



بهینه یابی موقعیت شمع ها در زیر پی های گسترده به روش جستجوی ممنوع

محسن شریفی^۱، محمدحسین باقری پور^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش خاک و پی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه شهید باهنر کرمان

mohsen.sharifi1363@yahoo.com

خلاصه

امروزه کنترل نشست نسبی در پی ها از اهمیت زیادی برخوردار است. از آنجایی که نشست های نسبی تاثیر منفی زیادی روی پی گسترده و سازه متکی بر آن دارند، لذا مقدار آن ها بایستی به مقادیر مجاز آیین نامه محدود شود. نشست پی گسترده متکی بر شمع تحت تاثیر عوامل مختلفی مانند شرایط بارگذاری، شکل پی و سختی نسبی بین پی گسترده با شمع و خاک زیر آن می باشد. در طراحی پی گسترده با شمع می توان موقعیت شمع ها را به گونه ای تعیین کرد که نشست های نسبی حداقل شوند. در تحقیق حاضر، برای یافتن چیدمان بهینه شمع ها در زیر پی گسترده، موقعیت شمع های هم قطر و هم طول به عنوان متغیر و حداقل نمودن نشست نسبی در سطح پی به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده اند. مدل سازی و تحلیل مساله در نرم افزار اجزای محدود ABAQUS 6.8 با در نظر گرفتن رفتار ارتجاعی برای خاک و بتن انجام گرفته است. برای بهینه یابی نیز از برنامه کامپیوتری به زبان MATLAB بر اساس روش جستجوی ممنوع، استفاده شده است. روش جستجوی ممنوع، یک روش جستجوی محلی هدایت شده است که به دلیل استفاده از ساختار های حافظه ای انعطاف پذیر، توانایی بالایی در یافتن بهینه کلی و فرار از بهینه های محلی دارد.

کلمات کلیدی: جستجوی ممنوع، پی گسترده با شمع، نشست نسبی، نرم افزار ABAQUS 6.8

۱. مقدمه

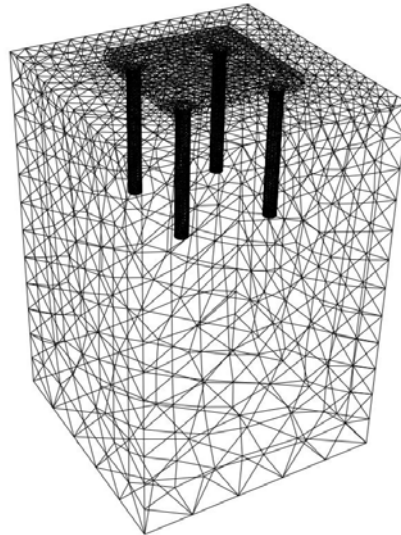
برای محدود کردن نشست های پی گسترده حتی در حالتی که پی گسترده به تنهایی ظرفیت باربری لازم را تامین می کند، از ترکیب پی گسترده و شمع استفاده می شود. بنابراین برآورد دقیق و کنترل نشست ها موضوعی مهم در طراحی پی های گسترده متکی بر شمع است. همچنین نشست های نسبی که آثار منفی زیادی روی پی و سازه متکی بر آن دارند، باید به مقادیر مجاز محدود شوند. معمولاً در طراحی پی های گسترده متکی بر شمع، محل قرارگیری شمع ها در زیر پی بر اساس تجربه و قضاوت مهندسی تعیین می شود. هر چند تاکنون طرح هایی از چیدمان شمع ها برای کاستن نشست های نسبی ارائه شده است [۱].

تا کنون روش های مختلفی برای بهینه یابی موقعیت شمع ها در زیر پی گسترده ارائه شده است. بر اساس گزارش Randolph [۲]، با قرار دادن تعداد زیادی شمع در مرکز پی می توان نشست نسبی را تا حد زیادی کاهش داد. این موضوع با انجام آزمایش سائتریفیوژ و مطالعات پارامتریک جامع تصدیق شده است [۳]. از سوی دیگر در طراحی پی برج Messes turm در فرانکفورت آلمان، اکثر شمع ها در لبه پی گسترده قرار داده شده است [۴]. نشست پی گسترده به ویژگی های مکانیکی و هندسی پی گسترده و شمع مانند شرایط بارگذاری، شکل پی گسترده و سختی نسبی بین پی گسترده، شمع و خاک بستگی دارد که بایستی به طور همزمان در نظر گرفته شوند. هرچند در روش های ارائه شده شرایط فوق به طور همزمان در نظر گرفته نشده اند و بنابراین در کاربرد آنها محدودیت هایی وجود دارد. Kim و همکاران [۱]، یک روش بهینه سازی بر پایه قرارگیری بهینه شمع ها با استفاده از کمینه سازی بردار گرادینان سطح پی، برای به حداقل رساندن نشست تفاضلی ارائه کردند. روحانی سروسنایی [۵]، از الگوریتم ژنتیک و شبکه های عصبی مصنوعی برای بهینه یابی قرارگیری تعداد معینی شمع با قطر و طول یکسان استفاده کرد. وی برای تحلیل نشست پی گسترده متکی بر شمع از نرم افزار Flac 3D با قابلیت در نظر گرفتن اندرکنش خاک - پی استفاده نمود. Chan و Zhang [۶]، با استفاده از الگوریتم ژنتیک ترکیبی و عملگر جستجوی محلی (Fully Stressed Design) FSD طرح بهینه ای برای گروه شمع، با در نظر گرفتن محل، تعداد، و قطر شمع ها و ضخامت کلاهک شمع ها به عنوان متغیرهای طراحی ارائه کردند. Leung و Klar [۷]، با انجام مطالعات تئوری در مورد بهینه یابی طول شمع ها در گروه شمع ها و پی های گسترده متکی بر شمع، نشان دادند که برای حجم ثابت کل مصالح شمع ها، با توزیع بهینه شمع ها با طول های متفاوت می توان سختی کل گروه شمع را افزایش و نشست تفاضلی را کاهش داد.

۲. مدل‌سازی و تحلیل پی گسترده متکی بر روش اجزا محدود

روش‌های مختلفی برای تحلیل پی گسترده با شمع وجود دارد. تحلیل‌های عددی را می‌توان به سه دسته عمده روش‌های محاسباتی ساده شده، روش‌های تحلیل تقریبی به کمک کامپیوتر و روش‌های تحلیل با دقت بالا به کمک کامپیوتر تقسیم بندی کرد. همچنین منطقی‌ترین روش تحلیل، روش اجزا محدود خطی یا غیر خطی سه بعدی است [۸]. در این تحقیق برای محاسبه نشست با در نظر گرفتن اندرکنش بین شمع، پی گسترده و خاک در مدل سه بعدی از نرم افزار اجزا محدود ABAQUS 6.8 استفاده شده است. علاوه بر این نرم افزار ABAQUS 6.8 این امکان را به کاربر می‌دهد تا با برنامه نویسی به زبان PYTHON مدل‌سازی را انجام دهد. در این تحقیق به منظور محاسبه نشست، تحلیل استاتیکی خطی با فرض رفتار الاستیک برای بتن و خاک انجام گرفته است.

به منظور انجام تحلیل اجزا محدود، توده خاکی با پلان مربعی و با بعد ۲۰ متر و عمق ۳۰ متر و پی گسترده به طول و عرض ۱۰ متر و ضخامت ۰/۶ متر با شمع‌هایی به قطر ۱ متر و طول ۱۰ متر مدل‌سازی شده است. برقراری تماس شمع و خاک با اتصال گره‌های جدار شمع و خاک اطراف آن ایجاد شده است و در این حالت اجازه لغزش در سطح تماس شمع و خاک داده نمی‌شود. برای شمع و خاک از المان‌های چهاروجهی خطی (C3D4) استفاده شده است [۹]. شرایط مرزی توده خاک در انتهای پایین گیردار کامل و در اطراف اطراف به صورت غلنگی می‌باشد تا امکان حرکت قائم فراهم شود. بارگذاری در سطح پی گسترده به طور یکنواخت و به شدت ۲۰۰ کیلو نیوتن بر متر مربع می‌باشد. شکل ۱، مش بندی مدل را در نرم افزار ABAQUS 6.8 نشان می‌دهد.



شکل ۱ - مش بندی مدل در نرم افزار ABAQUS 6.8.

۳. روش جستجوی ممنوع

روش جستجوی ممنوع یکی از روش‌های بهینه‌یابی فرا ابتکاری از نوع بهبود دهنده برای حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبی است که بر پایه الگوریتم‌های جستجوی محلی بنا نهاده شده است. و به نحوی سعی در برطرف نمودن عیوب آنها دارد. این روش در حقیقت یک روش جستجوی محلی هدایت شده است که از ساختارهای حافظه‌ای انعطاف پذیر (حافظه انطباقی) استفاده می‌کند. اخیراً همگرایی این روش به سمت جواب بهینه در صورت زیاد شدن تکرارها به اثبات رسیده است [۱۰].

یک الگوریتم جستجوی ممنوع تقریباً مانند الگوریتم‌های جستجوی محلی کار می‌کند. با این تفاوت که برای رهایی از دور و تسلسل در جواب‌ها، بن بست جواب‌های بهینه محلی و نیز برای ایجاد تنوع در جستجو، از مفهومی به نام فهرست ممنوع استفاده می‌کند. فهرست ممنوع حاوی تعدادی محدود از جواب‌های مساله و یا برخی از ویژگی‌های آنها است که در هر مرحله حرکت به سمت آنها ممنوع است. فهرست ممنوع در هر



مرحله به روز می شود [۱۰]. طول فهرست ممنوع نباید آنقدر کوتاه باشد تا خطر گرفتار شدن در بهینه های محلی بوجود آید؛ همچنین نباید آنقدر بلند باشد که روش کارایی خود را از دست بدهد. به عبارت دیگر هر قدر فهرست کوچکتر باشد این امکان را فراهم می آورد که یک ناحیه خاص مورد کاوش قرار گیرد و هر قدر بزرگتر باشد فرصت جستجو در تمامی نواحی وجود خواهد داشت؛ لذا باید بین این دو مهم به یک تعادلی رسید [۱۱].

دو جزء مهم از الگوریتم جستجوی ممنوع، تمرکزدهی و تنوع بخشی می باشند. استراتژی های تمرکزدهی به گونه ای است که به وسیله اصلاح قوانین انتخاب، جواب ها یا ترکیباتی از حرکت ها را که به صورت تجربی و در طی فرآیند حل خوب تشخیص داده شده اند، مورد توجه بیشتر قرار می دهد و جستجو را به نواحی با جذابیت بیشتر هدایت می کند تا جستجوی دقیق تری صورت گیرد. تمرکزدهی به تنهایی برای دست یابی به بهترین نتایج کافی نیست؛ ایده مکمل یعنی تنوع بخشی نیز باید به کار گرفته شود تا امکان انجام موثرتر جستجو به وجود آید. هدف اصلی از تمرکزدهی، جلوگیری از فرآیند حل در یک حلقه است. در جستجوی ممنوع تنوع تا اندازه ای به وسیله حافظه کوتاه مدت ایجاد می گردد و به وسیله حافظه بلند مدت تقویت می شود. استراتژی های تنوع بخشی برای هدایت جستجو به مناطق جدید فضای جواب با اصلاح قوانین انتخاب به گونه ای عمل می کنند که مشخصه هایی که کمتر مورد توجه قرار گرفته اند در جواب ها ظاهر شوند [۱۱].

۴. بیان مختصر مساله بهینه یابی موقعیت شمع ها در زیر پی گسترده

در پی های گسترده که روی شمع هایی یکسان و مشابه قرار گرفته اند، می توان چیدمان شمع ها را به گونه ای یافت که بیشینه نشست نسبی در سطح پی گسترده حداقل شود. در این مساله تابع هدف مینیمم کردن بیشینه ی نشست نسبی در سطح فوقانی پی (S_{md}) می باشد. متغیر های تصمیم نیز مولفه های موقعیت شمع در صفحه $X-Y$ می باشند که به طور گسسته در یک شبکه با گام 0.5 متر تغییر می کنند. همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، برای هر شمع، ۸ حرکت یا جابجایی می توان تعریف کرد. برای ایجاد هر همسایه جواب، تعدادی از شمع ها انتخاب شده و به هر شمع یک حرکت نسبت داده می شود. در این مساله بهینه یابی، تابع هدف با رابطه ۱ و قید های مربوط به محدوده تغییرات مولفه X و مولفه Y موقعیت شمع، به ترتیب با روابط ۲ و ۳ بیان می گردند. حداقل فاصله مرکز تا مرکز هر دو شمع نیز ۲ متر در نظر گرفته شده است که این قید نیز با رابطه ۴ بیان شده است.

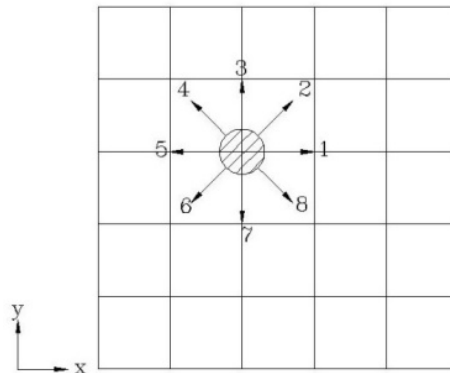
$$\text{Minimize } S_{md} = S_{max} - S_{min} \quad (1)$$

$$\left(-\frac{B}{2} + d\right) \leq x_i \leq \left(\frac{B}{2} - d\right) \quad (2)$$

$$\left(-\frac{H}{2} + d\right) \leq y_i \leq \left(\frac{H}{2} - d\right) \quad (3)$$

$$\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} > 2 \quad (4)$$

که در روابط بالا B و H طول و عرض پی گسترده، X و Y مولفه های موقعیت شمع، d حداقل فاصله مرکز شمع تا لبه های پی گسترده، S_{md} حداکثر نشست نسبی در سطح پی گسترده و S_{max} و S_{min} به ترتیب، حداکثر و حداقل نشست در سطح پی گسترده می باشند.



شکل ۲ - تغییر موقعیت شمع در صفحه $X-Y$.



۵. الگوریتم استفاده شده در حل مساله

در روش جستجوی ممنوع برای یافتن جواب بهتر، جواب های همسایه جواب فعلی بررسی می شوند. منظور از جواب همسایه جوابی است که از یک حرکت (جابجایی یک یا چند شمع) به دست می آید. در این تحقیق، تعداد شمع های جابجا شده در حرکت از یک جواب به جواب دیگر را مرتبه حرکت مینامیم.

برای یافتن جواب بهینه، ابتدا یک جواب موجه اولیه به طور تصادفی انتخاب می شود و مقدار تابع هدف برای آن به دست می آید. سپس مقدار تابع هدف تمامی همسایه جواب های مرتبه اول را بررسی می کنیم. در صورت یافتن جواب بهتر آن جواب جایگزین جواب فعلی می شود و گرنه کد مربوط به حرکتی که آن همسایه جواب را تولید کرده است، در لیست ممنوع قرار می گیرد. در هر تکرار، کدهای لیست ممنوع بر اساس مقدار تابع هدف به طور نزولی مرتب می شوند و از میان حرکت های ممنوع، حرکتی که جواب بهتری (تابع هدف کمتری) را بوجود آورده است در آستانه خروج از لیست ممنوع قرار می گیرد. در پایان این مرحله یک لیست ممنوع شامل کدهای حرکت ممنوع خواهیم داشت و همچنین یک لیست کاندید که شامل کدهایی است که در لیست ممنوع قرار ندارند. از ترکیب کدهای کاندید مرتبه اول، کدهای مرتبه دوم ایجاد می شوند. در آغاز مرحله بعد لیست ممنوع خالی می شود و عملیات بالا تا رسیدن به شرط خاتمه تکرار می شود. در روش جستجو ممنوع، ممکن است الگوریتم جستجو در دام جواب های بهینه محلی گرفتار شود و از رسیدن به جواب بهینه کلی باز ماند. برای برطرف نمودن این مشکل از افزایش گام و یا مرتبه حرکت در جستجو استفاده شده است. فرایند جستجو زمانی پایان می یابد که هیچ حرکت انتخابی از لیست کاندید به جواب بهتری منجر نشود. به طور خلاصه گام های الگوریتم مورد استفاده به شرح زیر است:

- ۱- انتخاب جواب اولیه.
- ۲- تشکیل جواب های همسایه مرتبه اول.
- ۳- تعیین تابع هدف برای جواب های همسایه و تشکیل لیست ممنوع و لیست کاندید.
- ۴- تعیین جواب های همسایه مرتبه بالاتر از ترکیب حرکت های لیست کاندید و خالی کردن لیست ممنوع.
- ۵- تکرار مراحل ۳ و ۴ تا رسیدن به شرط توقف.

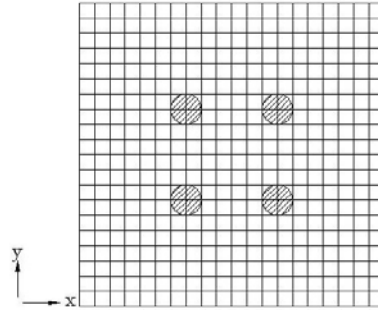
۶. مثال عددی

در اینجا یک پی گسترده به طول و عرض ۱۰ متر و ضخامت ۰/۶ متر که متکی بر ۴ عدد شمع به قطر ۱ متر و طول ۱۰ متر است با در نظر گرفتن توده خاک ذکر شده در بخش ۲، تحت بارگذاری قائم تحلیل شده و چیدمان بهینه شمع ها، به دست آمده است. مشخصات مصالح مطابق با جدول ۱- می باشد.

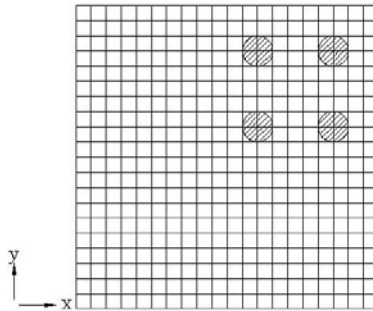
جدول ۱- مشخصات مصالح.

ν	$E_s, \text{N/m}^2$	$\gamma, \text{kN/m}^3$	
0.4	3.5e7	24	پی گسترده و شمع
0.16	3.5e10	18	خاک

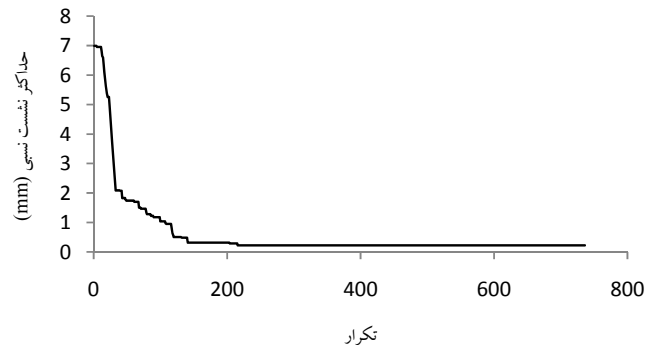
برای یافتن چیدمان بهینه شمع ها در زیر پی گسترده، ابتدا یک چیدمان اولیه برای شمع ها فرض می شود و سپس در هر تکرار، یک همسایه جواب ایجاد شده و اطلاعات آن برای انجام تحلیل نشست به نرم افزار ABAQUS 6.8 فرستاده می شود و این کار تا رسیدن به شرط خاتمه الگوریتم ادامه پیدا می کند. در نهایت پس از حدود ۷۵۰ بار تکرار، چیدمان بهینه شمع ها در زیر پی گسترده مطابق شکل ۳ بدست آمده است. همچنین چیدمان اولیه شمع ها در شکل ۴ نشان داده شده است. همچنین در شکل ۵، تغییرات بیشینه نشست نسبی در سطح پی گسترده بر حسب تکرار نشان داده شده است.



شکل ۳- چیدمان بهینه شمع ها در صفحه X-y.

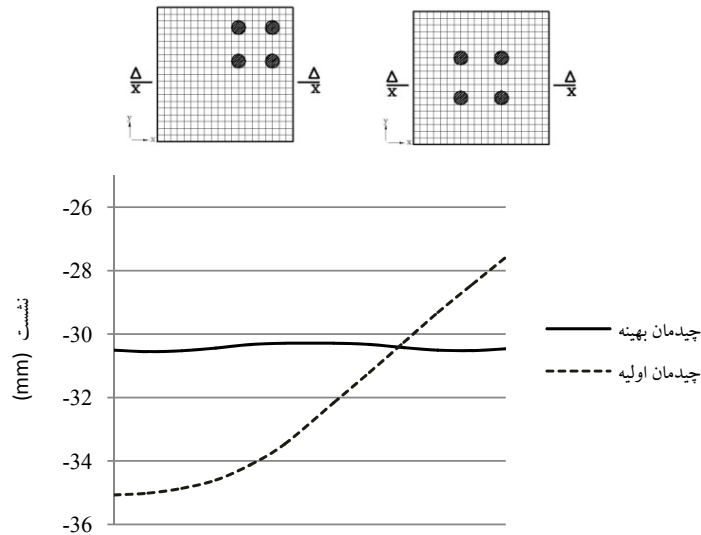


شکل ۴- چیدمان اولیه شمع ها در صفحه X-y.



شکل ۵- تاریخچه همگرایی تابع هدف.

با توجه به شکل ۶، نتایج بدست آمده از مقایسه نشست پی گسترده در دو حالت چیدمان اولیه شمع ها و چیدمان بهینه شمع ها در مقطع X-X نشان دهنده تاثیر چیدمان شمع ها در کاهش میزان نشست نسبی در سطح پی گسترده است و با توجه به بارگذاری ثقلی یکنواخت و متقارن، قرارگیری شمع ها به صورت متقارن در زیر پی، نشست نسبی در سطح پی را به میزان قابل ملاحظه ای کاهش داده است.



شکل ۶- نشست سطح پی در حالت چیدمان اولیه و بهینه شمع ها در مقطع X-X.

۷. نتیجه گیری

تاکنون راهکارهای متعددی برای کاهش نشست ها به ویژه نشست های نسبی در پی های گسترده ارائه گردیده است. یکی از راهکارهای کاهش نشست های نسبی که در این تحقیق نیز مورد استفاده قرار گرفته است، یافتن چیدمان بهینه شمع ها در زیر پی گسترده است. در این تحقیق از روش بهینه یابی جستجوی ممنوع برای یافتن موقعیت بهینه شمع ها استفاده گردید و نتایج بدست آمده بیانگر آنست که این روش با جستجو در همسایگی جواب ها، استفاده از ساختارهای حافظه ای و نیز بکارگیری استراتژی های تمرکزدهی و تنوع بخشی در هدایت هوشمندانه فرایند جستجو به سوی مناطقی از فضای جواب با احتمال بالاتر ظهور جواب های بهتر، توانایی بالایی در یافتن بهینه کلی و فرار از بهینه های محلی دارد. همچنین با تعیین موقعیت بهینه شمع ها در زیر پی گسترده می توان تا حد زیادی نشست های نسبی را در سطح پی کاهش داد.

۸. مراجع

- Kim, K.N., Lee, S.H., Kim, K.S., Chung, C.K., Kim, M.M. and Lee, H.S., (2001), "Optimal Pile Arrangement for Minimizing Differential Settlements in Piled Raft Foundations," Journal of Computers and Geotechnics, **28**, pp 235-253.
- Randolph, M.F., (1994), "Design Methods for Pile Groups and Piled Rafts," Proc. of the 13th International Conf. On Soil Mechanics and Foundation Engineering, New Delhi, pp 61-82.
- Horikoshi, K. and Randolph, M.F., (1996), "Centrifuge Modeling of Piled Raft Foundation on Clay," Journal of Geotechnique, **46** (4), pp 741-52.
- Sommer, H., Tamaro, G. and De Benedictis, C., (1991), "Messis Turm, Foundations for the Tallest Building in Europe," Proc. of the 4th International Deep Foundation Institute Conf., Stresa, pp 139-45.
- روحانی سروسنایی، م. (۱۳۸۵)، "بهینه یابی قرارگیری شمع ها در پی های گسترده متکی بر شمع به کمک شبکه های عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان.
- Chan, C.M., Zhang, L.M. and Jenny, T.M., (2009), "Optimization of Pile Groups Using Hybrid Genetic Algorithms," Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, **135** (4), pp 497-505.
- Leung, Y.F., Klar, A. and Soga, K., (2010), "Theoretical Study on Pile Length Optimization of Pile



Groups and Piled Rafts,” Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, **136** (2), pp 319-30.

8. Lee, J.H., Kim, Y. and Jeong, S., (2010), “Three-Dimensional Analysis of Bearing Behavior of Raft on Soft Clay,” Journal of Computers and Geotechnics, **37**, pp 103-14.

9. Dassault Systèmes Simulia Corp., (2008), “Abaqus Analysis User’s Manual version 6.8,” Providence, RI, USA.

۱۰. عالم تبریز، ا.، زندیه، م. و محمد رحیمی، ع.، (۱۳۸۷)، “الگوریتم های فراابتکاری در بهینه سازی ترکیبی،” انتشارات صفار.

۱۱. افشار، م. ه. و حسینی نورزاد، س. ح.، (۱۳۸۷)، “مدیریت بهینه بهره برداری برق آبی سد به روش جستجوی ممنوعه،” دومین کنفرانس ملی سد و نیروگاه های برقابی، تهران.