



## روشی کاربردی در طرح بهینه گروه شمع

مجید کاظمی<sup>۱</sup>، جعفر بلوری بزازی<sup>۲</sup>

۱- کارشناس ارشد خاک و پی، دانشگاه فردوسی مشهد

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

Kazemi.civil@gmail.com

### خلاصه

علیرغم پیشرفت چشمگیر علم مکانیک خاک و مهندسی ژئوتکنیک در دهه های اخیر، تعیین نحوه رفتار پی های عمیق هنوز با دشواریهایی همراه است. معمولاً عدم تسلط بر طراحی بهینه و در عین حال مطمئن، منجر به اختیار نمودن حد بالای ضریب اطمینان و همچنین محافظه کارانه انتخاب کردن پارامترهای رفتاری و مقاومتی می شود. چنین وضعیتی موجب غیر اقتصادی شدن طرح ها می گردد. لذا طرح اقتصادی و ایمن تاثیر بسزایی بر هزینه تمام شده و زمان اجرای طرح خواهد داشت. در این مقاله علاوه بر آشنایی با پی های عمیق و نحوه بکارگیری الگوریتم ژنتیک در مهندسی عمران از روشی کاربردی برای بهینه یابی گروه شمع استفاده شده است. به همین منظور در محیط نرم افزار Matlab و به کمک ابزار G.A.Tool برنامه ای تدوین شد که قادر به بهینه سازی اکثر مسائل گروه شمع با توابع هدف گوناگون و مناسب با شرایط طراحی می باشد. نتایج بیانگر کارایی این روش در رسیدن به طرح بهینه گروه شمع برای تامین توابع هدف متفاوت و همچنین قابلیت آن در طراحی بهینه سایر پارامترهای طراحی در مهندسی عمران می باشد.

کلمات کلیدی: گروه شمع، کلاهک، پی شمع - کلاهک، بهینه یابی، الگوریتم ژنتیک

### ۱. مقدمه

سیستم پی شمع-کلاهک ترکیبی از پی سطحی و عمیق می باشد که بار وارده را بین شمع و کلاهک توزیع می نماید. این نوع پی یک سازه مرکب شامل ۳ جزء شمع، کلاهک و خاک است. شمع ها در این سیستم علاوه بر تحمل نیروی مازاد بر کلاهک باعث کاهش نشست های کلی، تفاضلی و چرخش و همچنین افزایش ضریب اطمینان در طراحی می شوند (Garcia et al., 2005). این سیستم زمانی که کلاهک به تنهایی نتواند معیارهای لازم در طراحی را برآورده نماید، منجر به فراهم آمدن یک فونداسیون اقتصادی می شود (Poulos, 2001). در طول چند دهه اخیر تعداد ساختمانهای بلند که بر روی ترکیب کلاهک و گروه شمع بنا شده اند افزایش یافته است. به همین دلیل لزوم تحقیق و آشنایی با روشهای تحلیل موجود و کار بیشتر در این زمینه کاملاً احساس می گردد. مطالعات فراوانی بر روی نحوه رفتار پی شمع-کلاهک با توجه ویژه بر روی طراحی بهینه انجام شده است (Prakoso & Kulhawy, 2001; Horikoshi & Randolph, 1996; Russo & Viggiani, 1998; Kim et al., 2001; Reul & Randolph, 2003).

روشهای اصلی در طراحی پی شمع-کلاهک به سه دسته کلی دستی، تقریبی و پیچیده تقسیم بندی شده اند. در حال حاضر بعضی از طراحی های پی شمع-کلاهک بر اساس ظرفیت باربری انجام می گیرد و از سهم کلاهک صرف نظر می گردد (Borel & Combarieu, 1998). به همین دلیل هنوز بیشتر آیین نامه ها در سراسر جهان بر این اساس تنظیم شده اند (Sanctis et al., 2002). با توجه به اهداف مورد نیاز در این تحقیق از روش دوم (صرف نظر نمودن از سهم کلاهک) استفاده شده است. با توجه به گستردگی و تنوع مسائل مربوط به شرایط اجرای طرح، انتخاب بهینه پارامترهای طراحی برای برآورده نمودن توابع هدف حائز اهمیت می باشد. به همین منظور مطالعات بهینه یابی در خصوص تعداد، جانمایی، قطر و طول شمعها به منظور برآورده نمودن تابع هدف با در نظر گرفتن شرایط فنی و اجرایی نیز صورت گرفته است. یکی از بهترین روشهای بهینه یابی روش الگوریتم ژنتیک می باشد (Cui & Sheng, 2005). در این تحقیق نیز ابتدا روش تحلیل گروه شمع بر اساس حل ماتریسی که توسط Bowles پیشنهاد شده شرح داده شده است. در این روش ثابتهای شمع توسط برنامه تحلیل اجزای محدود محاسبه می گردد (Bowles, 1996). پس از ارائه این

روش، مراحل گام به گام طراحی سیستم گروه شمع و روند بهینه‌یابی شامل دو مرحله آماده سازی ابزار G.A.Tool و اجرای الگوریتم ژنتیک بیان شده به گونه‌ای که این فرآیند در نهایت منجر به طرحی مناسب و بهینه با توجه به هدف مورد نظر و با رعایت کلیه ضوابط فنی و اجرایی می‌شود.

## ۲. تحلیل ماتریسی گروه شمعها

هنگامی که بارگذاری گروه شمع فقط شامل بار قائم بوده و چیدمان گروه شمع به صورت هم محور یا با برون محوری تقریباً کمتر از 0.67 s باشد، بار گروه شمع را می‌توان براساس معادلات تجربی موجود و با دقت کافی پیش‌بینی کرد. پارامتر s فاصله مرکز به مرکز شمعها می‌باشد. برای حل ماتریسی گروه شمع معادله ماتریسی زیر ارائه شده است (Bowles, 1996):

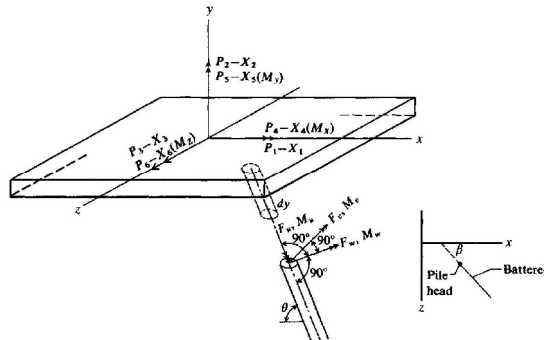
$$P = ASA^T X \quad (1)$$

برای استفاده از معادله فوق باید به نکات زیر توجه داشت:

۱- ماتریس A نیروهای شمع نام را به آن بخش از نیروی کل کلاهک که توسط شمع نام تحمل می‌شود، ربط می‌دهد به صورت زیر قابل بیان است:

$$A = \begin{bmatrix} \cos \theta \cos \beta & \sin \beta & \sin \theta \cos \beta & 0 & 0 & 0 \\ -\sin \theta & 0.0 & \cos \theta & 0 & 0 & 0 \\ \cos \theta \sin \beta & -\cos \beta & \sin \theta \sin \beta & 0 & 0 & 0 \\ +Z \sin \theta & -Y \cos \beta & -Z \cos \theta & \cos \theta \cos \beta & \sin \beta & \sin \theta \cos \beta \\ +Y \cos \theta \sin \beta & +Y \sin \theta \sin \beta & & & & \\ +Z \cos \theta \cos \beta & +Z \sin \beta & +Z \sin \theta \cos \beta & -\sin \theta & 0 & \cos \theta \\ -X \cos \theta \sin \beta & +X \cos \beta & -X \sin \theta \sin \beta & & & \\ -Y \cos \theta \cos \beta & -Y \sin \beta & -Y \sin \theta \cos \beta & \cos \theta \sin \beta & -\cos \beta & \sin \theta \sin \beta \\ -X \sin \theta & & +X \cos \theta & & & \end{bmatrix} \quad (2)$$

کلیه پارامترها در شکل ۱ تعریف شده است. همچنین X، Y و Z بیانگر موقعیت هر شمع در گروه شمع است.



شکل ۱- نحوه تعریف پارامترها و شناسایی نیروی شمع‌ها به منظور تشکیل ماتریسهای A و S

۲- ماتریس S، ماتریس سختی شمع است که برای بدست آوردن هشت ورودی از ده ورودی آن باید یک شمع تحت بار جانبی را بوسیله برنامه FADBEMLP تحلیل نموده تا ماتریس سختی هریک از شمعهای گروه ایجاد شود.

$$S = \begin{bmatrix} S(1,1) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S(2,2) & 0 & 0 & 0 & S(2,6) \\ 0 & 0 & S(3,3) & 0 & -S(3,5) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S(4,4) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -S(5,3) & 0 & S(5,5) & 0 \\ 0 & S(6,2) & 0 & 0 & 0 & S(6,6) \end{bmatrix} \quad (3)$$

۳-  $ASA^T$  برای هریک از شمع‌های موجود در گروه محاسبه و در ماتریس  $ASA^T$  گروه جمع می‌شوند. مثلاً برای یک گروه شمع چهارتایی، هریک از ورودیهای  $ASA^T$  مجموع مقادیر  $ASA^T$  چهار شمع منفرد است.

۴- ماتریس  $ASA^T$  گروه شمع (با ابعاد ۶×۶) وارون شده و تغییر مکانهای پی یا ماتریس X به دست می‌آید.

۵- با استفاده از ماتریس X، تغییر مکان سر شمع (ماتریس e) به کمک رابطه زیر محاسبه می‌شوند:



$$e = A^T X \quad (۴)$$

۶- با توجه به تغییر مکان سرشمع، نیروی هر شمع را می توان به صورت زیر حساب کرد:

$$F = Se \quad (۵)$$

### ۳. روش گام به گام طراحی سیستم گروه شمع

روش طراحی گام به گام به گام سیستم گروه شمع به شرح زیر است:

#### گام ۱- تعیین پارامترهای ژئوتکنیکی

این پارامترها شامل ضریب چسبندگی، زاویه اصطکاک، وزن مخصوص، سطح تراز آب زیرزمینی، ضریب پواسون و نسبت تخلخل خاک می باشد. همچنین باید طول و عرض کلاهک، قطر و طول شمع، چیدمان شمعها در گروه، مقاومت نهایی بتن و فولاد مقدار و جهت بارهای وارده بر گروه مشخص گردد.

#### گام ۲- کنترل ظرفیت باربری قائم و جانبی هر شمع

ظرفیت باربری قائم یک شمع، برابر مجموع ظرفیت باربری اصطکاکی و نوک آن است. در این تحقیق برای تعیین ظرفیت باربری نوک در خاک ماسه ای از روش جانبی (رابطه ۶) و در خاک رسی از روش مایر هوف (رابطه ۷) استفاده شده است:

$$Q_p = A_{toe} (cN_c^* + q'N_q^*) \quad (۶)$$

$$Q_p = N_c^* \cdot C_u \cdot A_{toe} = 9C_u \cdot A_{toe} \quad (۷)$$

در این روابط  $c$  چسبندگی خاک،  $q'$  تنش مؤثر قائم در انتهای شمع،  $A_{toe}$  سطح مقطع نوک شمع،  $N_c^*$  و  $N_q^*$  فاکتورهای بی بعد ظرفیت باربری و  $C_u$  چسبندگی زهکشی نشده خاک واقع در زیر نوک شمع هستند (Hunt, 1986). همچنین ظرفیت باربری اصطکاکی از رابطه زیر بدست می آید:

$$Q_s = \int_{surface} f_s(z) dz \quad (۸)$$

در رابطه فوق  $f_s(z)$  مقاومت اصطکاکی واحد سطح در عمق  $z$  می باشد که از روش  $\alpha$  محاسبه می گردد. (Tomlinson, 1986)  
به منظور محاسبه ظرفیت باربری جانبی هر شمع از برنامه تحلیل اجزای محدود شمع تحت بار جانبی (FADBEMLP) استفاده شده به گونه ای که تغییر مکان بدست آمده از هر شمع، با مقدار مجاز ۶ تا ۱۰ میلی متر کنترل می شود (Bowles, 1996).

#### گام ۳- کنترل ظرفیت باربری گروه شمع

با توجه به مشاهدات تجربی رفتار گروه شمع در ماسه، نتایج زیر قابل بیان است: (Niandou & Breyssse, 2007)

۱- برای گروه شمعهای کوبیده شده در ماسه با  $S \geq 3D$ ، مقدار راندمان را می توان مساوی یک در نظر گرفت. این مجموع شامل مقاومت اصطکاکی جدار و نوک برای تمام شمعها می باشد. ( $D$  بعد یا قطر شمع)

۲- برای شمعهای حفاری شده در ماسه در فواصلی در حدود  $S \approx 3D$  (که فاصله متداول است)  $Q_{g(u)}$  را می توان مساوی  $2/3$  تا  $3/4$  مقدار  $\sum Q_{ii}$  در نظر گرفت.

#### گام ۴- تعیین نشست گروه شمع

مقدار نشست مجاز گروه شمع در این پروژه با توجه به پیشنهاد Bowles (1996) و Das (1990) برابر ۲ سانتی متر در نظر گرفته شده است. بدیهی است که می بایست نشست میانگین محاسبه شده گروه (توسط برنامه FADBEMLP) از ۲ سانتی متر کمتر گردد.

#### گام ۵- کنترل سازه ای شمعها و کلاهک

برای کنترل سازه ای شمعها باید بزرگترین مقدار لنگر و نیروی محاسبه شده در طول بدنه شمع از ظرفیت سازه ای شمع کوچکتر گردد. معمولاً لنگر گیرداری سر شمع در تحلیل ماتریسی ارائه شده، بزرگترین مقدار بوده و برای طراحی مناسب است. (Bowles, 1996)

برای بدست آوردن مقدار آرما تور طولی موجود در شمعها از روابط Whitney استفاده شده که معمولاً این روابط برای محاسبات اولیه، تخمین ابعاد و کنترل نتایج حاصل از محاسبات تئوریک استفاده می شود. (کی نیا، ۱۳۸۰). بر اساس آیین نامه ACI و با تعریف ضریب سختی  $K_F$  می توان صلیب کلاهک را تعیین نمود، بدین صورت که کلاهکی با ضریب  $K_F$  بزرگتر از  $1/5$  به عنوان پی گسترده صلب منظور می شود:

$$K_r = \frac{EI_b}{E_s B^3} \quad (9)$$

که در آن (Bowles, 1996)

$$EI_b = EI_f + \sum EI_{bi} + \sum \frac{Eah^3}{12} \quad (10)$$

در این روابط  $EI_b$ ،  $E$ ،  $EI_f$ ،  $E_s$  و  $B$  به ترتیب صلیبیت خمشی روسازه و پی گسترده، مدول الاستیسیته مرکب قاب روسازه، صلیبیت خمشی شالوده، مدول الاستیسیته خاک و عرض پی می باشد.

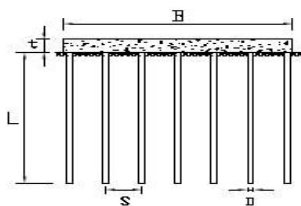
#### ۴. بهینه یابی گروه شمع

در طراحی گروه شمع پارامترهای مختلفی وجود دارد که با نظر طراح تعیین می گردند. با توجه به گستردگی و تنوع مسائل مربوط به شرایط اجرای طرح، انتخاب بهینه این پارامترها برای برآورده نمودن توابع هدف حائز اهمیت می باشد. بدین منظور باید از روشهای بهینه یابی موجود استفاده نمود. در این تحقیق با بهره گیری از الگوریتم ژنتیک، برنامه ای در نرم افزار Matlab و به کمک ابزار G.A.Tool نوشته شده است که تابع هدف هزینه شمع می باشد.

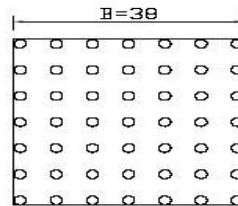
##### ۴.۱. روند بهینه یابی

در این تحقیق یک تابع Fitness نوشته شده که خود شامل زیر توابع تحلیل سیستم گروه شمع، کنترل فنی و اجرایی، اعمال محدودیتهای مقدار فولاد و هزینه اجرا می باشد. هدف کمینه نمودن تابع Fitness یا همان ارائه طرحی اقتصادی با رعایت کلیه ضوابط فنی و اجرایی است. با توجه به اینکه در الگوریتم ژنتیک طیف وسیعی از رشته های تولید شده تأمین کننده ضوابط نمی باشند، پس باید ملاکی برای مشخص شدن آنها داشته باشیم. تابع کنترل های فنی و اجرایی (کنترل تغییر مکانهای عمودی و جانبی، کنترل ظرفیت باربری و ظرفیت سازه ای کلاهک) به عنوان یکی از مهمترین بخشهای روند بهینه یابی، وظیفه مقایسه نتایج هر رشته از جمعیت را با مقادیر مجاز و تطابق با ضوابط آیین نامه ای بر عهده دارد. در ادامه با ارائه مثالی مراحل فوق شرح داده می شود. (کاظمی، ۱۳۸۷)

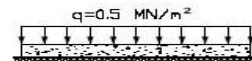
**مثال:** ضخامت کلاهک گروه شمعی که در شکل ۲ نشان داده شده، ۳ متر و مقاومت فولاد و بتن به ترتیب  $4000 \text{ kg/cm}^2$  و  $350 \text{ kg/cm}^2$  می باشد. وزن مخصوص موثر خاک و زاویه اصطکاک آن به ترتیب  $9.9 \text{ kN/m}^3$  و  $32^\circ$  می باشد ( $K_s=5000+5880z$ ). هدف دستیابی به طرح بهینه گروه شمع می باشد.



الف - مقطع عرضی



ب - پلان



ج - بارگذاری گسترده یکنواخت

شکل ۲ - مشخصات گروه شمع

این مثال با سه تابع هدف متفاوت مورد بررسی قرار گرفته و برای هر تابع هدف، گروه شمع بهینه یابی شده است. قبل از آغاز بهینه یابی ابتدا یک طرح اولیه به عنوان طرح پیشنهادی ارائه شده، سپس بوسیله آنالیز حساسیت پارامترهای مورد نیاز الگوریتم ژنتیک بدست می آید. در ادامه نیز عملیات بهینه یابی به طور جداگانه برای هر تابع هدف انجام می گردد. سه تابع هدف بررسی شده به شرح زیر می باشند:

الف) طرح بهینه سیستم با فرض ثابت ماندن مقدار بارگذاری و ابعاد کلاهک

ب) بررسی تأثیر تغییرات مقدار بارگذاری بر روی پارامترهای طراحی

ج) تعیین بهینه درصد تحت پوشش کلاهک بوسیله گروه شمع برای بارگذاری های مختلف

در این مثال دامنه تغییرات پارامترها به شرح زیر می باشد:

$$0.5 < D \leq 2.1$$

$$7 \leq L \leq 40$$

$$3 \leq s \leq 6$$

○ قطر شمع (D) با گام 0.05 متر

○ طول شمع (L) با گام 1 متر

○ ضریب قطر برای تعیین فاصله بین شمعها (s) با گام 0.5

همانگونه که ذکر شد ابتدا باید ابعادی را به عنوان طرح اولیه پیشنهاد داد. به این منظور گروه شمعی با تعداد ۱۲۱ شمع که طول، قطر و فاصله مرکز به مرکز هر شمع به ترتیب برابر  $L=38\text{ m}$ ،  $D=1.3\text{ m}$  و  $s=3D$  در نظر گرفته شده است. با استفاده از تابع تدوین شده به منظور برآورد هزینه اجرایی سیستم فوق و بر مبنای فهرست بهای واحد پایه رشته راه سال ۱۳۸۸، هزینه اجرای این طرح اولیه مقدار  $6.155 \times 10^9$  ریال برآورد می‌گردد. آنالیز حساسیت: برای شروع عملیات بهینه‌یابی ابتدا باید بوسیله آنالیز حساسیت، پارامترهای مورد نیاز الگوریتم ژنتیک بدست آید. در این قسمت مراحل انتخاب سه پارامتر احتمال ترکیب، احتمال جهش و تعداد جمعیت مورد بررسی قرار می‌گیرد. بدیهی است می‌توان با همین روش سایر پارامترهای مورد نیاز را نیز بدست آورد.

با توجه به بحث فوق مقادیر مناسب برای احتمال ترکیب  $P_c = 0.6$ ، احتمال جهش  $P_m = 0.25$  و تعداد جمعیت برابر ۴۵ انتخاب می‌شود. نحوه اعمال این پارامترها در ابزار G.A.Tool و سایر تنظیمات آن به شرح زیر می‌باشد: نوع جمعیت: رشته‌ای، نحوه تعیین برازش: روش رتبه بندی، نحوه انتخاب: روش چرخ گردان، تابع جهش: یکنواخت، تابع ترکیب: یک نقطه‌ای، تعداد نسل: ۱۲۰، زمان توقف: بی‌نهایت. اکنون پس از طی کلیه مراحل فوق، با توجه به توابع هدف بیان‌شده، گروه شمع را طراحی و بهینه‌یابی می‌گردد.

### الف) طرح بهینه سیستم با فرض ثابت ماندن مقدار بارگذاری و ابعاد کلاهک

با توجه به ثابت بودن ابعاد کلاهک ( $B=38\text{ m}$ ) و مقدار بارگذاری ( $q=0.5\text{ mN/m}^2$ )، مقدار بهینه قطر و طول شمع و فاصله آنها پس از تکرار ۱۲۰ نسل بدست می‌آید. هزینه طرح نهایی بهینه معادل  $3.084 \times 10^9$  ریال است که نسبت به هزینه بهینه نسل اول ۶/۷۷ درصد کاهش دارد. مشخصات طرح نهایی بهینه برای نسل ۱۲۰م به صورت زیر است:

$$(D) = 1.9 \text{ m} \text{ قطر شمع}$$

$$(L) = 23 \text{ m} \text{ طول شمع}$$

$$\approx 3.5 D \text{ فاصله مرکز به مرکز شمعها}$$

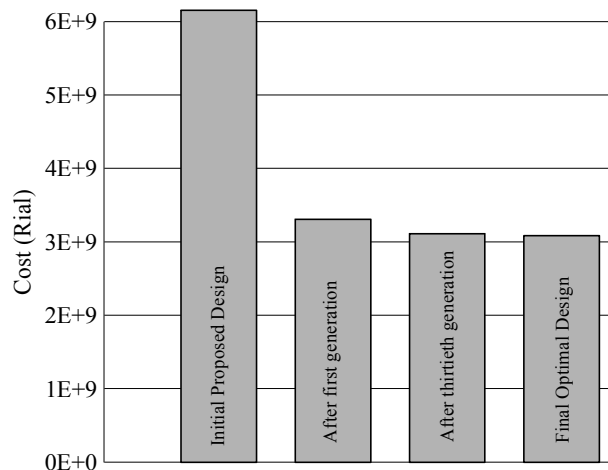
$$3.084 \times 10^9 \text{ ریال} = \text{هزینه نهایی}$$

مقدار هزینه طرح بهینه نهایی حدود (شکل ۳) ۵۰ درصد کاهش نسبت به طرح اولیه پیشنهادی دارد که رقم قابل توجهی است و ارزش کار بهینه‌یابی را نشان می‌دهد.

طرح پیشنهادی اولیه  $D = 1.3\text{ m}$  ,  $L = 38\text{ m}$  ,  $s = 3 \Rightarrow \text{Cost} = 6.155 \times 10^9\text{ R}$

طرح بهینه نهایی  $D = 1.9\text{ m}$  ,  $L = 23\text{ m}$  ,  $s = 3.5 \Rightarrow \text{Cost} = 3.084 \times 10^9\text{ R}$

درصد کاهش هزینه  $\approx 50\%$  درصد

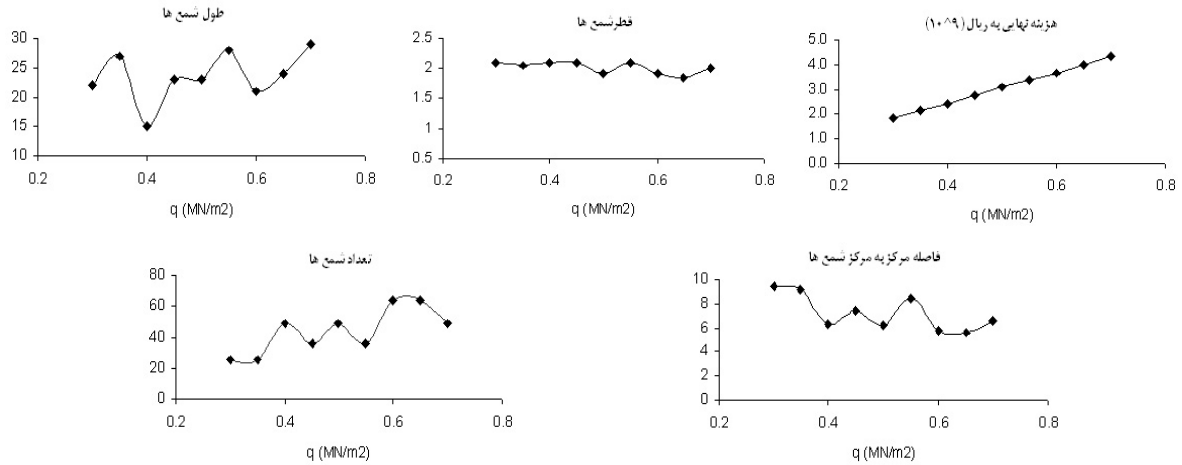


شکل ۳- مقایسه هزینه طرح بهینه نهایی با طرح اولیه پیشنهادی

### ب) بررسی تأثیر تغییرات مقدار بارگذاری بر روی پارامترهای طراحی

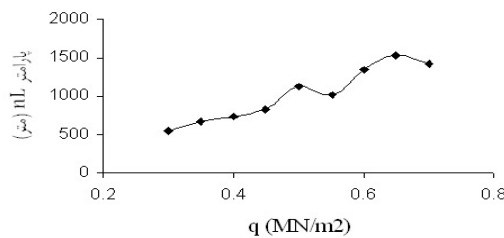
با فرض اینکه کلیه مشخصات طرح مشابه آنچه در قسمت الف بیان شده باشد، تأثیر تغییرات مقدار بارگذاری یکنواخت بر روی قطر شمع (D)، طول شمع (L)، ضریب فاصله (s)، تعداد شمع در گروه (n) و مقدار هزینه نهایی بررسی خواهد شد. پس از اجرای برنامه برای هر مقدار بار، نمودارهای شکل ۴ بدست می‌آید. همانطور که انتظار می‌رود با افزایش مقدار بارگذاری، هزینه نهایی طرح افزایش می‌یابد. قطر شمعها بین ۱/۹ تا ۲/۱

تغییر می‌نماید، یعنی تقریباً قطر شمعها با افزایش بارگذاری ثابت مانده و سه پارامتر دیگر یعنی طول شمع، فاصله مرکز به مرکز شمعها و تعداد شمع در گروه تعیین کننده می‌باشند. طول شمعها بین بازه ۱۵ تا ۲۹ متر و فاصله شمعها بین بازه ۵/۵ تا ۹/۵ متر تغییر می‌نماید. با توجه به شکل ۴ و عدم حصول نتیجه در خصوص تأثیر مقدار بارگذاری در طول و فاصله مرکز به مرکز شمعها و نیز پراکندگی زیاد آنها، پارامتر  $nL$  که حاصل ضرب طول شمع در تعداد شمعهای موجود در هر گروه است تعریف می‌شود. همانگونه که مشاهده می‌شود با افزایش مقدار بارگذاری، مقدار پارامتر  $nL$  افزایش می‌یابد (شکل ۵).



شکل ۴- تأثیر تغییرات مقدار بارگذاری یکنواخت بر روی پارامترهای مهم در طراحی گروه شمع

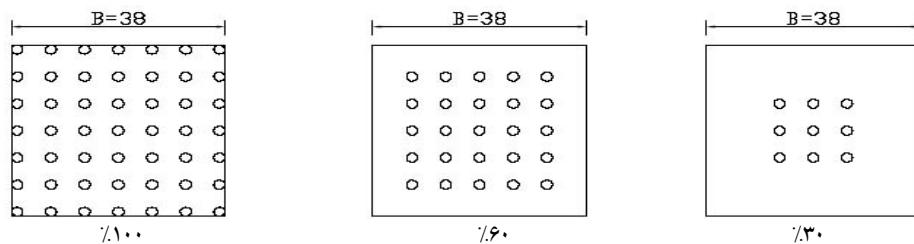
در نهایت به می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش مقدار بارگذاری، قطر شمع تقریباً ثابت مانده و باید مقدار پارامتر  $nL$  افزایش داده شود.



شکل ۵- نمودار تغییرات پارامتر  $nL$  با افزایش مقدار بارگذاری

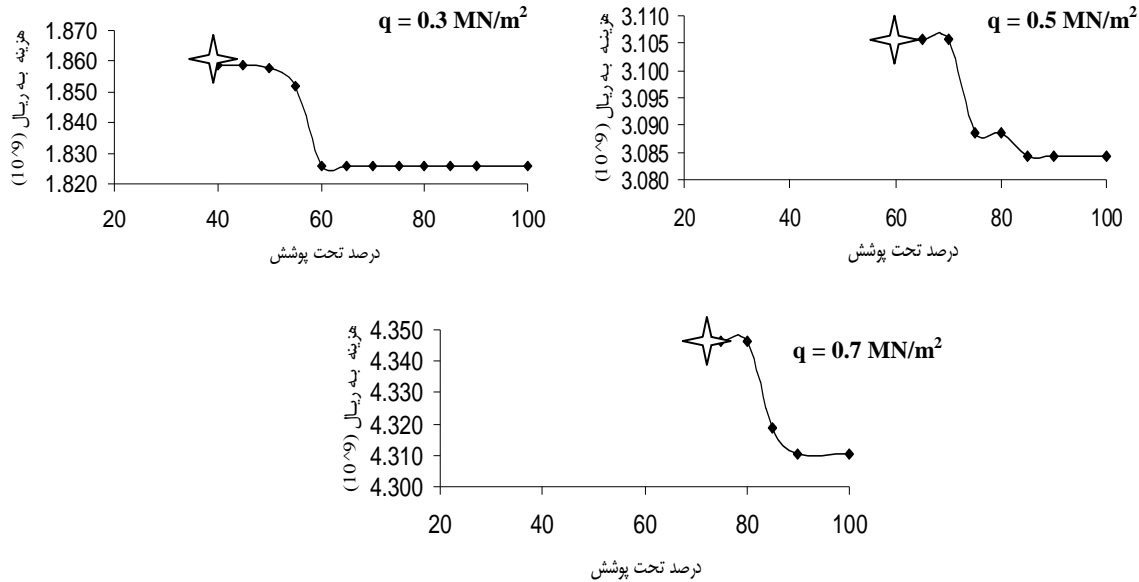
### ج) تعیین بهینه درصد تحت پوشش کلاهک بوسیله گروه شمع برای بارگذاری‌های مختلف

یکی از نکات مهم در طراحی گروه شمع چگونگی پراکندگی و تعداد شمع است، به عبارتی آیا گروه شمع را باید در تمام نواحی کلاهک اجرا کرد یا اینکه می‌توان درصدی از زیر سطح کلاهک به این امر اختصاص داد. شکل ۶ درصد‌های مختلف از سطح یک کلاهک را که تحت پوشش گروه شمع می‌باشد، نمایش می‌دهد.



شکل ۶- نمایش درصد تحت پوشش کلاهک بوسیله گروه شمع

با استفاده از برنامه بهینه‌یابی تدوین شده می‌توان تأثیر درصد تحت پوشش گروه شمع در هزینه نهایی را با مقدار بارگذاری مختلف و با فرض اینکه ابعاد کلاهک ثابت بماند ( $B=38$ )، نشان داد. (شکل ۷) شایان ذکر است در کلیه این موارد شرایط فنی و اجرایی رعایت می‌گردد.



شکل ۷- تأثیر درصد تحت پوشش گروه شمع در هزینه نهایی با بار گسترده یکنواخت متفاوت

همانطور که از شکل ۷ ملاحظه می‌شود و بر خلاف اینکه شاید تصور شود با کاهش درصد تحت پوشش گروه شمع می‌توان هزینه را پایین آورد، برای  $q = 0.3$  بین بازه ۶۰-۱۰۰٪،  $q = 0.5$  بین بازه ۸۵-۱۰۰٪ و  $q = 0.7$  بین بازه ۹۰-۱۰۰٪ کمترین هزینه بدست می‌آید. در ضمن حد پایین نمودار که با علامت ستاره نشان داده شده است، بیانگر این موضوع است، بیانگر این موضوع است که از این مقدار کمتر نمی‌توان درصد تحت پوشش گروه شمع را انتخاب نمود، مثلاً برای  $q = 0.7$  باید درصد تحت پوشش گروه شمع بیش از ۷۵٪ باشد، زیرا در غیر این صورت با توجه به داده‌های مسئله نمی‌توان گروه شمع را طراحی نمود.

با استفاده از مطالب فوق می‌توان به این نتیجه رسید که با توجه به مشخصات موجود در این مثال و برای چیدمان بهینه شمعه از لحاظ اقتصادی بهتر است گروه شمع را در کل سطح کلاهک یا در بازه پیشنهاد شده در فوق اجرا نماییم. یکی از مزایای این امر با توجه به نتایج بدست آمده توسط (Prakoso & Kulhawy (2001)، کاهش مقدار نشست تفاضلی و نشست مرجع سیستم فونداسیون می‌باشد. همچنین مشاهده می‌شود که با افزایش مقدار بارگذاری، حدود تغییرات این بازه نیز کاهش می‌یابد به طوری که در  $q = 0.7$  این تغییرات، فقط به ۱۰ درصد می‌رسد. البته باید به این نکته نیز توجه داشت که این نتیجه‌گیری‌ها با در نظر گرفتن حالت بارگذاری گسترده یکنواخت و ابعاد کلاهک  $B=38$  متر بدست آمده است.

## ۵. نتیجه‌گیری

- نتایجی که در راستای این تحقیق و با توجه به شرایط موجود در مثال فوق مشاهده گردید، به شرح ذیل می‌باشد:
- ۱- با توجه به زمان‌بر بودن اکثر روشهای تحلیل گروه شمع، استفاده از برنامه تدوین شده برای انجام تحلیلهای اولیه کارآیی مناسبی داشته و دید خوبی به طراحی می‌دهد.
  - ۲- الگوریتم ژنتیک سازگاری مناسبی برای حل مسایل بهینه سازی از خود نشان می‌دهد. علاوه بر این تعیین پارامترهای الگوریتم ژنتیک مزیت بسیار مهمی است که سرعت همگرایی مسئله را افزایش می‌دهد.
  - ۳- هنگام طراحی یک مجموعه گروه شمع، مهندسین محاسبه بر اساس داده‌های ژئوتکنیکی و مقاومتی مصالح، طرحی را تهیه می‌نمایند. اما بدون دستیابی به یک روش بهینه یابی قوی، اصولاً طرح بهینه را نمی‌توان ارائه داد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که بهینه یابی با استفاده از روش  $G.A$  علاوه بر تأمین کلیه شرایط فنی و اجرایی، گاهی ممکن است به کاهش ۵۰ درصدی هزینه طرح اولیه منجر گردد.



۴- نتایج این تحقیق بیانگر این نکته هستند که در بارگذاری گسترده یکنواخت با افزایش مقدار بارگذاری، قطر شمع بین بازه  $1/9$  تا  $2/1$  تغییر می‌نماید. یعنی تقریباً قطر شمع‌ها ثابت مانده و برای طرح بهینه فقط کافی است طول و فاصله مرکز به مرکز شمعها را بدست آوریم. با توجه به تغییرات زیاد دو پارامتر طول و فاصله مرکز به مرکز شمعها با افزایش بار، نمی‌توان الگوی خاصی پیشنهاد نمود. برای جبران این موضوع با تعریف پارامتر  $nL$  که حاصلضرب طول شمعها در تعداد آنها می‌باشد، مشخص می‌گردد که مقدار این پارامتر با افزایش بار افزایش می‌یابد. به عبارتی برای رسیدن به طرح اقتصادی بهینه با افزایش بارگذاری، قطر شمع را به صورت ثابت انتخاب نموده و فقط کافی است مقدار  $nL$  را افزایش داد.

۵- در بارگذاری گسترده یکنواخت، طرح بهینه با پخش شمعها در کل سطح کلاهک بدست خواهد آمد. به عبارتی در بارگذاری گسترده یکنواخت، هرگونه تجمع شمع در طرفین یا وسط کلاهک به طرح با هزینه بالاتر منجر خواهد شد. با توجه به نتایج بدست آمده توسط (Prakoso & Kulhawy, 2001) یکی از مزایای این امر کاهش مقدار نشست تفاضلی و نشست مرجع سیستم فونداسیون می‌باشد.

## ۶. مراجع

1. Garcia, F., Lizcano, A. and Reul, O., (2005), "Numerical Modeling of the Case History of a Piled Raft with a Viscohypoplastic Model", Numerical Modelling of Construction Processes in Geotechnical Engineering for Urban Environment, Triantatyllidis (Ed.).
2. Poulos, H. G., (2001), "Piled Raft Foundation: Design and Applications", Geotechnique, 51, No. 2, 95-113.
3. Kim, K. N., Lee, S., Kim, K. and Chung, C., (2001), "Optimal Pile Arrangement for Minimizing Differential Settlements in Piled Raft Foundation", Computers and Geotechnics, 28, 235-253.
4. Russo, G. (1998), "Numerical Analysis of Piled Rafts", Int. J. Numerical Analysis Methods, Geomechanics, 22, 477-493.
5. Horikoshi, K. and Randolph, F., (1996), "Centrifuge Modelling of Piled Raft Foundations on Clay", Geotechnique, 46, No. 4, 741-752.
6. Prakso, W. A., Kulhawy, F. H. and Fellow, (2001), "Contribution to Piled Raft Foundation Design", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 17-24.
7. Reul, O. and Randolph, M. F., (2003), "Piled Rafts in Overconsolidated Clay: Comparison of In Situ Measurements and Numerical Analyses", Geotechnique, 53, No.3, 301-315.
8. Borel, S. and Combarieu, O., (1998), "Some Observation on Piled Footings", 2nd Int. Symposium in Civil Engineering, Budapest.
9. Sanctis De L., Mandolini A., Russo G. and Viggiani C., (2002), "Some Remarks on the Optimum Design of Piled Rafts", Deep Foundations, Geo-Institute of the ASCE, Geotechnical Special Publication No. 116, 405-425, Orlando, Florida.
10. Cui, L. and Sheng D, (2005), "Genetic Algorithms in Probabilistic Finite Element Analysis of Geotechnical Problems", Computers and Geotechnics, 32, 555-563.
11. Bowles, J. E., (1996), "Foundation Analysis and Design", Fifth Ed., McGraw-Hill.
12. Hunt, R. E., (1986), "Geotechnical Engineering Analysis and Evaluation", MC Graw-Hill.
13. Tomlinson, M. J., (1986), "Foundation Design and Construction", New York, John Wiley & Sons.
14. Niandou, H. and Breyse, D., (2007), "Reliability Analysis of a Piled Raft Accounting for Soil Horizontal Variability", Computers and Geotechnics, 34, 71-80.

۱۵. کی نیا، الف. م.، (۱۳۸۰)، "آنالیز و طراحی سازه های بتن آرمه"، جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان.

۱۶. کاظمی، م.، (۱۳۸۷)، "بررسی روشهای تحلیل سیستم  $PRF$  و بهینه یابی گروه شمع"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی، مشهد.