



مقایسه الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات و الگوریتم ژنتیک در مسائل مدیریت پیامدهای ناشی از انتشار آلودگی

محسن ظفری^{۱*}، مسعود تابش^۲، سارا نظیف^۳

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- آب و فاضلاب، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران
mohsen.zafari@ut.ac.ir

استاد دانشکده مهندسی عمران و عضو قطب علمی مهندسی و مدیریت زیرساخت‌های عمرانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران
mtabesh@ut.ac.ir

استادیار دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران
snazif@ut.ac.ir

چکیده

یکی از مسائل مهم در شبکه‌های آب شهری که در سالیان اخیر مورد توجه جوامع علمی و مهندسی قرار گرفته است، نفوذ آلودگی به شبکه و مدیریت پیامدهای ناشی از آن می‌باشد. منظور از مدیریت پیامدهای ناشی از آلودگی اتخاذ تصمیماتی از جمله بستن شیرهای قطع و وصل به منظور جلوگیری از گسترش آلودگی و باز کردن شیرهای آتش‌نشانی به منظور خروج آب آلوده از شبکه می‌باشد. با توجه به اهمیت سلامت مصرف کنندگان هزینه ناشی از انجام اقدامات اشاره شده، استفاده از ابزاری که در کوتاه‌ترین زمان ممکن بهترین نتیجه را در کاهش اثرات آلودگی به دنبال داشته باشد، ضروری است. در این پژوهش ابتدا یک رخداد آلودگی بر روی شبکه توزیع آب شهرک توحید واقع در حومه شهر سبزوار شبیه‌سازی شده و با استفاده از تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار، توانایی دو الگوریتم اجتماع ذرات و الگوریتم ژنتیک مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. نتایج نشان دهنده آن است که هر چند هر دو الگوریتم برای یافتن پاسخ‌های بهینه کارآمد می‌باشند اما الگوریتم اجتماع ذرات هم باعث ارتقاء کیفیت جواب‌ها و هم کاهش زمان رسیدن به آن‌ها می‌شود. این موضوع خصوصاً در شبکه‌های واقعی با فضای جواب گسترده بسیار حائز اهمیت خواهد بود.

واژگان کلیدی: شبکه توزیع آب شهری، مدیریت پیامدهای ناشی از انتشار آلودگی، الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات (PSO)، الگوریتم ژنتیک (GA)، تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار.



۱- مقدمه

در طول سالیان گذشته تکنیک‌های بهینه‌سازی متعددی در مسائل مربوط به طراحی و بهره‌برداری شبکه‌های توزیع آب استفاده شده است. به طور کلی این تکنیک‌ها را می‌توان به دو دسته تقسیم‌بندی نمود (Coelho & Andrade-Campos, ۲۰۱۴): ۱- الگوریتم‌های کلاسیک شامل برنامه‌ریزی خطی (LP^۱) و غیر خطی (NLP^۲)، برنامه‌ریزی پویا^۳ و ... که قادر به یافتن جواب دقیق مسأله می‌باشند اما نیاز به مشتق‌گیری از تابع هدف و به تبع آن محاسبات پیچیده دارند. ۲- الگوریتم‌های تکاملی^۴ شامل الگوریتم ژنتیک (GA^۵)، الگوریتم جامعه مورچگان (ACO^۶)، الگوریتم اجتماع ذرات (PSO^۷) و ... که بر پایه جستجو در فضای تصمیم می‌باشند. این الگوریتم‌ها نیازی به محاسبه مشتق تابع هدف نداشته و احتمال یافتن جواب بهینه مطلق در آن‌ها بیش از الگوریتم‌های کلاسیک می‌باشد. الگوریتم‌های تکاملی در واقع مجموعه الگوریتم‌هایی برای حل مسائل بهینه‌سازی هستند که به صورت تصادفی اما هدف‌مند و ساده در فضای جواب مسأله به دنبال جواب بهینه حرکت می‌نمایند. اکثر روش‌های تکاملی بر پایه جمعیتی متشکل از ذرات هوشمند بنا شده‌اند که در جمع رفتاری هوشمندانه از خود نشان می‌دهند. هوش مصنوعی اعضای جمعیت سبب جهت‌دهی به حرکات آن‌ها در فضای تصمیم به سوی جواب بهینه می‌شود (آزادنیا، ۱۳۸۸). این الگوریتم‌ها بر پایه جستجو عمل می‌نمایند و با توجه به اینکه نیازی به مشتق‌پذیری، یکنوا بودن و پیوستگی تابع هدف ندارند، در حل مسائل پیچیده و بزرگ مقیاس بسیار توانا می‌باشند. مسایل مطرح در شبکه‌های توزیع آب بسیار پیچیده بوده به طوری که استفاده از روش‌های سنتی بهینه‌سازی در حل آنها مستلزم صرف زمان طولانی و حافظه حجیم محاسباتی می‌باشد. این امر موجب کارایی بسیار اندک روش‌های سنتی بهینه‌سازی گردیده است. بنابراین استفاده از الگوریتم‌های تکاملی در مسائل مربوط به شبکه‌های آب شهری با توجه به بزرگ مقیاس بودن و تعداد بالای متغیرها، ارجح بوده و منجر به صرف زمان کمتری برای حل مسأله می‌گردد. به علاوه انتخاب روش بهینه‌سازی مناسب از میان الگوریتم‌های تکاملی، با توجه به ابعاد مسأله، شکل تابع هدف و فضای جستجو در مسائل مختلف متفاوت بوده و تأثیر به سزایی در مدت زمان انجام محاسبات و کیفیت جواب‌ها خواهد داشت.

یکی از مسائل مهم در شبکه‌های آب شهری که در سالیان اخیر مورد توجه جوامع علمی و مهندسی قرار گرفته است، نفوذ آلودگی به شبکه و مدیریت پیامدهای ناشی از آن می‌باشد. منظور از مدیریت پیامدهای ناشی از انتشار آلودگی، تصمیمات و اقداماتی است که پس از تشخیص ورود آلاینده در شبکه‌های توزیع آب شهری به منظور کاهش اثرات آلودگی، انجام می‌پذیرد. این تصمیمات و راهکارها می‌تواند شامل اعلام خطر عمومی، تزریق مواد ضدعفونی‌کننده، ایزوله کردن ناحیه آلوده شده توسط شیرهای قطع و وصل موجود در شبکه به منظور جلوگیری از گسترش آن، تخلیه آب از شیرهای آتش‌نشانی موجود در شبکه و همچنین استفاده از پمپ‌ها باشد. با توجه به هزینه‌های هر یک از این اقدامات، بهینه‌سازی اقدامات صورت گرفته در کنار کمینه کردن اثرات ناشی از آلودگی اهمیت فراوانی خواهد داشت. همچنین از آنجا که در هنگام بروز آلودگی سلامت مشترکین در معرض خطر می‌باشد، تصمیم مناسب و بهینه باید در کوتاه‌ترین زمان ممکن اتخاذ گردد. به همین دلیل استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی مناسب که در مدت زمان کمتری به سمت جواب بهینه همگرا می‌شود، ضروری می‌باشد. این امر با توجه به وسعت شبکه‌های واقعی و بزرگ بودن فضای پاسخ در آن‌ها قابل درک خواهد بود.

مطالعات مربوط به مدیریت پیامدهای ناشی از انتشار آلودگی به دو دسته کلی تقسیم‌بندی می‌شوند: ۱- مطالعاتی که با استفاده از روش‌هایی ابتکاری به تعیین راهکارهایی برای ایزولاسیون آلودگی و سپس تخلیه آن می‌پردازند. ۲- مطالعاتی که با استفاده از ابزار بهینه‌سازی مسأله را مورد بررسی قرار داده و به یافتن جواب بهینه با توجه به اهداف مورد نظر می‌پردازند. از آنجا که در رویکرد اول تضمینی برای رسیدن به جواب بهینه که با کمترین هزینه، بیشترین تأثیر را در کاهش اثرات آلودگی داشته باشد وجود ندارد، مطالعات اندکی از آن رویکرد استفاده نموده‌اند. در جدول (۱) خلاصه‌ای از مهم‌ترین تحقیقات انجام شده در مدیریت پیامدهای ناشی از انتشار آلودگی که از رویکرد دوم استفاده نموده‌اند، مشاهده می‌شود.

جدول (۱) خلاصه‌ای از تحقیقات انجام شده در زمینه مدیریت پیامدهای ناشی از انتشار آلودگی

ردیف	نام محققان	هدف	تکنیک بهینه‌سازی
۱	Baranowski & LeBoeuf (۲۰۰۶)	یافتن دبی خروجی بهینه گره‌ها به منظور کمینه کردن گسترش آلودگی در شبکه	Constrained First-Order Reliability Unconstrained First-Order

^۱ Linear Programming

^۲ Nonlinear Programming

^۳ Dynamic Programming

^۴ Evolutionary Algorithms

^۵ Genetic Algorithm

^۶ Ant Colony Optimization

^۷ Particle Swarm Optimization

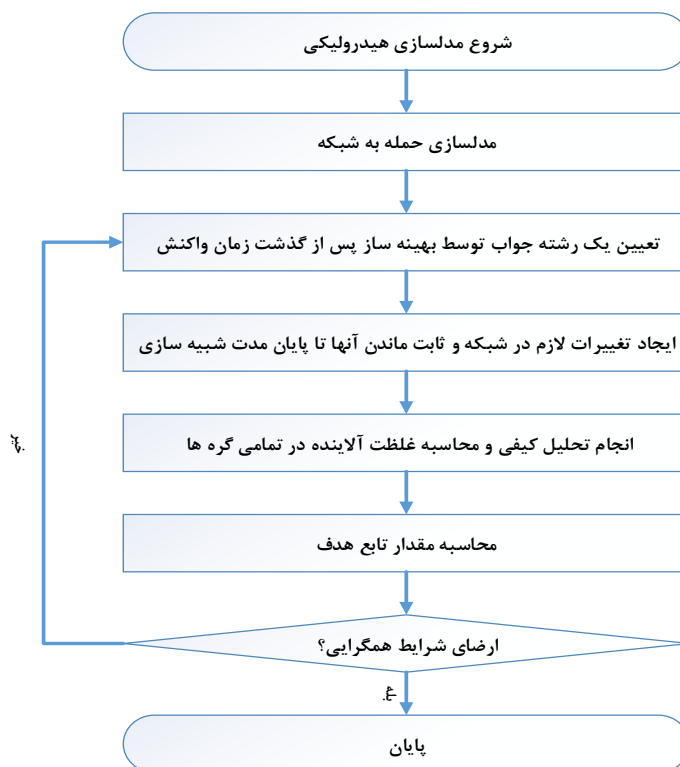


Reliability Parameter Estimation			
NSGA-II	(۱) کمینه کردن جرم آلاینده مصرفی (۲) کمینه کردن تعداد عملیات اجرایی شامل باز کردن شیرهای آتش نشانی و بستن شیرهای قطع و وصل	Preis & Ostfeld (۲۰۰۸)	۲
GA	کمینه کردن مجموع غلظت آلودگی در تمامی گره ها از زمان تشخیص آلودگی در اولین سنسور تا انتهای مدلسازی به وسیله باز کردن شیر آتش نشانی، بستن شیر قطع و وصل یا ترکیب هر دو مورد	Baranowski & LeBoeuf (۲۰۰۸)	۳
NSGA-II	(۱) کمینه کردن تعداد گره های آلوده (۲) کمینه کردن تعداد عملیات اجرایی (شامل باز کردن شیرآتش نشانی، بستن شیر قطع و وصل و روشن کردن پمپ)	Alfonso et al. (۲۰۱۰)	۴
GA	یافتن بهترین گره به منظور تخلیه آلودگی با هدف کمینه کردن مجموع طول لوله های حاوی آب آلوده از ابتدای تشخیص آلودگی تا انتهای مدلسازی	Haxton & Uber (۲۰۱۰)	۵
ACO	(۱) کمینه کردن تعداد گره های آلوده (۲) کمینه کردن زمان بازگشت شبکه به حالت عادی (۳) کمینه کردن تعداد عملیات اجرایی (شامل باز کردن شیرآتش نشانی، بستن شیر قطع و وصل و روشن کردن پمپ)	نجفی (۱۳۹۰)	۶
GA NSGA-II	(۱) یافتن مناسبترین شیرهای آتش نشانی به منظور کاهش تعداد بیماران (۲) یافتن شیرهای قطع و وصل مناسب و ایزولاسیون شبکه با هدف کمینه کردن وجود اختلال در شبکه (پایینتر از ۹۰٪ شبکه در حال سرویس دهی باشد) و تاثیر بر سلامت عمومی (تعداد بیماران) به صورت دو هدفه	Rasekh & Brumbelow (۲۰۱۰)	۷
GA NSGA-II	(۱) کمینه کردن تاثیر بر روی سلامت جامعه (مجموع بیماران یا مجموع جرم آلاینده مصرفی) (۲) کمینه کردن اختلال در سرویس رسانی شبکه (تعداد ساعاتی که حجم آبی که در اختیار مصرف کنندگان قرار میگیرد کمتر از مقداری معین باشد یا مجموع میزان اختلاف بین تقاضا و آب در دسترس در کل مدت بحران)	Rasekh & Brumbelow (۲۰۱۴)	۸

همان طور که در جدول (۱) مشاهده می شود تاکنون اکثر مطالعات مربوط به مدیریت پیامدهای ناشی از انتشار آلودگی، از الگوریتم ژنتیک به عنوان بهینه ساز استفاده نموده اند. هرچند استفاده از این الگوریتم جواب های قابل قبولی ارائه خواهد داد لیکن با توجه به اهمیت موضوع استفاده از الگوریتمی که در مدت زمان کوتاه تری مدیران شبکه را به سمت جواب مناسب سوق دهد، مفید می باشد. به همین دلیل در ادامه این مسأله با استفاده از الگوریتم بهینه سازی اجتماع ذرات مورد بررسی واقع شده و نتایج حاصل از آن با نتایج بدست آمده بوسیله الگوریتم ژنتیک مقایسه خواهد شد.

۲- مدیریت پیامدهای ناشی از انتشار آلودگی با استفاده از تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار

هدف از مدیریت پیامدهای ناشی از انتشار آلودگی، اتخاذ بهترین تدابیر در کوتاه ترین زمان ممکن پس از تشخیص ورود آلاینده، به منظور خروج آن از شبکه و حفظ سلامت جامعه می باشد. راهکارهای محدود کردن آلودگی و خارج کردن و یا از بین بردن آن در شبکه های آب شهری عبارتند از (USEPA, ۲۰۰۳): ۱- بستن شیرهای قطع و وصل به منظور محدود نمودن آلودگی ۲- باز کردن شیرهای آتش نشانی به منظور خروج آلاینده ۳- استفاده از مواد ضد عفونی کننده برای از بین بردن آلودگی در داخل شبکه ۴- استفاده از پمپ ها به منظور تسریع خروج آلودگی از شبکه ۵- ترکیبی از موارد فوق. این راهکارها، توصیه هایی عمومی بوده و لزوم ارائه روش هایی به منظور پیاده سازی آن ها در رخدادهای واقعی که بیشترین تاثیر را در کاهش اثرات آلودگی داشته باشد، به چشم می خورد. با استفاده از این روش ها در هنگام وقوع آلودگی، مدیران شبکه قادر به انتخاب شیرهای قطع و وصل و آتش نشانی مناسب جهت ایزولاسیون و خارج کردن آلاینده از داخل شبکه خواهند بود. در شکل (۱) مراحل مختلف مدلسازی به منظور یافتن اقدامات مناسب در جهت مدیریت پیامدهای ناشی از انتشار آلودگی در شبکه های واقعی نشان داده شده است.



شکل (۱) مراحل مدلسازی به منظور یافتن اقدامات مناسب در جهت مدیریت پیامدهای ناشی از انتشار آلودگی

با انجام مراحل نشان داده شده در شکل (۱) در هر رخداد آلودگی، می‌توان مدلی برای یافتن اقدامات مناسب به منظور کمینه‌سازی اثرات مخرب آلودگی بر روی سلامت جامعه در شبکه مورد مطالعه بدست آورد. بنابراین میزان انطباق انجام هر یک از مراحل فوق با واقعیت، در صحت جواب‌های بدست آمده و اثربخش بودن آن‌ها در کمینه‌سازی اثرات آلودگی، تأثیر مستقیم خواهد داشت. در این رابطه موضوعی که در اکثر مطالعات پیشین در نظر گرفته نشده است، وابستگی دبی خروجی در هر گره به فشار متناسب با آن در انجام شبیه‌سازی هیدرولیکی می‌باشد. در واقع در این مطالعات از تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر تقاضا (DDSM^۱) استفاده شده است. روش DDSM تا زمانی که شبکه در حالت عادی بوده و فشار گره‌ها به اندازه کافی بالا باشد، نتایج قابل قبولی ارائه می‌نماید اما در شرایط بحرانی (مانند افزایش مصرف، قطع برق و پمپاژ، بروز حوادث و ایجاد شکست مکانیکی و هیدرولیکی در سیستم و ...) انعکاس کاملی از واقعیت نخواهد بود (Tabesh et al., ۲۰۰۲). علت این امر آن است که در شرایط بحرانی فشار گره‌ها از حداقل فشار استاندارد شبکه کمتر شده و در نتیجه میزان دبی قابل برداشت در گره نیز از میزان تقاضا کمتر می‌شود. حال آنکه در مدیریت پیامدهای ناشی از آلودگی اقداماتی از قبیل بستن شیرهای قطع و وصل و باز کردن شیرهای آتش‌نشانی انجام شده که باعث خارج شدن وضعیت شبکه از حالت عادی و کمتر شدن فشار در برخی گره‌ها از حداقل فشار استاندارد می‌گردد. بنابراین در این پژوهش از تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار (HDSM^۲) که بر پایه ارتباط بین فشار گره‌ای و دبی خروجی بیان شده، به منظور شبیه‌سازی هیدرولیکی استفاده می‌شود. تاکنون روابط بسیاری برای بیان ارتباط بین دبی در یک گره و فشار متناظر با آن ارائه شده اما هیچ یک از آن‌ها مورد توافق همگانی قرار نگرفته است. روابط ارائه شده معمولاً از دو حد آستانه حداقل هد مطلق گره‌ای و حداقل هد مطلوب گره‌ای استفاده نموده که منظور از آن‌ها حداقل هد لازم برای برداشت جریان از گره و حداقل هد لازم برای تأمین کل جریان مورد نیاز گره می‌باشد. طبق بررسی‌های (Shirzad et al., ۲۰۱۳) و استفاده از یک مدل آزمایشگاهی، رابطه‌ای که توسط Wagner et al. (۱۹۹۸) ارائه شده است، انطباق بیشتری با واقعیت دارد. در نتیجه با استفاده از رابطه (۱) و با فرض اینکه حداقل فشار استاندارد (P_j^{\min}) برابر با صفر می‌باشد، رابطه دبی-فشار گره‌ای به صورت زیر خواهد بود:

$$H = El + \frac{P}{\gamma} \quad (۱)$$

^۱ Demand Driven Simulation Method

^۲ Head Driven Simulation Method



$$\left\{ \begin{array}{ll} Q_j^{avl} = Q_j^{req} & ; \text{if } P_j \geq P_j^{des} \\ Q_j^{avl} = Q_j^{req} \left(\frac{P_j}{P_j^{des}} \right)^{1/n_j} & ; \text{if } 0 < P_j < P_j^{des} \\ Q_j^{avl} = 0 & ; \text{if } P_j \leq 0 \end{array} \right. \quad (2)$$

که Q_j^{avl} : دبی موجود در گره j ، Q_j^{req} : دبی تقاضا در گره j ، P_j^{des} و P_j : به ترتیب فشار مطلوب و فشار گره j ، El : تراز گره مورد نظر و γ جرم حجمی آب می‌باشند.

در ارتباط با اهداف به کار رفته در مسائل مدیریت پیامدهای ناشی از انتشار آلودگی، این اهداف به سه دسته کمینه کردن تأثیرات نامطلوب بر روی سلامت جامعه، کمینه کردن هزینه عملیات اجرایی و کمینه کردن زمان اختلال در شبکه تقسیم‌بندی می‌شوند. همان‌طور که در جدول (۱) مشاهده می‌شود، کمینه کردن تأثیرات نامطلوب آلودگی، اصلی‌ترین هدف در این مسائل بوده که بیشترین کاربرد را در مطالعات پیشین داشته و تاکنون برای کمی نمودن آن توابع مختلفی ارائه شده است. در این پژوهش نیز مدلی برای مکانیابی بهینه شیرهای قطع و وصل و آتش‌نشانی با هدف کمینه کردن تعداد کل گره‌های آلوده در تمام مدت شبیه‌سازی ارائه شده است. برای کمی نمودن هدف مورد نظر، از تابع هزینه‌ای به شکل زیر استفاده می‌گردد:

$$F_l = \sum_{i=1}^{N_{node}} \sum_{t=0}^{t_{end}} N(i, t) \quad (3)$$

که N_{node} و t_{end} : به ترتیب تعداد کل گره‌های مصرف‌کننده و پایان مدت شبیه‌سازی می‌باشند. $N(i, t)$ شاخصی برای تعیین آلودگی گره i در زمان t می‌باشد. هرگاه غلظت گره i در زمان t کمتر از حد مجاز باشد، $N(i, t)$ برابر با صفر و هرگاه مساوی و یا بیش از این مقدار باشد، برابر با ۱ منظور می‌شود. این رابطه در عین سادگی باعث کاهش وسعت آلودگی در شبکه شده و مدت زمانی که گره‌ها در بالای آستانه آلودگی هستند را کاهش می‌دهد. لازم به ذکر است که استفاده از مدل تک‌هدفه به همراه انتخاب بهینه‌ساز مناسب به علت زمان اندک مورد نیاز برای انجام محاسبات، در هنگام وقوع آلودگی و قرار گرفتن وضعیت شبکه در حالت اضطرار می‌تواند مفید واقع شود.

بنا بر مطالب بیان شده، پس از تحلیل هیدرولیکی شبکه به روش مبتنی بر فشار و شبیه‌سازی حمله به شبکه، یک بار با استفاده از الگوریتم ژنتیک و بار دیگر با استفاده از الگوریتم اجتماع ذرات اقدامات مناسب در راستای کمینه کردن رابطه (۳) مشخص می‌گردد. منظور از اقدامات مناسب، بستن شیرهای قطع و وصل بهینه در جهت ایزولاسیون آلودگی و باز کردن شیرهای آتش‌نشانی بهینه در جهت خارج کردن آلاینده از شبکه می‌باشد. پس از آن با توجه به جواب‌های بدست آمده و سرعت همگرایی، روش‌های مورد نظر مقایسه خواهند شد.

۳- مقایسه الگوریتم‌های تکاملی

روش‌های مختلفی مانند مقایسه بهترین جواب بدست آمده، مقایسه سرعت همگرایی، مقایسه زمان همگرایی، مقایسه دفعات فراخوانی تابع هدف (NFE^1) و ... به منظور مقایسه بین الگوریتم‌های تکاملی به کار گرفته می‌شود. در اکثر مقالات و مراجع، دفعات فراخوانی تابع هدف به عنوان ملاک ارزیابی الگوریتم‌های بهینه‌سازی معرفی شده و الگوریتمی که با تعداد فراخوانی کمتری به جواب بهینه دست پیدا کند، الگوریتم مناسب‌تری برای مسأله مورد نظر خواهد بود. در اینجا نیز الگوریتم‌های GA و PSO با استفاده از همین معیار، در مسأله مدیریت پیامدهای ناشی از انتشار آلودگی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.

۳-۱- الگوریتم ژنتیک

یکی از پرکاربردترین الگوریتم‌های تکاملی الگوریتم ژنتیک (GA) می‌باشد که تا به حال بیش از سایر تکنیک‌های بهینه‌سازی در مدیریت پیامدهای ناشی از آلودگی به کار گرفته شده است. GA که بر پایه انتخاب طبیعی و الگوریتم ژنتیک استوار است برای اولین بار توسط Holland (۱۹۷۵) مطرح شده و پس از آن توسط Goldberg (۱۹۸۹) تکمیل گردید. در الگوریتم‌های ژنتیک ابتدا به طور تصادفی چندین جواب برای مسئله تولید می‌کنیم (تولید جمعیت اولیه). هر جواب را یک کروموزوم می‌نامیم. سپس با استفاده از عملگرهای الگوریتم ژنتیک پس از انتخاب کروموزوم‌های بهتر، کروموزوم‌ها را باهم ترکیب کرده و جهشی در آنها ایجاد می‌کنیم. در نهایت نیز جمعیت فعلی را با جمعیت جدیدی که از ترکیب و جهش در کروموزوم‌ها حاصل می‌شود، ترکیب می‌کنیم. در واقع برای تولید هر نسل میزان شایستگی با توجه به هدف محاسبه می‌شود. افرادی که شایستگی تولید

¹ Number of Function Evaluation



نسل بعد را دارند با استفاده از تکنیک‌های وراثت، جهش، انتخاب و ترکیب انتخاب می‌شوند. افرادی که شایستگی بیشتری دارند با احتمال بیشتری در تولید نسل بعدی دخیل خواهند بود به طوری که متوسط میزان شایستگی هر نسل از نسل قبلی بیشتر باشد. این الگوریتم تا جایی ادامه می‌یابد که محدودیت مورد نظر (مانند تعداد نسل‌ها، زمان، تغییرات ناچیز میزان تابع تناسب و ...) را ارضا نماید. اکثر مطالعات مدیریت پیامدهای ناشی از آلودگی، همان‌طور که در جدول (۱) ملاحظه می‌شود از الگوریتم ژنتیک برای یافتن جواب بهینه استفاده نموده‌اند.

۲-۳- الگوریتم اجتماع ذرات

از دیگر الگوریتم‌های تکاملی که بر پایه رفتار اجتماعی حیوانات نظیر پرواز دسته جمعی پرندگان، شنای دسته جمعی ماهی‌ها و ... بنا شده است، الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات (PSO) می‌باشد که برای اولین بار توسط Eberhart & Kennedy (۱۹۹۵) ارائه گردید. این روش در ابتدا ضعف‌هایی از جمله گیر افتادن در نقاط بهینه محلی داشت با این حال سرعتش از همان زمان بسیار بیشتر از باقی روش‌ها بود. به تدریج با از بین رفتن ضعف‌های PSO، استفاده از آن در سال‌های اخیر در مسائل مهندسی آب به شدت در حال گسترش بوده به طوری که به رقیبی جدی برای روش‌های تکاملی دیگر تبدیل شده است. از این جهت که PSO نیز با یک ماتریس جمعیت تصادفی اولیه شروع می‌شود، شبیه بسیاری دیگر از الگوریتم‌های تکاملی همچون الگوریتم ژنتیک است. برخلاف الگوریتم ژنتیک، PSO هیچ عملگر تکاملی همانند جهش و تزیج ندارد. هر عنصر جمعیت، یک ذره نامیده می‌شود (معادل کروموزوم در GA). در واقع الگوریتم PSO از تعداد مشخصی از ذرات تشکیل می‌شود که به طور تصادفی، مقدار اولیه می‌گیرند. برای هر ذره دو مقدار وضعیت و سرعت، تعریف می‌شود که به ترتیب با یک بردار مکان و یک بردار سرعت، مدل می‌شوند. یک حافظه به ذخیره بهترین موقعیت هر ذره در گذشته و یک حافظه به ذخیره بهترین موقعیت پیش آمده در میان همه ذرات، اختصاص می‌یابد. با تجربه حاصل از این حافظه‌ها، ذرات تصمیم می‌گیرند که در نوبت بعدی، چگونه حرکت کنند تا در نهایت به نقطه بهینه همگرا شوند. نکته بسیار جالب در PSO که در اکثر الگوریتم‌های دیگر به چشم نمی‌خورد، آن است که هر ذره از تمام تجربیات گذشته خود می‌تواند سود ببرد در حالی که مثلاً در GA فقط از اطلاعات آخرین جمعیت استفاده می‌شود. بنابراین حرکت هر ذره به دو عامل بستگی دارد: ۱- بهترین موقعیتی که تاکنون داشته است (pbest) ۲- بهترین موقعیتی که کل مجموعه ذرات تا کنون داشته‌اند (gbest). با توجه به مطالب فوق موقعیت جدید هر ذره از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$X_i^{t+1} = X_i^t + V_i^{t+1} \quad (4)$$

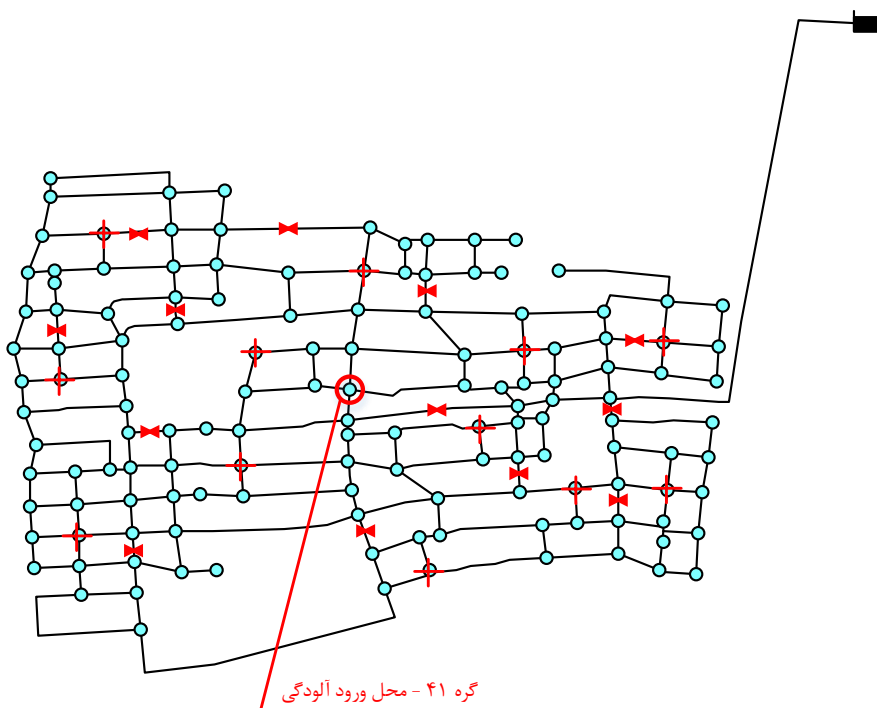
که X_i^t و X_i^{t+1} : به ترتیب موقعیت کنونی ذره و موقعیت آن در تکرار جدید و V_i^{t+1} : سرعت انطباقی (میدان تغییر مکان) ذره در تکرار جدید را مشخص نموده و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$V_i^{t+1} = w \times V_i^t + c_1 \times rand() \times (pbest_i - X_i^t) + c_2 \times rand() \times (gbest_i - X_i^t) \quad (5)$$

که V_i^t : سرعت کنونی ذره، $pbest_i$: بهترین موقعیتی که ذره i تا کنون مشاهده کرده، $gbest_i$: بهترین موقعیتی که تمام ذرات تا کنون مشاهده کرده‌اند، تابع $rand()$ مولد عدد تصادفی بین صفر و ۱ که برای حفظ تنوع و گوناگونی گروه به کار می‌رود، C_1 و C_2 : پارامترهای شناختی و اجتماعی و w : اینرسی وزنی می‌باشند. در این رابطه عبارت اول مربوط به جابجایی فعلی، عبارت دوم مربوط به اثر حافظه ذره و آخرین عبارت مربوط به اثر گروه ذرات می‌باشد.

۴- شبکه مورد مطالعه

شبکه مورد مطالعه به منظور انجام مدل‌سازی، قسمتی از شبکه توزیع آب شهرک توحید واقع در حومه شهرستان سبزوار می‌باشد که ساختار کلی آن در شکل (۲) آمده است. این شبکه متشکل از ۱ منبع تأمین آب با هد ثابت، ۱۳۷ گره مصرف و ۲۱۸ لوله بوده که جمعیتی در حدود ۱۵،۰۰۰ نفر تحت پوشش آن می‌باشد. همچنین فرض بر آن است که ۱۲ گره دارای شیر آتش‌نشانی بوده و ۱۳ لوله قابلیت بسته شدن را دارا می‌باشند.

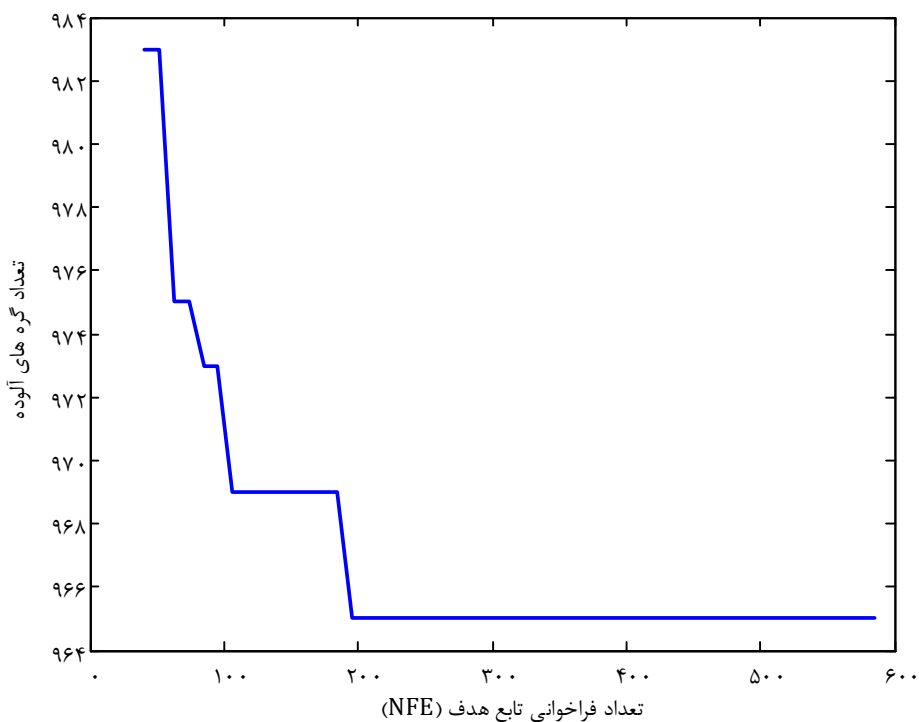


شکل (۲) ساختار شبکه توزیع آب شهرک توحید

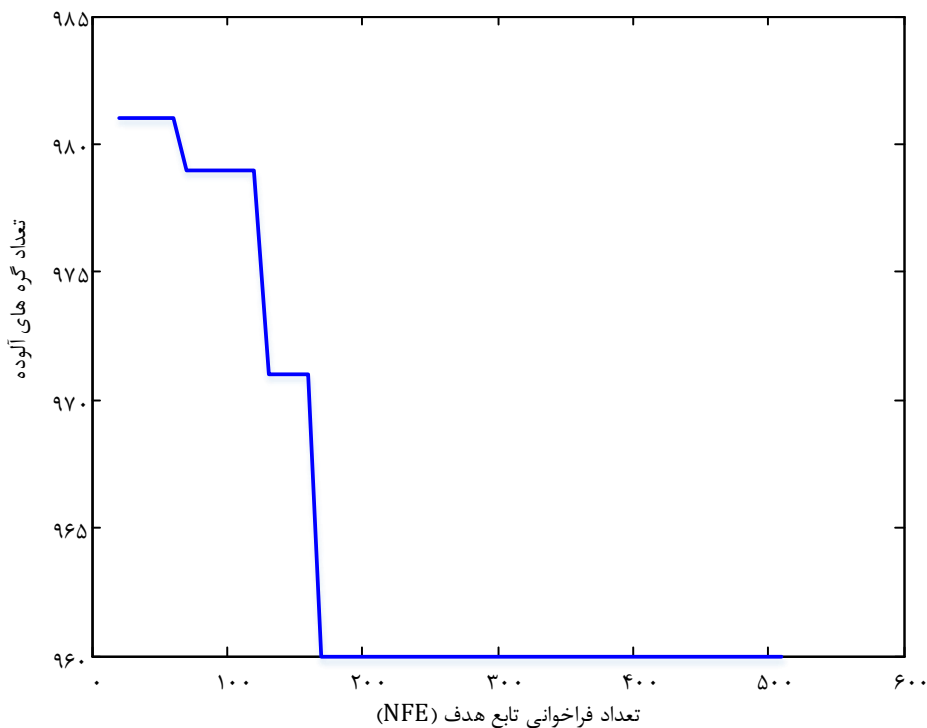
برای شبیه‌سازی حمله به شبکه فرض می‌شود که آلودگی از نوع آرسنیک به مدت ۳ ساعت و به میزان ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از گره شماره ۴۱ وارد شبکه می‌گردد. غلظت مجاز آرسنیک با توجه به استاندارد کیفیت آب آشامیدنی (نشریه ۳-۱۱۶) ۰/۰۵ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. پس از آن با در نظر گرفتن ۴ ساعت به عنوان زمان واکنش، یک رشته جواب توسط بهینه‌ساز تولید می‌شود. زمان واکنش، مدت زمان لازم برای اتخاذ راهکار مناسب در جهت مدیریت پیامدهای ناشی از انتشار آلودگی، اعزام نیروها به محل و انجام عملیات اجرایی می‌باشد. رشته جواب تولید شده توسط بهینه‌ساز متشکل از ۲۵ عضو به صورت صفر یا ۱ بوده که ۱۳ عضو اول آن مربوط به باز یا بسته بودن شیرهای قطع و وصل و مابقی مربوط به باز یا بسته بودن شیرهای آتش‌نشانی می‌باشد. در واقع در ابتدای شبیه‌سازی تمامی شیرهای قطع و وصل باز و شیرهای آتش‌نشانی بسته هستند و پس از تولید جواب توسط بهینه‌ساز، در صورتی که جواب تولید شده برای شیر مورد نظر ۱ باشد وضعیت آن تغییر کرده و در غیر این صورت بدون تغییر باقی می‌ماند. با توجه به مطالب فوق^{۱۵} حالت ممکن به عنوان جواب مسأله وجود دارد که اتخاذ جواب بهینه در کوتاه‌ترین زمان ممکن، حائز اهمیت خواهد بود.

۵- نتایج

با در نظر گرفتن جمعیت اولیه و تعداد ذره به میزان ۱۰ برای الگوریتم‌های GA و PSO و تعداد تکرار ۵۰، نمودار مربوط به گره‌های آلوده بر حسب تعداد دفعات فراخوانی تابع هدف برای هر دو الگوریتم ترسیم شده است. همان‌طور که در شکل‌های (۳) و (۴) مشاهده می‌شود، الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات در $NFE=180$ و الگوریتم ژنتیک در $NFE=197$ به جواب بهینه دست پیدا می‌کنند. همچنین مقدار جواب بهینه در الگوریتم اجتماع ذرات کمتر از الگوریتم ژنتیک بوده که نشانگر عملکرد مناسب این الگوریتم نسبت به GA می‌باشد. زمان انجام محاسبات نیز با استفاده از GA، حدود ۳۵۲ ثانیه و با استفاده از PSO، حدود ۳۲۰ ثانیه می‌باشد.



شکل (۳) نمودار تعداد گره آلوده بر حسب تعداد دفعات فراخوانی تابع هدف با استفاده از الگوریتم GA



شکل (۴) نمودار تعداد گره آلوده بر حسب تعداد دفعات فراخوانی تابع هدف با استفاده از الگوریتم PSO



۶- نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت بالای زمان در مسائل مربوط به مدیریت پیامدهای ناشی از انتشار آلودگی و حفظ سلامت جامعه، استفاده از ابزاری که در کوتاه‌ترین زمان ممکن بهترین نتیجه را در بر داشته باشد ضروری خواهد بود. در این پژوهش به منظور مقایسه دو الگوریتم PSO و GA در این دسته از مسائل، یک رخداد آلودگی بر روی شبکه توزیع آب شهرک توحید واقع در حومه شهر سبزوار شبیه‌سازی شده و مشاهده گردید که استفاده از الگوریتم اجتماع ذرات هم در بهبود کیفیت پاسخ نهایی و هم در زمان رسیدن به آن تأثیر به‌سزایی خواهد داشت. این تأثیر با توجه به گستردگی بسیار بالای فضای جواب در مسائل واقعی حائز اهمیت خواهد بود.

لازم به ذکر است تعداد گره‌های آلوده در صورت عدم انجام اقدامات مدیریت پیامدها ۱۳۸۷ گره خواهد بود که با انجام اقدامات مناسب این تعداد به حدود ۹۶۰ گره قابل کاهش می‌باشد. این موضوع نشان از کارایی مناسب هر دو الگوریتم در حل این دسته از مسائل داشته و جواب‌های حاصل از آن‌ها به میزان قابل توجهی (۳۰٪) در کاهش اثرات زیان‌بار آلودگی مفید خواهد بود. اما الگوریتم PSO در مقایسه با GA عملکرد مناسب‌تری داشته و با بزرگ شدن شبکه مورد مطالعه این برتری نمایان‌تر می‌گردد.

منابع و مراجع

- [۱] آزادنی، ا. (۱۳۸۸)، "کاربرد الگوریتم PSO در حل مسائل چندهدفه منابع آب"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، تهران.
- [۲] نجفی، ا. (۱۳۹۰)، "مدیریت پیامدهای ناشی از حملات بیولوژیکی و شیمیایی به شبکه‌های توزیع آب شهری"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت، تهران.
- [۳] سازمان برنامه و بودجه و طرح استانداردهای وزارت نیرو، (۱۳۷۱)، "استاندارد کیفیت آب آشامیدنی"، نشریه ۳-۱۱۶، تهران، ایران.
- [۴] Alfonso, L., Jonoski, A. and Solomatine, D. (۲۰۱۰), "Multiobjective Optimization of Operational Responses for Contaminant Flushing in Water Distribution Networks", Journal of Water Resources Planning and Management, ۱۳۶(۱), ۴۸-۵۸.
- [۵] Baranowski, T. M. & LeBoeuf, E. J. (۲۰۰۶), "Consequence Management Optimization for Contaminant Detection and Isolation", Journal of Water Resources Planning and Management, ۱۳۲(۴), ۲۷۴-۲۸۲.
- [۶] Coelho, B., & Andrade-Campos, A. (۲۰۱۴), "Efficiency achievement in water supply systems—A review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, ۳۰, ۵۹-۸۴.
- [۷] Goldberg, D. E. (۲۰۰۶). Genetic algorithms. Pearson Education India.
- [۸] Haxton, T., & Uber, J. (۲۰۱۰). "Flushing under source uncertainties", In ۱۲th Annual Water Distribution Systems Analysis Conference, University of Arizona, Tucson, AZ.
- [۹] Kennedy, J. and Eberhart, R. (۱۹۹۵), "A New Optimizer Using Particle Swarm Theory", In Proceedings of the sixth international symposium on micro machine and human science, ۳۹-۴۳.
- [۱۰] Preis, A., Mayorchik, Y. and Ostfeld, A. (۲۰۰۷), "Multiobjective Contaminant Detection Response Model", In Proceedings CD of ASCE world environmental and water resources congress, Tampa, FL, USA, ۱-۱۲.
- [۱۱] Rasekh, A. and Brumbelow, K. (۲۰۱۱), "Multi-Criteria Response Planning for Water Utility Contamination Events", In Reston, VA: ASCE copyright Proceedings of the ۲۰۱۱ World Environmental and Water Resources Congress; May ۲۲. ۲۶, ۲۰۱۱, Palm Springs, California d ۲۰۱۱۰۰۰۰. American Society of Civil Engineers.
- [۱۲] Rasekh, A. and Brumbelow, K. (۲۰۱۴), "Drinking water distribution systems contamination management to reduce public health impacts and system service interruptions", Environmental Modelling & Software, ۵۱, ۱۲-۲۵.



[۱۳] Shirzad, A., Tabesh, M., Farmani, R., & Mohammadi, M. (۲۰۱۳), “Pressure-Discharge Relations with Application to Head-Driven Simulation of Water Distribution Networks”, Journal of Water Resources Planning and Management, ۱۳۹(۶), ۶۶۰-۶۷۰.

[۱۴] Tabesh, M., Tanyimboh, T.T. and Burrows, R. (۲۰۰۲), “Head Driven Simulation of Water Supply Network”, International Journal of Engineering, ۱۵(۱), ۱۱-۲۲.

[۱۵] Toolbox, R. P. (۲۰۰۳), Planning for and Responding to Drinking Water Contamination Threats and Incidents, USEPA, Washington, DC.

[۱۶] Wagner, J., Shamir, U. and Marks, D. (۱۹۸۸), “Water Distribution Reliability: Simulation Methods”, Journal of Water Resources Planning and Management, ۱۱۴(۳), ۲۷۶-۲۹۴.