



بهینه سازی آرایش نامنظم گروه شمع ها با بهره گیری از الگوریتم ژنتیک تحت بارگذاری نامتقارن

مجید خندان بکاولی^۱، جعفر بلوری بزاز^۲، ایرج رحمانی^۳، جعفر نجفی زاده^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران- خاک و پی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز

۲- استادیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استادیار پژوهشکده حمل و نقل وزارت راه و ترابری

۴- دانشجوی دکتری مهندسی زلزله، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

Khandan_majid@yahoo.com

bolouri@um.ac.ir

خلاصه

در طراحی فونداسیونها بسیار متداول است که در ابتدا فونداسیونی سطحی با سیستم پی رادیه برای انتقال بارهای روسازه به خاک، به عنوان اولین گزینه مد نظر قرار گیرد و سپس در صورت عدم کفایت باربری ژئوتکنیکی یا جهت کاهش نشستهای فونداسیون، از گروه شمع در زیر آن استفاده شود. هنگامی که یک پی شمعی در خصوص یک پروژه ضرورت می یابد لازم است با انجام یک تحلیل هزینه ای با در نظر داشتن معادلات نشست و ظرفیت باربری تعداد، طول و قطر شمع، بهینه ترین آرایش شمع های مورد نیاز را با حداقل هزینه تعیین نمود. در گذشته روش های کلاسیک شامل روشهای عددی و تحلیلی در بهینه سازی سازه ها استفاده می گردید اما هر یک از این شیوه ها محدودیت های خاص خود را دارند. امروزه با گسترش مسائل بهینه سازی و اهمیت رسیدن به بهینه کلی و عدم پاسخگویی روش های کلاسیک، از روش های جستجوی تصادفی همه جانبه فضای مسئله استقبال بیشتری شده است. به عنوان مثال الگوریتم ژنتیک یکی از روشهای تکاملی می باشد که از روند تکامل موجودات زنده طی نسل های مختلف الهام گرفته شده است. این الگوریتم در بهینه سازی سازه ها به طور وسیعی مورد استفاده قرار می گیرد. در این تحقیق با استفاده از برنامه MATLAB و عناصر و عملگرها موجود در الگوریتم ژنتیک جهت بهینه سازی آرایش نامتقارن و هزینه اجرای شمع ها تحت بارگذاری نامتقارن وارد بر پی استفاده شده است. بدین صورت که متغیرها و توابع هدف مسئله مورد نظر تعیین شده و سپس با بهره گیری از روش الگوریتم ژنتیک و محیط برنامه نویسی MATLAB برنامه کامپیوتری تدوین گشته است. هدف این برنامه تأمین کلیه شرایط فنی و اجرایی و تعیین پارامترهای طراحی جهت دستیابی به جواب بهینه می باشد. روند بهینه یابی گاه ممکن است منجر به کاهش ۵۰ درصدی هزینه طرح نیز شود.

کلمات کلیدی: بهینه سازی، گروه شمع، الگوریتم ژنتیک، بارگذاری نامتقارن.

۱. مقدمه

اگر چه پی گسترده در میان پی های سطحی راه حل نسبتا مناسبی به شمار میرود ولی با وجود ایراداتی از قبیل معضلات اجرایی و بتن ریزی یکپارچه، غیر اقتصادی بوده و در نهایت وقوع نشست های زیاد را به دنبال دارد. با توجه به عرض نسبتا زیاد پی های گسترده در مقایسه با پی های نواری و پی های منفرد و منطقه تاثیر تنش نسبتا زیاد در زیر پی معضلات نشست در زیر پی های گسترده ممکن است برای سازه های مهم و سنگین از محدوده مجاز نشستها تجاوز نماید. به علاوه برای پروژه های سنگین فشارهای بزرگی را به زمین وارد می سازند و معضلات باربری نیز به صورت قابل توجهی مطرح خواهد بود. در این خصوص می توان با تلفیق پی گسترده به همراه شمع و مشارکت در باربری یکی از کاملترین انواع فونداسیونها را اجرا نمود. بر اساس تجارب حاصل از کنترل نشست با استفاده از شمع می توان با انتخاب گزینه مناسب پی گسترده و تغییر در تعداد، طول و قطر شمع و اندرکنش مطلوب پی رادیه و شمع که اصطلاحا به پی گسترده مرکب موسوم است، اثرات توأم توان باربری و نیز کاهش نشست و هزینه را ایجاد نمود.

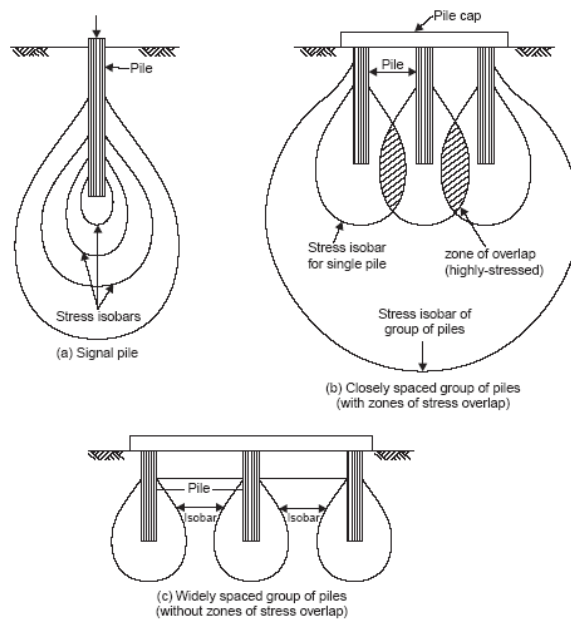
طول یا محل قرارگیری شمع در خاک، سطح مقطع، جنس، روش نصب و چگونگی عملکرد شمع ها از متغیرهای اصلی بوده که با توجه به شرایط و نیازهای پروژه تعیین می گردند، که در تحقیق حاضر سعی شده با توجه به کلیه این نیازها و بهره گیری از برنامه های کامپیوتری و اصول

الگوریتم ژنتیک به بهینه سازی این متغیرها در جهت کاهش هزینه (کاهش حجم بتن ریزی و آرماتوربندی به عنوان تابع هدف در حل مسائل مطرح شده است) پرداخته شود.

۲. پی های عمیق (شمع و گروه شمع)

عمق استقرار پی های عمیق در مقایسه با دیگر ابعاد آن در پلان، به مراتب بزرگتر می باشد. از این نوع پی ها برای عبور از لایه های سطحی ضعیف و مسئله دار، مصونیت در مقابل آب شستگی، تحمل نیروهای جانبی و کششی بزرگ، مقابله با اثرات حفاری های آبی در مجاورت پروژه، تراکم لایه های ضعیف در عمق، حذف مشکلات اجرائی پی سازی سطحی در شرایط بالا بودن سطح آب زیرزمینی استفاده می شود. پی های عمیق بارهای وارده را علاوه بر عکس العمل کف که مشابه عملکرد پی های سطحی است، با عکس العمل جداری نیز تحمل می نماید. دو دسته عمده پی های عمیق شامل سیستم های لاغر متداول یا شمع و سیستم قطورتر و یا پایه های عمیق را می توان نام برد. روش های مختلفی برای اجرای پی های عمیق مطرح است. شمع های کوبیدنی از نوع چوبی، بتنی و یا فولادی که از طریق انواع چکش ها، جک ها و ویراتورهای کوبنده، به زمین رانده می شوند. شمع ها و پایه های درجا توسط حفاری چاه و یا گمانه و سپس ریختن مصالح بنایی، بتن ریزی و یا مسلح، و یا استقرار مقاطع پیش ساخته در مجاری حفاری شده اجرا می گردند. شمع های کوبیدنی نیز شامل مواردی می شوند که ابتدا یک پوسته و یا غلاف به زمین رانده شده و سپس داخل آن با بتن پر می شود، پوسته و یا غلاف پس از بتن ریزی در محل باقی مانده و یا بیرون کشیده می شود [۱].

در اغلب موارد شالوده های عمیق از گروهی شمع تک، تشکیل یافته که با هم فاصله کمی داشته و در بخش فوقانی شمع ها به کلاهک مهار شده و گروه شمع را تشکیل می دهند. در حالت کلی ظرفیت باربری گروه شمع برابر با جمع کل ظرفیت باربری یکایک شمع ها نبوده و در این حالت عملکرد مشترک شمع ها با عملکرد منفرد آنها کاملاً متفاوت است، زیرا که تنش های حاصل از شمع ها در فضای اطرافشان انتقال یافته و نوعی عملکرد مشترک مانند آنچه در شکل ۱ نشان داده می شود را ایجاد می نماید. شدت تنش ناشی از همپوشانی با افزایش فاصله بندی شمعها کاهش می یابد برای رسیدن به حداکثر ظرفیت باربری شمع ها در یک گروه باید حداقل فاصله شمع ها از یکدیگر حدود 2.5D تا 3.5D باشد.



شکل ۱ - همپوشانی تنشهای اطراف شمعها در شمع تک و گروه [۲]

۳. الگوریتم ژنتیک^۱

در اوایل دهه هفتاد میلادی، یکی از محققین علوم کامپیوتر دانشگاه میشیگان جان هلند^۲ رشته ای از علوم محاسباتی را بر پایه الگوریتم ژنتیک پایه ریزی کرد. او ابتدا به موضوعی علاقه مند بود که خود آنرا اتومات سلولی^۳ می نامید. وی بتدریج از رشد و تولید مثل اتومات سلولی به فرایند تکامل، یعنی

1 Genetic algorithm

2 John Holland

3 Cellular automata



محور اصلی الگوریتم ژنتیک، گرایش یافت. الگوریتم ژنتیک روش جستجو و بهینه سازی احتمالاتی است که بر اساس مفاهیم برگرفته از تکامل بیولوژیکی طبیعی مانند تولید مثل، جفت گیری و جهش ساخته می شود. در واقع الگوریتم ژنتیک جزء دسته بزرگتری از الگوریتم تکاملی^۴ است. الگوریتم تکاملی برای یک مسئله یا جمعیتی از جوابهای بالقوه شروع شده، آنگاه این جمعیت را تحت فرایند تنازع بقاء قرار داده و با استفاده از عملیات تولید مثل و جهش هر بار جمعیت شایسته تری را ایجاد کرده و به تدریج به تقریبهایی بهتری از جواب بهینه مسئله نزدیک می شود [۳].

اگرچه الگوریتم ژنتیک اکثراً در تسلط دانشمندان کامپیوتر است، لیکن بتدریج جای خود را در بین سایر رشته ها بخصوص مهندسی برای حل مسائل پیچیده مهندسی باز کرده است. گلدبرگ^۵ در سال ۱۹۸۹ تئوری اساسی الگوریتم ژنتیک را ارائه داد و آن را که تا آن زمان در مورد سیستمهای طبیعت به کار می رفت به مسائل مهندسی تعمیم داد. در سال ۱۹۹۱ جان کوزا^۶ و در سال ۱۹۹۲ کریشنا کومار^۷ از الگوریتم ژنتیک برای برنامه نویسی کامپیوتر و حل مسائل مهندسی استفاده کردند [۴].

۴. ظرفیت باربری شمع ها

ظرفیت باربری یک شمع، برابر مجموع ظرفیت باربری اصطکاکی و انتهایی آن است که در اثر اعمال بار محوری از اطراف خاک و نوک شمع به دست می آید. بار وارد بر شمع در تراز سطح زمین، به تدریج از صفر تا Q افزایش پیدا می کند. قسمتی از این بار توسط مقاومت اصطکاکی جلدی Q_1 و قسمت دیگر توسط مقاومت نوک شمع Q_2 تحمل می شود. مقاومت اصطکاکی واحد سطح Q_s که همان مجموع مقاومت برشی بین خاک و سطح شمع در طول سطح شمع می باشد از رابطه زیر به دست می آید.

$$Q_s = \int_{\text{surface}} f_s(z) dz \quad (1)$$

ظرفیت باربری اصطکاکی شمع f_s ، تنش اصطکاکی موجود بین جداره شمع و خاک اطراف در طول شمع می باشد. مقدار f_s به پارامترهای مختلفی از جمله جنس شمع، جنس خاک اطراف، شرایط زهکشی، روش اجرا و ... بستگی دارد. پژوهشگران روابط مختلفی را برای محاسبه f_s ارائه نموده اند. که این روابط برای خاکهای چسبنده و غیر چسبنده در ادامه آمده است.

ظرفیت باربری اصطکاکی واحد سطح در هر عمق دلخواه شمع در خاکهای غیر چسبنده طبق رابطه زیر تعریف می شود:

$$f_s = \sigma'_{vn} \cdot \tan \delta \quad (2)$$

روشهای مختلفی برای تعیین مقاومت اصطکاکی شمعهای واقع در خاکهای چسبنده وجود دارد. این روشها به سه عنوان α و β و λ

تقسیم بندی شده اند [۵] و [۶].

$$f_s = \alpha \cdot C_u \quad (3)$$

$$f_s = \beta \cdot \gamma' \cdot z \quad (4)$$

$$f_s = \lambda (\sigma'_{vn} + 2 \cdot C_u) \quad (5)$$

مقاومت انتهایی شمع برابر است:

$$Q_p = q_{ult} \cdot A \quad (6)$$

$$q_{ult} = C \cdot N_c + q' \cdot N_q + 0.5 D \cdot \gamma \cdot N_\gamma \quad (7)$$

بنابراین مقاومت باربری نهایی یک شمع از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$Q_u = Q_p + Q_s - W \quad (8)$$

در این روابط Q_u مقاومت باربری نهایی شمع، Q_p مقاومت باربری انتهایی شمع، Q_s مقاومت باربری اصطکاکی شمع و W وزن شمع است. ظرفیت باربری نهایی گروه شمع واقع در خاکهای چسبنده، حداقل دو مقدار زیر در نظر گرفته می شود:

۱- ظرفیت باربری نهایی یک بلوک شامل مجموعه شمعها بعلاوه آن بخش از کلاهک گروه که خارج از محیط قرار می گیرد.

۲- مجموع ظرفیت باربری نهایی کلاهک و شمعها در صورتی که هر کدام به شکل جداگانه عمل کنند.

در خاکهای ماسه ای، کلاهک گروه شمع کمک قابل ملاحظه ای به ظرفیت گروه می نماید. مقدار تغییر مکانی که باعث بسیج شدن حداکثر

ظرفیت باربری کلاهک می شود، بزرگتر از تغییر مکان لازم جهت بسیج شدن ظرفیت باربری تک تک شمعها می باشد.

4 Evolutionary algorithm

5 Goldberg.

6 John Koza

7 Krishna Kumar



۵. بررسی برنامه کامپیوتری FADBEMLP استفاده شده در حل مسائل

شمع‌های گروهی اغلب در معرض بارهای محوری و جانبی قرار دارند. طراحان اواسط دهه شصت میلادی معمولاً فرض می‌کردند که شمع‌ها تنها توانایی تحمل بارهای محوری را دارند، و بارهای جانبی توسط شمع‌های مایل تحمل می‌شدند که در این شمع‌ها بار جانبی مولفه‌ای از بار محوری بود. برای بدست آوردن بار شمع‌های منفرد موجود در گروه از روش‌های نموداری استفاده می‌شد و چند ضلعی نیروی حاصل تنها زمانی بسته می‌شد که برای بارهای جانبی، شمع‌های مایل وجود داشت. سپس کوشش‌هایی برای تحلیل شمع تحت بار جانبی با استفاده از روش تفاضل‌های محدود انجام گرفت. روش اجزای محدود یکی دیگر از روشهای تحلیل بود. مزیت این روش نسبت به تفاضل محدود آن است که دارای چرخش و انتقال گره‌ای می‌باشد در حالی که تفاضل محدود تنها دارای انتقال است. مزیت دیگر آن است که طول، عرض و گشتاور لختی المان را می‌توان تنها با کار اضافی کمی بر روی ورودی تغییر داد. در این روش حتی می‌توان از شمع‌های مرکب استفاده کرد. مهمترین مزیت اجزای محدود روشی است که می‌توان حالت‌های مرزی و بارهای جانبی را مشخص کرد و همچنین امکان استفاده از هر گره‌ای را به عنوان نقطه بار یا نقطه با انتقال یا چرخش معلوم فراهم می‌سازد [۵].

باولز^۸ برنامه کامپیوتری را با عنوان FADBEMLP برای تحلیل شمع تحت بار جانبی با استفاده از اجزای محدود ارائه نمود [۵].

۶. توضیح مراحل اجرای برنامه

مرحله ۱- در این مرحله برنامه اطلاعات مربوط به مشخصات فیزیکی و مکانیکی خاک شامل ضخامت لایه‌های خاک، ضریب چسبندگی، زاویه اصطکاک، وزن مخصوص، ضریب پواسون و نیز مشخصات سازه‌ای گروه شمع شامل طول و عرض کلاهک و شمع، مقاومت بتن و فولاد، ضریب پواسون بتن را دریافت می‌کند. بارهای وارد بر کلاهک گروه در این حالت نیروهای وارده از طرف سازه به کلاهک همراه با مختصات ستونها در برنامه ورودی وارد می‌شود. سپس برآیند نیروهای وارده به کلاهک در مرکز مختصات کلاهک در سه جهت محاسبه می‌شود.

مرحله ۲- در این مرحله، برنامه، p رشته را به طور تصادفی به عنوان جمعیت اولیه، تولید می‌کند. پارامترهای طراحی گروه شمع، برای طراحی بهینه، تابع هدف قطر شمع، طول شمع، فواصل افقی و عرضی مرکز به مرکز شمع‌ها و ضخامت کلاهک گروه شمع می‌باشند. برای استفاده از الگوریتم ژنتیک، جهت کمینه کردن تابع هدف، ابتدا لازم است پارامترهای طرح با دنباله‌ای مناسب از اعداد باینری نمایش داده شوند. به طور کلی تعداد بیت در نظر گرفته شده برای هر کروموزوم به دقت لازم برای جواب بستگی دارد. بنابراین پس از انتخاب p عدد بطور تصادفی برای هر یک از پارامترهای طراحی گروه شمع، این اعداد تصادفی تبدیل به کد باینری^۹ شده و به صورت دنباله‌ای از کدها در یک رشته قرار می‌گیرند.

مرحله ۳- در این مرحله ثابتهای گروه شمع را برای هر رشته از جمعیت با استفاده از برنامه FADBEMLP محاسبه می‌شود.

مرحله ۴- 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.

مرحله ۵- در این مرحله ظرفیت باربری تک شمع و گروه شمع تحت بار قائم و جانبی برای هر رشته از جمعیت اولیه محاسبه می‌شود.

مرحله ۶- در این مرحله کنترل‌های زیر انجام می‌شود:

- ظرفیت باربری تک شمع و گروه شمع: در اینجا با توجه به نیروهای محاسبه شده برای تک شمع در مرحله ۴ با ظرفیت باربری محاسبه شده از مرحله ۵ مقایسه می‌شود. در صورتی که نیروی محاسبه شده برای هر تک شمع در گروه بیش از ظرفیت باربری شمع باشد آن رشته از جمعیت از نظر فنی جوابگو نیست و از جمعیت حذف می‌شود.
 - نشست کلاهک گروه شمع: مقدار نشست مجاز گروه شمع در این پروژه برابر 2.5 cm در نظر گرفته شده است. پس برای هر رشته از جمعیت اگر نشست کلاهک بیش از این مقدار باشد آن رشته از جمعیت حذف می‌شود.
 - برش مقاطع بحرانی شمع و ستون متصل با کلاهک: کنترل برش مقاطع بحرانی شمع و ستون متصل با کلاهک برای هر رشته از جمعیت با مقادیر مجاز آیین‌نامه و در صورت جوابگو نبودن شرایط از جمعیت حذف می‌شود.
- پس از حذف رشته‌هایی که از نظر فنی مورد قبول نبودند بقیه رشته‌ها برای مرحله بعد مرتب می‌شوند.

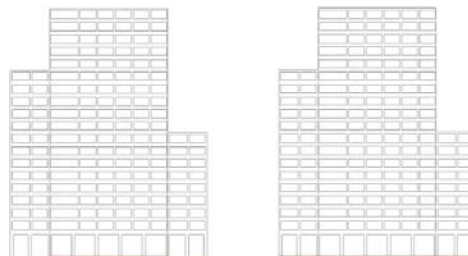
مرحله ۷- در این مرحله آرماتورهای لازم کلاهیک و شمع‌های گروه برای هر رشته از جمعیت باقی مانده از مرحله ۶ محاسبه می‌شود.
 مرحله ۸- در این مرحله حجم بتن مصرفی و طول آرماتور مصرفی محاسبه می‌شود.
 مرحله ۹- در فرآیند بهینه سازی، جهت مقایسه مقادیر تابع هدف، رشته‌های جمعیت براساس مقادیر تابع هدف آنها از کوچک به بزرگ مرتب می‌شوند. برای هر رشته یک عدد برازندگی نسبت داده می‌شود که این عدد یک عدد غیر منفی است و احتمال انتخاب شدن رشته‌ها را (در مرحله ۱۱- تعیین می‌کند. 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.
 مرحله ۱۰- در این مرحله، شرایط توقف کنترل می‌شود. در این جا شرط توقف تعداد تکرار در نظر گرفته شده است و اجرای برنامه در تکرار ۵۰ام متوقف می‌شود و در این مرحله کمترین حجم به عنوان جواب مسأله می‌باشد.
 مرحله ۱۱- برای تولید نسل جدید، پس از تعیین برازندگی رشته‌ها، عملگر ترکیب و جهش بر روی آنها اعمال می‌شود.
 مرحله ۱۲- رشته‌های جدیدی که تحت عمل ترکیب و جهش قرار گرفته‌اند دیکد شده و همانند مرحله ۳، گروه‌های شمع طراحی می‌شوند. پس از آنالیز، تابع هدف برای هر یک از آنها محاسبه می‌شود. پس مراحل ۳ تا ۱۱ یک سیکل را تشکیل داده و به تعداد مناسب تکرار می‌شوند [۷].

۷. حل مثالی با الگوریتم ژنتیک

برجی مسکونی مطابق شکل ۲ با ۳ ارتفاع مختلف ۳۰ و ۴۵ و ۶۰ متر با پی رادیه ای به مساحت ۱۵۰۰ متر مربع که به منظور تحمل بارها از تعدادی شمع درجا نیز بهره برده و دارای مشخصات ساختمانی و سازه‌ای ارائه شده در جدول ۱ می باشد، در نظر گرفته شود. هدف طراحی پی این ساختمان را که متشکل از متغیرهای ضخامت کلاهیک و قطر و طول و چیدمان شمع می باشد با بهرگیری از فرایندهای الگوریتم ژنتیک و برنامه FADBEMLP و تحلیل ماتریسی، در جهت کاهش حجم بتن و طول میلگرد مصرفی که باعث کاهش هزینه ساخت می شود بهینه گردد، به گونه‌ای که کلیه مسائل فنی در آن لحاظ شود. لازم به توضیح است که این مسئله یکبار با چیدمان متقارنی از شمع و بار دیگر با چیدمانی نامتقارن بررسی و مقایسه گردیده است.

جدول ۱- مشخصات ساختمانی و سازه ای

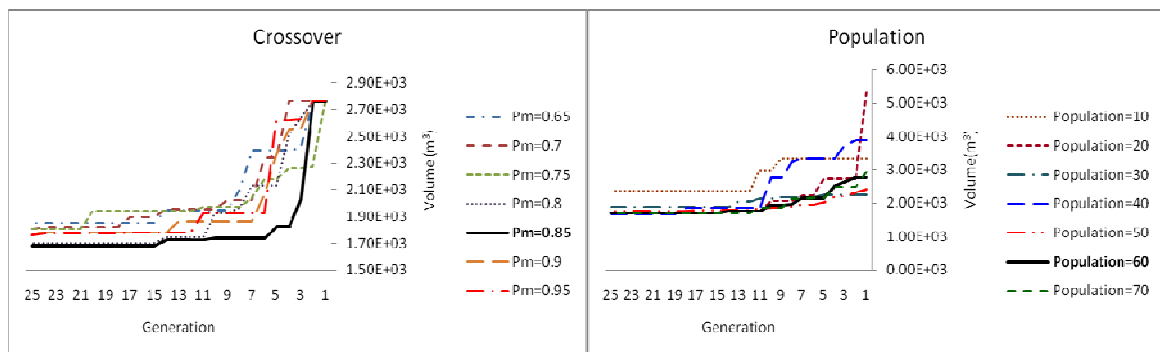
واحد	مقدار	پارامتر
m	50	طول پی
m	30	عرض پی
kN/m^2	18	وزن مخصوص خاک
kN/m^2	30000	مدول الاستیسیته خاک
	0.3	ضریب پواسون خاک
درجه	30	زاویه اصطکاک خاک
MN	142.5	وزن ساختمان



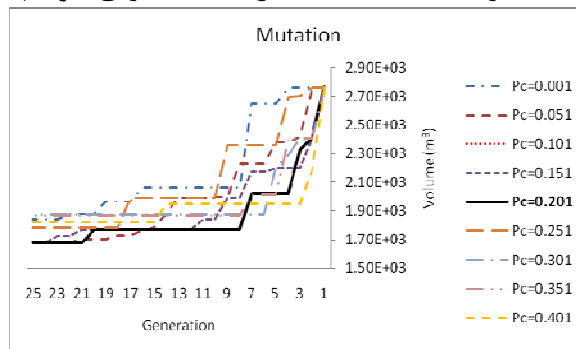
شکل ۲ - نمای شماتیک مسئله

عملکرد مدل الگوریتم ژنتیک به انتخاب مقادیر پارامترهای آن (احتمال ترکیب^{۱۰}، احتمال جهش^{۱۱} و اندازه جمعیت) وابسته است. بنابراین لازم است تا پارامترهای آن جهت اجرای موفق تر و سریع تر مدل بهینه شوند. این کار مستلزم تحلیل حساسیت روی همگرایی مدل به ازای مقادیر مختلف پارامترها است [۴]. بهترین عملکرد از کاربرد روش الگوریتم ژنتیک برای مسائل بهینه سازی، از احتمال ترکیب بالا و احتمال جهش پایین بدست می آید [۸].

با توجه به این مطالب در حل مسئله جهت تحلیل حساسیت از احتمال جهش 0.03 و احتمال ترکیب 0.8 اثر تغییرات اندازه جمعیت در همگرایی الگوریتم ژنتیک مطابق با شکل ۳ مورد بررسی قرار گرفت. اندازه جمعیت ۶۰ منجر به رسیدن الگوریتم به جواب بهینه در تعداد نسل کمتری نسبت به سایر حالت ها شد. در مرحله دوم، با در نظر گرفتن اندازه جمعیت ۶۰ تاثیر تغییر مقدار احتمال ترکیب بر روی روند همگرایی الگوریتم در رسیدن به جواب بهینه در نظر گرفته شد. مطابق با شکل ۴ با در نظر گرفتن احتمال ترکیب ۰.۸۵ الگوریتم در کمترین تعداد نسل به جواب بهینه می رسد. حال با با در نظر گرفتن اندازه جمعیت ۶۰ و احتمال ترکیب ۰.۸۵ تاثیر تغییر احتمال جهش بررسی و مطابق شکل ۵ با در نظر گرفتن احتمال جهش ۰.۲۰۱ الگوریتم در کمترین تعداد نسل به جواب بهینه می رسد.



شکل ۳- روند همگرایی الگوریتم ژنتیک با تغییر دادن اندازه جمعیت شکل ۴- روند همگرایی الگوریتم ژنتیک با تغییر دادن احتمال ترکیب



شکل ۵- روند همگرایی الگوریتم ژنتیک با تغییر دادن احتمال جهش

با بدست آوردن اطلاعات مورد نیاز و بهرگیری از برنامه FADBEMLP و ترسیم نمودار، مقادیر هشت ثابت شمع شامل C2, C3, C4, C5, C7, C8, C9, C10 مشخص می شود. دو ثابت دیگر نیز (جدول ۲) از طریق روابط حاصل می شود. حال با تحلیل ماتریسی گروه شمع نیروهای وارد بر هر تک شمع و نشست های تغییر مکانی و دورانی کلاهک برای هر رشته از جمعیت با روابط زیر محاسبه می شود.

$$P = A.F \quad e = A^T.X \quad F = S.e = S.A^T.X \quad P = A.S.A^T.X \quad (9)$$

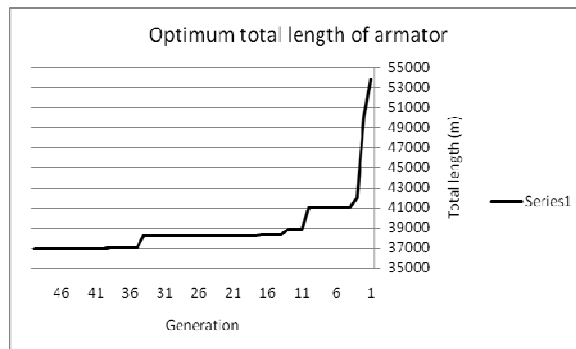
پس از این با برنامه ای که در محیط برنامه MATLAB نوشته شده است مراحل بعد انجام می شود. برنامه طوری نوشته شده که بهینه مقادیر حجم بتن ریزی و طول آرماتور مصرفی و همچنین بهترین چیدمان شمع را با توجه به تقسیم باری که تعریف شده در اختیار قرار می دهد. به منظور بیان بهتر مسئله، در کنار چیدمان نامنظم شمع ها چیدمان منظم نیز آورده شده تا بتوان قیاس خوبی از کار داشت.

10 Crossover rate
 11 Mutation rate



جدول ۲- ارتباط بین C و S و مقادیر آنها در مسئله

S(I,J)	C	Computed as	
S(1,1)	C(1,1)	$\lambda AE/L_p$	
S(2,2)	C(1,2)	P_y/δ_y	93458
S(2,6)	C(1,3)	P'_x/θ_x	91059
S(3,3)	C(1,4)	P_x/δ_x	93458
S(3,5)	C(1,5)	P'_y/θ_y	91059
S(4,4)	C(1,6)	$\Omega G^2 J/L_p$	
S(5,3)	C(1,7)	M'_x/δ_x	91178
S(5,5)	C(1,8)	M_x/θ_x	156863
S(6,2)	C(1,9)	M'_y/δ_y	91178
S(6,6)	C(1,10)	M_y/θ_y	156863



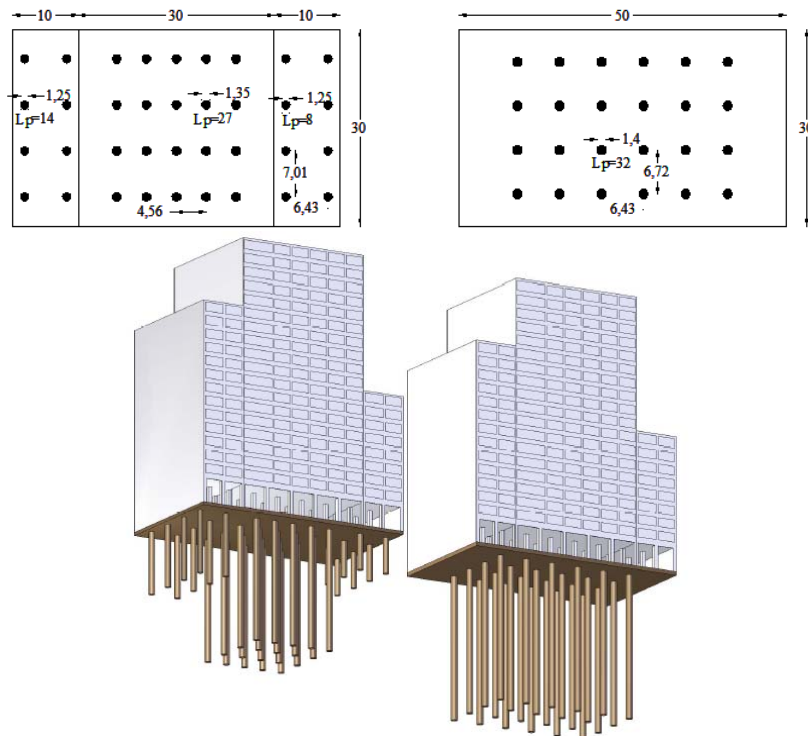
شکل ۶- نمودار تغییرات بهترین طول آرماتور در هر نسل در مقابل افزایش نسل در حالت متقارن

جدول ۳- جوابهای بهینه مسئله طرح شده برای چیدمان متقارن و نامتقارن

Regular configuration	Volume (m ³)	D (m)	L (m)	h (m)	nx	nz	Dx (m)	Dz (m)
نسل ۱	3176.385	1.65	28	1	7	4	5.07	5.07
نسل ۵۰	2457.244	1.4	32	0.85	6	4	6.4325	6.72
Irregular configuration								
Middle								
نسل ۱	2107.792	1.8	17	0.9	5	6	3.8325	2.72
نسل ۵۰	1492.95	1.35	27	0.8	5	4	4.56	7.0125
Left								
نسل ۱	451.271	0.7	34	0.85	3	5	2.72	5.07
نسل ۵۰	347.4447	1.25	14	0.7	2	4	6.4325	7.0125
Right								
نسل ۱	379.3689	1.3	7	0.8	3	5	1.3725	4.8125
نسل ۵۰	288.5398	1.25	8	0.7	2	4	6.4325	7.0125
Total								
نسل ۱	2938.4319							
نسل ۵۰	2128.9345							

۸. نتیجه گیری

همان طور که در جدول ۳ نشان داده شده مقدار حجم بتن مصرفی در این پروژه در صورت بهره گیری از چیدمان نامتقارن از شمع در نسل ۵۰م برابر ۲۴۵۷ متر مکعب با قطر شمع ۱/۴ متر و طول شمع ۳۲ متر می باشد. در صورتی که از چیدمان نامتقارن شمع استفاده شود با توجه به تقسیم باری که صورت گرفت مقدار بتن مصرفی بیشتر از ۱۳٪ کاهش حجم نشان داده و به حجم ۲۱۲۹ متر مکعب با شمعهایی به قطرهای ۱/۳۵ و ۱/۲۵ و طول های ۲۷ و ۱۴ و ۸ متر در نسل ۵۰م رسیده است. طول آرماتور مصرفی نیز از $\Phi 24$ ۳۶۸۹۷ متر به $\Phi 24$ ۲۸۹۲۷ متر یعنی حدود ۲۱٪ درصد کاهش طول را نشان می دهد. طرح کلی مسئله پس از بهینه سازی بصورت شماتیک در شکل ۷ نمایش داده شده است. بطور کلی می توان گفت که در صورت اعمال بارگذاری نامتقارن، با تقسیم باری مناسب و طراحی دقیق با ایجاد چند تپ شمع به جای یک تپ (جهت تسهیل طراحی) می توان در جهت کاهش هزینه گام برداشت. این تحقیق و تحقیقات گذشته نشان می دهند که الگوریتم ژنتیک سازگاری خوبی با مسائل مهندسی دارد و می توان از آن جهت تسهیل و بهینه سازی طرح ها بهره برد.



شکل ۷- طرح کلی مسئله پس از بهینه سازی (حالت متقارن و نامتقارن)

۹. مراجع

۱. اسلامی ابوالفضل، رنجبر ملک محمد، ریاضی طه و ویس کرمی مهدی، (۱۳۸۵)، "پی های گسترده تحلیل، طراحی و عملکرد"، انتشارات دانشگاه گیلان.
2. Venkatramaiah. C., (2006), "Geotechnical Engineering", 3rd Ed., New Age International Publishers, New Delhi.
۳. البرزی محمود، (۱۳۸۸)، "الگوریتم ژنتیک"، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف.
۴. زهرایی بنفشه و حسینی سید موسی، (۱۳۸۸)، "الگوریتم ژنتیک و بهینه سازی مهندسی"، انتشارات گوتنبرگ.
5. Bowles, J. E., (1999), "Foundation Analysis and Design" Reprinted of 5th Ed., Mc. Graw-Hill.
6. Tomlinson, M. J., (1981), "Pile Design and Construction Practice" 2nd Edition.
۷. نجفی زاده، چناری جعفر (۱۳۸۳)، "بهینه سازی گروه شمع های عمیق"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
8. Goldberg, D. E., (1989), "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning", Addison-Wesley, Reading MA.