

اثر فشار محصورکنندگی مؤثر بر تغییر مکانهای خاک زیر پی ناشی از ضربات فونداسیون در هنگام زلزله

عبدالحسین حداد، مصطفی فخاری فر

استادیار دانشگاه سمنان، دانشکده فنی

دانشجوی کارشناسی ارشد زلزله دانشگاه سمنان

fakharifar_mostafa@livesync.com

چکیده:

در طول عمر مفید یک سازه، نیروهای متعددی از سازه و از طریق فونداسیون به خاک منتقل می‌گردند. فشار محصورکنندگی مؤثر در خاک ($\bar{\sigma}_0$) از عوامل مهم اثرگذار بر میزان سختی خاک می‌باشد. از نقطه نظر عملکرد هر سازه، اثر ضربات وارده از فونداسیون سازه بر خاک زیر سازه حائز اهمیت می‌باشد. از اینرو در این مطالعه اثر محتوای فشار محصورکنندگی خاک بر میزان تحمل خاک در برابر ضربات فونداسیون در طول زلزله با انجام تحلیل‌های المان محدود انجام پذیرفته است.

جهت انجام مطالعات از یک مدل فونداسیون صلب متکی بر خاک با ضخامت، سختی و میرایی معین که در میان آنها یک المان تماسی (Contact) قرار دارد؛ در دو حالت وجود و عدم وجود فشار محصورکنندگی استفاده گردیده است. بر پایه نتایج بدست آمده تأثیر مستقیم فشار محصورکنندگی بر میزان جابجائی‌های حاصله در محل تماس فونداسیون با خاک زیر آن مشخص؛ و اثر کاهشی جابجائی‌ها در سطح خاک در هنگام حضور عامل محصورکنندگی استخراج گردید.

کلمات کلیدی: فشار محصورکنندگی، المان تماسی، اثر ضربه.

مقدمه

اثر فشار محصورکنندگی در خاک که توسط عوامل متعددی همچون وجود دیوارهای حائل در خاک تأمین می‌گردد، از عوامل بسیار مهم در رفتار لرزه‌ای و باربری دینامیکی خاک دارد. تئوری اساسی که در این سطح از مطالعات عموماً مورد بررسی قرار می‌گیرد، عموماً بر پایه طرح تسلیم (گسیختگی) می‌باشد. رفتار و نوع اندرکنش سطح تماس بین خاک و عامل تأمین کننده محصورکنندگی (به عنوان نمونه دیوار حائل باربر) از عوامل کلیدی تأثیر گذار بر رفتار خاک است. عموماً دو فرض در رابطه با اندرکنش خاک با عامل تأمین کننده محصورکنندگی مطرح می‌باشد که عبارتند از: (۱) یک اتصال و سطح تماس کاملاً درگیر (Rough Contact) به طوری که قابلیت انتقال تنشها در سطح تماس به راحتی تا حد گسیختگی وجود دارد. (۲) اتصالی کاملاً بدون اصطکاک (Frictionless Contact) که بر خلاف حالت اول تنها قابلیت پذیرش کرنش‌های حد پلاستیک را دارا می‌باشد. با توجه به مطالب ذکر شده تا کنون کاملاً واضح است که منظور از تأمین محصورکنندگی، محصورکنندگی افقی است، چرا که تأمین محصورکنندگی قائم در محیط بزرگی همچون خاک حدوداً امکان‌ناپذیر است [1].

تئوری ظرفیت باربری حد نهایی

ابتدا رابطه اصلی ریاضی بر مبنای مطالعات سالن کان که در سال ۲۰۰۲ ارائه گردیده است، بیان می‌گردد. با فرض اینکه عرض فونداسیون برابر $B=2b$ ، فاصله افقی لبه فونداسیون از دیوار تأمین کننده محصورکنندگی برابر L و نیروی محوری قائم ناشی از وزن روسازه (سازه بنا شده بر روی فونداسیون) برابر F باشد؛ نیروی نهائی تئوریک قابل تحمل فونداسیون برابر $P_{ult} = F / B$ در زمانی که نیروی F به حداکثر مقدار خود می‌رسد (از نقطه نظر طرح تسلیم) می‌باشد. با توجه به عدم امکان محاسبه نیروی F به طور مستقیم رابطه پارامتریک ذیل برای تعیین حداکثر ظرفیت باربری فونداسیون ارائه گردیده است [2,3].

$$P_{ult} = c_u K_c \left(\frac{L}{b}\right) N_c \quad \text{with } N_c = \pi + 2 \quad \text{and } K_c(\infty) = 1 \quad (1)$$

که در رابطه فوق C_u چسبندگی خاک زیر فونداسیون بر اساس معیار ترسکا می‌باشد. ضریب $K_c \left(\frac{L}{b}\right)$ ضریب اصلاح می‌باشد که اثر محصورکنندگی را در محاسبات وارد می‌نماید. همانطور که گفته شد، با توجه به دو نوع سطح تماس مختلف بین خاک و عامل تأمین محصورکنندگی، ضریب اصلاح فوق‌الذکر در دو حالت قابل محاسبه است. ضریب اصلاح به صورت $K_c^r \left(\frac{L}{b}\right)$ بیانگر ضریب اصلاح در حالت سطح درگیر و ضریب $K_c^s \left(\frac{L}{b}\right)$ نشانگر وضعیت بدون اصطکاک می‌باشد.

فونداسیون بر خاک محصور شده در حالت سطح درگیر

برای تعیین حد باربری نهائی فونداسیونهای متکی بر خاک محصور شده تعیین ضریب اصلاح مهم می‌باشد. این ضریب در حالت سطح تماس درگیر بین خاک و عامل محصورکنندگی در ادامه آورده می‌شود.

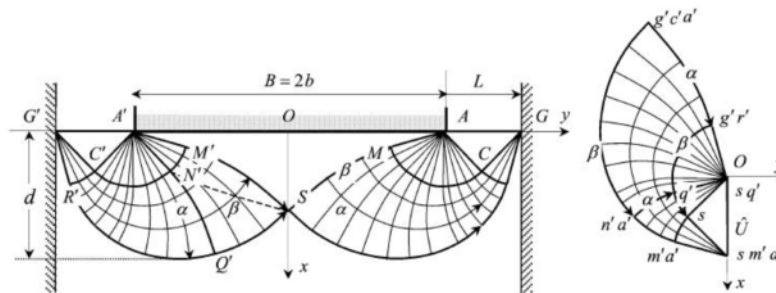
حالت $L/b \geq 2$

با استفاده از حل پراندتل، ضریب اصلاح به صورت زیر می‌باشد.

$$\forall \frac{L}{b} \geq 2, \quad K_c^r \left(\frac{L}{b}\right) = 1 \quad (2)$$

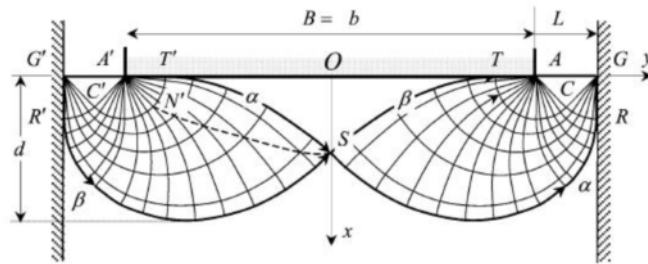
حالت $0 \leq L/b \leq 2$

در این حالت مسئله اثر میدان سرعت مجازی از طریق معادلات گیرینگر بر روی خط لغزش نشان داده شده در شکل (۱) مطرح می‌گردد.



شکل ۱- میدان خط لغزش و هودوگراف برای حالت سطح درگیر به ازاء $L/b > 0.29$

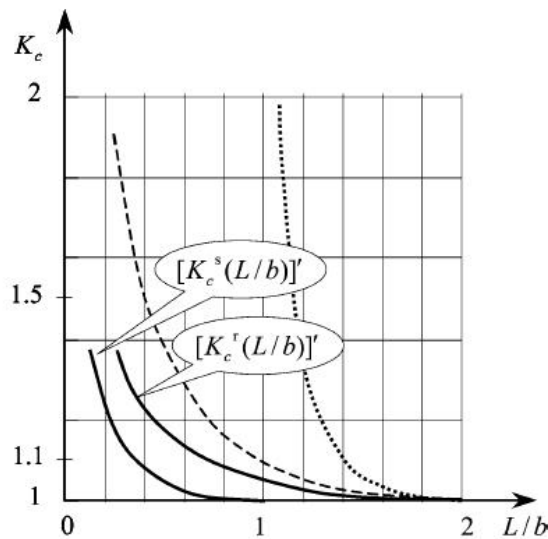
شکل (۱) همچنین نشان دهنده هودوگراف در حالتی که دچار یک تغییر مکان قائم تحت اثر سرعت \hat{U} شده است را نشان می‌دهد. ناحیه $A'M'SMA$ به صورت یک بلوک کاملاً صلب، تحت سرعت \hat{U} دچار تغییر مکان قائم می‌گردد. در طول $A'M'SG$ و $G'R'Q'SMA$ میدان سرعت منقطع می‌باشد. با یک پرش تانژانتی به میزان $\hat{U}\sqrt{2}/2$ در زیر $G'R'Q'SG$ خاک فاقد حرکت است. مقادیر شبکه نشان داده شده در شکل (۱) تا زمانی دارای اعتبار هستند که خط R' به دیوار محصورکننده و خط M' به زیر فونداسیون نرسند. زمانی که خط R' به دیوار محصورکننده و خط M' به زیر فونداسیون برسد، نشانگر وضعیت $0 < L/b < 0.29$ می‌باشد که نمای شماتیک آن در شکل (۲) ارائه گردیده است [3].



شکل ۲- میدان خط لغزش برای حالت سطح درگیر به ازاء $0 < L/b < 0.29$

به طور کلی برای این حالت، نموداری همانند شکل (۳) ترسیم می‌گردد که بر اساس آن می‌توان ضریب اصلاح K_c را بر اساس ابعاد فونداسیون محاسبه نمود.

مشخص است که برای کاربردهای عملی ابعاد فونداسیون از نسبت L/b ، افزایش ظرفیت باربری با افزایش محصورکنندگی خیلی زیادی ندارد: کمتر از ۱۰٪ برای $L/b > 0.72$ و کمتر از ۲۰٪ برای $L/b > 0.45$.



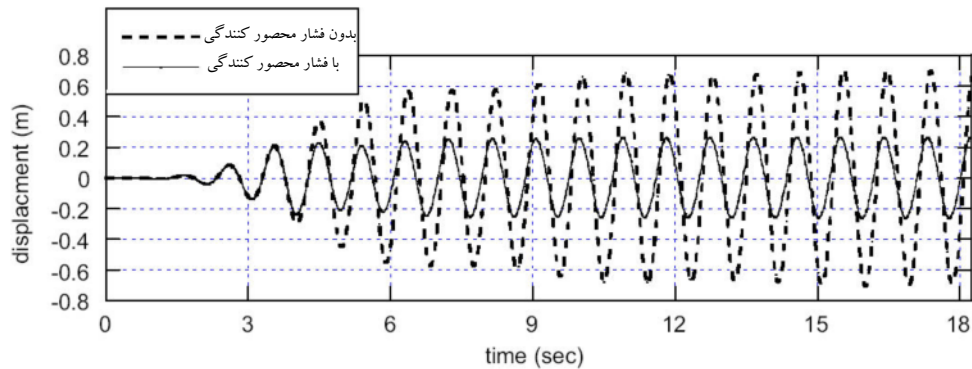
شکل ۳- اثر فشار محصورکنندگی بر ظرفیت باربری: دو حالت تماس سطح دیوار با خاک کاملاً درگیر و بدون اصطکاک، خط چین و نقطه چین مربوط به مطالعات پزیرین و راندولف

با توجه به شکل (۳) کاملاً مشخص است که میزان ضریب اصلاح به ازاء جمیع مقادیر برای حالت وجود اصطکاک و سطح درگیر بین خاک و دیوار محصورکننده بیشتر از ضریب اصلاح برای حالت بدون اصطکاک است. نتیجه فوق‌الذکر یک نتیجه کاملاً منطقی بواسطه قابلیت انتقال تنشهای بالاتر در حالت درگیر است.

اثر فشار محصورکنندگی در هنگام زلزله

اثر فشار محصورکنندگی در هنگام زلزله بر رفتار خاک یک فاکتور مهم می‌باشد. چرا که در هنگام زلزله با توجه به ماهیت متغیر بودن زمانی شدید نیروها، کلیه خصوصیات مکانیکی و دینامیکی خاک، که عامل انتقال تنش ناشی از فونداسیون سازه می‌باشد، دستخوش تغییرات می‌شود. از اینرو پاسخ خاک زیر فونداسیون در زمانیکه تحت بار محوری ناشی از وزن روسازه بعلاوه بارگذاری باند گسترده زلزله می‌باشد؛ مورد بررسی قرار می‌گیرد. به همین خاطر میزان تغییرات جابجائی سطح زیر فونداسیون (بر روی خاک) در هر دو حالت وجود و عدم وجود فشار محصورکنندگی در نمودار شکل شماره (۴) نشان داده شده است.

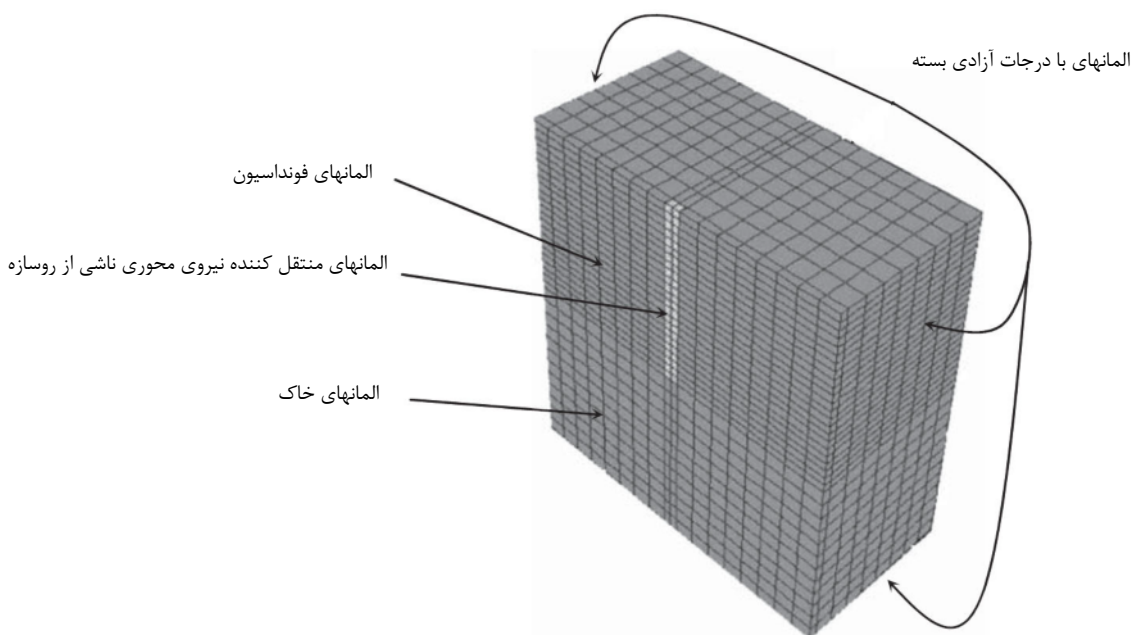
همان گونه که مشاهده می گردد وجود فشار محصورکنندگی موجب کاهش پاسخها تا حدود نصف مقدار اولیه گردیده و نکته مهمتر آنکه نرخ تغییرات پاسخها ثابت مانده است که این خود یکی از مزایای مهم در رابطه فشار محصورکنندگی می باشد. به عبارت دیگر، چنانچه تأمین فشار محصورکنندگی موجب تقلیل چشم گیر جابجائی ها نگردد، ولیکن در عوض نرخ تغییرات جابجائی را در حد معینی ثابت نگه دارد، این عامل خود نیز یک فاکتور سودمند تلقی می گردد.



شکل ۴- اثر فشار محصورکنندگی بر پاسخها تحت اثر نیروی زلزله در حالت وجود و عدم وجود فشار محصورکنندگی

مطالعه پارامتریک با مدل تحلیلی المان محدود

پس از ارائه تئوری موجود در رابطه با اثر فشار محصورکنندگی، با بهره گیری از مدل المان محدود در نرم افزار المان محدود *ANSYS Ver 10.0* محصول شرکت *SAP Inc* میزان تأثیر این پارامتر از طریق یک مدل تحلیلی صورت می پذیرد. نمای شماتیک المان بندی و چیدمان المانها که بر مبنای آن مدل سازی، شبکه بندی، بارگذاری و توزیع تنشها صورت پذیرفته است در شکل شماره (۵) نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشخص است، جهت شبیه سازی اثر فشار محصورکنندگی جانبی افقی، درجات آزادی دو وجه کناری خاک بسته شده اند. همچنین المانهای به طور مجزا جهت انتقال نیروی محوری ناشی از روسازه در فونداسیون مدل گردیده اند. شایان ذکر است که تفاوت این المانها با سایر المانهای فونداسیون این مطلب است که، در این المانها معیار شکست کرنشی (*Failed Strain*) که به معنای تعیین یک حد خاص کرنش، که کرنشهای بیشتر از آن را به عنوان شکست تلقی می کند، لحاظ گردیده است.



شکل ۵- نمای شماتیک المان بندی مورد نیاز از محیطهای مختلف در مدل المان محدود

مدلسازی المان محدود

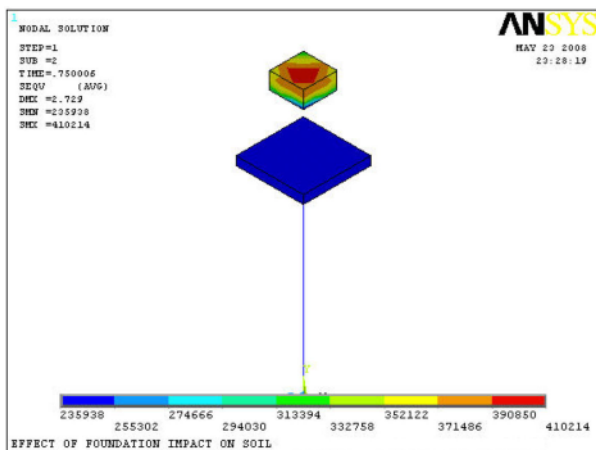
مطابق با موارد فوق‌الذکر مدل تحلیلی المان محدود در نرم افزار مدل گردید. جهت مدلسازی فونداسیون از المان Solid65 که قابلیت مدل نمودن میلگرد به دو صورت مجزا و همچنین درصدی از حجم کل مقطع را دارا می‌باشد، استفاده گردیده است.

محیط خاک به صورت یک محیط ایزوتروپیک و همگن در کلیه راستاها فرض گردیده است. جهت محاسبه تغییر مکان نقاط گره‌های سطح رویه خاک که با زیر فونداسیون در تماس است، از المان تماسی contact52 که تنها قابلیت مقاومت فشاری در راستای عمود بر صفحه و تنش کششی به موازات صفحه قرارگیری را دارد؛ استفاده گردیده است.

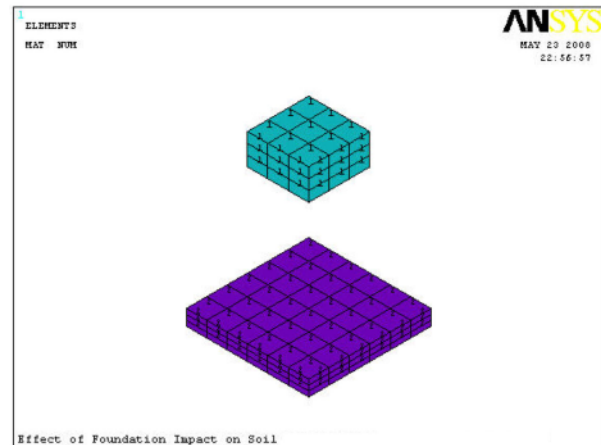
پس از مدلسازی مدل المان محدود، در مرحله شبکه‌بندی از شبکه‌بندی معین که توسط کاربر تعیین می‌گردد، جهت حصول جوابهای دقیق‌تر استفاده گردیده است. امکان شبکه‌بندی پیش‌فرض توسط نرم‌افزار نیز مهیا می‌باشد، ولیکن بواسطه تقریبهای حاصله از این طریق، شیوه اول اتخاذ گردیده است. جهت بارگذاری مدل، از بارگذاری محوری قائم ناشی از روسازه جهت لحاظ نمودن سربار بر خاک بعلاوه رکورد زلزله ال‌سنترو در تحلیل بهره گرفته شده است.

مدلسازی و حصول نتایجی همچون تغییر مکان نقاط گرهی و توزیع تنش در هر دو حالت حضور و عدم حضور فشار محصورکنندگی در خاک انجام پذیرفته است.

در اشکال (۶) و (۷) نمای مدل المان محدود و توزیع تنش در مدل پس از تحلیل در حالت حضور فشار محصورکنندگی ارائه گردیده است.



شکل ۷ - نمای ایزومتریک توزیع تنش σ در فونداسیون پس از برخورد

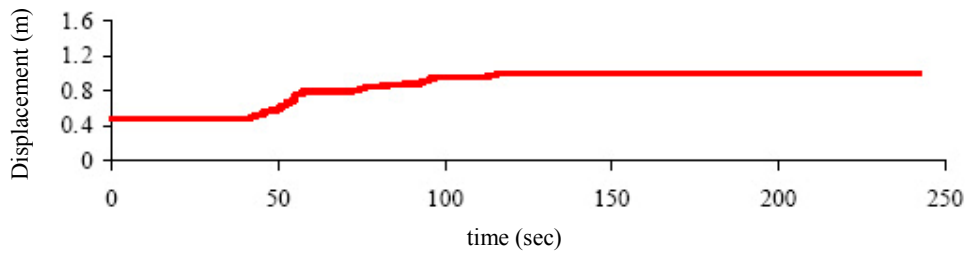


شکل ۶ - نمای ایزومتریک مدل المان محدود فونداسیون و المان تماسی بین خاک و فونداسیون

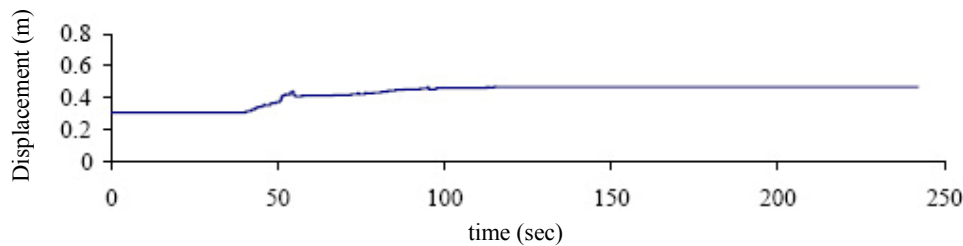
نتایج حاصل از تحلیل

پس از انجام تحلیل مشخص گردید که در حالت وجود فشار محصورکنندگی، پاسخها همچون پاسخ تغییر مکان نقاط گرهی بر روی سطح المان خاک و میزان تنشها کاهش می‌یابند و در یک تحلیل تاریخیچه زمانی مشخص گردید، میزان جابجائیها با گذشت زمان کاهش می‌یابد. در مقابل در حالت حذف فشار محصورکنندگی، پاسخ جابجائی نقاط گرهی در سطح خاک افزایش می‌یابد و با گذشت زمان تغییر مکانها کاهش نمی‌یابند و افزایش تغییر مکان نقاط گرهی تا بروز شکست در المانها ادامه می‌یابد.

در اشکال (۸) و (۹) مقادیر جابجائی نقاط گرهی در سطح خاک (سطح زیر فونداسیون متکی بر خاک) در دو حالت عدم وجود و وجود فشار محصورکنندگی نشان داده شده است. به واسطه ازدیاد نقاط گرهی موجود، جهت احتراز از تداخل نمودارها با یکدیگر، هر یک از نمودارها به طور جداگانه ترسیم گردیده‌اند.

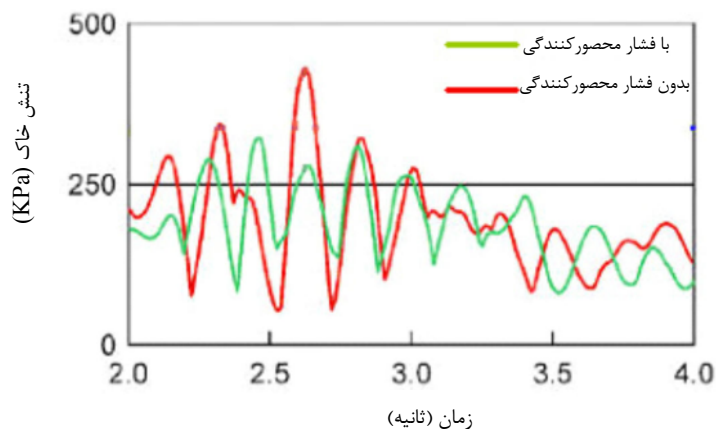


شکل ۸- مقادیر تغییر مکان نقاط گرهی در سطح خاک (زیر فونداسیون) در حالت عدم وجود فشار محصورکنندگی



شکل ۹- مقادیر تغییر مکان نقاط گرهی در سطح خاک (زیر فونداسیون) در حالت وجود فشار محصورکنندگی

همانطور که از نمودارهای فوق مشخص است میزان جابجائی‌ها در حالت وجود فشار محصورکنندگی تا حدود نصف کاهش یافته است، که از اثرات سودمند فشار محصورکنندگی است. همانطور که از اشکال فوق مشخص است، تغییر مکان نقاط گرهی و میزان جابجائی‌ها در حالت وجود فشار محصورکنندگی به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است. در نهایت میزان تنش در خاک در دو حالت مورد بررسی قرار می‌گیرد که این موضوع در شکل (۱۰) نشان داده شده است.



شکل ۱۰- مقادیر تنش در سطح خاک (زیر فونداسیون) در دو حالت وجود و عدم وجود فشار محصورکنندگی

شایان ذکر است که همانطور که از شکل فوق مشخص است حداکثر تنش (بواسطه وجود حداکثر نیرو) در حدود بازه زمانی ۲.۶ ثانیه روی داده است؛ که این مسئله را می‌توان بواسطه محتوای فرکانسی زلزله بوجود آمده از سرچشمه لرزه‌ها که از رکوردهای زلزله ال‌سنتر می‌باشد؛ مرتبط دانست.

نتایج

در محیط نامحدودی همچون خاک، میزان جابجائی بوجود آمده در سطح خاک و گسیختگی بوجود آمده در آن که به عنوان المان مستقیم در تماس با فونداسیون سازه‌های منکی بر آن می‌باشد، از عوامل بسیار مهم می‌باشد.

در این پژوهش اثر فشار محصورکنندگی افقی بر میزان جابجائی‌های در سطح خاک (که تعیین جابجائی‌ها خود به نوعی معرف کرنش‌ها و تنش‌ها است) مورد مطالعه و بررسی می‌باشد.

با انجام مطالعات المان محدود مشخص گردید که، در هنگام حضور فشار محصورکنندگی، میزان جابجائی‌ها در سطح خاک و همچنین تنش‌های بوجود آمده کاهش می‌یابند. از مزایای دیگر حضور فشار محصورکنندگی ثابت ماندن نرخ جابجائی‌ها در خاک در یک حد معین می‌باشد؛ که این عامل از روند فزاینده توزیع کرنش‌های پلاستیک که منجر به گسیختگی زودتر خاک می‌شود؛ جلوگیری می‌نماید.

شایان ذکر است که میزان جابجائی‌های واقعی در مقایسه با مدل المان محدود بیشتر خواهند بود که این مسئله با توجه به سخت‌تر بودن مدل المان محدود می‌باشد. زیرا در مدل المان محدود با اختصاص درجات آزادی معین در مقایسه با مدل واقعی، نمونه دارای درجات آزادی کمتری می‌باشد.

مراجع

- [1] J. Salençon, The influence of confinement on the bearing capacity of strip foundations, C. R. Mecanique 330 (2002) 319–326.
- [2] R. Hill, The Mathematical Theory of Plasticity, Clarendon Press, Oxford, 1950, pp. 182–184.
- [3] H. Geiringer, Some recent results in the theory of an ideal plastic body, in: Adv. Appl. Mech., Academic Press, New York, 1953, pp. 197–294.