امکان‌سنجی اعمال پیش بارگذاری انفجاری به‌عنوان عامل کمکی یا جایگزین پیش بارگذاری سربار و یا خلاء در بهسازی خاک‌های نرم رسی

محمدمهدی پاردسوئی[۱*]، سید محمد علی زمردیان[۲]، مهدی مخبری[۳]

[۱] دانشجوی دکتری، شرکت مهندسین مشاور هندسه پارس، تهران، ایران، m.m.pardsouie@gmail.com
[۲] دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ایران، mzomorod@shirazu.ac.ir
[۳] دانشیار گروه گروه خاک و پی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه استهبان، ایران، m_mokhberi@iauest.ac.ir

چکیده

جهت بهسازی خاک‌های نرم رسی می‌توان از روش‌های متعددی استفاده نمود که به صورت تنهایی و یا با ترکیب با هم می‌توانند عملکرد مناسبی را بسته به شرایط زمین و پروژه از خود نشان دهند. در این مقاله ابتدا بر اساس مدل صحت سنجی شده یک پروژه واقعی انجام شده بهسازی خاک که شامل استفاده از پیش بارگذاری سربار و خلاء و زهکش‌های عمودی بود، پیش بارگذاری انفجاری اعمال گردید تا میزان اثر آن در بهبود شرایط بهسازی بررسی گردد. بر اساس نتایج مدل عددی مشاهده گردید که از انفجار می‌توان جهت بالابردن فشار آب منفذی و تنش خاک زیرین استفاده کرد و همچنین زمان رسیدن به نشست هدف را کاهش داد. پیش بارگذاری انفجاری می‌تواند به‌عنوان جایگزین مناسب جهت کاهش ارتفاع سربار و یا حذف کامل آن و مضافاً افزایش راندمان بهسازی‌های تحت خلاء مورداستفاده قرار گیرد.

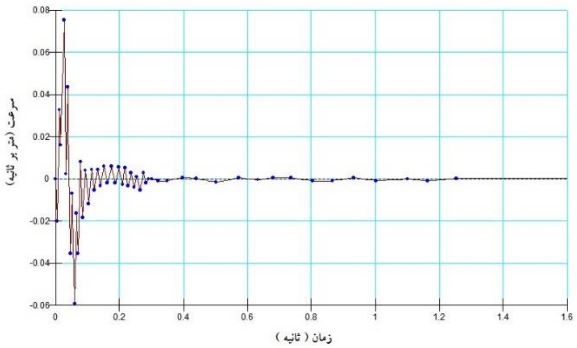
واژگان کلیدی: پیش بارگذاری، سربار، خلاء، زهکش عمودی، تحکیم، انفجار

۱- مقدمه

جهت بهسازی خاک های نرم رسی می توان از روش های متعددی استفاده نمود که به تنهایی یا با ترکیب با هم می توانند عملکرد مناسبی را بسته به شرایط زمین و پروژه از خود نشان دهند که عبارتند از: ۱-روش اعمال بار سربار به تنهایی ۲-روش قراردادن زهکش های عمودی ۳-روش قرار دادن زهکش های عمودی و افقی ۴-روش ترکیب بار سربار به همراه زهکش های عمودی ۵- روش اعمال خلاء به زهکش های عمودی یا افقی یا هردو ۶- روش ترکیب بارسربار و اعمال خلاء به زهکش ها. در پروژه های مختلف انجام شده تاکنون یکی از حالت های بالا مورد استفاده قرار گرفته است. انتخاب روش مناسب که بتواند در زمان مورد نظر، با کمترین هزینه بهترین نتیجه را در پی داشته باشد یکی از بزرگترین چالش های شرکت های طراحی و مهندسین مشاور بوده است. در این مقاله یک پروژه واقعی انجام شده مورد بررسی قرار گرفته است که عبارت است از پروژه بهسازی فرودگاه بانکوک که بر اساس نتایج ارائه شده در مقالات منتشره و مدل سازی های عددی انجام شده (Pardsouie, Momeni, Nasehi, & Pardsouie, 2022; Pardsouie, Pardsouie, Zomorodian, Mokhberi, & Application, 2022; Pardsouie, Zomorodian, Mokhberi, Pardsouie, & Application, 2023)، مدل های نرم افزاری صحت سنجی شده خاکریز آزمایشی TV2 تحت بار انفجار قرار گرفته و نتایج آن ارائه گردیده است.

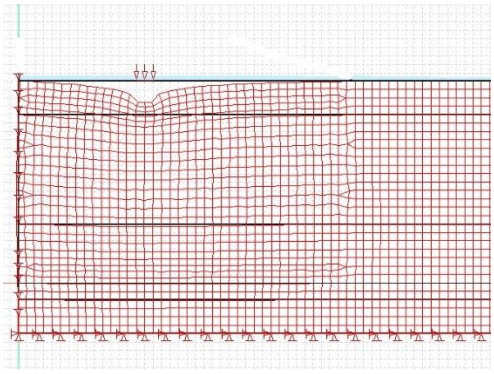
۲- مطالعه عددی اثر انفجار بر افزایش راندمان سیستم بهسازی خاک

در مقالات و کار عملی بار انفجار به چندین صورت توسط ابزاردقیق مربوطه مثل لرزه‌سنج‌های مختلف و ژئوفون‌ها به‌صورت سرعت نسبت به زمان، شتاب نسبت به زمان و یا جابه‌جایی نسبت به زمان استخراج و گزارش و یا استفاده می‌گردد که در این جا جهت مدل‌سازی از بار انفجاری سرعت نسبت به زمان استفاده شده است که نمودار آن در شکل زیر آورده شده است. نرم‌افزار مورداستفاده جهت تمام مدل‌سازی‌های عددی Geostudio 2018 است.



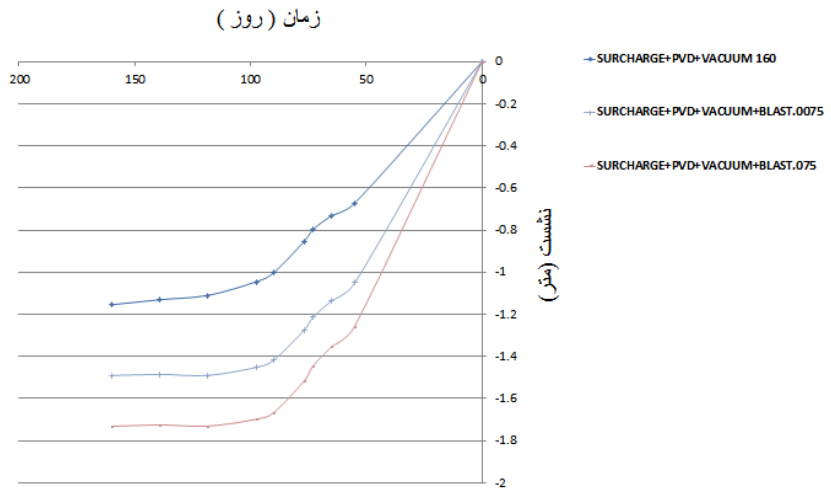
شکل ۱: بار انفجار با حداکثر سرعت ۰,۰۷۵ متر بر ثانیه در جهت y

در ابتدا در نرم‌افزار quake/w مشابه مدل‌های قبلی مدل ترسیم و در حالت insitu جهت به‌دست‌آوردن تنش اولیه اجرا شد. سپس در حالت equivalent linear به‌منظور به‌دست‌آوردن افزایش فشار آب منفذی به‌خاطر بار انفجاری مدل اجرا گردید و در نهایت همانند حالت قبلی مدل در نرم‌افزار sigma/w جهت بررسی شرایط وارد و تحلیل شد. هنگام وقوع انفجار بسته به میزان ماده انفجاری و عمق قرارگیری یا سطحی بودن انفجار، یک حفره یک از ایجاد می‌شود که ناشی از پراکنده شدن خاک‌های نزدیک به محل انفجار است. بدیهی است که بسته به قدرت انفجاری خاک در شعاعی بافاصله از مرکز انفجار، وارد حالت پلاستیک می‌گردد. در نتایج ذیل ترکیب انفجار و خلاء بدین منظور لحاظ شده است که درحالی‌که انفجار باعث کاهش پایداری می‌گردد خلاء می‌تواند باتوجه‌به ایجاد نیروهای به سمت داخل، در جهت تثبیت خاک عمل نماید. مدل‌ها با دو بار انفجاری حداکثر سرعت ۰,۰۷۵ متر بر ثانیه و حداکثر سرعت ۰,۰۰۷۵ متر بر ثانیه مورد بررسی قرار گرفتند. شکل ۱ بار انفجار با حداکثر سرعت ۰,۰۷۵ متر بر ثانیه در جهت y وارده به مدل صحت سنجی شده را نشان می‌دهد. شکل ۲ ایجاد حفره در اثر انفجار در مش اجزای محدود تحت تاثیر بار انفجار با حداکثر سرعت ۰,۰۷۵ متر بر ثانیه در جهت y را نشان می‌دهد.

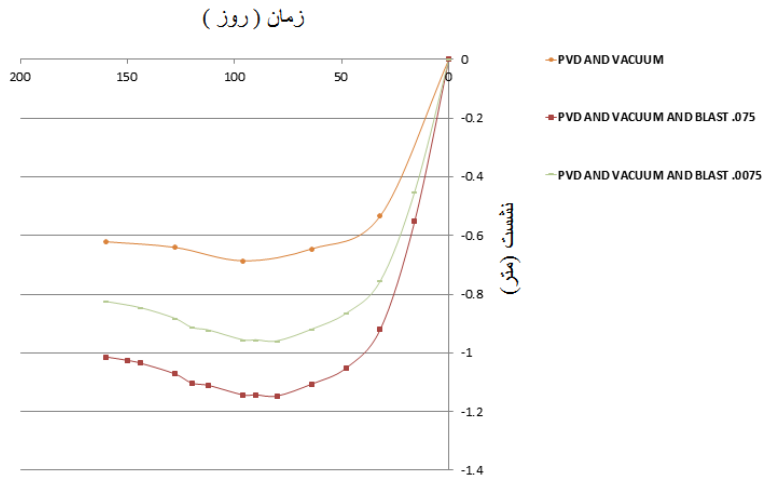


شکل ۲: ایجاد حفره در اثر انفجار در مش اجزای محدود تحت تاثیر بار انفجار با حداکثر سرعت ۰,۰۷۵ متر بر ثانیه در جهت y

موارد مدل‌سازی انفجار در (پاردسوئی, زمردیان, & مخبری, ۱۴۰۱) ارائه گردیده است. یک از موارد مطلوب در استفاده از انفجار، حذف لایه معمولا سست فوقانی توسط انفجار است. بدین صورت از انفجار هم می‌توان جهت بالا بردن فشار آب منفذی و تنش خاک زیرین استفاده کرد و همزمان نسبت به لایه های سست سطحی اقدام نمود. شکل ۳ مقایسه نشست خاکریز آزمایشی TV2 در برابر زمان در حالت سربار و زهکش و خلاء،سربار و زهکش عمودی و خلاء و انفجار با حداکثر سرعت ۰,۰۷۵ متر بر ثانیه در جهت Y ، سربار و زهکش عمودی و خلاء و انفجار با حداکثر سرعت ۰,۰۰۷۵ متر بر ثانیه در جهت Y بعد از ۱۶۰ روز را در مرکز خاکریز نشان می دهد. پرواضح است که بر اساس مدل پیشنهادی،سرعت نشست و زمان مورد نیاز جهت حصول نتیجه بسیار افزایش یافته است. زمان رسیدن به نشست ۱,۱۶ متری در حالت استفاده همزمان سربار و زهکش عمودی به همراه خلاء در حالت استفاده از بار انفجاری با بیشینه سرعت ۰,۰۷۵ از ۱۶۰ روز به ۵۰ روز و در حالت بار انفجاری با بیشینه سرعت ۰,۰۰۷۵ به ۶۴ روز کاهش یافته است. شکل ۴ مقایسه نشست خاکریز آزمایشی TV2 در برابر زمان در حالت زهکش عمودی و خلاء، زهکش عمودی و خلاء و انفجار با حداکثر سرعت ۰,۰۷۵ متر بر ثانیه در جهت Y ، زهکش عمودی و خلاء و انفجار با حداکثر سرعت ۰,۰۰۷۵ متر بر ثانیه در جهت Y بعد از ۱۶۰ روز را در مرکز خاکریز نشان می دهد. بر اساس مدل پیشنهادی،سرعت نشست و زمان مورد نیاز جهت حصول نتیجه بسیار افزایش یافته است. زمان رسیدن به نشست ۰,۶۸ متری در حالت استفاده همزمان زهکش عمودی به همراه خلاء در حالت استفاده از بار انفجاری با بیشینه سرعت ۰,۰۷۵ از ۱۶۰ روز به ۲۲ روز و در حالت بار انفجاری با بیشینه سرعت ۰,۰۰۷۵ به ۳۳ روز کاهش یافته است. از مهمترین عوامل دیگر در خصوص تاثیر مطلوب استفاده از انفجار حذف لایه سست فوقانی توسط انفجار است.بدین صورت از انفجار هم می توان جهت بالا بردن فشار آب منفذی و تنش خاک زیرین استفاده کرد و زمان رسیدن به نشست هدف را کاهش داد و همزمان نسبت حذف به لایه های سست سطحی اقدام نمود. بر اساس داده های این مطالعه انفجار می تواند جایگزین مناسبی جهت کاهش ارتفاع سربار و یا حذف آن به صورت کلی و افزایش راندمان سیستم های تحت خلاء مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به این مهم که اعمال بارگذاری انفجار یکی از روش های ارزان با عمق نفوذ زیاد در بهسازی خاک ها نسبت به سایر روش های معمول می باشد ترکیب این روش جهت افزایش راندمان سیستم با روش های مرسوم که ممکن است حتی جایگزین عملیات پرهزینه و زمان بر احداث خاکریز و سپس جمع آوری خاکریز گردد، از لحاظ اقتصادی و همچنین زمانی به پروژه ها کمک شایانی بنماید.



شکل ۳: مقایسه نشست خاکریز آزمایشی TV2 در برابر زمان در حالت سربار و زهکش و خلاء، سربار و زهکش عمودی و خلاء و انفجار با حداکثر سرعت ۰,۰۷۵ متر بر ثانیه در جهت Y ، سربار و زهکش عمودی و خلاء و انفجار با حداکثر سرعت ۰,۰۰۷۵ متر بر ثانیه در جهت Y بعد از ۱۶۰ روز در مرکز خاکریز



شکل ٤: مقایسه نشست خاکریز آزمایشی TV2 در برابر زمان در حالت زهکش عمودی و خلاء، زهکش عمودی و خلاء و انفجار با حداکثر سرعت ۰,۰۷۵ متر بر ثانیه در جهت Y ، زهکش عمودی و خلاء و انفجار با حداکثر سرعت ۰,۰۰۷۵ متر بر ثانیه در جهت Y بعد از ۱۶۰ روز در مرکز خاکریز

۳- نتیجه گیری

زمان رسیدن به نشست ۱,۱۶ متری در حالت استفاده همزمان سربار و زهکش عمودی به همراه خلاء در حالت استفاده از بار انفجاری با بیشینه سرعت ۰,۰۷۵ از ۱۶۰ روز به ۵۰ روز و در حالت بار انفجاری با بیشینه سرعت ۰,۰۰۷۵ به ۶۴ روز کاهش یافته است. زمان رسیدن به نشست ۰,۶۸ متری در حالت استفاده همزمان زهکش عمودی به همراه خلاء در حالت استفاده از بار انفجاری با بیشینه سرعت ۰,۰۷۵ از ۱۶۰ روز به ۲۲ روز و در حالت بار انفجاری با بیشینه سرعت ۰,۰۰۷۵ به ۳۳ روز کاهش یافته است. از انفجار هم می‌توان جهت بالا بردن فشار آب منفذی و تنش خاک زیرین استفاده کرد و زمان رسیدن به نشست هدف را کاهش داد و همزمان نسبت به حذف لایه‌های سست سطحی اقدام نمود. انفجار می‌تواند جایگزین مناسبی جهت کاهش ارتفاع سربار و یا حذف آن به صورت کلی و افزایش راندمان سیستم‌های تحت خلاء مورد استفاده قرار گیرد. در حالی که انفجار باعث کاهش پایداری می‌گردد بار خلاء با توجه به ایجاد نیروهای به سمت داخل می‌تواند در جهت تثبیت خاک عمل نماید و از این رو گزینه مناسب‌تری نسبت به حالت سربار و زهکش عمودی به تنهایی می‌تواند باشد.

٤- منابع

پاردسوئی, م., زمردیان, س., & مخبری, م. (۱۴۰۱). بررسی عددی تاثیر انفجار سطحی در افزایش فشار آب منفذی در خاک‌های اشباع نرم رسی. Paper presented at the دومین کنفرانس بین المللی معماری، عمران، شهرسازی، محیط زیست و افق‌های هنر اسلامی در بیانیه گام دوم انقلاب.

Pardsouie, M. M., Momeni, M., Nasehi, S. A., & Pardsouie, M. H. (2022). *2d numerical investigation of the effectiveness of surcharge and vacuum preloading along with pvds.* Paper presented at the 13th National Congress on Civil Engineering Isfahan University of Technology, Isfahan, IranAt: Isfahan, Iran, Esfahan, Iran.

Pardsouie, M. M., Pardsouie, M. H., Zomorodian, S. M. A., Mokhberi, M. J. J. o. C. E., & Application, M. a case) (2022). Numerical Study of efficiency of the Vacuum Preloading in Weak Clay Treatment study). *6*(2).

Pardsouie, M. M., Zomorodian, S. M. A., Mokhberi, M., Pardsouie, M. H. J. J. o. C. E., & Application, M. (2023). The necessity of the consideration of permeability modifier in simulations of clay treatment systems incorporating PVDs and surcharge. *7*(2).