



بهینه سازی چیدمان و مشخصات ریزشمعها در زیر فونداسیون با استفاده از الگوریتم ژنتیک

محمد قاسم سحاب^۱، سمانه عجمی^۲

۱-استاد یار گروه سازه، دانشکده عمران، دانشگاه تفرش

۲- کارشناسی ارشد ژئوتکنیک، دانشگاه تفرش

sahab@aut.ac.ir
samane_ajami@yahoo.com

خلاصه

یکی از روشهای موثر در بهبود ظرفیت باربری خاک و کاهش نشست شالوده ها، اجرای ریزشمع در زیر آنها می باشد. روشهای متداول اجرای شمعهای بتنی درجا و یا کوبیدن شمعهای پیش ساخته توأم با دست خوردن خاک اطراف شمع می باشد، لیکن ریز شمع ها به دلیل قطر کوچک و نحوه خاص اجرا کمترین دست خوردگی را در خاک زیر شالوده ایجاد کرده و بعلاوه سرعت اجرای بالاتر و هزینه کمتری را نیز به همراه دارند. از اینرو در دو دهه اخیر استفاده از ریز شمع به عنوان یک گزینه اقتصادی و آسان نسبت به استفاده از شمع و یا سایر روشهای بهبود ظرفیت باربری خاک همچون تراکم دینامیکی مطرح شده و در بسیاری از پروژه ها به کار برده شده است. در این مقاله ضمن بررسی روشهای متداول طراحی ریز شمع ها، به ارائه یک الگوریتم و یک برنامه کامپیوتری برای تعیین چیدمان قطر و طول بهینه ریز شمع ها، مبتنی بر یک الگوریتم ژنتیک پرداخته شده است. تابع هدف شامل کلیه هزینه های اجرایی ریز شمعها بوده و قیود طراحی حاکم بر مسئله بهینه سازی نیز با توجه به تنشها و تغییر مکانهای مجاز زیر شالوده تعریف شده اند. یک مثال عددی از طراحی ریز شمع ها در زیر یک شالوده نواری با دو ستون بر اساس روش سنتی طراحی ارائه و سپس طرح مزبور بهینه سازی شده و با طرح سنتی مقایسه شده است. به کمک مثال مزبور حساسیت هزینه اجرای مجموعه ریز شمعها نسبت به چیدمان آنها در زیر فونداسیون و قطر و طول آرماتور ریز شمعها بررسی شده است.

کلمات کلیدی: ریز شمع، بهبود ظرفیت باربری خاک، بهینه سازی، الگوریتم ژنتیک، مطالعه پارامتری

۱. مقدمه

ریزشمع به نوعی شمع که دارای قطر کوچکتر از ۳۰۰ میلی متر بوده و غالباً همراه با تسلیح سبک فولادی و تزریق دوغاب سیمان است اطلاق می گردد. برای اجرای ریزشمع ها از ماشین آلات مخصوص حفاری و تزریق دوغاب استفاده می شود. بعلاوه طراحی و اجرای ریز شمعها نیز نیاز به تخصصهای خاص دارد. از اینرو در صورت عدم دقت در ارائه چیدمان و ابعاد مناسب ریز شمعها، هزینه اجرای آنها، علی رغم برتری که می توانند نسبت به شمعهای سنتی داشته باشند می تواند از روشهای سنتی بیشتر گردد. بنابراین لازم است با انجام یک تحلیل هزینه ای و با در نظر گرفتن حداقل فواصل مجاز ریزشمع ها از یکدیگر و مقدار نشست شالوده، تعداد، طول، قطر میلگرد تقویتی ریزشمع ها و نحوه چیدمان آنها را تعیین نمود. روش متداول طراحی ریز شمعها در دفاتر مهندسی مبتنی بر آزمون و خطا است. بدین ترتیب که ابتدا قطر و طول معین و نسبتاً مناسبی برای ریز شمع در نظر گرفته شده و از آنجا سختی ریز شمع تعیین می شود. سپس با توجه به وضعیت تنش های زیر شالوده، ریز شمعها در نقاطی که مقادیر تنشها و نشستها بالا است قرار داده می شود. با آزمونهای مختلف می توان طرح مناسب ریز شمعها را که در آن تنشها و نشستها یکنواخت، و در حد مجاز باشند را بدست آورد. با توجه به تعداد زیاد متغیرهای طراحی برای تعیین

^۱استاد یار گروه سازه، دانشگاه تفرش

^۲کارشناسی ارشد خاک و پی، دانشگاه تفرش



محل و ابعاد ریز شمعهای مناسب در زیر مجموعه شالوده های یک ساختمان، عملاً ممکن است طراح تعداد و ابعاد ریز شمعها را بسیار بیش از حداقل مورد نیاز در نظر بگیرد تا اطمینان لازم را از جوابگویی طرح خود داشته باشد. وجود یک الگوریتم طراحی بهینه، برای تعیین محل و ابعاد ریز شمعها می تواند ضمن برآورده نمودن الزامات طراحی، هزینه های اجرای طرح را به طور قابل توجهی کاهش دهد.

Jameson و همکاران (۲۰۰۷) بهینه سازی پی های ساختمانی ۶ طبقه در برکلی ایالت کالیفرنیا آمریکا را، به منظور بهسازی لرزه ای آن مطالعه نموده اند. برای کاهش قیمت و رسیدن به طرح بهینه اقتصادی، هزینه های حفاری در روشهای مختلف اجرای ریز شمع بررسی و نتیجه گرفته شده است که طراح لازم است ضمن تبادل نظر با پیمانکاران مجری آشنا به صعوبت و هزینه های حفاری اقدام به طراحی بهینه ریز شمعها نماید. علاوه بر این بهینه کردن هزینه، عملکرد و ایمنی سیستم سازه ای کلی ساختمان با در نظر گرفتن ملاحظات توأم سازه ای ژئو تکنیکی و حفاری برای انتخاب طرح بهینه ریز شمعها مورد بحث قرار گرفته است [۱]. (Sadek و Shahrour ۲۰۰۶) اثر شرایط اتصالات سر و کلاهک ریز شمعهای قائم و مایل را بر عملکرد لرزه ای آنها بررسی کرده و نتیجه گرفتند که اتصال مفصلی بین ریز شمع و کلاهک آن، منجر به کاهش نیروی محوری و لنگر خمشی ریز شمع گردیده و این امر منجر به بهینه شدن طرح ریز شمعها می گردد [۲]. Traylor و همکاران تجارب چندین سال کار خود، در زمینه طراحی، اجرا و آزمایشهای عملکرد ریز شمعهای با ظرفیت باربری بالا در زمینهای کارستی را عرضه نموده و استفاده از ریز شمعهای با باربری بالا را برای این مناطق به عنوان سیستم فونداسیون عمیق و مطمئن از نظر فنی و اقتصادی پیشنهاد می دهند [۳]. (Ballouz ۲۰۰۴) در تحقیقی مشابه در زمینهای کارستی در لبنان، ضمن مطالعه یک پروژه خاص نشان می دهد که استفاده از سیستم مرکب از پی منفرد و ریز شمع به جای پی گسترده می تواند حدود ۳۹ درصد صرفه جویی اقتصادی به همراه داشته باشد [۴]. بررسی تحقیقات انجام شده در زمینه طرح و اجرای ریز شمعها که به برخی از آنها در بالا اشاره شد، نشان دهنده نیاز به تحقیقات بیشتر در زمینه طراحی بهینه ریز شمعها می باشد. در مقاله حاضر به ارائه یک الگوریتم طراحی بهینه با بهره گیری از الگوریتم ژنتیک برای تعیین موقعیت و ابعاد بهینه ریز شمعها در زیر شالوده ها و با هدف حداقل نمودن هزینه اجرای آنها پرداخته شده است. قیود حاکم بر طراحی بهینه، شامل ضوابط و محدودیتهای مربوط به تنشها و نشستهای زیر شالوده ها می باشند. برنامه کامپیوتری به زبان Visual Basic بر مبنای الگوریتم مورد اشاره ساخته شده و به کمک آن دو مثال برای طراحی بهینه ریز شمعها در زیر پی نواری با دو ستون حل شده است.

۲. روابط مورد استفاده در مسئله بهینه سازی ریز شمع ها

۲.۱. بررسی ظرفیت باربری ریز شمع تحت بار قائم

متداول ترین آیین نامه در زمینه طراحی ریز شمع ها، راهنمای طراحی و ساخت ریز شمع ها، " منتشر شده از سوی اداره بزرگ راه های امریکا (FHWA) در سال ۲۰۰۰ میلادی" می باشد. بر این اساس سه روش طراحی متداول پیش روی مهندسان ژئوتکنیک قرار دارد که عبارتند از روش SLD ("Service Load Design" ، طراحی بر اساس تنش مجاز و تحت بار سرویس) ، روش LFD ("Load Factor Design" ، طراحی بر اساس مقاومت طراحی و ضریب بار) و روش جدید LRFD (طراحی به روش ضریب بار و مقاومت، "Load and Resistance Factor Design"). در این تحقیق روابط بهینه سازی طراحی ریز شمع ها با استفاده از روش SLD " که بیشتر مورد استفاده مهندسان ژئوتکنیک قرار گرفته " تعیین می گردند.

۲.۲. ظرفیت باربری ژئوتکنیکی جداره ریز شمع

معمولاً در طراحی ریز شمع ها فرض می شود بار از طریق اصطکاک خاک - دوغاب به زمین منتقل شده و از مشارکت ظرفیت باربری مربوط به سر ریز شمع صرف نظر می شود. مقدار بار مجاز برای طول پیوند ژئوتکنیکی به روش SLD طبق رابطه زیر محاسبه می شود:

$$P_{G-all} = \frac{\alpha_b}{FS} \times 3.14 \times D_b \times L_b \quad (1)$$



در این رابطه، P_{G-all} ظرفیت باربری ژئوتکنیکی جداره ریزشمع، L_b طول ریزشمع، D_b قطر ریزشمع و α_b مقاومت پیوستگی بین ریزشمع و خاک پیرامون آن می باشد. α_b با انجام آزمایش و به صورت تجربی تعیین می شود. مرجع [۵] مقادیری را بر حسب روش حفاری، نوع ریزشمع و نوع خاک برای این کمیت پیشنهاد داده است.

۳.۲. ظرفیت باربری سازه ای ریزشمع

با توجه به سازگاری کرنش بین غلاف و میلگرد مسلح کننده ریزشمع، تنش تسلیم ریزشمع، F_y ، کمترین دو مقدار تنش تسلیم میلگرد تقویتی، F_{yb} ، و تنش تسلیم غلاف فولادی، F_{yc} می باشد. یعنی:

$$F_y = \text{حداقل}(F_{yb} \& F_{yc}) \quad (۲)$$

بار مجاز کششی و فشاری ریزشمع نیز با استفاده از روابط زیر حاصل می شود:

بار مجاز کششی:

$$P_{T-all} = 0.55 F_y \times (A_b + A_c) \quad (۳)$$

بار مجاز فشاری:

$$F_a = \frac{F_y}{FS}, FS = 2.12 \quad (۴)$$

$$P_{C-all} = 0.4f_{cgr} \times A_{gr} + 0.47F_y(A_b + A_c) \quad (۵)$$

در نهایت ظرفیت باربری نهایی ریزشمع از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$P_{Total} = \text{حداقل}(P_{G-all} \& P_{C-all} \& P_{T-all}) \quad (۶)$$

در روابط فوق، A_b سطح مقطع میلگرد تقویتی، A_c سطح مقطع غلاف فلزی، f_{cgr} مقاومت فشاری دوغاب، A_{gr} سطح مقطع دوغاب، P_{G-all} بار مجاز ژئوتکنیکی جداره ریزشمع، P_{C-all} بار مجاز فشاری، P_{T-all} بار مجاز کششی و P_{Total} بار مجاز نهایی ریزشمع است.

۳. بهینه سازی طرح و چیدمان ریزشمع ها با هدف حداقل نمودن هزینه

در این تحقیق، متغیرهای طراحی شامل تعداد، طول، قطر میلگرد تقویتی و چیدمان ریزشمعهای نوع یک را به گونه ای تعیین می نمایم که تابع هزینه آن تحت قیود طراحی مورد نظر کمترین مقدار را داشته باشد. به عبارت دیگر هدف این تحقیق حداقل نمودن تابع هزینه زیر می باشد.

$$\text{Total cost} = C_g + C_s + C_e + C_f + C_c \quad (۷)$$

در این رابطه، C_g هزینه تهیه و تزریق دوغاب، C_s هزینه مربوط به آرماتورهای مصرفی، C_e هزینه نصب و جمع آوری دستگاه شمع کوب، C_f هزینه تهیه فلنج و C_c هزینه مربوط به تهیه و نصب لوله های مشبک می باشد. قیود طراحی عبارتند از فواصل ریزشمع ها از یکدیگر در جهات افقی

و قائم ($L_x \geq 75 \text{ cm} \& L_y \geq 75 \text{ cm}$) و نسبت تغییر مکان هر گره از فونداسیون شبکه بندی شده به تغییر مکان مجاز ریزشمع که با α'

نمایش داده شده و به صورت زیر است:

$$\alpha' = \left(\frac{\Delta}{\Delta_{all}} \right) \quad (۸)$$

در این رابطه Δ و Δ_{all} به ترتیب تغییر مکان هر گره از فونداسیون مش بندی شده و تغییر مکان مجاز ریزشمع می باشند.

در نهایت تابع هدف اصلاح شده به صورت زیر محاسبه می گردد.

$$\text{ObjFunction} = \text{Cost}(\alpha + f(\alpha, \beta)) \quad (۹)$$

در رابطه فوق $f(\alpha, \beta)$ تابع جریمه ای است که به تابع هدف به دلیل نقض قید مربوطه اعمال میگردد. در ادامه به حل مسئله با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک پرداخته شده است.



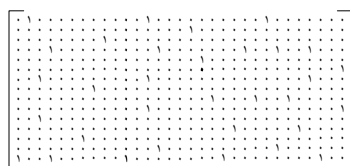
۴. الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک که از قوانین تکامل طبیعت الهام گرفته، الگوریتمی مبتنی بر تکرار می باشد. این الگوریتم یک تکنیک جستجو در علم رایانه برای یافتن پاسخ تقریبی مسائل بهینه سازی است. ایده اصلی استفاده از الگوریتم های ژنتیکی در مسائل بهینه سازی، نخستین بار توسط پرفسور Holland در دانشگاه میشیگان مطرح گردید و بعدها توسط دانشجویانش در سالهای ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ توسعه یافت. پس از وی بسیاری از محققین مقالات و کتب متنوعی در زمینه الگوریتم ژنتیک ارائه نمودند. در سال ۱۹۹۰ محققى به نام Koza روش برنامه ریزی ژنتیک را مطرح نمود. [۶] جهت مطالعه و آشنایی بیشتر با روش بهینه سازی الگوریتم ژنتیک و نحوه استفاده از آن به مراجع [۷] و [۸] رجوع کنید.

۴.۱. الگوریتم حل مسئله

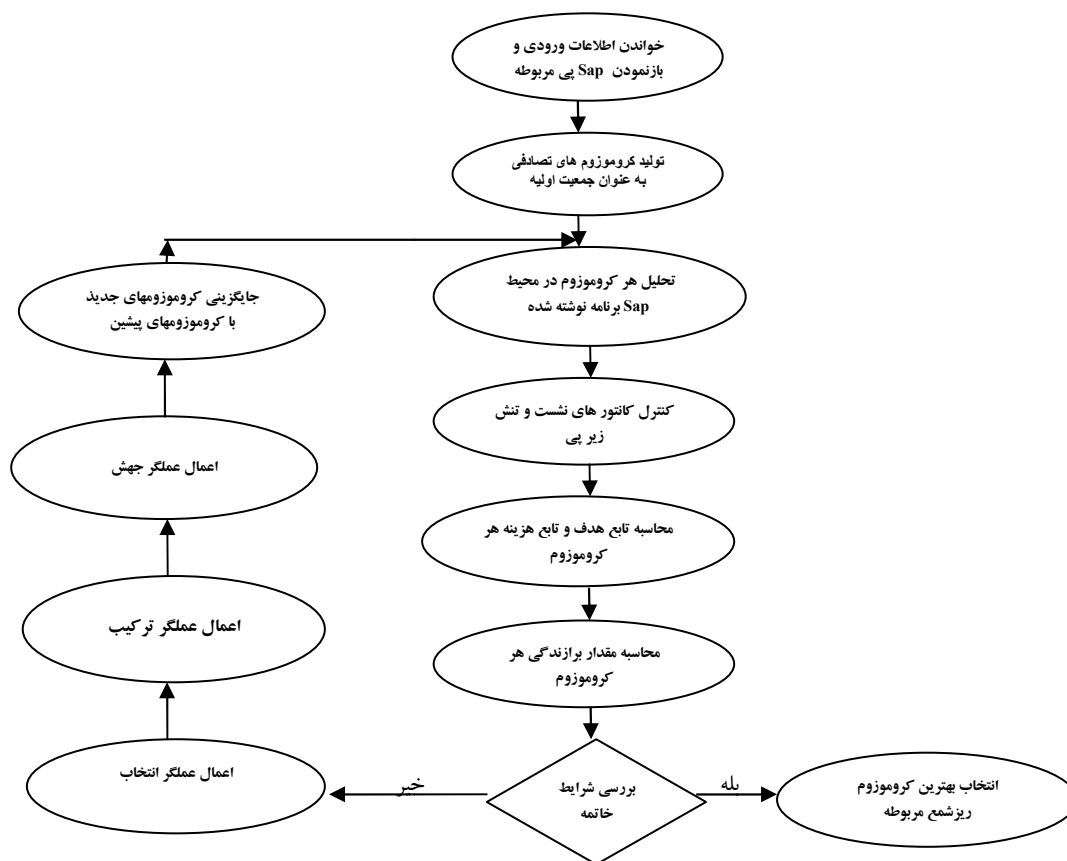
مراحل محاسبه تابع هدف (هزینه) ریزشمع ها با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک به شرح زیر است:

ابتدا متغیرهای ورودی شامل مقدار سختی خاک، سختی ریزشمع، مشخصات هندسی ریزشمع نظیر قطر میلگرد تقویتی (d_{bar}) و طول ریزشمع، ثابت های الگوریتم ژنتیک نظیر تعداد نسل، تعداد جمعیت، نرخ جهش و ترکیب توسط کاربر در برنامه وارد می شود. فایل Sap مربوط به فونداسیون مورد نظر، توسط برنامه به صورت خودکار با شبکه های مربعی به ابعاد 25×25 cm مش بندی شده و پس از آن به تعداد جمعیت اولیه، کروموزوم هایی به صورت تصادفی تولید می شوند. کروموزومها در این تحقیق به صورت ماتریسی از اعداد صفر و یک در نظر گرفته شده اند که تعداد درایه های ماتریس برابر با تعداد کل مش های فونداسیون بوده و بر اساس حضور یا عدم حضور ریزشمع در هر مکان از پی یکی از اعداد یک یا صفر را به خود اختصاص می دهند. شکل (۱)



شکل ۱- نمایش ماتریس کروموزوم ها

سپس هر یک از کروموزوم ها که بیانگر طرحی کامل از چیدمان نوعی ریزشمع در پی هستند، توسط برنامه بازگشایی شده و تحلیل فونداسیون در Sap انجام گرفته و کانتورهای تنش و تغییر مکان هر یک حاصل می شود. در این مرحله کنترل نشست، تنش خاک زیر پی و فواصل ریزشمع ها از یکدیگر انجام می گیرد. سپس مقدار تابع هدف هر کروموزوم محاسبه شده و تابع هزینه اجرایی هر یک بر مبنای فهرست بهای ژئوتکنیک محاسبه گردیده و به هر کروموزوم یک عدد برازندگی اختصاص داده می شود. در مرحله بعد شرایط خاتمه الگوریتم بررسی می شود. در این تحقیق ۳ شرط خاتمه به شرح زیر در نظر گرفته شده است. چنانچه اختلاف بین مقادیر تابع هدف هر نسل با توابع هدف ۲۰ نسل قبل کمتر از ده درصد باشد الگوریتم خاتمه می یابد. در هر نسل چنانچه نسبت $\frac{f_{max} - f_{min}}{f_{max}} > 0.1$ باشد، الگوریتم خاتمه می یابد. در نهایت چنانچه پس از تعداد نسل معینی معیار خاتمه ارضا نشد، الگوریتم بایستی تا تعداد نسل جدیدی که توسط کاربر تعیین می شود ادامه یابد. برای تولید نسل جدید، پس از تعیین برازندگی هر یک از کروموزوم ها، عملگرهای انتخاب، ترکیب و جهش روی آنها اعمال می گردد. به منظور انتخاب کروموزوم ها در این تحقیق از روش چرخ رولت استفاده شده است. سپس کروموزوم ها با استفاده از روش ترکیب دو نقطه ای با یکدیگر ادغام شده و پس از آن عملگر جهش خطی یکنواخت کاهشی روی هر یک اعمال می شود. در مرحله بعد، کروموزوم های جدید با استفاده از روش جایگزینی نخبه گرا، جایگزین کروموزوم های قبلی شده و عملیات تکرار می شود.



شکل ۲- الگوریتم حل مسئله

۵. فرضیات اولیه در مدل سازی مسئله مورد بررسی

با توجه به تنوع گسترده ریزشمع ها به لحاظ طول و قطر آرماتور تقویتی، در این تحقیق تنها از انواع ریزشمع های متداول در ایران استفاده شده است. بنابراین با توجه به استفاده از دو قطر متداول ۲۸ و ۳۲ میلیمتر و طولهای ۱۴، ۱۲، ۱۰، ۸، ۶ متر، به طور کل ۱۰ حالت طراحی ریزشمع در این تحقیق در نظر گرفته شده است. آرماتور تقویتی از نوع تکی با مقاومت تسلیم $KN/m^2 \times 10^5 / 24$ است. روش اجرا شامل حفاری، لوله کوبی، تسلیح و تزریق برای تمام انواع ریزشمع ها یکسان است. غلاف فلزی دارای قطر خارجی ۷۶mm و قطر داخلی ۶۸mm با $F_y = 2400 Kg/cm^2$ انتخاب شده است. مقاومت فشاری دوغاب $KN/m^2 \times 10^4 / 3 \times 5$ و قطر تمام شده ریزشمع ها ۲۰۰ میلی متر تعیین شده است. خاک زیر فونداسیون ماسه سست با ظرفیت باربری کم و نشست زیاد تعیین شده است. برنامه با استفاده از نرم افزار Visual Basic و با ایجاد ارتباط با نرم افزار Sap ۲۰۰۷ از طریق نرم افزار واسط Sap Api ۲۰۰۰ در قالب یک نرم افزار نوشته شده است.

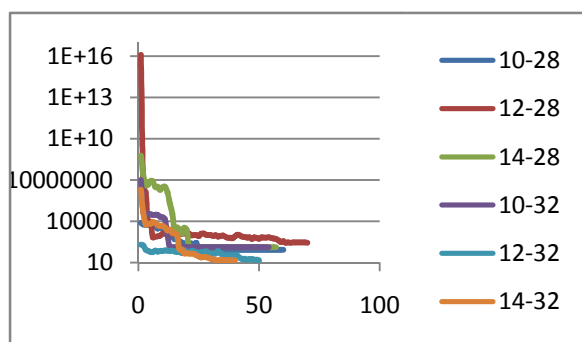


۱.۵ مسئله ۱

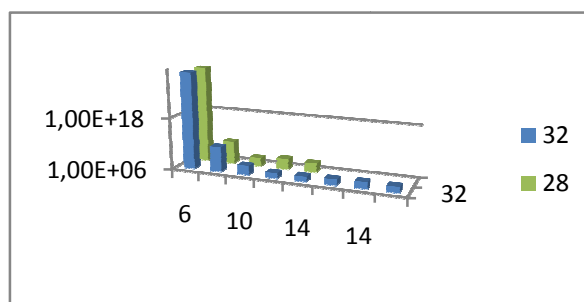
فونداسیونی مستطیلی با ابعاد $۸/۲۳ \times ۳/۹۵$ متر و مساحت $۳۲/۵$ مترمربع، وزن دو ستون با بارهای نهایی ۳۳۱ KN و $۲۲۲/۵ \text{ KN}$ را تحمل می نماید. پی به صورت دال مسطح به ضخامت $۱/۵$ متر است. خاک مفروض تا عمق ۲۰ متری از سطح زمین ادامه یافته و سطح آب زیر زمینی در عمق ۱۴ متری از سطح زمین می باشد. هدف، انتخاب تعداد، نوع و چیدمان ریزشمع ها به گونه ای است که تابع هزینه حداقل شود.

برای این منظور، چیدمان ده نوع ریزشمع به صورت جداگانه در برنامه مدل شده و سپس مقادیر تابع هزینه آنها با یکدیگر مقایسه شده و بهترین نوع ریزشمع انتخاب می گردد. منحنی تغییرات بهترین تابع هدف در هر نسل در مقابل تعداد نسل ها در شکل (۳) نشان داده شده است. ملاحظه می شود که ابتدا مقدار تابع هدف به دلیل تصادفی بودن انتخاب جمعیت اولیه کاهش ناگهانی دارد و با افزایش تعداد نسل ها، کروموزومها به سمت مقدار بهینه هدایت می شوند. همچنین نمودارهای مقایسه ای مقادیر تابع هدف و تابع هزینه در مقابل نوع ریزشمع در اشکال (۴) و (۵) مشاهده

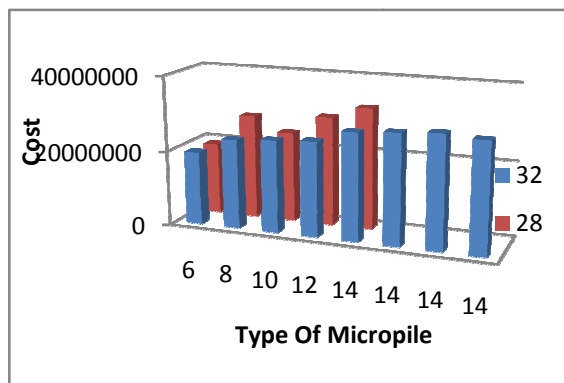
می شود.



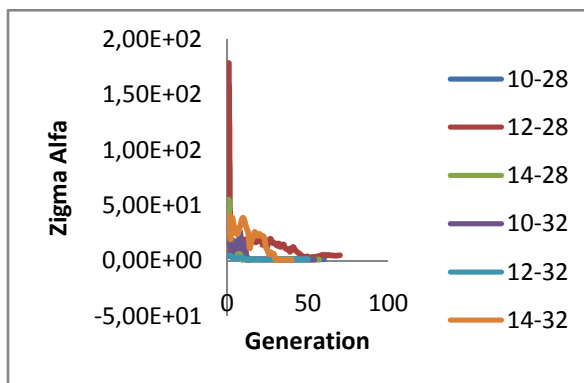
شکل ۳- نمودار تغییرات میانگین بهترین تابع هدف در مقابل تعداد نسل



شکل ۴- نمودار مقایسه مقادیر تابع هدف نسبت به نوع ریز شمع

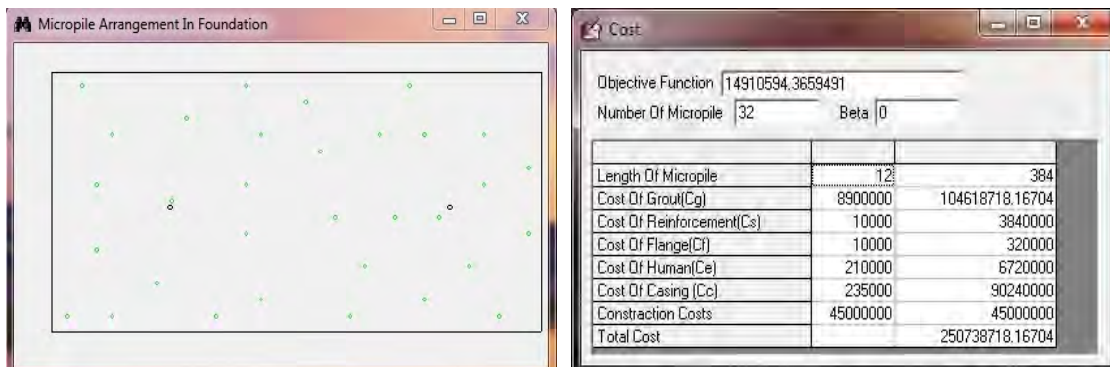


شکل ۵- نمودار مقایسه مقادیر هزینه نسبت به نوع ریز شمع

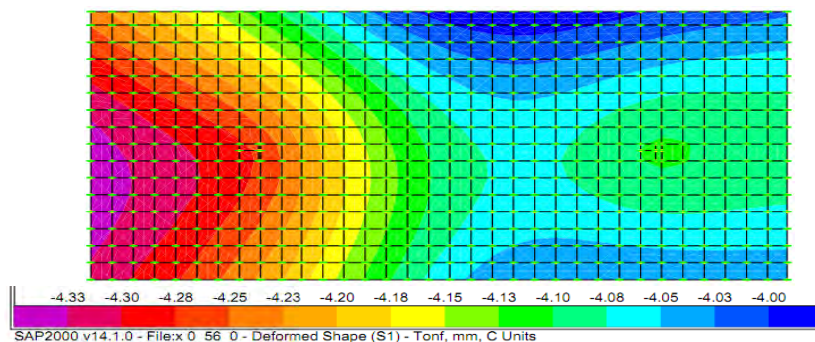


شکل ۶- نمودار مقایسه مقادیر α نسبت به نسل

ملاحظه می گردد که ریزشمع هایی به طول ۱۲ متر و دارای آرماتور تقویتی به قطر ۳۲ میلیمتر، کمترین مقدار تابع هدف اصلاح شده و هزینه را حاصل می نمایند. پس از تکرار ۵۰ نسل جمعیت چیدمان و هزینه طرح نهایی بهینه برای نسل ۱۵۰ ام در اشکال (۸) و (۹) و کانتور تغییر مکان مربوطه در شکل (۱۰) نمایش داده شده است. در طرح نسل ۱۵۰ ام کاهش هزینه ای برابر با ۴۰% نسبت به طرح اولیه مشاهده می شود.



شکل ۸- مقادیر هزینه و تابع هدف بهترین طرح نسل آخر / شکل ۹- نمونه ای از خروجی برنامه برای بهترین طرح نسل آخر



شکل ۱۰- کانتور تغییر مکان فونداسیون

همچنین به منظور مقایسه طرح نهایی نرم افزار با روش های طراحی متداول، ریز شمع های به طول ۱۲ متر و قطر تقویتی ۳۲ میلیمتر را در فونداسیون با فواصل ۷۵، ۸۵، ۹۰، ۹۵ و ۱۰۰ سانتی متر چیده و نتایجی به صورت زیر حاصل می گردد.

فواصل ریز شمع ها از یکدیگر	هزینه تمام شده طرح (ریال)
۷۵ cm	۳۹۸۱۱۸۰۰/۴
۸۵ cm	۳۶۶۰۱۶۳۶۴/۹
۹۰ cm	۲۷۶۴۵۵۷۸۲/۷
۹۵ cm	۲۷۶۴۵۵۷۸۲/۷
۱۰۰ cm	مناسب نیست

بنابراین با استفاده از روش طراحی متداول هزینه ۲۷۶۴۵۵۷۸۲/۷ ریال است. با استفاده از نرم افزار برای این نوع ریز شمع، مقدار هزینه برابر با ۲۵۰۷۳۸۷۱۸/۱۶ ریال حاصل گردید. بنابراین با استفاده از نرم افزار تقریباً ۱۱٪ صرفه جویی در هزینه نهایی حاصل می گردد.



۲.۵. مسئله ۲

به منظور بررسی اثر تقارن بارهای فونداسیون بر چیدمان ریزشمع ها، فونداسیونی با ابعاد ۴×۲ متر و به مساحت ۸ مترمربع را انتخاب می نمایم. این پی بار نهایی دو ستون به مقدار ۲۰۰KN را تحمل می کند. ستون ها به فواصل یکسان از فونداسیون قرار دارند. چیدمان ریزشمع ها در انتهای نسل ۱۰م و ابتدای نسل ۶۹م در اشکال زیر نشان داده شده است. ملاحظه می شود که با ادامه الگوریتم چیدمان ریزشمع ها به صورت متقارن در پی حاصل شده و از تعداد آنها کاسته شده و هزینه اجرا کاهش می یابد.



شکل ۱۱- چیدمان ریزشمع ها در انتهای نسل ۱۰م



شکل ۱۲- چیدمان ریزشمع ها در ابتدای نسل ۶۹م

۶. نتیجه گیری

در این تحقیق نتایجی به شرح زیر حاصل می شود:

- انتخاب تابع هدف مناسب در مسئله بهینه سازی ریزشمع ها حائز اهمیت می باشد.
- با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک تقریباً ۱۱٪ صرفه جویی در هزینه طراحی ریزشمع حاصل می شود.
- تجمع ریزشمع ها در نقاط اعمال بار بیشتر بوده و در پی هایی که بار متقارن دارند، چیدمان ریزشمع ها به صورت یکنواخت و متقارن خواهد بود.
- با کاهش نرخ جهش و افزایش نرخ ترکیب سرعت همگرایی مسئله افزایش می یابد.
- تغییر طول ریزشمع تاثیر بیشتری نسبت به تغییر قطر تقویتی در چیدمان ریزشمع ها دارد.
- ریزشمع های به طول ۱۰ و ۱۲ متر و با قطر آرماتور تقویتی ۳۲ میلی متر عملکرد بهتری نسبت به سایر انواع دیگر ریزشمع در پی دارند.

۷. مراجع

۱. Rob Jameson , Leo Panian , Bill Rodolph (۲۰۰۷) , “ Evolving Micropiles :Optimizing Foundations For Seismic Retrofit “, ۰۸۰۳۲۸-PID۰۳۶۱۲۷-CA-Usa
۲. MarvanSadek ,IsamShahrour (۲۰۰۶) , “ Influence Of The Head And Tip Connection On The Seismic Performance Of Micropiles “, Soil Dynamics And Earth Quake Engineering ۲۶ (۲۰۰۶) ۴۶۸-۴۶۱
۳. RP. Traylor ,AWCadden , D.A.Bruce ,MAsc (۲۰۰۱) , “High Capacity Micropiles In Karast: Challenges And Opportunities “
۴. Marc Ballouz ,(۲۰۰۴) , “Micropiling In Karastic Rock : New CMFF Foundation Solution Applied At The Sanita Factory” , ۹۴’ Texas A&M University ,Inter National Institute For Geotechnics And Materials,S.a.r.l,Beirut,Lebonon
۵. FHWA (۲۰۰۰) , “ Micropile Design And Construction Guidlines“,Federal High Way Administration ,FHWA-SA-۹۷-۰۷۰-June ۲۰۰۰
۶. Pezeshk,s.,Camp,c.v.,AndChen,D,(۱۹۹۹) , “ Genetic Algorithms For Design Of Nonlinear Framed Structures ”, Engineering In The ۲۱th Century Proceedings Of The ۱۹۹۹ Structures Congress, April ۱۸-۲۱, ۱۹۹۹ New Orleans, LA, ۴۹۸-۵۰۱
۷. محمود البرزی “الگوریتم ژنتیک”, موسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف، تهران ، چاپ اول ۱۳۸۸
۸. جعفر نجفی زاده ،علی کمک پناه،حمید محرمی “بهینه سازی گروه شمع ها با بهره گیری از الگوریتم ژنتیک”, هفتمین کنگره مهندسی عمران