بهره‌برداری بهینه از ایستگاههای پمپاژ متوالی با استفاده از الگوریتم PSO

رسول رجب‌پور[1] محمدهادی افشار[2]

(دریافت ۸۶/۴/۲۴ پذیرش ۸۶/۱۲/۱۱)

چکیده

امروزه انرژی نقش بسیار مهمی در زندگی بشر دارد. با افزایش جمعیت و کمبود منابع انرژی استفاده و بهره‌وری بهینه از منابع انرژی از اهمیت خاصی برخوردار شده است. از جمله این منابع انرژی، انرژی الکتریسیته است که در ایستگاههای پمپاژ نقشی اساسی ایفا می‌کند.گاهی اوقات طولانی بودن مسیر انتقال آب و یا اختلاف ارتفاع زیاد در طول مسیر ایجاب می‌کند که ایستگاههای پمپاژ به صورت متوالی طراحی گردند. در این مقاله با استفاده از الگوریتم PSO مدل جدیدی برای بهره‌برداری بهینه از ایستگاههای پمپاژ متوالی ارائه شده است. با توجه به محدودیتهای موجود، دستورالعمل بهره‌برداری از پمپ‌های موجود در هر ایستگاه به گونه‌ای ارائه شده که هزینه بهره‌برداری کمینه شود. مدل پیشنهادی در مورد طرح آبرسانی از سد درودزن به شهر شیراز استفاده و دستورالعمل بهره‌برداری بهینه از ایستگاههای پمپاژ موجود آن استخراج و ارائه شده است. نتایج حاصل، بیانگر ضرورت استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی در بهره‌برداری از ایستگاههای پمپاژ و قابلیت بالای مدل پیشنهادی است.

واژه‌های کلیدی: ایستگاه پمپاژ، طراحی، بهره برداری، الگوریتم PSO، بهینه سازی.

Optimized Operation of Serial Pump Stations Using the PSO Algorithm

Rasool Rajabpur [1] *Mohammad Hadi Afshar [2]*

(Received July 14, 2007 Accepted Mar. 1, 2008)

Abstract

Energy plays an increasingly important role in human life. Population growth and shortage of energy warrant optimal utilization of our limited resources. Pumping stations typically run on electric power and economical use of the power is desirable. Serial pumping stations are often required when the pipeline is long or when the required pumping head is too large to be handled by the existing single pumps. In this paper, a new PSO-based model is proposed for optimal operation of serial pumping stations. The proposed model is applied to a real-world situation-the water supply system conveying water from Doroudzan Dam to the city of Shiraz. The results are compared with those of the existing operating policies. Comparisons indicate the high capability of the proposed model.

Keywords: Pumping Station, Design, Operation, PSO Algorithm, Optimization.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران-آب، دانشگاه علم و صنعت ایران،
rasoul_1360@yahoo.com
۲- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

1. Graduate Student of Civil Engineering, Iran University of Science & Technology, rasoul_1360@yahoo.com
2. Assos. Professor of Civil Engineering, Iran University of Science & Technology

۱- مقدمه

انرژی نقش بسیار مهمی در زندگی امروزی بشر دارد. در همین راستا استفاده از انرژی الکتریکی برای پمپاژ آب، پیشرفت روزافزونی داشته است. پمپ از جمله اولین وسایلی است که بشر برای بهره‌گیری هر چه بهتر از منابع آبی آن را اختراع کرده است و به تدریج انواع و اقسام آن را به منظور استفاده در شرایط مختلف ابداع نموده است.

عوامل مختلف زیادی بر عملکرد و راندمان یک ایستگاه پمپاژ تأثیر دارد که عدم توجه به آنها باعث می‌شود که هزینه‌های زائدی بر سیستم تحمیل شود، لذا در یک طراحی بهینه باید تمامی عوامل مؤثر بر سیستم در راستای کاهش هزینه‌های سیستم مد نظر قرار گرفته شود. در سیستم‌های پمپاژ مهم‌ترین عامل، نحوه عملکرد پمپ‌ها می‌باشد. از آنجا که راندمان پمپ با دبی آن تغییر می‌کند، بنابراین میزان انرژی مصرفی در واحد حجم آب پمپاژ شده در هر پمپ به‌ازای دبی‌های مختلف پمپاژ متفاوت است و حتی‌الامکان باید پمپ‌ها در راندمان حداکثر خود کار کنند.

مسئله عملکرد بهینه پمپ‌ها در یک سیستم پمپاژ از لحاظ ریاضی، یک مسئله برنامه‌ریزی غیرخطی[1] در حالت بزرگ مقیاس[2] است. زیرا در این مسئله تابع هدف و قیود مسئله‌ای غیر خطی هستند و تعداد متغیرهای تصمیم[3] نیز زیاد است. تابع هدف چنین مسئله‌ای به حداقل رساندن هزینه پمپاژ در طول یک افق بهره‌برداری است که سیستم در طی آن مدت به پمپاژ آب مشغول است.

در این راستا تحقیقات زیادی صورت گرفته که در این تحقیقات از برنامه‌ریزی پویا[4] برای بهره‌برداری بهینه ایستگاههای پمپاژ استفاده شده است. اما از آن جهت که برنامه‌ریزی پویا محدودیت بسیار شدیدی بر ابعاد و اندازه مسئله تحمیل می‌کند، بنابراین تعداد پمپ‌های مورد استفاده در شبکه و امکانات ذخیره‌سازی و نیز اندازه شبکه پمپاژ الزاماً کوچک انتخاب شدند.

از آنجا که کاربرد برنامه‌ریزی پویا در زمینه بهینه‌سازی ایستگاههای پمپاژ چندان با موفقیت توأم نبود، محققان روشهای دیگری را برای بهینه‌سازی ایستگاههای پمپاژ معرفی نمودند. بدین منظور، اُرمزبی[5] و همکاران در سال ۱۹۸۹ از روش برنامه‌ریزی غیر خطی برای تعیین عملکرد بهینه سیستم پمپاژ شبکه توزیع آب همراه با مخازن ذخیره چندگانه استفاده کردند [۱]. آنها از یک بهینه ساز[6] غیرخطی و یک شبیه ساز[7] هیدرولیکی برای تأمین قیود هیدرولیکی استفاده کردند. این تحقیق نویددهنده تولد روشی جدید در بهینه‌سازی ایستگاه پمپاژ بود، اما این روش نیز خود دارای محدودیتهایی بود که در تحقیقات بعدی بروز کرد.

در سالهای اخیر تحقیقات زیادی بر روی عملکرد بهینه پمپ‌ها و ایستگاههای پمپاژ صورت گرفته است. برای نمونه، میکل[8] و همکاران در سال ۱۹۹۵ در زمینه بهره‌برداری بهینه (هزینه برق مصرفی) ایستگاههای پمپاژ تحقیقاتی انجام دادند. در تحقیق مورد نظر از الگوریتم ژنتیک به عنوان الگوریتم بهینه ساز استفاده شد [۲]. رادین[9] در سال ۱۹۹۸ با استفاده از الگوریتم ژنتیک، کنترل آب ذخیره را در مخازن انجام داد [۳]. رادین و مرادی جلال در سال ۲۰۰۲ با استفاده از الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی ایستگاههای پمپاژ را برای کمینه کردن هزینه در طول یک شبانه‌روز انجام دادند [۴]. مرادی جلال و همکاران در سالهای ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ با استفاده از الگوریتم ژنتیک برنامه‌ای را برای بهینه‌سازی ایستگاههای پمپاژ آب کشاورزی ارائه نمودند [۵ و ۶]. در این مدل با داشتن مشخصات پمپ‌های پیشنهادی و با توجه به منحنی نیاز در پایین‌دست ترکیب مختلفی از پمپ‌ها که می‌توانستند نیاز را برطرف سازند ساخته می‌شود و سپس با کمک الگوریتم ژنتیک برای هر مجموعهٔ ساخته شده، بهینه‌سازی انجام می‌شود و سپس گزینه‌ای که دارای کمترین هزینه است به عنوان گزینه نهایی انتخاب می‌گردد.

با توجه به قدمت کوتاه معرفی الگوریتم PSO[10] به عنوان یک روش مؤثر و کارا در حل مسائل بهینه‌سازی و همچنین زمینه تخصصی مبتکران این روش، در ابتدا از PSO بیشتر در حل مسائل علوم کامپیوتر و مهندسی برق و الکترونیک استفاده می‌شد. با نتایج قابل قبولی که از تحقیق بر روی این الگوریتم حاصل گردید، PSO کم کم راه خود را به سایر علوم مهندسی باز کرد. مقالات ارائه شده و رساله‌هایی که در علوم متعدد در زمینهٔ کاربرد و یا توسعهٔ الگوریتم PSO در حل مسائل بهینه‌سازی نوشته شده‌اند، خود بیانگر این مطلب است. همانند سایر علوم، در سالهای اخیر الگوریتم PSO در حیطه مهندسی عمران و مهندسی آب نیز استفاده شده است.

بالتار[11] و فونتان[12] در سال ۲۰۰۴ پس از تشریح روش PSO و روشهای بهینه‌سازی چند هدفه، با استفاده از الگوریتم PSO،

[1] Non-Linear Programming
[2] Large Scale
[3] Decision Variable
[4] Dynamic Programming
[5] Ormsbee

[6] Optimizer
[7] Simulator
[8] Mackle
[9] Rodin
[10] Particle Swarm Optimization
[11] Baltar
[12] Fontane

بهینه‌سازی چند هدفه بهره‌برداری از مخزن سد را به منظور تأمین اهداف زیر انجام دادند [۷].

- بیشینه کردن نیاز آبی مطمئن سالانه
- بیشینه کردن تولید انرژی سالانه
- کمینه کردن خطر سیلاب
- بیشینه کردن قابلیت اطمینان کلی سیستم.

چاو[1] و همکاران در سال ۱۹۹۸، از الگوریتم PSO برای آموزش شبکه عصبی در پیش‌بینی تراز سطح آب رودخانه شینگ-مون در هنگ کنگ، استفاده نمودند [۸].

کومار[2] و ردی[3] در سال ۲۰۰۵ با اضافه کردن فرایند جهش ژنتیکی به روش PSO و بالا بردن قابلیت اکتشاف آن، بهره‌برداری چند منظوره از مخزن سد بیهادرا در هند را با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام دادند [۹].

معراجی و همکارانش در سال ۲۰۰۶ پس از آزمودن الگوریتم PSO توسط چندین توابع آزمونی استاندارد و تأیید قابلیت این الگوریتم در حل مسائل بهینه‌سازی فراگیر، از آن برای حل مسئله بهره‌برداری از مخزن سد دز در ایران استفاده نمودند [۱۰].

از آنجا که ایستگاههای پمپاژ بنابه‌دلایل متفاوتی ایجاد می‌شوند، بنابراین دامنه عملکرد این سیستم‌ها بسیار وسیع می‌باشد. در بعضی موارد هدف از تأسیس ایستگاه پمپاژ تأمین آب کشاورزی و در برخی موارد تأمین آب شرب است. در مواردی ممکن است ایستگاه پمپاژ آب، خود بخشی از یک سیستم بزرگ‌تر آبرسانی باشد که از قسمتهای مختلفی نظیر مخازن ذخیره، شبکه لوله حلقوی و... تشکیل شده باشد که در این حالت ایستگاه پمپاژ خود فقط یک جزء از سیستم می‌باشد و بهینه‌سازی این سیستم، علاوه بر به گزینی ایستگاه پمپاژ مستلزم بهینه‌سازی اجزاء دیگر سیستم نیز می‌باشد.

با توجه به اینکه اکثر کارهای انجام شده در زمینه طراحی و بهره‌برداری بهینه از ایستگاههای پمپاژ، یا با روش برنامه‌ریزی پویا و یا با استفاده از الگوریتم ژنتیک صورت گرفته است در این مقاله سعی شد که با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی PSO، دستورالعمل نحوه بهره‌برداری بهینه از ایستگاههای پمپاژ متوالی با هدف انتقال آب ارائه شود. تابع هدف در این مسئله میزان هزینه انرژی مصرفی در طول شبانه‌روز است. متغیرهای تصمیم میزان پمپاژ پمپهای موجود در هر ایستگاه در ساعات مختلف شبانه‌روز می‌باشد. در نهایت با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان در مورد نحوه طراحی و کارکرد پمپ‌های موجود نیز قضاوت نمود.

[1] Chow
[2] Kumar
[3] Reddy

۲- الگوریتم بهینه‌سازی PSO

الگوریتم PSO اولین بار توسط ابرهارت[4] و کندی[5] در سال ۱۹۹۵ به کار برده شد. این روش الهام گرفته از پرواز همزمان پرندگان، شنای ماهیها و زندگی اجتماعی آنها می‌باشد که با استفاده از یک‌سری روابط ساده ترکیب‌بندی شده است [۱۱]. کندی در سال ۱۹۹۸ شرح داد که در PSO هر ذره[6]، نماینده یک جواب ممکن است که به صورت تصادفی در فضای مسئله حرکت می‌کند تغییر مکان هر ذره در فضای جستجو تحت تأثیر تجربه و دانش خود و همسایگانش است [۱۲]. بنابراین موقعیت ذرات دیگر گروه[7] روی چگونگی جستجوی یک ذره اثر می‌گذارد. نتیجهٔ مدل‌سازی این رفتار اجتماعی فرایند جستجویی است که در آن ذرات به سمت نواحی مناسب میل می‌کنند. ذرات در گروه از یکدیگر می‌آموزند و بر مبنای دانش به دست آمده به سمت بهترین همسایگان خود می‌روند. اساس کار PSO بر این اصل استوار است که در هر لحظه هر ذره مکان خود را در فضای جستجو با توجه به بهترین مکانی که تاکنون در آن قرار گرفته و بهترین مکانی که در کل همسایگی‌اش وجود دارد، تنظیم می‌کند.

فرض کنید فضایی D بعدی داریم و i امین ذره از گروه[8] می‌تواند با یک بردار سرعت و یک بردار موقعیت نمایش داده شود. تغییر موقعیت هر ذره با تغییر در ساختار موقعیت و سرعت قبلی امکان‌پذیر است. هر ذره اطلاعاتی شامل بهترین مقداری را که تاکنون به آن رسیده (pbest) و موقعیت x_i را داراست. این اطلاعات از مقایسه تلاشهایی که هر ذره برای یافتن بهترین جواب انجام می‌دهد به دست می‌آید. همچنین هر ذره بهترین جوابی را که تاکنون در گروه از مقدار pbest ها به دست آمده را می‌شناسد (gbest). هر ذره برای رسیدن به بهترین جواب سعی می‌کند موقعیت خود را با استفاده از اطلاعات زیر تغییر دهد:

موقعیت کنونی x_i و سرعت کنونی v_i و فاصله بین موقعیت کنونی و pbest و فاصله بین موقعیت کنونی و gbest. بدین ترتیب سرعت هر ذره به صورت زیر تغییر می کند:

$$v_i^{k+1} = wv_i^k + c_1r_1 \times (pbest_i - x_i^k) + c_2r_2 \times (gbest - x_i^k) \quad (1)$$

که در آن

v_i^k سرعت هر نماینده در تکرار k ام، w پارامتر وزنی، c_1 و c_2 فاکتور وزنی، r_1 و r_2 عددی تصادفی بین ۰ و ۱،

[4] Eberhart
[5] Kennedy
[6] Particle
[7] Swarm
[8] Population

x_i^k موقعیت هر ذره i در تکرار kام، $pbest_i$ برابر pbest در ذره i، و gbest نیز gbest در گروه است.

موقعیت هر ذره با معادله زیر تعیین می‌شود:

$$x_i^{k+1} = x_i^k + v_i^{k+1} \qquad (۲)$$

روابط ۱ و ۲ نمایشگر نسخه اولیه الگوریتم PSO است.

۲-۱- پارامترهای PSO

پارامتر وزنی w در رابطه ۱ برای تضمین همگرایی در PSO به کار می‌رود. پارامتر وزنی، جهت کنترل تأثیر سوابق سرعتهای پیشین بر سرعتهای جاری، مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقدار مناسب w توازنی بین توانایی الگوریتم برای جستجوی کلی[1] و جستجوی موضعی[2] ایجاد می‌کند. یک مقدار مناسب پارامتر وزنی، معمولاً تعادلی را بین قابلیت اکتشاف فراگیر و محلی گروه، ایجاد می‌نماید. با انتخاب مناسب مقدار پارامتر وزنی، میزان تکرار برای یافتن جواب بهینه کاهش می‌یابد. ضریب ثابت اینرسی بزرگ‌تر از یک، هر چند که سبب می‌شود فضای جستجوی الگوریتم وسیع‌تر گردد اما الگوریتم را ناپایدار می‌کند، زیرا اثر سرعت پیشین را افزایش می‌دهد. در ابتدا مقدار w ثابت در نظر گرفته می‌شد. بعدها مطالعات ابرهارت و شی[3] در سالهای ۱۹۹۸ و ۱۹۹۹ در این زمینه منجر به تغییر شگرفی در الگوریتم PSO گشت [۱۳ و ۱۴]. آنها پارامتر وزنی را به صورت خطی از مقدار بیشینه‌ای چون v_{max} تا مقدار حداقل آن v_{min} به صورت زیر تغییر دادند :

$$w = w_{max} - \frac{w_{max} - w_{min}}{iter_{max}} \times iter \qquad (۳)$$

که در آن

w_{max} وزن ابتدایی، w_{min} وزن انتهایی، iter شماره تکرار و $iter_{max}$ بزرگ‌ترین شماره تکرار می‌باشد.

پارامتر C_1 و C_2 در رابطه ۱ برای همگرایی PSO چندان بحرانی نیستند. مقدار مناسب ممکن است جواب را زودتر همگرا کند و از احتمال گیر افتادن در کمینه موضعی جلوگیری می‌کند. در ابتدا مقدار $C_1 = C_2 = 2$ پیشنهاد شد، اما آزمایش‌های مختلف نشان داد که $C_1 = C_2 = 0.5$ می‌تواند در رسیدن به جواب بهتر مفیدتر باشد. در حالت کلی C_1 و C_2 می‌توانند بسته به مورد، متفاوت انتخاب شوند؛ اما باید همواره شرط $C_1 + C_2 \le 4$ رعایت شود.

پارامتر r_1 و r_2 برای حفظ تنوع و گوناگونی گروه به کار می‌رود، مقدار مناسب پارامتر r_1 و r_2 در یکنواختی جوابها تأثیرگذار است و این پارامتر به صورت تصادفی در بازه بین صفر و ۱ انتخاب می‌شود. این مقادیر به ذرات، این اجازه را می‌دهد که در گامهای تصادفی در محدوده بین gbest و pbest حرکت کنند.

۳- مدل بهره برداری بهینه از سیستم‌های پمپاژ متوالی

در این مقاله با استفاده از الگوریتم بهینه سازی PSO، دستورالعمل نحوه بهره‌برداری بهینه از ایستگاههای پمپاژ متوالی با هدف انتقال آب ارائه گردید. تابع هدف در این مسئله، به حداقل رساندن میزان هزینه انرژی مصرفی در طول شبانه‌روز است. متغیرهای تصمیم، دبی پمپاژ پمپ‌های موجود در هر ایستگاه در ساعات مختلف شبانه‌روز می‌باشد. محدودیتهای این مسئله را می‌توان در دو بخش، یکی مربوط به پمپ‌های موجود و نیاز در پایین دست و دیگری مربوط به مخازن ذخیره در هر ایستگاه تقسیم نمود.

تابع هدف در این مسئله به صورت زیر تعریف می شود:

$$MinCOST = CE \times \rho g \sum_{s=1}^{st} \sum_{j=1}^{m} \sum_{i=1}^{n} \frac{Q_{i,j,s} H_n(IQ)_{j,s}}{e_{i,j,s}(H_n(IQ)_{j,s}, Q_{i,j})} \Delta tj \qquad (۴)$$

در رابطه فوق راندمان هر پمپ با رابطه‌ای که شامل میزان آبدهی هر پمپ و ارتفاع پمپ است بیان شده است. همان گونه که در رابطه ۱ نیز مشاهده می‌شود کارایی پمپ تابعی از متغیر دبی و ارتفاع پمپاژ است اما به دلیل ساده‌سازی و کاهش حجم معادلات، در این جا کارایی پمپ، تابعی از متغیر دبی $(e(Q_{i,j}))$ در نظر گرفته می‌شود. فرض مذکور در عمل هم چندان دور از واقعیت نیست و تحقیقات نشان می‌دهد که وابستگی راندمان پمپ‌ها به دبی پمپاژ خیلی بیشتر از وابستگی آن به ارتفاع پمپاژ موجود است. بنابر این تابع هدف به شکل زیر تعریف می‌شود :

$$MinCOST = CE \times \rho g \sum_{s=1}^{st} \sum_{j=1}^{m} \sum_{i=1}^{n} \frac{Q_{i,j,s} H_n(IQ)_{j,s}}{e_{i,j,s}(Q_{i,j,s})} \Delta t_j \qquad (۵)$$

در رابطه بالا منحنی کارایی پمپ‌ها با یک تابع درجه دوم به صورت $e_i(Q_i) = a_i Q_i^2 + b_i Q_i + c_i$ تعریف شده است. با جایگذاری این تابع در رابطه فوق، تابع هدف به صورت زیر به دست خواهد آمد :

$$MinCOST = CE \times \rho g \sum_{s=1}^{st} \sum_{j=1}^{m} \sum_{i=1}^{n} \frac{Q_{i,j,s} H_n(IQ)_{j,s}}{a_i Q_{i,j,s}^2 + b_i Q_{i,j,s} + c_i} \Delta t_j \qquad (۶)$$

محدودیتهای مربوط به پمپ‌ها عبارت‌اند از:

---

[1] Global
[2] Local
[3] Shi

$$0 \le Q_{i,j,s} \le Q_{max\,i,s} \quad (۷)$$

$$\sum_{j=1}^{m} Q_{i,j,s} = (IQ)_{j,s} \quad (۸)$$

$$H_n(IQ)_{j,s} \le H(IQ)_s \quad (۹)$$

$$(IQ)_{j,s} \le (IQ)_s \quad (۱۰)$$

در روابط فوق متغیرها عبارت‌اند از :

COST هزینه انرژی متوسط مصرفی برای پمپاژ منحنی گسسته مصرف[1] مربوط به سیستم موجود است که هدف، تعیین مقدار کمینه آن برحسب کیلووات ساعت بر سال است، CE هزینه مصرف انرژی برای هر کیلووات ساعت، $e_{i,j,s}(H_n(IQ)_{j,s}, Q_{i,j,s})$ کارایی پمپ i ام در تقسیم j ام منحنی گسسته مصرف که تابعی از دبی عبوری از خود پمپ و ارتفاع پمپاژ مربوطه می باشد، $H_n(IQ)_{j,S}$، ارتفاع خالص پمپاژ است که در تقسیم j ام منحنی گسسته تداوم جریان مربوط به دبی کل در تقسیم j ام منحنی گسسته مصرف در ایستگاه s برحسب متر می‌باشد، $Q_{i,j,S}$ دبی عبوری است از توربین i ام در تقسیم j ام منحنی گسسته مصرف در ایستگاه s برحسب مترمکعب، Δtj مدت زمان تقسیم j ام منحنی گسسته مصرف برحسب ساعت، $(IQ)_{j,s}$ دبی کل در تقسیم j ام منحنی گسسته مصرف در ایستگاه s برحسب مترمکعب، $(IQ)_s$ بیشینه دبی کل در ایستگاه s که می‌تواند در هر تقسیم منحنی گسسته مصرف پمپاژ شود، $Q_{max\,i,s}$ دبی حداکثر پمپ i ام در ایستگاه s، $Q_{min\,i,s}$ دبی حداقل پمپ i ام در ایستگاه s، $H(IQ)_s$ ارتفاع پمپاژ حداکثر در ایستگاه s، i اندیس مربوط به شماره پمپ، j اندیس مربوط به شماره تقسیم‌بندی منحنی گسسته مصرف، n تعداد تقسیمات منحنی گسسته تداوم جریان، m تعداد تقسیمات منحنی گسسته تداوم جریان، s اندیس مربوط به شماره ایستگاه، st تعداد ایستگاههای پمپاژ.

در رابطه فوق ارتفاع خالص پمپاژ ($H_n(IQ)_{j,s}$) با توجه به مقادیر ارتفاع کلی پمپاژ و افتهای موجود در مسیر پمپاژ از رابطه زیر تعیین می گردد:

$$H_n(IQ)_{j,s} = Hs + 8f\sum_{o=1}^{ip} \frac{l_{ip,s}}{(D_{ip,s})^5}\frac{(IQ)_{j,s}^2}{g\pi^2} \quad (۱۱)$$

که در آن

ip اندیس مربوط به شماره لوله انتقال، P تعداد لوله‌های انتقال، $l_{i,s}$ طول مسیر پمپاژ هر نوع لوله در هر ایستگاه، f ضریب اصطکاک دارسی- وایسباخ و $(IQ)_{j,s}$ مجموع دبی عبوری از مسیر لوله i ام به قطر $D_{i,s}$ در زمان j از ایستگاه s می‌باشد.

[1] Histogram

باید توجه کرد که در صورت وجود افتهای دیگر نظیر زانویی و غیره باید در ابتدا طول معادل افتهای موضعی و مسیر پمپاژ را به دست آورد و سپس آن را به جای پارامتر $l_{i,s}$ قرار داد و یا با گذاشتن ضریب مناسبی، افت موضعی را به ضریبی از افت طولی تبدیل کرد. مقادیر $(IQ)_s$ و $H(IQ)_s$ از برخورد دو منحنی سیستم پمپاژ و منحنی ارتفاع- دبی سیستم پمپاژ در هر ایستگاه به دست می‌آید.

در این مسئله علاوه بر محدودیتهای ذکر شده در بالا محدودیت مربوط به مخزن ذخیره هر ایستگاه پمپاژ نیز اعمال می‌شود. بنابراین محدودیت مربوط به مخازن ذخیره عبارت است از:

$$h_{j,s} \le h_{min_s} \quad (۱۲)$$

$$h_{j,s} \ge h_{min_s} \quad (۱۳)$$

$h_{j,s}$ ارتفاع آب داخل مخزن s در زمان j است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$h_{j,s} = h_{j-1,s} + \frac{Dp_{j,s} - d_{j,s}}{surf_s} \quad (۱۴)$$

که در آن

h_{max_s} ارتفاع حداکثر مجاز ذخیره آب در مخزن s، h_{min_s} ارتفاع حداقل مجاز ذخیره آب در مخزن s، $surf_s$ مساحت کف مخزن ایستگاه s برحسب متر مربع، $Dp_{j,s}$ آب ورودی پمپاژ شده به مخزن s در زمان j و $d_{j,s}$ آب خروجی پمپاژ شده از مخزن s در زمان j برحسب مترمکعب می‌باشد که در آن j اندیس مربوط به شماره تقسیم‌بندی منحنی گسسته مصرف و s اندیس مربوط به شماره مخزن می‌باشد.

لازم به ذکر است از آنجا که ایستگاههای پمپاژ به صورت متوالی قرار گرفته‌اند، لذا خروجی هر مخزن، ورودی مخزن بعدی می‌باشد. بنابراین خروجی از مخزن انتهایی باید تأمین کننده نیاز باشد. از طرف دیگر فرض بر این است که ورودی به مخزن اول از طریق هیدروگراف گسسته تعریف شده است.

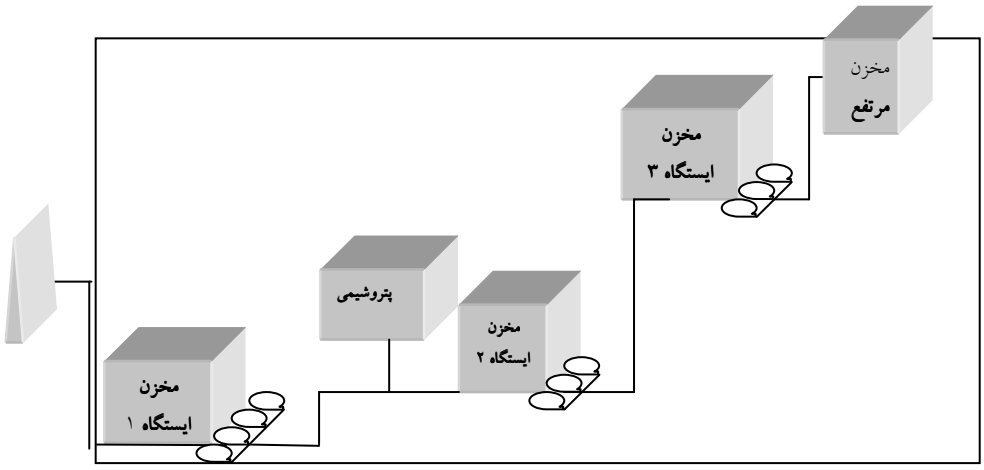
۴- مطالعه موردی

همان طور که قبلاً نیز اشاره شد، در مواردی ممکن است ایستگاه پمپاژ آب خود بخشی از یک سیستم بزرگ‌تر آبرسانی باشد که از قسمتهای مختلفی نظیر مخازن ذخیره، شبکه لوله حلقوی و... تشکیل شده باشد که در این حالت ایستگاه پمپاژ خود فقط یک جزء از سیستم می‌باشد و به‌گزینی و بهینه‌سازی این سیستم، علاوه بر به‌گزینی ایستگاه پمپاژ مستلزم بهینه‌سازی اجزاء دیگر سیستم نیز می‌باشد. در این تحقیق طرح آبرسانی از سد درودزن به شهر شیراز مدل گردید و مسئله بهره‌برداری بهینه از ایستگاههای موجود در این طرح مورد بررسی قرار گرفت.

سد درودزن در فاصله ۱۲۰ کیلومتری از شهر شیراز واقع شده که سالانه ۶۷ میلیون متر مکعب آب شرب و صنعتی را تأمین می‌کند که از این بین ۲۷ میلیون متر مکعب آن در اختیار پتروشیمی که در فاصله ۵۰ کیلومتری از شیراز واقع شده است، قرار می‌گیرد و مابقی به شهر منتقل می‌شود. رقوم کف مخزن سد در فاصله ۱۶۲۸/۵ متری و رقوم نرمال آن در فاصله ۱۶۷۶/۵ متری از سطح دریا واقع شده است.

همان طور که در شکل ۱ مشاهده می‌کنید آب از سد به طور ثقلی به مخزن ایستگاه شماره ۱ منتقل می‌شود. این مقدار به طور ثابت برابر ۷۶۴۸ متر مکعب در ساعت است. سپس از مخزن شماره ۱ آب به مخزن ایستگاه شماره ۲ پمپاژ می‌شود. لازم به ذکر است که در بین مسیر، مقدار ثابت ۳۰۸۲ مترمکعب در ساعت آب توسط خط لوله دیگری به طول ۱۰۰۰ متر که منشعب از خط اصلی است و در ۱ کیلومتری از ایستگاه دوم قرار دارد خارج شده و در اختیار پتروشیمی قرار می‌گیرد. آب از ایستگاه دوم به ایستگاه شماره ۳ پمپاژ و از آنجا به مخزن مرتفع پمپ می‌شود. سپس از مخزن مرتفع آب مطابق با منحنی گسسته نیاز، گرفته شده و به صورت ثقلی به شهر می‌رسد.

مشخصات پمپ‌های موجود در ایستگاهها و تعداد پمپ‌ها در هر ایستگاه در جدول ۱ ارائه شده است. لازم به ذکر است که در هر ایستگاه یک پمپ به عنوان رزرو در سیستم نصب شده است. نقاط منطبق بر منحنی کارایی پمپ‌های موجود در جدول ۲ و در جدول ۳، دبی مورد نیاز در پایین دست ارائه شده است. هزینه کنونی بهره‌برداری از هر سه ایستگاه در جدول ۴ و مشخصات مخازن ذخیره هر ایستگاه در جدول ۵ و مشخصات فنی هر ایستگاه در جدول ۶ آورده شده است.



شکل ۱- شکل شماتیک طرح آبرسانی

جدول ۱- مشخصات پمپ‌های موجود

نوع پمپ	دبی حداکثر مجاز (m^3/h)	حداقل ارتفاع پمپاژ(m)	حداکثر ارتفاع پمپاژ (m)	تعداد هرنوع پمپ		
				ایستگاه ۱	ایستگاه ۲	ایستگاه ۳
۱	۴۲۵۰	۱۸۰	۲۸۰	۳	۲	۲

جدول ۲- نقاط منحنی کارایی پمپ‌های موجود

راندمان (درصد)	۸۰	۸۴	۸۷	۸۶	۷۸
دبی (متر مکعب برساعت)	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۲۴۰	۳۵۰۰	۴۲۵۰

جدول ۳ – دبی مورد نیاز در پایین دست در ساعات شبانه روز

زمان (ساعت)	دبی مورد نیاز (متر مکعب بر ساعت)	زمان (ساعت)	دبی مورد نیاز (متر مکعب بر ساعت)	زمان (ساعت)	دبی مورد نیاز (متر مکعب بر ساعت)	زمان (ساعت)	دبی مورد نیاز (متر مکعب بر ساعت)
۱	۲۵۰۰	۷	۴۷۰۰	۱۳	۶۰۰۰	۱۹	۵۰۰۰
۲	۲۳۰۰	۸	۵۵۰۰	۱۴	۶۰۰۰	۲۰	۴۲۰۰
۳	۲۳۰۰	۹	۶۳۰۰	۱۵	۶۰۰۰	۲۱	۳۵۰۰
۴	۲۳۰۰	۱۰	۷۰۰۰	۱۶	۵۵۰۰	۲۲	۳۲۰۰
۵	۳۵۰۰	۱۱	۷۰۰۰	۱۷	۵۵۰۰	۲۳	۲۸۰۰
۶	۳۷۰۰	۱۲	۷۰۰۰	۱۸	۵۲۰۰	۲۴	۲۵۰۰

جدول ۴- هزینه جاری بهره‌برداری از هر سه ایستگاه

هزینه (ریال در سال)	ایستگاه اول	ایستگاه دوم	ایستگاه سوم
برق مصرفی انتقال آب	۱۹۸۰۰۰۰۰۰	۱۵۳۰۰۰۰۰۰	۸۲۸۹۰۰۰۰۰
تعمیر ماشین آلات	۶۰۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰۰۰	----
نگهداری	۱۰۱۰۰۰۰	۴۰۰۰۰۰۰	----
ساختمان	۳۸۳۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰۰۰	۹۰۰۰۰۰۰
تأسیسات	۴۰۰۰۰۰۰	۹۰۰۰۰۰۰۰	۶۰۰۰۰۰۰
وسایل نقلیه	۵۰۰۰۰۰۰	۱۱۰۰۰۰۰۰۰	۹۰۰۰۰۰۰
تعمیرات اثاثه	----	۲۰۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰
ابزار	----	۷۰۰۰۰۰۰	----

جدول ۵- مشخصات مخازن ذخیره

مشخصات مخزن	مخزن ایستگاه (۱)	مخزن ایستگاه (۲)	مخزن ایستگاه (۳)	مخزن مرتفع	مخزن پتروشیمی
مساحت کف مخزن (متر مربع)	۲۶۰۰	۳۲۰۰	۲۶۰۰	۲۶۰۰	۲۰۰۰
ارتفاع بیشینه آب مخزن (متر)	۵	۵	۵	۵	۵
ارتفاع کمینه آب مخزن (متر)	۱	۱	۱	۰/۸	۱
ارتفاع اولیه آب مخزن	۱	۱	۱	۱	۱

جدول ۶- مشخصات فنی ایستگاهها

مشخصات فنی	ایستگاه ۱	ایستگاه ۲	ایستگاه ۳
تراز کف ایستگاه پمپاژ (متر)	۱۵۳۰	۱۵۹۰	۱۷۰۰
ارتفاع استاتیکی پمپاژ(متر)	۶۰	۱۱۰	۱۸۰
قطر خط پمپاژ (متر)	۱/۰۵	۰/۷۵-۱/۰۵	۰/۷۵-۱/۰۵
طول خط پمپاژ (متر)	۳۰۰۰۰	۱۰۰۰۰-۱۳۰۰۰	۳۰۰۰-۵۵۰۰

۵- اجرای مدل و بررسی نتایج

پس از شبیه‌سازی مدل موجود و با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی PSO برنامه به این صورت عمل خواهد کرد که الگوریتم PSO، مقادیر تصادفی را برای متغیرهای تصمیم (دبی هر پمپ در هر ساعت) در محدوده تعیین شده (محدودیت مربوط به دبی پمپ که می‌باید برای هر پمپ مقادیر بین صفر و دبی بیشینه هر پمپ انتخاب شود) انتخاب می‌کند. سپس برای هر متغیر تصمیم میزان تخلف از قیود محاسبه می‌گردد و در نهایت هزینه کل انرژی مصرفی برای تمام متغیرهای تصمیم محاسبه می‌گردد.

از طرفی چون مسئله یک مسئله مقید می‌باشد و PSO برای مسائل نامقید است، بنابراین مانند روشی که کنستانتینیوس برای حل مسئله مقید در PSO استفاده کرد، مسئله مزبور را با اضافه کردن جریمه به تابع هدف به صورت نامقید تعریف می‌کنیم [۱۵]. بنابراین خواهیم داشت:

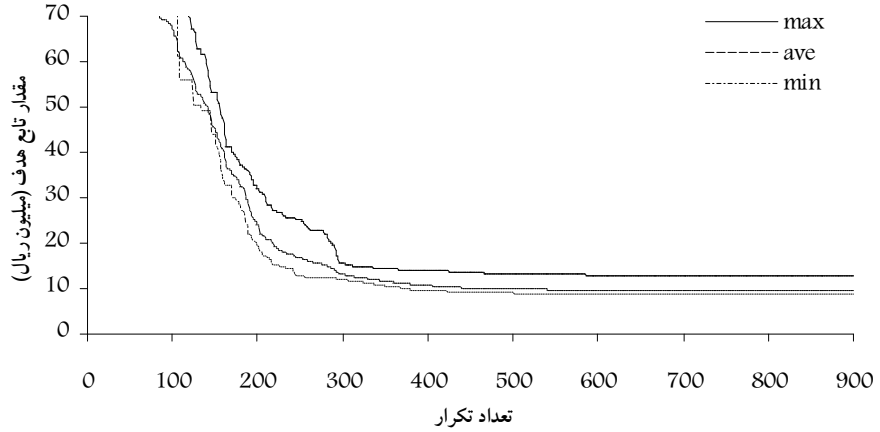
$$\text{MinCOST} = CE \times \rho g \sum_{s=1}^{st} \sum_{j=1}^{m} \sum_{i=1}^{n} \frac{Q_{i,j,s} H_n(IQ)_{j,s}}{a_i Q_{i,j,s}^2 + b_i Q_{i,j,s} + c_i} \Delta t_j + \text{penal} \sum_{j=1}^{J} d_j \qquad (۱۵)$$

در رابطه فوق، قسمت دوم مربوط به جریمه تخلف از قیود است که در آن d_j تخلف از قیود می‌باشد. در نهایت هزینه کل همراه با اعمال جریمه را خواهیم داشت. پس از آن در تکرار بعد الگوریتم با استفاده از طرز کار خاص خود که در قسمت معرفی الگوریتم ارائه شد اقدام به تولید جوابهای جدید می‌کند و این روند تا پایان، انجام می‌شود تا نهایتاً به جواب بهینه برسیم. برای رسیدن به جواب بهینه لازم است که پارامترهای مختلف PSO را در محدوده مجاز تغییر دهیم. برای رسیدن به جواب بهینه مقادیر انتخابی پارامترهای مختلفPSO در جدول ۷ آورده شده است.

لازم به ذکر است، با توجه به اینکه در بین مسیر، شیرآلات مختلفی نصب شده و قطر لوله‌ها تغییر می‌کند و انشعاب از لوله انتقال اصلی نیز مطرح است، مقداری افت ایجاد می‌شود که در این مدل افت مزبور را برای ایستگاه اول ۳۰ درصد و برای ایستگاه دوم و سوم ۲۰ درصد افت طولی قرار دادیم. جهت برآورد هزینه‌های جاری، پس از برآورد میزان برق مصرفی الکتروپمپ‌ها، مبلغ ۵۵ ریال برای هر کیلووات ساعت در نظر گرفته شده و میزان ضریب f برابر ۰/۰۱۵ قرار داده شد. همچنین با توجه به منحنی کارایی پمپ‌ها، مقادیر $a = -10^{-7}$ ، b=0.0006 و c=0 برای ضرایب مربوط به منحنی راندمان دبی که با تابع درجه دوم $e = aQ^2 + bQ + c$ مشخص گردیده، قرار داده شد. همچنین با توجه به اینکه منحنی ارتفاع مدار و منحنی ارتفاع پمپاژ پمپ‌های موجود در هر ایستگاه، مطابق شکل ۲ در یک نقطه یکدیگر را قطع می‌کنند و این نقطه محدودهٔ کار ایستگاه را مشخص می‌کند، در واقع

جدول ۷- مقادیر انتخابی پارامترهای مختلفPSO

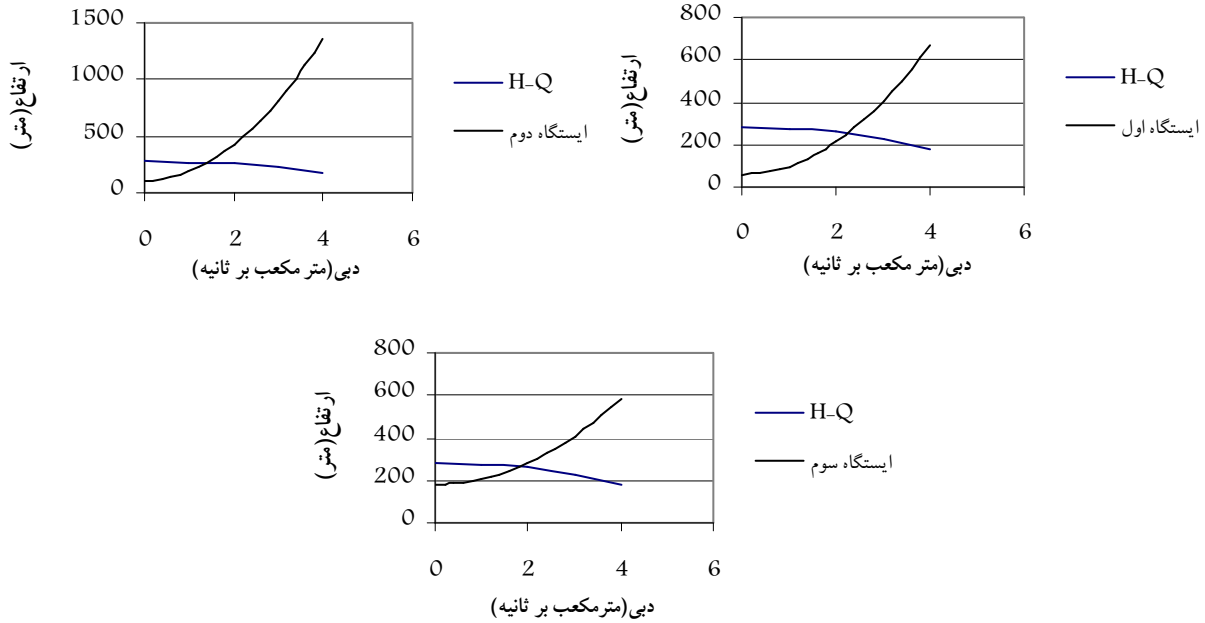
پارامترهای PSO					
C_1	C_2	w_initial	w_final	تعداد ذرات	تعداد تکرار
۲	۰/۵	۰/۹	۰/۴	۳۰۰	۹۰۰



شکل ۲- همگرایی تابع هدف در تعداد تکرارهای مختلف

نقطه تقاطع این دو منحنی مقدار $(IQ)_s$ را تعیین خواهد کرد. همچنین در هنگامی که مقدار دبی کمتر از مقدار دبی کمینه، می‌شود مدل، مقدار آن را برابر صفر فرض می‌کند، به این معنا که پمپ کار نمی‌کند. همچنین در شکل ۳ نحوه همگرایی جوابها در تکرارهای مختلف برای سه حالت حداکثر، متوسط و حداقل جواب مسئله بهینه‌سازی هم رسم شده است.

با توجه به اینکه الگوریتم PSO قادر به انجام دو نحوه بهینه‌سازی است، یکی PSO با همسایگی کلی و دیگری PSO با همسایگی موضعی، بنابراین برای این مسئله نیز بهینه‌سازی در هر دو حالت انجام شد. لازم به ذکر است که در حالت موضعی برای اندازه گروههای مختلف مقادیر مختلف اندازه همسایگی امتحان گردید که نتایج آن در جدول ۸ ارائه گردید. همچنین نتایج بهینه نهایی در دو حالت کلی و موضعی به همراه میزان هزینه بهره‌برداری از سه ایستگاه در حال حاضر، در جدول ۹ قابل مشاهده است. همان طور که مشخص است با استفاده از دستورالعمل ارائه شده برای بهره‌برداری از پمپ‌های هر سه ایستگاه که در جدول ۱۰ مشخص شده است، هزینه بهره‌برداری تا ۵۰ درصد کاهش می‌یابد.



شکل ۳- منحنی ارتفاع سیستم و ارتفاع پمپاژ ایستگاههای اول، دوم و سوم

جدول ۸- مقادیر هزینه در جمعیت‌های مختلف

اندازه گروه	اندازه همسایگی	هزینه (ریال)
۱۰۰	۱۰۰	۱۲۱۶۹۲۴۳
	۸۰	۱۲۷۱۵۱۵۵
	۵۰	۹۹۵۶۳۶۶
	۲۰	۱۲۹۴۹۱۲۵
۲۰۰	۲۰۰	۱۰۵۱۳۶۸۷
	۱۵۰	۱۰۷۲۵۱۸۷
	۱۰۰	۹۴۱۰۵۸۵
	۵۰	۱۱۴۲۳۲۵۰
۳۰۰	۳۰۰	۷۹۳۸۱۷۱
	۲۵۰	۸۸۸۳۲۳۰
	۲۰۰	۹۰۶۸۲۸۹
	۱۰۰	۸۸۳۳۹۹۹
	۵۰	۱۱۵۲۸۹۲۶

جدول ۹- مقایسه هزینه برق مصرفی در مدل تهیه شده با هزینه کنونی

هزینه (ریال در روز)	PSO		هزینه کنونی برق مصرفی
	موضعی	کلی	
هزینه برق مصرفی	۸۸۳۳۹۹۹	۷۹۳۸۱۷۱	۱۱۸۸۷۳۹۷
در صد	٪۱۱۱	٪۱۰۰	٪۱۵۰

جدول ۱۰- دستورالعمل ارائه شده جهت بهره‌برداری از پمپ‌های هر سه ایستگاه

ایستگاه	ایستگاه پمپاژ (۱)			ایستگاه پمپاژ (۲)		ایستگاه پمپاژ (۳)	
ساعت	پمپ ۱ (متر مکعب بر ساعت)	پمپ ۲ (متر مکعب بر ساعت)	پمپ ۳ (متر مکعب بر ساعت)	پمپ ۱ (متر مکعب بر ساعت)	پمپ ۲ (متر مکعب بر ساعت)	پمپ ۱ (متر مکعب بر ساعت)	پمپ ۲ (متر مکعب بر ساعت)
۱	۴۱۴۸	۰	۰	۴۲۵۰	۱۹۷۳	۰	۱۶۲۹
۲	۴۲۵۰	۰	۰	۰	۴۲۵۰	۲۰۲۴	۰
۳	۰	۴۱۱۳	۰	۱۳۷۹	۳۱۰۸	۰	۰
۴	۱۷۶۱	۲۵۷۴	۰	۲۸۱۶	۰	۲۲۵۰	۰
۵	۳۰۱۵	۱۲۵۱	۰	۱۲۶۳	۲۴۱۴	۰	۰
۶	۲۱۵۴	۲۱۵۳	۰	۱۵۴۴	۰	۰	۰
۷	۲۲۶۰	۲۰۵۴	۰	۰	۰	۱۷۰۷	۱۱۹۹
۸	۳۲۳۳	۱۰۶۵	۰	۰	۰	۰	۰
۹	۰	۴۲۵۰	۰	۳۶۸۰	۲۸۴۰	۴۲۴۴	۰
۱۰	۳۱۳۳	۱۱۰۸	۰	۰	۰	۰	۰
۱۱	۳۲۷۰	۱۰۴۴	۰	۰	۰	۰	۰
۱۲	۱۸۸۳	۲۲۵۷	۰	۴۲۵۰	۰	۰	۰
۱۳	۴۲۵۰	۰	۰	۰	۴۲۵۰	۳۱۸۶	۱۸۵۰
۱۴	۳۱۸۴	۱۱۲۷	۱۳۷۰	۰	۱۰۴۰	۴۱۸۰	۰
۱۵	۰	۴۲۵۰	۰	۰	۰	۲۶۹۳	۳۸۶۸
۱۶	۲۵۹۵	۱۶۸۲	۰	۱۸۵۱	۰	۳۵۶۷	۰
۱۷	۴۲۵۰	۰	۰	۴۲۵۰	۰	۸۵۸	۴۲۵۰
۱۸	۱۷۹۱	۲۵۱۶	۰	۰	۴۲۵۰	۳۸۴۵	۰
۱۹	۴۲۵۰	۰	۳۰۷۷	۰	۰	۲۹۱۲	۰
۲۰	۱۰۸۴	۳۰۵۷	۰	۹۰۰	۰	۰	۳۰۹۷
۲۱	۳۶۸۸	۰	۰	۰	۰	۰	۱۳۲۱
۲۲	۴۰۱۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲۳	۱۹۲۰	۰	۰	۱۶۶۱	۴۲۵۰	۳۰۴۶	۴۲۵۰
۲۴	۰	۲۳۷۶	۰	۰	۴۲۴۲	۰	۰

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله با استفاده از الگوریتم PSO مدل جدیدی برای بهره‌برداری از ایستگاههای پمپاژ متوالی ارائه شد. مسئله عملکرد بهینه پمپ در یک سیستم پمپاژ از لحاظ ریاضی، یک مسئله برنامه‌ریزی غیرخطی در حالت بزرگ مقیاس است، زیرا در این مسئله تابع هدف و قیود مسئله غیرخطی هستند و تعداد متغیرهای تصمیم نیز زیاد است. تابع هدف در این مسئله به حداقل رساندن میزان هزینه انرژی مصرفی در طول شبانه‌روز است و متغیرهای تصمیم، میزان پمپاژ پمپ‌های موجود در هر ایستگاه در ساعات مختلف شبانه‌روز می‌باشد. در این مقاله با استفاده از مدل پیشنهادی، بهره‌برداری بهینه از سیستم انتقال آب از سد درودزن به شیراز انجام شد و در نهایت نتایج به دست آمده مقدار قابل توجهی از هزینه برق مصرفی را کاهش داد.

۷- مراجع

1- Ormsbee, L. E., Walski, T. M., Chase, D. V., and Sharp, W. W. (1989). "Methodology for improving pump operation efficiency." *J. Water Resour. Plan. Manage. Div.,* 115(2), 148–164.

2- Mackle, G., Savic, D. A., and Walters, G. A. (1995). "Application of genetic algorithms to pumpscheduling for water supply." *GALESIA 95,* Conference Publication 4/4,400-405, London: Institute of Electrical Engineers.

3- Rodin, S. I. (1998). "Use of genetic algorithm for optimal control of bulk water supply." <http://stullia.t-k.ru/waterpump/waterpump.htm> (May 5, 2001).

4- Rodin, S. I., and Moradi-Jalal, M. (2002). "Use of genetic algorithm in optimization of irrigation pumping stations, WAPIRRA program." <http://stullia.t-k.ru/waterpump/waterpump.htm> (June 10, 2002).

5- Moradi-Jalal, M., Marino, M. A., and Afshar, A. (2003). "Optimal design and operation of irrigation pumping station*." J. Irrig. Drain. Eng.,* 129 (3), 149-154.

6- Moradi-Jalal, M., Sergey, I., Rodin, S. I., and Hon, M. (2004). "Use of genetic algorithm in optimization of irrigation pumping station." *J. Irrig. and Drain. Eng.,* 130 (5), 357-365.

7- Baltar, A., and Fontane, D. G. (2004). *A multiobjective particle swarm optimization model for reservoir operations and planning*, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Colorado State University, USA.

8- Chow, V. T., Maidment, D. R., and Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology,* Mc Graw – Hill, New York.

9- Kumar, D. N., and Reddy, M. J. (2005). "Multipurpose reservoir operation using particle swarm optimization."

10- Meraji, S. H., Afshar, M. H., and Afshar, A. (2006) "Reservoir operation by particle swarm optimization algorithm." *7th International Conference of Civil Engineering (ICCE 7th)*, Tehran, Iran.

11- Kennedy, J., and Eberhart, R. (1995). "Particle swarm optimization." *Proc. of the International Conference on Neural Networks,* Perth, Austalia, 1942-1948.

12- Kennedy, J. (1998). *The behavior of particles*, Porto, V. W., Saravanan, N., Waagen, D., and Eiben, A. E. (eds.), In: *Evolutionary Programming VII*, Springer, 581-590.

13- Shi, Y., and Eberhart, R. C. (1999). "Empirical study of particle swarm optimization." *Proc. IEEE, International Congress Evolutionary Computation*, Washington, D.C., USA, 1945 -1950.

14- Shi, Y., and Eberhart, R. (1998). *Parameter selection in particle swarm optimization*, Porto, V. W., Saravanan, N., Waagen, D., and Eiben, A. E. (eds.), In: *Evolutionary programming VII*, 611-616.

15- Konstantinos, E. P., and Vrahatis, M. N. (2002). *Particle swarm optimization method for constrained optimization problems,* UPARIC, GR-26110 Patras, Greece.