Archive of SID

بررسی تأثیر پارامترهای شعاع کوبه و تعداد ضربه بر بهسازی خاک به روش تراکم دینامیکی در راستای احداث سازه های‌دریایی

احسان کمال‌پور اصل[۱]، مرتضی بختیاری*[۱]، جواد احدیان[۲]

۱. دانشکده مهندسی دریا دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

۲. دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۱۵

شناسه دیجیتال (DOI) : 10.22113/jmst.2018.100314.2060

چکیده

توسعه جوامع مختلف باعث شده است که دسترسی به زمین مناسب که یکی از اصلی‌ترین عوامل در فعالیت‌های عمرانی بخصوص احداث سازه های مختلف ساحلی و دریایی به شمار می‌رود در بعضی موارد امکان‌پذیر نباشد و درنتیجه زمین‌های نامناسب با خصوصیات ژئوتکنیکی ضعیف نظیر خاک‌های نرم و باتلاقی، خاک‌های ریزشی، خاک‌های منبسط شونده، زمین‌های استحصالی از دریا و ... مورداستفاده قرار گیرند. روش‌های بهسازی مختلفی در جهت افزایش مقاومت و کیفیت مهندسی خاک‌ها وجود دارد که یکی از مناسب‌ترین آن‌ها، تراکم دینامیکی می‌باشد. در این روش وزنه‌ای از ارتفاع مشخص رهاشده و در اثر برخورد به زمین باعث متراکم شدن خاک می‌شود. در این تحقیق ابتدا اقدام به انجام آزمایش‌های میدانی گردید سپس با استفاده نتایج بدست آمده در این بخش اقدام به مدلسازی تراکم دینامیکی خاک گردید. به منظور انجام مدلسازی تحقیق حاضر از نرم‌افزار دو بعدی FLAC استفاده گردید. نظر به اجرای طرح‌های مختلف در محدوده شهرستان آبادان این منطقه به عنوان محل اجرای طرح انتخاب گردید و پس از آزمایش‌های میدانی مشخصات مکانیکی خاک استخراج و سپس با تعریف الگوهای آزمایش اقدام به مدلسازی گردید. نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان می‌دهد برای کلیه شرایط مدلسازی حداکثر تغییر شکل خاک در محل ضربه کوبه مشاهده شد، این میزان در عمق خاک کاهش یافت. همچنین نتایج نشان می دهد که تنش مؤثر در خاک تحت تراکم دینامیکی با افزایش عمق کاهش می‌یابد.

واژگان کلیدی: تراکم دینامیکی، شعاع کوبه، تعداد ضربه، نرم افزار Flac، بهسازی زمین

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: mortezabakhtiari@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

تراکم دینامیکی خاک یکی از روشهای بهسازی خاک بشمار می‌رود شاهراه‌ها، سدهای خاکی ، آماده سازی اراضی صنعتی ، پالایشگاهی و کارهای زیربنایی متعدد دیگر نیاز است تا خاک سست به آن حد از تراکم رسانده شود، تا خواص مکانیکی خاک بهبود یابد. به عمل‌هایی که باعث رسیدن به این مقصود می‌شود بهسازی خاک می‌گویند که یکی از انواع آن ایجاد تراکم است. در دهه‌های اخیر همراه با پیشرفت علم و تکنولوژی ، روشهای متعددی جهت انتقال بار سازه های احداثی به زمین ، توسط کارشناسان خاک ابداع گردیده است. به طور کلی جهت انتقال بار سازه‌ها

می‌توان از دو روش انتقال به لایه‌های مقاوم زمین (پی های عمیق) ویا بهبود پارامترهای مکانیکی خاک سست (بهسازی زمین) استفاده کرد. امروزه چالش اصلی متخصصان ، انتخاب روش بهینه با توجه به ابعاد و وزن سازه ها،حساسیت آنها به نشست ، جنس و مقاوت لایه‌های زمین ، محاسن و معایب و محدودیت های هر روش و هزینه و زمان اجرا می‌باشد. جهت برطرف نمودن این مشکلات وبهبود پارامترهای ژئوتکنیکی تاحد مطلوب روشهای متعددی مورد استفاده قرار میگیرد که کلاّ تحت عنوان روشهای بهسازی زمین نامیده می‌شوند. به صورت کلی در احداث سازه های دریایی پارامترهای مربوط به خاک به دلیل قرارگرفتن سازه بر روی آن دارای اهمیت فراوان می‌باشند که تراکم خاک می‌تواند تأثیرات متعددی بر روی مشخصات خاک داشته باشد که از جمله آنها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

افزایش مقاومت خاک ، کاهش تغییر شکل‌پذیری خاک در اثر بارگذاری (افزایش مدول تنش – کرنش خاک ، کاهش تراکم‌پذیری خاک ، کنترل تورم و انقباض خاک، کنترل نفوذپذیری خاک ، کاهش پتانسیل روانگرایی خاک، کاهش تغییر و تنوع‌پذیری مصالح خاک‌ریزی شده و یا خاک برجا (همگن کردن مصالح زیر پی)، پیشگیری از تغییرات شیمیایی یا فیزیکی زیان‌آور به دلیل شرایط محیطی بررسی‌های به عمل آمده نشان می‌دهد برخی از محققین مدلسازی عددی و برخی دیگر مطالعات میدانی را جهت انجام تحقیق در خصوص تراکم دینامیکی مورد توجه قرار داده‌اند که از جمله آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

Chow et al (1990), با بکار بردن روش کاربردی لی و همکاران (۱۹۹۸) که برای محاسبه نیروهای ایجا دشده در حین شمع کوبی بود، به مطالعه کاهش شتاب کوبه حین ضربه پرداختند. در مطالعات بعدی، این محققین موفق شدند با کمک مدل یک بعدی خود، عمق و درجه بهبود خاک را پیش بینی کنند.

Poran and Rodriguez (1992) آثار ضربه را با فرض فرمولاسیون تغییر مکان های بزرگ و با دو مدل رفتاری الاستوپلاستیک مختلف بررسی کردند.

Pan and Selby (2002) با استفاده از نرم افزار ABAQUS پاسخ خاک به ضربه جسم صلب را به صورت عددی تحلیل نمودند.

Gu and Lee (2002), رفتار ماسه خشک تحت اثر بار ضربه را با استفاده از برنامه المان محدود CRISDYN تشریح نمودند.

Hamidi et al (2010) روشی نوین را برای پیش‌بینی پروفیل فشار حدی پس از تراکم دینامیکی ارائه دادند با این فرض که نشست القاء شده به زمین، مجموع کرنش‌های قائم مطابق توزیع رایلی است.

Hamidi et al (2010) رابطه‌ای را بین نشست زمین و فشار حدی حاصل از داده‌های PMT را ارائه دادند تا بتوان پارامترهای خاک را بر اساس نشست سطحی خاک پیش‌بینی نمود.

Hamidi et al (2010) نیز در آزمایش‌های پس از تراکم دینامیکی نتیجه گرفتند که نتایج PMT بهتر از نتایج آزمایش نفوذ استاندارد SPT نشانگر رفتار خاک است.

www.SID.ir

Archive of SID

Al-Layla and Al-Saffar(2014) دو محقق عراقی اصلاح رفتار خاک ژیپس را با روش تراکم دینامیکی بررسی نمودند و نتیجه گرفتند که این روش می‌تواند ابزار بسیار مناسبی برای اصلاح این نوع خاک باشد. معیار بررسی ایشان افزایش تعداد ضربات SPT موردنیاز برای تراکم خاک قبل و بعد از تراکم دینامیکی بود. ایشان این معیار را برای خاک ژیپس سست مناسب‌ترین معیار تشخیص رفتار دانستند.

نظر به اینکه در اغلب تحقیقات گذشته از روش‌ها و نرم‌افزارهای مختلفی جهت بررسی تأثیر پارامترهای مختلف تراکم خاک بر روی مشخصات مکانیکی خاک انجام شده است لذا در تحقیق حاضر از نرم‌افزار المان محدود FLAC به منظور مدلسازی عددی استفاده شده است. همچنین تحقیق حاضر نظر به اهمیت استحصال اراضی ساحلی در شهرستان آبادان بر روی خاک‌های این منطقه صورت گرفته است.

۲. مواد و روش‌ها

برنامه تفاضل محدودFLAC

نرم‌افزار FLAC یک برنامه تفاضل محدود از مجموعه نرم‌افزارهای آیتسکا هست. که برای محیط‌های پیوسته به کار می‌رود. FLAC بر اساس تحلیل محاسباتی لاگرانژی استوار است که برای مدل‌سازی تغییر شکل‌های بزرگ نیز مناسب هست. با این نرم‌افزار می‌تواند مدل رفتاری سازه‌های خاکی، سنگی و یا سایر مواد را که دارای جریان پلاستیک در هنگام رسیدن به حد تسلیم هستند، شبیه‌سازی کرد. این مدل‌های رفتاری که از پیش تعریف‌شده می‌باشند، مدل‌های متنوعی را در برمی‌گیرند که شامل مدل تهی (فضای خالی) برای نمایش حفاری‌ها در شبکه، تا مدل‌های تسلیم برشی در و حجمی برای نمایش رفتار کرنش سختی و کرنش نرمی و نمایش گسیختگی برشی غیرقابل‌برگشت و غیرخطی است. برای آنالیز تنش‌ها و تغییر مکان‌ها، مواد را به‌صورت شبکه‌های دو بعدی که از المان‌های چند وجهی تشکیل‌شده است، تعریف می‌کنند.

این برنامه از قابلیت‌های زیادی برای تحلیل مسائل برخوردار است که عمده‌ترین کاربرد آن در مسائل ژئوتکنیک هست. با استفاده از این نرم‌افزار می‌تواند مسائل مربوط به سازه‌های زیرزمینی و سطحی مانند طراحی تونل‌ها، پی‌ها و شمع‌ها، شیروانی‌های معدنی و عمرانی و نیروگاه‌هایی که در اعماق زمین قرار دارند را مدل‌سازی کرد. علاوه بر این می‌تواند اندرکنش سازه‌هایی مانند پوشش تونل، پیچ سنگ‌ها (بولت‌ها)، قطعات تسلیم‌پذیر شمع‌های صفحه‌ای با سنگ یا خاک درون‌گیر را به کمک این نرم‌افزار شبیه‌سازی کرد و اثرات آن‌ها را بر روی پایداری سازه‌های زیرزمینی یا سطحی بررسی نمود.

در این نرم افزار چندین مدل رفتاری تعبیه شده است که امکان شبیه سازی رفتار غیرخطی مصالح را فراهم می کند. علاوه بر این ها، کاربر می‌تواند خود، مدل رفتاری دلخواه را در این نرم افزار تعریف کند.

مراحل حل مسئله در FLAC

مراحل حل در این نرم‌افزار به‌صورت زیر است:

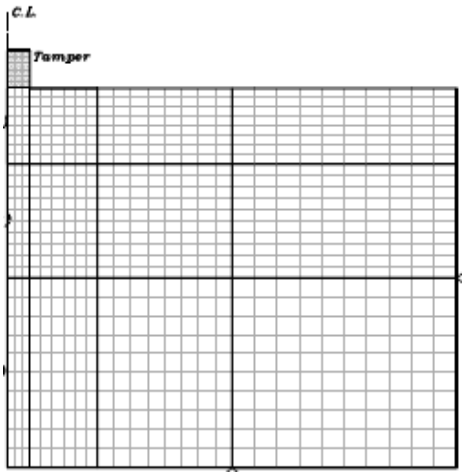
- ساخت مدل اولیه
- ساخت هندسه مدل
- انتخاب مدل رفتاری و تعیین خصوصیات ماده
- اعمال شرایط مرزی و اولیه
- حل و بررسی مدل ساخته‌شده و اصلاح آن در صورت نیاز
- تفسیر نتایج

اولین گام در اجرای یک مدل ساخت هندسه آن است. زون بندی در این نرم‌افزار همزمان با هندسه سازی انجام می‌گیرد تعیین چگالی المان بندی به عهده کاربر هست. همواره باید مطابق این اصول و قواعد حاکم بر این نرم‌افزار، یک شبکه‌بندی بهینه را پیشنهاد داد. برای این منظور چگالی زون بندی مدل باید توزیع مناسبی داشته باشد و مقادیر منطقی برای ابعاد زون‌ها تعیین شود تا بتوان مناسب‌ترین شبکه را برای مدل خاصی ساخت. بهینه بودن ابعاد زون‌ها تأثیربسزایی در زمان حل و دقت جواب‌های به‌دست‌آمده دارد.

www.SID.ir

Archive of SID

برای ساخت هندسه از دستور GEN با کلمات کلیدی متفاوت استفاده می‌شود. هندسه ساخته‌شده و شبکه‌بندی آن در شکل (۱) نشان داده‌شده است. به خاطر تقارن حاکم بر مسئله، می‌توان تنها نصف یا یک‌چهارم مدل را در نظر گرفت. این کار باعث افزایش سرعت تحلیل‌ها خواهد شد.



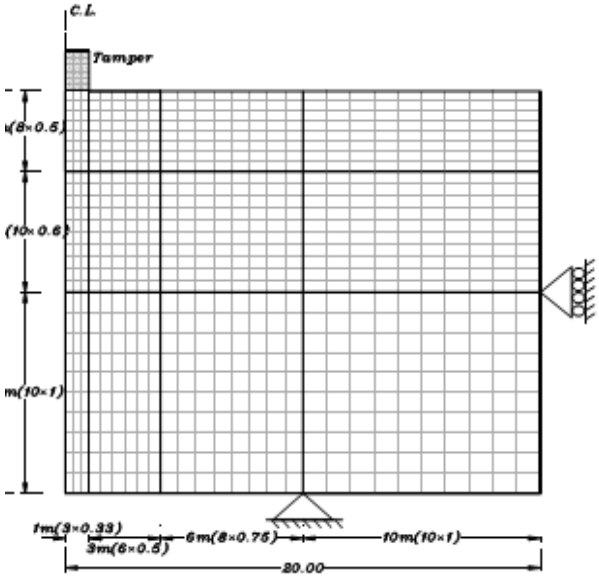
شکل (۱): هندسه مدل

گام دوم: انتخاب مدل ساختاری و تعیین خصوصیات ماده

پس از ساخت هندسه مدل، باید یک مدل رفتاری مناسب به ماده‌ی آن اختصاص یابد. مدل‌های رفتاری متفاوتی در این نرم‌افزار پیش‌بینی‌شده است. یکی از پرکاربردترین مدل‌های رفتاری در مسائل ژئوتکنیک و مکانیک سنگ، مدل موهر-کلمب است. در ادامه با استفاده از دستور PROPERTY خصوصیات مرتبط با مدل رفتاری از قبیل مدول حجمی، مدول برشی، چسبندگی و زاویه اصطکاک و ..... به زون‌های مدل اعمال می‌شود.

گام سوم: شرایط مرزی و اولیه

در این مرحله شرایط مرزی و اولیه در مدل اعمال‌شده و مدل برای رسیدن به تعادل اجرا می‌شود. مرزهای اطراف و پایین به‌صورت غلتکی ثابت در نظر گرفته می‌شوند و مرز فوقانی باید آزاد باشد تا مدل بتواند نشست کند شکل (۲)



شکل(۲): شرایط مرزی مدل

در مسائل دینامیکی علاوه بر آنچه در مورد شرایط مرزی در حالت استاتیکی گفته شد، بازتاب ارتعاشات در اثر برخورد با مرزهای مدل نیز مطرح می‌گردد. زیرا در طبیعت، محیط انتشار موج در اطراف فضاهای زیرزمینی، محیطی نامحدود است و موج در یک محیط بینهایت انتشار پیدا می‌کند.

شرط مرزی آرام (ویسکوز)

در نرم‌افزار FLAC- از مرزهای ویسکوز (جاذب) استفاده می شود. این روش مبتنی بر استفاده از میراگرهای مستقل در جهت‌های نرمال و برشی مرزهای مدل می‌باشد. جذب مؤثرتر انرژی (به‌ویژه در امواج رایلی) نیازمند استفاده از عناصر وابسته به فرکانس است که تنها در تحلیل‌های دامنه – فرکانس به کار می‌روند. این عناصر معمولاً مرزهای سازگار نامیده می‌شوند و شامل محاسبات ماتریس سختی دینامیک، با تمام درجات آزادی مرتبط با مرز است. شرایط مرزی آرام را می‌تواند برای جهات اصلی مختصات کلی و یا در طول مرزهای مورب اعمال کرد. برای اعمال مرز آرام در نرم‌افزار از دستور APPLY استفاده می‌شود. با استفاده از کلمات کلیدی که در ادامه بیان می‌شوند، می‌تواند شرایط مرزی ویسکوز را بر مدل حاکم کرد.

www.SID.ir

Archive of SID

اعمال شرایط مرزی ویسکوز د ر جهت شیب برای یک دستگاه محلی
اعمال شرایط مرزی ویسکوز در جهت قائم برای یک دستگاه محلی
اعمال شرایط مرزی ویسکوز در جهت امتداد شیب برای یک دستگاه محلی
مرزهای میدان آزاد
تحلیل‌های عددی از پاسخ لرزه‌ای سازه‌های سطحی نظیر سدها نیازمند مجزا کردن ناحیه‌ای از مصالح مجاور فونداسیون است. امواج ورودی زلزله به‌طورمعمول به‌وسیله امواج صفحه‌ای که در مصالح زیرین به سمت بالا منتشر می‌شوند، ارائه می‌شود. شرایط مرزی در اطراف مدل برای حرکت میدان آزاد، در شرایط عدم حضور سازه، باید به‌حساب آورده شوند. در بعضی موارد مرزهای جانبی اولیه، ممکن است کافی باشد. این مرزها باید در فواصل مناسب قرار گیرند تا انعکاس امواج کمینه شود و شرایط میدان آزاد، برقرار شود. برای خاک‌ها با میرایی زیاد مصالح، شرایط فوق می‌تواند با یک‌فاصله نسبی کوچک به دست آید.

درصورتی‌که میرایی مصالح کم باشد، فاصله موردنیاز ممکن است منجر به ایجاد یک مدل غیرعملی شود. مرزهای جانبی شبکه اصلی با شبکه میدان آزاد به وسیله میراگرهای ویسکوز به منظور شبیه‌سازی مرز جاذب جفت می‌شود و نیروی نامتعادل شبکه میدان آزاد به مرزهای شبکه اصلی اعمال می‌شود. به همین دلیل شبکه میدان آزاد شرایطی همانند شرایط موجود در مدل نامحدود ایجاد می‌نماید، انتشار امواج صفحه‌ای به سمت بالا هیچ‌گونه اعوجاجی را در مرز اجازه نمی‌دهد. اگر شبه اصلی یکنواخت باشد و هیچ‌گونه سازه سطحی وجود نداشته باشد، چون شبکه میدان آزاد حرکت یکسانی همانند مدل اصلی انجام می‌دهد میراگرهای جانبی به کار نمی‌روند. به‌هرحال اگر حرکت مدل اصلی با حرکت میدان آزاد متفاوت باشد (براثر تشعشع امواج ثانویه به‌وسیله سازه سطحی)، در این حالت میراگرها برای جذب انرژِی در رفتاری مشابه مرزهای جاذب عمل می‌نمایند. استفاده از مرزهای آزاد سرعت محاسبات را به‌شدت کاهش می‌دهد.

گام چهارم: بررسی تعادل مدل
به‌منظور بررسی وضعیت تعادل مدل عددی می‌توان از شاخص‌هایی مانند نیروهای نامتعادل و سرعت گره‌ها و همچنین جابجایی مدل استفاده کرد. نیروهای نامتعادل مدل ساخته‌شده بعد از گام زمانی مشخصی به صفر میل کرده و مدل به‌درستی به تعادل رسیده است.

گام پنجم: اعمال عملیات اجرایی
در این مرحله با توجه به نوع مسئله تعریف‌شده، تغییرات لازم به مدل اعمال می‌شود.

مدل سازی ضربه و تعیین زمان تحلیل دینامیکی

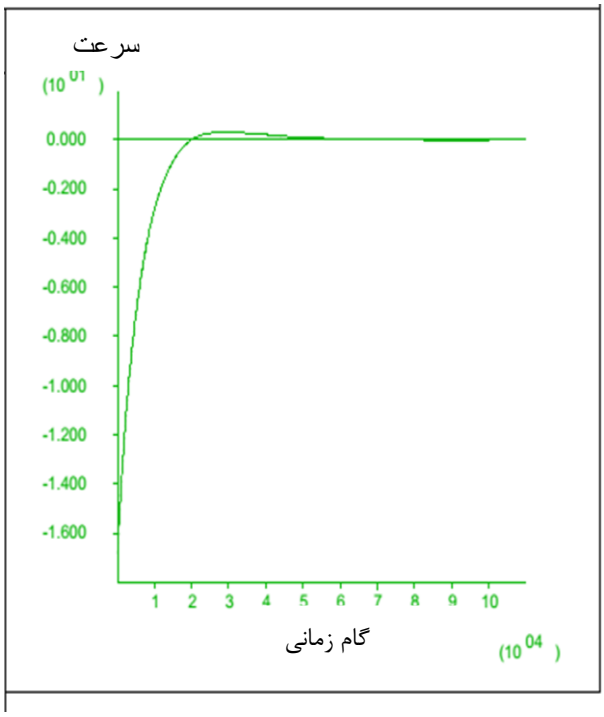
دقیق ترین پروسه برای مدل سازی ، استفاده از فرمولاسیون تماس بین دو یا چند جسم در حال حرکت است .در این جا برای سادگی، از روش جسم صلب برای مدل سازی ضربه استفاده می شود؛ به این معنا که ورودی برنامه سرعت اولیه گروههای کوبه است که از معادله سقوط آزاد محاسبه می شود. بعد از تماس کوبه با سطح زمین ، شتاب کوبه به سرعت کاهش می‌یابد تا زمانی که وزنه می ایستد و به سمت بالا حرکت می‌کند. این باعث می شود که شتاب کوبه تغییر علامت دهد و در نتیجه المان های وزنه، المان های خاک را به سمت بالا بکشد و در آن‌ها تنش کششی ایجاد شود.

برای جلوگیری از وقوع این کشش غیرواقعی در خاک، ابتدا آنالیز در مدت زمانی طولانی‌تر انجام می‌شود. سپس با بررسی نمودار تغییرات سرعت المان های کوبه با زمان، مشاهده می‌شود سرعت پس از مدتی صفر و سپس منفی می‌شود. به این ترتیب مدت زمان صفر شدن سرعت به عنوان زمان تحلیل انتخاب می‌شود.

www.SID.ir

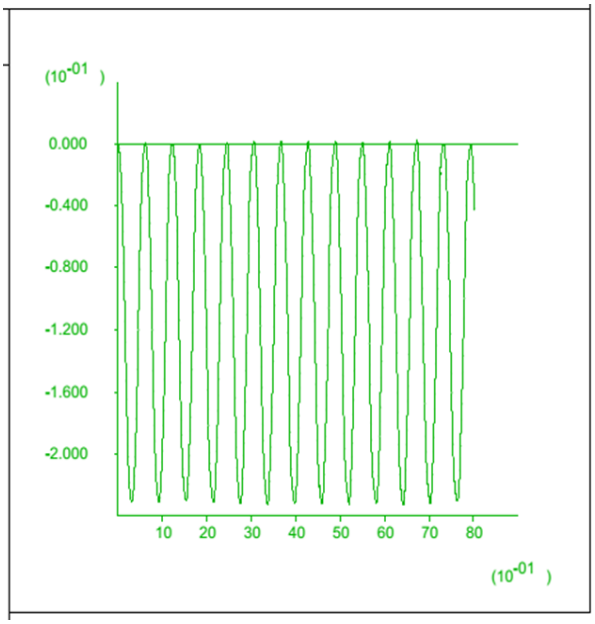
Archive of SID

در این تحقیق مدت زمان تحلیل هر ضربه ۰,۲ ثانیه در نظر گرفته شده است. شکل (۳) تاریخچه سرعت کوبه را نشان می‌دهد.



شکل(۳): تاریخچه سرعت کوبه با زمان

جهت در نظر گرفتن میرایی در این تحلیل از مدل میرایی رایلی استفاده‌شده است. مطالعات داوینگ نشان داد که برخلاف بار ضربه ناشی از انفجار که باعث ایجاد ارتعاش با فرکانس‌های بالا می‌شود، ضربه ناشی از سقوط کوبه ارتعاشی با فرکانس بین ۶ هرتز تا ۳۰ هرتز ایجاد می‌کند. در این تحقیق برای محاسبه مقدار فرکانس طبیعی از روش پیشنهادی توسط نرم‌افزار استفاده‌شده است. شکل (۴) تغییرات تغییر شکل قائم بالاترین نقطه از مدل را تحت اثر نیروی وزن نشان می‌دهد. در این تحقیق مقدار میرایی ۵ درصد و فرکانس ۱۰ هرتز فرض شده است.



شکل(۴): تغییرات تغییر مکان قائم بالاترین نقطه از مدل تحت اثر نیروی وزن سیستم

همچنین مشخصات تحلیل دینامیکی مطابق جدول (۱) فرض شده است.

جدول (۱): مشخصات تحلیل دینامیکی

پارامتر	توضیحات	مقدار در تحلیل عددی
t(s)	زمان تحلیل برای هر ضربه	۰/۲
$\Delta t(s)$	گام زمانی تحلیل	۰/۰۰۰۰۰۱
f, §	ضرایب میرایی رایلی	۱۰و ۰/۰۵

مدل رفتاری استفاده شده در تحقیق حاضر

در نرم افزار FLAC- به روش‌های مختلفی می‌توان مدل رفتاری را به زون‌های مورد نظر اعمال کرد. روش استاندارد، به کارگیری مدل‌های از پیش تعریف شده با دستور MODEL است. گاهی اوقات لازم است که مدل رفتاری موجود برای وابسته ساختن خصوصیات ماده به سایر پارامترهای مدل، تصحیح شود. با سه روشی که در ادامه بیان می‌شود می‌توان این کار انجام داد:

۱- تغییر خصوصیات مدل موجود با استفاده از تابع FISH به ازای هر چند تعداد گام محاسباتی

www.SID.ir

Archive of SID

۲- تغییر خصوصیات در تابع مدل تعریف شده توسط کاربر در هر گام، به وسیله رجوع به رابطه.

۳- تغییر خصوصیات با استفاده از جدول‌های ارجاع (با دستور TABLE). به عنوان نمونه خصوصیات مقاومتی به عنوان تابعی از کرنش پلاستیک، برای مدل‌های Strain-softening و double-yield اصلاح می‌شود.

روش آخر، مناسب‌ترین شیوه برای تغییر خصوصیات در یک مدل FLAC- است و روش اول، کمترین کارایی را دارد.در تحقیق حاضر از مدل موهر – کلمب استفاده شده است. این مدل رایجی برای نشان دادن گسیختگی برشی در خاک و سنگ است. در این مدل، تنش تسلیم تابع تنش‌های اصلی ماکزیمم و مینیمم است. پارامترهای لازم برای این مدل چسبندگی و زاویه اصطکاک است که با آزمایش‌های نسبتاً ساده‌ای به دست می‌آیند.

مشخصات خاک منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه اراضی شهرستان آبادان استان خوزستان می‌باشد. دشت خوزستان، بخشی از دشت وسیع بین‌النهرین است، که از دید زمین‌شناسی، خود قسمتی از صفحه عربستان محسوب می‌شود. این بخش از صفحهی عربستان، در حاشیه شمال شرقی سپر عربستان – آفریقا واقع بوده و تحت اثر کوهزایی کاتانگائی (۶۰۰- ۱۰۰ میلیون سال پیش) پدیده‌هایی از قبیل چین‌خوردگی، شکستگی و ماگماتیسم را طی کرده و بدین ترتیب پی سنگ پرکامبرین و عربستان را به‌صورت پلتفرمی نسبتاً پایدار ایجاد می‌نماید. پس از فاز کوهزایی یادشده، دریای کم‌عمقی، سرتاسر پلتفرم را می‌پوشاند که اغلب رسوبات ته‌نشین شده، از نوع تخریبی و در پاره‌ای موارد تبخیری بوده و این شرایط رسوب‌گذاری، با تغییرات مختصری تا اواخر پالوزوئیک ادامه می‌یابد. رسوبات جدیدتر منطقه اغلب از نوع رودخانه‌ای آبی بوده و به‌طور وسیعی تشکیلات زمین‌شناسی قدیمی را می‌پوشاند. رسوبات اخیر، تقریباً در تمام نواحی با رخساره یکنواختی، رخنمون داشته و ازاین‌رو شناسایی مرز مشخصی برای دشت خوزستان و منطقه چین‌خورده زاگرس را پیچیده می‌سازد. به‌منظور شناسایی لایه‌های خاک و بررسی خصوصیات ژئوتکنیکی آن‌ها، عملیات صحرایی شامل سه گمانه ماشینی، جمعاً به عمق ۶۰ متر بوده است. حفاری توسط دستگاه دورانی XY2B و نمونه‌گیری، به‌صورت مغزه گیری ممتد (Continuos Coring) انجام‌شده است. در حین حفاری، ثبت تغییرات لایه‌های خاک، اخذ نمونه دست‌خورده و دست‌نخورده، آزمایش نفوذ استاندارد (Standard penetration test) و تعیین تراز آب زیرزمینی، انجام‌شده است. نمونه‌های دست‌خورده، توسط نمونه‌گیر دوکفه‌ای و نمونه‌های دست‌نخورده، توسط نمونه‌گیر شلبی در اعماق مختلف گرفته‌شده است. منظور از نمونه‌ی دست‌نخورده، نمونه‌های دست‌نخورده‌ی شلبی می‌باشد.

جدول (۲): مشخصات گمانه ها

پارامتر	مقدار
مدول بالک K	۴۱۶۰۰۰۰
مدول برشی G	۴۳۱۰۰۰
زاویه اصطکاک	۲۷
دانسیته P	۱۹۰۰
چسبندگی C	۲۵۰۰

ارزیابی صحت نتایج مدل عددی

مدل‌سازی دقیق پروسه تراکم دینامیکی در خاک‌ها وابسته به تعیین پارامترهای گوناگون از قبیل پارامترهای تحلیل دینامیکی، پارامترهای مدل رفتاری خاک و پارامترهای محاسباتی است. ازآنجاکه فرضیات موجود در بسیاری از موارد شبیه عملیات تراکم دینامیکی در مناطق پتروشیمی عسلویه است. بنابراین بررسی صحت مدل با عملیات تراکم دینامیکی در این منطقه انجام می‌شود. با توجه به نتایج آزمایش‌های انجام‌شده در منطقه عسلویه، پارامترهای مصالح ریخته شده به‌صورت زیر فرض شده است. وزن کوبه ۱۸ تن و ارتفاع سقوط ۱۵ متر است.

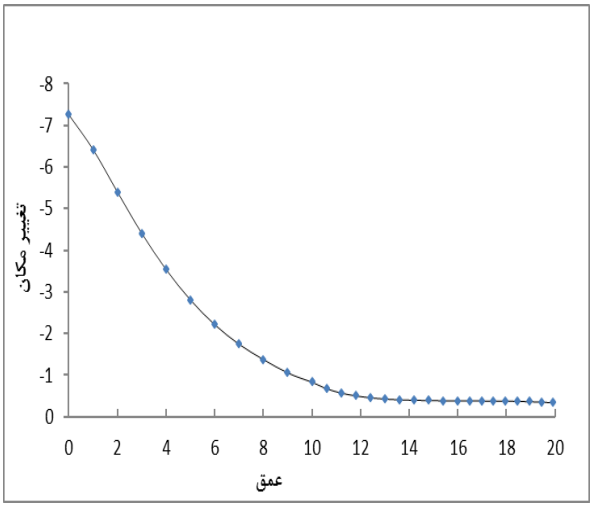
www.SID.ir

Archive of SID

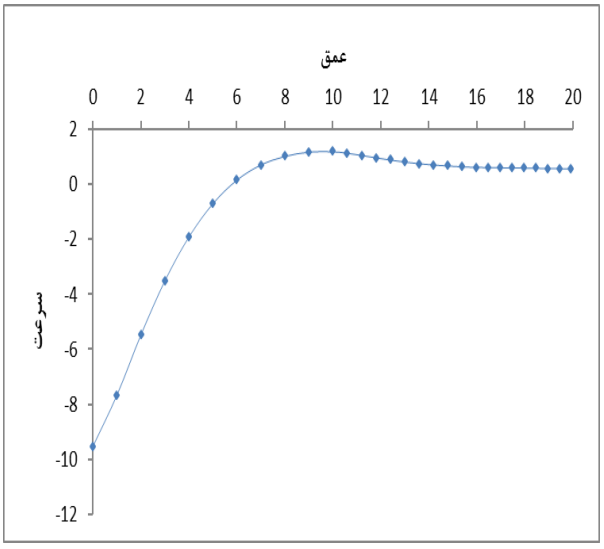
جدول (۳): مشخصات خاک و کوبه

شرح	مدول الاستیسیته (kg/cm2)	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)	ضریب پواسون
عمق ۰ تا ۵ متر	۴۸۰	۳۲	۰/۲۵ – ۰/۳
عمق ۵ تا ۱۰ متر	۲۴۰	۳۰	۰/۲۵ – ۰/۳
کوبه	۲۱۵۰۰۰		۰/۱۵

برای تعیین ابعاد مدل، اندازه المان‌ها، مدت‌زمان تحلیل و ضرایب میرایی تحلیل‌هایی با استفاده از نرم‌افزار FLAC انجام شد و نتایج تحلیل و بررسی شد. با فرض سطح مقطع دایره‌ای برای کوبه و با استفاده از خاصیت تقارن محوری، نصف سیستم کوبه و خاک به‌صورت دوبعدی مدل شده است. نتایج مدلی با ابعاد یکنواخت نسبت به مدلی که در آن اندازه المان‌ها بافاصله گرفتن از منبع موج به‌صورت تدریجی افزایش یابد، از دقت کمتری برخوردار است. لذا در مدل‌سازی عددی تراکم دینامیکی، می‌بایست با دور شدن از کوبه، اندازه المان‌ها به‌تدریج افزایش یابند. این شبکه در پایین در هر دو جهت مقید بوده ولی در سمت راست شبکه و در محور تقارن فقط اجازه تغییر مکان افقی داده نشده است. مدل رفتاری خاک، مدل پلاستیک در نظر گرفته‌شده است. جهت تعیین ابعاد مناسب مدل، با در نظر گرفتن حداکثر انرژی که در این تحقیق توسط کوبه به خاک اعمال می‌شود، مدل‌هایی با ابعاد مختلف تحلیل‌شده و با مقایسه نمودارهای تغییرات سرعت و تغییر مکان ابعاد مناسب مدل تعیین‌شده است. شکل‌های (۵) تا (۶) حداکثر تغییرات سرعت و تغییر مکان را در راستای افق و قائم نشان می‌دهند. همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود مقادیر سرعت و تغییر مکان در مرزهای مدل برابر صفر می‌باشد. لذا محدودیت ابعاد مدل باعث تغییر نتایج مدل نمی‌شود.



شکل (۵): تغییرات تغییر مکان قائم در عمق زیر کوبه (W=20 TON, H=15)



شکل (۶): تغییرات سرعت در عمق زیر کوبه (W=20 TON, H=15)

جدول (۴) نتایج محاسبه‌شده برای عمق چاله در سه ضربه را در کنار نتایج اندازه‌گیری شده در سایت برای چند نقطه کوبش را نشان می‌دهد. مشاهده می‌گردد که نتایج محاسباتی تطابق خوبی با مقادیر اندازه‌گیری شده در منطقه دارد. قابل‌ذکر است که پن و سلبی در مطالعات خود ابراز کرده‌اند که در مورد عمق چاله نتایج حاصل از تحقیق مقادیر کمتری نسبت به مشاهدات در عمل نشان داده است. لذا می‌توان افزایش مقادیر عمق چاله را در مدل حاضر مطلوب دانست. هرچند به نظر می‌رسد با دقیق کردن مقدار پارامترهای خاک در مدل رفتاری و همچنین

www.SID.ir

Archive of SID

اصلاح پارامترهای الاستیک خاک پس از هر ضربه بتوان نتایج مدل‌سازی عددی را به مقادیر واقعی نزدیک‌تر کرد.

جدول (۴): مقایسه نتایج محاسبه‌شده عمق چاله توسط FLAC با نتایج اندازه‌گیری شده در محل(سانتی‌متر)

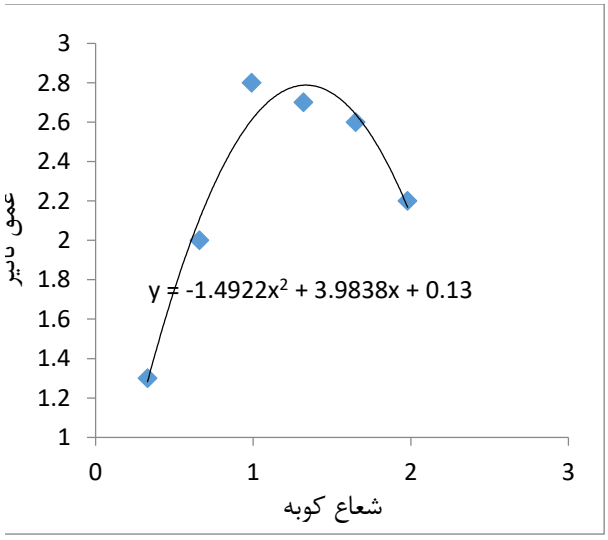
	سایت۱	سایت ۲	سایت ۳	سایت ۴	FLAC
نتایج در محل ضربه اول	۱۰۵	۱۶۰	۱۶۵	۱۵۰	۱۵۵
نتایج در محل ضربه دوم	۲۲۵	۲۲۵	۲۷۵	۲۴۵	۲۶۰
نتایج در محل ضربه سوم	۳۱۵	۲۷۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۵

۳. نتایج

همانگونه که بیان گردید هدف از تحقیق حاضر بررسی تأثیر پارامترهای شعاع کوبه و تعداد ضربه بر مشخصات مکانیکی خاک با استفاده از روش تراکم دینامیکی می‌باشد. مطابق اهداف در نظر گرفته شده برای تحقیق اقدام به انجام آزمایش‌های میدانی جهت شناسایی خصوصیات خاک گردید سپس با استفاده از مدل دو بعدی Flac مدلسازی عددی تحقیق صورت پذیرفت. در این بخش نتایج حاصل تحقیق بیان می‌گردد.

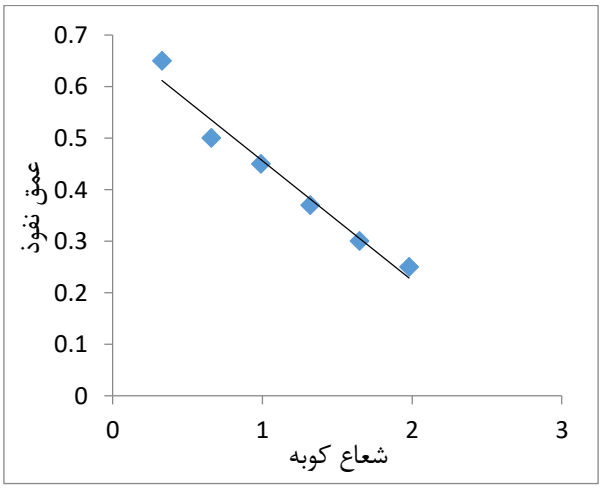
تأثیرات شعاع کوبه بر عمق بهبود

شکل (۷) تغییر شکل المان‌ها بعد از اعمال ضربه با کوبه‌هایی به شعاع‌های متغیر را نشان می‌دهد. انرژی در این حالت ۱۰۰ تن متر است که با پرتاب یک کوبه ۱۰ تنی از ارتفاع سقوط ۱۰ متر اعمال می‌شود.



شکل(۷): تأثیر شعاع کوبه بر عمق بهبود

شکل (۸) مقادیر عمق چاله به وجود آمده در اثر ضربه را برحسب شعاع‌های مختلف کوبه نمایش می‌دهد. مطابق این شکل شعاع‌های خیلی کوچک باعث وقوع پانچینگ در ستون خاک خواهند شد. کوبه با شعاع کوچک، محصورشدگی ستون خاک زیر محل برخورد را چندان زیاد نمی‌کند و بنابراین عمق بهبود کمی حاصل می‌شود. برعکس با انتخاب شعاع خیلی بزرگ سطح تماس کوبه و خاک زیاد می‌شود و درنتیجه تنش‌های تماسی و عمق بهبود کمی حاصل می‌شود.



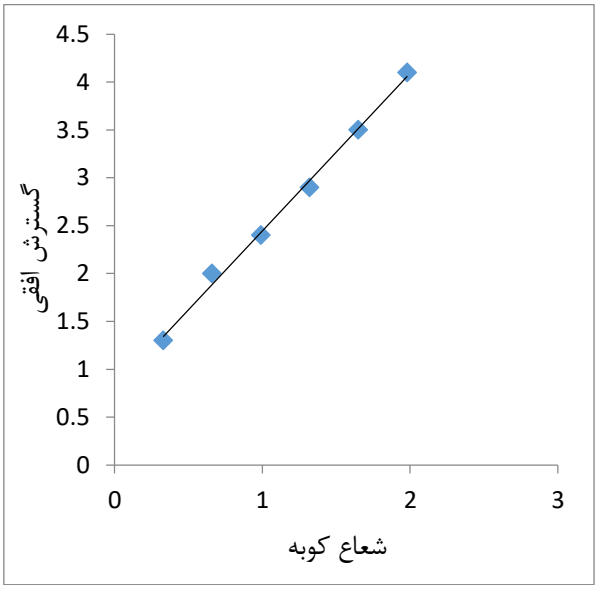
شکل (۸): تغییرات عمق چاله با شعاع کوبه

شکل (۹) گسترش افقی ناحیه بهبود با افزایش شعاع کوبه نشان می‌دهد. مطابق این شکل گسترش ناحیه بهبود با افزایش شعاع رابطه مستقیمی دارد. در

www.SID.ir

Archive of SID

طراحی عملیات تراکم دینامیکی می‌توان با انجام تحلیلی مشابه و با داشتن رابطه بین شعاع کوبه و گسترش افقی ناحیه بهبود ، فاصله مناسب نقاط کوبش را تعیین نمود.



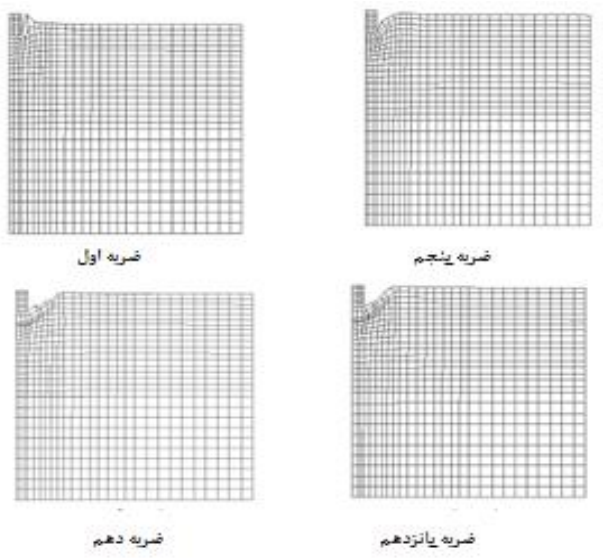
شکل(۹): گسترش افقی ناحیه متراکم شده برحسب شعاع کوبه

با توجه به نتایج بدست آمده انتظار می‌رود در اثر تأثیر تراکم بر روی عمق بهبهود پارامترهایی نظیر چگالی نسبی، سختی خاک و ظرفیت باربری خاک اصلاح شوند که این سه پارامتر به صورت ویژه در پایداری سازه‌های ساحلی و دریایی پس از احداث، حائز اهمیت می‌باشند.

بررسی تأثیر تعداد ضربه بر تغییر شکل افقی

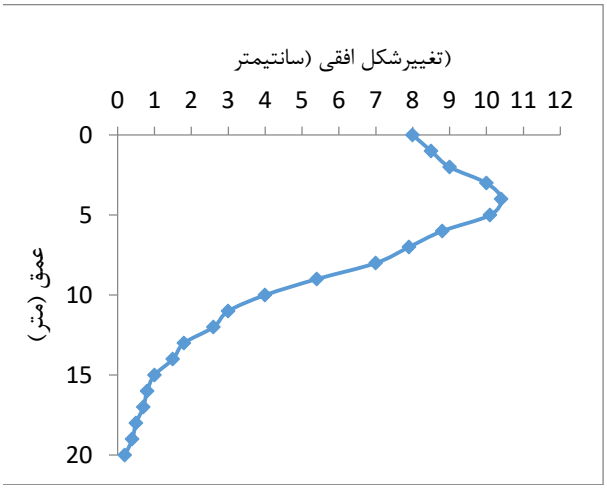
به‌منظور بررسی تأثیر ضربات متوالی بر عوامل مؤثر در تراکم خاک، در این بخش تحلیل‌هایی انجام‌شده است. انرژی در این حالت ۱۰۰ تن متر است که با پرتاب یک کوبه ۱۰ تنی از ارتفاع سقوط ۱۰ متر اعمال می‌شود. و عمق تأثیر در اینجا، عمقی از ستون خاک است که افزایش تراکم نسبی خاک پایین‌تر از آن از کمتر از ۵ در صد باشد. در این آنالیزها شعاع وزنه یک متر است.

شکل (۱۰) نمایش تغییر شکل المان‌ها بعد از اعمال ضربات متوالی را نشان می‌دهد. پس از اعمال هر ضربه، با توجه به ایجاد تغییر شکل‌های بزرگ در محل برخورد کوبه،بایستی تغییراتی در مدل ایجاد کرد. این تغییرات شامل حذف یا اضافه کردن المان‌ها، اصلاح مختصات گره‌ها و غیره می‌باشد.



شکل (۱۰): نمایش تغییر شکل المان‌ها بعد از اعمال ضربات متوالی

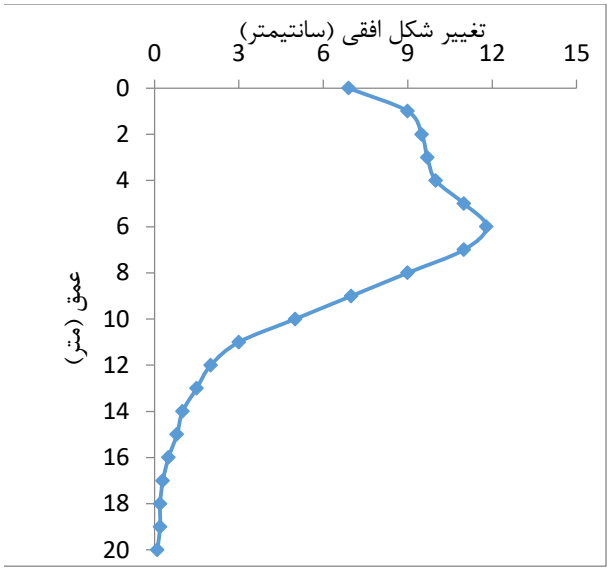
با بررسی نمودار تغییر شکل افقی در عمق، پس از هر ضربه، تعداد ضربه ای که منجر به ایجاد بیشینه‌ی تغییر شکل افقی در عمق مورد نظر می‌شود، به عنوان تعداد ضربه بهینه انتخاب می‌شود. توزیع تغییر مکان افقی در عمق در پایان هر مرحله در شکل (۱۱) تا (۱۳) ارائه شده است.



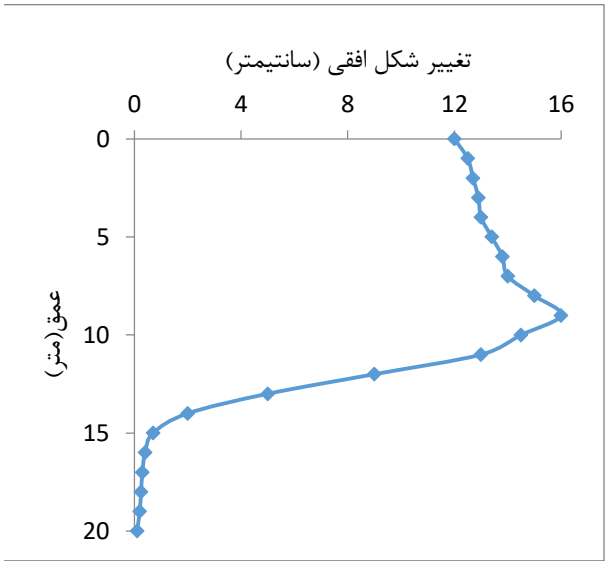
شکل(۱۱): تغییر شکل افقی در عمق (w=15 , h= 15)

www.SID.ir

Archive of SID

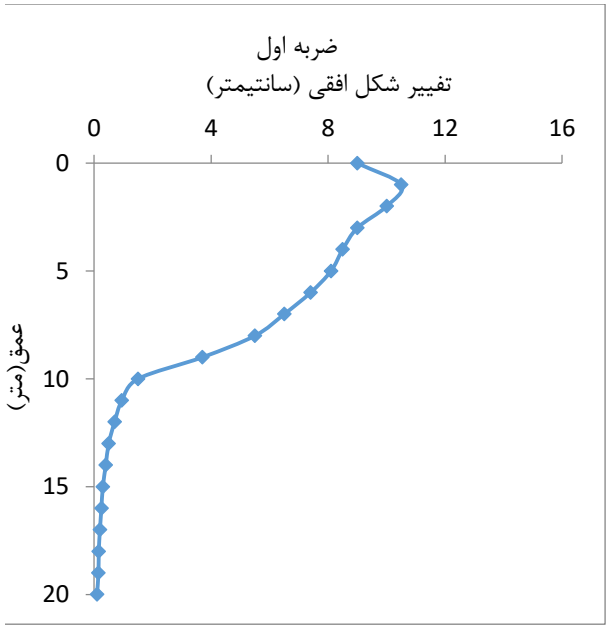


شکل(۱۲): تغییر شکل افقی در عمق(w=20 , h= 20)

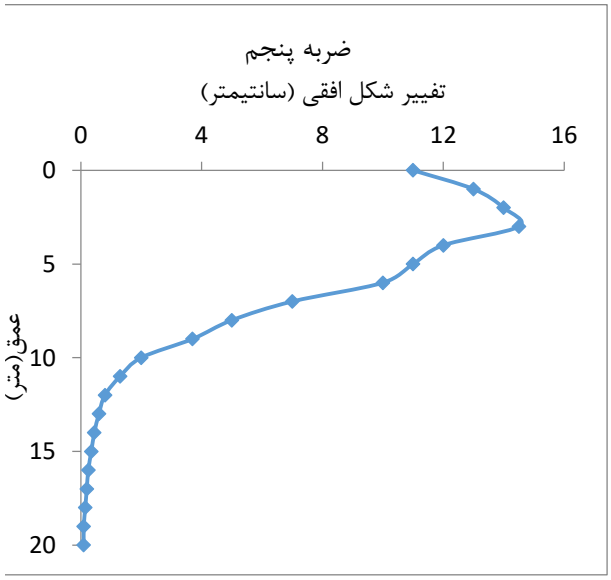


شکل(۱۳): تغییر شکل افقی در عمق (w=30 , h= 30)

شکل(۱۴) تا (۱۷) توزیع تغییرمکان های افقی در عمق، در ضربات اول، پنجم، دهم و پانزدهم را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، در این تحلیل بیشینه افقی تغییر شکل افقی در عمق مورد نظر در ضربه پانزدهم به دست آمده است.



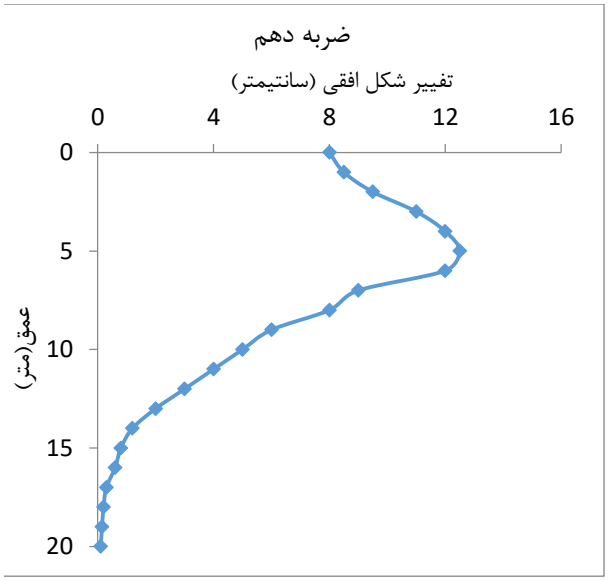
شکل (۱۴): توزیع تغییرمکان افقی ناشی از ضربه اول



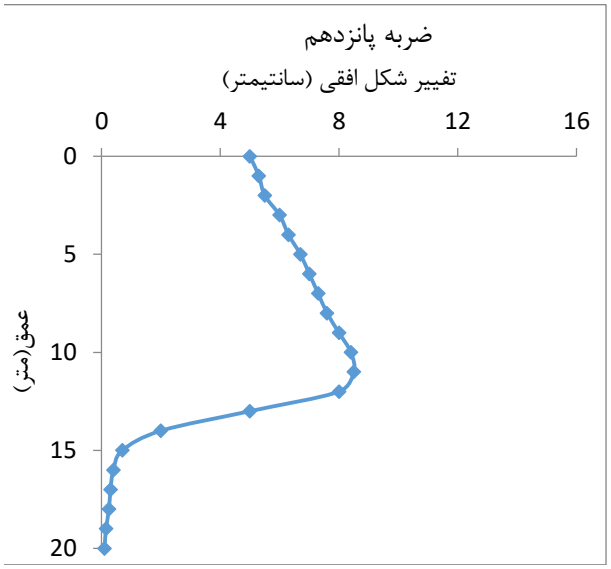
شکل (۱۵): توزیع تغییرمکان افقی ناشی از ضربه پنجم

www.SID.ir

Archive of SID



شکل (۱۶): توزیع تغییرمکان افقی ناشی از ضربه دهم



شکل (۱۷): توزیع تغییرمکان افقی ناشی از ضربه پانزدهم

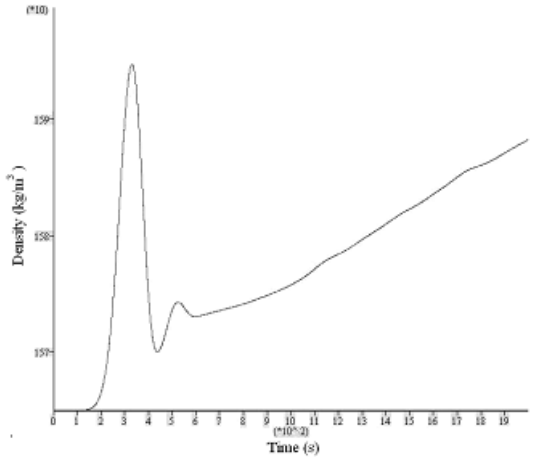
از آنجا که بیشینه اصلاح خاک در ۱/۲ تا ۱/۳ عمق تاثیر تراکم دینامیکی حاصل می‌شود. باید با اعمال ضربات بیشتر، میزان انرژی کافی برای رسیدن به وزن مخصوص کمینه ی موردنظر در تمام سطح عمق مورد نظر را به خاک اعمال نمود. همانگونه که بیان گردید یکی از اهداف با اهمیت در تراکم دینامیکی خاک افزایش عمق بهبود خاک می باشد. برخی از محققان نشان داده اند که عمق اصلاح D به طور مستقیم به انرژی کاربردی بستگی دارد، به این معنی که هرگاه انرژی کاربردی افزایش یابد، عمق اصلاح افزایش می‌یابد یا نشست زمین بواسطه تراکم افزایش می‌یابد.

بررسی تأثیر تعداد ضربه بر جرم مخصوص خاک

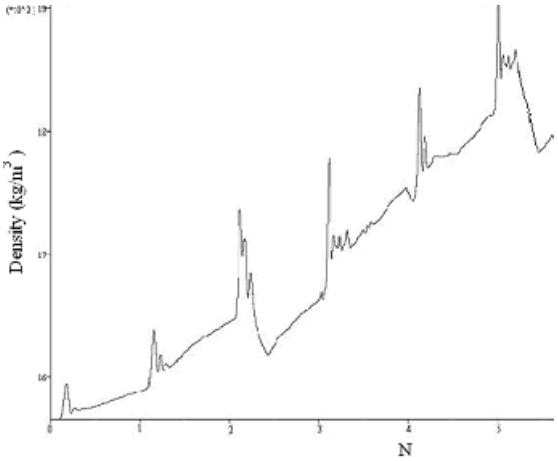
شکل (۱۸) و (۱۹) تغییرات دانسیته و شکل (۲۰) کنتورهای نسبی در ضربات متوالی کوبه را در عمق بهبود نشان می‌دهند. با بررسی تغییرات دانسیته در عمق بهبود، در ضربات متوالی می‌توان تعداد ضربات لازم برای رسیدن به تراکم نسبی موردنیاز را تعیین کرد و عملیات کوبش را به محض رسیدن به بهبود موردنظر در لایه خاک خاتمه داد.

(۱)

$$D_r = \frac{\rho_{d\max}}{\rho_d} \times \frac{\rho_d - \rho_{d\min}}{\rho_{d\max} - \rho_{d\min}}$$



شکل (۱۸): تغییرات دانسیته در عمق بهبود در ضربه اول



شکل (۱۹): تغییرات دانسیته در عمق بهبود در ضربات متوالی

www.SID.ir

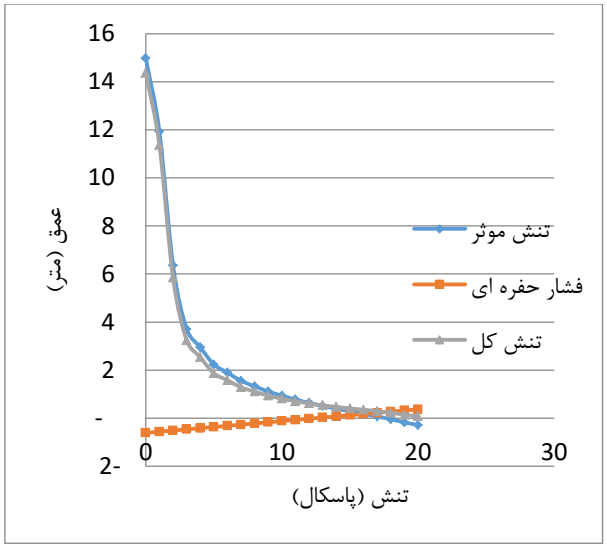
Archive of SID

شکل (۲۰): کنتورهای افزایش دانسیته نسبی

همان‌طور که مشاهده می‌شود. در این عمق دانسیته خاک با افزایش تعداد ضربات افزایش‌می‌یابد. مقادیر دانسیته نسبی با استفاده از رابطه ۴-۱ به ترتیب پس از ضربه اول ۵۰٪ و در ضربات بعدی به ترتیب ۵۵٪، ۶۵٪، ۷۵٪، ۹۰٪ به دست می‌آید. لذا درصورتی‌که هدف رسیدن به تراکم ۷۵٪ باشد اعمال ۴ ضربه به نظر مطلوب می‌باشد.

بررسی تغییرات تنش مؤثر، تنش کل و فشار حفره‌ای

در شکل (۲۱) نمودار تغییرات تنش موثر، تنش کل و فشار
حفره ای در اعماق مختلف نشان داده شده است.



شکل (۲۱): نمودار تغییرات تنش مؤثر، تنش کل و فشار حفره‌ای با عمق

بررسی نتایج نشان می‌دهد که تنش مؤثر در خاک تحت تراکم دینامیکی با افزایش عمق کاهش می‌یابد. علت موضوع را می‌توان در متراکم بودن لایه‌های بالایی خاک و درنتیجه تحمل بالاتر بار توسط آن‌ها در لایه‌های متراکم فوقانی دانست که باعث افزایش تنش مؤثر در لایه‌های فوقانی و کاهش آن با افزایش عمق می‌گردد. همان طور که از این شکل مشخص است، به علت مکش در لایه‌های سطحی میزان فشار آب حفره‌ای منفی است که با افزایش عمق مکش کاهش یافته و در نهایت از بین رفته است.

جایی که خاک زیرین در معرض روش منارد قرار گرفته است، لازم است عمق بهبود برآورد گردد. توجیه آن استفاده از روند ضربه‌ای برای نیل به متراکم‌سازی معنادار تا عمق‌هایی بیشتر از آنچه به طور معمول می‌توان با تجهیزات تراکم سنتی یا تجهیزات با بار سنگین، هم استاتیکی و هم ارتعاشی به آن رسید، می‌باشد. گزارش شده که حداکثر عمقی را که می‌توان با روش‌های تراکم سنتی اصلاح کرد ۰٫۶m می‌باشد، اما عمق اصلاح توسط تراکم دینامیکی بسیار بیشتر از عمق اصلاح بوسیله‌ی روش‌های تراکم سنتی است. نتایج حاصل از تحقیق حاضر نیز افزایش عمق بهبود خاک و در نتیجه کلیه

www.SID.ir

Archive of SID

پارامترهای مکانیکی خاک را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد.

۴. بحث و نتیجه گیری

همانگونه که بیان گردید هدف از تحقیق حاضر، مدلسازی عددی تراکم دینامیکی خاک با استفاده از نرم افزار دو بعدی FLAC بوده است. مطابق اهداف در نظر گرفته شده برای تحقیق منطقه آبادان به عنوان محدوده مورد مطالعه انتخاب و پس از آزمایش‌های میدانی و استخراج پارامترهای خاک با در نظر گرفتن الگوهایی اقدام به مدلسازی گردید. در این بخش حلاصه ای از نتایج به دست آمده ارائه گردیده است.

- حداکثر تغییر شکل خاک در محل ضربه کوبه مشاهده شد، این میزان در عمق خاک کاهش یافت.
- با توجه به توزیع تنش کل در خاک عمق تأثیر در خاک تخمین زده شد. نتایج ۹ مدل به صورت نمودارهای مقایسه‌ای و جداولی ترسیم شد. این نتایج نشان داد که افزایش وزن کوبه در ابتدا باعث افزایش عمده عمق تأثیر و با افزایش وزن کوبه به مقادیر بالاتر باعث افزایش جزئی آن می‌گردد.
- با تفاضل تغییرات فشار حفره‌ای از تنش کل، تغییرات تنش مؤثر در عمق خاک به دست آمد و نشان داد که این تغییرات در عمق خاک کاهش می‌یابد.
- مقایسه نمودارها نشان داد که تنش مؤثر در خاک تحت تراکم دینامیکی با افزایش عمق کاهش می‌یابد. علت موضوع را می‌توان در متراکم بودن لایه‌های بالایی خاک و در نتیجه تحمل بالاتر بار توسط آنها در لایه‌های متراکم فوقانی دانست که باعث افزایش تنش مؤثر در لایه‌های فوقانی و کاهش آن با حرکت به سمت عمق خاک می‌گردد.

قدردانی

در پایان نویسندگان از دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر به جهت امکان استفاده از شرایط آزمایشگاهی کمال قدردانی را دارد.

منابع

Al-Layla, M. T., & Al-Saffar, Q. N. 2014. Improving The Engineering Properties of The Gypseous Soil Using Dynamic Compaction Method. Al-Rafidain Engineering Journal, 22(2).

Chow,Y.K., Yong, D. M., Yong, K. Y., Lee, S. L.1990. Monitoring of dynamic compaction by deceleration measurements", Computers and Geotechnics, Vol.90, No.3, 1990, PP.189-209.

FLAC's Manual. Itasca Consulting Group, Inc. Thresher Square East, 708 South Third Street, Suite 310, Minneapolis, Minnesota 55415 USA.

Gu, Q., Lee, F.H. 2002. Ground response to dynamiccompaction of dry sand. Geotechnique, Vol 52, No7,481-493.

Hamidi, B., Nikraz, H., & Varaksin, S. 2010. Correlations between CPT and PMT at a Dynamic Compaction Project. In Proceedings of 2nd International Symposium on Cone Penetration Testing, U.S.A.

Hamidi, B., Varaksin, S. & Nikraz, H.2010. Predicting Soil Parameters by Modelling Dynamic Compaction Induced Subsidence', 6th Australasian Congress on Applied Mechanics (ACAM6), Perth, Australia, 12-15 December, paper 1150.

Pan, J.L., Selby, A.R. 2002. Simulation of dynamic compaction of loose granular soils. Advances in Engineering Software 33, 631-640.

Poran,C.J., Rodriguez,J.A. 1992. Finite Element Analysis of Impact Behavior of Sand. Soils and Foundations, Vol 23, No 4, 68-80.

www.SID.ir

Archive of SID

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

Ehsan Kamalpour[1], Morteza Bakhtiari[*1], Javad Ahadiyan[2]

1. Marine Engineering Faculty, Khorramshahr University of Marine Science and Technology
2. Shahid Chamran university of ahvaz

(DOI): 10.22113/jmst.2018.100314.2060

Abstract*:*

There is a different method for increasing the resistance and quality of engineering of soils, one of the most suitable ones is dynamic compaction. In this method, weights are released from the specified height and, as a result of collision with the ground, the soil will be compacted. In this research, field experiments were initially initiated. Then using the results obtained in this section, the soil dynamic compaction was modeled. In order to do the modeling, the present study was conducted using FLAC two-dimensional software. Due to the implementation of various designs in the city of Abadan, the area was selected as the site of the project After field experiments, mechanical properties of the soil were extracted and then modeled with the definition of test patterns. The result of this research show that For all conditions of modeling, the maximum deformation of soil was observed in the hammer Cutoff area, which decreased in depth of soil. Also, the results indicate that effective stress in soil under dynamic density decreases with increasing depth.

KEY WORDS: Dynamic compaction, radius of hammer, Flac software, soil improvement

List of tables & figures

Figure 1. The Geometry of model.
Figure 2.The Boundary Conditions of model.
Figure 3.the history of velocity of hammer with time.
Figure 4. Vertical displacement changes The highest point of the model under the weight of the system.
Figure 5. Vertical displacement changes under hammer depth (W=20 TON, H=15).
Figure 6. velocity changes under hammer depth (W=20 TON, H=15).
Figure 7. Effect of Hammere Radius on Depth of Improvement.
Figure 8. Changes in depth of the pit with a Hammer radius.
Figure 9. Horizontal expansion of the compacted area in terms of Hammer radius.
Figure 10. Displays the element's deformation after applying sequential blows.
Figure 11. Depth deformation in depth(w=15 , h= 15).
Figure 12. Depth deformation in depth (w=20 , h= 20).
Figure 13. Depth deformation in depth (w=30 , h= 30).
Figure 14. Distribution of horizontal displacement caused by Tenth first impact.
Figure 15. Distribution of horizontal displacement caused by Tenth fifth impact.
Figure 16. Distribution of horizontal displacement caused by Tenth impact.
Figure 17. Distribution of horizontal displacement by impact of fifteenth.
Figure 18. Density changes deep in recovery at first impact.
Figure 19. Density changes in the depth of recovery in sequential blows.
Figure 20.the contour line increasing of relative mass.
Figure 21. the Graph of Effective stress variations, total stress and cavity pressure with depth.

*Corresponding author, E-mail: mortezabakhtiari@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

Table 1. Dynamic Analysis Specifications.
Table 2. the hole Specifications.
Table 3. hammer and soil Specifications.
Table 4. Comparison of the calculated depth of the hole by FLAC with the measured results at the location (cm).

www.SID.ir