Archive of SID

بهینه‌سازی ظرفیت باربری و نشست تفاضلی گروه شمع قائم با استفاده از الگوریتم ژنتیک

سعید غفارپور جهرمی[1*]، عبدالله حسینی[2]

۱- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران
۲- کارشناس ارشد مهندسی ژئوتکنیک، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

چکیده

طول شمع‌ها در اغلب گروه‌های شمع، بصورت مساوی انتخاب و اجرا می‌شوند در حالیکه اندرکنش بین شمع‌ها نشان می‌دهد که این روش و شکل اجرا، همواره بهینه‌ترین و بهترین گزینه ممکن جهت دستیابی به ظرفیت باربری مناسب با کمترین نشست و جابجایی نمی‌باشد. در این مقاله بهینه‌سازی ظرفیت باربری، سختی محوری و نشست تفاضلی کلاهک در یک گروه شمع، با هندسه و طول متفاوت مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. روش بهینه‌سازی مورد استفاده در این تحقیق برای یک گروه شمع با ظرفیت باربری اصطکاکی قابل کاربرد است. معیار بهینه‌سازی در این پژوهش، کاهش حجم بتن مصرفی در اجرای کلاهک و گروه شمع است که برای مقاصد اقتصادی و زیست محیطی می‌تواند بسیار مفید باشد چرا که با مصرف مصالح کمتر و به دنبال آن هزینه کمتر، گروه شمع می‌تواند عملکرد مورد انتظار را از نظر ظرفیت باربری و نشست نشان دهد. در این مقاله گروه شمع ۵×۵ با آرایش مربعی و سطری مورد بررسی قرار می‌گیرند و بهینه‌سازی با بهره‌گیری از الگوریتم تکاملی ژنتیک انجام شده و برای تحلیل ظرفیت باربری شمع‌ها از نرم‌افزار اجزاء محدود Fb-Pier استفاده شده است.

کلمات کلیدی: گروه شمع، بهینه‌سازی، ظرفیت باربری، نشست گروه، الگوریتم ژنتیک

*نویسنده مسئول: سعید غفارپور جهرمی
پست الکترونیکی: saeed_ghf@srttu.edu

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹٤/۰۷/۲۹، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۳/۱٦

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

شالوده‌های گروه شمع به طور مرسوم با درنظرگرفتن ضرایب اطمینان بزرگی برای شمع‌ها طراحی می‌شوند و همچنین معیار اصلی در طراحی این پی‌ها ظرفیت باربری گروه می‌باشد. الگوی قرارگیری شمع‌ها به طریقی می‌باشد که قادر به تحمل بار وارده از سازه بالایی باشند. در این شالوده‌ها گروه شمع توسط کلاهک به هم متصل می‌شوند، اگرچه کلاهک در تماس مستقیم با خاک می‌باشد ولی اندرکنش آن با خاک و نقش آن در مشارکت در ظرفیت باربری گروه غالبا در طراحی درنظر گرفته نمی شود [۱]. یکی از موثرترین روش‌ها برای افزایش ظرفیت باربری شالوده‌های رادیه استفاده از شمع در زیرآن‌ها می‌باشد، این سیستم مشهور به پی سطحی شمع‌دار(PRF) می‌باشد [۲]. پی سطحی شمع‌دار یک مفهوم جدید در طراحی شالوده ها می‌باشد که برای کاهش نشست سازه بالایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش طراحی در پی سطحی شمع‌دار با روش‌های سنتی تفاوت داشته، که در آنها فرض می‌شد بارها توسط کلاهک یا شمع ها تحمل شده و برای هرکدام یک ضریب اطمینان در نظر گرفته می‌شد. ولی در طراحی پی‌های سطحی شمع‌دار فرض می‌شود که باربین پی سطحی و شمع ها تقسیم شده و شمع ها برای میزان باری مورد استفاده قرار می گیرند که برابر حداکثر ظرفیت باربری تک شمع و گاهی مواقع از ظرفیت باربری تک شمع هم تجاوز می نماید [۲و۳]. بنابراین با توجه به موارد ذکر شده در بالا پی‌های سطحی شمع دار مقادیر نشست حداکثر و نشست تفاضلی را به طور کاملا اقتصادی در مقایسه با شالوده‌های شمعی مرسوم کاهش می‌دهند. در پیشرفت های اخیر در طراحی پی سطحی شمع دار شمع ها ملزم به حفظ پایداری کلی شالوده نبوده و تنها به عنوان عناصر کاهش دهنده نشست مورد استفاده قرار می‌گیرند. دراین سیستم پی سطحی شمع‌دار دارای ظرفیت باربری کافی بوده بنابراین هدف اصلی استفاده از شمع کنترل و کاهش نشست متوسط و نشست تفاضلی شالوده بوده و مشارکت در ظرفیت باربری زیاد مطرح نیست [٤و٥]. طراحی و اجرای شالوده‌های عمیق اغلب به صورت گروهی از شمع با طول و قطر مساوی و بصورت متقارن انجام می‌شود که علت آن تسهیل در نصب و اجرای شمع و همچنین سادگی روش‌های تحلیل و طراحی شمع‌های با طول و قطر یکسان است [٦]. معروفترین روش تحلیل این گروه از شمع، روش ضریب اندرکنش معرفی شده توسط پولوس (Poulos) در سال ۱۹٦۸ و روش تحلیلی معرفی شده توسط راندولف (Randolph) و وُرث (Wroth) در سال ۱۹۷۹ می‌باشد [۷]. همچنین به طور مشابه در روش انتقال‌بار نیز که توسط محققین مختلف مطرح شده است، برهم‌کنش مقاومت اصطکاکی جدار و باربری نوک شمع به طور جداگانه در نظر گرفته می شود که برای کاربرد آن نیز فرض شمع‌های با طول مساوی و یکنواخت لازم می‌باشد [۸ و ۹]. در این شرایط حتی با تغییر هندسه و موقعیت قرارگیری شمع‌ها، یک گروه شمع با طول و قطر مساوی از لحاظ میزان سختی گروه (نسبت بار به نشست گروه شمع) و نشست تفاضلی کلاهک (اختلاف نشست حداکثر و حداقل کلاهک)، دارای بهترین عملکرد و کارآیی ممکن نخواهند بود. پیشرفت‌های زیادی در بهینه‌سازی عددی در سال‌های اخیر صورت گرفته و به طور وسیع در علوم مختلف مهندسی عمران مانند حمل و نقل، طراحی پل‌ها و طراحی سازه‌های مختلف و بهینه‌سازی شالوده‌های عمیق نیز کاربرد دارند. نمونه اخیر کاربرد بهینه‌سازی در شالوده‌های عمیق، توسط کیم (Kim) و همکارانش در سال ۲۰۰۲ می‌باشد که تلاش شد ظرفیت باربری یک کلاهک متکی بر شمع با تغییر در مشخصات هندسی گروه چون ضخامت کلاهک، سطح مقطع و موقعیت شمع‌ها، بهینه سازی شود [۱۰]. بلویکیس (Belevicius) و همکارانش در سال ۲۰۱۱ سعی کردند یک گروه شمع متصل توسط تیرهای رابط را از نظر محل استقرار شمع‌ها بهینه کنند. در این تحقیق، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم بهینه‌سازی با جستجوی محلی و تصادفی مورد استفاده قرار گرفتند. از آنجا که در موضوع بهینه سازی محل استقرار شمع‌ها هم دارای نقاط بهینه محلی و هم بهینه غیر محلی بود، با هدف بدست آوردن حالت بهینه کلی در گروه شمع، الگوریتم ژنتیک بهترین عملکرد ممکن را در بین الگوریتم‌های ذکر شده از خود نشان داد [۱۱]. مومنی و همکارانش در سال ۲۰۱٤ سعی کردند که الگوریتم ژنتیک را با شبکه عصبی مصنوعی ترکیب کرده و ظرفیت باربری شمع‌های بتنی پیش ساخته را پیش بینی کنند. در این پژوهش از داده های اطلاعاتی حاصل از آزمایش دینامیکی شمع (PDA) روی ۵۰ نمونه شمع استفاده شد. متغییرهای ورودی شامل مشخصات هندسی شمع (مقطع و طول)، وزن چکش و ارتفاع سقوط بوده و تابع هدف ظرفیت باربری فشاری شمع می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

پس از بهینه سازی معلوم شد که وزن چکش و مشخصات هندسی شمع‌ها بیشترین تأثیر را بر نتایج حاصل از حساسیت سنجی دارا می‌باشند [۱۲]. مظاهر و همکارانش در سال ۱۳۹۳ با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی چند لایه (MLP) تلاش کردند ظرفیت باربری شمع‌های کوبشی مستقر در خاک ماسه را پیش بینی کنند. در پژوهش انجام گرفته از شمع‌های لوله‌ای فلزی با انتهای باز استفاده شد. طول و قطر شمع، مدول الاستیسیته و زاویه اصطکاک داخلی خاک به عنوان ورودی و ظرفیت باربری شمع به عنوان خروجی تعریف شدند. در این پژوهش مشخص شد که شبکه عصبی در پیش بینی نتایج، کارایی بالایی دارند و همچنین با توجه به آنالیز حساسیت انجام شده مشخص شد که متغییر زاویه اصطکاک داخلی خاک، مدول الاستیسیته خاک، قطر شمع و طول شمع به ترتیب بیشترین اثر افزایشی را روی ظرفیت باربری شمع‌ها دارا می‌باشند [۱۳].

هرچند استفاده از شمع‌های با طول متفاوت در کارهای رایج معمول نیست اما استفاده از این نظریه در طراحی شالوده‌های عمیق پروژه‌های بزرگ دارای سابقه می‌باشد که هدف آنها ارتقاء عملکرد گروه شمع با تغییر در هندسه شمع‌ها می‌باشد [۱٤]. چاو (Chow) و همکارانش تلاش کردند از بهینه‌سازی در کمینه‌کردن نشست تفاضلی گروه شمع با کلاهک انعطاف‌پذیر و همچنین کمینه‌کردن تفاضل نیرو در گروه شمع با کلاهک صلب، استفاده نمایند. نتایج انها نشان داد در گروه شمع با طول یکسان و کلاهک انعطاف‌پذیر، شمع‌های مرکزی نشست بیشتری نسبت به شمع‌های پیرامونی گروه دارند درحالیکه با کلاهک صلب، نیروی کمتری از طریق شمع‌های میانی به دلیل اندرکنش شمع و خاک قابل انتقال می‌باشد. نشست تفاضلی و تفاضل سهم بار شمع در گروه با بکارگیری در شمع‌های طویل‌تر در مرکز می‌تواند کاهش پیدا کند [۱۵]. ریول (Reul) و همکارانش نیز در بهینه‌سازی گروه شمع با هدف کاهش نشست و افزایش باربری به این نتیجه رسیدند که شمع‌های گروه باید طول نامساوی داشته باشند [۱٦].

بسیاری از تحقیقات بهینه‌سازی در شالوده‌های عمیق مبتنی بر روش‌های موسوم به کاهش شیب می‌باشند که متغییرهای محدودی داشته و در روابط ریاضی باید مشتق‌پذیر باشند. در این روشها متغییرهای ناپیوسته و مشتق‌ناپذیر کاربرد ندارند. در این مقاله از یک روش بهینه‌سازی خودکار مبتنی بر الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی شالوده‌های عمیق معرفی می‌شود. از آنجا که متغییرهای مطرح در این دسته از مسائل مهندسی متنوع و ناپیوسته هستند، استفاده از الگوریتم ژنتیک در بهینه سازی می‌تواند مفید باشد. در این پژوهش از شرکت‌دادن همه متغییرهای دخیل در طراحی یک گروه شمع ۵×۵، تنها طول شمع به عنوان متغییر طراحی در عملیات بهینه‌سازی در نظر گرفته شده و برای تحلیل گروه شمع‌ها از نرم‌افزار اجزاء محدود Fb-Pier استفاده می‌شود [۱۷].

۲- تابع هدف و متغییرهای طراحی

با هدف بهینه کردن حجم بتن مصرفی، از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی شالوده‌های عمیق استفاده می‌شود. بدین منظور لازم است تابع هدف الگوریتم تعریف شود:

$$v = \sum_{i=1}^{M} \frac{\pi}{4} d_j^2 L_j + BWt \qquad (۱)$$

در این رابطه d_j قطر شمع jام و L_j طول شمع jام می‌باشد. B، W و tبه ترتیب ابعاد و ضخامت کلاهک می‌باشند. L_j طول استقرار شمع‌ها براساس ملاحظات ژئوتکنیکی و بارهای وارده تخمین زده می‌شود که در این تحقیق از ۱۰ متر تا ۸۲ متر متغیر می‌باشد. ابعاد کلاهک بر اساس ابعاد و نیاز سازه تعیین می‌شود. فاصله شمع‌ها با ملاحظات ساخت و اجرا، حدود ۲/۵ تا ۵ برابر قطر شمع‌ها در نظر گرفته می‌شود [۱۸]. در این بررسی متغییر طراحی، طول شمع‌ها می‌باشد و اثر آن بر سختی کلی گروه و نشست تفاضلی کلاهک ارزیابی می‌شود. در مدل‌سازی به منظور اجتناب از پیچیدگی زیاد، از جزئیات آرماتورگذاری شمع‌ها به عنوان متغیر طراحی صرفنظر شد.

www.SID.ir

Archive of SID

لازم به ذکر است، بعد از اینکه تعداد، قطر و طول شمع‌ها مشخص شد می‌توان با استفاده از آیین نامه‌های موجود طراحی، جزئیات آرماتورگذاری را تعیین نمود.

بر اساس دستورالعمل‌های رایج طراحی شمع‌های با طول و قطر زیاد، معیارهای زیر جهت بهینه‌سازی به کار گرفته می‌شود:

- حداکثر باربری اصطکاکی شمع معادل $f_s = \frac{G_s}{500}$ و باربری اتکایی معادل $f_b = \frac{G_s}{50}$ درنظر گرفته می‌شود. G_s برابر مدول برشی خاک می‌باشد.
- حداکثر نشست قائم شمع‌ها برابر ۷۵ میلمتر و حداکثر جابجایی جانبی کلاهک ۲۵ میلیمتر درنظر گرفته می‌شود.
- حداکثر نشست تفاضلی شمع‌ها برابر l_{ave} ۱/۵۰۰ دوران کلاهک درنظر گرفته می‌شود.
- طراحی سازه‌ای شمع‌ها بر اساس نیروی محوری و خمش دومحوره انجام می‌شود.
- لنگر خمشی و نیروی برشی کلاهک بر اساس مشخصات مکانیکی و هندسی کنترل می‌شود [۱۹].

۳- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یک فرایند جستجو است که بر اساس الگوی انتخاب طبیعی ژن‌ها طراحی شده است [۲۰]. این الگوریتم تصادفی است و بر اساس قانون تنازع بقا، افراد برتر را در یک جمعیت انتخاب می‌کند. با تولید مثل و انتخاب برترین‌ها، فرآیند جستجو با بکارگیری قوانین احتمالات به سمتی از بهبودی نسبی نتایج هدایت می‌شود. استفاده از الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی مزایای متعددی در قیاس با روش بهینه‌سازی مبتنی بر مشتق‌گیری (شیب) دارد که مهمترین آنها عدم نیاز به روابط و فرمول‌بندی دقیق ریاضی مبتنی بر متغیرهای پیوسته می‌باشد.

الگوریتم ژنتیک دارای سه بخش نشانه‌گذاری متغیرهای طراحی، ارزیابی میزان شایستگی و ارتقای نسل می‌باشد. در این پژوهش از الگوریتم ژنتیک حقیقی در بهینه‌سازی استفاده می‌شود که دارای سه عملکرد اساسی تولید مثل، ترکیب و جهش می‌باشد. در فرایند تولید مثل افراد با شایستگی بالاتر شانس بیشتری برای انتخاب شدن و همچنین تولید فرزندان در نسل بعد را دارا می‌باشند. دراین روش ابتدا جمعیت ژنتیکی را دسته بندی کرده و هر کروموزوم مقدار برازندگی مشخصی را به خود می‌گیرد. در بدترین حالت رتبه برابر۱ خواهد بود و در بهترین رتبه برابر n خواهد بود که n تعداد کروموزوم‌ها در جمعیت است [۲۱]. در بهینه‌سازی به روش الگوریتم ژنتیک، محدودیت‌های مسئله توسط یک تابع جریمه تعریف می‌شود. تابع جریمه نباید مقادیر بسیار بزرگ اعمال کند تا امکان جستجوی کافی در فضا جهت همگرایی وجود داشته باشد همچنین نباید بسیار کوچک باشد زیرا همگرایی خیلی آهسته خواهد بود. تابع جریمه حجم به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$v_i^{'} = v_i \left(1 + \varnothing_i\right) \qquad (۲)$$

در این رابطه $v_i^{'}$ حجم جریمه و v_i حجم حقیقی به ازای کروموزوم تولید شده می‌باشد. $\varnothing_i$ تابع جریمه که به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\varnothing_i = \sum_{j=1}^{M} \varnothing_{i,j}^{\sigma} + \sum_{k=1}^{N} \varnothing_{i,k}^{\delta} \qquad (۳)$$

در این رابطه $\varnothing_{i,j}^{\sigma}$ مقدار جریمه برای محدودیت تنش محوری شمع (ظرفیت باربری) j و $\varnothing_{i,k}^{\delta}$ مقدار جریمه برای محدودیت جابجایی و نشست شمع k می‌باشد. توابع جریمه به صورت توابع دو خطی زیر نیز قابل بیان می‌باشند:

www.SID.ir

Archive of SID

$$\varnothing_{i,j}^{\sigma}=\begin{cases}0 \ \text{if} \ r_{i,j\le 1}\\ k_1 r_{i,j} \ \text{if} \ r_{i,j>1}\end{cases} \quad \text{و} \quad \varnothing_{i,j}^{\delta}=\begin{cases}0 \quad \text{if} \quad r_{i,k\le 1}\\ k_2 r_{i,k} \ \text{if} \ r_{i,k>1}\end{cases} \tag{٤}$$

در این رابطه k_1 و k_2 ضرایب وزنی برای اهمیت محدودیت اعمال شده بوده و به ترتیب ۰/۵ و ۱ اختیار می‌شوند. همچنین فاکتور r مقادیر نرمالیزه شده تنش و جابجایی به صورت زیر می‌باشد:

$$r_{i,j}=\frac{\left|\sigma_{i,j}\right|}{\sigma_{j,allow}} \quad \text{و} \quad r_{i,k}=\frac{\left|\delta_{i,k}\right|}{\delta_{k,allow}} \tag{٥}$$

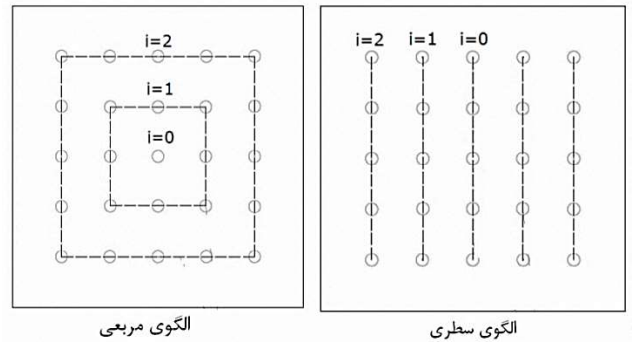
در الگوریتم ژنتیک تولید مثل براساس مقادیر شایستگی هر یک از افراد نسل صورت می‌گیرد. افراد با شایستگی بالاتر، شانس بیشتری در مشارکت ایجاد نسل بعدی دارند. در این پژوهش، کروموزوم‌های معرف حجم بیشتر مصالح، شانس کمتری برای بقا دارند. بنابراین شایستگی هر کروموزوم با نسبت عکس حجم بتن مصرفی معرفی می‌شود:

$$F_i=\frac{v'_{max}}{v'_i} \tag{٦}$$

در این رابطه مقدار v'_{max} حداکثر حجم مصرفی قابل قبول می‌باشد [۲۲].

٤- معیارهای بهینه‌سازی

بر اساس نیاز و اهمیت سازه مستقر بر گروه شمع، معیار بهینه‌سازی می‌تواند افزایش سختی کلی شالوده و یا کاهش نشست تفاضلی و نامتقارن کلاهک باشد. معیار افزایش سختی کلی برای ساختمان‌های نسبتا کوچک و یا شالوده‌های با کلاهک صلب و معیار کاهش نشست تفاضلی برای ساختمان‌های بلند مرتبه با کلاهک انعطاف‌پذیر، کاربرد دارند. در تحقیق حاضر الگو استقرار شمع‌ها بصورت سطری و مربعی مورد بررسی قرار خواهد گرفت (شکل ۱). در الگوی سطری شمع‌ها در راستای هر سطر دارای طول مساوی می‌باشند و در الگوی مربعی شمع‌ها در الگوهای مربعی دارای طول مساوی می‌باشند [۲۳].



شکل ۱ : الگوهای قرارگیری شمع‌ها.

در این شکل اندیس i معرف شماره سطر یا مربع می‌باشد بعبارتی شمع‌هایی که روی یک سطر یا مربع با شماره یکسان i قرار گرفته‌اند، دارای طول مساوی می‌باشند. اندیس i از شماره صفر در مرکز آغاز و در طرفین ادامه پیدا می‌کند. به منظور مقایسه و ارزیابی

www.SID.ir

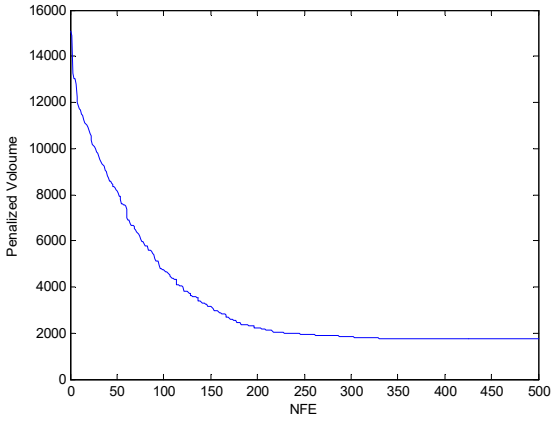
Archive of SID

معنادار در عملکرد گروه شمع بر اساس تغییرات طول، مجموع طول گروه شمع مساوی در نظر گرفته می‌شود یعنی حجم بتن مصرفی صرفنظر از توزیع طول شمع‌ها برابر است:

$$TL = N^2 l_{ave} \qquad (۷)$$

در این رابطه TL مجموع طول شمع، N تعداد شمع‌ها و l_{ave} متوسط طول شمع می‌باشند. در این ارزیابی نسبت طول به قطر شمع حداقل ۱۰ و نسبت طویل ترین و کوتاهترین شمع گروه به ۵ محدود می‌شود [۲٤].

در یک مدل‌سازی نمونه، پارامترهای الگوریتم ژنتیک معادل اندازه جمعیت و برابر با ۱۰، نرخ تقاطع ۰/٦ و نرخ جهش ۰/۰۲ درنظر گرفته می‌شوند. گروه شمع ۵×۵ و تعداد ردیف در الگوی مربعی ۳ بوده و طول تمام شمع‌های هر ردیف باهم برابر است، بنابراین مسئله ۳ متغیر دارد و طول هرکروموزم برابر سه رشته و دامنه متغییرها بین ۱۰ تا ۸۲ می‌باشد. همچنین تعداد تکرارهای الگوریتم برابر ۲۰۰ تکرار می‌باشد (شکل۲).



شکل۲ : بهینه‌سازی شالوده شمعی با استفاده از الگوریتم ژنتیک.

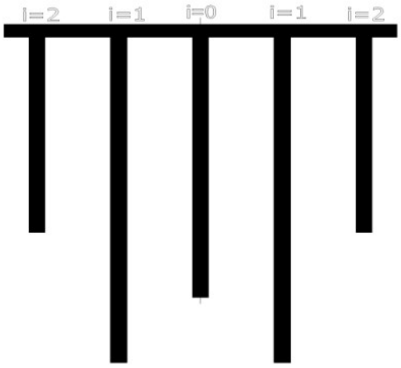
۵- بهینه سازی شالوده متکی بر کلاهک صلب

در کلاهک صلب، نشست تفاضلی گروه شمع وجود ندارد و تنها معیار مورد بررسی بهینه‌سازی سختی کلی گروه شمع می‌باشد. کلاهک صلب ۲/۵ متر ضخامت و از خاک فاصله دارد و در محیط نیم‌فضای الاستیک تحلیل می‌شود که نتایج بهینه‌سازی در شکل ۳ نشان داده شده است. الگوی استقرار شمع‌ها مربعی است فاصله آنها پنج برابر قطر شمع می‌باشد $\left(\frac{s}{r_0}=5\right)$. در این تحلیل نسبت سختی شمع به سختی خا ک معادل ۵۰۰ و ضریب پواسون خاک ۰/۳۳ فرض شد. همچنین مقاومت اصطکاکی جداره شمع و خاک $\left(f_s=\frac{G_s}{500}\right)$ و باربری اتکایی $\left(f_b=\frac{G_s}{50}\right)$ برای تمام شمع‌ها یکسان درنظر گرفته شد.

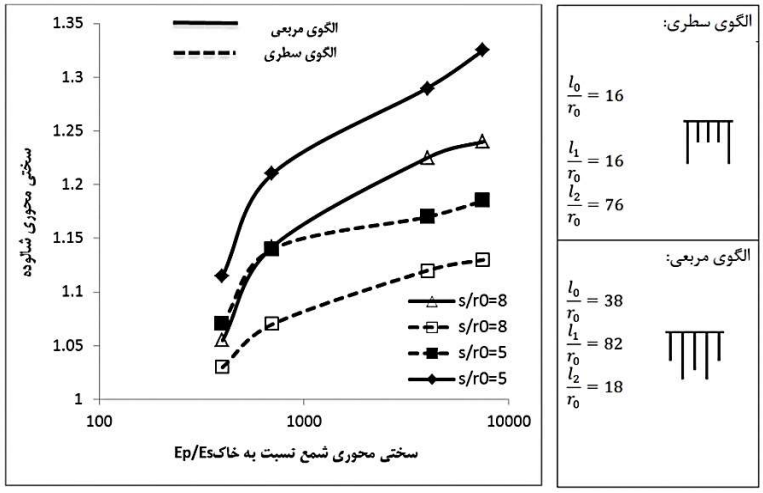
در شکل ۳ مجموع طول شمع‌ها با مجموع طول گروه شمع ۵×۵ با طول متوسط ٤۰ متر برابر می‌باشد. در اینجا سختی کلی گروه شمع بهینه شده معادل ۱/۱۵ برابر سختی گروه شمع با طول مساوی می‌باشد. تحلیل‌های مشابهی برای یک گروه شمع ۵×۵ با فواصل مختلف بین شمع‌ها $\left(\frac{s}{r_0}\right)$ و نسبت‌های مختلف $\frac{E_p}{E_s}$ انجام شدند و نتایج با گروه شمع با طول مساوی مقایسه و نرمالیزه شدند که در شکل ٤ آمده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۳ : شالوده بهینه شده با نسبت طول شمع‌های $\frac{l_2}{r_0}=10$, $\frac{l_1}{r_1}=82$, $\frac{l_0}{r_0}=38$.



شکل٤ : حداکثر سختی محوری برای گروه شمع.

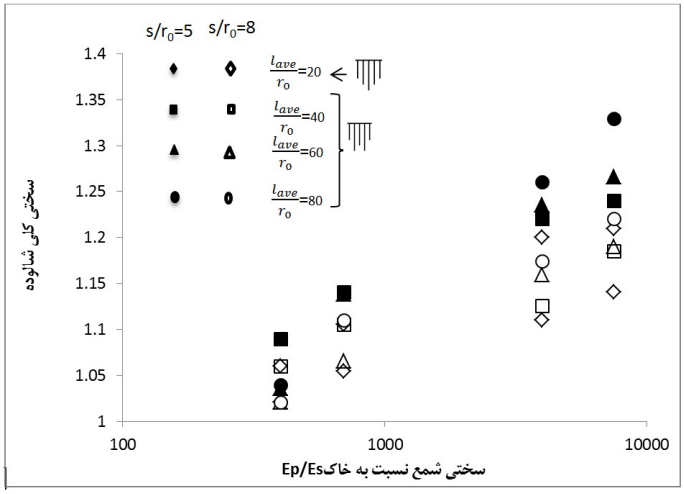
مقادیر بهینه در این قسمت زمانی حاصل شد که اندرکنش بین شمع‌ها به حداقل مقدار خود رسید یعنی طول ردیف شمع‌های همجوار متفاوت شد. مشاهده می‌شود که در الگوی سطری شمع‌های با طول بیشتر در خارجی‌ترین لایه قرار گرفته و برای الگوی مربعی شمع‌های با طول بیشتر بین ردیف مرکزی و ردیف خارجی قرار می‌گیرند. به این نکته باید توجه کرد که استفاده از شمع‌های طویل‌تر در محیط خارجی گروه شمع باعث ایجاد لنگر خمشی بزرگ در کلاهک، ناشی از اثر باز توزیع نیروهای شمع‌ها می‌شود. هرچه تفاوت طول بین لایه مرکزی و محیط خارجی گروه شمع بیشتر باشد، مقدار لنگر بیشتر شده و آرماتور بیشتری در کلاهک نیاز است.

از شکل٤ قابل مشاهده است که سختی محوری گروه شمع با افزایش نسبت $\frac{E_p}{E_s}$ و کاهش فاصله شمع‌ها افزایش می‌یابد. در این تحقیق نسبت حداکثر و حداقل طول شمع‌ها به ۱۰ محدود شده است. در عملیات بهینه‌سازی به الگوریتم اجازه حذف شمع‌ها داده نشد زیرا این کار سبب افزایش شدید نیروی داخلی شمع‌ها و لنگر خمشی وارد بر کلاهک می‌شود. باید توجه داشت که نتایج بهینه‌سازی تحت تاثیر مقاومت اصطکاکی و باربری اتکایی قرار نمی‌گیرند زیرا برای تمامی حالت‌ها مقادیر آنها یکسان می‌باشند.

www.SID.ir

Archive of SID

در شکل٤ نتایج بهینه‌سازی یک گروه شمع ۵×۵ با نسبت متوسط طول به قطر ٤٠ مورد بررسی قرار گرفت. به منظور تاثیر هندسه شمع یعنی نسبت طول به قطر $\left(\frac{l_{ave}}{r_0}\right)$ در بهینه‌سازی، گروه شمع ۵×۵ با نسبت طول به قطر ۲۰، ٤٠، ٦٠ و ۸۰ مورد تحلیل و بررسی قرار گرفتند که نتایج آن در شکل۵ آمده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که در نسبت ٤٠ تا ۸۰ مقادیر نزدیک به هم مشابه هستند. سختی محوری گروه در نسبت $\frac{E_p}{E_s}$ بالای ۲۰۰ حدود ۱,۱۰ و برای نسبت $\frac{E_p}{E_s}$ بالای ۵۰۰۰ حدود ۱,۳۵ می‌باشند. این مقادیر در گروه شمع با نسبت ۲۰ کمتر است که علت آن اثر کوتاهی طول شمع بر اندرکنش گروه است.



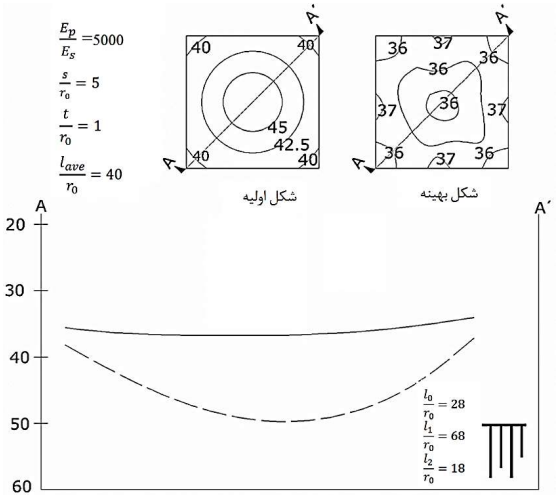
شکل۵ : نسبت سختی محوری برای نسبت‌های مختلف $\frac{l_{ave}}{r_0}$ برای الگوی مربعی.

٦-بهینه سازی کلاهک برای حالت نشست تفاضلی

در بسیاری از گروه شمع‌ها امکان طراحی کلاهک بصورت کاملا صلب وجود ندارد زیرا نشست‌های نامتقارن، باعث ترک خوردگی و شکست کلاهک خواهند شد. بدین منظور الگوی قرارگیری شمع‌ها باید طوری بهینه شود که نشست نامتقارن کلاهک به حداقل برسد و لازم است انعطاف‌پذیر طراحی شود. کلاهک مربع شکل، با بُعد معادل پنج برابر فاصله بین شمع‌ها و ضخامتی معادل قطر شمع در نظر گرفته شده $\left(\frac{t}{r_0}\right)=1$ که به طور یکنواخت تحت بارگذاری قرار می‌گیرد. در این تحقیق کلاهک بر خاک تکیه داده شده و حداکثر فشار تماسی آن بر خاک نیز معادل $\frac{G_s}{100}$ لحاظ می‌شود. نشست تفاضلی اختلاف مطلق نشست حداکثر و حداقل کلاهک تعریف می‌شود که با اختلاف نشست مرکز کلاهک و گوشه آن متفاوت است. نتایج حاصل از توزیع شمع‌های با طول متغییر بر نشست تفاضلی در شکل٦ نشان داده شده است. در این شکل نشست کلاهک گروه شمع با طول یکنواخت با نشست کلاهک گروه شمع بهینه‌سازی شده مقایسه می‌شود. نشست تفاضلی با استفاده از شمع‌های درازتر در وسط و شمع‌های کوتاهتر در پیرامون گروه کاهش پیدا کرده است. در این مرحله نیز اجازه حذف شمع‌ها به الگوریتم ژنتیک داده نشده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل٦ : مقایسه نشست گروه شمع با طول یکنواخت و گروه شمع بهینه شده.

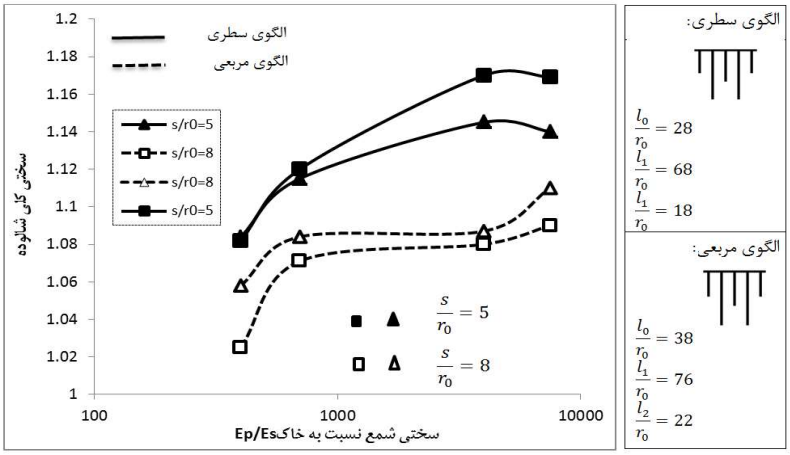
در این مرحله که هدف از بهینه‌سازی به حداقل رساندن نشست تفاضلی در طراحی گروه شمع است، آرایش شکل بهینه‌سازی شده برای گروه در قیاس با مرحله قبل متفاوت است زیرا در مرحله قبل، هدف افزایش سختی محوری گروه بود. همانگونه که در شکل٦ نشان داده شده است، استفاده از گروه شمع با طول یکنواخت باعث افزایش نشست کلاهک در مرکز می‌شود در حالیکه توزیع نشست با استفاده از شمع‌های طویل‌تر در مرکز، یکنواخت‌تر می‌شود. با این حال اگر شمع‌های وسط خیلی طویل و سخت شوند، ممکن است در کلاهک مفصل ایجاد شود. همانگونه که در شکلهای ٦ و ٧ نشان داده شده است، شمع‌های مستقر در پیرامون گروه طویل‌تر از شمع‌های مرکزی هستند که این توزیع طول سبب می‌شود نشست نسبتا یکنواختی در عرض کلاهک به وجود آید.

شکلهای ٧ و ٨ به ترتیب مقایسه سختی محوری (نسبت حداکثر بار به متوسط نشست) و نشست تفاضلی دو الگوی مربعی و سطری در یک گروه شمع ٥×٥ با نسبت طول به قطر ٤٠ در حالت‌های مختلف $\frac{E_p}{E_s}$ را نشان می‌دهند. نتایج این شکل‌ها در قیاس با گروه شمع با طول یکنواخت نرمالیزه شده است. به نظر می‌رسد که الگوی مربعی در کاهش نشست تفاضلی، در شرایطی که شالوده تحت بار یکنواخت قرار می‌گیرد موثرتر است. نسبت نشست تفاضلی کمتر از ١ به معنی کاهش نشست تفاضلی گروه شمع است که هدف بهینه‌سازی است. نتایج نشان می‌دهند که نشست تفاضلی را با تغییر طول شمع در گروه می‌توان تا حدود ٨٠٪ کاهش داد در حالیکه سختی محوری نیز همچنان بزرگ است و کاهش زیادی نیافته است. کاربرد بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک در افزایش سختی محوری و کاهش نشست تفاضلی، با افزایش نسبت $\frac{E_p}{E_s}$و کاهش فاصله شمع‌ها افزایش می‌یابد زیرا در این شرایط اندرکنش بین شمع‌ها بسیار زیاد شده و بهینه‌سازی می‌تواند این اندرکنش را کاهش دهد. تاثیر هندسه گروه شمع یعنی ضخامت کلاهک، نسبت متوسط طول به قطر شمع‌ها و فاصله شمع‌ها برمیزان نسبت نشست غیر متقارن حاصل از بهینه‌سازی نیز در این تحقیق بررسی شد. شکل٩ نتایج استنتاج شده از بهینه‌سازی را برای نسبت های مختلف $\frac{E_p}{E_s}$ و فواصل مختلف شمع‌ها نشان می‌دهد.

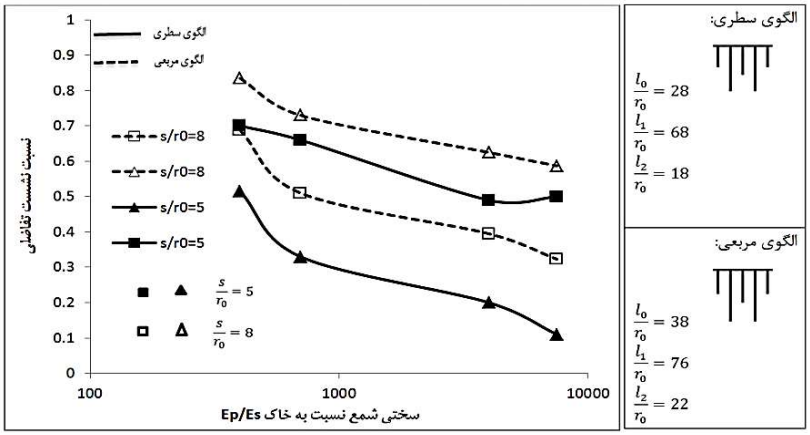
همانطور که در شکل٩ مشاهده می‌شود کاربرد بهینه‌سازی با افزایش نسبت $\frac{l_{ave}}{r_0}$ افزایش یافته و برای $\frac{l_{ave}}{r_0}$ بزرگتر از ٤٠ به مقدار حداکثری می‌رسد. همچنین نسبت $\frac{l_{ave}}{r_0}$ شکل بهینه را تحت تأثیر قرار می‌دهد بطوریکه در مقادیر $\frac{l_{ave}}{r_0} \geq 40$ شمع‌های طویل‌تر بین مرکز و محیط خارجی باید استقرار یابند درحالیکه در حالت $\frac{l_{ave}}{r_0} = 20$ شمع طویل‌تر باید در مرکز قرار گیرند.

www.SID.ir

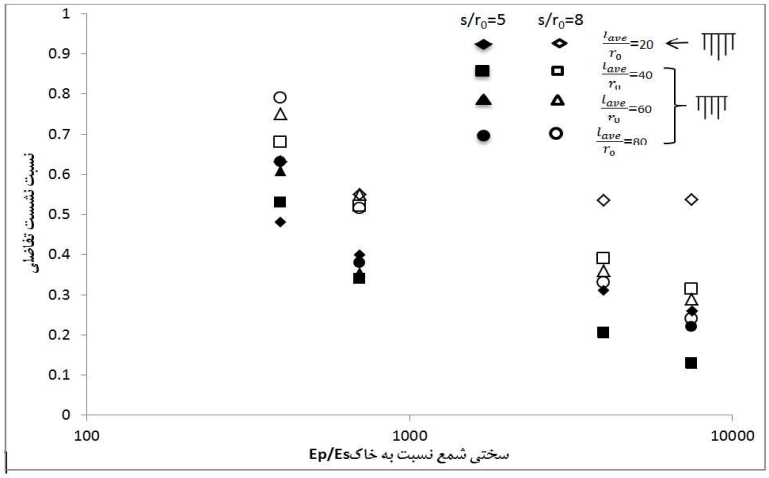
Archive of SID



شکل۷ : بهینه سازی گروه شمع برای نسبت سختی محوری.



شکل۸ : بهینه سازی گروه شمع برای نسبت نشست تفاضلی.



شکل۹ : نسبت نشست تفاضلی بدست آمده برای هندسه‌های مختلف در الگوی مربعی.

www.SID.ir

Archive of SID

۷- اعتبارسنجی و مقایسه با موارد مطالعاتی دیگر

کائو (Cao) و همکارانش یک سری آزمایشهایی را بر روی شالوده‌های مرکب شمع‌دار انجام دادند تا اثرات پارامترهای مختلف هندسی شمع‌ها را بر روی پارامترهای طراحی چون نشست، لنگر داخلی کلاهک و نیروی برشی موجود در کلاهک مشاهده کنند[۲۵]. مشاهدات نشان می‌داد که افزایش ضخامت کلاهک اثر کمی بر نشست حداکثر کلاهک دارد ولی اثر مهمی بر نشست تفاضلی و لنگرهای داخلی دارد. همچنین نتایج نشان دادند که هرچه طول شمع‌ها در داخل خاک ادامه پیدا کند بر نشست حداکثر اثر زیادی دارد ولی اثرات آن بر گشتاور داخلی کلاهک قابل چشم‌پوشی است. هچنین دیده شده که اثرطول شمع ها بر نشست تفاضلی بستگی به شدت بار وارده از طرف سازه بالایی بر شالوده دارد. بدین معنی که هرچه شدت بار وارده بیشتر باشد باید از شمع‌های طویل‌تر برای کاهش نشست تفاضلی استفاده کرد. به علاوه تأثیر تعداد کل شمع‌ها برای بارهای با شدت زیاد برای نشست تفاضلی قابل ملاحظه است ولی اثر آن بر گشتاور داخلی قابل چشم پوشی است [۲۵].

اسلامی و همکارانش با انجام مطالعه پارامتریک برروی ۱۷ نمونه شالوده که در آنها ضخامت کلاهک بین ۲، ۳,٦۵ و۵ متر متغییر بود و همچنین طول شمع ها بین ۲۵ متر، ۳۵ متر و ٤۵ متر متغییر بوده، نتایج زیر بدست آمده است:

۱. افزایش ضخامت کلاهک تأثیر ناچیزی بر روی نشست شالوده دارد ولی تأثیر آن برروی نشست تفاضلی و لنگر داخلی قابل توجه است. برای مثال افزایش ضخامت کلاهک از ۲ به ۵ متر نشست تفاضلی را به اندازه ۵۰٪ کاهش می‌دهد ولی افزایش لنگر داخلی در حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ درصد می‌باشد.
۲. تغییر محل شمع ها از لبه کلاهک به لایه میانی باعث کاهش نشست شالوده می‌شود. همچنین دیده شد که هرچه شمع ها در لایه میانی کلاهک متمرکز شوند میزان نشست تفاضلی کمتر می باشد. همچنین دیده شد که با کاهش طول شمع های لایه خارجی و افزایش طول شمع‌های لایه میانی میزان نشست کلاهک کاهش پیدا می‌کند.
۳. در تحقیق انجام شده دیده می‌شود مجموع طول شمع ها بین پیکربندی‌های مختلف ثابت بوده و همچنین ضخامت کلاهک ثابت می‌باشد. همچنین دیده می شود که با افزایش طول شمع‌های لایه میانی و کاهش طول شمع‌های لایه خارجی از میزان لنگر ایجاد شده در داخل کلاهک کاسته می‌شود.
٤. برای یک مقدار ثابت ضخامت کلاهک، پیکربندی شمع‌ها و طول آنها فاکتورهای اساسی برای کاهش نشست و لنگر داخلی کلاهک می‌باشد. برای مثال کاهش طول شمع‌ها تأثیر چندانی در میزان نشست و لنگر داخلی کلاهک نمی‌گذارد ولی موقعیت قرارگیری آنها به خصوص در لایه میانی همیشه بیشترین تأثیر را در کاهش نشست و لنگر داخلی کلاهک می‌گذارد.
۵. در حالت بارگذاری استاتیکی تمرکز شمع ها در ناحیه میانی کلاهک باعث کاهش دو پارامتر طراحی نشست تفاضلی و حداکثر گشتاور خمشی در کلاه خواهد بود [۲٦].

همانطور که در موارد عملی همچون برج مستورم (Messeturm) در فرانکفورت دیده می‌شود برای کاهش نشست تفاضلی شمع های با طول بیشتر در مرکز و ناحیه داخلی کلاهک قرار می‌گیرند [۲۷]. همچنین هورکوشی (Horikoshi) و همکارانش نشان دادند برای اینکه نشست تفاضلی کلاهک به مقدار قابل توجهی کاهش پیدا کند باید اکثر شمع‌ها در ناحیه میانی کلاهک قرارداده شوند [۲۸]. در تحقیق حاضر نیز نشست تفاضلی با استفاده از شمع‌های درازتر در وسط و کوتاهتر در پیرامون کاهش پیدا کرده است.

www.SID.ir

Archive of SID

۸- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

گروه شمع معمولا بصورت متقارن و با طول شمع یکسان طراحی و اجرا می‌شود. تحلیل اندرکنش خاک و شمع نشان می‌دهد که این روش طرحی همواره مناسب‌ترین و بهترین روش طراحی بخصوص از دیدگاه اقتصادی و معیارهای نشست نیست. در این مقاله افزایش سختی محوری، ظرفیت باربری و کاهش نشست تفاضلی کلاهک در گروه شمع مربعی با آرایش‌های مختلف و با بهره‌گیری از تکنیک الگوریتم ژنتیک تکاملی مورد بهینه‌سازی قرار گرفت که مهمترین نتایج حاصل از این تحقیق را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

۱. در بهینه‌سازی به روش الگوریتم ژنتیک سختی محوری گروه شمع در اکثر حالات افزایش یافت. سختی محوری حداقل ۱,۱ و حداکثر ۱,۳۵ بار بزرگتر از سختی محوری گروه شمع با طول یکنواخت می‌باشد.

۲. سختی محوری گروه با افزایش نسبت سختی شمع به خاک $\left(\frac{E_p}{E_s}\right)$ و کاهش فاصله و افزایش طول متوسط افزایش می‌یابد.

۳. سختی محوری گروه در الگوی مربعی با استقرار شمع‌های طویل بین مرکز و محیط بیرونی گروه افزایش می‌یابد در صورتیکه در الگوی سطری، شمع‌های طویل باید در محیط بیرونی و شمع کوتاه باید در لایه مرکزی و میانی مستقر باشد.

٤. نشست تفاضلی کلاهک انعطاف‌پذیر در گروه شمع، بر اساس بهینه‌سازی به روش الگوریتم ژنتیک، با استقرار و انتخاب شمع‌ها با طول متغیر در گروه، در قیاس با گروه شمع با طول مساوی، یکنواخت‌تر است.

۵. بر اساس الگوی مربعی، نشست تفاضلی می‌تواند تا ۸۰٪ درصد در بهینه‌سازی کاهش یابد در حالیکه سختی محوری گروه نیز روند افزایشی خواهد داشت.

٦. نشست تفاضلی گروه شمع با افزایش نسبت $\frac{E_p}{E_s}$ و افزایش فاصله کاهش می‌یابد.

۷. در حالت بارگذاری استاتیکی تمرکز شمع‌ها در ناحیه میانی کلاهک باعث کاهش دو پارامتر طراحی، نشست تفاضلی و حداکثر گشتاور خمشی در کلاهک خواهد بود.

۸. پیکربندی بهینه درحالتی حاصل شد که اندرکنش بین شمع‌ها به حداقل مقدار ممکن رسید، یعنی طول شمع‌ها در لایه‌های مجاور با هم تفاوت پیدا کرد.

نتایج تحقیق انجام شده مستقل از مقاومت اصطکاکی جدار شمع‌ها و باربری انتهایی آنها می‌باشد زیرا برای تمام پیکربندی‌ها این مقادیر یکسان در نظر گرفته شده‌اند

مراجع

[1]Prakoso, W. A. and Kulhawy, F. H.. "Contribution to piled raft foundation design." *J. Geotech. Engng, ASCE*, 127No.1 (2001) 17-24.

[2]Eslami, A., Veiskarami, M. and Eslami, M. M.. "Piled- Raft Foundation (PRF) Optimization Design with Connected and Disconnected Piles", *Proceedings of the 33rd Annual and 11th Int'l Conference on Deep Foundations*, (October 2008), Deep Foundations Institute (DFI), New York, NY, U.S.A., 201-211.

[3]Veiskarami, M., Eslami, A., Ranjbar, M. M. and Riyazi, T.. "Geotechnical Interaction of Mat Foundation and Pile Group, Two Case Studies", *Esteghlal Journal of Engineering*, Isfahan University of Technology, 36, No. 1 (2007)93-107.

[4]Reul, O., Randolph, M. F.. "Design strategies for piled rafts subjected to nonuniform vertical loading." *J. of Geotechical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 130No.1 (2004) 1-13.

[5]Randolph, M. F.. "Design methods for pile groups and piled rafts." *State-of-the-Art Report, 13th Int. Conf. Soil Mech. Foundn Engng*, New Delhi, No. 5 (1994) 61-82.

[6]Horikoshi, K., and Randolph, M. F.. "A contribution to optimum design of piled rafts." *Geotechnique*, 48 No.3 (1998) 301- 317.

www.SID.ir

Archive of SID

[7]Horikoshi, K., and Randolph, M. F.. "On the definition of raft-soil stiffness ratio for rectangular rafts." *Geotechnique*, , 47 No.5, (1997) 1055- 1061.
[8]Coyle, H. M., and Reese, L. C.. "Load transfer for axially loaded pile in clay." *J. Soil Mech. and Found. Div*., 89 No. 2 (1966) 1-25.
[9]Lee, K. M. and Xiao, Z. R.. "A simplified nonlinear approach for pile group settlement analysis in multilayered soils." *Can. Geotech. J*., 38 No. 5 (2001)1063-1080.
[10]Kim, H. T., Yoo, H. K., and Kang, I. K.. "Genetic algorithm-based optimum design of piled raft foundations with model tests." *Geotech. Eng*. No. 33 (2001) 1-11.
[11]Belevičius, B., Ivanikovas, S., Šešok, D., Valentinavičius, S., Žilinskas, J.. "Optimal Placement Of Piles In Real Grillages Experimental Comparison Of Optimization Algorithms". *124X Information Technology and Control*, 40 No.2 (2011)
[12]Momeni, E., Nazir, R., Jahed Armaghani, D., Maizir, H. "Prediction of pile bearing capacity using a hybrid genetic algorithm-based ANN ". *Measurement,* No. 57 (2014) 122–131.
[13]Yasrebi, SH. and Golshani A., "Determination of Bearing Capacity for Driven Piles in Sandy Soils by Using Artificial Neural Network Method" Moddares Journal, No.14 (2013) 27-36.
[14]Padfield, C. J., and Sharrock, M. J. "Settlement of structures on clay soils, Construction Industry Research and Information Association (*CIRIA*), (1983) U.K.
[15]Chow, Y. K., and Thevendran , V." Optimization of pile group." *Comput. Geotech*. No.4 (1987) 43-58.
[16]Reul, O., and Randolph, M. F. "Piled rafts in overconsolidated clay: Comparison of in situ measurements and numerical analyses." *Geotechnique,* 53 No. 3 (2003) 301- 315.
[17]Bridge Software Institute (BSI). FB-Pier v3 program, Bridge Software Institute, Uni. of Florida, Gainesville, (2003).
[18]O,Neill, M. W., and Reese, L. C.." *Drilled shafts: Construction procedures and design methods*." U.S. Dept. of Transportation, Federal Highway Administration, Office of Implementation, McLean, Va. (1999).
[19]Poulos, H. G., Carter, J. P., and Small, J. C. "Foundations and retaining structures-Research and practice." *Proc., 15th Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, (2001) 2527–2606.
[20]Goldberg, D. E. "*Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning*." Addison-Wesley, New York (1989).
[21]Bavi O. and Saleho M. "*Genetic algorithms & optimization of composite structures*" Abed Publications, Tehran, 2011.
[22]Coello, C. A. C. "Theoretical and numerical constraint-handling techniques used with evolutionary algorithms-A survey of the state of the art." *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.* No. 191 (2002) 1245–1287.
[23]Horikoshi, K., and Randolph, M. F." On the definition of raft-soil stiffness ratio for rectangular rafts." *Geotechnique*, 47 No. 5 (1997) 1055- 1061.
[24]Guo, W. D., and Randolph, M. F. "Vertically loaded piles in non-homogeneous media." *Int. J. Number. Analyt. Meth. Geomech*. No. 21 (1997) 507-532.
[25]Cao, X. D., Wong, M. F. and Chang, M. F. "Behavior of model rafts resting on pile-reinforced sand." *J. Geotech. Engng*, ASCE, 130 No. 2 (2004) 129-138.
[26]Eslami, A., Veiskarami, M. and Eslami, M. M. "Study on optimized piled-raft foundations (PRF) performance with connected and non-connected piles- three case histories ". *International Journal of Civil Engineering*, March (2011).
[27]Franke, E. "*Calculation methods for raft foundations in Germany*." Design application of raft foundations, Edited by J. A. Hemseley, Thomas Telford Ltd, London, (2000) 283-322.
[28]Horikoshi, K. and Randolph, M. F. "A contribution to optimum design of piled rafts." *Geotechnique*, 48 No.3 (1998) 301-317.

www.SID.ir