

بهینه‌سازی ابعاد سدهای بتنی وزنی با استفاده از توسعه مدل جفت‌گیری زنبور عسل (HBMO)

حسام قدوسی* و مائده اسکوهی**

* نگارنده مسئول: گروه مهندسی آب، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. تلفن: ۰۲۴)۳۲۲۸۳۲۰۲، پیام‌نگار: ghodousi_he@yahoo.com

** به‌ترتیب: استادیار؛ و دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب دانشگاه زنجان

تاریخ دریافت: ۹۴/۸/۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱/۲۰

چکیده

هزینه ساخت سدهای بتنی وزنی به‌طور معمول بیشتر از هزینه ساخت سدهای دیگر است و بنابراین بهینه‌سازی شکل مقطع این‌گونه سدها به‌منظور کاهش در حجم بتن مصرفی باعث اقتصادی‌تر شدن طرح می‌شود. در این پژوهش، ضمن توسعه مدل بهینه‌سازی جفت‌گیری زنبور عسل در محیط نرم‌افزار متلب، ابعاد سد بتنی وزنی کوینا با در نظر گرفتن شرایط پایداری بهینه شده است. برای این کار، مقطعی کلی و فراگیر به عرض واحد شامل هشت پارامتر هندسی به‌عنوان متغیرهای طراحی در نظر گرفته و سایر پارامترهای هندسی نیز با استفاده از این متغیرها تعریف شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که حجم بتن مصرفی در ساخت این سد در حالت مقطع موجود، برابر با ۳۶۳۳ مترمکعب، در حالت مقطع بهینه به ۳۳۱۲/۵۲ مترمکعب کاهش یافته یعنی ۸/۸۲ درصد از مقدار تابع هدف (حجم بتن مصرفی در ساخت سد) کاسته شده است. این مقدار کاهش حجم بتن مصرفی در ساخت سد موجب صرفه‌جویی در هزینه‌های طرح و اقتصادی‌تر شدن آن می‌شود.

واژه‌های کلیدی

جفت‌گیری زنبورهای عسل، روش بهینه‌سازی، سد بتنی وزنی کوینا، مقطع بهینه سد

مقدمه

گسترده‌ای در استفاده از الگوریتم‌های تصادفی و تقریبی صورت گرفته است. این الگوریتم‌ها مقدار بهینه مطلق را تضمین نمی‌کنند اما عموماً امید به کسب جواب نزدیک به بهینه را بالا می‌برند. از جمله الگوریتم‌های تقریبی می‌توان به الگوریتم‌های تکاملی و فراکاوچی اشاره کرد (Blum & Roli, 2003). این الگوریتم‌ها با الهام از طبیعت و با مشارکت مفاهیم متفاوتی از حوزه‌های مختلف از جمله ژنتیک، بیولوژی، هوش مصنوعی، ریاضی و فیزیک، علوم عصبی و... ابداع و به‌عنوان ابزار جستجو و بهینه‌سازی در حوزه مسایل مختلف مانند علوم و مهندسی به‌کار گرفته شده‌اند (Esat & Hall, 1994; Anon, 1976; Carmen & Popa, 2010).

طرح و احداث سازه‌های تنظیم و کنترل جریان‌های رودخانه‌ای یعنی سدها یکی از زمینه‌های اصلی فعالیت متخصصان صنعت آب در دنیاست و برای اهداف مختلفی از جمله تأمین آب کشاورزی و شرب، کنترل سیلاب، تولید انرژی برق، پرورش ماهی و غیره انجام می‌پذیرد. پروژه‌های سدسازی در تمام نقاط دنیا جزء پروژه‌های بسیار بزرگ و پرهزینه محسوب می‌شوند و از این‌رو طرح مناسب و بهینه این نوع سازه‌ها در کاهش هزینه‌های پروژه و توجیه اقتصادی آن بااهمیت است (Ghezeli-Soufloo & Deyminiyyat, 2010). امروزه به‌دلیل پیچیدگی‌ها و مشکلات مختلف در حل مسایل بهینه‌سازی، تلاش‌های

بسیار امیدوارکننده گرفتند. ورعی و احمدی ندوشن (Varaei & Ahmadi-Nadoushan, 2008) به بهینه‌سازی مقطع سدهای بتنی وزنی با استفاده از الگوریتم ژنتیک پرداختند که کاهش در حجم بتن مصرفی در ساخت سد از نتایج این بهینه‌سازی بود. دهقانی و همکاران (Dehghani *et al.*, 2006) نیز از الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی مصنوعی برای بهینه‌سازی مقاطع سدهای بتنی وزنی استفاده کردند که با ارایه نتایج پژوهش گفته‌اند که به‌کارگیری شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک به خوبی می‌تواند در تخمین مقطع بهینه برای سد بتنی وزنی به‌کار رود. هدف از پژوهش حاضر، کاربرد روش بهینه‌سازی الگوریتم جفت‌گیری زنبورهای عسل (HBMO) در بهینه‌سازی ابعاد سدهای بتنی وزنی است که می‌توان حجم بتن مصرفی برای ساخت سازه را کاهش داد و در هزینه‌ها صرفه‌جویی کرد.

مواد و روش‌ها

سد کوینا^۲

سد بتنی وزنی کوینا ۱۰۳/۲ متر ارتفاع دارد و روی رودخانه کوینا در کشور هندوستان احداث شده است. ارتفاع تراز سیلابی و نرمال این سد به ترتیب برابر ۱۰۳ و ۹۱/۷۵ متر است. عرض تاج سد برابر ۱۴/۸ متر و حجم مخزن برابر ۲۷۹۷/۴ میلیون مترمکعب است. بهره‌برداری از این سد در سال ۱۹۶۴ آغاز شد. در جدول ۱ ابعاد هندسی- هیدرولیکی سد بتنی وزنی کوینا ارائه شده است (Calayir & Karaton, 2005).

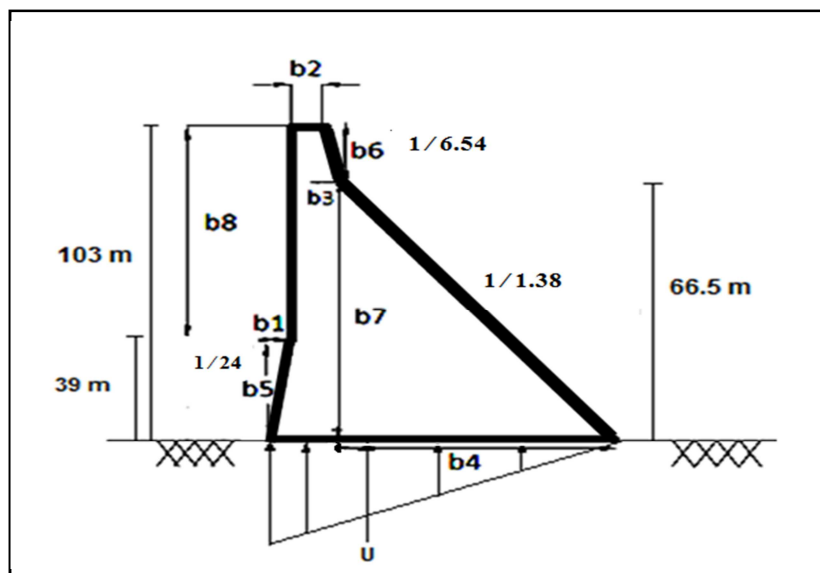
یکی از روش‌های جدید بهینه‌یابی با قدرت همگرایی بالا، الگوریتم بهینه‌یابی جفت‌گیری زنبور عسل^۱ است که در این پژوهش نیز برای دستیابی به مقطع بهینه از این الگوریتم استفاده شده است. این الگوریتم در فضای مسأله که شامل عوامل متغیری است جستجو می‌کند و امکان انتخاب بهترین حالت را فراهم می‌آورد (Ghezeli-oufloo & Deyminiyyat, 2010). روش جفت‌گیری زنبورهای عسل نیز مانند دیگر روش‌هایی که بر پایه زندگی حشرات شکل گرفته‌اند، می‌تواند به‌عنوان روشی عمومی برای بهینه‌سازی در نظر گرفته شود (Teo & Abbass, 2001). از این روش برای حل مسایل عمومی بهینه‌سازی از جمله در زمینه منابع آب و ... استفاده شده است که در ادامه به برخی از پژوهش‌ها پرداخته شده است. ماریناکیس و همکاران (Marinakakis *et al.*, 2011) در پژوهشی با عنوان کاربرد الگوریتم HBMO در حل مسأله فروشنده دوره‌گرد از این الگوریتم نتایج بسیار رضایت‌بخشی گرفتند. افشار و همکاران (Afshar *et al.*, 2007) نیز الگوریتم توسعه‌یافته جفت‌گیری زنبور عسل را ارائه دادند و از آن در بهینه‌سازی یک سیستم تک‌مخزنی پیوسته با توابع حد غیرخطی استفاده کردند. مقایسه نتایج با نتایج به‌دست آمده از نرم‌افزار لینگو^۲ نشان داده است که همگرایی به جواب بهینه مطلق در این الگوریتم بسیار سریع است. بزرگ‌حداد و همکاران (Bozorg-Haddad *et al.*, 2006) الگوریتم بهینه‌یابی جفت‌گیری زنبورهای عسل را در مسایل بهره‌برداری بهینه از مخازن سدها به‌کار بردند و نسبت به سایر الگوریتم‌های فراکوشی در حل مسایل، نتایجی

جدول ۱- ابعاد هندسی- هیدرولیکی سد بتنی وزنی کوینا

متغیر	حجم سد (مترمکعب)	b ₁ (متر)	b ₂ (متر)	b ₃ (متر)	b ₄ (متر)	b ₅ (متر)	b ₆ (متر)	b ₇ (متر)	b ₈ (متر)	H _u (متر)	H _d (متر)	H _{ur} (متر)	H _{dr} (متر)
مقدار	۳۶۳۳	۱/۶۳	۱۴/۸	۵/۶	۴۸/۱۹	۳۹	۳۶/۵	۶۶/۵	۶۴	۹۱/۷۵	۰	۱۰۳	۰

و H_{df} ، تراز آب پایین‌دست در حالت سیلابی است و متغیرهای b_1 تا b_8 ابعاد سد بتنی وزنی کوبنا هستند.

در جدول ۱: H_u ، تراز آب بالادست سد در حالت نرمال؛ H_d ، تراز آب پایین‌دست سد در حالت نرمال؛ H_{uf} ، تراز آب بالادست در حالت سیلابی؛



شکل ۱- نمایی دوبعدی از سد بتنی وزنی کوبنا

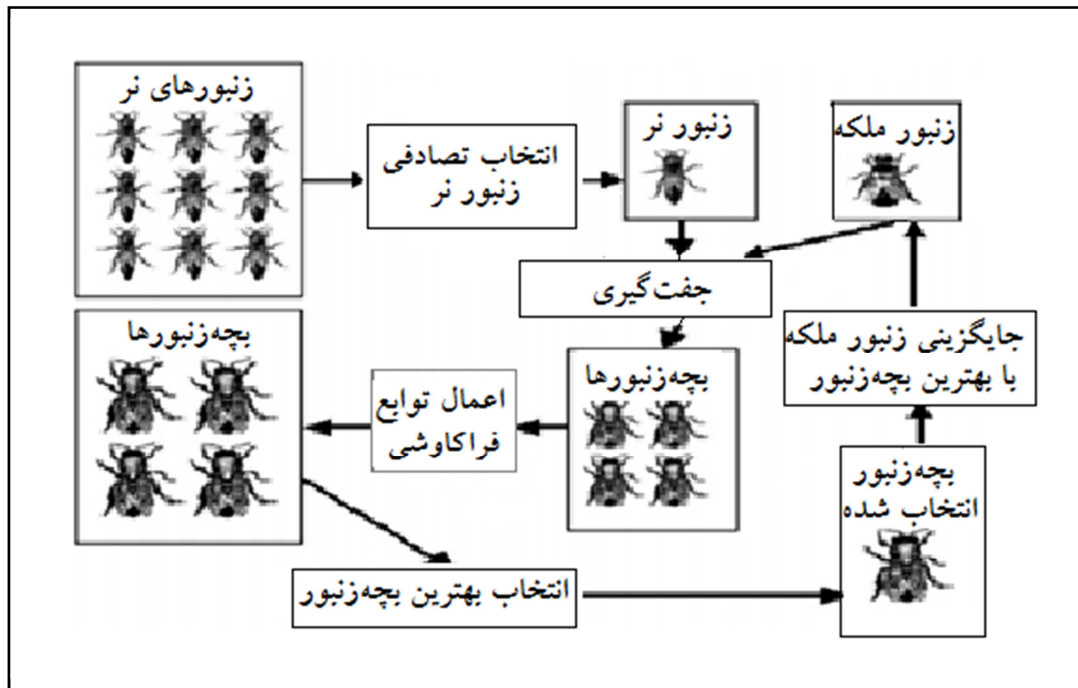
زنبورهای عسل را به شکل عناصر و توابعی تعریف کرد تا بتوان با ایجاد ارتباطاتی بین زنبورهای طبیعی و مصنوعی به حل مسایل بهینه‌سازی پرداخت. بدین ترتیب، هر جزء در الگوریتم دارای تعبیری در واقعیت و طبیعت است و روال حرکت و مسیر الگوریتم از رفتار واقعی زنبورهای عسل در طبیعت تبعیت می‌کند. بدین ترتیب در فرمول‌بندی ریاضی، هر زنبور نر و یا ملکه نمایانگر یک جواب مسأله است (Abbass, 2001).

در تعیین ابعاد بهینه سد بتنی وزنی، ابعاد سد به‌عنوان متغیر تصمیم در نظر گرفته می‌شوند و ضریب اطمینان در برابر لغزش و واژگونی سد قیود مسأله هستند. زنبورهای کارگر که نقش تغذیه ملکه و ارتقای نسل بچه‌زنبورها را در کندو بر عهده دارند به شکل یک‌سری توابع فراکاووشی تعریف می‌شوند. ملکه مهم‌ترین نقش را در فرآیند جفت‌گیری، هم در طبیعت و هم در الگوریتم HBMO، بر عهده دارد. ملکه با سرعت،

معرفی مدل بهینه‌سازی جفت‌گیری زنبور عسل (HBMO)

این الگوریتم بهینه‌سازی الهام گرفته از فرآیند جفت‌گیری زنبورهای واقعی در طبیعت است. مدل HBMO با وارد کردن مقادیر ثابت و متغیرهای مدل آغاز به کار می‌کند و انتخاب زنبورهای نر توسط ملکه به‌منظور جفت‌گیری شبیه‌سازی می‌شود. الگوریتم با تولید جواب‌های جدید (بچه‌زنبورها) از روی بهترین جواب (ملکه) و جواب‌های آزمایشی (زنبورهای نر) ادامه می‌یابد و پس از آن از یک‌سری توابع فراکاووشی (زنبورهای کارگر) به‌منظور ارتقای جواب‌های تولید شده جدید (غذا دادن به بچه‌زنبورها) بهره‌گیری می‌شود. در انتهای هر تکرار نیز بهترین جواب تولید شده با بهترین جواب موجود (ملکه) مقایسه و در صورت برتری جایگزین آن می‌شود. در حل مسایل بهینه‌سازی با استفاده از این روش در ابتدا باید هر یک از اجزا و فرآیندهای موجود در زندگی طبیعی

انرژی و یک حجم مشخص محفظه اسپرم شناخته می‌شود. هر زنبور نر بعد از جفت‌گیری با ملکه می‌میرد و با حذف کلیه زنبورهای نر در هر تکرار و تولید مجدد آنها شبیه‌سازی انجام می‌شود. گام‌های اساسی در الگوریتم HBMO در شکل ۲ ارائه شده است (Abbass, 2001).



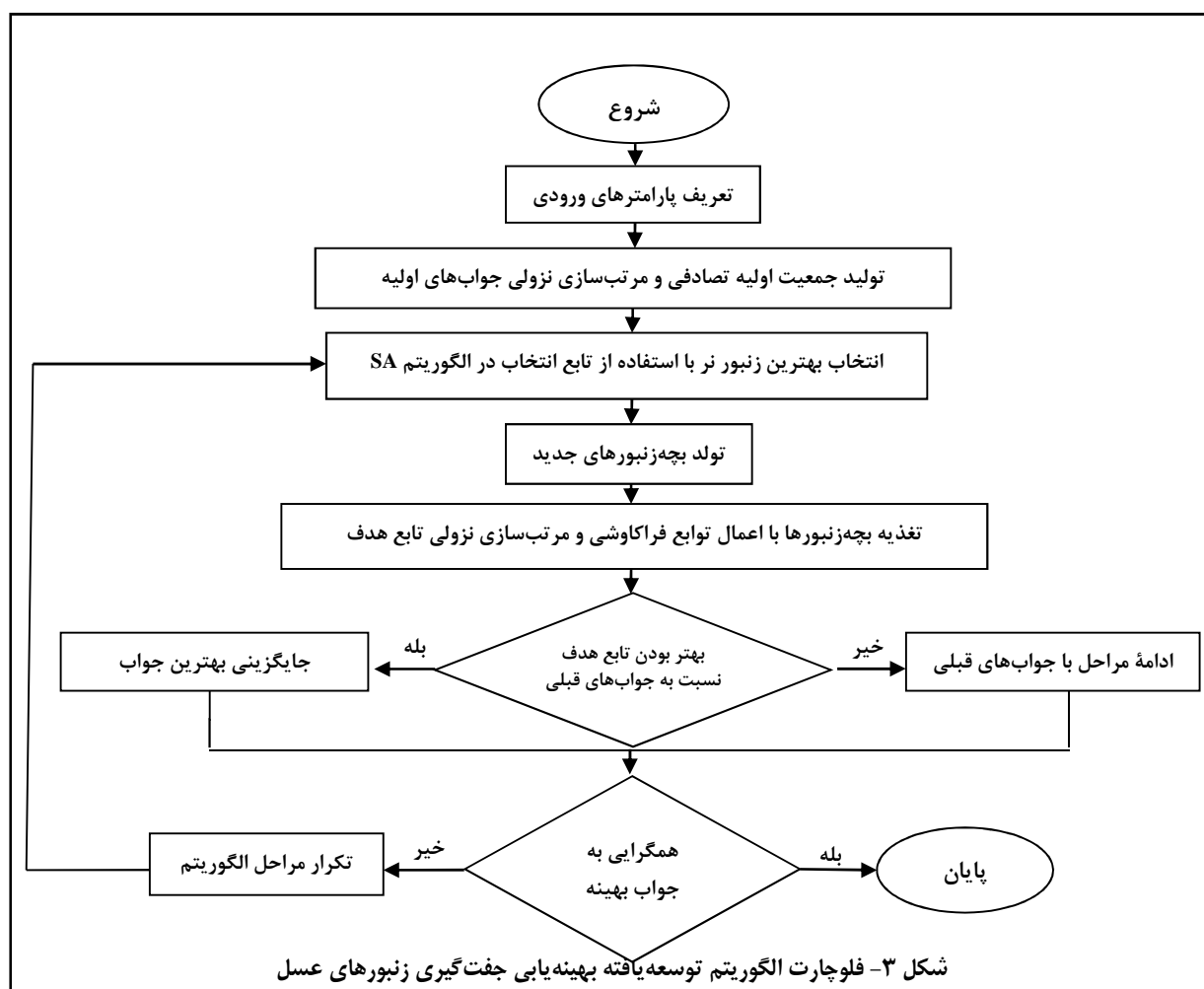
شکل ۲- الگوریتم HBMO (Abbass, 2001)

حجم محفظه اسپرم ملکه Q یا احتمال یک جفت‌گیری موفق؛ $\Delta(f)$ قدر مطلق اختلاف بین تابع برازش D (یعنی $f(D)$) و تابع برازش Q (یعنی $f(Q)$)؛ و $S(t)$ سرعت ملکه در لحظه t است. احتمال جفت‌گیری در ابتدای پرواز جفت‌گیری، که ملکه دارای سرعت زیاد است یا در زمانی که تابع برازش زنبور نر خوب و مناسب و به مقدار تابع برازش ملکه نزدیک است، بسیار زیاد است. به تدریج و بعد از هر جابه‌جایی ملکه در فضا، سرعت و انرژی او کاهش می‌یابد. شکل ۳ نمودار گردشی الگوریتم توسعه یافته در این پژوهش را نشان می‌دهد.

در این الگوریتم، هر زنبور کارگر به‌عنوان یک تابع فراکاوشی جهت ترقی نسل و مراقبت از مجموعه‌ای از بچه‌زنبورها عمل می‌کند و هر زنبور نر به‌طور احتمالاتی و توسط تابع نورد زیر جفت‌گیری می‌کند (Abbass, 2001).

$$\text{prob}(Q, D) = e^{\frac{-\Delta(f)}{s(t)}} \quad (1)$$

که در آن، $\text{prob}(Q, D)$ = احتمال اضافه شدن اسپرم زنبور نر D به



مدلسازی مسأله

به‌منظور بهینه‌کردن ابعاد سد بتنی وزنی مورد مطالعه، مقطعی کلی و فراگیر به عرض واحد شامل هشت پارامتر هندسی (b_1 تا b_8) به‌عنوان متغیرهای طراحی در نظر گرفته شد و سایر پارامترهای هندسی به‌طور وابسته به این متغیرها تعریف گردید. سطح مقطع سد تابع هدف مسأله است به‌طوری‌که هدف، کاهش مقدار این سطح است. کلیه نیروها و گشتاورهای لازم بر حسب متغیرهای طراحی تعیین و تنش‌های نرمال در بالادست سد و نیز ضرایب اطمینان در برابر واژگونی و لغزش محاسبه شد. برنامه مربوط در محیط نرم‌افزار متلب

تهیه و به‌عنوان زیربرنامه‌ای در مدل بهینه‌سازی توسعه‌یافته فراخوانی شد.

نیروهای وارد بر مقطع سد بتنی وزنی

نیروهای وارد بر سد را می‌توان به‌طور کلی به دو دسته تقسیم کرد: نیروهای در جهت پایداری و نیروهای در خلاف جهت پایداری. نیروهایی که در جهت پایداری سد عمل می‌کنند عبارت‌اند از: نیروی ناشی از وزن سد، مؤلفه قائم نیروی هیدرواستاتیک فشار آب (رو به پایین) و نیروی ناشی از فشار رسوبات (رو به پایین) که به‌صورت قائم بر بدنه سد وارد می‌شود. نیروهایی که در خلاف جهت

اِعمال محدودیت‌هاست. قیود در این مسأله شامل ضریب اطمینان در برابر لغزش، واژگونی و تنش در سطح بدنهٔ سد است که باید مقدار مجاز آنها کنترل شود.

ضریب اطمینان در برابر لغزش

عواملی که می‌توانند در مقابل لغزش سد مقاومت کنند، عبارت‌اند از اصطکاک و مقاومت برشی موجود بین دو قطعه یا بین سد و فونداسیون در محل قاعده که مجموعاً نیروهای مقاوم در مقابل لغزش را تشکیل می‌دهند؛ هر سد باید به‌گونه‌ای طراحی شود که این نیروها از نیروهای لغزشی بیشتر باشد. بر این اساس، ضریب اطمینان^۱ در مقابل لغزش عبارت خواهد بود از نسبت کل نیروهای قائم مقاوم در برابر لغزش به نیروهای افقی لغزشی که در دو حالت قابل بررسی است. حالت اول با فرض صرف‌نظر کردن از مقاومت برشی مقطع، که در این صورت ضریب اطمینان در مقابل لغزش از رابطهٔ ۴ به‌دست می‌آید:

$$SF_S = \mu \frac{\sum F_V}{\sum F_H} \quad (4)$$

که در آن،

$\sum F_V$ = مجموع نیروهای قائم وارد بر مقطع؛ $\sum F_H$ = مجموع نیروهای افقی وارد بر مقطع؛ و μ = ضریب اصطکاک بین مصالح دو قطعهٔ بالایی و پایینی. مقدار μ برای بتن، مصالح بنایی و سنگ بین ۰/۶۵ تا ۰/۸ تغییر می‌کند که عموماً ۰/۷۵ انتخاب می‌شود. ضریب اطمینان در مقابل لغزش باید بزرگ‌تر از یک باشد و در این حالت اگر مقاومت برشی را نیز در نظر گرفته شود مقدار این ضریب بیشتر از یک خواهد بود (Abrishami, 2001). حالت دوم در صورتی است که ضریب اطمینان محاسبه شده کمتر از یک باشد.

پایداری سد عمل می‌کنند عبارت‌اند از مؤلفهٔ افقی نیروی هیدرواستاتیک فشار آب مخزن، نیروی زیر فشار، نیروی زلزله (در بدنه و در مخزن سد) و نیروی ناشی از فشار رسوبات که به صورت افقی بر بدنهٔ سد وارد می‌شود. بارگذاری سدها باید بر اساس بحرانی‌ترین حالت باشد و به‌همین دلیل در این پژوهش برای تحلیل پایداری سد ترکیبات بارگذاری در حالت بارگذاری فوق‌العاده در نظر گرفته شده است (Anon, 1976, 1987).

مدل بهینه‌سازی ابعاد سد بتنی وزنی

در این پژوهش از الگوریتم بهینه‌سازی جفت‌گیری زنبور عسل به‌منظور دستیابی به بهترین ابعاد سد بتنی وزنی کوینا و نیز در جهت رسیدن به جواب‌هایی نزدیک به بهینهٔ مطلق استفاده شده است تا سد مورد مطالعه دارای مناسب‌ترین حجم بتن مصرفی ممکن باشد. برای رسیدن به کمترین میزان هزینهٔ ساخت سد، تابع هدف مسأله به حداقل رساندن حجم بتن مصرفی در ساخت سد و متغیرهای تصمیم‌گیری شامل ابعاد سد بتنی وزنی کوینا هستند. تابع هدف در این مسأله به‌صورت زیر محاسبه شده است:

$$C = \text{Min } V(x) \quad (2)$$

$$C = \text{Minimize} \left[\left(\frac{1}{2} \times b_1 \times b_5 \right) + (b_2 \times (b_8 + b_5)) + \left(\frac{1}{2} \times b_3 \times b_6 \right) + (b_3 \times b_7) + \left(\frac{1}{2} \times b_4 \times b_7 \right) \right] \quad (3)$$

که در آنها،

$V(x)$ = حجم بتن مصرفی و پارامترهای b_1 تا b_8 متغیرهای تصمیم یا همان ابعاد سد بتنی وزنی کوینا هستند. یکی دیگر از موارد مهم در توسعهٔ مدل بهینه‌سازی،

$$\sigma_u = \frac{\sum F_V}{b} - \frac{6 \sum M_o}{b^2} \quad (6)$$

$$\sigma_d = \frac{\sum F_V}{b} + \frac{6 \sum M_o}{b^2} \quad (7)$$

که در آنها،

σ_u و σ_d = به ترتیب تنش قائم در سطح بدنه سد در سراب و پایاب؛ $\sum M_o$ = مجموع گشتاور نیروهای وارد بر سد تا سطح مورد بررسی نسبت به مرکز سطح؛ و $\sum F_V$ = مجموع نیروهای قائم. یادآوری می‌شود که در این پژوهش نیروهای در جهت نیروی ثقل مثبت، در جهت خلاف نیروی ثقل منفی، گشتاورها در جهت عقربه‌ای منفی در نظر گرفته شدند. برای اینکه سد در برابر تنش قائم ایجاد شده پایدار باشد باید σ_u و σ_d در شرایط پر یا خالی بودن مخزن مثبت باشند و نباید این مقدار از مقاومت فشاری مجاز بیشتر گردد. معمولاً مقاومت فشاری آزموده بتن برای سدها را در محدوده ۱۴۰ تا ۳۵۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع در نظر می‌گیرند (Anon, 1976).

پایداری در برابر واژگونی

اگر لنگرهای مقاوم نسبت به پنجه سد حدود ۱/۵ تا ۱/۷ برابر مجموع لنگرهای واژگون کننده نسبت به همان نقطه باشند، سد در برابر واژگونی پایدار می‌ماند؛ رابطه آن در زیر ارائه شده است (Anon, 1976):

$$SF_o = \frac{\sum M_R}{\sum M_o} = 1.5 - 1.7 \quad (8)$$

که در آن،

در این صورت لازم است با اضافه کردن مقاومت برشی مقطع، ضریب اصطکاک برشی از رابطه ۵ محاسبه شود:

$$SFF = \frac{f' \sum F_V + b\sigma}{\sum F_H} \quad (5)$$

که در آن،

F_V = نیروهای قائم وارد بر سد؛ F_H = نیروهای افقی وارد بر سد؛ فاصله b = طول قاعده در سطح مورد مطالعه؛ و σ = تنش برشی مجاز مواد در سطح برش. تنش برشی مجاز بتن حدود یک‌چهارم مقاومت برشی یا یک‌بیستم مقاومت فشاری آن است. تنش برشی مجاز بتن بین ۷ تا ۱۴ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع در نظر گرفته می‌شود. ضریب اصطکاک استاتیکی f' برای حرکت بتن روی سنگ یا بتن در سطح بتنی اغلب بین ۰/۶۵ تا ۰/۷۵ تغییر می‌کند که به‌طور متوسط برابر با ۰/۷ در نظر گرفته می‌شود. بر اساس توصیه استاندارد اداره عمران و آبادانی آمریکا برای سدهای کوتاه، در صورت خسارت جانی و مالی در اثر شکسته شدن سد، باید $SFF \geq 4$ در نظر گرفته شود (Anon, 1987). محدودیت دیگر در نظر گرفته شده در این مسأله مقدار مجاز تنش است. تنش‌های به وجود آمده در سازه سد باید در محدوده‌ای خاص از تنش باشد و طراحی به‌گونه‌ای صورت پذیرد که تنش در هر نقطه از سد و فونداسیون از حد تنش مجاز بیشتر نشود و بتوان در صورت امکان از تمام مقاومت سازه و فونداسیون استفاده کرد (Anon, 1976).

تنش قائم در سطح بدنه سد

برای مطالعه تنش قائم در سطح بدنه سد در سراب و پایاب از دو رابطه زیر استفاده می‌شود:

و تعداد کل زنبورها در برنامه برابر با ۲۰۰ در نظر گرفته شده است. در جدول ۲ نتایج به دست آمده از مقادیر متغیرهای تصمیم و تابع هدف در بهترین حالت یعنی در ۱۰ بار اجرای برنامه و در پایان ۲۰۰ پرواز جفت‌گیری و در شکل ۵ نتایج حاصل ارائه شده است. در شکل ۴ نیز تغییرات تابع هدف در ۱۰ اجرای برنامه و در پایان ۲۰۰ پرواز جفت‌گیری نشان داده شده است.

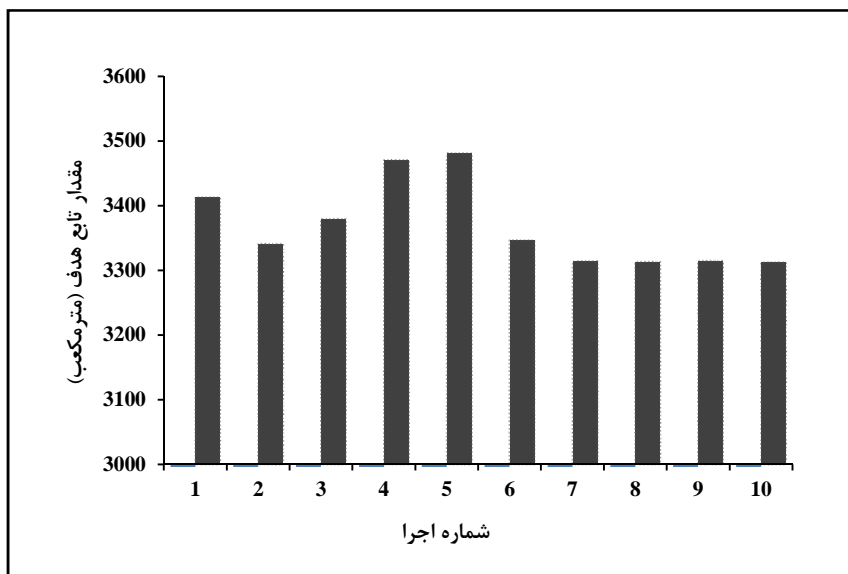
M_R = گشتاور نیروهای مقاوم؛ و M_O = گشتاور نیروهای محرک وارد بر سد.

نتایج و بحث

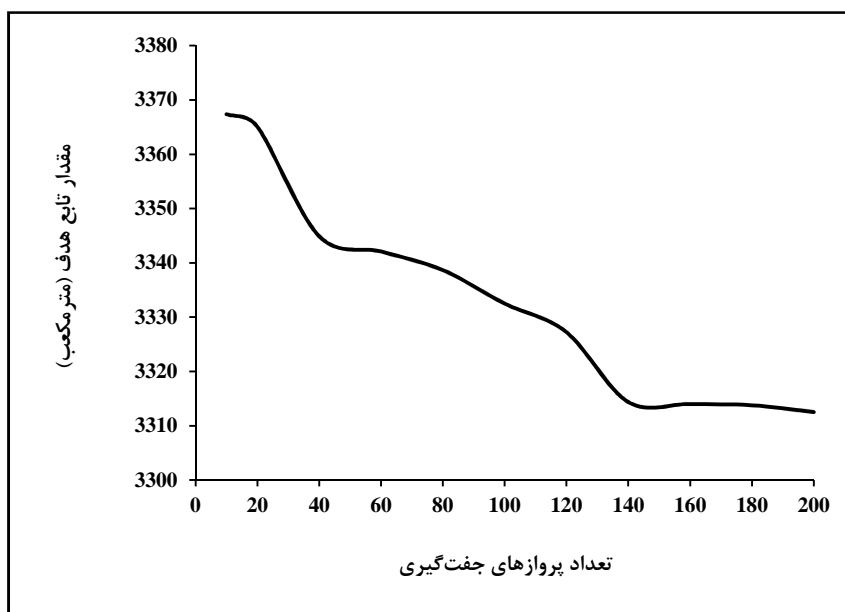
در این پژوهش، ابعاد سد بتنی وزنی کوبینا با استفاده از توسعه مدل بهینه‌سازی جفت‌گیری زنبورهای عسل بهینه‌سازی شد. برنامه در تکرارها و پروازهای جفت‌گیری مختلف اجرا شده است

جدول ۲- مقادیر متغیرهای تصمیم و تابع هدف در ۱۰ بار اجرای برنامه و در پایان ۲۰۰ پرواز جفت‌گیری

پارامتر تعداد	تکرار	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
$b_1(m)$		۱/۹۴	۱/۴۲	۱/۶۲	۱/۷۲	۱/۹۸	۱/۹۴	۱/۶۵	۱/۶۲	۱/۱۷	۱/۳۲
$b_2(m)$		۱۳/۶۵	۱۳/۲۸	۱۳/۱۸	۱۴/۶۱	۱۴/۹۹	۱۲/۰۹	۱۴/۲۳	۱۴/۱۳	۱۳/۶۳	۱۳/۹۴
$b_3(m)$		۵/۸۰	۵/۹۶	۴/۶۰	۵/۶۳	۴/۰۱	۵/۸۸	۴/۱۶	۴/۴۶	۵/۱۱	۴/۵۴
$b_4(m)$		۴۷/۰۷	۴۷/۱۶	۴۹/۹۹	۴۷/۳۷	۴۷/۷۸	۴۷/۹۲	۴۷/۸۶	۴۷/۵۰	۴۷/۲۷	۴۷/۵۴
$b_5(m)$		۴۱/۰۴	۴۱/۵۱	۳۹/۵۰	۴۲/۴۹	۳۹/۴۳	۴۱/۳۲	۴۱/۹۰	۴۱/۶۵	۴۲/۳۲	۳۹/۶۴
$b_6(m)$		۳۸/۱۲	۳۷/۰۹	۳۷/۹۳	۴۰/۳۲	۴۴/۹۳	۴۴/۴۳	۳۹/۰۳	۴۱/۳۱	۳۵/۲۹	۳۵/۷۸
$b_7(m)$		۶۳/۲۸	۶۲/۰۶	۶۴/۲۹	۶۱/۹۲	۶۴/۷۹	۶۴/۶۹	۶۱/۶۹	۶۱/۳۶	۶۲/۴۸	۶۲/۴۹
$b_8(m)$		۶۱/۹۶	۶۱/۴۸	۶۳/۴۹	۶۰/۵۱	۶۳/۵۷	۶۱/۶۸	۶۳/۲۹	۶۱/۳۵	۶۰/۶۸	۶۳/۹۹
(m^3)											
تابع هدف		۳۴۱۲/۷۴	۳۳۴۱/۱۴	۳۳۷۹/۸۲	۳۴۷۰/۶۰	۳۴۸۱/۰۳	۳۳۴۶/۶۶	۳۳۱۴/۱۶	۳۳۱۳/۱۱	۳۳۱۴/۸۹	۳۳۱۲/۵۲



شکل ۴- نمودار تغییرات تابع هدف در ۱۰ بار اجرای برنامه و در پایان ۲۰۰ پرواز جفت‌گیری در سد کوینا



شکل ۵- نحوه تغییرات مقدار تابع هدف در طول پروازهای جفت‌گیری مختلف در بهترین ۱۰ اجرا

سد کوینا است. طبق نتایج حاصل از مدل بهینه‌سازی و همان‌طور که در بالا ارائه شده است، مقدار تابع هدف طی پروازهای جفت‌گیری متفاوت تغییر کرده و از مقدار آن به تدریج کاسته شده است. گفتنی است که مقدار تابع هدف از پرواز جفت‌گیری ۱۴۰م تا پرواز

در اینجا دیده می‌شود که بهترین مقدار تابع هدف در ۱۰ بار اجرای برنامه و در پروازهای جفت‌گیری متفاوت، در ۱۲۰امین (دویستمین) پرواز جفت‌گیری به دست آمده و مقدار آن برابر با ۳۳۱۲/۵۲ مترمکعب است که نشان‌دهنده حجم بهینه بتن مصرفی برای ساخت

به هنگام پروازهای جفت‌گیری در بهترین ۱۰ اجرا و در پروازهای جفت‌گیری مختلف در شکل ۵ ارائه شده است. بهترین مقدار تابع هدف و متغیرهای تصمیم بهینه این مسأله که در پرواز ۲۰۰ام و در تکرار دهم برنامه به‌دست آمده است در مقایسه با ابعاد موجود در جدول ۳ ارائه شده است.

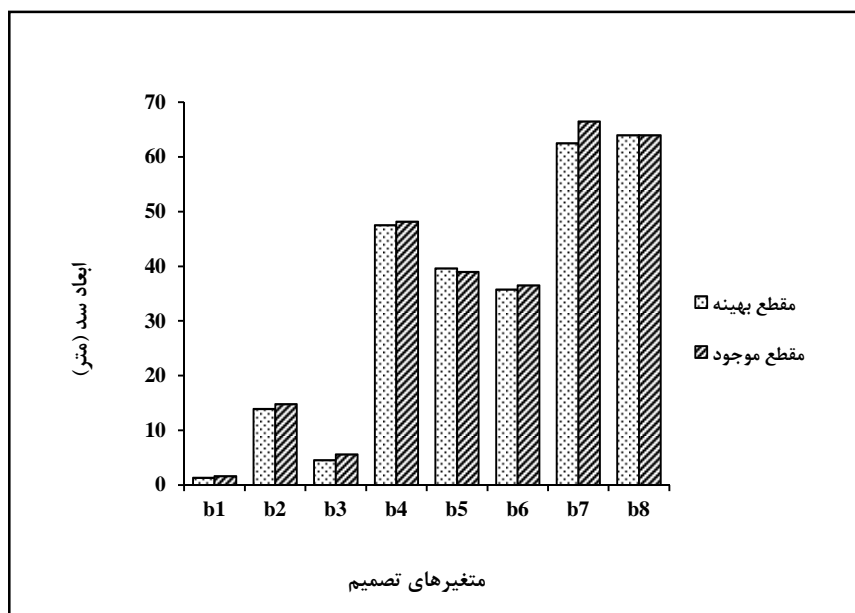
جفت‌گیری ۲۰۰ام تقریباً ثابت مانده است که به این معنی است که تابع هدف مسأله به جواب بهینه همگرا شده است، به‌همین دلیل در پرواز ۲۰۰ام شرط توقف الگوریتم برقرار شده است. بدین ترتیب، در بهترین حالت تابع هدف یعنی در پرواز ۲۰۰ام، مقدار تابع هدف برابر با ۳۳۱۲/۵۲ مترمکعب به‌دست آمده است. چگونگی تغییرات تابع هدف

جدول ۳- ابعاد موجود و بهینه سد بتنی وزنی کوینا با استفاده توسعه مدل جفت‌گیری زنبورهای عسل (متر)

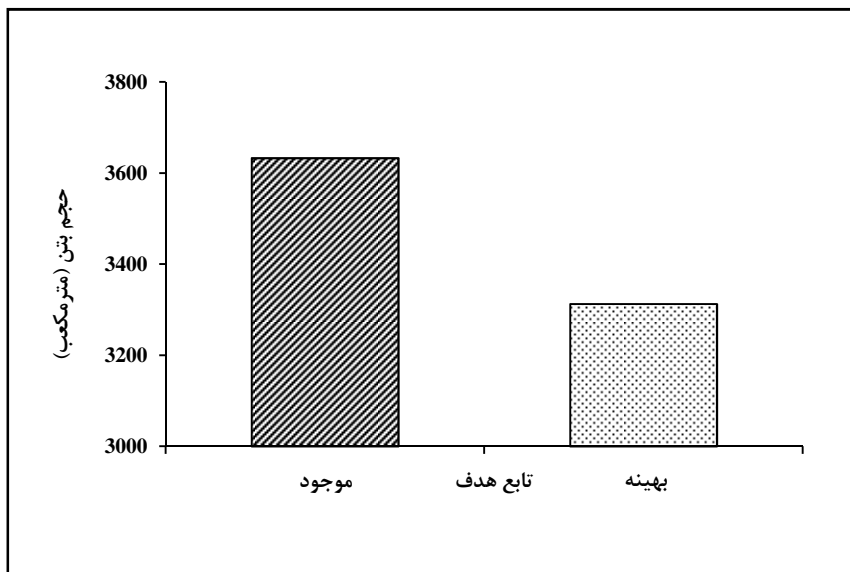
تابع هدف	b ₈	b ₇	b ₆	b ₅	b ₄	b ₃	b ₂	b ₁	
مقدار موجود	۳۶۳۳	۶۴	۶۶/۵	۳۶/۵	۳۹	۴۸/۱۹	۵/۶	۱۴/۸	۱/۶۳
مقدار بهینه	۳۳۱۲/۵۲	۶۳/۹۹	۶۲/۴۹	۳۵/۷۸	۳۹/۶۴	۴۷/۵۴	۴/۵۴	۱۳/۹۴	۱/۳۲

صرفی در حالت مقاطع موجود و بهینه مقایسه شده‌اند.

در شکل‌های ۶ و ۷ نیز به‌ترتیب ابعاد سد بتنی وزنی کوینا و مقادیر حجم بتن



شکل ۶- مقایسه ابعاد سد بتنی وزنی کوینا در حالت موجود و بهینه (متر)



شکل ۷- حجم بتن مصرفی در ساخت سد کوینا در حالت موجود و بهینه (مترمکعب)

پس از محاسبه ابعاد بهینه سد، ضرایب اطمینان در برابر واژگونی و لغزش و تنش در سطح بدنه سد نیز محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴- پارامترهای تحلیل تنش و پایداری در حالت موجود و بهینه در سد بتنی وزنی کوینا

σ_u (تن بر مترمربع)	S_{FF}	S_F	بارگذاری فوق‌العاده
۹۰/۳۹	۱/۵۸	۱/۶۴	در حالت موجود
۱۳۰/۲۴	۱/۵۴	۱/۵۳	در حالت بهینه

نتیجه‌گیری

در جدول ۴، S_F ضریب اطمینان در برابر واژگونی، S_{FF} ضریب اطمینان در برابر لغزش؛ و $\sigma_u =$ تنش در سطح بدنه سد. از نتایج ارائه شده مشاهده می‌شود که مقدار قیود مسأله بعد از بهینه‌سازی دارای مقادیر مناسب و قابل اطمینانی است و با توجه به استانداردهای ذکر شده، سد بتنی وزنی کوینا با ابعاد بهینه شده با الگوریتم بهینه‌سازی جفت‌گیری زنبورهای عسل در برابر نیروهای مختلف وارد شده پایدار می‌ماند.

استفاده از پارامترهای بهینه در این مسأله تأثیری چشم‌گیر در افزایش دقت طراحی و انتخاب ابعاد برای کمینه کردن حجم بتن مصرفی در ساخت سد دارد. میزان تابع هدف (حجم بدنه) سد بتنی وزنی کوینا، بر اساس پارامترهای موجود و پارامترهای بهینه با استفاده از روش بهینه‌سازی جفت‌گیری زنبورهای عسل به ترتیب برابر با ۳۶۳۳ و ۳۳۱۲/۵۲ مترمکعب است. این نتایج

نشان‌دهنده کاهش مقدار تابع هدف به میزان اجرای برنامه، میزان تابع هدف به تابع هدف همگرا شده است. در نتیجه، مدل بهینه‌سازی جفت‌گیری زنبورهای عسل دارای همگرایی سریع به جواب می‌دهد که در پرواز جفت‌گیری ۲۰۰ام و در ده بار بهینه است.

مراجع

- Abbass, H. A. 2001. Marriage in Honey Bees Optimization (MBO): a haplometrosis polygynous swarming approach. The Congress on Evolutionary Computation. May 27-30. 1, 207-214.
- Abrishami, J. 2001. Concrete Dams; Design and Performance. Astan-e-Qods Razavi Press. (in Persian)
- Afshar, A., Bozorg-Haddad, O., Marino, M. A. and Adams, B. J. 2007. Honey Bee Mating Optimization (HBMO) algorithm for optimal reservoir operation. J. Franklin Instit. 344(5): 452-462.
- Anon. 1976. Design of Gravity Dams. United States Department of the Interior Bureau of Reclamation (USBR). A Water Resources Technical Press. Colorado.
- Anon. 1987. Design of Small Dams. United States Department of the Interior Bureau of Reclamation (USBR). 1987. A Water Resources Technical Press. Colorado.
- Blum, C. and Roli, A. 2003. Metaheuristics in combinatorial optimization overview and conceptual comparison. ACM Comput. Surv. 35(3): 268-308.
- Bozorg-Haddad, O., Afshar, A. and Marino, M. A. 2006. Honey Bee Mating Optimization (HBMO) algorithm: a new heuristic approach for water resources optimization. Water Resour. Manag. 20, 661-680.
- Calayir, Y. and Karaton, M. 2005. A continuum damage concrete model for earthquake analysis. Soil Dyn. Earthq. Eng. 25(3): 857-869.
- Carmen, S. and Popa, R. 2010. Application of honey-bees mating optimization algorithm to pumping station scheduling for water supply. Mech. Eng. 72(1): 77-84.
- Dehghani, A. A., Montazer, Gh. A., Nasiri, F. and Ghodsian, M. 2006. Use of genetic algorithms and artificial neural network for optimization of concrete gravity dam sections. J. Modares Technic. Eng. 25, 99-112. (in Persian)
- Esat, V. and Hall, M. J. 1994. Water resources system optimization using genetic algorithms. Proceeding of the First International Conference on Hydroinformatics. Balkema. Rotterdam. 1, 225-231.
- Ghezal-Soufloo, A. and Deyminiyat, A. 2010. Application of genetic algorithm in optimization of embankment dams: case study Hesar-Sangi dam in Birjand. Proceeding of the First National Conference on Applied Research of Water Resources. (in Persian)
- Marinakis, Y., Marinaki, M. and Dounias, G. 2011. Honey Bees Mating Optimization algorithm for the euclidean traveling salesman problem. J. Info. Sci. 181(20): 4684-4698.

- Teo, J. and Abbas, H. A. 2001. An Annealing approach to the mating flight trajectories in the marriage in Honey Bees Optimization algorithm. Technical Report CS04/01. School of Computer Science. University of New South Wales at ADFA.
- Varaei, H. and Ahmadi-Nadoushan, B. 2008. Comparison of classic optimization techniques and intelligent in determining the optimum section of concrete gravity dams. Proceeding of the Fourth National Congress of Civil Engineering. University of Tehran. (in Persian)
- Wardlaw, R. and Sharif, M. 1999. Evaluation of genetic algorithms for optimal reservoir system operation. J. Water Resour. Plann. Manage-ASCE. 125(1): 25-33.

Optimization of Optimal Dimensions of Concrete Gravity Dams Using Honey Bee Mating (HBMO) Model

H. Ghodousi* and M. Oskouhi

* Corresponding Author: Assistant Professor, Department of Water Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran. Email: ghodousi_he@yahoo.com

Received: 28 October 2015, Accepted: 28 April 2016

The cost of concrete gravity dams is more than other dams, Therefore in order to make the project more economical, optimization of dimensions with aim of reducing the volume of concrete used, becomes a necessity. In this study keeping in view the sustainability situation, dimensions of Koyna concrete gravity dam was developed and optimized by using Honey Bee Mating Optimization model in the Matlab software. The results show that the volume of concrete used in the construction of this dam is equal to 3633 m³ for existing dimensions, and Under optimal dimensions it declined to 3312.52 m³, which indicates a reduction of 8.82 percent in the objective function value (volume of concrete used in the construction of the dam). Therefore it can be concluded the reduced volume of concrete used for the construction of the dam makes a considerable saving on the costs of the project, and hence the project will be economical.

Keywords: Honey Bee Mating Optimization Method, Koyna Concrete Gravity Dam, Optimal Dimensions of Dam