نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره4، جلد9، مهر - آبان 1394، ص. 570-561

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 9, Oct.-Nov. 2015, p. 561-570

طراحی شکل بهینه کول قنات با استفاده از روش اجزای محدود و الگوریتم جامعه پرندگان

احسان فلاحی[1]، ابوالفضل اکبرپور[2,*]، محسن خطیبی نیا[3]، حسین ابراهیمی[4]

تاریخ دریافت: 1394/2/6 تاریخ پذیرش: 1394/7/15

چکیده

کاریزها یا قنات‌ها سازه‌های آبی اختراع ایرانیان هستند که توسط آن‌ها آب‌های زیرزمینی استحصال شده با نیروی ثقل و از زیرزمین و دور از تبخیر منتقل می‌گردد. ساختمان کاریزهای ایجاد شده در ایران از حالت دائر به بائر تغییر وضعیت داده و برای جلوگیری از تخریب ساختمان کاریز از سازه‌های مقاوم یا کول استفاده گردید. هدف اصلی از این مطالعه، طراحی شکل بهینه کول قنات با استفاده از روش اجزای محدود و الگوریتم جامعه پرندگان می‌باشد. برای این منظور، ابتدا مدل‌سازی سه بعدی کول و اجزای اطراف آن در نرم‌افزار ANSYS انجام شد و سپس شکل بهینه کول با استفاده از روش بهینه‌سازی الگوریتم جامعه پرندگان و الحاق آن به نرم‌افزار ANSYS به‌دست آورده شد. وزن کول به‌عنوان تابع هدف مساله بهینه‌سازی و متغیرهای طراحی شامل پارامترهای هندسی کول درنظر گرفته شد. هم‌چنین تنش در بدنه کول (تنش‌های فشاری و کششی بتن) به‌عنوان محدودیت لحاظ گردید. نتایج بهینه‌سازی بیانگر کارایی بالای الگوریتم جامعه پرندگان در طراحی بهینه شکل کول بود به‌طوری‌که وزن بهینه کول در مقایسه با کول موجود کاهش قابل توجه‌ای داشته است.

واژه‌های کلیدی: اجزای محدود، الگوریتم جامعه پرندگان قنات، شکل بهینه، کول

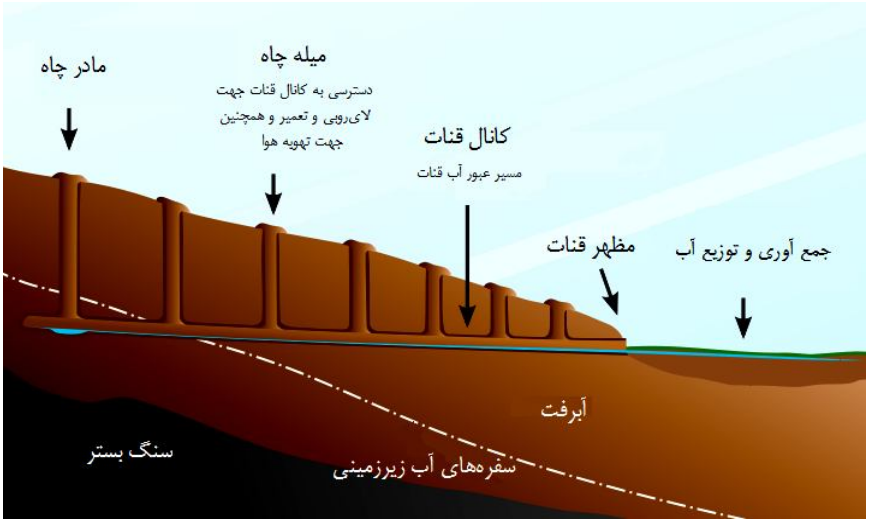
مقدمه

قنات یکی از شگفت انگیزترین تأسیسات آبی ساکن و پنهان موجود زیرزمینی در تاریخ بشری می‌باشد که به عنوان یک کانال زیرزمینی حفر شده توسط انسان، جهت جمع‌آوری آب شیرین و انتقال و مدیریت آن به سطح زمین برای مصارف کشاورزی، انسانی و دامی ایجاد شده است. در ایران، از قنوات بیش‌تر جهت انتقال آب جاری در مناطق نیمه بیابانی و خشک استفاده می‌شود. آب موجود در لایه (لایه‌های) آبدار مناطق مرتفع زمین یا رودخانه‌ها و برکه‌ها را به کمک نیروی ثقل و بدون کاربرد نیروی کشش و هیچ نوع انرژی الکتریکی یا حرارتی با جریان طبیعی جمع‌آوری و منتقل می‌شود و به نقاط پست‌تر می‌رساند. قنوات تأسیسات پیچیده‌ای هستند که عناصر آن‌ها شامل تأسیسات بیرون خاک (هرنج، استخر، نهرها و مقسم‌ها) و تأسیسات درون خاک آن (مادر چاه، تران، تره‌کاره، خشکه کار و میله) می‌باشد (شکل1) . بخشی از عملیات فنی در قنات، آب و خاکی است که تحت تأثیر عوامل مؤثر بر ساختار فیزیکی و شیمیایی خاک است. این عوامل شامل دانه‌بندی مواد و مصالح تشکیل‌دهنده خاک، دانه‌بندی خاک، درصد تراکم، لایه‌بندی، ارتفاع لایه، نحوه استقرار لایه و هم‌جواری آن باهم، چسبندگی، رطوبت، آب می‌باشد که اساساً جابه‌جایی در درون یا بر روی پوسته خاک و یا کم و زیاد شدن آب و رطوبت اثرات مثبت یا منفی بر ساختار فیزیکی و شیمیایی حوزه عملیات خاکی به جا می‌گذارد.

شکل قنوات به علت پراکندگی آن‌ها درکشور و عبورشان از مناطقی با آب، هوا و زمین و خاک متغیر، دارای شرایط متفاوتی است و به همین علت درجه آسیب‌پذیری آن‌ها متفاوت می‌باشد. اجرای قنات با جابه‌جایی خاک در درون زمین آب را به‌طور مستمر جریان می‌دهد،که در صورت ریزش خاک در قنات، انسداد مسیر آب حتمی است. از اینرو، مقنی با استفاده از مواد، مصالح و سازه‌های خاص از ریزش خاک جلوگیری می‌کند تا این شریان حیات‌بخش استمرار و تداوم یابد. قالب‌های چوبی مربع از جمله مصالحی می‌باشند که برای جلوگیری از ریزش خاک استفاده می‌شود. اما به علت پوسیدگی سریع قالب‌های چوبی و کاهش مقاومت آن‌ها با گذشت زمان، بهتر است از سازه‌های مقاوم‌تر استفاده شود. بدین منظور، کول‌ها به عنوان یک سازه مقاوم و پایدار استفاده می‌شود. انتخاب نوع کول به مواد، مصالح و تکنیک بوم‌آور، نحوه اتصال، تعداد قطعات مورد نیاز، منطقه و محل به کارگیری و شیوه اجرادارد. جنس کول از مصالح سفالی، آهنی، چوبی، سنگی و بتنی می‌باشد که امروزه کول‌های بتنی به عنوان بهترین سازه مقاوم و پایدار در ساختمان قنات استفاده می‌شود.

کول‌های بتن مسلح به اشکال تخم‌مرغی، بیضوی و دایره‌ای ساخته می‌شوند.

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فردوس
2 و 3- دانشیار و استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه بیرجند
4- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شهر قدس تهران
(*- نویسنده مسئول: Email: Akbarpour@birjand.ac.ir)



شکل1- اجزائ تشکیل دهنده قنات

درسال‌های اخیر، تحقیقاتی در مورد قنوات انجام شده است. صدر و سلامی (1368)، تحقیقی با عنوان نقش سرمایه‌گذاری و لایروبی در کاهش تلفات آبدهی و حفاظت قنوات استان‌های فارس ارائه نمودند. در این تحقیق، به‌منظور بررسی افزایش کارایی آبدهی قنات‌های استان فارس دو عامل کول‌کاری و لایروبی در100 رشته از قنوات مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده نشان داد که نه تنها دو عامل یاد شده اثر مثبت و تأثیرگذاری بر آبدهی قنات دارد، بلکه کول-کاری حداقل12برابر لایروبی بازدهی دارد. ایزدی و ناظم السادات (1388) با مطالعه ویژگی فیزیکی آبدهی و بررسی امکان ذخیره‌سازی آب قنات کتک ارسنجان، نشان دادند که قنات کتک یکی از منابع تأمین آب مورد نیاز کشاورزان شهر ارسنجان می‌باشد. در این مطالعه ویژگی‌های مربوط به آبدهی، شیب بستر، شیب سطح آب و طول بخش‌های تره‌کار و خشکه‌کاری به‌طور میدانی پایش شد و امکان ذخیره‌سازی آب در طول فصل‌های غیر رویشی نیز مورد ارزیابی قرارگرفت. نتایج به‌دست آمده، بیانگر آن بودند که با توجه به روش ارایه شده در این مطالعه، قنات کتک با آبدهی نزدیک به 15 لیتر در ثانیه و شیب بستر 0/0013 قابلیت ذخیره‌ی آب در فصل‌های غیر رویشی را دارد. مغربی (1389) اثرات گل آلوده‌سازی آب قنات بلده فردوس در انتقال به باغات و زمینه‌های کشاورزی بررسی نمود. نتایج این تحقیق نشان داد که برای جلوگیری از تلفات آب از قبیل نشت و تبخیر آب داخل کانال در گذشته و تاکنون از این روش استفاده شود.

یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در شکل کوره قنات، شکل کول می‌باشد و شکل کول باید به گونه‌ای باشد که بتواند پایداری و استحکام لازم را در برابر بارها و نیروهای وارده بر قنات را داشته باشد. از دیرباز یکی از بهترین اشکال به‌دست آمده در ساخت کول‌ها، شکل تخم مرغی مانند بوده است به‌طوریکه براساس تجربیات گذشته‌گان و علم معماری قنات نشان داده است که این شکل، پایداری و استحکام مناسب در برابر تخریب ساختمان قنات در دراز مدت را دارا می‌باشد. پایداری و استحکام کول و هم‌چنین وزن آن تابعی از ابعاد هندسی آن می‌باشد به‌طوریکه می‌توان با یافتن بهترین ابعاد هندسی آن، علاوه بر استحکام و مقاومت لازم، کم‌ترین وزن را داشته باشد که کاهش وزن باعث کاهش هزینه مصرفی مصالح به‌کار رفته در ساخت کول شده و بنابراین هزینه اجرایی قنات به‌طور قابل توجه‌ای کاهش می‌یابد. از اینرو، طراحی شکل بهینه کول بتنی در کوره قنات با استفاده از ترکیب روش اجزای محدود و الگوریتم جامعه پرندگان هدف اصلی این مطالعه می‌باشد. برای رسیدن به این هدف، مدل‌سازی سه بعدی کول و اجزای پیرامون آن در کوره قنات با استفاده از نرم‌افزار اجزای محدود ANSYS (2006) انجام خواهد شد و سپس با الحاق این نرم‌افزار به روش بهینه‌سازی الگوریتم جامعه پرندگان، شکل بهینه کول به‌دست آورده خواهد شد. وزن کول به عنوان تابع هدف مساله بهینه‌سازی و متغیرهای طراحی شامل پارامترهای هندسی کول در نظر گرفته خواهند شد. هم‌چنین تنش-های فشاری و کششی بتن به عنوان محدودیت‌های مسئله بهینه‌سازی لحاظ خواهندگردید.

مواد و روش‌ها

مسئله بهینه‌سازی شکل کول

هدف از بهینه‌سازی، یافتن بهترین جواب در خروجی از یک تابع یا فرآیند، به‌وسیله تغییر ورودی‌های یک سیستم می‌باشد. واژه «بهترین» بیان می‌دارد که بیش از یک جواب و راه حل برای مسئله

وجود دارد که یافتن بهترین جواب (جواب بهینه) بستگی به مسئله در دسترس، روش حل و خطای مجاز دارد. مسئله بهینه‌سازی شکل کول، یک فرایند حل برای یافتن بهترین ابعاد هندسی کول با هدف کاهش وزن کول می‌باشد. هم‌چنین در این فرایند حل باید تنش‌های فشاری وکششی بتن در بدنه کول از مقادیر تنش‌های مجاز فشاری و کششی بتن تجاوز نکند تا استحکام و پایداری لازم در برابر بارهای وارده را داشته باشد. از اینرو، مسئله بهینه‌سازی شکل کول به صورت زیر فرمول‌بندی شده است:

$$\begin{aligned} &Find: && \boldsymbol{X}^T=\{x_1,x_2,\ldots,x_n\}\in\boldsymbol{R} \\ &Minimize: && f(\boldsymbol{X}) \\ &Subject\,to: && g_i(\boldsymbol{X})\le\bar{g}_{all,i}\ ;\ i=1,2,\ldots,n \end{aligned} \qquad (1)$$

که در رابطه فوق، $\boldsymbol{X}$ و $F(\boldsymbol{X})$ به‌ترتیب بردار متغیرهای طراحی شکل کول و تابع هدف مسئله بهینه‌سازی می‌باشد. هم‌چنین $g_i(\boldsymbol{X})$ و $\bar{g}_{all,i}$ به ترتیب i امین قید مسئله بهینه‌سازی و مقدار مجاز متناظر i امین قید و T ترانهاده بردار می‌باشد.

از گذشته دور، اشکال مورد استفاده در ساخت کول‌ها شامل موارد زیر می‌باشد:

کول تخم‌مرغی شکل که به هر دو صورت سر و ته به کار گرفته می‌شود.

کول شبه بیضی دو تکه احتمالاً برای اجرای آسان آن و با شرایط بسیار تنگ به کار گرفته می‌شود.

کول سه تکه که فقط مقنیان شهرری از آن یاد کرده‌اند.

طوقه‌ها و کول‌های منفذدار که در مادر چاه و آبدار نصب می‌شدند.

در مناطق کویری معمولاً کول تخم‌مرغی شکل بیش‌ترین کاربرد را دارد. در این مطالعه، بهینه‌سازی شکل کول تخم‌مرغی شکل بررسی شده است. بردار متغیرهای طراحی شکل کول شامل پارامترهای ابعاد هندسی کول تخم‌مرغی شکل می‌باشد. این متغیرها در شکل 2 نشان داده شده است. بنابراین بردار متغیرهای طراحی شکل کول به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\boldsymbol{X}^T=\{h_c,b_c,t_c,w_c\} \qquad (2)$$

که در آن، h_c ارتفاع کول، b_c عرض کول، t_c ضخامت جداره کول و w_c عمق کول می‌باشد.

تابع هدف در مسئله بهینه‌سازی شکل کول، وزن بتن مورد نیاز در ساخت کول می‌باشد که به‌صورت زیر تعیین می‌شود:

$$f(\boldsymbol{X})=W=\rho g V(\boldsymbol{X}) \qquad (3)$$

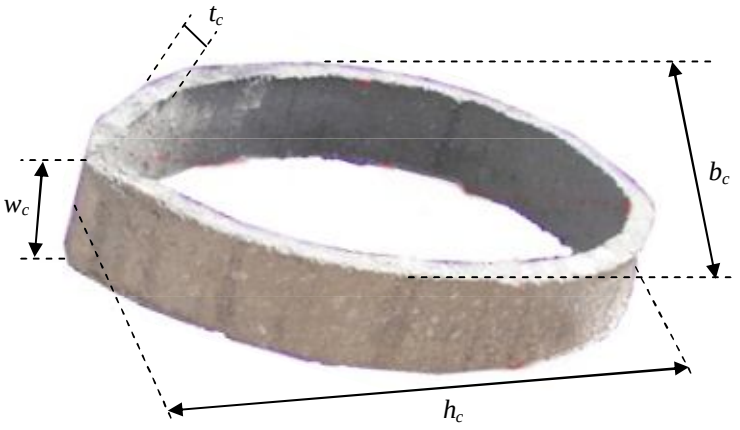
که در رابطه فوق، W وزن کول، ρ چگالی بتن، g شتاب ثقل زمین و V حجم کول می‌باشد.

تنش‌های به وجود آمده در سازه کول بایستی در محدوده مجاز تنش مصالح جنس کول باشد و طراحی به‌گونه‌ای صورت پذیرد که ضمن آنکه در هیچ نقطه از کول، تنش‌های فشاری و کششی بتن از حد مجاز بیش‌تر نگردد، بتوان حتی الامکان از تمام مقاومت کول استفاده نمود. در این تحقیق، قید تنش در تمامی نقاط کول به‌صورت زیر درنظر گرفته شد:

$$\sigma_t\le\bar{\sigma}_t \qquad (4)$$

$$\sigma_c\le\bar{\sigma}_c \qquad (5)$$

که در روابط فوق، σ_t و σ_c تنش‌های کششی و فشاری در نقاط کول می‌باشد که براساس شرایط بارگذاری موجود کول و آنالیز اجزای محدود کول تعیین می‌شود. $\bar{\sigma}_t$ و $\bar{\sigma}_c$ تنش‌های مجاز کششی و فشاری بتن معمولی می‌باشد. در این مطالعه، بتن با چگالی 2400 کیلوگرم بر مترمکعب و تنش فشاری بتن معادل 23 مگاپاسکال در نظر گرفته شده است.



شکل 2- مدل هندسی کول تخم‌مرغی

تنش مجاز کششی بتن براساس آیین‌نامه ACI-318 (2008) برابر $0.7\sqrt{f_c'}$ درنظرگرفته شد. f_c' مقاومت فشاری 28 روزه نمونه استوانه‌ای بتن می‌باشد که در آزمایشگاه تعیین می‌شود. هم‌چنین، تنش مجاز فشاری بتن برابر f_c' فرض شده است.

تابع جریمه

محاسبات بهینه‌سازی در روش‌های تکاملی و فراکاوشی مبتنی بر بهینه‌سازی توابع بدون قید بیان شده است. جهت اعمال قیود بر تابع هدف مقید، باید مجموعه تابع هدف و قیود حاکم بر آن را به یک تابع آزاد معادل تبدیل نمود. به همین منظور با اعمال عملیات جبری بر تابع هدف و قیود، تابع جدیدی را معرفی می‌کنیم که تحت اثر هیچ قیدی ندارد. بدیهی است که بهینه تابع آزاد معادل برابر بهینه تابع هدف اولیه تحت اثر قیود مسئله می‌باشد. تابع آزاد معادل با عنوان تابع الحاقی (تابع برازندگی) معرفی می‌شود. از اینرو، نظریه تابع جریمه برای تشکیل تابع الحاقی ارائه شده است. روش‌های مختلفی برای اعمال تابع جریمه بر تابع هدف و قیود معرفی شده است. در این مطالعه، روش تابع جریمه خارجی استفاده شده است که کاربرد موفق آن در بهینه‌سازی مسائل مهندسی در تحقیقات گذشته نشان داده شده است (Rajeev Krishnamoorthy, 1992؛ Khatibinia et al., 2012). در این روش، تابع هدف و قیود حاکم بر آن را به‌صورت زیر به تابع آزاد معادل تبدیل می‌شود:

$$\tilde{f}(\boldsymbol{X}) = f(\boldsymbol{X})(1+R_p P_f) \qquad (6)$$

در رابطه فوق، $\tilde{f}$ تابع الحاقی یا تابع آزاد معادل، P_f تابع جریمه خارجی و R_p ضریب تابع جریمه می‌باشد. تابع جریمه خارجی در بهینه‌سازی مسائل مهندسی به‌صورت مجموع نرمال شده قیود تخطی کننده در فرایند بهینه‌سازی تعریف می‌شود:

$$P_f = \sum_i \left[max\left(\frac{g_i}{g_{all,i}} - 1, 0\right)\right]^2 \qquad (7)$$

هم‌چنین R_p یک ضریب عددی است که در همگرایی الگوریتم مؤثر است و به صورت زیر ارائه شده است:

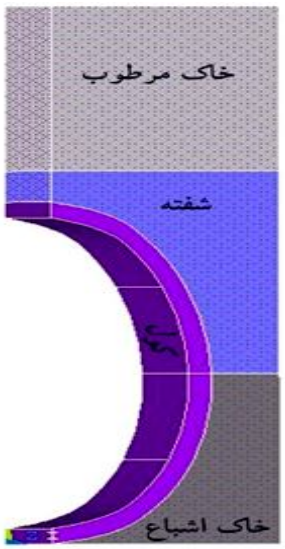
$$R_p = 25\left[1 + r.(n_g - 1)\right] \le M \qquad (8)$$

در رابطه فوق، r ضریب ثابتی است که برابر 0/2 پیشنهاد می‌شود و n_g شمارنده تکرار فرایند بهینه‌سازی می‌باشد. پارامتر M یک عدد نسبتاً بزرگ است که معمولاً برابر 100 فرض می‌شود.

مدل‌سازی کول

در این تحقیق، روش اجزای محدود برای مدل‌سازی و تحلیل کول در برابر بارهای وارده بر آن و محاسبه تنش‌های موجود کول در فرایند بهینه‌سازی استفاده شده است. برای این منظور، یک مدل اجزای محدود سه بعدی کول در نرم‌افزار ANSYS تهیه شده است. قابلیت کدنویسی (APDL) مدل اجزای محدود سازه در نرم‌افزار ANSYS این امکان را فراهم می‌سازد تا به‌طور مستقیم از این نرم‌افزار و نتایج تحلیل آن در فرایند بهینه‌سازی استفاده نمود. از اینرو در این مطالعه، مدل سه‌بعدی کول و محیط اطراف آن با استفاده از قابلیت کدنویسی انجام شده است. نیروهای اعمال شده در مدل‌سازی کول شامل نیروی وزن کول، نیروی وزن مرده خاک (خاک طبیعی) در بالای کول، نیروی وزن خاک اشباع در کوره داخل قنات و نیروهای ناشی از وزن شفته بوده است. در شکل 3، نیمی از مدل سه-بعدی کول و محیط اطراف آن نشان داده شده است.

لازم به ذکر است که به دلیل تقارن مدل کول و محیط اطراف آن، تنها نیمی از مدل کول و محیط اطراف در نرم‌افزار ANSYS درنظر گرفته شده است که این امر، باعث افزایش سرعت تحلیل مدل و کاهش زمان فرایند بهینه‌سازی شده است. هم‌چنین، اولین قدم در طراحی بهینه شکل کول تخم‌مرغی و مدل‌سازی آن در نرم‌افزار ANSYS، انتخاب یک مدل هندسی ریاضی مناسب برای کول می‌باشد. مدل هندسی باید ساده و از سهولت اجرایی خوبی برخوردار باشد و انطباق خوبی با مدل موجود کول مورد استفاده داشته باشد.



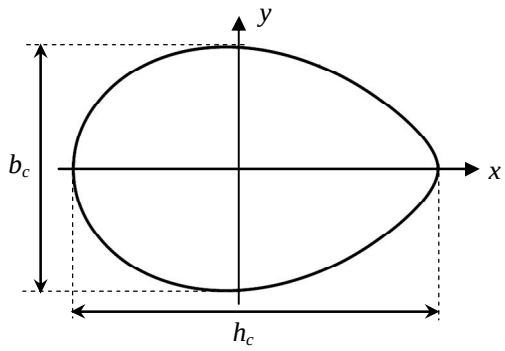
شکل 3- مدل سه بعدی کول و محیط اطراف آن

مدل‌های ریاضی مختلفی برای ایجاد هندسه تخم‌مرغ ارائه شده است. در این تحقیق، از مدل ریاضی زیر استفاده شده است:

$$\frac{x^2}{h_c^2} + \frac{y^2}{b_c^2}(e^{2x}) = 1 \qquad (9)$$

پارامترهای درنظر گرفته شده در معادله 9، در شکل زیر نشان

داده شده است:



شکل 4- هندسه مدل تخم‌مرغ با پارامترهای هندسی آن

الگوریتم جامعه پرندگان

اخیراً گروهی از الگوریتم‌های بهینه‌سازی فراکاوشی براساس شبیه‌سازی تعامل اجتماعی یک گروه خاص از موجودات زنده برای دستیابی به منابع غذایی به ارئه شده‌اند. الگوریتم جامعه پرندگان (PSO)[1] که در سال 1995 توسط ابرهات و کندی (Eberhart and Kennedy, 1995) معرفی شد، جزء این گروه می‌باشند. این الگوریتم بهینه‌سازی از نحوه زندگی پرندگان و ماهی‌ها الهام گرفته شده است که به‌صورت گروهی زندگی می‌کنند و بسیاری از احتیاجات خود، ازجمله جستجوی غذا را به‌صورت دسته جمعی و با کمک یکدیگر و با استفاده از خرد جمعی انجام می‌دهند. در این الگوریتم فرض شده است که پرندگان در جستجوی غذا به‌صورت غریزی فاصله خود تا غذا را حس می‌کنند در حالی‌که از مکان آن اطلاعی ندارند. علاوه بر این، فرض شده است که تمام پرندگان با به اشتراک گذاشتن اطلاعات خود موقعیت نزدیک‌ترین پرنده به غذا را می‌دانند و موقعیت خود در فضای جستجو را بر مبنای آن اصلاح می‌کنند. فرآیند حرکت پرندگان به سمت منبع غذا یک

پدیدهٔ اتفاقی طبیعی است که باعث می‌شود هر پرنده در گروه با سرعت و جهت خاص خود حرکت کند و موقعیت اولیهٔ خود را در گروه بهبود دهد، بردار سرعت براساس حافظه ذخیره شده به وسیلهٔ هر پرنده بهبود می‌یابد که این حافظه شبیه حافظه اطلاعات شخصی هر فرد می‌باشد و از طرف دیگر موقعیت هر ذره در گروه با توجه به رفتار کلّی گروه بهبود می‌یابد و گروه در مسیر جستجوی خود به مناطق بهتری دست می‌یابد و این چرخه بهبود موقعیت هر ذره و متعاقباً بهبود موقعیت کل گروه ادامه دارد تا گروه به بهترین نقطه (منبع غذایی) برسد. کاربردهای موفق این الگوریتم در مهندسی توسط سلاجقه و همکاران (Salajegheh et al., 2008; 2009) نشان داده شده است.

در این الگوریتم هر جواب مسئله، یک پرنده در فضای جستجو است که ذره نام دارد و هر ذره دارای یک مقدار شایستگی است که توسط تابع شایستگی مسئله به‌دست می‌آید، بر این اساس پرنده‌ای که به منبع غذا نزدیک‌تر است، شایستگی بیش‌تری دارد. هم‌چنین هر پرنده دارای یک بردار سرعت است که جهت حرکت پرنده و میزان سرعت را نشان می‌دهد و در فرآیند بهینه‌سازی هر پرنده جهت خود را بر اساس تجربه شخصی و تجربه جامعه اصلاح می‌کند. در فرمول‌بندی الگوریتم، ذره i ام در موقعیت $\boldsymbol{x}$ و در تکرار $k+1$ ام به وسیلهٔ رابطه 10 موقعیت خود را بهبود می‌بخشد:

$$\boldsymbol{x}_{k+1}^{i} = \boldsymbol{x}_{k}^{i} + \boldsymbol{v}_{k+1}^{i} \qquad (10)$$

که در این رابطه $\boldsymbol{v}_{k+1}^{i}$ سرعت ذره i ام است که به صورت زیر در هر تکرار به هنگام می‌شود:

$$\boldsymbol{v}_{k+1}^{i} = w\,\boldsymbol{v}_{k}^{i} + c_1 r_1 (\boldsymbol{p}_{k}^{i} - \boldsymbol{x}_{k}^{i}) + c_2 r_2 (\boldsymbol{p}_{k}^{g} - \boldsymbol{x}_{k}^{i}) \qquad (11)$$

در روابط فوق $\boldsymbol{v}_{k}^{i}$ مقدار بردار سرعت در تکرار k ام، r_1 و r_2 دو عدد تصادفی بین صفر و یک و $\boldsymbol{p}_{k}^{i}$ نشان دهندهٔ بهترین موقعیت ذره i ام و $\boldsymbol{p}_{k}^{g}$ موقعیت بهترین ذره در تمام جامعه تا تکرار k ام می‌باشد. برای مثال c_1 و c_2 پارامترهای اعتماد نامیده می‌شوند و تعیین‌کننده میزان اطمینان به جریان ذرات و یا حرکت جامعه می‌باشد. بهترین مقادیر برای پارامترهای c_1 و c_2 برابر با 2 می‌باشد. w پارامتر لختی وزن نامیده می‌شود. پارامتر w نقش مهمی را در رفتار همگرایی الگوریتم جامعه پرندگان بر عهده دارد به طوری که مقدارهای زیاد w باعث افزایش مقدار بردار سرعت می‌شود و در هر تکرار گام‌های بزرگ‌تری برداشته خواهد شد و با کوچک شدن w این گام‌ها کوچک‌تر می‌شود که برای رسیدن به بهینه در گام‌های آخر مفید می‌باشد. در این تحقیق، از رابطه زیر استفاده شده است (Shi and Eberhart, 2008):

$$w_{k+1} = w_{\max} - \frac{w_{\max} - w_{\min}}{k_{\max}} k \qquad (12)$$

همانطور که در مرجع (Li et al., 2007) عنوان شده است مقادیر w_{max} و w_{min} به‌ترتیب برابر با 0/9 و 0/4 می‌باشند.

نتایج عددی

به‌منظور بررسی طراحی شکل بهینه کول در کوره قنات با استفاده از روش اجزای محدود و الگوریتم جامعه پرندگان، بهینه‌سازی شکل یک کول با ابعاد واقعی انجام شده است. این کول با مشخصات هندسی نشان داده شده در جدول 1 امروزه در بسیاری از مناطق ایران مورد استفاده می‌باشد.

1- Particle Swarm Optimization

جدول 1- مشخصات هندسی کول تخم‌مرغی موجود

متغیر هندسی	h_c	t_c	b_c	w_c
اندازه (m)	1/05	0/05	0/60	0/20

ابتدا کول موردنظر در نرم‌افزار ANSYS مدل‌سازی شد و نتایج تحلیل آن مورد بررسی قرار گرفت. براساس این نتایج، تنش حداکثر و تنش حداقل در کول به ترتیب برابر 301127 و 187 پاسکال می‌باشد و بیش‌ترین جابجایی در راس کول برابر 0/03 میلی‌متر می‌باشد. هم‌چنین وزن این کول در حدود 62 کیلوگرم می‌باشد. در اشکال 5 و 6، نتایج تحلیل کول نشان داده شده است.

برای بهینه‌سازی شکل کول، کرانه‌های بالا و پایین متغیرهای هندسی شکل کول در فرایند بهینه‌سازی به‌صورت زیر انتخاب شده است:

در این مطالعه، f_c' برابر 23 مگاپاسکال در نظرگرفته شد. در الگوریتم جامعه پرندگان، تعداد ذرات جمعیت و حداکثر تعداد تکرار الگوریتم به‌ترتیب برابر 30 و 100 درنظر گردید. این مقادیر براساس چندین دفعه اجرای برنامه بهینه‌سازی، تغییر دادن مقادیر فوق و انجام آنالیز حساسیت به‌دست آمده است. هم‌چنین به‌منظور درنظر گرفتن ماهیت تصادفی الگوریتم جامعه پرندگان، 10 اجرای مستقل انجام شده است.

جدول 2- کرانه‌های بالا و پایین متغیرهای هندسی شکل کول

متغیر هندسی	h_c	t_c	b_c	w_c
کران پایین (m)	0/7	0/04	0/50	0/15
کران بالا (m)	1/1	0/10	0/70	0/20

پس از 10 اجرای مستقل برنامه بهینه‌سازی، بهترین حل بهینه‌سازی براساس کم‌ترین مقدار وزن به‌دست آمده در جدول 3 ارائه شده است:

جدول 3- مقادیر بهینه پارامترهای هندسی کول

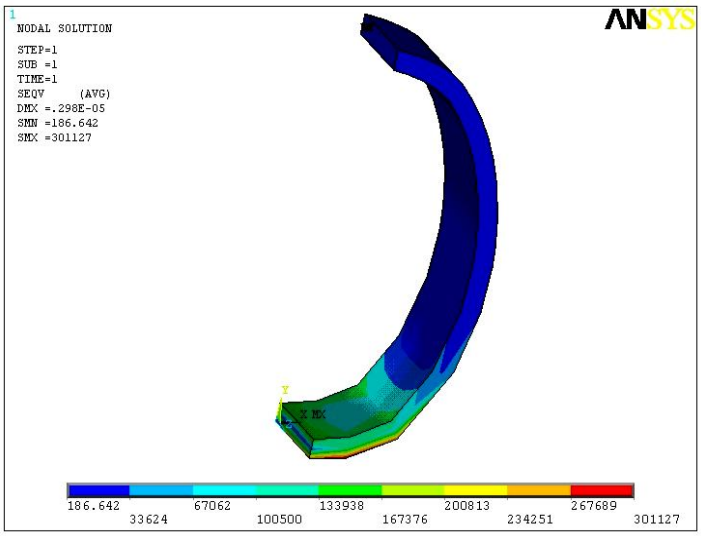
متغیر هندسی	h_c	t_c	b_c	w_c
اندازه (m)	1/1	0/04	0/5	0/15

وزن بهینه کول برابر 45 کیلوگرم، تنش حداکثر و حداقل به ترتیب برابر 248813 و 880 پاسکال به‌دست آمد. نتایج نشان می‌دهد که وزن کول در حدود 27/5% کاهش یافته است. بنابراین بهینه‌سازی شکل کول می‌تواند به مقدار قابل توجهی باعث کاهش مصرف بتن و هزینه تمام شده کول گردد. هم‌چنین بیش‌ترین جابجایی راس کول برابر 0/022 میلی‌متر می‌باشد. هم‌چنین نمایش تنش‌ها و جابجایی کول در نرم‌افزار ANSYS در شکل‌های 7 و 8 نشان داده شده است.

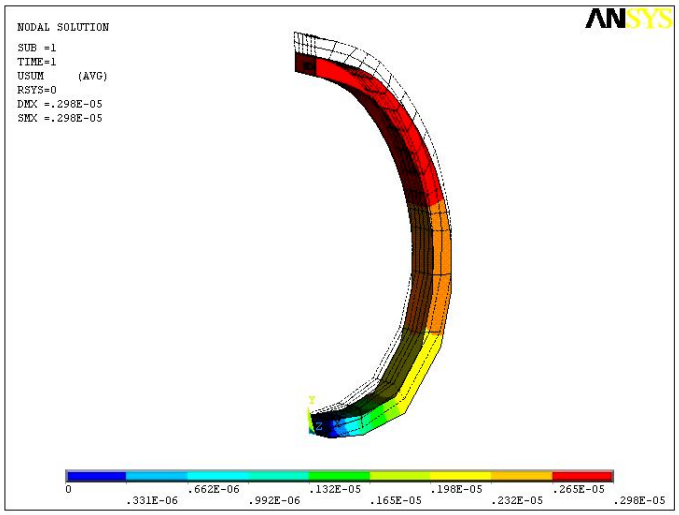
نتایج بهینه‌سازی نشان می‌دهد که متغیر هندسی w_c برابر کران پایین انتخاب شده است. لذا در مرحله بعد، متغیر هندسی w_c مقدار ثابت و برابر کران بالا (مقدار به‌کار رفته در مدل واقعی) انتخاب شد و بقیه پارامترهای هندسی کول متغیر فرض شد. بنابراین، نتایج بهینه‌سازی شکل کول با استفاده از الگوریتم جامعه پرندگان در جدول زیر نشان داده شده است:

جدول 4- مقادیر بهینه پارامترهای هندسی کول

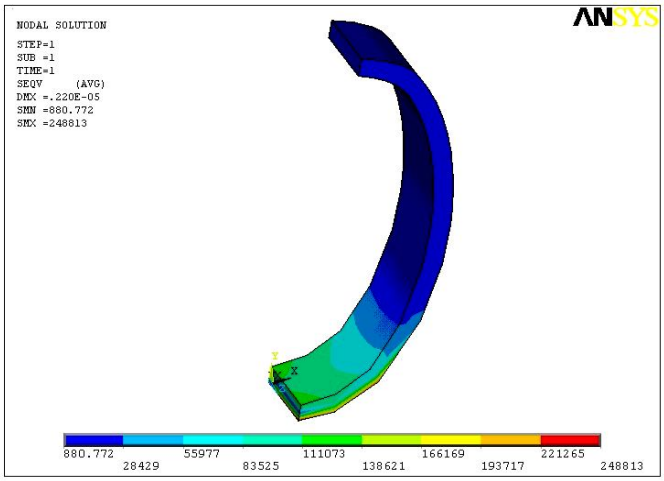
متغیر هندسی	h_c	t_c	b_c
اندازه (m)	1/1	0/04	0/50



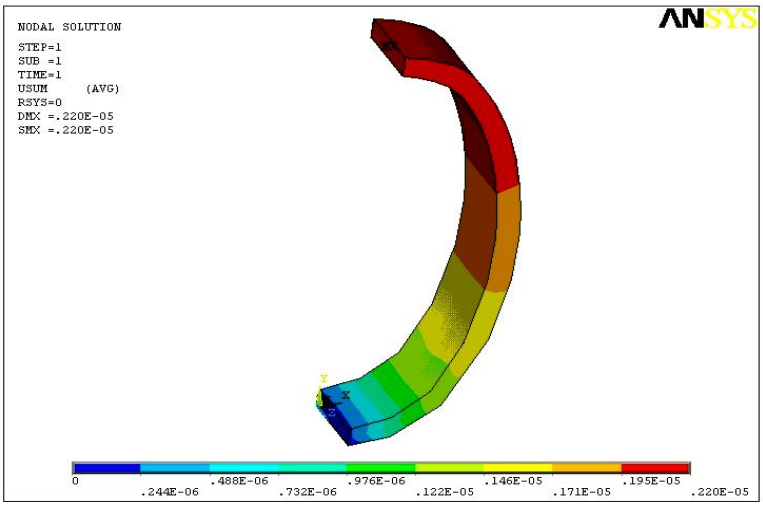
شکل5- مدل‌سازی کول موجود و مقادیر تنش‌های تولید شده تحت بارگذاری در نرم‌افزار ANSYS



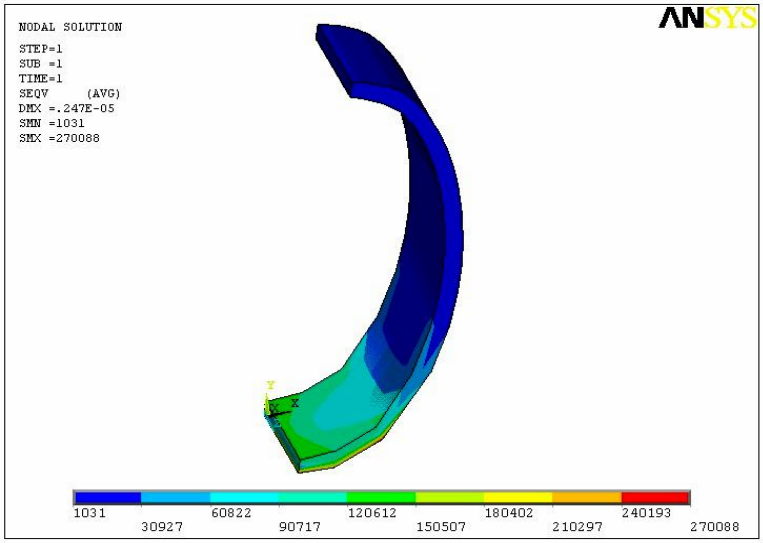
شکل6- مدل‌سازی کول موجود و مقادیر جابجایی تولید شده تحت بارگذاری در نرم‌افزار ANSYS



شکل7- توزیع مقادیر تنش‌ها در کول بهینه شده



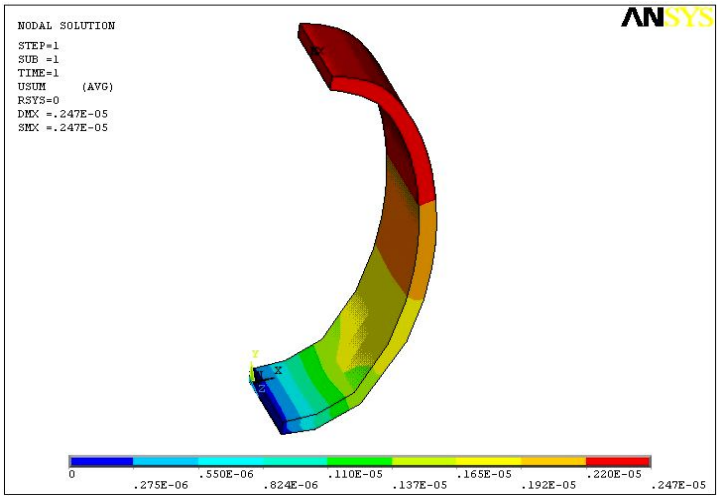
شکل8- توزیع مقادیر جابجایی در کول بهینه شده



شکل9- توزیع تنش‌های در کول بهینه شده

در این حالت، وزن بهینه کول برابر 48 کیلوگرم، تنش حداکثر و حداقل به‌ترتیب برابر 270088 و 1031 پاسکال به‌دست آمد. نتایج نشان می‌دهد که وزن کول در حدود 22/5% نسبت به کول موجود کاهش یافته است. بنابراین با بهینه‌سازی شکل کول، می‌توان به مقدار قابل توجهی کاهش در مصرف بتن و هزینه تمام شده کول داشت. هم‌چنین در این حالت، بیش‌ترین جابجایی راس کول برابر 0/025 میلی‌متر می‌باشد. نمایش تنش‌ها و جابجایی کول بهینه در نرم‌افزار ANSYS در شکل‌های 9 و 10 نشان داده شده است.

نتایج بهینه‌سازی شکل کول بیانگر کارایی بالای الگوریتم جامعه پرندگان در طراحی بهینه شکل کول می‌باشد به‌طوری‌که وزن بهینه کول بیهنه شده در مقایسه با کول موجود به میزان قابل توجه‌ای کاهش داشته است و تنش‌های فشاری و کششی بتن بدنه کول در محدوده مجاز بوده است.



شکل10- توزیع جابجایی کول بهینه شده در نرم‌افزار ANSYS

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، طراحی شکل بهینه کول در کوره قنات با استفاده از روش اجزای محدود و الگوریتم جامعه پرندگان می‌باشد. برای این منظور، ابتدا مدل‌سازی سه بعدی کول و اجزای اطراف آن در نرم‌افزار ANSYS انجام شد و سپس شکل بهینه کول با استفاده از روش بهینه‌سازی الگوریتم جامعه پرندگان و الحاق آن به نرم‌افزار ANSYS به‌دست آورده شد. نتایج حاصله از بهینه‌سازی نشان دادکه

که الگوریتم الگوریتم جامعه پرندگان، توانسته است وزن کول را بهینه نماید و شکل بهینه‌ای برای کول به‌دست آورد و بدون اینکه در پایداری کول خللی ایجاد شود. بنابراین کاهش وزن بتن در واقع باعث کاهش مصرف بتن و هزینه تمام شده کول گردد و این امر موجب صرفه‌جویی اقتصادی در ساخت کول و قنوات شود.

منابع

صدری،ک.، سلامی،ح. 1368. نقش سرمایه‌گذاری و لایروبی در کاهش تلفات آبدهی و حفاظت استان‌های فارس. مجله کشاورزی ایران. جلد 1 و 2، 55-72.

مغربی،م.ف. 1389. بررسی گل آلوده‌سازی آب قنات بلده فردوس در انتقال به باغات و زمین‌های کشاورزی. طرح پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد.

ایزدی،ت. ناظم‌السادات،ج. 1388. ویژگی فیزیکی آبدهی و بررسی امکان ذخیره‌سازی آب قنات کتک ارسنجان. مجله مهندسی آب. سال دوم. 21-30.

ACI. 2008. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-05) and Commentary. American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan.

ANSYS Inc. Theory Reference. 2006. Release 10.0 Documentation for ANSYS, ANSYS Inc.

Eberhart,R.C., Kennedy,J. 1995. A new optimizer using particles swarm theory. Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science, Nagoya, Japan, 39–43.

Khatibinia,M., Salajegheh,E., SalajeghehJ and Fadaee,M.J. 2012. Reliability–based design optimization of reinforced concrete structures including soil–structure interaction using a discrete gravitational search algorithm and a proposed metamodel. Engineering. Optimiz. 45: 1–19.

Li,L.J., Huang,Z.B., Liu,F., Wu,Q.H. 2007. A heuristic particle swarm optimizer for optimization of pin connected structures. Comput. Struction. 85: 340–349.

Shi,Y., Eberhart,R. 1998. A modified particle swarm optimizer. IEEE International Conference on Evolutionary Computation, IEEE Press, Piscataway, NJ, 69–73.

Rajeev,S and Krishnamoorthy,C.S. 1992. Discrete optimization of structures using genetic algorithm. Journal of Structure. Engineering. ASCE. 118.5: 1233–1250.

Salajegheh,E., Gholizadeh,S and Khatibinia,M. 2008. Optimal design of structures for earthquake loads by a hybrid RBF-BPSO method. Earthq. Engineering. Vibrat. **7**, 14–24.

Salajegheh,E., Salajegheh,J., Seyedpoor,S.M and Khatibinia,M. 2009. Optimal design of geometrically nonlinear space trusses using adaptive neuro-fuzzy inference system. Science. Iran. 6.5: 403–414.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 9, Oct.-Nov. 2015, p. 561-570

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره4، جلد9، مهر - آبان 1394، ص. 570-561

Optimal Shape Design of Ghanat Kaval using Finite Element Method and Particle Swarm Optimization

E. Fallahi[1], A. Akbarpour[2,*], M. Khatibinia[3] and H. Ebrahimi[4]
Recived: Apr.26, 2015 Accepted: Oct.07, 2015

Abstract

Ghanats are water structures of Iranian invention. Groundwater extraction is transferred by Ghanat, with the force of gravity and from underground and away from the evaporation. Structure of Ghanats created in Iran was changed from the used state to unused state, and the resistant structures or Kaval were used in order to prevent the destruction of structure of Kariz. The aim of this study is the optimal shape design of Ghanat Kaval using finite element method and particle swarm optimization. For this purpose, first, 3D modelling of Kaval and it's around element was implemented in ANSYS software. Then, optimal shape design of Kaval was achieved using particle swarm optimization and linking it to ANSYS software. Weight of Kaval was considered as the objective of optimization problem, and the geometry parameters of Kaval were design variables. Also, stress of the body Kaval (compressive and tension stresses) was considered as constraint. The optimum results were shown that particle swarm optimization had high performance in the optimal shape design of Kaval so that the weight of Kaval in comparison with the existent Kaval was considerably decreased.

Keywords: Ghanat, Kaval, Optimal design, Finite element method, Particle swarm optimization.

1- Master of Science Student, Islamic Azad University, Ferdows Branch
2, 3- Associate Professor and Assistant Professor. Department of Civil Engineering, University of Birjand
4- Associate Professor, Islamic Azad University, Shahr-e-Qods Branch, Theran
(*- Corresponding Author Email: Akbarpour@birjand.ac.ir)