

بهینه سازی گروه شمع ها با بهره گیری از الگوریتم ژنتیک

جعفر نجفی زاده چناری^۱؛ علی کمک پناه^۲؛ حمید محرمی^۳

چکیده :

برآورد صحیح ظرفیت باربری پی‌های عمیق (شمع) در پروژه‌های عمرانی مانند پل‌ها، سازه‌های دریایی و ساختمان‌های بلند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. سهم قابل توجهی از تامین پایداری و درجه ایمنی اینگونه سازه‌ها متوجه پی آنهاست. از سوی دیگر، چون هزینه اجرای پی‌های عمیق در برخی موارد حتی تا حدود نیمی از هزینه کل طرح را در بردارد، طرح بهینه شمع ها و به ویژه تعیین ظرفیت باربری آنها باید با دقت خاصی انجام پذیرد. علی‌رغم مخارج بیشتر، در عمل موارد متعددی وجود دارد که برای ایمنی ساختمان در مقابل نشست و عوامل دیگر، از پی‌های شمعی استفاده می‌شود. در این تحقیق چند مساله گروه شمع تجزیه و تحلیل و بر اساس تکنیک بهینه سازی هزینه تمام شده ساخت، به عنوان پاسخ مساله بررسی شده است. بدین منظور برنامه ای به زبان MATLAB نیز تهیه شده است. برای عملیات بهینه سازی از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است.

کلمات کلیدی

بهینه سازی، گروه شمع، الگوریتم ژنتیک، ظرفیت باربری، نشست

Optimization of Pile Groups Based on Genetic Algorithm

Jafar Najafizadeh Chenari, Ali Komakpanah, Hamid Moharrami

ABSTRACT

Correct evaluation of bearing capacity of deep foundation (piles) has a great importance in civil projects such as bridges, offshore structures and huge buildings. A major portion of stability of such structures is due to their foundations. On the other hand, the cost of construction of deep foundations some times include more than half of the total cost. Hence, optimized design of piles, specially determination of their bearing capacity, should be done with special care. In spite of the higher cost, for safety of structures against settlement and other problems, They are often used. In this research, some types of pile group are analyzed and studied on an optimization of construction cost basis. In order to do this, a computer program is implemented by MATLAB software. Genetic algorithm is used for optimization.

KEYWORDS

Optimization, Pile group, Genetic algorithm, Bearing capacity, Settlement

^۱ کارشناس ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، تلفن: ۰۹۱۵۵۱۲۵۵۹۱، پست الکترونیکی: j_chenar@yahoo.com

^۲ دانشیار بخش عمران، دانشگاه تربیت مدرس، تلفن: ۰۲۱-۸۸۰۱۱۰۰۱، پست الکترونیکی: a-panah@modares.ac.ir

^۳ دانشیار بخش عمران، دانشگاه تربیت مدرس، تلفن: ۰۲۱-۸۸۰۱۱۰۰۱، پست الکترونیکی: hamid@modares.ac.ir

(۲۰۰۱) [۱۱]، هین و طه (۱۹۷۸)، چاو (۱۹۹۹) و گلنسی (۱۹۹۳) [۸] اشاره کرد که اندرکنش مولفه‌های حائز اهمیت در طرح مساله را باتکنیک‌های عددی پیشرفته بررسی کرده‌اند. از سوی دیگر، مشاهدات میدانی پی‌های شمعی در سال‌های اخیر افزایش یافته است که در این خصوص می‌توان به گزارشهای تومونو، یاماشیتا، کاکپوری (۱۹۹۴) و یامادا، کاکپوری، یاماشیتا (۱۹۸۷) اشاره کرد. اما باید توجه شود که به دلیل پیچیدگی طراحی هر مساله خاص، تاکنون امکان توسعه یک روش طراحی عمومی؛ که قابل کاربرد برای عموم مسایل طراحی باشد، فراهم نیامده است؛ و این مساله همچنان در دست بررسی و تحقیق است [۶]. در زمره کارهای ارزنده در سال‌های اخیر برای حل مساله حاضر، باید از مطالعات رندولوف و هوریکشی یاد کرد که در سال ۱۹۹۶ با مدل سازی مساله با دستگاه سانتریفوژ به مطالعه مساله پرداخته‌اند. نتایج حاصل از مطالعات آنها صحت فرضیه پیشنهادی رندولوف را در سال ۱۹۹۴ اثبات کرد [۱۰].

گلنسی و رندولوف در سال ۱۹۹۶ با تدوین یک برنامه کامپیوتری به مطالعه عددی پرداختند. آنان با رهیافت هیبرید (تلفیق روش المانهای محدود و المانهای مرزی) تلاش کردند که امکان بررسی مساله را در دسته‌ای وسیع از شرایط، خصوصاً در ارتباط با ابعاد شمعه‌ها فراهم کنند [۸].

مندولینی و ویگیانی نیز در سال ۱۹۹۷ با تدوین یک برنامه کامپیوتری به ارزیابی ملاحظات غیرخطی پرداختند [۹]. کیم و همکاران در سال ۲۰۰۱ به بهینه سازی طراحی گروه شمعه‌ها و ارائه نتایج در خصوص ۳ مساله خاص پرداختند. آنان با تدوین یک برنامه کامپیوتری و با در نظرگیری نشست‌های تفاضل به عنوان تابع هدف، بهینه سازی مساله را مد نظر قرار دادند [۱۱].

رئول و رندولوف در سال ۲۰۰۲ با مطالعه سه نمونه موردی در خصوص پی‌های شمعی برجهای وستند و مستورم و تورهاس، تطابق خوبی را میان نتایج مدل سازی عددی و نتایج حاصل از ابزار دقیق پای برجهای مذکور مشاهده کردند [۱۲].

۳- فرمول بندی

۳-۱- بررسی ظرفیت باربری شمعه و گروه شمعه تحت بار قائم

ظرفیت باربری یک شمعه، برابر مجموع ظرفیت باربری اصطکاکی و انتهایی آن است که در اثر اعمال بار محوری از اطراف خاک و نوک شمعه به دست می‌آید. (شکل ۱-الف) مقاومت اصطکاکی

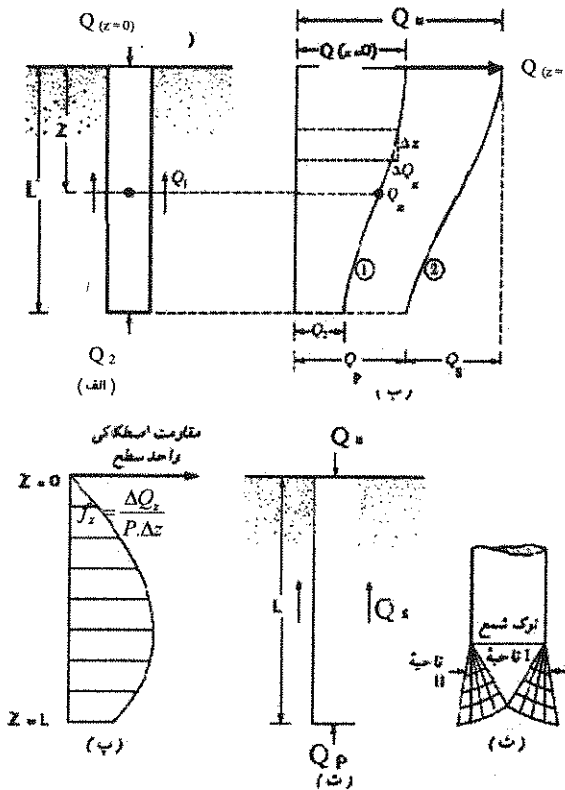
پی شمعی بسیار پرهزینه‌تر از پی‌های سطحی منفرد و گسترده است. بنابراین باید توجه زیادی به تعیین خصوصیات خاک زمین در اعماق مورد نظر بسیار توجه کرد تا بتوان تعیین کرد که آیا پی شمعی ضرورت دارد یا خیر؛ و اگر نیاز به شمعه باشد، تعداد و طول آنها بیش از حد تعیین نشود. برای تصمیم‌گیری در مورد اقتصادی بودن پی گسترده یا شمعه و به ویژه نوع شمعه (فولادی، بتنی و ...) باید تحلیل هزینه‌ای انجام داد. لازم است از طریق یک تحلیل هزینه‌ای با در نظر داشتن معادلات نشست و ظرفیت باربری، تعداد، طول و مقطع شمعه‌های مورد نیاز و نحوه آرایش آنها را تعیین کرد. رعایت ملاحظات فنی و توجه ویژه به مسایل هزینه‌ای طراحان را با مساله دشواری مواجه می‌کند، از این رو بهینه سازی مساله با توجه به تعداد و تنوع پارامترهای طراحی بسیار حائز اهمیت است که این مساله، موضوع تحقیق حاضر است. در تحقیق حاضر با تدوین برنامه کامپیوتری و با بهره‌گیری از الگوریتم ژنتیک امکان بهینه سازی طراحی در دسته‌ای وسیع از مسائل پی‌های شمعی فراهم گشته است.

۲- مروری بر ادبیات فنی

در ادبیات فنی، بهینه سازی گروه شمعه‌ها عموماً معطوف به تمرکز بر چگونگی باربری شمعه‌ها در گروه شمعه و ملاحظات نشست و ظرفیت باربری آنها بوده است تا بدین ترتیب با کسب ایده‌های لازم رهیافت‌های مناسب در طرح بهینه فراهم شود.

پادفیلد و شاروک (۱۹۸۲) [۶] در خصوص یک طرح بهینه اقتصادی گروه شمعه در خلال یک بررسی موردی پیشنهاد کردند که پاسخ سخت تری در مرکز کلاک همراه با پاسخ انعطاف پذیری در پیرامون کلاک مد نظر قرار گیرد. السون، رندولوف، ویلمن و فلمینگ در سال ۱۹۹۲ و همچنین رندولوف در سال ۱۹۹۴ پیشنهاد کردند که تمرکز شمعه‌ها در یک گروه شمعه تنها در ناحیه مرکزی یک کلاک انعطاف پذیر مورد توجه قرار گیرد. رندولوف مفهوم جدیدی را در طراحی مطرح کرد که یک نشست تفاضلی حداقل، منجر به یک طرح بهینه پی شمعی Piled raft منجر می‌شود [۶].

از سویی باید اشاره کرد که خوشبختانه با توسعه روش‌های عددی در دهه‌های اخیر، فهم دقیق‌تری از مساله به دست آمده است که از پیشروان در این زمینه می‌توان به لی



شکل (۱): مکانیسم انتقال بار شمع [۱۰]

مقدار ضریب اطمینان توصیه شده داس (۱۹۸۴) بین ۲/۵ تا ۴ است.

برای انتقال بار سازه به خاک، شمع‌ها در اغلب اوقات به صورت گروه به کار گرفته می‌شوند. در بالای گروه شمع، یک کلاهک شمع، به صورت یکپارچه اجرا می‌شود و از طریق آن، بار سازه به شمع‌ها انتقال می‌یابد [۱۲]. به طور کلی دو نوع گروه شمع در نظر گرفته می‌شود [۳]:

- ۱- گروه شمعی که در آن شمع‌ها آزادانه در خاک قرار گرفته‌اند و کلاهک گروه؛ که وظیفه برقراری اتصال و ارتباط بین اعضای گروه را برعهده دارد، با سطح خاک زیرین خود در تماس نیست.
- ۲- یک پی شمعی کامل که در آن کلاهک با خاک زیرین در تماس است.

راندمان گروه شمع (η) نسبت ظرفیت باربری گروه شمع به مجموع ظرفیت باربری‌های نهایی شمع‌های تک تعریف می‌شود. کانورس-لاباره (۱۹۶۸) برای ارتباط بین ضریب راندمان و فواصل شمع‌ها در گروه، رابطه (۶) را ارائه کرد [۲]. که در آن n_x تعداد ردیف‌ها در گروه، n_z تعداد شمع‌ها در هر ردیف، D قطر شمع، d فاصله مرکز به مرکز شمع‌ها نسبت به هم و $\theta = \text{Arc tan}(D/d)$ است.

واحد سطح (Q_s) که همان مجموع مقاومت برشی بین خاک و سطح شمع در طول سطح شمع است از رابطه (۱) به دست می‌آید.

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

تغییرات f_s برحسب عمق در شکل (۱-ب، پ) نشان داده شده است. مقاومت انتهایی شمع با توجه به شکل (۱-ب، ت) برابر است با:

$$Q_p = q_{ult} \cdot A_{toe} \quad (2)$$

در اینجا q_{ult} ظرفیت باربری انتهایی شمع، A_{toe} سطح مقطع نوک شمع است، بنابراین با توجه به شکل (۱-ت) مقاومت باربری نهایی یک شمع از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Q_u = Q_p + Q_s - W \quad (3)$$

که در آن W وزن شمع است. رابطه کلی محاسبه ظرفیت باربری انتهایی شمع، مشابه ظرفیت باربری پی‌های سطحی مطابق رابطه ترزاقی است:

$$q_{ult} = CN_c^* + q'N_q^* + \frac{1}{2} D \gamma N_\gamma^* \quad (4)$$

که در آن C چسبندگی خاک، γ وزن مخصوص خاک، N_c^* ، N_q^* ، N_γ^* تنش مؤثر قائم در انتهای شمع، D قطر شمع، فاکتورهای بی‌بعد ظرفیت باربری هستند.

اغلب محققان اساس رابطه پیشنهادی خود برای محاسبه ظرفیت باربری انتهایی شمع را مشابه رابطه سه جمله‌ای ترزاقی ارائه کرده‌اند. تفاوت این روش‌ها در تعیین فاکتورهای بی‌بعد ظرفیت باربری است.

از جمله می‌توان به روش مایرهوف [۱۱]، [۷]، [۱۲] روش وسیک، کولهای [۱۱]، [۷]، [۱۳] و روش جانبو [۷]، [۱۳] اشاره کرد.

مقدار ظرفیت باربری اصطکاکی شمع 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 کرده‌اند و کلیه این روابط را به سه پارامتر β [۱۲]، α [۱۴] و λ [۱۳] تقسیم نموده‌اند.

بعد از محاسبه ظرفیت باربری نهایی اصطکاکی و انتهایی شمع می‌بایستی پس از اعمال ضریب اطمینان مقاومت باربری مجاز شمع را به شرح زیر تعیین کرد [۱۳]:

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{FS} \quad (5)$$

$$\eta = 1 - \theta \left(\frac{(n_x - 1)n_x + (n_z - 1)n_z}{n_x \cdot n_z} \right) \quad (6)$$

پولوس و داویس در سال ۱۹۸۰، سید و باکر در سال ۱۹۹۲ روایطی نیز برای ضریب راندمان گره شمع پیشنهاد کرده‌اند [۲]، [۲].

ظرفیت باربری نهایی پی‌های شمعی واقع در خاک‌های چسبنده، حداقل دو مقدار زیر در نظر گرفته می‌شود [۳]:

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

۲- مجموع ظرفیت باربری نهایی کلاک و شمع‌ها در صورتی که هر کدام به شکل جداگانه‌ای عمل کنند. در این حالت برای گروه N شمعی که قطر و طول آن به ترتیب D و L و ابعاد کلاک Bg x Lg است، رابطه زیر به منظور محاسبه مقاومت نهایی پی شمعی استفاده می‌شود:

$$P_u = n \times (\bar{C}_a \cdot A_s \cdot C_b \cdot N_c) + N_{cc} C_c (B_g \cdot L_g - n \pi D^2 / 4) \quad (7)$$

که در آن C_a متوسط چسبندگی بین سطح تماس خاک و شمع در امتداد طول آن، C_b چسبندگی زهکشی نشده در نزدیکی نوک شمع، C_c چسبندگی زهکشی نشده در نزدیکی کلاک، N_c ضریب ظرفیت باربری برای شمع، N_{cc} ضریب ظرفیت باربری برای کلاک مستطیلی که برای یک کلاک مستطیلی با $L_g > B_g$ از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$N_{cc} = 5.14(1 + 0.2B_g/L_g) \quad (8)$$

۳-۲- بررسی مقاومت جانبی شمع‌ها تحت بار جانبی

تاکنون برای تحلیل شمع‌هایی که تحت اثر بار جانبی قرار گرفته‌اند، فرض می‌شد که شمع به اندازه کافی صلب بوده و گسیختگی خاک پیش از شمع روی می‌دهد، با وجود این، برای شمع‌های نسبتاً بلند و انعطاف پذیر، این امکان وجود دارد که مقاومت نهایی جانبی شمع بوسیله لنگر تسلیم شمع، تعیین شود. در این حالت، پیش از بسیج شدن کل مقاومت جانبی خاک، شمع به حداکثر مقاومت خمشی خود می‌رسد. در چنین شرایطی و برای شمع‌هایی که سر آنها آزاد است، حداکثر (در نقطه‌ای که مقدار برش صفر است) با فرض بسیج شدن تمام مقاومت جانبی خاک در بالای نقطه برش صفر، محاسبه شده و به دلیل اینکه مقدار این لنگر حداکثر نباید از لنگر تسلیم سطح مقطع شمع تجاوز کند، مقاومت جانبی حداقل دو مقدار زیر در نظر گرفته می‌شود:

- نیروی جانبی که لازم است تا باعث شود خاک در امتداد کل طول شمع به حد گسیختگی برسد.

- مقدار نیروی افقی که برای ایجاد لنگر حداکثری برابر با لنگر تسلیم سطح مقطع شمع لازم است [۱۴].

۳-۲-۱- استفاده از برنامه کامپیوتری FADBEMLP باولز

برای طراحی شمع تحت بار جانبی

در این تحقیق با بهره‌گیری از برنامه (FADBEMLP) باولز [۷]، شمع تحت بار جانبی تحلیل می‌شود. در این روش با استفاده از اجزای محدود (FEM)، دوران و انتقال گرهی در نظر گرفته می‌شود و می‌توان حالت‌های مرزی (گره‌هایی با دوران یا انتقال صفر) و بارهای جانبی را مشخص کرد، برنامه امکان استفاده از هر گرهی را به عنوان نقطه بار یا نقطه‌ای با انتقال یا دوران معلوم فراهم می‌سازد. فرایند شکل‌گیری مدل FEM برای استفاده از برنامه FADBEMLP برای تحلیل شمع‌های تحت بار جانبی در مرجع [۷] آمده است.

۴- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یک روش آماری برای بهینه‌سازی از طریق جستجو است. ویژگی‌های خاص این الگوریتم باعث می‌شود که نتوان آن را یک جستجوگر تصادفی قلمداد کرد. در واقع نظر اولیه این روش از نظریه تکاملی داروین الهام می‌گیرد و عملکرد آن بر ژنتیک طبیعی استوار است. اصول اولیه الگوریتم ژنتیک را هلند و همکارانش در دانشگاه میشیگان در سال ۱۹۶۲ ارائه کردند.

گلدبرگ در سال ۱۹۸۹ تئوری اساسی الگوریتم ژنتیک را ارائه داد. در سال ۱۹۹۰ ابین، آرتس و وان‌هی همگرایی الگوریتم ژنتیک را با استفاده از روش آنالیز زنجیره مارکوف اثبات کردند. در سال ۱۹۹۱ کوزا و در سال ۱۹۹۲ کریشا کومر از الگوریتم ژنتیک برای برنامه‌نویسی کامپیوتر و حل مسائل مهندسی استفاده کردند. در سال ۱۹۹۲ مهفود و در سال ۱۹۹۳ ادلر، الگوریتم ژنتیک را با روش‌های بهینه‌سازی متعارف مقایسه کردند. برای مطالعه کامل‌تر و آشنایی با نحوه استفاده از آن به مرجع [۱۵] رجوع شود.

۵- تحلیل ماتریسی گروه شمع‌ها

در این تحقیق برای تحلیل گروه شمع‌ها، از معادلات ماتریسی باولز (۱۹۷۴) استفاده شده است. بدین منظور تغییرمکان‌های کلاک گروه شمع به صورت زیر محاسبه می‌شود:

و آشنایی با نحوه استفاده از کدگذاری آن به شکل (۲) و مرجع [۷] رجوع شود.

$$e = A^T X = \begin{cases} e_1 = \delta_u \\ e_2 = \delta_v \\ e_3 = \delta_w \\ e_4 = \alpha_u \\ e_5 = \alpha_v \\ e_6 = \alpha_w \end{cases} \quad (11)$$

$$X = (ASAT)^{-1} * P = \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \\ \theta_x \\ \theta_y \\ \theta_z \end{bmatrix} \quad (9)$$

که در آن P کل نیروی وارد بر کلاهک شمع است، S ماتریس سختی و متقارن است، و مفهوم ثابت‌های شمع (C) را مشخص می‌سازد، ارتباط بین درایه‌های ماتریس سختی و ثابت‌های شمع در جدول (۱) توصیف شده است. با توجه به جدول (۱)، E مدول الاستیسیته مصالح شمع، G' مدول برشی مصالح شمع، λ ضریب تعدیل محوری و k ضریب تعدیل پیچش است. از برنامه $FADBEMLP$ برای به دست آوردن ثابت‌های شمع مورد نیاز تحلیل ماتریسی گروه شمع استفاده شده است. واحد این ثابت‌ها، فنرهای برشی (P/δ) یا فنرهای دورانی (M/θ) است. [۷]

جدول (۱): ارتباط میان $S(I,J)$ و $C(I,J)$ در ماتریس سختی S

$S(I,J)$	مقادیر C	روش محاسبه
$S(1,1)$	$C(I,1)$	$\lambda AE/Lp$
$S(2,2)$	$C(I,2)$	P_y/δ_y
$S(2,6)$	$C(I,3)$	P'_x/θ_x
$S(3,3)$	$C(I,4)$	P_x/δ_x
$S(3,5)$	$C(I,5)$	P'_y/θ_y
$S(4,4)$	$C(I,6)$	$\Omega G' J/Lp$
$S(5,3)$	$C(I,7)$	M'_x/θ_x
$S(5,5)$	$C(I,8)$	M_x/θ_x
$S(6,2)$	$C(I,9)$	M'_y/θ_y
$S(6,6)$	$C(I,10)$	M_y/θ_y

۶- طراحی کلاهک شمع

کلاهک گروه شمع، بتنی است و بر روی زمین ریخته می‌شود. طراحی سازه‌ای کلاهک شمع‌ها در حداقل ممکن، در کتاب‌های تخصصی آمده است، که برای اطلاعات بیشتر به مرجع [۴] و [۷] رجوع شود.

بنابراین $ASAT$ برای هر یک از شمع‌های موجود در گروه محاسبه و در ماتریس $ASAT$ گروه جمع می‌شوند. ماتریس $ASAT$ معکوس شده و با ضرب در P تغییر مکان‌های پی (X) به دست می‌آیند. A ماتریس رابط و درایه‌های آن طبق (۱۰) به دست می‌آید. با به کارگیری مقادیر X ، تغییر مکان سرشمع‌ها (e) به کمک (۱۱) محاسبه می‌شوند.

بنابراین نیروی شمع‌ها را می‌توان به صورت زیر حساب کرد:

$$F = Se \quad (12)$$

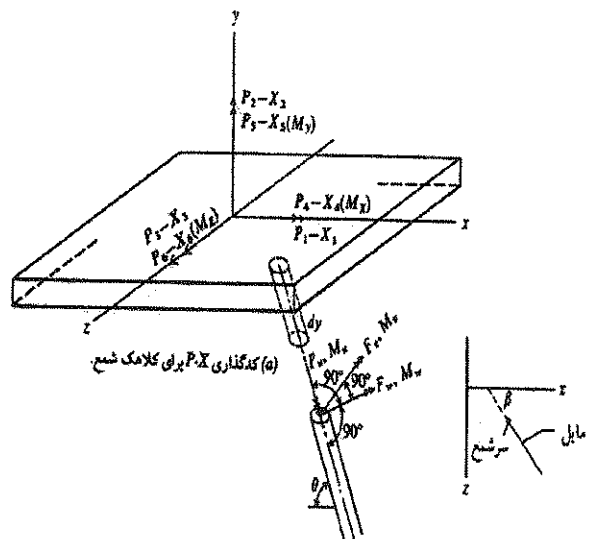
در تحلیل ماتریسی از شش درجه آزادی استفاده می‌شود. (سه انتقال X, Y و Z و سه دوران θ_x, θ_y و θ_z) و در این جا صلبیت کامل کلاهک شمع مفروض است. برای مطالعه کامل‌تر

$$A = \begin{bmatrix} \cos\theta \cos\beta & \sin\beta & \sin\theta \cos\beta & 0 & 0 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta & 0 & 0 & 0 \\ \cos\theta \sin\beta & -\cos\beta & \sin\theta \sin\beta & 0 & 0 & 0 \\ Z \sin\theta + Y \cos\theta \sin\beta & -Y \cos\beta & -Z \cos\theta + Y \sin\theta \sin\beta & \cos\theta \cos\beta & \sin\beta & \sin\theta \cos\beta \\ Z \cos\theta \cos\beta - X \cos\theta \sin\beta & +Z \sin\beta + X \cos\beta & Z \sin\theta \cos\beta - X \sin\theta \sin\beta & -\sin\theta & 0 & \cos\theta \\ -Y \cos\theta \cos\beta - X \sin\theta & -Y \sin\beta & -Y \sin\theta \cos\beta + X \cos\theta & \cos\theta \sin\beta & -\cos\beta & \sin\theta \sin\beta \end{bmatrix} \quad (10)$$

مرحله دوم: در این مرحله، برنامه، رشته را به طور تصادفی به عنوان جمعیت اولیه تولید می‌کند، پس این اعداد تصادفی تبدیل به کد (کد باینری) شده و به صورت دنباله‌ای از کدها در یک رشته قرار می‌گیرند. پس هر رشته نشان دهنده یک گروه شمع خاص می‌باشد و پارامترهای یک گروه شمع را مشخص می‌کند. به عنوان مثال طول رشته i ام S به صورت زیر نمایش داده می‌شود.

$$S_i = 01101 \ 11011 \ 00101 \ 11001 \ 01100$$

D	L	dx	dz	h
---	---	----	----	---



(a) کدگذاری P_i-X_i برای کلاهک شمع.
 (b) نیروهای شمع (+) نشان داده شده‌اند. همیشه با صفحه xy موازی است. F_{xy} همیشه بر محور شمع عمود است.
 (c) زاویه β نسبت به تصویر شمع در صفحه xy در جهت هر یک از محاور x اندازه‌گیری می‌شود. $0 \leq \beta \leq 360^\circ$

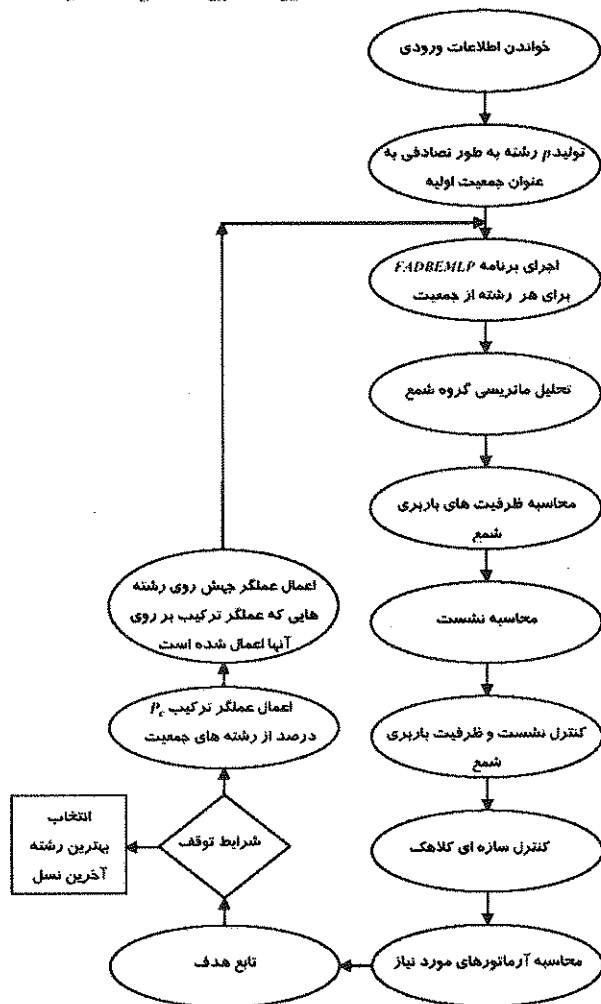
شکل (۲): کدگذاری و شناسایی نیروی شمع‌ها برای تشکیل ماتریس‌های A و S (توجه داشته باشید که F_w بر محور شمع و همچنین بر F_u و F_v عمود است.) $|V|$

۷- بهینه‌سازی گروه شمع با تابع هدف حداقل هزینه

در این تحقیق، ابعاد گروه شمع را به صورتی به دست می‌آوریم که تابع هزینه آن تحت شروط اجرایی و طراحی کمترین مقدار را داشته باشد. به عبارت دیگر، تابع $f = (D, L, dx, dz, h)$ را به شرط برقراری عوامل طراحی به گونه‌ای می‌یابیم که تابع هزینه $Cost = C_c + C_a + C_e$ کمینه شود. در این روابط، 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، h ضخامت کلاهک شمع، C_c هزینه بتن مصرفی، C_a هزینه‌های مربوط به آرماتور، C_e هزینه مربوط به چگونگی اجرای روش کوبشی و یا حفاری است.

۷-۱- الگوریتم حل مساله

مراحل محاسبه تابع هزینه (هدف) گروه شمع با استفاده از روند اجرای الگوریتم شکل (۳) به شرح زیر است:
 مرحله اول: برنامه اطلاعات مربوط به مشخصات فیزیکی و مکانیکی خاک، سازه، بارهای وارد بر کلاهک گروه و نوع روش اجرایی کوبشی یا حفاری را توسط کاربر دریافت می‌کند.



شکل (۳): نمودار جریان مراحل اجرای تحلیل برنامه گروه شمع با تابع هدف حداقل هزینه

بنابراین تعداد شمع‌ها برای هر رشته در راستای x و z کلاهک، با روابط (۱۲) و (۱۴) تعیین می‌شود که وابسته به مقادیر D, dx و dz انتخابی برای هر رشته می‌باشد:

مرحله سوم: در این حالت، ثابت‌های گروه شمع برای استفاده در ماتریس سختی K برای هر رشته از جمعیت با استفاده از برنامه

FADBEMLP محاسبه می‌شود.

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

مرحله پنجم: در این مرحله، ظرفیت باربری تک شمع و گروه شمع تحت بار قائم و جانبی و رفتار غیر خطی خاک برای هر رشته از جمعیت اولیه محاسبه می‌شود.

مرحله ششم: در این مرحله، کنترل های فنی زیر انجام می‌شود:

- کنترل ظرفیت باربری تک شمع و گروه شمع

- کنترل نشست کلاهدک گروه شمع

- کنترل برش مقاطع بحرانی شمع و ستون متصل با

کلاهدک

پس از حذف رشته‌هایی که از نظر فنی جوابگو نیستند بقیه رشته‌ها برای مرحله بعد مرتب می‌شوند.

مرحله هفتم: آرماتورهای لازم کلاهدک و شمع‌های گروه براساس آیین‌نامه آبا [۴] برای هر رشته از جمعیت باقی مانده از مرحله ۶ محاسبه می‌شود.

مرحله هشتم: در این مرحله، تابع هزینه اجرایی و ساخت گروه شمع برای هر رشته از جمعیت براساس فهرست بهای واحد پایه رشته راه، باند فرودگاه و زیرسازی راه آهن سال ۱۳۸۳ محاسبه می‌شود [۵] و پارامترهای زیر در نظر گرفته می‌شود:

۱. قیمت تمام شده بتن

۲. قیمت تمام شده آرماتور بندی و قالب بندی

۳. هزینه اجرای چگونگی روش کوبشی یا حفری

مرحله نهم: در فرآیند بهینه سازی، برای مقایسه رشته‌ها، رشته‌های جمعیت براساس مقادیر تابع هدف (هزینه) 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 ترتیب، هر چه برازندگی یک رشته بیشتر باشد، احتمال انتخاب شدن آن بیشتر بوده و با تعداد بیشتری در تولید نسل بعد شرکت می‌کند.

$$N_x = (Lg-D)/dx + 1 \quad (13)$$

$$N_z = (Bg-D)/dz + 1 \quad (14)$$

مرحله دهم: در این جا، شرط توقف تعداد تکرار در نظر گرفته شده است و در این مرحله بهترین هزینه (کمترین مقدار) به عنوان جواب مسأله در نظر گرفته می‌شود.

مرحله یازدهم: برای تولید نسل جدید، پس از تعیین برازندگی رشته‌ها، عملگر ترکیب و جهش بر روی آنها اعمال می‌شود. مکانیزیم انتخاب برای عملگر ترکیب روی p_c درصد از رشته‌های جمعیت با استفاده از روش دیسک گردان، دو رشته به صورت تصادفی انتخاب شده و تحت عمل ترکیب قرار می‌گیرند. برای عملگر جهش، یک رشته به طول L (بیتی) به ازای هر بیت آن یک عدد تصادفی تولید می‌شود، حال اگر این عدد کمتر از مقدار احتمال جهش، (p_m) باشد، مقدار بیت مورد نظر به طور تصادفی به مقدار دیگری تغییر می‌یابد. اگر مقدار عدد تصادفی تولید شده بزرگ تر از p_m باشد، تغییری در آن بیت ایجاد نمی‌شود.

مرحله دوازدهم: رشته‌های جدیدی که تحت عمل ترکیب و جهش قرار گرفته‌اند دیکه شده و گروه‌های شمع طراحی می‌شوند. بنابراین مراحل ۲ تا ۱۱ یک سیکل را تشکیل داده و به تعداد مناسب تکرار می‌شوند.

در تمام مراحل که رشته‌های جدید تولید می‌شوند، کنترل لازم بر روی آنها انجام می‌شود، بدین صورت که پارامترهای گروه شمع (D, L, dx, dy, h) باید داخل دامنه تحلیل تولید شوند. این کنترل برای آن است که چون ناحیه مورد آنالیز، قسمتی از شبکه‌ای را می‌پوشاند که مربوط به GA است، ممکن است در حین اجرای برنامه، یک پارامتر تولید شده، مورد آنالیز قرار گیرد، در حالی که در دامنه تحلیل نیست.

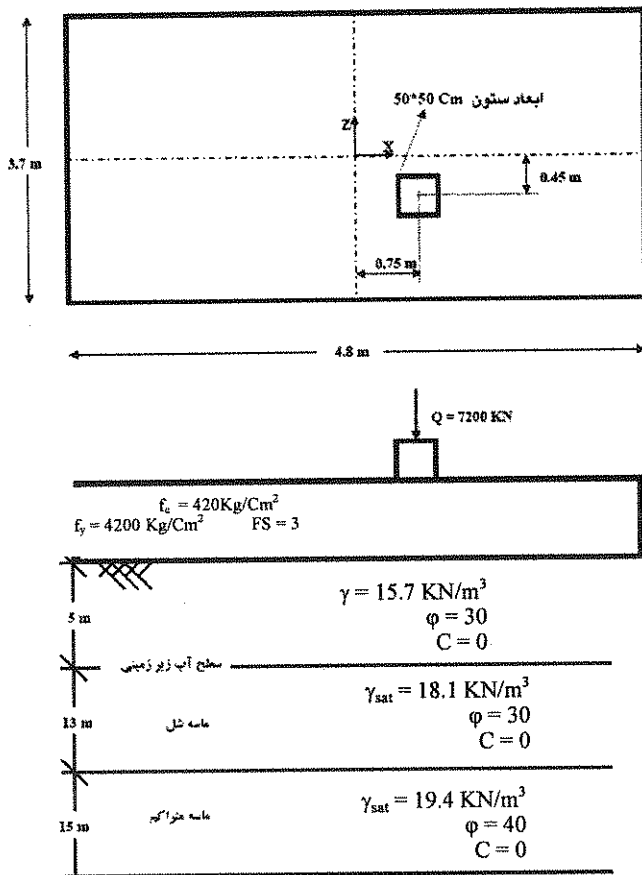
مسأله ۱: با توجه به مشخصات خاک و سازه‌ای کلاهدک شمع در شکل (۴) تابع $f = (D, L, dx, dz, h)$ را به شرط برقراری عوامل طراحی به گونه‌ای بیابید که تابع هدف آن $(Cost)$ کمینه شود.

منحنی تغییرات بهترین هزینه در هر نسل، در مقابل تعداد تکرار (تعداد نسل‌ها) در شکل (۵) در حالت کوبشی و حفری مشاهده می‌شود. با توجه به شکل، ملاحظه می‌شود که در ابتدای اجرای برنامه، هزینه با سرعت زیادی کاهش می‌یابد و در انتهای برنامه، تغییرات هزینه خیلی کم می‌شود. دلیل آن این است که در مراحل اولیه برنامه تنوع رشته‌ها زیاد است که با افزایش تعداد تکرار، رشته‌ها به سمت نقطه بهینه همگرا می‌شوند.

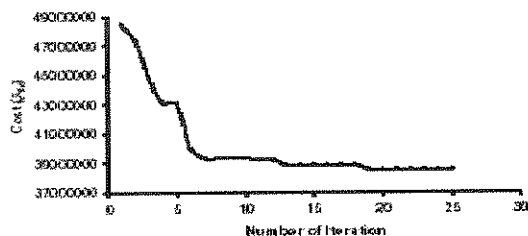
- در شکل (۵-الف) مشخصات بهینه طرح اولیه برای نسل اول در حالت حفری به صورت زیر است:

$$D = 0.85m, L = 18m, h = 1.45m, N_x = 2, N_z = 2, Cost = 48417000 R$$

پس از تکرار ۲۵ نسل جمعیت مشخصات طرح نهایی بهینه برای



شکل (۴): مشخصات صورت مسأله



(الف)



(ب)

شکل (۵): نمایش تغییرات بهترین هزینه در هر نسل در مقابل تعداد تکرار (نسلها) - الف) حفری ب) کوبشی

نسل ۲۵ام به صورت زیر است:

$$D = 0.70m, L = 16m, h = 0.7m, N_x = 2, N_z = 2, \\ Cost = 38514000 R$$

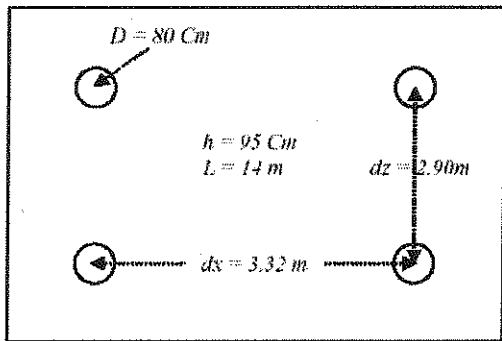
- در طرح ۲۵ ام کاهش هزینه‌ای برابر با ۲۰/۴۵٪ نسبت به طرح اولیه مشاهده می‌شود و در حالت کوبشی نیز (شکل ۵-ب) کاهش هزینه‌ای برابر با ۱۲/۶۳٪ نسبت به طرح اولیه نمایان شده است.

در شکل (۶) به جمعیت اولیه ۲۰ تایی، در ۵ گام افزایش جمعیت داده شده است و تغییرات آن مشاهده می‌شود. با توجه به شکل، با افزایش جمعیت به جمعیت اولیه امکان رسیدن به طرح بهینه افزایش داده می‌شود. دلیل این است که با اضافه کردن جمعیت به جمعیت اولیه تنوع رشته‌ها زیاد می‌شود و رشته‌ها با تنوع بیشتری نسبت به هم انتخاب می‌شوند.

در شکل (۷) نمودار هزینه نسبت به جمعیت در تکرارهای مختلف نشان داده شده است. با توجه به نمودار، واضح است که از جمعیت اولیه ۵۰ به بعد تغییرات کمی در هزینه مشاهده می‌شود. در شکل (۸)، محل قرارگیری بهینه گروه شمع به دست آمده از الگوریتم ژنتیک در دو حالت حفری و کوبشی نشان داده شده است.

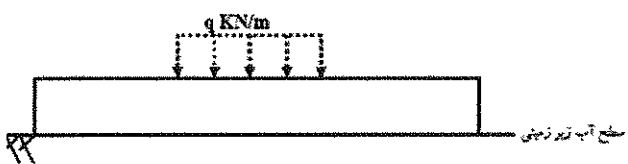
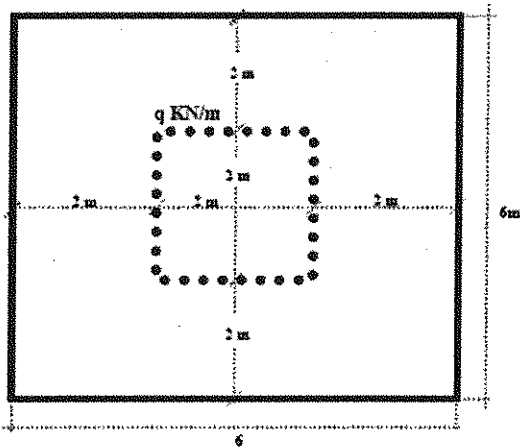
مسأله ۲- برای بررسی نقش ابعادی تابع هدف با افزایش سربار، کلاهک مربع شکلی به ابعاد ۶×۶ متر، تحت تاثیر شش سربار خطی یکنواخت به شدت ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ KN/m در حالت حفری بررسی شده است (شکل ۹).

شکل (۱۰-الف) تغییرات بهینه هزینه نسبت به سربار را نشان می‌دهد. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که با افزایش سربار، هزینه افزایش می‌یابد. در شکل (۱۰-ب) ملاحظه می‌شود که با افزایش سربار، قطر شمع افزایش می‌یابد، در صورتی که طول شمع، ضخامت کلاهک و تعداد شمع‌ها ثابت مانده است (شکل ۱۰-پ، ت، ث). محل قرار گیری بهینه شمع‌ها برای هر حالت سربار در شکل (۱۱) نشان داده شده است. با توجه به شکل ملاحظه می‌شود که با افزایش سربار، تمایل چیدمان شمع‌ها به سمت بارگذاری افزایش می‌یابد؛ و این با نتایج رندولف و دیگران همخوانی دارد.



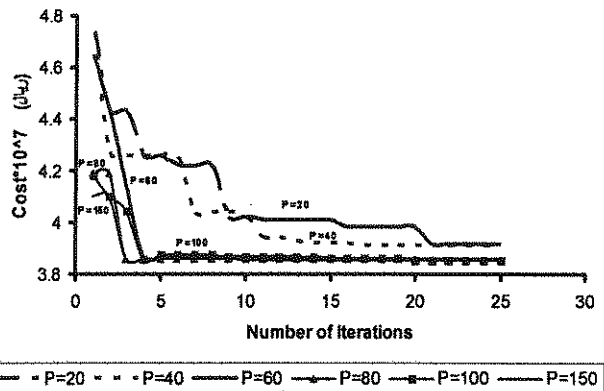
(ب)

شکل (۸): محل قرارگیری بهینه شمع های به دست آمده از الگوریتم ژنتیک - الف) حفری، ب) کوبشی ۱

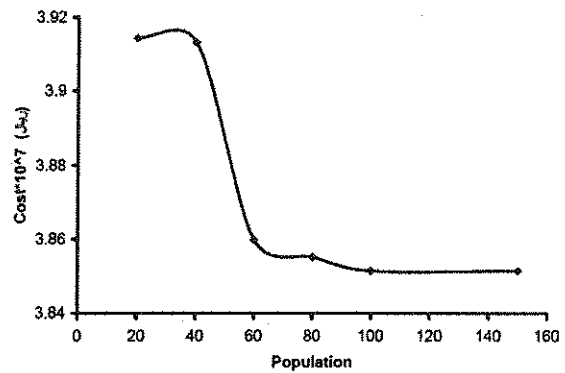


لایه رسی ناهای تحکیم یافته
 $\gamma_{sat} = 19.5 \text{ KN/m}^3$
 $e_0 = .82$
 $C_c = 0.3$
 $\Phi_r = 30^\circ$ $C_u = 100 \text{ KN/m}^2$

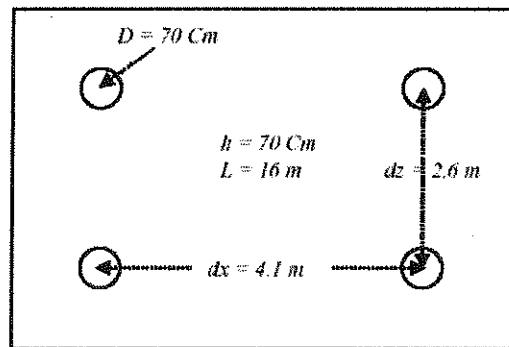
شکل (۹): مشخصات لازم برای تحلیل پارامتری مساله با افزایش سربار



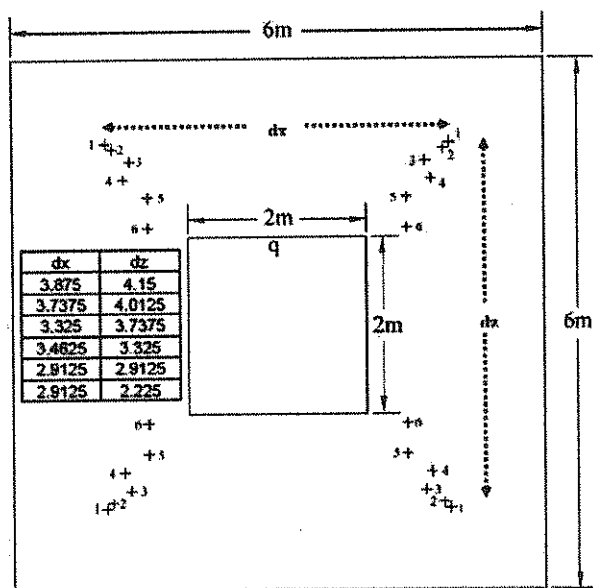
شکل (۶): تغییرات افزایش گام به گام جمعیت به جمعیت اولیه در حالت حفری



شکل (۷): تغییرات هزینه نسبت به جمعیت در تکرارهای مختلف در حالت حفری



(الف)



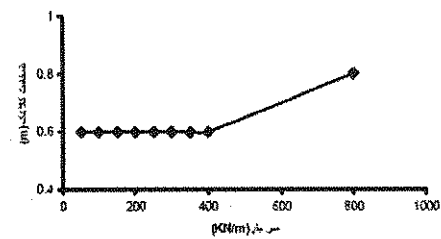
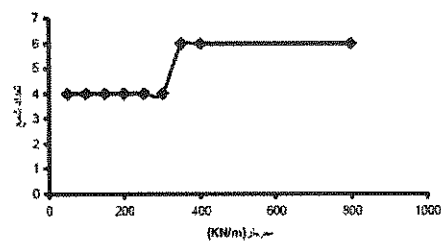
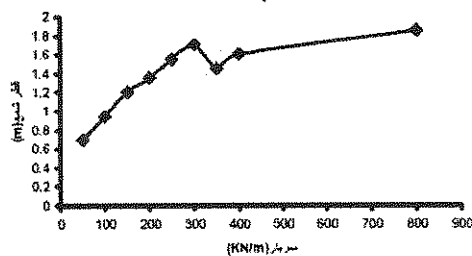
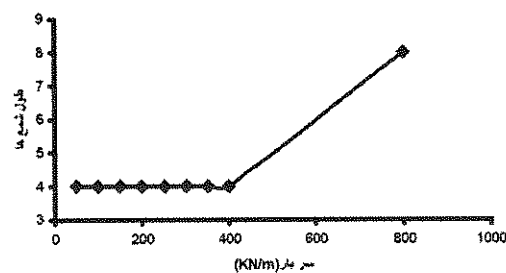
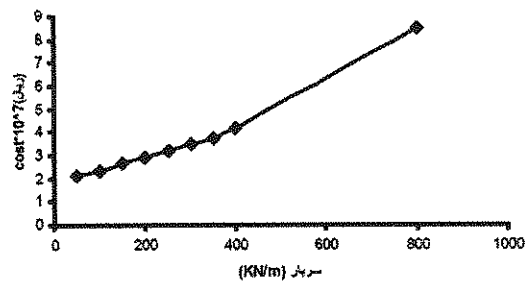
شکل (۱۱): چیدمان آرایش شمع ها در اثر افزایش سر بار

۸- نتیجه گیری

نتایج به دست آمده از تحقیق به شرح زیر است:
 - تعیین نوع تابع هدف برای بهینه سازی بسیار مهم است.
 - در بهینه سازی مساله گروه شمع مشاهده شد که چیدمان شمع ها در روند بهینه سازی به سمت تمرکز در زیر ناحیه بار تمایل می یابد و این با نتایج حاصل از رندواف و دیگران همخوانی دارد.
 - با افزایش سر بار روی کلاهک تمرکز محل قرارگیری شمع ها در ناحیه بار افزایش می یابد.
 - الگوریتم ژنتیک سازگاری مناسبی برای حل مسایل بهینه سازی از خود نشان می دهد. علاوه بر این، تعیین پارامترهای الگوریتم ژنتیک، مزیت بسیار مهمی است که سرعت همگرایی مساله را افزایش می دهد. در این تحقیق همان طور که مشاهده شد با افزایش احتمال ترکیب و جمعیت اولیه و با کاهش احتمال جهش، سرعت همگرایی مساله و امکان رسیدن به طرح بهینه افزایش می یابد.

۹- مراجع

- [۱] فخاریان، کاظم؛ اسلامی، ابوالفضل، روش طراحی متحد برای تحلیل ظرفیت باربری و نشست پی های عمیق، کارگاه علمی و تخصصی، سومین همایش بین المللی مهندسی ژئوتکنیک و مکانیک خاک ایران-تهران، آذر ۱۳۸۱
- [۲] شاد، هوشنگ، بررسی ظرفیت باربری قائم شمع، انتشارات مرکز تحقیقات و آموزش وزارت راه و ترابری ۱۳۷۶



شکل (۱۰): نمودارهای تغییرات بهینه پارامتری نسبت به افزایش سر بار

- [۲] گودرزی، علیرضا؛ گتمیری، بهروز؛ " بررسی عددی رفتار شمع ها تحت اثر بارهای جانبی و قائم"، دانشگاه تهران، ۱۳۸۰
- [۳] آیین نامه بتن ایران آبا، نشریه شماره ۱۲۰، ۱۳۷۸
- [۴] فهرست بهای واحد پایه رشته راه، باند فرودگاه و زیر سازی راه آهن، رسته راه و ترابری، ۱۳۸۲
- [۵] Horikoshi, K. and M.F. Randolph, " Centrifuge modeling of piled raft Foundations on clay", Geotechnique, the Institution of civil engineers, London, U.K., vol 46 , 1996, pp. 741-752
- [۶] Bowles Joseph E. " Foundation analysis and design " , Reprint of 5th ed. 1999, Mc. Graw-Hill
- [۷] Clancy ,P. and M.F.Randolof, " Simple design tools for piled raft foundations" , Geotechnique, the Institution of civil engineers, London, U.K., vol 46, No,2,1996, pp:313-328
- [۸] Mandolini, A, and Viggiani, G., "Settlement of piled foundations" , Geotechnique, the Institution of civil engineers, London, U.K., vol 47, No,4,1997, pp:791-816
- [۹] Horikoshi, K. and M.F.Randolof, "A Contribution to the optimum design of piled rafts " , Geotechnique, the Institution of civil engineers, London, U.K., vol 48, No,3,1998, pp:301-317
- [۱۰] Kyung Nam Kim, Su-Hyung Lee." Optimal pile arrangement for minimizing differential settlements in piled raft foundations ". Computers and Geotechnics.28,2001, pp.235-253
- [۱۱] O.Reul , M.F.Randolof, "Piled rafts in overconsolidated clay ; Comparison of in situ measurements and numerical analyses", Geotechnique, the Institution of civil engineers, London, U.K., vol 53, No,3,2003, pp:301-315
- [۱۲] Braja. M. Das " Principles of Foundation Engineering" second edition, 1990
- [۱۳] M.J.Tomlinson , "Pile design and construction practice ", second edition, 1981 Engineering and Engineering Mechanics , series, 1962
- [۱۴] D.E.Goldberg, Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison Wesley.
- [۱۵]