نشریه علمی-تخصصی
پژوهش های نوین علوم مهندسی
ISSN: 2538-3809
سال هشتم، شماره ۲ (پیاپی: ۴۳)، تابستان ۱۴۰۲

مقایسه بین گودبرداری در عرصه های ناپایدار و فرسوده با روش اجرای شمع در سیستم سازه نگهبان (مطالعه موردی بیمارستان تأمین‌اجتماعی شهرستان خرم‌آباد)

مجید نیکزاد[۱]، امیرحسین جعفری*[۲]، مهدی نوروزی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۰۷
کد مقاله: ۳۷۸۵۸

چکـیده

کشور درحال‌توسعه است و عملیات ساخت‌وساز و اجرای پروژه‌های عمرانی هر روز بیشتر از گذشته موردنیاز می‌باشد. با توسعه‌ی شهرها نیاز به اجرای ساختمان‌های بلندمرتبه و به‌تبع آن عملیات گودبرداری با اعماق بیشتر به‌منظور تأمین پارکینگ و استفاده‌ی بهینه از زمین (مثلاً اجرای طبقات زیرزمین) افزایش یافته است. پژوهش حاضر با هدف ارائه‌ی روشی مطمئن و اجرایی برای پایدارسازی مجموعه‌ی سازه بنایی قدیمی و فرسوده و گودبرداری که به‌صورت هم زمان می‌باشد تحلیل و طراحی شده است. مطالعه موردی در این پژوهش بیمارستان تأمین اجتماعی حضرت رسول اکرم (ص)(محله گلدشت شرقی، خرم‌آباد) که از بیمارستان‌های دولتی شهر خرم‌آباد بوده است. در روش این پژوهش برای ارزیابی رفتار تأثیر پارامترها در گودبرداری از روش عددی جهت تحلیل محیط خاک، گود و سازه نگهبان استفاده شده است، همچنین به بررسی جابجایی خاک، سازه مجاور با نرم‌افزار آباکوس پرداخته شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، روش ترکیبی شمع و مهار متقابل باعث کاهش ۴۴٪ درصدی نشست زمین نسبت به روش مهار متقابل و کاهش ۲۷٪ درصدی نشست زمین نسبت به روش اجرای شمع گردید. همچنین روش ترکیبی شمع و مهار متقابل باعث کاهش ۵۲٪ درصدی تغییر شکل جانبی دیواره گود نسبت به روش مهار متقابل و کاهش ۱۲٪ درصدی تغییر شکل جانبی دیواره گود نسبت به روش اجرای شمع گردید.

واژگـان کلـیدی: گودبرداری، مهار متقابل، روش اجرای شمع.

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، مهندسی عمران- مکانیک خاک و پی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، ایران.
۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد، مهندسی معماری- معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بروجرد، ایران.
amir.jafari.anj@gmail.com
۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد، مهندسی عمران – سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، ایران.

۱- مقدمه

امروزه در بسیاری از پروژه‌های ساختمانی به دلیل محدودیت فضا و جلوگیری از تجاوز به حریم ملک مجاور لازم است که زمین با جداره‌های قائم یا نزدیک به قائم خاک برداری شود. فشار جانبی وارد بر این جداره ها ناشی از رانش خاک بر اثر وزن و نیز سربارهای احتمالی روی زمین کتار گود می‌باشد. این سربارها می توانند شامل خاک بالاتر از تراز افقی در لبه گود، ساختمان‌های مجاور، بارهای ناشی از بهره برداری از معابر مجاور و ... باشد. [۱] به‌منظور جلوگیری از ریزش ترانشه و تبعات منفی احتمالی ناشی از این خاک برداری، سازه‌های موقت و یا دائمی را برای مهار ترانشه اجرا می‌کنند که به آن‌ها سازه‌های نگهبان می گویند. در بسیاری از این گودبرداری‌ها، در مجاورت آن سازه‌هایی از نوع بنایی وجود دارد که دارای قدمت ساخت بوده و باکیفیت مصالح مناسبی نداشته و اجرای گودبرداری در مجاورت آن تهدید محسوب می‌شود. ساختمان های با مصالح بنایی یکی از قدیمی‌ترین و متداول‌ترین سیستم های سازهای ایران می‌باشد. قسمت اعظم ساختمان های موجود در نقاط مختلف کشور از جمله شهرهای کوچک و روستاها به این شیوه ساخته‌شده‌اند. امروزه نیز ساختمان های با مصالح بنایی در کشور ما متداول است، طوری که اکثر ساختمان های یک یا دو طبقه موجود در شهرها و تقریباًهمه‌جا تمامی ساختمان های روستایی این گونه اند[۳].

توسعه‌ی کشور و به‌تبع آن افزایش ساخت‌وسازهای درون‌شهری، افزایش گودبرداری ها را در پی داشته است. عموماً عملیات گودبرداری درون شهر مخاطراتی به همراه دارد. بررسی و مطالعه‌ی گودبرداری با توجه به تنوع رفتار خاک و سازه‌های مجاور ذاتاً مسئله‌ی پیچیده‌ای است. این موضوع وقتی که وجود ساختمان بنایی فرسوده در مجاورت گود محرز باشد، با توجه به لزوم مهار و پایدارسازی هم زمان دیواره‌ی گود و سازهای مجاور پیچیده‌تر هم می‌شود [۲]. در تحقیق حاضر هدف ارائه‌ی روشی اجرایی و نسبتاً کم هزینه در مقایسه با سایر روش‌ها و درعین‌حال ایمن و نیز سازگار با شرایط بومی برای کنترل جابجایی، جلوگیری از تخریب و وقوع ترک در سازه‌ی بنایی فرسوده به همراه پایدارسازی گود در مجاورت آن است. خاک به‌عنوان یک مصالح ساختمانی در پروژه های مختلف و همچنین به‌عنوان یک تکیه گاه برای سازه های مهندسی دارای جایگاه ویژه ای است. مهندسی عمران همواره درصدد افزایش مقاومت خاک با استفاده از فرآیندهای مکانیکی نظیر تراکم، زهکشی، تحکیم و فرآیند های شیمیایی نظیر اصلاح و تثبیت و یا استفاده از عناصر مسلح کننده بوده است. تخریب و گودبرداری یک ساختمان فرسوده برای ساخت مجدد از مراحلی است که در بافت فرسوده انجام می‌شود. گودبرداری یکی از فعالیت‌های عمرانی است که معمولاً به‌منظورهای مختلف مثل رسیدن به تراز بکر و حفاظت فونداسیون در برابر یخبندان یا احداث کانال‌ها و مخازن زیرزمینی یا احداث پارکینگ و ... انجام می‌شود حال برای جلوگیری از تخریب دیوار های گود مجبور به اجرای سازه‌هایی هستیم که نیروهای مقاوم در برابر تخریب دیوار ها را تقویت نماید[۴].

کشور درحال‌توسعه است و عملیات ساخت‌وساز و اجرای پروژه‌های عمرانی هر روز بیشتر از گذشته موردنیاز می‌باشد. با توسعه‌ی شهرها نیاز به اجرای ساختمان‌های بلندمرتبه و به‌تبع آن عملیات گودبرداری با اعماق بیشتر به‌منظور تأمین پارکینگ و استفاده‌ی بهینه از زمین (مثلاً اجرای طبقات زیرزمین) افزایش یافته است. عموماً عملیات گودبرداری درون شهر مخاطراتی به همراه دارد. برای کاهش خطرات ناشی از گودبرداری باید به دنبال پایدارسازی و مهار دیواره‌ی گود بود. بدین منظور از روش های مختلفی استفاده می‌گردد تا جلوی هرگونه خسارات جانی و مالی ناشی از ناپایداری گود و به‌تبع آن تخریب و ریزش ساختمان مجاور گرفته‌شده و یا به حداقل ممکن کاهش یابد [۵]. بررسی و مطالعه‌ی گودبرداری با توجه به تنوع رفتار خاک و سازه‌های مجاور ذاتاً مسئله‌ی پیچیده‌ای است. این موضوع وقتی که وجود ساختمان بنایی فرسوده در مجاورت گود محرز باشد، با توجه به لزوم مهار و پایدارسازی هم زمان دیواره‌ی گود و سازهای مجاور پیچیده‌تر هم می‌شود. در این شرایط استفاده از روشی اجرایی و نسبتاً کم هزینه در مقایسه با سایر روش ها و درعین‌حال ایمن و نیز سازگار با شرایط بومی برای کنترل جابجایی، جلوگیری از تخریب و وقوع ترک در سازه‌ی بنایی فرسوده به همراه پایدارسازی گود در مجاورت آن ضروری به نظر می‌رسد. در تحقیق حاضر هدف ارائه‌ی روشی مطمئن و اجرایی برای پایدارسازی مجموعه‌ی سازه بنایی قدیمی و فرسوده از یک سو و دیواره‌ی گود از سوی دیگر که در مجاورت هم قرار گرفته‌اند به‌صورت هم زمان می‌باشد که با مدل‌سازی این مجموعه، تحلیل و طراحی انجام خواهد شد. در این تحقیق سازه نگهبان پیش‌بینی‌شده بر پایه‌ی سازه نگهبان مهار متقابل خواهد بود. در واقع سعی می‌شود کارایی سازه نگهبان تعریف‌شده برای این موضوع موردبررسی قرار گرفته و با کمک مدل‌سازی و تغییر در پارامترهای مد نظر، تأثیر پارامترهای مختلف مطالعه و بررسی گردد[۸].

سازه نگهبان پیش‌بینی‌شده بر پایه‌ی سازه نگهبان مهار متقابل است. مجموعه‌ی ساختمان مجاور، سازه نگهبان و دیواره‌ی گود با استفاده از نرم‌افزار ABAQUS مدل‌سازی و مطالعه پارامتریک می‌گردد. تأثیر سازه نگهبان پیشنهادی بر تغییر شکل های ناشی از گودبرداری با توجه مقادیر مجاز کنترل‌شده و با تغییر در پارامترهای مختلف، مناسب‌ترین شرایط سازه نگهبان برای محدود کردن جابجایی های قائم (نشست) و افقی زمین مجاور گود اعلام پیشنهاد می‌گردد. برای کنترل پاسخ ساختمان مجاور و وضعیت آسیب‌دیدگی آن در حالت های مختلف اجرای سازه نگهبان پیشنهادی، از روش اسکاستر و همکاران (۲۰۰۹) و پارامتر شاخص

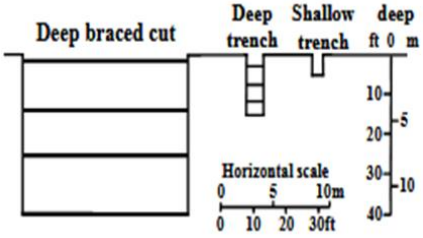
پتانسیل آسیب‌دیدگی، (DPI)، استفاده می‌شود. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که عملکرد سازه نگهبان پیشنهادشده برای کنترل تغییر مکان دیوارهای گود به تبع آن پایدارسازی گودبرداری و هم زمان با آن کنترل آسیب‌دیدگی ساختمان بنایی مجاور مناسب ارزیابی می‌گردد. هدف ما در این تحقیق بررسی کارایی روش مهار متقابل بعنوان روشی ارزان و ساده برای اجرای سازه نگهبان موردمطالعه تحقیق، در مقایسه با روش اجرای شمع میباشد که تغییرات پارامترهای مختلف و تأثیر بر میزان جابجایی افقی، نشست و تغییر شکل نسبی ساختمان مجاور، مورد بررسی و مقایسه قرار می‌گیرد.

۲- مبانی نظری

۲-۱- گودبرداری

گودبرداری و سازه نگهبان، یکی از مهم ترین بخش های طراحی و اجرای ساختمان ها، راهها، ترانشه ها و سازه های نظایر آن‌ها است. عدم دقت در طرح، محاسبه و اجرای گودبرداری‌ها و سازه های نگهبان مهار کننده در مناطق شهری و در مجاورت ساختمانها، می تواند خسارات جانی و مالی گسترده ای در پی داشته باشد[۱۱].

در بسیاری از پروژه های ساختمانی لازم است تا زمین را به گونه ای خاکبرداری کنیم که دیواره ها یا جداره های خاکی ایجادشده قائم یا نزدیک به قائم باشند. به این عمل گودبرداری اطلاق می‌شود. از لحاظ عملکرد، گودبرداری ها به دو دسته سطحی و عمیق تقسیم بندی می شوند. گودبرداری هایی با عمق بیش از شش متر، گودبرداری عمیق اطلاق می‌شود. ترانشه های سطحی و عمیق به ترتیب تا عمق ۱/۸ متر و شش متر تعریف می شوند[۹].



شکل۱- تعاریف گودبرداری [۹]

گودبرداری به روش‌های زیر انجام می‌شود:

الف) گودبرداری در زمین‌های نامحدود

منظور از زمین‌های نا محدود، زمین نسبتا وسیعی است که اطراف آن هیچگونه ساختمانی نباشد. برای گودبرداری این گونه زمین‌ها از ماشین‌آلاتی مانند بیل مکانیکی، لودر و غیره استفاده می‌شود و خاک با شیب متناسب برداشته می‌شود. خاک‌های حاصل از گودبرداری با کامیون به خارج از ساختمان حمل می‌شود.

چنانچه عمق گودبرداری نسبتا زیاد باشد گودبرداری در لایه‌های مختلف و به تدریج انجام می‌گیرد تا به عمق زمین پیشبینی شده برسد.

ب)گودبرداری در زمین‌های محدود

منظور از زمین‌های محدود، زمین‌های نسبتا کوچکی است که اطراف آن‌ها ساخته شده باشد. در این زمین‌ها چنانچه گودبرداری از سطح پی زمین همسایه پایین‌تر باشد برای جلوگیری از رانش جانبی خاک باید از سازه‌های نگهبان استفاده نمود[۱۳].

۲-۲- تقسیم بندی انواع گودها از لحاظ پایداری

از نظر پایداری میتوان گودهای مختلف را به دو دسته مهار شده و مهارنشده به‌صورت زیر تقسیم کرد:

۱- گود مهاربندی نشده:

این نمونه از گودها با توجه به شرایط نوع خاک و عمق گود بدون استفاده از هیچ گونه سیستم حائل و مهار در شرایط طبیعی باقی میماند.

۲-گود مهاربندی شده:

این نوع گودبرداری ها در صورت عدم استفاده از سیستم حائل و مهار در شرایط طبیعی پایدار نیست و نیاز به اجرای سیستم های حائل و مهار دارد [۱۲].

۲-۳- روش های پایدارسازی گودها

سیستم پایدارسازی گودها یا همان سازه نگهبان جهت پایدارسازی لغزشهای خاک، محدودسازی تغییرشکل دیواره ها و حفاظت از سازه های مجاور محوطه گود، ایجاد امکان گودبرداری قائم و ایجاد فضای لازم جهت اجرای فونداسیون و سازه اصلی بکار برده می شوند[۱۴].

شرفی و سجودی در سال ۱۳۹۷، به بررسی پژوهشی با عنوان مطالعه رفتار خاک در شیب های خاکی غیر مسلح و مسلح شده با شمع پرداختند. در این پژوهش تأثیر استفاده از شمع در پایداری و تغییر شکل های ایجادشده در شیب‌ها با استفاده از مدلهای فیزیکی و عددی موردمطالعه قرار گرفته است. برای بررسی الگوی تغییر شکل‌های ایجادشده در شیب از روش تصویری PIV استفاده شده است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهند که وجود لایه نازکی از خاک ضعیف تأثیر عمده‌ای در سازوکار گسیختگی و پایداری شیب‌ها دارد. همچنین بهینه موقعیت نصب شمع برای افزایش پایداری شیب متفاوت از بهینه موقعیت آن برای افزایش ظرفیت باربری پی‌های مستقر بر تاج شیب می‌باشد و در شیب‌هایی که در حالت اولیه بدون اعمال سربار ضریب اطمینان پایداری آن‌ها بیشتر از یک می‌باشد[۷].

دیده بان و پاکنژادی در سال ۱۳۹۸، به بررسی تأثیر مکان شمع، طول شمع و شرایط سرشمع بر تقویت و تثبیت شیروانی های خاکی غیرهمگن پرداختند. در این تحقیق به بررسی اثر تغییر پارامتر های موثر بر پایداری شیروانی خاکی غیر همگن تقویت شده با شمع تحت تحریک لرزه ای و رسیدن به بهترین حالت پایداری پرداخته شده است. برای انجام این تحقیق، با توجه به انعطاف پذیرتر و عمومی تر بودن روش اجزا محدود نسبت به سایر روش های قدیمی، بامدلسازی به کمک نرم‌افزار المان محدود آباکوس و روش کاهش مقاومت برشی مطالعات پارامتریک با تغییر پارامترهای موثر بر پایداری، مانند وضعیت قرارگیری نوع خاک در لایه ها و همچنین مکان، طول وشرایط سر شمع پرداخته شده و اثر هرکدام برتغییرات ضریب اطمینان پایداری شیروانی در برابر بار لرزه‌ای نیز ارائه‌شده است که در نهایت حالت بهینه ای برای سیستم شیب/شمع بدست آمده است. افزایش طول شمع تا طول بحرانی موجب افزایش پایداری لرزه ای شیروانی(تا مرز ۳۵ درصد) شد اما هنگامی که طول شمع از طول بحرانی بیشتر شد، ضریب اطمینان شیروانی تقریبا به مقدار ثابتی میل کرد. همچنین استفاده از شمع در نزدیکی پنجه و تاج شیروانی باعث بهبود کمتر از ۲۱ درصدی ولی استفاده ی آن با فاصله از پنجه و تاج منجر به بهبود بیش از ۳۱ درصدی در عملکرد لرزه ای شیروانی شد. در یک طول مشخص ۲۱ متری از شمع، استفاده از شمع در حالت سر گیردار در میانه ی شیروانی باعث بهبود ضریب اطمینان به مقدار ۵۵ درصد شد ولی در حالت سر آزاد، این مقدار برابر ۲۱ درصد بود که نشان از برتری سرگیردار می‌دهد[۶].

عبدالعزیز[1] و همکاران در سال ۲۰۱۷، به بررسی پژوهشی با عنوان اثر پارامترهای شمع بر ایمنی شیب های انباشته شده با استفاده از تحلیل عددی سه بعدی پرداختند. در این پژوهش به بررسی یک مدل عنصر محدود سه بعدی در شیب های تثبیت شده با شمع پرداخته شده. در این پژوهش مدل سه بعدی برای بررسی اثر پارامترهای مختلف بر فاکتور ایمنی (FS^{2}) دامنه ها مورداستفاده قرار گرفت. این پارامترها شامل موقعیت شمع از بالای شیب (h)، دامنه شمع از عمودی (I)، طول شمع (L) و قطر شمع (D) می‌باشد. با توجه به نتایج به‌دست آمده با افزایش قطر و طول شمع فاکتور ایمنی (FS) دامنه ها افزایش می یابد[۵۳].

پراین و همکارش[3] در سال ۲۰۱۸، به بررسی پژوهشی با عنوان تجزیه و تحلیل شمع های تثبیت کننده شیب با تکنیک کاهش قدرت برشی پرداختند. در این پژوهش حالت محدود کننده نهایی(ULS^{4}) در ردیف های شمع مستمر و انقباضی در شیب خاک با استفاده از تحلیل های دو بعدی و سه بعدی بررسی و سپس رفتارهای مختلف یک شمع در یک ردیف بین یک دیوار پیوسته و شمع جداسازی در عمق تحلیل شدند، با توجه به نتایج به‌دست آمده اثرات تنش زمینی، ارزش اصطکاک باقی مانده بر روی سطح لغزش و فاصله انفجار بر رفتار شمع تأثیر دارند[۱۰].

پاک[5] و همکاران در سال ۲۰۱۹، در پژوهشی به بررسی عددی گودبرداری های عمیق با استفاده از روش نیلینگ خاک پرداختند. در این پژوهش تعداد زیادی از مطالعات پارامتری برای بررسی پایداری کاوش های عمیق با هندسه های مختلف انجام‌شده و نتایج به‌دست آمده در قالب نمودارها و جداول طراحی نشان داده شده است. همچنین با استفاده از نتایج شبیه سازی های عددی و استفاده از الگوریتم متا اکتشافی، یک معادله ساده شده برای پیش‌بینی انحراف گودبرداری های عمیق به‌منظور افزایش اقدامات ایمنی در هنگام ساخت و تثبیت خاکبرداری تهیه شده است[۱۵].

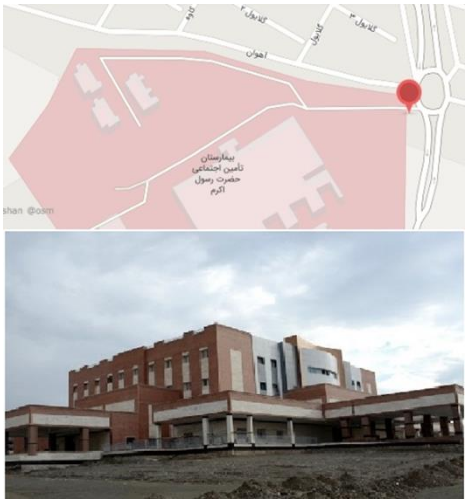
۳- روش تحقیق

در این پژوهش به بررسی روش گودبرداری با سازه نگهبان به طریق متقابل پرداخته می‌شود. این پژوهش بر اساس روش های کتابخانه‌ای، نرم‌افزاری انجام می‌شود. در روش این پژوهش برای ارزیابی رفتار تأثیر پارامترها در گودبرداری از روش عددی جهت تحلیل محیط خاک، گود و سازه نگهبان استفاده می‌شود، همچنین به بررسی جابجایی خاک، سازه مجاور با نرم‌افزار آباکوس پرداخته می‌شود.

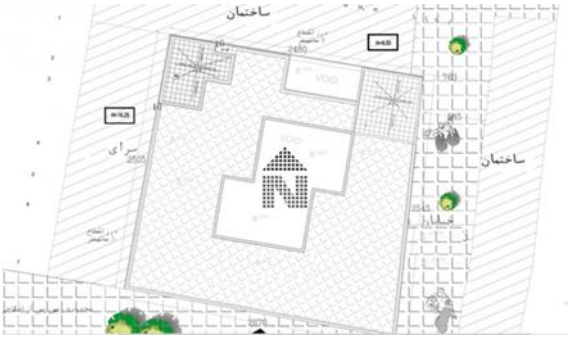
1- Abdelaziz, etal
2- Factor of safety
3- Pirone & Urciuoli
4- ultimate limit state
5- Pak, etal

۳-۱- معرفی پروژه مطالعاتی، دیواره گودبرداری بیمارستان تأمین اجتماعی خرم‌آباد

بیمارستان تأمین اجتماعی حضرت رسول اکرم (ص) (محله گلدشت شرقی، خرم‌آباد) که از بیمارستان‌های دولتی شهر خرم‌آباد است .این بیمارستان در سال ۱۳۷۴ افتتاح گردیده است و با ۲۵۶ تخت و شش اتاق عمل با تجهیزات کامل و مدرن، بزرگ‌ترین و مجهزترین بیمارستان عمومی استان لرستان و یکی از بزرگ‌ترین مراکز درمانی غرب کشور است.



شکل۲- نقشه هوایی موقعیت پروژه موردمطالعه



شکل ۳- ابعاد زمین در محل پروژه بیمارستان

این گودبرداری به‌وسیله میخکوبی به‌طور موقت و قبل از اجرای سازه اصلی پایدار گردید. در زمان اجرای میخکوبی و هم‌زمان با پیشرفت مراحل گودبرداری تغییر مکان‌های بالای دیواره از طریق عملیات نقشه‌برداری دوره‌ای (هفته‌ای یک‌بار) مورد بازبینی قرارگرفته است. کنترل تغییر شکل‌های افقی و قائم بالای دیواره برای ضلع شمالی به دلیل زاویه قائمه دیواره، مستحدثات فوقانی و عمق زیاد خاک‌برداری، از حساسیت بیشتری برخوردار بوده و مقادیر تغییر شکل در این ضلع نسبت به اضلاع دیگر بیشتر می‌باشد. در جدول (۱) مشخصات خاک محل در عمق‌های مختلف آمده است.

جدول ۱- پارامترهای خاک موردنیاز پروژه جهت مدل‌سازی با استفاده از معیار موهر-کولمب

نام	عمق قرارگیری (m)	وزن مخصوص (kN/m^3)	ضریب پواسون ν	مدول الاستیک (E)(MPa)	چسبندگی (c)(kN/m^2)	زاویه اصطکاک(^{o})	SPT
لایه ۱ (خاک دستی)	۰-۲	۱۸/۷	۰/۳۵	۲۰۰	۵	۳۰	۵-۲۰
لایه ۲ (ماسه رس و لای دار متوسط)	۲-۹	۱۹	۰/۴	۳۲۵	۱۰	۳۲	۱۵-۴۰
لایه ۳ (رس‌ماسه دار سفت تا بسیار سفت)	۹-۱۷	۱۹/۵	۰/۳۵	۳۶۰	۷۰	۱۴	۲۰-۴۰
لایه ٤ (رس‌ماسه دار بسیار سفت تا سخت)	>۱۷	۲۰	۰/۳	۵۵۰	۹۰	۱۶	۳۵-۵۰

برای مدل‌سازی ساختمان مجاور از رفتار الاستیک خطی استفاده‌شده است. مدل الاستیک خطی قانون هوو الاستیک خطی را بیان می‌کند. این مدل شامل دو پارامتر سختی الاستیک (پارامتر مدول یانگ) E و ضریب پواسون، ν، می‌باشد. مدل الاستیک اصولاً برای شبیه‌سازی رفتار خاک خیلی محدود شده است،

همچنین این مدل عمدتاً برای سازه‌های مقاوم در خاک استفاده می‌شود. در این پروژه برای تحلیل رفتار اعضای سازه نگهبان و ساختمان مجاور گود، مدل رفتاری الاستیک خطی بکار برده شده است.

مشخصات مصالح استفاده‌شده در این پروژه برای ساختمان بنایی بر پایه‌ی نتایج کارهای آزمایشگاهی گودرزی (۱۳۸۶) بر روی سازه بنایی فرسوده می‌باشد. در ادامه مشخصات مصالح این نوع ساختمان که از نمونه‌برداری در بخش های مختلف ساختمان و انجام کار آزمایشگاهی بر روی آن‌ها حاصل‌شده در جدولی ارائه شده است. در تحقیق حاضر از مشخصات مصالح هوازده برای مدل رفتاری ساختمان استفاده گردید.

جدول ۲- پارامترهای مدل رفتاری ساختمان

نوع مصالح	□	E(GPa)	C(MPa)	ν	□
مصالح اصلی	۲۰	۶	۰/۱۵	۰/۲۵	۳۲
مصالح هوازده	۱۸	۴/۸	۰/۱۲	۰/۲۸	۳۰

در مورد سازه نگهبان رفتار به‌صورت الاستیک در نظر گرفته‌شده و مشخصات مصالح نیز بر پایه‌ی مصالح فولاد و نیز مقاطع مشخص فولادی – بسته به عمق و نتایج تحلیل – تعریف و اعمال شده است. در ABAQUS واحد پارامترهای EA و EI به ترتیب به‌صورت KN/ m و $KN. m^2 / m$. در نظر گرفته‌شده است، لذا باید مقادیر مربوطه‌ی به‌دست‌آمده تقسیم بر فاصله‌ی بین دو سازه نگهبان شود (به عبارتی سطح بارگیر یک قاب) تا نتایج منطقی‌تری حاصل شود. به‌عنوان مثال با فرض فاصله‌ی ۴ متر بین قاب ها، هر عضو قائم ۲ متر از سمت راست و ۲ متر از سمت چپ، فشار رانش خاک را باید تحمل کند. با تغییر فاصله باید محاسبات را نیز بر مبنای فاصله جدید قاب ها تغییر داد. این محاسبات برای مقاطع IPB18 و IPB20 بافاصله ۴ متر به‌عنوان نمونه انجام‌گرفته و نتایج ارائه شده است. توجه داشته باشیم که با توجه به این که عضو قائم از سمت حول محور قوی بر خاک تکیه داده می‌شود، لذا از قوی تر در محاسبات استفاده می‌شود.

۳-۲- ویژگی مدل موردمطالعه

عرض و عمق گود موردمطالعه به ترتیب ۱۲ و ۱۳ متر می‌باشد. طول گود زیاد فرض شده و در نتیجه مسئله را می‌توان در حالت کرنش صفحه‌ای در نظر گرفت. با توجه به تقارن، نیمی از مسئله مدل‌سازی شده است. در مدل، ارتفاع لایه‌ی اول ۱۳ متر و لایه‌ی دوم ۱۷ متر می‌باشد و طول مدل به مقدار کافی بزرگ در نظر گرفته‌شده است که در مدل‌سازی این پژوهش ۵۰ متر می‌باشد. در مدل‌سازی صورت گرفته جهت مدل کردن سیستم – های سازه نگهبان، برای المان مهار متقابل، المان های خرپا و شمع از المان plate استفاده‌شده است. شمع مجاور گود، ۱/۵ متر از لبه‌ی گود فاصله دارد و بار KN /m^2 ۲۰ به فاصله‌ی یک متر از لبه‌ی گود و با عرض ۶ متر اعمال شده است.

جدول ۳- مشخصات مصالح مصرفی

SteelSt37	Data
7698	وزن در واحد حجم (Kg/m^3)
797	جرم در واحد حجم (Kg/m^3)
2.039E+10	مدول الاستیسیته،E(pa)
0.3	ضریب پواسون،U
1.213E-05	ضریب انبساط حرارتی A
7.842E+09	مدول برشی،G(pa)
24000000	تنش تسلیم Fy(Kg/m2)
37000000	تنش گسیختگی (نهایی)Fu(Kg/m2)

در تحقیق حاضر تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و شبیه سازی پژوهش با استفاده از نرم‌افزار آباکوس انجام می‌شود.

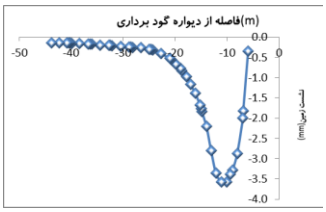
۴- تجزیه و تحلیل داده ها

۴-۱- نتایج به‌دست‌آمده از سازه نگهبان به روش اجرای شمع

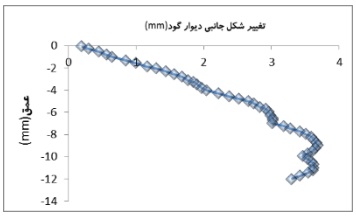
همان‌طور که در نمودار ۱ مشاهده می‌گردد بیشترین نشست در سیستم سازه‌ی نگهبان به روش اجرای شمع به مقدار ۳/۶ میلی‌متر در فاصله ۱۱/۵ متری از مبدأ و فاصله ۵/۵ متری از دیواره گود اتفاق می‌افتد.

در نمودار ۲ مشاهده می‌گردد بیشترین مقدار تغییر شکل جانبی دیواره گود به مقدار ۳/۹ میلی‌متر در عمق ۹/۱ متری از سطح زمین رخ می‌دهد.

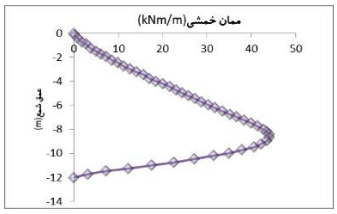
و در نمودار ۳ مشاهده می‌شود که بیشترین ممان خمشی در سیستم سازه‌ی نگهبان به روش اجرای شمع به مقدار kNm/m ۴۵/۵۲ می‌باشد.



نموار۱- نشست زمین در سیستم سازه‌ی نگهبان به روش اجرای شمع

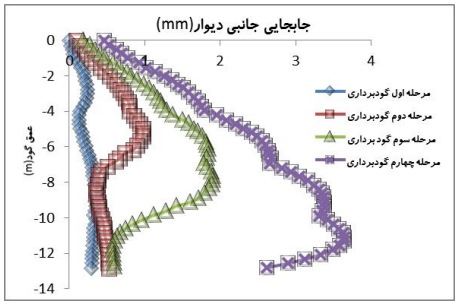


نمودار۲- تغییر شکل جانبی دیوار گود در سیستم سازه‌ی نگهبان به روش اجرای شمع



نمودار ۳- ممان خمشی شمع در سیستم سازه‌ی نگهبان به روش اجرای شمع

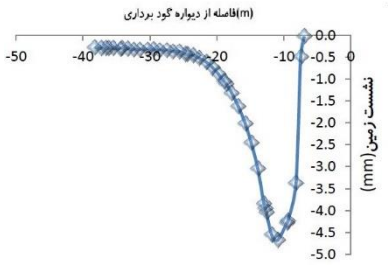
همان‌طور که در نمودار ۴ مشاهده می‌شود افزایش مقدار جابجایی جانبی دیوار گود با پیشرفت روند گودبرداری مشاهده می‌گردد.



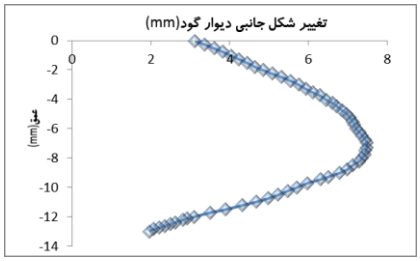
نمودار ٤- تغییر شکل جانبی دیوار گود در هر مرحله گودبرداری در سیستم سازه‌ی نگهبان به روش اجرای شمع

۴-۲- نتایج به‌دست‌آمده از سازه نگهبان به روش مهار متقابل

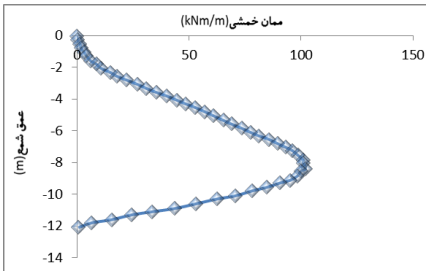
همان‌طور که در نمودار ۵ مشاهده می‌گردد بیشترین نشست در سیستم سازه‌ی نگهبان به روش به روش مهار متقابل به مقدار ۴/۷ میلی‌متر در فاصله ۱۲/۱ متری از مبدأ و فاصله ۵/۹ متری از دیواره گود اتفاق می‌افتد. در نمودار ۶ مشاهده می‌گردد بیشترین مقدار تغییر شکل جانبی دیواره گود در سیستم سازه‌ی نگهبان به روش مهار متقابل به مقدار ۷/۱ میلی‌متر در عمق ۸ متری از سطح زمین رخ می‌دهد و همان‌طور که در نمودار ۷ مشاهده می‌شود بیشترین ممان خمشی در سیستم سازه‌ی نگهبان به روش مهار متقابل به مقدار kNm/m ۱۰۳/۲۲ می‌باشد. در نمودار ۸ مشاهده می‌شود افزایش مقدار جابجایی جانبی دیوار گود با پیشرفت روند گودبرداری مشاهده می‌گردد.



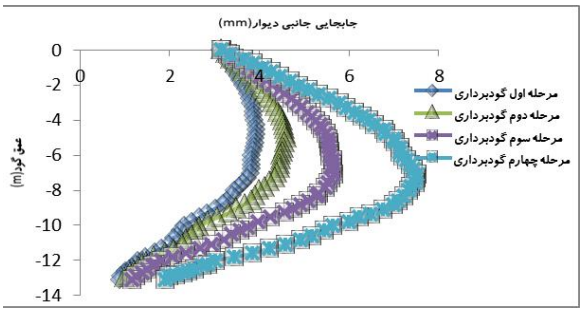
نمودار ٥- نشست زمین در سیستم سازه‌ی نگهبان به روش مهار متقابل



نمودار ٦- تغییر شکل جانبی دیوار گود در سیستم سازه‌ی نگهبان به روش مهار متقابل



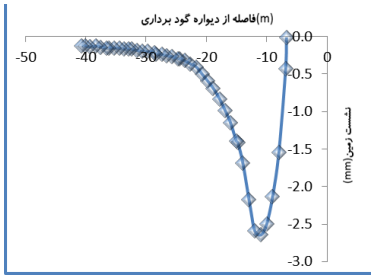
نمودار ۷- ممان خمشی در شمع در سیستم سازه‌ی نگهبان به روش مهار متقابل



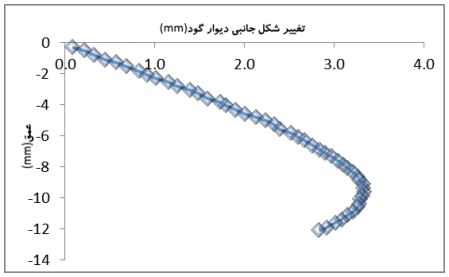
نمودار ۸- تغییر شکل جانبی دیوار با پیشرفت روند گودبرداری در سیستم سازه‌ی نگهبان به روش مهار متقابل

۴-۳- نتایج به‌دست‌آمده از روش پیشنهادی ترکیب مهار متقابل و اجرای شمع

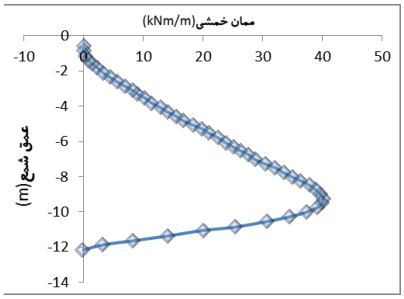
همان‌طور که در نمودار ۹ مشاهده می‌گردد بیشترین نشست در سیستم سازه‌ی نگهبان به روش به روش ترکیب شمع و مهار متقابل به مقدار ۲/۶ میلی‌متر در فاصله ۵۵/۱ متری از مبدأ و فاصله ۵/۱ متری از دیواره گود اتفاق می‌افتد. در نمودار ۱۰ مشاهده می‌گردد بیشترین مقدار تغییر شکل جانبی دیواره گود در سیستم سازه‌ی نگهبان به روش ترکیب شمع و مهار متقابل به مقدار ۳/۴ میلی‌متر در عمق ۹/۸ متری از سطح زمین رخ می‌دهد. همان‌طور که در نمودار ۱۱ مشاهده می‌شود بیشترین ممان خمشی در سیستم سازه‌ی نگهبان به روش ترکیب شمع و مهار متقابل به مقدار ۴۲/۵۵kNm/m می‌باشد. که در نمودار ۱۲ مشاهده می‌شود افزایش مقدار جابجایی جانبی دیوار گود با پیشرفت روند گودبرداری مشاهده می‌گردد.



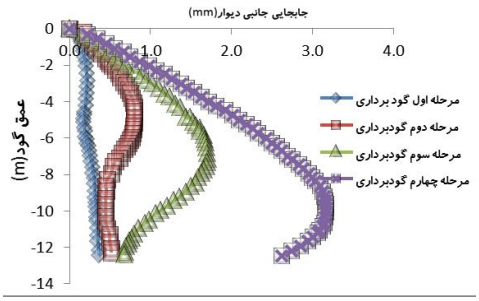
نمودار ۹- نشست زمین در سیستم سازه‌ی نگهبان به روش ترکیب شمع و مهار متقابل



نمودار ۱۰- تغییر شکل جانبی دیوار گود در سیستم سازه‌ی نگهبان به روش ترکیب شمع و مهار متقابل



نمودار ۱۱- ممان خمشی در شمع در سیستم سازه‌ی نگهبان به روش ترکیب شمع و مهار متقابل



نمودار ۱۲- تغییر شکل جانبی دیوار در مراحل مختلف گودبرداری در سیستم سازه‌ی نگهبان به روش ترکیب شمع و مهار متقابل

۵- نتیجه گیری

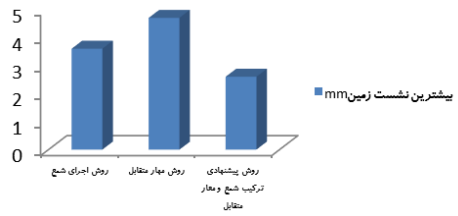
هدف از انجام این پژوهش بررسی عددی گودبرداری در مجاور سازه‌های متکی به سازه نگهبان به روش مهار متقابل و سازه نگهبان به روش اجرای شمع و مقایسه نتایج روش‌ها و در پایان پیشنهاد روش ترکیبی از دو روش فوق و استخراج و مقایسه نتایج حاصله می‌باشد. در این راستا ابتدا مبانی و روابط مربوط به شمع ها و ظرفیت باربری آن‌ها بیان شد. جهت تحقق هدف در این پژوهش از نرم‌افزار المان محدود آباکوس استفاده‌شده است. بر این اساس مدل سه بعدی حالت کرنش مسطح گودبرداری ساخته شد. در انتها با مقایسه‌ی تغییر شکل ها و نشست سطح زمین در مدل ساخته‌شده باهم مقایسه شد. مدل‌سازی گودی با ابعاد ۱۲ متر عرض و ۱۳ متر عمق، با استفاده از پارامترهای مکانیکی خاک پروژه‌ای در شهر خرم‌آباد (بیمارستان تأمین اجتماعی) آغاز شد.

در این مطالعه با توجه به محدودیت هایی که اجرای بعضی از سازه نگهبان ها داشتند، مانند لزوم استفاده از بدنه خاک مجاور دیواره‌ی گود، لزوم استفاده از دستگاه‌های خاص با تکنولوژی پیشرفته و یا دستگاه‌هایی با نیاز به فضای کار زیاد، اجرای سه سازه نگهبان به روش مهار متقابل، اجرای شمع و روش پیشنهادی ترکیب روش مهار متقابل و اجرای شمع موردبررسی قرار گرفت و مقدار جابجایی جانبی دیوار گود، نشست سطح زمین، ممان خمشی ایجادشده در سازه مقاوم قائم مجاور گود، محل تغییر شکل بیشینه و نشست بیشینه به‌دست آمد.

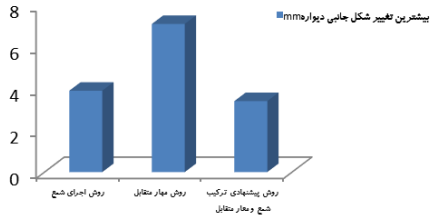
با توجه به محدودیت ها و مزایای موجود برای این سه سازه نگهبان درصورتی‌که مجاور گود سازهای متکی به شمع وجود داشته باشد و یا دسترسی به‌طرف مقابل پی مقدور نباشد و عدم شناخت روشی که بتوان با سازه‌های نگهبانی جابجایی دیوار را به صفر رساند، سازه نگهبان ترکیبی موردتوجه بیشتری قرار گرفت. ازآنجایی‌که بررسی فشار همه‌جانبه‌ی شمع مجاور گود دارای اهمیت بسیاری می‌باشد، انتخاب و اجرای سازه نگهبان مستلزم حفظ مقدار ضریب فشار جانبی خاک مجاور گودبرداری می‌باشد؛ بنابراین خاک مجاور گود باید دستخوش کمترین تغییرات ممکن شود.

بررسی ضریب فشار جانبی خاک مجاور گود در سیستم سازه نگهبان مهار متقابل نتیجه‌ی مطلوبی را جهت حفظ این ضریب در مجاور گود نشان نمی‌دهد. با ایجاد تغییراتی در سازه‌ی مهار متقابل و اضافه کردن یک المان‌های قائم (شمع) و المان های افقی و قطری بین دو شمع، نتایج بهتری دریافت گردید.

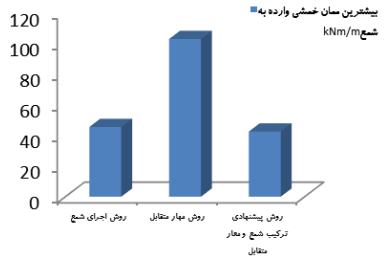
قابل‌ذکر است نتایج زیر برای شرایط مذکور و گود معرفی‌شده می‌باشد و در گودهای دیگر ممکن است باوجود پارامترهای متفاوت، مقادیر ذکرشده در نتایج متفاوت باشند.



شکل٤- نمودار مقایسه بیشترین نشست زمین در روش‌های سازه‌های نگهبان موردتحقیق



شکل٥- نمودار مقایسه بیشترین تغییر شکل جانبی در روش‌های سازه‌های نگهبان موردتحقیق



شکل٦- نمودار مقایسه بیشترین ممان خمشی وارده به شمع در روش‌های سازه‌های نگهبان موردتحقیق

- در سه روش گودبرداری مورد ارزیابی قرارگرفته که شامل سیستم سازه نگهبان مهار متقابل، سیستم سازه نگهبان به روش اجرای شمع و روش اجرای شمع همراه با مهار، بیشترین مقدار نشست مربوط به سیستم سازه نگهبان مهار متقابل و کمترین مقدار نشست مربوط به سیستم اجرای شمع همراه با مهار متقابل (ترکیبی) می‌باشد.
- در بین سه روش فوق بیشترین مقدار جابجایی جانبی دیواره‌ی گود مربوط به سیستم سازه نگهبان مهار متقابل و کمترین مقدار مربوط به روش اجرای شمع همراه با مهار متقابل می‌باشد.

- در بین سه روش، بیشترین مقدار ممان خمشی به وجود آمده در شمع سازه‌ی مجاور مربوط به سیستم سازه نگهبان مهار متقابل و کمترین مقدار مربوط به روش اجرای شمع همراه با مهار متقابل می‌باشد.
- همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌گردد استفاده از روش ترکیبی شمع و مهار متقابل باعث کاهش ۴۴٪ درصدی نشست زمین نسبت به روش مهار متقابل و کاهش ۲۷٪ درصدی نشست زمین نسبت به روش اجرای شمع می‌گردد.
- در شکل ۵ مشاهده می‌گردد استفاده از روش ترکیبی شمع و مهار متقابل باعث کاهش ۵۲٪ درصدی تغییر شکل جانبی دیواره گود نسبت به روش مهار متقابل و کاهش ۱۲٪ درصدی تغییر شکل جانبی دیواره گود نسبت به روش اجرای شمع می‌گردد.
- همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌گردد استفاده از روش ترکیبی شمع و مهار متقابل باعث کاهش ۵۸٪ درصدی ممان خمشی وارده به شمع نسبت به روش مهار متقابل و کاهش ۸٪ درصدی ممان خمشی وارده به شمع نسبت به روش اجرای شمع می‌گردد.

منابع

۱. ابراهیمی، ب، ۱۳۹۶، تحلیل لرزه ای دیوار خاک مسلح ژئوگریدی، دانشگاه زنجان، دانشکده فنی مهندسی گروه عمران
۲. اجرایی، م ح، ۱۳۹۵، اصول گودبرداری و ایمنی گود، بازرس کار اداره تعاون ،کار و رفاه اجتماعی شهرستان شیراز
۳. بلوری، ج، جلیلیان، ح، ۱۳۹۷، ظرفیت باربری پی های مسلح شده با ریزشمع، مجله علمی پژوهشی عمران مدرس، دوره شانزدهم، شماره ۲، تیر ۱۳۹۷.
۴. حمزه نژادی، ا ، ۱۳۹۷، بهینه یابی آرایش ژئوگریدها در شیروانی های خاکی با استفاده از الگوریتم ژنتیک، دانشگاه شهید باهنر کرمان
۵. حیاتی، م، خزایی،ج ،۱۳۹۶، تحلیل استاتیکی و اندرکنشی ساختمان بنائی- دیواره‌ی گودبرداری و سازه نگهبان، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران ،دانشگاه رازی،دانشکده فنی مهندسی.
۶. دیده بان، س ،پاکنژادی، ع، ۱۳۹۹، تأثیر مکان شمع، طول شمع و شرایط سرشمع بر تقویت و تثبیت شیروانی های خاکی غیرهمگن، فصلنامه تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری، دوره ۳، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، ص ۲۱-۳۳.
۷. شرفی، ح، سجودی، ی، ۱۳۹۷، مطالعه رفتار خاک در شیب های خاکی غیر مسلح و مسلح شده با شمع، نشریع مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تبریز.
۸. شریف، ف، محسنی، ا، ۱۳۹۸، بررسی عددی ضریب اطمینان پایداری شیروانی های خاکی مسلح شده با شمع با استفاده از نرم‌افزار plaxix، چهارمین کنفرانس ملی نقش تکنولوژی و فناوری های پایدار در مهندسی عمران و معماری.
۹. فرخی، ف، کفاش، ن، روحانی، ع، ۱۳۹۹، بررسی پایداری شیروانی خاکی مسلح شده با شمع و عوامل موثر بر ضریب اطمینان، ششمین کنفرانس ملی و دومین کنفرانس بین المللی مصالح و سازه های نوین در مهندسی عمران.
10. Abdelaziz, A., Hafez, D., & Hussein, A. (2019). The effect of pile parameters on the factor of safety of piled-slopes using 3D numerical analysis. HBRC journal, 13(3), 277-285.
11. Brevik, E. C., Cerdà, A., Mataix-Solera, J., Pereg, L., Quinton, J. N., Six, J., & Van Oost, K. (2015). The interdisciplinary nature of SOIL. Soil, 1(1), 117-129.
12. Chen, Y. H., Zhang, W. L., Zhao, L. Y., & Peng, Z. H. (2018). Field in-situ stabilization of bored pile mud: Engineering properties and application for pavement. Construction and Building Materials, 165, 541-547.
13. Erber, G., Routa, J., Kolstrom, M., Kanzian, C., Sikanen, L., & Stampfer, K. (2014). Comparing two different approaches in modeling small diameter energy wood drying in logwood piles. Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering, 35(1), 15-22.
14. redj, M., Hafsaoui, A., Khedri, Y., Boukarm, R., Nakache, R., Saadoun, A., & Menacer, K. (2017, July). Study of Slope Stability (Open Pit Mining, Algeria). In International Congress and Exhibition" Sustainable Civil Infrastructures: Innovative Infrastructure Geotechnology" (pp. 1-11). Springer, Cham.
15. Pak, A., Maleki, J., Aghakhani, N., & Yousefi, M. (2020). Numerical investigation of stability of deep excavations supported by soil-nailing method. Geomechanics and Geoengineering, 1-18.