بهره‌برداری بهینه از سامانه‌ی آبکشی متوالی سامانه‌ی انتقال آب شیراز با استفاده از الگوریتم ژنتیک

بهرام سامی کشکولی[۱]، مهدی بهرامی[۲]*

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۲۳

چکیده

با افزایش جمعیت و کمبود منابع کارمایه، استفاده و بهره‌وری بهینه از منابع مزبور از اهمیت خاصی برخوردار است. از جمله این منابع، کارمایه برق است که در ایستگاه‌های آبکشی نقشی اساسی را ایفا می‌کند. گاهی طولانی بودن مسیر انتقال آب و یا اختلاف ارتفاع زیاد در طول مسیر، ایجاب می‌کند که ایستگاه‌های آبکشی به صورت متوالی طراحی گردند. با تعیین برنامه‌ی زمانی مناسب بهره‌برداری از تلمبه‌های یک سامانه‌ی انتقال آب می‌توان صرفه جویی قابل توجهی را در هزینه‌ی کارمایه‌ی مصرفی ایجاد کرد. در این پژوهش برنامه‌ی بهره‌برداری از یک تلمبه به‌صورت رشته‌ای از مقادیر صفر و یکی به گونه‌ای تعریف شد که هر یک از خانه‌های این رشته وضعیت روشن یا خاموش بودن آن تلمبه را در یک دوره‌ی زمانی به خصوص نشان دهد. مسئله‌ی تعیین برنامه‌ی بهره‌برداری بهینه تلمبه‌ها به صورت تعیین بهترین رشته‌ی صفر و یکی شناسه شد. یک شبیه بهینه‌سازی- شبیه‌سازی، مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای مسئله‌ی تعیین برنامه‌ی بهره‌برداری بهینه از تلمبه‌ها ارائه گردید. در این شبیه الگوریتم ژنتیک در محیط MATLAB با بخش هیدرولیکی نرم‌افزار EPANET 2، به عنوان مرجعی از فرامین و اطلاعات تلفیق شد. از شبیه پیشنهادی برای تعیین برنامه‌ی بهینه‌ی بهره‌برداری از سامانه‌ی انتقال آب از آبگیر سد درودزن به شهر شیراز، و در یک روز معمولی استفاده شد. نتایج نشان دادند که هزینه‌ی کل کارمایه‌ی مصرفی در حالت بهره‌برداری بهینه ۲۹ درصد کمتر از هزینه‌ی متوسط برق مصرفی در یک روز میانگین است. مقایسه‌ی برنامه‌ی بهینه‌ی بهره‌برداری استخراج شده با نتایج پژوهش‌های پیشین، و همچنین شرایط بهره برداری عادی، توانایی شبیه را نشان می‌دهد.

واژه های کلیدی: بهینه‌سازی، هزینه‌ی کارمایه، بهره‌وری بهینه، EPANET 2

[۱] کارشناس ارشد، سازه‌های آبی، شرکت شیراز سامیز، شیراز

[۲] استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فسا

ایمیل: mehdibahrami121@gmail.com

مقدمه

قسمت قابل توجهی از هزینه‌های بهره‌برداری سالانه‌ی سامانه‌های تأمین و توزیع آب مربوط به کارکرد تلمبه‌های این سامانه‌ها می‌باشد. بر این اساس، جهت آبکشی آب از مخازن و منابع تا نقاط مصرف مقدار قابل توجهی کارمایه به‌وسیله‌ی تلمبه‌ها مصرف می‌شود. حداقل‌سازی هزینه‌های بهره‌برداری توأم با تأمین آب با فشار مناسب، و حفظ ذخیره‌ی روزانه‌ی مخازن، اهداف اصلی برنامه‌های زمان‌بندی آبکشی تلقی می‌شود.

با توجه به هدفمند شدن یارانه‌ها، چون هزینه‌ی آب مصرفی بسیار اهمیت دارد، ضرورت توجه و دقت بیشتر را در طراحی ایستگاه‌های آبکشی نشان می‌دهد تا هزینه‌ی انجام کار بیهوده بالا نرفته و در مصرف کارمایه صرفه‌جویی به عمل آید تا آب مصرفی با قیمتی کم‌تر و مناسب‌تر به دست مصرف کننده برسد، بنابراین، ضرورت ساختن و طراحی ایستگاه‌های آبکشی از اهمیت بالایی برخوردارند:

به‌طور کلی، عوامل متعددی بر کاهش عملکرد ایستگاه تأثیر گذار می‌باشند که سه عامل زیر از اهمیت بیشتری برخوردار می باشند:

۱-ترکیب ناکارامد و نامطلوب تلمبه‌های موجود در ایستگاه؛

۲-برنامه و جدول کاری نامناسب تلمبه‌های موجود در یک ایستگاه؛

۳-انتخاب تلمبه‌های ناکارآمد در یک ایستگاه.

واقعیت این است که یافتن برنامه‌ی زمان‌بندی بهینه تلمبه‌های سامانه‌های تأمین و توزیع آب بسیار دشوار بوده و سال‌هاست که ذهن مدیران شبکه‌ها، و همچنین محققان را به خود معطوف کرده است. دلیل اصلی دشوار بودن چنین مسئله‌ای را می‌توان به مواردی نظیر پیچیدگی و گستردگی سامانه‌های توزیع آب، تغییرات زیاد الگوی مصارف، و پیچیده بودن تعرفه‌های زمانی قیمت کارمایه، به‌شمار آورد.

مسئله‌ی عملکرد بهینه‌ی تلمبه در یک سامانه آبکشی از لحاظ ریاضی، یک مسئله‌ی برنامه ریزی غیر خطی در حالت مقیاس بزرگ است، زیرا در این مسئله تابع هدف و قیدهای مسئله غیر خطی بوده و تعداد متغیرهای تصمیم‌گیری نیز زیاد است. تابع هدف به حداقل رساندن هزینه‌ی آبکشی در طول یک افق طراحی است که سامانه در آن مدت به آبکشی آب مشغول است. مسئله‌ی اداره‌ی بهینه‌ی یک سامانه آب دارای پیچیدگی‌های زیادی است، بنابراین، مسئله‌ی ریاضی حاصله می‌تواند از لحاظ تعداد قیود بسیار بزرگ باشد به نحوی که تعدادی از این قیود و متغیرهای تصمیم‌گیری غیر خطی می-باشند.

در تحقیقات اولیه، محققان برای حل مسئله‌ی بهینه‌سازی بهره‌برداری از تلمبه‌ها از روش‌های سنتی بهینه‌سازی نظیر برنامه‌ریزی خطی (جوویت و گرمانوپولوس، ۱۹۹۲)، برنامه‌ریزی غیرخطی (چاس و آرمسبی، ۱۹۹۳؛ آرمسبی و همکاران، ۱۹۸۹) و برنامه‌ریزی پویا (لنسی و آووما، ۱۹۹۴؛ نیتیواتانانون و همکاران، ۱۹۹۶) استفاده کردند. مشکل اصلی استفاده از روش برنامه‌ریزی پویا جهت حل مسائل بهینه‌سازی بهره‌برداری از ایستگاه‌های آبکشی، بزرگی بیش از حد معادلاتی است که در روش مزبور باید حل شوند، بدین ترتیب محدودیت بسیار شدیدی به ابعاد و اندازه مسائل قابل حل تحمیل می‌گردد، به طوری که برنامه‌ریزی پویا تنها در سامانه‌هایی با تعداد تلمبه‌ها و مخازن اندک، و همچنین شبکه‌ی کوچک، قابل کاربرد است. بر این اساس کاربرد برنامه ریزی پویا در زمینه‌ی بهینه سازی ایستگاههای آبکشی چندان با موفقیت توام نبوده است.

در تحقیقاتی که به‌وسیله‌ی آرمسبی و همکاران (۱۹۸۹) و چاس و آرمسبی (۱۹۹۳) انجام شد، از برنامه‌ریزی غیرخطی جهت بهینه‌سازی ایستگاه‌های آبکشی استفاده شد. در این تحقیقات از یک بهینه ساز غیر خطی ویک شبیه ساز هیدرولیکی جهت حل قیود هیدرولیکی قسمت بهینه ساز بهره‌وری گردید. با انجام این کار، روشی جدید در بهینه سازی ایستگاه آبکشی باز شد (آرمسبی و همکاران، ۱۹۸۹؛ شی و ابرهارت، ۱۹۹۹). در بهینه‌سازی ایستگاه‌های آبکشی با کاربرد برنامه‌ریزی غیر خطی، روش تفاضل محدود مورد استفاده قرار می‌گیرد، که در آن به محاسبه‌ی شیب‌های مربوطه پرداخته می‌شود. روش تفاضل‌های محدود روشی تقریبی بوده و در فرایند بهینه‌سازی به شبیه‌سازی‌های مختلفی از شبیه هیدرولیکی ساخته شده نیازمند است. لذا، استفاده از این روش از لحاظ محاسباتی در بهینه‌سازی ایستگاه‌های آبکشی ناکارا بوده و دارای دقت لازم نیست. همچنین، تهیه روابط این

روش به گونه‌ای است که هیچ تضمینی در ارضای قیود مرزی موجود نمی‌باشد، بنابراین، نتیجه و جواب این روش ممکن است عملا در سامانه غیر قابل اجرا باشد.

به طور کلی، مشکلات اصلی روش‌های سنتی بهینه‌سازی در رسیدن به پاسخ بهینه را می‌توان به موارد زیر منسوب نمود:

۱- بزرگی فضای جستجوی مسئله، که در نتیجه‌ی آن، تنها مقدار بسیار اندکی از پاسخ‌های قابل قبول موجود در یک دوره‌ی زمانی مورد نظر قابل ارزیابی است؛

۲- پیچیدگی شبکه‌های توزیع و انتقال واقعی آب؛

۳- ساده‌سازی بیش از حد شبیه شبکه و معادلات هیدرولیکی سامانه در جهت تطابق با محدودیت‌های روش‌های بهینه سازی سنتی؛

۴- وجود امکان به دام افتادن روش‌های بهینه‌سازی در بهینه‌های موضعی.

چنانکه گفته شد، در روش‌های سنتی بهینه‌سازی جهت تطابق با محدودیت‌های این روش‌ها، محققان مجبور می‌شوند در تعیین روابط مسئله، تا حدی از فرضیات ساده کننده استفاده کرده، و واقعیت‌ها و پیچیدگی‌های مسئله بهره‌برداری از تلمبه‌های سامانه‌های انتقال و توزیع آب را مورد اغماض قرار دهند. واضح است که ساده‌سازی بیش از حد شبیه شبکه و معادلات هیدرولیکی سامانه ، باعث می‌شود دقت و صحت بهینه‌سازی مورد تردید واقع شود. مایس و تانگ (۱۹۹۲) به منظور حل این مشکل، تعیین روابط جدیدی را برای یک حالت کلی در مورد یک ایستگاه آبکشی دارای چند تلمبه ارائه نمودند، که در آن مسئله‌ی بهره‌برداری با جزئیات کامل مدنظر قرار گرفته و از ساده‌سازی پرهیز شده است. لازم به ذکر است که در پژوهش حاضر با انجام اصلاحاتی، این تعیین روابط برای سامانه آبکشی با ایستگاه‌های متوالی ارتقاء یافته است. در تعیین روابط مایس و تانگ (۱۹۹۲) سامانه آبکشی از تعداد J گره، m لوله، k حلقه و S آبگیر ذخیره تشکیل شده است. تعداد F گره از J گره موجود دارای موقعیت ثابتی در شبکه هستند. تابع هدف برای این مسئله بهینه نمودن عملکرد سامانه در طول دوره‌ی زمانی T است. قیودی که در این تعیین روابط جهت شبیه سازی ایستگاه آبکشی مد نظر قرار گرفته‌اند عبارتند از:

۱. قانون بقای جرم (پیوستگی جرم)؛ ۲. قانون بقای کارمایه در گره‌ها؛ ۳. قیودی که مربوط به تراز آب در مخازن ذخیره هستند؛ ۴. قیودی که مربوط به میزان دوره‌ی زمانی فعال بودن یک تلمبه در طول یک دوره‌ی زمانی از پیش تعیین شده می‌باشد؛ ۵. قیود بار آبی فشار حداقل و حداکثر؛ ۶. قیودی که محدودیت‌های دیگری را در مورد ترازهای سطح آب در مخازن اعمال می‌کنند.

با توجه به قیود فوق، تعیین روابط مسئله‌ی بهینه‌سازی ایستگاه آبکشی در حالت کلی به یک مسئله‌ی برنامه‌ریزی غیرخطی با مقیاس بزرگ تبدیل می‌شود، که متغیرهای تصمیم‌گیری در آن شامل طول مدت فعال بودن تلمبه‌ها در کل دوره‌ی زمانی مورد طراحی، میزان فشار موجود در لوله ها و میزان بده عبوری از لوله‌ها می باشند. در ضمن قیود اضافی را نیز می‌توان بر سامانه اعمال نمود. به عنوان مثال، قوانین از پیش تعیین شده‌ی عملکرد، مانند تعداد دفعاتی که یک تلمبه می تواند در طول یک دوره‌ی زمانی خاص روشن ویا خاموش شود، می‌تواند مد نظر قرار گیرد.

استفاده از تعیین روابط مایس و تانگ (۱۹۹۲)، یا تعیین روابط مشابه که از ساده‌سازی بیش از حد مسئله در آنها اجتناب شده است، محققان را با یک مسئله‌ی غیر خطی و بزرگ مقیاس مواجه می‌کند، که حل آن با روش‌های سنتی بهینه‌سازی عملاً غیر ممکن است. در سال‌های اخیر، تلاش‌هایی جهت استفاده از الگوریتم‌های فراکاوشی، نظیر الگوریتم ژنتیک (GA)[1]، SA[2]، PSO[3] در بهینه‌سازی بهره‌برداری از تلمبه‌های شبکه‌های انتقال و توزیع آب صورت گرفته است. به عنوان مثال مکل و همکاران (۱۹۹۵) با استفاده از یک نوع ساده از الگوریتم ژنتیک، روشی را جهت تعیین برنامه‌ی بهینه‌ی بهره‌برداری از یک ایستگاه منفرد آبکشی با هدف حداقل نمودن کل هزینه‌ی بهره‌برداری ارائه نموده، و با

[1] Genetic Algorithm

[2] Simulated Annealing

[3] Particle Swarm Optimization

حل یک مثال ساده نشان دادند که الگوریتم ژنتیک نتایج اولیه‌ی قابل قبولی را به دست می‌دهد. رادین (۱۹۹۸) و رادین و همکاران (۲۰۰۲) با استفاده از الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی برنامه‌ی بهره‌برداری را از یک ایستگاه آبکشی با چند تلمبه در سامانه‌های انتقال و توزیع آب شهری در جهت کمینه کردن هزینه‌های بهره‌برداری در طول یک شبانه روز انجام دادند. ایشان روش بهینه‌سازی خود را برای حل یک مسئله با ابعاد واقعی به کار برده و نشان دادند که روش مذکور در مسائلی با ابعاد واقعی از قابلیت مطلوب برخوردار می‌باشد.

در ایران رجب‌پور و افشار (۱۳۸۷) در پژوهشی از الگوریتم PSO برای بهینه‌سازی برنامه‌ی بهره‌برداری از ایستگاه‌های آبکشی متوالی با تلمبه‌هایی با دور متغیر با هدف حداقل‌سازی هزینه‌ی کارمایه‌ی مصرفی استفاده کردند. در پژوهش ایشان قیمت کارمایه در طول یک شبانه‌روز ثابت در نظر گرفته شده، و اثر تغییرات قیمت منظور نگردید. ایشان به عنوان مطالعه‌ی موردی سامانه‌ی انتقال آب را از سد درودزن به شهر شیراز مدنظر قرار دادند.

هدف اصلی پژوهش حاضر این است که نحوه‌ی بهره برداری (روشن یا خاموش بودن) از تلمبه‌های سامانه‌ی انتقال آب سد درودزن به شیراز به نحوی تعیین شود تا هم نیاز مصرف کننده تأمین گردد، و هم هزینه‌ی برق مصرفی حداقل شود.

در راستای نیل به این هدف یک شبیه رایانه‌ای جهت بهینه‌سازی ایستگاه‌های آبکشی متوالی ارائه می‌گردد که در آن از تعیین روابط مشابه تعیین روابط مایس و تانگ (۱۹۹۲) استفاده شده و برنامه‌زمان‌بندی تلمبه‌ها به صورت یک رشته صفر و یکی (مشخص کننده وضعیت خاموش- روشن تلمبه در بازه‌های زمانی تعریف شده) بیان گردیده است. همچنین، از الگوریتم ژنتیک به عنوان یکی از توانمندترین ابزارهای بهینه‌سازی، جهت یافتن برنامه‌ی زمان‌بندی بهینه‌ی آبکشی در یک شبانه‌روز استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش یک شبیه رایانه‌ای جهت تعیین دستورالعمل نحوه‌ی بهره‌برداری بهینه از ایستگاه‌های آبکشی متوالی تهیه شده، و قابلیت‌های آن در ایستگاه‌های آبکشی طرح تأمین آب شهر شیراز از سد درودزن مورد ارزیابی قرار گرفته است. قابل ذکر است که انتقال آب از سد درودزن به شهر شیراز با آبکشی انجام شده و هزینه‌های جاری این طرح با حذف یارانه‌های برق به تدریج افزایش می‌یابد.

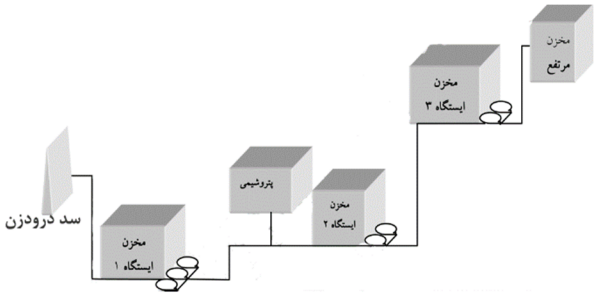
سد درودزن در فاصله‌ی ۱۲۰ کیلومتری از شهر شیراز واقع شده که آبگیر آن سالانه ۶۷ میلیون متر مکعب آب شرب و صنعتی را تأمین می کند که از آن بین ۲۷ میلیون متر مکعب در اختیار تأسیسات پتروشیمی، که در فاصله‌ی ۵۰ کیلومتری از شیراز واقع شده است، قرار گرفته و مابقی به شهر منتقل می شود. رقوم کف آبگیر سد در ارتفاع ۱۶۲۸/۵ متری، و رقوم بهنجار آن در ارتفاع ۱۶۷۶/۵ متری از سطح دریا واقع شده است. آب از سد بر اثر گرانش به آبگیر ایستگاه شماره‌ی ۱ منتقل می شود، این مقدار به‌طور ثابت برابر با ۷۶۴۸ متر مکعب در ساعت می باشد. سپس از آبگیر مزبور آب به‌وسیله‌ی تلمبه به آبگیر ایستگاه شماره ۲ فرستاده می شود. لازم به ذکر است که در بین مسیر مقدار ثابت ۳۰۸۲ متر مکعب در ساعت آب از طریق خط لوله‌ی 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 تأسیسات پتروشیمی قرار می گیرد. آب از ایستگاه دوم به ایستگاه شماره ۳ آبکشی، و از آنجا به آبگیر مرتفع تلمبه می شود. از آبگیر مرتفع آب مطابق با منحنی گسسته نیاز گرفته شده و به‌صورت ثقلی به شهر می رسد (شکل ۱).

روش‌های بهینه‌سازی در سامانه‌های تأمین و انتقال آب همگی در ذات خود نیازمند شبیه‌سازی هیدرولیکی می‌باشند؛ به بیانی دیگر، اولین گام در توسعه‌ی روشی کارامد جهت بهینه‌سازی مصرف کارمایه در یک سامانه‌ی انتقال آب خاص، توسعه‌ی برنامه‌ی مناسبی برای شبیه‌سازی هیدرولیکی آن سامانه می‌باشد که در این پژوهش نرم‌افزار EPANET 2 به عنوان شبیه‌ساز هیدرولیکی مورد استفاده قرار گرفت.

معرفی برنامه‌ی EPANET 2

نرم‌افزار EPANET 2 یکی از مهمترین شبیه‌سازهای سامانه‌های توزیع آب تحت فشار است که به‌وسیله‌ی راسمن (۲۰۰۰) توسعه یافته‌است. نرم‌افزار رایانه‌ای EPANET 2 برنامه‌ای است که شبیه‌سازی دوره زمانی طولانی هیدرولیک و رفتار کیفیت آب را در شبکه لوله‌های تحت فشار انجام

می‌دهد. شبکه‌ی مورد تحلیل می‌تواند شامل لوله‌ها، گره‌ها، تلمبه‌ها، شیرها و مخزن‌ها و یا آبگیرهای ذخیره‌ی آب باشد. نرم‌افزار EPANET 2 مواردی از قبیل: جریان در لوله‌ها، فشار در هر گره، تراز آب در هر آبگیر و غلظت مواد شیمیایی مختلف در کل شبکه را از طریق شبیه‌سازی دوره زمانی طولانی شبیه-سازی می‌نماید (نرم‌افزارهای سامانه‌های توزیع آب تغییرات زمانی در سامانه را به صورت زنجیره‌ای از دوره‌های بسیار کوتاه حالت ماندگار تقریب می‌زنند). این نرم‌افزار علاوه بر غلظت مواد شیمیایی قادر است از طریق شبیه‌سازی، سن آب و منبع آلودگی را نیز تعیین کند.



شکل ۱- طرح‌واره طرح آبرسانی به شهر شیراز.

الگوریتم ژنتیک

الگوریتم‌های بهینه‌سازی تکاملی یا ژنتیک، روش‌های بهینه‌سازی و جستجوی تصادفی هستند که با الهام از طبیعت و فرایند تکامل طبیعی برای حل مسائل بهینه‌سازی مهندسی توسعه داده شده‌اند. در این روش‌ها اندیشه‌هایی از قبیل تکامل موازی اعضای یک جمعیت، به ارث رسیدن اطلاعات ژنتیکی از والدین از طریق زاد و ولد، تکثیر ترجیحی اعضای اصلح جمعیت، و اعمال جهش‌های تصادفی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

تعیین روابط مسئله‌ی بهینه‌سازی

تابع هدف در مسئله‌ی مورد بررسی به حداقل رساندن هزینه‌ی کارمایه‌ی مصرفی در طول شبانه روز است. متغیرهای تصمیم وضعیت روشن و خاموش بودن تلمبه‌های موجود در هر ایستگاه در ساعات مختلف شبانه روز می‌باشد. محدودیت-های این مسئله را می‌توان در دو بخش، یکی مربوط به تلمبه های موجود و نیاز در پائین دست، و دیگری مربوط به مخازن ذخیره در هر ایستگاه تقسیم نمود.

تابع هدف در این مسئله به‌صورت زیر تعریف می شود:

$$EnergyCost = \sum_{s=1}^{st} (\cos t_s)$$

$$\cos t_s = \sum_{j=1}^{m(s)} \sum_{i=1}^{K} (E_{sji} \times CE_i) \qquad (۱)$$

$$E_{sji} = P_{sji} \Delta t \qquad P_{sji} = \rho g \frac{Q_{sji} H_{si}}{e_{sji}}$$

در رابطه فوق متغیرها عبارتند از:

EnergyCost : هزینه‌ی کارمایه‌ی آبکشی کل سامانه در طول دوره‌ی زمانی مورد نظر، که هدف تعیین مقدار کمینه‌ی آن است؛

costs: هزینه‌ی کارمایه‌ی مصرفی برای آبکشی ایستگاه s ام در طول دوره‌ی زمانی مورد نظر؛

Esji: کارمایه‌ی مصرفی برای آبکشی تلمبه‌ی j ام ایستگاه s ام در بازه زمانی i ام؛

Psji: توان مصرفی تلمبه‌ی j ام ایستگاه s ام در بازه‌ی زمانی i ام؛

CEi: هزینه‌ی مصرف کارمایه برای هر کیلووات ساعت در بازه-ی زمانی i ام؛

Qsji: بده‌ی تلمبه‌ی j ام ایستگاه s ام در بازه‌ی زمانی i ام که تابعی از ارتفاع آبکشی ایستگاه می باشد ؛

Hsi: ارتفاع آبکشی ایستگاه s ام در بازه‌ی زمانی i ام؛

esji: کارایی تلمبه‌ی j ام ایستگاه s ام در بازه‌ی زمانی i ام که تابعی از بده‌ی تلمبه و ارتفاع آبکشی می باشد ؛

Δt: طول بازه‌ی زمانی؛

m(s): تعداد تلمبه‌ها در ایستگاه s ؛

K: تعداد بازه های زمانی؛

st: تعداد ایستگاه‌های آبکشی؛

در رابطه‌ی فوق، ارتفاع آبکشی ایستگاه s ام در بازه‌ی زمانی i ام (Hsi) با توجه به مقادیر اختلاف بار آبی ایستا ایستگاه (اختلاف ارتفاع سطح آب در آبگیر بعد و قبل از ایستگاه) در دوره‌ی زمانی i ام (HSsi) و افت‌های موجود در مسیر آبکشی (Hfsi) از رابطه‌ی زیر تعیین می‌گردد:

$$H_{si} = HS_{si} + Hf_{si} \; ; \; Hf_{si} = \frac{10.68L}{D^{4.85}} \left(\frac{\sum_{j=1}^{m(s)} Q_{sji}}{C}\right)^{1.852} \qquad (۲)$$

که در آن L طول مسیر آبکشی هر نوع لوله در هر ایستگاه، و C ضریب هیزن ویلیامز می‌باشد. مقادیر Q_{sji} و H_{si} از برخورد دو منحنی سامانه آبکشی و منحنی فشار- بده-ی سامانه آبکشی در هر ایستگاه به‌دست می‌آید.

در این مسئله محدودیت مربوط به مخازن ذخیره عبارتند از:

$$h_{i,k} \le h_{\max_s} \; ; \; h_{i,k} \ge h_{\min_s} \qquad (۳)$$

که در آن h_{max} ارتفاع حداکثر مجاز ذخیره‌ی آب در آبگیر k؛ h_{min} ارتفاع حداقل مجاز ذخیره‌ی آب در آبگیر k؛ $h_{i,k}$ ارتفاع آب داخل آبگیر k در زمان i می‌باشند.

لازم به ذکر است، از آنجا که ایستگاه‌های آبکشی به-صورت متوالی قرار گرفته اند، لذا خروجی از هر آبگیر ورودی به آبگیر بعدی می‌باشد. بنابراین، خروجی از آبگیر انتهایی باید حجم مورد نیاز را تأمین کند.

پس از شبیه‌سازی شبیه موجود، و با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی GA، برنامه به این صورت عمل خواهد کرد که الگوریتم GA، مقادیر تصادفی برای متغیرهای تصمیم (وضعیت روشن و خاموش بودن هر تلمبه در هر ساعت) انتخاب می‌کند. سپس برای هر متغیر تصمیم میزان تخلف از قیود محاسبه می‌گردد و در نهایت هزینه‌ی کل کارمایه‌ی مصرفی برای تمام متغیرهای تصمیم محاسبه می‌گردد.

از طرفی چون مسئله مقید می‌باشد و GA برای مسائل نامقید است، بنابراین آن را با اضافه کردن جریمه به تابع هدف به‌صورت نامقید تعریف می‌کنیم. بنابراین خواهیم داشت:

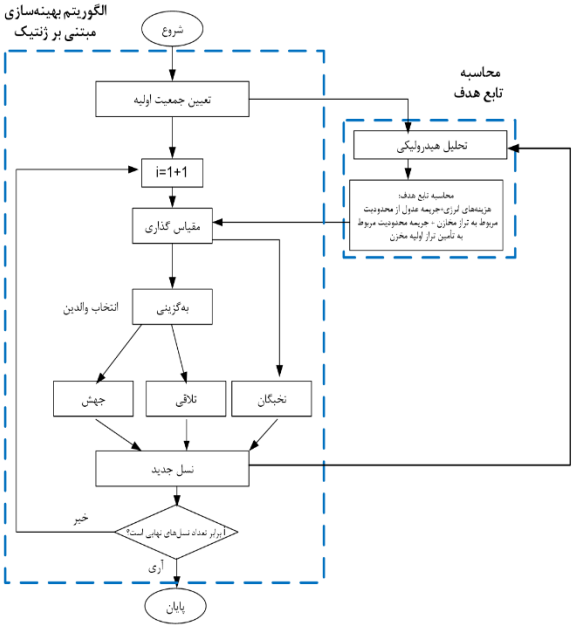
$$MinCOST = EnergyCost + penaly \qquad (۴)$$

در معادله فوق، جمله دوم مربوط به جریمه تخلف از قیود می‌باشد.

معرفی شبیه رایانه‌ای تهیه شده

شکل ۲ روندنمای شبیه رایانه‌ای تهیه‌شده جهت تعیین دستورالعمل نحوه‌ی بهره‌برداری بهینه از ایستگاه‌های آبکشی متوالی را نشان می‌دهد. اساس کار این شبیه تلفیق تحلیل‌گر هیدرولیکی و الگوریتم ژنتیک در محیط MATLAB 2 می‌باشد.

چنان‌که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود، این شبیه از دو بخش اصلی الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر ژنتیک و قسمت محاسبه‌ی تابع هدف تشکیل شده است. در ادامه هر یک از اجزاء این شبیه معرفی می‌گردد.



شکل ۲- روندنمای شبیه رایانه‌ای تعیین دستورالعمل نحوه‌ی بهره‌برداری بهینه از ایستگاه‌های آبکشی متوالی.

جمعیت (population)

در این قسمت مشخصات جمعیتی درنظر گرفته شده در الگوریتم مورد استفاده ارائه می‌گردد.

نحوه‌ی شناسه شدن هر یک از اعضاء (population type): در این مسئله هر گزینه به صورت رشته‌ای صفر و یکی (bit string) شناسه می‌شود که در آن هر یک از خانه‌ها مقدار ۰ یا ۱ را به خود اختصاص می‌دهد. صفر نشان‌دهنده‌ی خاموشی تلمبه و یک نشان‌دهنده‌ی حالت روشن بودن آن می‌باشد. رابطه‌ی (۵) نحوه‌ی تعریف یک گزینه را نشان می‌دهد. در این رابطه N شمار تلمبه‌ها، T تعداد گام‌های زمانی تعریف شده در دوره‌ی زمانی مورد نظر، و ps وضعیت روشن (۱) یا خاموش (۰) بودن تلمبه را نشان می‌دهد.

$$x = \{ps_1^1, \dots ps_T^1 \; ; ps_1^2, \dots, ps_T^2 \; ; \dots \; ; \; ps_1^n, \dots, ps_T^N\} \qquad (۵)$$

اندازه‌ی جمعیت: اندازه‌ی جمعیت تعداد اعضای هر نسل است که در این پژوهش پس از مهار اثر اندازه‌های مختلف

جمعیت در عملکرد الگوریتم بهینه‌سازی در نهایت مقدار این فراسنج برای مسئله مورد بررسی برابر ۱۰۰ تعیین گردید.

نحوه‌ی انتخاب جمعیت اولیه: تعیین جمعیت اولیه به صورت تصادفی بر اساس تابع توزیع احتمالی یکنواخت انجام گردید.

تابع مقیاس‌گذاری (scaling function):

تابع مقیاس‌گذاری مقادیر خام تابع هدف را به نحوی اصلاح می‌نماید که در دامنه‌ی مناسبی برای تابع به‌گزینی (selection function) قرار گیرد.

با توجه به ماهیت مسئله‌ی مورد بررسی، و تفاوت بسیار زیاد مقادیر تابع هدف اعضای یک نسل در این پژوهش از روش رتبه‌دهی برای مقیاس‌گذاری استفاده شد.

تابع به‌گزینی (selection):

در الگوریتم ژنتیک والدین ایجاد کننده نسل بعد به‌وسیله‌ی تابع به‌گزینی از میان اعضای نسل جاری انتخاب می‌شوند. انتخاب والدین براساس مقدار ارزش مقیاس‌گذاری شده آنها انجام می‌گردد. در این پژوهش برای به‌گزینی از روش یکنواخت احتمالی (stochastic uniform) استفاده شد.

فراسنج‌های اداره‌ی نحوه‌ی ایجاد نسل جدید:

تعداد نخبه‌ها (elite count) و نسبت تلاقی (crossover fraction) فراسنج‌هایی می‌باشند که نحوه‌ی ایجاد نسل جدید را اداره می‌کنند. تعداد نخبه‌ها تعداد عضوهایی را مشخص می‌کند که بدون تلاقی یا جهش عیناً به نسل بعد منتقل می‌شوند. نسبت تلاقی درصدی از اعضای نسل (منهای عضوهای نخبه) را مشخص می‌کند که از طریق تلاقی تعیین می‌شود. مابقی اعضا از طریق جهش تعیین می‌شوند. در این پژوهش پس از امتحان حالت‌های مختلف، مقدار فراسنج‌های تعداد نخبه‌ها (elite count) برابر با ۴، و نسبت تلاقی (crossover fraction) برابر با ۰/۸ تعیین شدند. بدین ترتیب، برای ایجاد هر نسل جدید ۴ عدد از بهترین اعضای نسل قبل عیناً به نسل جدید منتقل شده، و از ۹۶ عضو باقی مانده ۷۶ عدد فرزند تلاقی از ۱۵۲ والد منتخب برای تلاقی، و ۲۰ عدد فرزند جهش از ۲۰ عضو منتخب برای جهش تولید می‌شوند.

تابع جهش (mutation):

تابع جهش تغییرات تصادفی کوچکی در بعضی از اعضای جمعیت ایجاد می‌کند. این موضوع با توسعه‌ی تنوع ژنی جمعیت، امکان جستجوی فضای وسیعتری را برای الگوریتم بهینه‌سازی فراهم می‌آورد. در این پژوهش با توجه به ماهیت مسئله مورد بررسی از روش یکنواخت (uniform) جهت ایجاد اعضای جدید از طریق جهش استفاده شد.

تابع تلاقی (crossover):

تابع تلاقی نحوه‌ی ترکیب دو عضو والد جهت ایجاد یک عضو جدید نسل آینده را تعیین می‌نماید. روش‌های گوناگونی برای انجام تلاقی در مراجع مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در این پژوهش روش‌های پراکنده (scattered)، تک نقطه‌ای (single point) و دو نقطه‌ای (two point) مورد آزمایش قرار گرفت و از بین این سه روش، تلاقی دونقطه‌ای به عنوان روش مناسب برای مسئله‌ی مورد بررسی انتخاب شد.

محاسبه‌ی تابع هدف

جهت شبیه‌سازی هیدرولیکی سامانه و تعیین فراسنج‌های هیدرولیکی مورد نیاز از نرم‌افزار EPANET 2 استفاده گردید. به دلیل حجم گسترده برنامه و پیچیدگی‌های ناشی از هماهنگ کردن قسمت‌های مختلف آن، بخش هیدرولیکی نرم‌افزار EPANET 2 به عنوان مرجعی از فرامین و اطلاعات در محیط MATLAB وارد شد و با فراخوانی دستورات لازم شبکه مورد نظر تحلیل هیدرولیکی گردید.

اولین گام در این قسمت تهیه‌ی یک شبیه EPANET 2 از مسئله‌ی مورد نظر می‌باشد. بدین منظور کلیه‌ی مشخصات شبکه از قبیل ویژگی‌های خطوط لوله، شیرها، آبگیرها و مخزن‌ها در نرم‌افزار وارد می‌شوند. مشخصات تلمبه‌های شبکه از قبیل منحنی کارکرد و منحنی بازده آنها برای شبیه تعریف می‌شود.

همچنین مقادیر مصرف و الگوی مصرف پایین‌دست و همچنین الگوی تغییرات قیمت کارمایه در ساعات مختلف شبانه روز برای شبیه تعریف می‌گردد.

چنان‌که گفته شد، در الگوریتم بهینه‌ساز هر گزینه به صورت یک رشته‌ی صفر و یکی (رابطه‌ی ۹) نشان داده می‌شود. برای محاسبه‌ی تابع هدف یک گزینه، این رشته‌ی

صفر و یکی به صورت مجموعه‌ای از عبارت‌های مهاری که تغییر وضعیت تلمبه را دستور می‌دهند، برای نرم‌افزار EPANET 2 تعریف شده و سپس نرم‌افزار EPANET 2 به ازاء مقادیر مهار مشخص گردیده حل شد.

در شکل (۳) نمونه‌ای از این مهارها ارائه شده است.

حال با حل هیدرولیکی گزینه‌ی مورد نظر مقدار تابع هدف (fitness value) از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد:

FitnessValue=EnergyCost+Penalty1+Penalty2 (۶)

هزینه‌ی کارمایه (energy cost): به‌وسیله‌ی نرم‌افزار EPANET 2 به صورت مستقیم محاسبه می‌گردد.

```
[CONTROLS]
LINK p1 closed AT TIME 0
LINK p1 closed AT TIME 1
LINK p1 open AT TIME 2
LINK p1 closed AT TIME 3
```

شکل ۳- رشته‌ی صفر و یکی به صورت مجموعه‌ای از عبارت‌های مهاری که تغییر وضعیت تلمبه را دستور می‌دهد.

Penalty1: جریمه‌ای که برای عدول گزینه مورد نظر از تراز حداکثر و حداقل مجاز مخازن در نظر گرفته می‌شود. مقدار این جریمه از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$Penalty1=\alpha\left\{\begin{array}{l}\sum_{k=1}^{Nt}\sum_{t=1}^{T}\left(H_k^t/H_{\min,k}-1\right)^2 \quad \forall \quad H_k^t<H_{\min,k} \\ + \\ \sum_{k=1}^{Nt}\sum_{t}^{T}\left(H_k^t/H\max,k-1\right)^2 \quad \forall \quad H_k^t>H\max,k\end{array}\right\} \qquad (۷)$$

در این رابطه k شماره‌ی آبگیر، Nt تعداد کل مخازن، t شماره بازه‌ی زمانی مورد نظر و T تعداد کل بازه‌های زمانی است که مقادیر عمق آب در مخازن محاسبه می‌شود. H_k^t عمق آب در آبگیر kام در دوره‌ی زمانی tام می‌باشد. $H_{min,k}$ و $H_{max,k}$ به ترتیب حداقل و حداکثر عمق مجاز آب در آبگیر kام می‌باشند.

Penalty2: جریمه‌ای است که برای به وجود آمدن کمبود عمق در نظر گرفته می‌شود. کمبود عمق یا depth deficit عبارت است از کمبود عمق آبگیر ذخیره‌ای در انتهای دوره نسبت به عمق آن در ابتدای دوره. مقدار این جریمه از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

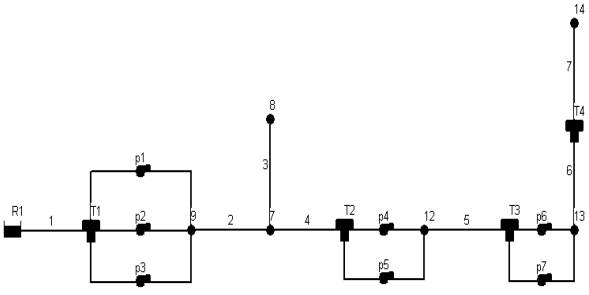
$$Penalty1=\beta\left\{\sum_{k=1}^{Nt}\left(H_k^t/H_{Ini,k}-1\right)^2\right\} \qquad (۸)$$

در این رابطه H_k^T عمق آب آبگیر k ام در انتهای دوره‌ی زمانی و $H_{Ini,k}$ عمق اولیه‌ی آب در آبگیر kام می‌باشد.

لازم به ذکر است که α و β ضریب جریمه می‌باشند، و مقدار مناسب آنها در مسئله‌ی مورد بررسی پس از سعی و خطا به ترتیب برابر $\propto = 10^{11}$ و $\beta = 10^{11}$ تعیین گردیده است.

بهینه‌سازی ایستگاه‌های آبکشی آبرسانی به شیراز

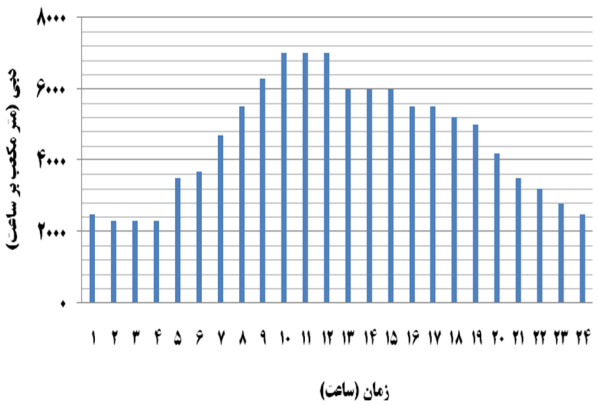
در مواردی ممکن است ایستگاه آبکشی آب خود بخشی از یک سامانه بزرگتر آبرسانی باشد، که از قسمت‌های مختلفی نظیر مخازن ذخیره، شبکه‌ی لوله‌ی حلقوی و... تشکیل شده است، که در این حالت، ایستگاه آبکشی خود فقط یک جزء از سامانه می‌باشد و به‌گزینی و بهینه سازی آن، علاوه بر به‌گزینی ایستگاه آبکشی مستلزم بهینه‌سازی اجزای دیگر سامانه نیز می باشد. در این قسمت طرح آبرسانی از سد درودزن به شهر شیراز شبیه‌سازی گردید و مسئله‌ی بهره برداری بهینه از ایستگاه‌های موجود در این طرح مورد بررسی قرار گرفت. شکل (۴) طرح‌واره نرم‌افزار EPANET 2 سیستم تأمین آب شهر شیراز را از سد درودزن نشان می‌دهد.



شکل ۴- طرح‌واره نرم‌افزار EPANET 2 سامانه تأمین آب شهرشیراز از سد درودزن.

توزیع زمانی نیاز آبی شهر شیراز در روز انتخابی

برای آزمایش قابلیت شبیه بهینه‌سازی تهیه شده، یک روز معمولی انتخاب گردید، که در آن جمعیت، مصرف سرانه و بده‌ی متوسط مصرف آب به صورت شکل (۵) می‌باشد.



شکل ۵- نمودار ستونی مصرف شهر شیراز در یک روز (رجب پور و افشار، ۱۳۸۷)

تعریف ساختار محاسبه قیمت کارمایه‌ی الکتریکی

در بیشتر موارد قیمت کارمایه الکتریکی در ساعت‌های مختلف شبانه روز متفاوت است. بر این اساس، یکی از مهم‌ترین ارکان بهینه‌سازی هزینه‌های کارمایه در ایستگاه‌های آبکشی، اطلاع از ساختار محاسبه قیمت کارمایه الکتریکی در محل است. به طور کلی، ساعات شبانه روز به ۳ دوره‌ی کم‌باری، میان‌باری و پرباری تقسیم شده، و قیمت برق در هر دوره متفاوت است. در این پژوهش، براساس بخشنامه‌های رایج وزارت نیرو در محاسبه قیمت کارمایه الکتریکی ساختار محاسبه‌ی قیمت کارمایه به صورت جدول (۱) در نظر گرفته شده است.

قابل توجه است که هزینه‌ی متوسط کارمایه الکتریکی در این پژوهش برابر با ۲۷۵ ریال درنظر گرفته شده است.

نتایج و بحث

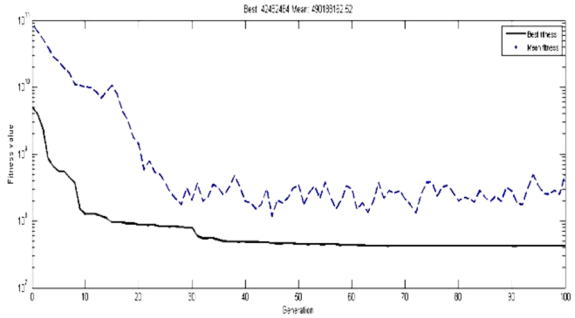
با استفاده از شبیه تهیه شده و بر اساس فراسنج‌هایی که به تفصیل مورد بحث قرار گرفتند، برنامه‌ی بهینه‌ی بهره‌برداری از تلمبه‌های سامانه‌ی تأمین آب شیراز تهیه شد.

باید توجه داشت که این برنامه برای یک روز معمولی و عمق اولیه مخازن برابر با ۱ متر تهیه شده است.

شکل (۶) تغییرات مقدار تابع هدف بهترین عضو هر نسل و متوسط تابع هدف اعضای هر نسل را در طول فرایند بهینه‌سازی نشان می‌دهد. چنان‌که ملاحظه می شود پس از گذشتن ۱۰۰ نسل و ۱۰۰۰۰ بار محاسبه تابع هدف، پاسخ بهینه‌ای با مقدار تابع هدفی برابر با ۴۲۴۸۲۴۸۴ ریال به‌وسیله‌ی شبیه بهینه‌سازی حاصل شده است. لازم به ذکر است که مبلغ ۴۱۹۱۴۶۱۰ ریال از مقدار تابع هدف مربوط به کارمایه‌ی کل مصرفی، و ۵۶۷۸۷۴ ریال باقی مانده مربوط به جریمه‌ی کمبود عمق می‌باشد.

	ساعت	ضریب قیمت	قیمت هر کیووات
کم باری	0AM-1AM	0.59	162
	1AM-2AM	0.59	162
	2AM-3AM	0.59	162
	3AM-4AM	0.59	162
	4AM-5AM	0.59	162
	5AM-6AM	0.59	162
میان باری	6AM-7AM	0.98	270
	7AM-8AM	0.98	270
	8AM-9AM	0.98	270
	9AM-10AM	0.98	270
	10AM-11AM	0.98	270
	11AM-12AM	0.98	270
	12AM-1PM	0.98	270
	1PM-2PM	0.98	270
	2PM-3PM	0.98	270
	3PM-4PM	0.98	270
	4PM-5PM	0.98	270
	5PM-6PM	0.98	270
	6PM-7PM	0.98	270
پر باری	7PM-8PM	1.77	486
	8PM-9PM	1.77	486
	9PM-10PM	1.77	486
	10PM-11PM	1.77	486
کم باری	11PM-12PM	0.59	162

جدول ۱- ساختار محاسبه قیمت کارمایه الکتریکی شامل دوره‌های کم‌باری، میان‌باری و پرباری.



شکل ۶- نمودار تغییرات مقدار تابع هدف بهترین عضو هر نسل، و متوسط تابع هدف اعضای هر نسل در طول فرایند بهینه‌سازی.

شکل (۷) نیز وضعیت روشن- خاموشی تلمبه‌ها و پاسخ بهینه را در طول ۲۴ ساعت نشان می‌دهد.

Hour	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
pump 1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0
pump 2	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
pump 3	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0
pump 4	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0
pump 5	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
pump 6	1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
pump 7	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0

شکل ۷- پاسخ بهینه - وضعیت روشن- خاموشی تلمبه‌ها در طول دوره‌ی ۲۴ ساعته روز انتخابی– عدد صفر نشانه‌ی خاموش و عدد یک نشانه‌ی روشن بودن تلمبه است.

جدول (۲) هزینه‌ی کارمایه‌ی مصرفی کل و تفکیکی تلمبه‌ها را در ۲۴ ساعت برای حالت بهره‌برداری بهینه نشان می‌دهد.

رجب‌پور و افشار (۱۳۸۷)، با استفاده از الگوریتم بهینه سازی PSO، اقدام به ارائه‌ی برنامه‌ی بهینه‌ی بهره‌برداری از تلمبه‌های سامانه انتقال آب شیراز نموده اند. در مسئله‌ی مورد بررسی ایشان تعرفه‌ی برق برابر با ۵۵ ریال به ازاء هر کیلو وات در نظر گرفته شده است، در صورتی که در شبیه تهیه شده در این پژوهش متوسط تعرفه‌ی برق در شرایط کنونی برابر با ۲۷۵ ریال به ازاء هر کیلو وات منظور گردید. براین اساس، به منظور مقایسه‌ی نتایج لازم است ابتدا هزینه‌ی کارمایه‌ی پاسخ بهینه‌ی به دست آمده به‌وسیله‌ی رجب‌پور و افشار (۱۳۸۷)، و همچنین هزینه‌ی اعلام شده به‌وسیله‌ی شرکت آب منطقه ای فارس با در نظر گرفتن نسبت $\frac{275}{55}$ (نسبت تعرفه‌ی کنونی به تعرفه‌ی سال ۱۳۸۵) تعدیل شود.

جدول ۲- هزینه‌ی کل کارمایه‌ی مصرفی در حالت بهره‌برداری بهینه.

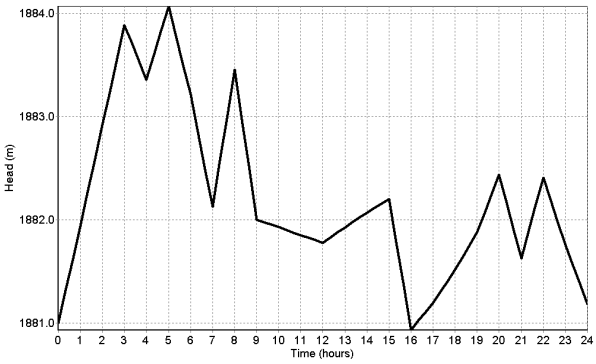
Pump	Percent Utilization	Average Efficiency	Kw-hr /m3	Average Kwatts	Peak Kwatts	Cost /day
p4	33.33	80.81	0.58	2554.03	2742.72	5221879.00
p5	29.17	81.21	0.58	2527.23	2743.48	4480799.00
p1	50.00	82.89	0.63	2233.11	2637.89	7292826.00
p2	50.00	82.51	0.61	2252.18	2641.25	6476404.00
p3	54.17	82.52	0.61	2263.71	2636.58	7148890.00
p6	37.50	81.69	0.63	2459.31	2550.08	5713284.00
p7	33.33	81.73	0.63	2458.51	2545.53	5580532.00
Total Cost						4.191461E07
Demand Charge						0.00

چنان‌که در جدول (۳) نشان داده شده است، هزینه‌ی کل کارمایه‌ی مصرفی در حالت بهره‌برداری بهینه در این پژوهش به طور قابل توجهی (۲۹ درصد) کمتر از هزینه‌ی میانگین برق مصرفی در یک روز متوسط است. همچنین، استفاده از الگوریتم ژنتیک حدود ۵ درصد باعث بهبود پاسخ بهینه‌ی روش الگوریتم PSO- با همسایگی کلی شده است، ولی هزینه‌ی پاسخ به دست آمده در این پژوهش از الگوریتم PSO با همسایگی موضعی حدود ۵ درصد بیشتر است.

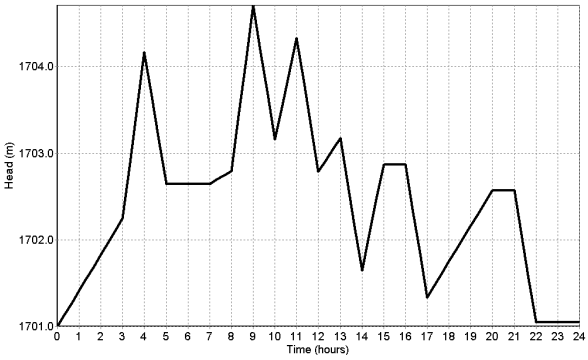
جدول ۳- مقایسه‌ی هزینه‌ی کل کارمایه‌ی مصرفی در حالت بهره‌برداری بهینه با نمایشنامه‌ی بهره‌برداری غیر بهینه.

	هزینه (ریال در روز)
هزینه‌ی متوسط برق مصرفی در یک روز متوسط (ریال)	۵۹۳۲۸۹۱۹
رجب پور و افشار (۱۳۸۷) الگوریتم PSO با همسایگی کلی	۴۴۰۸۹۶۸۶
رجب پور و افشار (۱۳۸۷) الگوریتم PSO با همسایگی موضعی	۳۹۶۱۸۶۹۰
هزینه‌ی برق مصرفی در شرایط بهره برداری بهینه (با الگوریتم ژنتیک) – پژوهش حاضر	۴۱۹۱۴۶۱۰

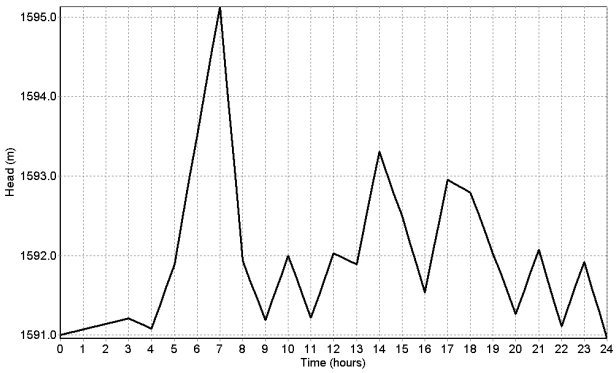
شکل‌های (۸) تا (۱۰) تغییرات سطح آب را در آبگیرها نشان می‌دهد. چنان‌که در شکل (۱۰) مشاهده می‌شود، عمق آب در آبگیر ایستگاه آبکشی دوم از حداقل و حداکثر مجاز عدول نکرده است.



شکل ۸- تغییرات سطح آب در آبگیر اصلی (آبگیر مرتفع).



شکل ۹- تغییرات سطح آب در آبگیر ایستگاه آبکشی شماره ۳.



شکل ۱۰- تغییرات سطح آب در آبگیر ایستگاه آبکشی شماره ۲.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش یک شبیه رایانه‌ای جهت بهینه‌سازی مصرف کارمایه در سامانه‌های توزیع آب تحت فشار توسعه داده شد، و برای بهینه‌سازی مصرف کارمایه سامانه تأمین آب شهر شیراز از سد درودزن مورد استفاده قرار گرفت. بدین منظور، در یک روز عادی برنامه‌ی بهینه‌ی بهره‌برداری از تلمبه‌ها تعیین گردید. سپس حالت بهره‌برداری بهینه در این روز خاص با یک نمایشنامه‌ی بهره‌برداری غیر بهینه مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که ضمن رعایت کلیه قیود مسئله، هزینه‌ی کارمایه در حالت بهره‌برداری بهینه ۲۹ درصد نسبت به بهره برداری کنونی کاهش داشته است. این موضوع به خوبی توان شبیه توسعه داده شده را در کاهش هزینه‌های کارمایه‌ی مصرفی نشان می‌دهد.

با این وجود موارد ذیل در استفاده از این شبیه باید مدنظر قرار گیرند:

۱- اصلی‌ترین فراسنجی که برنامه آبکشی بهینه تهیه شده به‌وسیله‌ی شبیه به آن وابسته است، نمودار ستونی نیاز آبی سامانه می‌باشد. در صورتی که پیش‌بینی این نمودار ستونی با دقت همراه نباشد، نتایج بهینه‌سازی نیز ارزش خود را از دست می‌دهد.

۲- خاموش و روشن شدن تلمبه‌ها هزینه‌های جانبی تعمیر و نگهداری را به سامانه تحمیل می‌کند که در نظر گرفته نشده‌اند.

بدین ترتیب، به طور کلی، پیشنهادهایی به شرح زیر برای توسعه‌ی پژوهش و کاربردی‌تر شدن آن ارائه می‌گردد:

الف- در جهت فراهم آوردن امکان استفاده کاربردی از شبیه توسعه داده شده در سامانه تأمین آب شیراز توصیه می‌شود ضمن ثبت اطلاعات تغییرات ساعتی نیاز آبی سامانه در طول سال، تحقیقاتی در جهت ارائه روش‌هایی کارامد جهت پیش‌بینی روزانه‌ی مصارف به عمل آید.

ب- توصیه می‌شود در تحقیقات آینده سعی شود که برآوردی کمی از میزان استهلاک ناشی از خاموش و روشن شدن تلمبه‌ها به‌دست آمده و شبیه بهینه‌سازی به نحوی ارتقاء داده شود تا علاوه بر حداقل نمودن هزینه‌های کارمایه‌ی مصرفی، هزینه‌های کل بهره‌برداری و نگهداری را نیز کمینه کند؛ بدین معنی که هزینه‌های کارمایه‌ی مصرفی، استهلاک و تعمیر و نگهداری را مجموعاً به حداقل برساند.

ج- پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده، مسئله‌ی استفاده از تلمبه‌هایی با دور متغیر جهت کاهش هزینه‌های کارمایه‌ی مصرفی به همراه وضعیت روشن و خاموش شدن تلمبه‌ها به‌طور توأمان در نظر گرفته شود.

د- استفاده از سایر الگوریتم‌های فراکاوشی به عنوان بهینه‌ساز در حل این مسئله جهت مقایسه‌ی کارایی آنها با الگوریتم ژنتیک می تواند مبنای تحقیقات آینده باشد.

منابع

۱) رجب‌پور، ر.، ه. افشار. ۱۳۸۷. بهره‌برداری بهینه از ایستگاه‌های آبکشی متوالی با استفاده از الگوریتم PSO. مجله آب و فاضلاب. ۶۶: ۵۶-۶۶

2) Chase, D.V., and L.E. Ormsbee. 1993. Computer generated pumping schedules for satisfying operation objectives. J. Am. Water Works Assoc. 85: 54–61.

3) Jowitt, P.W., and G. Germanopoulos. 1992. Optimal pump scheduling in water supply networks. J. Water Res. Plan. Manage. 118: 406–422.
4) Lansey, K.E., and K. Awumah. 1994. Optimal pump operations considering pump switches. J. Water Res. Plan. Manage. 120:17–35.
5) Mackle, G., D.A. Savic, and G.A. Walters. 1995. Application of genetic algorithms to pump scheduling for water supply. GALESIA, 95. London: Inst. Elect. Eng. Conf. Pub. 4/4: 400-405.
6) Mays, L.W., and Y.K. Tung. 1992. Hydro systems engineering and management. McGraw-Hill, New York: 140-157.
7) Nitivattananon, V., E.C. Sadowski, and R.G. Quimpo. 1996. Optimization of water supply system operation. J. Water Res Plan. Manage. 122: 374–384.
8) Ormsbee, L.E., T.M. Walski, D.V. Chase, and W.W. Sharp. 1989. Methodology for improving pump operation efficiency. J. Water Res. Plan. Manage. Div., Am. Soc. Civ. Eng. 115: 148–164.
9) Rodin, S.I. 1998. Use of genetic algorithm for optimal control of bulk water supply. [Online]. http://stullia.t-k.ru/waterpump/waterpump.htm . [May 5, 2001].
10) Rodin, S.I., and M. Moradi-Jalal. 2002. Use of genetic algorithm in optimization of irrigation pumping stations. WAPIRRA program. [Online]. http://stullia.t-k.ru/waterpump/waterpump.htm. [June 10, 2002].
11) Rossman, L.A. 2000. EPANET2 Users Manual. Risk Reduction Engineering Laboratory, U. S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.
12) Shi, Y., and R. Eberhart. 1999. Empirical study of particle swarm optimization. Proc. IEEE Int. Cong. Evolut. Comput., Washington DC., USA: 1945-50.