استفاده از الگوریتم ژنتیک در بهینه سازی گروه شمع‌ها

مهدی جهانگیرپور
کارشناس ارشد عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران
M.Jahangirpour@gmail.com

امین سوداگر
کارشناس عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول

علی‌اکبر حشمتی
استادیار، دانشگاه علم و صنعت ایران

حسین صالح‌زاده
استادیار، دانشگاه علم و صنعت ایران

چکیده

در اکثر پروژه‌هایی که سازه تحت بار زیاد قائم و افقی قرار دارند و یا در زمین‌هایی هستند که دارای مقاومت کافی در برابر بار وارده نمی باشند، علی‌رغم مخارج بیشتر، نیاز به اجرای شمع می‌باشد. پی شمعی بسیار پر هزینه تر از پی‌های سطحی منفرد و گسترده است بنابراین باید در تعیین تعداد، ابعاد و فواصل شمع ها دقت زیادی شود تا این پارامترها بیش از حد مورد نیاز تعیین نشوند. به منظور طراحی بهینه گروه شمع ها، لازم است براساس معادلات نشست و ظرفیت باربری، یک تحلیل هزینه‌ای انجام گیرد تا بتوان تعداد، ابعاد شمع های مورد نیاز و نحوه آرایش آن‌ها را تعیین نمود. در این تحقیق به کمک نرم افزارMATLAB و با بهره گیری از الگوریتم ژنتیک، برنامه‌ای تدوین شده است که به کمک آن می‌توان در مسائل پی‌های شمعی، طراحی را بهینه کرد. خروجی این برنامه شامل پارامترهای قطر و طول شمع، ضخامت کلاهک، تعداد شمع در هر جهت و فاصله بین شمع ها است. بنابراین به کمک این برنامه می توان یک گروه شمع بهینه طراحی نمودکه از نظر طراحی ومسایل فنی جوابگو و از نظر اقتصادی باصرفه ترین است.

کلمات کلیدی: گروه شمع قائم، بهینه سازی، الگوریتم ژنتیک، متلب، **MATLAB**.

۱- مقدمه

شمعها اعضایی از جنس فولاد، بتن و بتن مسلح می باشند که در صورت مناسب نبودن ظرفیت باربری زمین برای استفاده از شالوده های سطحی، از آنها برای ساخت شالوده‌های عمیق (شالوده‌های شمعی) استفاده می‌شود. مخارج احداث شالوده‌های شمعی خیلی بیشتر از شالوده‌های سطحی است. علی‌رغم مخارج بیشتر، در عمل موارد متعددی وجود دارد که برای ایمنی سازه در مقابل نشست و عوامل دیگر، از شالوده‌های شمعی استفاده می‌شود. به منظور طراحی بهینه گروه شمع‌ها، لازم است براساس معادلات نشست و ظرفیت باربری، یک تحلیل هزینه ای انجام گیرد تا بتوان تعداد، ابعاد شمع‌های مورد نیاز و نحوه آرایش آن‌ها را تعیین نمود.

در این تحقیق به کمک نرم‌افزار MATLAB و با بهره‌گیری از الگوریتم ژنتیک، برنامه‌ای تدوین شده است که به کمک آن می‌توان گروه شمع‌های بتنی با مقطع دایروی را که تحت بار محوری و لنگر خمشی قرار گیرند را به صورت بهینه، طراحی نمود. خروجی این برنامه شامل پارامترهای قطر و طول شمع، ضخامت کلاهک، تعداد شمع در هر جهت و فاصله بین شمع ها است. بنابراین به کمک این برنامه می توان یک گروه شمع بهینه طراحی نمودکه از نظر طراحی و مسایل فنی جوابگو و از نظر اقتصادی باصرفه ترین است.

۲- بررسی ظرفیت باربری شمع

۲-۱- ظرفیت باربری شمع تحت بار قائم

ظرفیت باربری نهایی شمع را می‌توان مجموع ظرفیت باربری نوک شمع و ظرفیت باربری اصطکاک جلدی شمع در نظر گرفت:

$$Q_u = Q_p + Q_s \qquad (۱)$$

که در رابطه فوق Qu ظرفیت باربری نهایی شمع، Qp ظرفیت باربری نوک شمع و Qs ظرفیت باربری اصطکاکی جدارشمع می‌باشد[۱و۲]. پس از تعیین ظرفیت باربری نهایی شمع(Qu) با جمع ظرفیت باربری نوک و ظرفیت مقاومت اصطکاکی و با اعمال یک ضریب اطمینان مناسب(FS)، ظرفیت باربری مجاز شمع (Qall) بدست می‌آید:

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{FS} \qquad (۲)$$

برای انتقال بار سازه به خاک، شمع‌ها در اغلب اوقات به صورت گروه بکار گرفته می‌شوند. وقتیکه شمع‌ها نزدیک یکدیگر اجرا شوند، می تواند باعث کاهش ظرفیت باربری شمع گردد. در عمل حداقل فاصله مرکز به مرکز شمع‌ها (d)، مساوی $2.5D$ در نظر گرفته می‌شود که به طور معمول از فاصله $3\sim3.5D$ استفاده می‌شود که در روابط فوق D قطر شمع می‌باشد.

راندمان گروه شمع (η) بصورت ظرفیت باربری نهایی گروه شمع تقسیم بر مجموع ظرفیت باربری هر شمع به تنهایی بدون اثرگروه تعریف می شود. برای خاک‌های ماسه‌ای معمولا رابطه کانورس–لاباره استفاده می شود که بصورت زیر تعریف شده است:

$$\eta = 1 - \left[\frac{(n_1-1)n_2 + (n_2-1)n_1}{90 n_1 n_2}\right]\theta \qquad (۳)$$

$$\theta\,(\deg) = \tan^{-1}(D/d)$$

که در رابطه فوق، n_1, n_2 تعداد شمع در گروه در هر راستا می‌باشد.در خاک‌های رسی، ظرفیت باربری نهایی گروه شمع را می توان کمترین دو مقدار زیر در نظر گرفت:

$$\sum Q_u = n_1 n_2 (Q_s + Q_p) = n_1 n_2 \left[9 A_p c_{u(p)} + \sum \alpha\, p c_u \Delta L\right] \qquad (۴)$$
$$\sum Q_u = L_g B_g c_{u(p)} N_c^* + \sum 2(L_g + B_g) c_u \Delta L$$

رابطه دوم با فرض این است که گروه شمع به صورت یک بلوک با ابعاد $L_g \times B_g \times L$ عمل می‌کند که L_g, B_g ابعاد کلاهک، Ap سطح مقطع نوک شمع، p محیط جداره شمع، c_u چسبندگی و α, N_c^* ضرایب هستند [۱].

۲-۲- شمع های قائم تحت بار جانبی

کوشش‌های اولیه برای تحلیل شمع تحت بار جانبی با استفاده از روش تفاضل‌های محدود توسط هو (۱۹۵۵)، متلاک و ریس (۱۹۶۰) و باولز (۱۹۶۸) انجام شد. اگرچه در گذشته به صورت گسترده‌ای از روش متلاک و ریس استفاده می‌شد، ولی طبق نظر باولز از آنجا که پی شمعی پرهزینه بوده و حداقل از سال ۱۹۶۰ برای تحلیل شمع ها، محاسبات کامپیوتری وجود داشته است بنابراین استفاده از روش‌های آنالیز اجزا محدود با استفاده از برنامه‌های کامپیوتری را توصیه کرده است. در این تحقیق نیز برای تحلیل شمع تحت بار جانبی و بدست‌آوردن ثابت‌های شمع برای تحلیل گروه شمع‌ها، از برنامه کامپیوتریFADBEMLP باولز استفاده شده است [۱].

۳- طراحی کلاهک شمع

گروه شمع‌ها معمولا بوسیله یک سازه میانجی، بارهای سازه را به زمین منتقل می‌کنند. این قسمت میانجی را کلاهک می‌نامند که معمولا به صورت بتنی اجرا می‌شود. در طراحی کلاهک گروه شمع، بار، لنگر ستونها، خاک روی کلاهک (در صورتی که در زیر سطح زمین باشد) و وزن کلاهک در نظر گرفته می‌شود [۱].

٤- تحلیل ماتریسی گروه شمع‌ها

باولز در سال ۱۹۷۴ برای حل ماتریسی گروه شمع، معادلات ماتریسی زیر را ارائه نمود:

$$P = ASA^T X \;,\; F = Se = SA^T X \qquad (۵)$$
$$e = A^T X$$

ASA^T برای هر یک از شمع‌های موجود در گروه محاسبه و در ماتریس ASA^T گروه جمع می‌شوند. ماتریس ASA^T ، معکوس شده و با ضرب در (P) تغییر مکانهای کلاهک (Xها) به دست می‌آیند. با بکارگیری مقادیر X، تغییر مکان سرشمع‌ها (e ها) به دست آمده و به کمک آن نیروی شمع‌ها F از ضرب ماتریس S در تغییر مکان شمع‌ها (e)، محاسبه می شود [۲].

راه‌حل ماتریسی کاملا کلی است و در آن از شش درجهٔ آزادی استفاده می‌شود. (سه انتقال X,Y و Z و سه دوران θx و θy و θz).

فرض اصلی در این جا صلبیت کامل کلاهک شمع است، به طوری که تنها تغییر مکان‌های جسم صلب یعنی انتقال و دوران نسبت به یک مجموعه محور جسم روی دهد. فرض می‌شود که در بین سر شمع‌ها هیچ دوران خمشی یا افزایش طول کلاهک صورت نمی‌گیرد [۲].

۵- تحقیقات انجام شده در مورد گروه شمع‌ها

در مطالعات گذشته، بهینه‌سازی گروه شمع‌ها عموما معطوف به تمرکز بر چگونگی باربری شمع ها درگروه شمع و ملاحظات نشست و ظرفیت باربری آنها بوده است تا بدین ترتیب با کسب ایده‌های لازم، روش‌های مناسب در طرح بهینه فراهم گردد.

وسیک (۱۹۶۹) با استفاده از شمع‌هایی به قطر ۱۰۰mm و طول mm ۱۸۰۰ در ماسه، یک مجموعه آزمایش باربر روی گروه شمع‌ها با بارگذاری قائم را گزارش نمود که گروه شمع‌ها شامل چهار ونه شمع بوده است. در گروه شمع‌های چهارتای، بار قائم به صورت یکنواخت در بین چهار شمع توزیع شده بود و در گروه شمع‌های نه تایی، شمع داخلی بار بیشتری نسبت به شمع‌های گوشه (با حداقل بار) و شمع‌های کناری (با بار بینابینی) تحمل می‌کرد [۴]. راندولف (۱۹۹۴) پیشنهاد کرد که با تمرکز چندین شمع در محدوده مرکز گروه شمع می‌توان نشست تفاضلی را به طور موثری کاهش داد و به این نتیجه رسید که نشست تفاضلی حداقل، منجر به طرح بهینه گروه شمع می‌گردد [۵].

هوریکوشی و راندولف (۱۹۹۸) با انجام آزمایش سانتریفیوژ بر روی مدل شمع به مطالعه مساله پرداختند. نتایج حاصل از مطالعات آنها صحت فرضیه پیشنهادی راندولف (۱۹۹۴) را تایید کرد [۶].

کیم و لی (۲۰۰۱) با تدوین یک برنامه کامپیوتری و با تابع هدف حداقل کردن نشست تفاضلی گروه شمع، یک روش چینش بهینه شمع‌ها را برای ۳ مسئله خاص مورد بررسی قرار دادند [۷].

فاصله بین شمع‌ها در گروه، می‌تواند در رفتار آنها در پاسخ به نیروی جانبی تاثیر گذار باشد، برهمین اساس رولینز و همکاران (۲۰۰۶) اقدام به انجام آزمایش‌های بارگذاری جانبی برای گروه‌های شمع با فاصله متفاوت کردند و به نتایج زیر رسیدند [۸].

- میانگین مقاومت بارجانبی تابعی از فاصله شمع‌ها است.
- ردیف اول شمع‌ها در گروه، متحمل بیشترین بار می‌شوند، درحالی که ردیف دوم بار کمتری از ردیف اول و ردیف سوم بارکمتری از ردیف دوم در جابجایی‌های برابر، تحمل می‌کنند. این در حالی است که ردیف‌های چهارم و پنجم تقریبا باری برابر ردیف سوم تحمل می‌کنند.

لیونگ و همکاران در سال ۲۰۱۰ با ارائه یک روش آنالیز المان محدود براساس رفتار الاستوپلاستیک، مسئله بهینه سازی گروه شمع ها و شمع های گسترده را که در آنها طول شمع ها متغیر بودند، مورد بررسی قرار دادند. مطالعات انجام شده و نتایج ارائه شده در گروه شمع‌های اصطکاکی و در خاک‌های همگن کاربرد دارند. مسئله برای دو الگوی مختلف بررسی شد و در نهایت این نتیجه حاصل شد که با فرض مقدار مصالح مصرفی یکسان، در یک گروه شمع بهینه شده با طول شمع‌های متفاوت، نه‌تنها سختی کلی گروه افزایش می‌یابد، بلکه باعث کاهش نشست تفاضلی و در نتیجه کاهش پیچش و ترک در روسازه گروه شمع نیز می‌شود [۹].

۶- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یکی از توانمندترین روش‌های بهینه سازی است که با الهام از پدیده طبیعی تکامل، پایه‌ریزی شده است. الگوریتم ژنتیک توسط جان هلند و در سال ۱۹۷۵ در دانشگاه میشیگان ارائه شد. در سال ۱۹۹۲ نیز جان کوزا از الگوریتم ژنتیک برای حل و بهینه‌سازی مسائل مهندسی پیشرفته استفاده‌کرد و توانست برای اولین بار روند الگوریتم ژنتیک را به زبان کامپیوتر درآورد و برای آن یک زبان برنامه‌نویسی ابداع کند که به این روش برنامه‌نویسی، برنامه نویسی ژنتیک گویند.

الگوریتم ژنتیک یک روش بهینه سازی است که با خود تابع ارتباط داشته و به مشتقات تابع کاری ندارد و این امر یکی از مزایای این روش است. از دیگر مزایای این روش ساده بودن بودن الگوریتم و قابل فهم بودن و راحتی آن برای تبدیل به برنامه کامپیوتری است. برنامه الگوریتم ژنتیک، نیازی به داده های اولیه ندارد بلکه کار را با تعدادی جمعیت اولیه که به طور تصادفی تعیین می شوند آغاز می‌کند، سپس طی چندین نسل، به جواب بهینه همگرا می شود.

۷- بهینه‌سازی گروه شمع با تابع هدف حداقل هزینه

با کمک برنامه تدوین شده در محیط MATLAB ، می توان برای هر دو روش شمع بتنی درجا و شمع پیش ساخته، ابعاد گروه شمع را به صورتی بدست آورد که تابع هزینه آن با تامین ضوابط طراحی و اجرایی، کمترین مقدار را داشته باشد. به عبارت دیگرتابع هزینه $f = (D , L , dx , dz , h)$ به شرط برقراری شرایط طراحی و اجرایی، مینیمم گردد که در آن، D قطر شمع، L طول شمع، dx فاصله مرکز به مرکز شمع در راستای طولی کلاهک، dz فاصله مرکز به مرکز شمع در راستای عرضی کلاهک و h ضخامت کلاهک شمع است.

۷-۱- مراحل اجرای برنامه

مراحل تعیین تابع هدف و الگوریتم برنامه به شرح زیر می‌باشد:

۱- خواندن اطلاعات ورودی در برنامه:

شامل مشخصات فیزیکی و مکانیکی خاک، طول (L_g) و عرض (B_g) کلاهک، مشخصات بتن مصرفی، بارهای وارد بر کلاهک و روش اجرا.

۲- تولید p رشته به طور تصادفی به عنوان جمعیت اولیه:

برای استفاده از الگوریتم ژنتیک، ابتدا لازم است متغیرهای D، L، dx، dz، h با دنباله ای مناسب از اعداد باینری نمایش داده شوند که در این تحقیق، تعداد حالات انتخابی برای هر پارامتر ۳۱ حالت در نظر گرفته شده است. پس می توان هر پارامتر را توسط ۵ بیت نمایش داد. بنابراین

پس از انتخاب p عدد به طور تصادفی برای هر یک از پارامترهای طراحی گروه شمع، این اعداد تصادفی تبدیل به کد (مبنای ۲) شده و به صورت دنباله‌ای از کدها در یک رشته قرار می‌گیرند. پس هر رشته نشان دهندهٔ یک گروه شمع خاص می‌باشد. به عنوان مثال طول رشته i ام به صورت زیر نمایش داده می شود.

$$S_i = \underbrace{01101}_{D}\ \underbrace{11011}_{L}\ \underbrace{00101}_{dx}\ \underbrace{11001}_{dz}\ \underbrace{01100}_{h}$$

که در آن ۵ بیت اول کد پارامتر D، ۵ بیت دوم کد پارامتر L، ۵ بیت سوم کد پارامتر dx، ۵ بیت چهارم کد پارامتر dz و ۵ بیت آخر کد پارامتر h را نشان می دهد.

۳- اجرای برنامه FADBEMLP برای هر رشته از جمعیت برای محاسبه ثابت های گروه شمع.

۴- تحلیل ماتریسی گروه شمع برای هر رشته از جمعیت:

در این مرحله با تحلیل ماتریسی گروه شمع نیروهای وارد بر هر تک شمع و نشستهای تغییر مکانی و دورانی کلاهک برای هر رشته از جمعیت محاسبه می‌شود.

۵- محاسبه ظرفیت باربری تک شمع تحت بار قائم برای هر رشته از جمعیت

۶- کنترل ظرفیت باربری و نشست تک شمع وگروه شمع برای هر رشته از جمعیت:

در این مرحله، در صورتی که نیروی محاسبه شده برای هر تک شمع در گروه بیش از ظرفیت باربری آن باشد و یا نشست کلاهک گروه شمع بیش از حد مجاز شود و یا در صورتیکه برش مقاطع بحرانی شمع و ستون متصل با کلاهک برای هر رشته از جمعیت از مقادیر مجاز آیین‌نامه بیشتر شود، آن رشته از جمعیت از نظر فنی جوابگو نبوده و از جمعیت حذف می‌شود.

۷- محاسبه آرماتورهای مورد نیازکلاهک و شمعهای گروه براساس آیین‌نامه آبا برای هر رشته از جمعیت باقی مانده از مرحله ۶

۸- تعیین مقدار تابع هدف (هزینه):

در این مرحله برای هر رشته از جمعیت، تابع هزینه ساخت و اجرای گروه شمع برای هر دو روش شمع بتنی درجا و شمع پیش ساخته، براساس فهرست بهای واحد پایه رشته راه، باند فرودگاه و زیرسازی راه آهن سال ۱۳۸۸ محاسبه می‌شود.

۹- تعیین عدد برازندگی رشته‌ها براساس تابع هدف:

در فرآیند بهینه سازی، رشته‌های جمعیت براساس مقادیر تابع هدف (هزینه)، ازکوچک به بزرگ مرتب می‌شوند. برای هر رشته یک عدد برازندگی نسبت داده می‌شود بدین صورت هر چه برازندگی یک رشته بیشتر باشد، احتمال انتخاب شدن آن بیشتر بوده و با تعداد بیشتری در تولید نسل بعد شرکت می‌کند.

۱۰- کنترل شرایط توقف:

در این مرحله شرایط توقف کنترل می‌شود. در این جا شرط توقف تعداد تکرار در نظر گرفته شده است و اجرای برنامه در تکرار ۲۵ ام متوقف می‌شود و در این مرحله کمترین هزینه به عنوان جواب مسأله انتخاب می شود.

۱۱- اعمال عملگرهای الگوریتم ژنتیک بر روی رشته‌های جمعیت برای تولید نسل جدید.

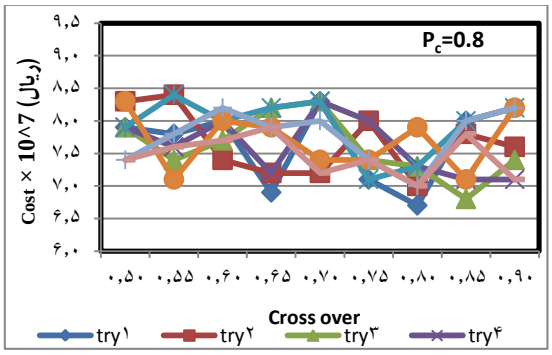
۱۲- تعیین رشته‌های جدید ایجاد شده از مرحله ۱۱ و بازگشت به مرحله ۳ :

در این مرحله رشته‌های جدید همانند گروه‌های شمع طراحی شده و پس ازآن تابع هدف محاسبه می‌شود. سپس مراحل ۳ تا ۱۱ یک سیکل را تشکیل داده و تا رسیدن به شرط توقف تکرار می‌شوند.

۸- آنالیز حساسیت

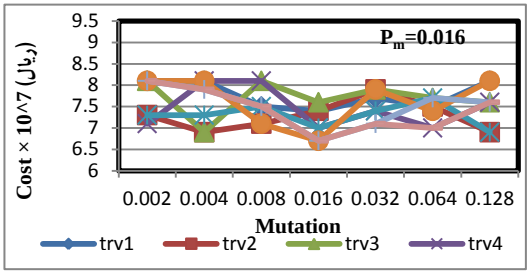
پارامترهای الگوریتم ژنتیک بایستی بطور مناسب انتخاب شوند تا برنامه بتواند به طور صحیح به جستجو بپردازد، در غیر اینصورت علاوه بر اینکه ممکن است تحلیل در نقطهٔ بهینهٔ موضعی متوقف شود، سرعت همگرائی نیز کاهش می‌یابد. برای تعیین مقادیر مناسب پارامترهای فوق لازم است که آنالیز حساسیت انجام شود. آنالیز حساسیت به این صورت انجام گرفته است که هر بار یک پارامتر به عنوان متغیر و دو پارامتر دیگر، ثابت در نظر گرفته می‌شود و به ازای تغییر هر یک از متغیرها، ۸ بار برنامه اجراء شده و ۸ مقدار تابع هدف به دست می آید. با مشاهدهٔ دیاگرام بدست آمده، در محدوده‌ای که تراکم خطوط بیشتر بوده و تابع هدف (هزینه) کمترین مقدار را داشته باشد، مقدار مناسب برای پارامتر مورد نظر تعیین می شود.

در شکل (۱) آنالیز حساسیت برای احتمال ترکیب مشاهده می‌شود. همانطور که در شکل ملاحظه می شود در نقطه $P_c=0.8$ تراکم منحنی‌ها بیشتر بوده و دارای مقدار هزینه کمتری نیز می‌باشند بنابراین $P_c=0.8$ مقدار مناسبی می‌باشد.



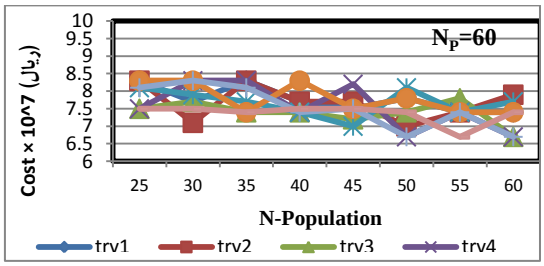
شکل (۱): نمایش تغییرات هزینه دربرابراحتمال‌های مختلف ترکیب درحالت شمع‌های بتنی درجا

درشکل(۲) آنالیز حساسیت برای احتمال جهش مشاهده می‌شود. همانطور که در شکل ملاحظه می شود در نقطه $P_m=0.016$ تراکم منحنی‌ها بیشتر بوده و دارای مقدار هزینه کمتری نیز می‌باشند بنابراین $P_m=0.016$ مقدار مناسبی می‌باشد.



شکل ۲- نمایش تغییرات هزینه دربرابراحتمال‌های مختلف جهش درحالت شمع‌های بتنی درجا

درشکل(۳) آنالیز حساسیت برای تعداد جمعیت مشاهده می‌شود. همانطور که در شکل ملاحظه می‌شود در محدوده $N_P=50\text{-}60$ تراکم منحنی‌ها بیشتر بوده و دارای مقدار هزینه کمتری نیز می‌باشند بنابراین $N_P=60$ مقدار مناسبی می‌باشد.



شکل ۳- نمایش تغییرات هزینه دربرابر تعداد جمعیت مختلف درحالت شمع-های بتنی درجا

۹- تجزیه، تحلیل و تفسیر نتایج برنامه

در این بخش، برای پروژه فرضی شکل(۴) نتایج برنامه مورد بررسی قرار می گیرد.

در شکل (۵) مشخصات بهینه طرح اولیه شمع درجا برای نسل اول به صورت زیر به دست آمد:

شمع درجا : $D=0.55\ m\ ,\ L=15.5\ m\ ,\ h=1.05\ m\ ,\ Nx=3\ ,\ Nz=3\ ,\ Cost=109{,}800{,}000\ Rials$

پس از تکرار ۲۵ نسل جمعیت، مشخصات طرح نهایی بهینه برای نسل ۲۵ ام به صورت زیر است:

شمع پیش ساخته : $D=0.6\ m\ ,\ L=8\ m\ ,\ h=0.8\ m\ ,\ Nx=3\ ,\ Nz=3\ ,\ Cost=67{,}100{,}000\ Rials$

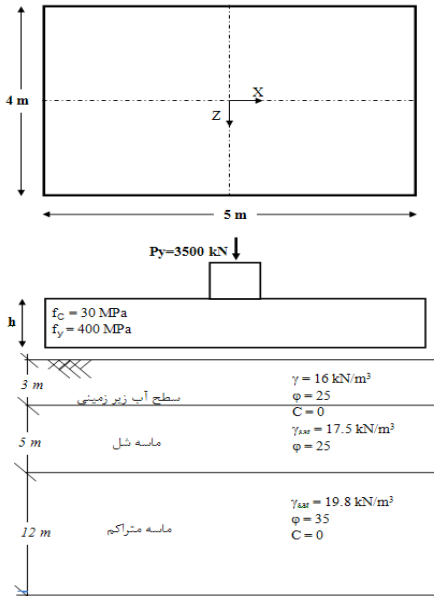
از مقایسه طرح اولیه و ۲۵ ام این نتیجه می‌شود که قطر شمع 5cm افزایش، طول شمع 7.5m و ضخامت کلاهک شمع 25cm کاهش یافته است و در کل کاهش هزینه‌ای برابر با 38.9% نسبت به طرح اولیه مشاهده می‌شود.

در شکل (۶) مشخصات بهینه طرح اولیه شمع پیش‌ساخته برای نسل اول به صورت زیر است:

شمع پیش ساخته : $D=0.55\ m\ ,\ L=12\ m\ ,\ h=1.6\ m\ ,\ Nx=3\ ,\ Nz=3,Cost=94{,}200{,}000\ Rials$

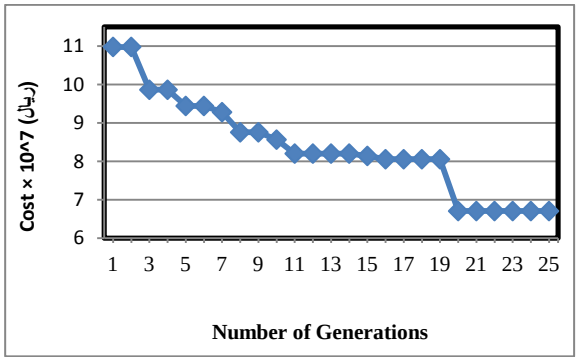
پس از تکرار ۲۵ نسل جمعیت، مشخصات طرح نهایی بهینه برای نسل ۲۵ ام به صورت زیر است:

شمع پیش ساخته : $D=0.6\ m\ ,\ L=8\ m\ ,\ h=0.8\ m\ ,\ Nx=3\ ,\ Nz=3\ ,\ Cost=66{,}500{,}000\ Rials$



شکل۴- مشخصات پروژه

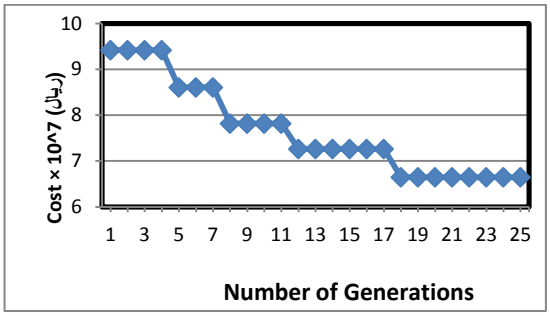
از مقایسه طرح اولیه و ۲۵ ام این نتیجه می‌شود که قطر شمع 5cm افزایش، طول شمع 4m و ضخامت کلاهک شمع 80cm کاهش یافته است و در کل کاهش هزینه ای برابر با ۲۹.۴٪ نسبت به طرح اولیه مشاهده می شود.



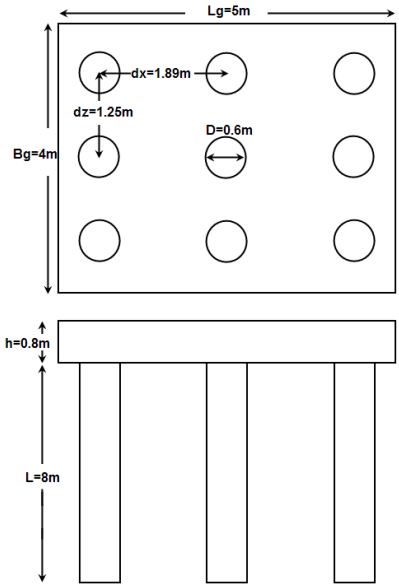
شکل ۵- مشخصات نمایش تغییرات بهترین هزینه در هر نسل در مقابل تعداد تکرار (شمع های بتنی درجا)

در شکل(۷) پارامترهای بهینه به‌دست آمده از برنامه برای گروه شمع

پروژه شکل(۴) و برای هر دو حالت شمع بتنی درجا و شمع بتنی پیش‌ساخته نشان داده شده است در شکل(۵) و شکل(۶) ملاحظه می‌شود که در مراحل اولیهٔ اجرای برنامه، هزینه با سرعت زیادی کاهش می‌یابد و در انتهای برنامه، تغییرات هزینه خیلی کم می‌شود. دلیل این امر را می‌توان به این صورت توجیه کرد که در مراحل اولیهٔ برنامه تنوع رشته‌ها زیاد است که با افزایش تعداد تکرار، رشته‌ها به سمت نقطهٔ بهینه همگرا می‌شوند و تنوع رشته‌ها نیز کاهش می یابد.

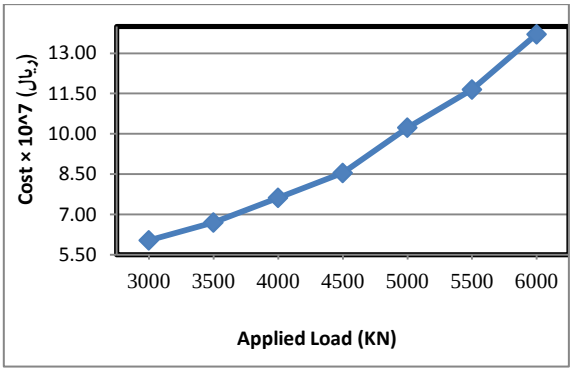


شکل۶- مشخصات نمایش تغییرات بهترین هزینه در هر نسل در مقابل تعداد تکرار (شمع پیش ساخته)



شکل۷- مشخصات نمایش پارامترهای بهینه به دست‌آمده از برنامه برای گروه شمع پروژه

در شکل(۸) تغییرات هزینه با ثابت نگه داشتن طول و عرض کلاهک $(Lg=5m,Bg=4m)$ و افزایش سربار از $3000KN$ تا $6000KN$ و با افزایش گام $500KN$ در حالت شمع بتنی درجا نشان داده شده است. جدول(۱) پارامترهای طراحی در هر گام را نشان می‌دهد. همانطور که در جدول(۱) ملاحظه می‌شود، با افزایش مقدار سربار، هزینه نیز افزایش می‌یابد. نکته مهمی که در جدول فوق ملاحظه می شود این است که با افزایش مقدارسربار، فاصله بین شمع ها کاهش می‌یابد به عبارت‌دیگر تمرکز شمع‌ها در زیر ناحیه بار بیشترشده و تمایل چیدمان شمع‌ها به سمت بارگذاری افزایش می‌یابد.



شکل۸- تغییرات هزینه با ثابت بودن طول و عرض کلاهک و با افزایش سربار در حالت شمع بتنی درجا

۱۰- بررسی نتایج تحلیل دستی پروژه

در این تحقیق به منظور ارزیابی صحت نتایج برنامه تدوین شده، به بررسی و مقایسه نتایج تحلیل دستی پروژه شکل(۴) با نتایج به دست آمده از برنامه پرداخته می شود.

برای حل دستی و به دست آورن پارامترهای بهینه، بایستی به روش سعی و خطا برای حالات مختلف (D, L, dx, dz, h)، مقدار تابع هدف را به دست آورد. همانطور که در جدول(۲) مشاهده می شود، نتیجه نهایی تحلیل دستی پروژه مورد نظر برای دو روش شمع های بتنی درجا و پیش ساخته به صورت زیر خواهد بود:

شمع بتنی درجا : $D=0.6\ m\ ,\ L=8\ m\ ,\ h=0.8\ m\ ,\ Nx=3\ ,\ Nz=3\ ,\ Cost=\ 67{,}100{,}000\ Rials$

شمع پیش ساخته : $D=0.6\ m\ ,\ L=8\ m\ ,\ h=0.8\ m\ ,\ Nx=3\ ,\ Nz=3\ ,\ Cost=\ 66{,}500{,}000\ Rials$

همانطور که ملاحظه می شود، نتایج تحلیل دستی به خوبی با نتایج برنامه مطابقت دارد.

۱۱- نتیجه و جمع بندی

نتایجی که در راستای تحقیق حاضر مشاهده شد، به شرح ذیل می باشد:

۱- خروجی برنامه تدوین شده شامل پارامترهای قطر و طول شمع، ضخامت کلاهک، تعداد شمع در هر جهت و فاصله بین شمع‌ها است. بنابراین به کمک این برنامه می‌توان یک گروه شمع بهینه طراحی نمودکه از نظر طراحی ومسایل فنی جوابگو و از نظر اقتصادی باصرفه ترین است.

۲- تعیین نوع تابع هدف برای بهینه سازی بسیار مهم است.

خصوص مسأله گروه شمع ها، با توجه به مطالعات حاضر، به کار بردن یکی از توابع هدف هزینه و یا به حداقل رساندن نشست تفاضلی توصیه می شود.

۳- با افزایش مقدارسربار، فاصله بین شمع ها در گروه کاهش می‌یابد به عبارت دیگر تمرکز شمع‌ها در زیر ناحیه بار بیشترشده و تمایل چیدمان شمع‌ها به سمت بارگذاری افزایش می‌یابد که این مطلب با نتایج تحقیقات راندولف (۱۹۹۴) و کیم و لی (۲۰۰۱) همخوانی دارد.

۴- تعیین پارامترهای الگوریتم ژنتیک، مبحث مهمی است که سرعت همگرایی مسأله را افزایش می‌دهد. در این تحقیق همانطور که مشاهد شد با انجام آنالیز حساسیت، با افزایش احتمال ترکیب (Pc) و جمعیت اولیه (Np) و همزمان با کاهش احتمال جهش (pm) سرعت همگرایی مساله افزایش یافته و امکان رسیدن به طرح بهینه افزایش می‌یابد.

جدول۱- پارامترهای طراحی در هر گام افزایش سربار با ثابت نگه داشتن طول و عرض کلاهک (شمع بتنی درجا)

سربار(KN)	۳۰۰۰	۳۵۰۰	۴۰۰۰	۴۵۰۰	۵۰۰۰	۵۵۰۰	۶۰۰۰
D(m)	۰/۵۵	۰/۶	۰/۶۵	۰/۷	۰/۸	۰/۶۵	۰/۶۵
L(m)	۸	۸	۸	۸	۸	۱۳	۱۵/۵
h(m)	۰/۷۵	۰/۸	۰/۹	۰/۹۵	۱/۰۵	۱/۰۵	۱/۱۵
Nx	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳
Nz	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳
dx(m)	۱/۹۷	۱/۸۹	۱/۷۳	۱/۶۵	۱/۵۷	۱/۷۳	۱/۷۳
dz(m)	۱/۳۷	۱/۲۵	۱/۲۵	۱/۲۵	۱/۲۵	۱/۲۵	۱/۲۵
Cost×۱۰^{۷}	۶/۰۴	۶/۷۱	۷/۶۲	۸/۵۵	۱۰/۲۳	۱۱/۶۵	۱۳/۷۱

جدول۲- پارامترهای طراحی در هر نتایج تحلیل دستی پروژه برای ۱۵ حالت

ردیف	D(m)	L(m)	h(m)	Nx	Nz	Cost×۱۰^۷ (ریال) (شمع بتنی پیش ساخته)	Cost×۱۰^۷(ریال) (شمع بتنی درجا)
۱	۰/۶	۱۲	۱	۳	۳	۹/۶۰	۹/۶۸
۲	۰/۶	۷	۱	۳	۳	جوابگو نیست	جوابگو نیست
۳	۰/۶	۱۰	۰/۹	۳	۳	۸/۱۶	۸/۲۳
۴	۰/۶	۸	۰/۹	۳	۳	۶/۸۳	۶/۸۸
۵	۰/۸	۷	۰/۹	۳	۳	جوابگو نیست	جوابگو نیست
۶	۰/۵۵	۱۰	۰/۸	۳	۳	۷/۲۷	۷/۴۲
۷	۰/۵۵	۹/۵	۰/۸	۳	۳	۶/۹۷	۷/۱۱
۸	۰/۶	۸	۰/۸	۳	۳	۶/۶۵	۶/۷۱
۹	۰/۶	۸	۰/۷	۳	۳	جوابگو نیست	جوابگو نیست
۱۰	۱	۱۰	۱	۲	۲	۸/۷۴	۸/۳۵
۱۱	۰/۹	۱۰	۱	۲	۲	۷/۵۰	۷/۲۳
۱۲	۰/۸۵	۱۱	۰/۹	۲	۲	۷/۳۵	۷/۱۲
۱۳	۰/۸	۱۰	۰/۹	۲	۲	جوابگو نیست	جوابگو نیست
۱۴	۰/۸	۱۱	۰/۸	۲	۲	جوابگو نیست	جوابگو نیست
۱۵	۰/۹	۱۰	۰/۸	۲	۲	۷/۳۳	۷/۱۰

۱۲- مراجع

۱- داس، براجا، ام.، اصول مهندسی ژئوتکنیک: مهندسی پی ، طاحونی، شاپور، جلد۲، ۱۳۸۶.

۲- بولز، ج.، تحلیل و طراحی پی ، اطیابی، اردشیر.، جلد۲، ویرایش۴، ۱۳۸۸.

۳- سازمان برنامه و بودجه، آیین نامه بتن ایران: آبا (نشریه شماره ۱۲۰)، ۱۳۷۸.

4- Vesic, A. S. Experimens with instrumented pile groups in sand, ASTM, STP, No. 444, 1969, pp 177-222.

5- Randolph M. F. Design methods for pile groups and piled rafts. 13th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, New Delhi;5, 1994, pp 61–82.

6- Horikoshi K. & Randolph M. F.. A contribution to optimum design of piled rafts. Geotechnique; 48(3), 1998, pp.301–317.

7- Kim, K. N. & Lee, S. H. Optimal pile arrangement for minimizing differential settlements in piled raft foundations, Computers and Geotechnics, 2001, pp 235-253.

8- Rollins, K. M., Olsen, Ryan J., Egbert, Jeffery J., Jensen, Derek H., Olsen Kimball G., and Garrett, Brian H. Pile Spacing Effects on Lateral Pile Group Behavior: Load Tests. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2006, pp 1262-1271.

9- Leung, Y. F. & Klar, A. & Soga, K. Theoretical Study on Pile Length Optimization of Pile Groups and Piled Rafts, Journal of Geotechnical and Geoenviromental Engineering, ASCE, vol. 136, No. 2, 2010, pp 319-330.

۱۰- سازمان برنامه و بودجه، فهرست بهای واحد پایه رشته راه، باند فرودگاه و زیر سازی راه آهن، رسته راه و ترابری، ۱۳۸۸.

۱۱- نجفی زاده چناری، ج، بهینه سازی گروه شمع های عمیق ، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۳.

Optimization of Pile Groups Using Genetic Algorithm

A.Heshmati
Department of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

M.Jahangirpour
Department of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

H.Salehzade
Department of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

A.Soudagar
Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Dezful Branch, Iran

Abstract
Most civil projects applied to heavy vertical and horizontal loads or in lands do not have enough strength against applied load. Despite heavy expenses, it is necessary to use pile. Pile foundations are much more expensive than spread and mat foundations; hence, determining number, dimensions and distances should be done with special care so that these parameters are not determined excessively. For optimized design of pile groups, cost analyses based on settlement equations and bearing capacities to determine number, dimensions and piles distances are necessary. In this research, a computer program has been written in MATLAB language, and by using genetic algorithm which can optimize pile groups design. Outputs of this computer program consist of diameter and length of piles, thickness of pile cap, number of piles and their distances in each direction; therefore, this computer program can design an optimized pile group which tackles technical problems while it is the most economical.

Keywords: Vertical pile groups, optimization, genetic algorithm, MATLAB