چسبندگی خاک بدلیل اینکه مناطق گسترده‌ای از خاک را به تسلیم می‌رساند، تاثیر بسزایی در نتایج دارد. البته بررسی پلاستیک شدن خاک در تمامی مقادیر چسبندگی انجام شده است ولی در شکل ۱۰، مدل مربوط به $c=200 \text{ kPa}$ به عنوان نمونه در حالت ماکزیمم کرنش‌های پلاستیک و با بزرگنمایی ۱۰ برابر آورده شده است.

۸- نتایج بررسی اثر پارامترهای خاک رسی بر روی رفتار شمع تحت بار جانبی

پس از انجام آنالیزهای دینامیکی و رسم نمودارهای تغییرمکان، برش و ممان خمشی ماکزیمم در شمع مشخص گردید که تغییرمکان و برش ماکزیمم در انتهای شمع یعنی محل اعمال بار دینامیکی و ممان خمشی ماکزیمم در حدود وسط عمق شمع رخ می‌دهد. همچنین در بخش حساسیت‌سنجی مشاهده شد که بعضی از پارامترهای خاک تاثیر کم و برخی دیگر تاثیر زیادی بر روی رفتار شمع تحت اثر بار جانبی دینامیکی در خاک رسی دارند. جرم مخصوص خاک اثری در نیروی برشی و ممان خمشی شمع ندارد. همانگونه که انتظار می‌رود، بیشترین اثر در برش و ممان شمع، توسط پارامتر چسبندگی خاک ایجاد می‌شود که با افزایش آن نیروی برشی و ممان خمشی شمع به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابند. ۲ پارامتر مذکور تاثیر زیادی در تغییرمکان ماکزیمم کل شمع ندارند.



در $c=200$ KPa با بزرگنمایی ۱۰ برابر



مراجع:
in Soil

- Banerjee, P. K. (1978). Analysis of Mechanics Ch. 9, 317-36.
- Kaynia, A. M. & Kausel, E. (1982). Dynamic behavior of pile groups. Proc. 2nd International Conference on Numerical Methods in Offshore Piling, 509-532.
- Nogami, T. & Konagai, K. (1986). Time domain axial response of dynamically loaded single piles. Journal of Engineering Mechanics 112:11, 1241-1252.
- Nogami, T. & Konagai, K. (1988). Time domain flexural response of dynamically loaded single piles. Journal of Engineering Mechanics 114:9, 1512-1525.
- El Naggar, M. H. & Novak, M. (1995). Nonlinear lateral interaction in pile dynamics. Soil Dynamics and Earthquake Engineering 14, 141-157.
- El Naggar, M. H. & Novak, M. (1996). Nonlinear analysis for dynamic lateral pile response. Soil Dynamics and Earthquake Engineering 15, 233-244.
- Bentley, K. J. & El. Naggar, M. H. (2000). Numerical Analysis of Kinematic Response of Single Piles. Canadian Geotechnical Journal 37: 6, 1368-1382.
- Cai, Y. X., Gould, P. L. & Desai, C. S. (2000). Nonlinear analysis of 3D seismic interaction of soil-pile-structure system and application. Engineering Structures 22:2, 191-199.
- Maheshwari, B. K., Truman, K. Z., Gould, P. L. & El Naggar, M. H. (2005). Three-dimensional nonlinear seismic analysis of single piles using finite element model: effects of plasticity of soil. International Journal of Geomechanics 5:1, 35-44.
- ABAQUS General Finite Element Analysis Program Version 6.6 Manual

ICOPMAS

Numerical Analysis of Deep Foundations of Offshore Affected by Earthquake

Dr. M. M. Ahmadi, Sharif University of Technology [SUT]

Mr. M. Ehsan, [SUT]

Abstract

Iran is one of most earthquake-prone countries in the world and most of southern coasts and entire northern coasts of Iran are subject to relatively high risk of earthquakes (according to seismic zoning maps of 2800 Code); therefore, to ensure sufficient resistance of coastal structures and ports against earthquakes, it is very important to determine and identify the proper techniques and methods of structures designing. Many offshore structures are equipped with deep foundations and piles because of the high depth of sea water and also lack of topsoil resistance against possible loads and pressures. In other words, the primary objective of this study was to determine the distribution of displacements, shear force and bending moment in the pile at the time of the earthquake. In conclusion, a sensitivity analysis is performed on clay soil parameters that are of great interest to determine the effect of these parameters on the behavior of lateral seismic pile. In the dynamic analysis of this paper, the finite element software of ABAQUS is used.

Keywords: *seismic zoning, earthquake, coastal areas, dynamic analysis, seismic interaction, displacements,*