



کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵

1100P-NWWCE

بهینه‌سازی سامانه‌های تأمین آب نوبتی با بکارگیری تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار

رضا صفایی بروجنی^{۱*}، مسعود تابش^۲، میثم شکوهی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- مهندسی آب و فاضلاب، دانشکده مهندسی عمران، پردیس

دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

۲- استاد دانشکده مهندسی عمران و عضو قطب علمی مهندسی و مدیریت زیرساخت‌های عمرانی، پردیس

دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

۳- کارشناس ارشد مهندسی عمران- مهندسی آب و فاضلاب، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده-

های فنی، دانشگاه تهران

* rsafaei@ut.ac.ir

خلاصه

در این تحقیق با استفاده از تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار و الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات، بهینه‌سازی تأمین نوبتی با هدف بیشینه‌سازی یکنواختی توزیع آب در شبکه و قابلیت اطمینان انجام شد. در ادامه با محاسبه برگشت‌پذیری به عنوان یک معیار کارایی، عملکرد سیستم ارزیابی شده و نتایج حاصل از شبیه‌سازی مبتنی بر فشار با شبیه‌سازی مبتنی بر تقاضا مورد مقایسه قرار گرفت. روش ارائه شده بر روی یک شبکه نمونه و تعریف چند سناریو کم‌آبی مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج نشان داد مقادیر تابع هدف برای حالت شبیه‌سازی مبتنی بر فشار بیشتر از شبیه‌سازی مبتنی بر تقاضا بوده در حالی که معیار برگشت‌پذیری برای حالت تحلیل مبتنی بر تقاضا بیشترین مقدار را داشته است. در تحلیل مبتنی بر فشار، به خوبی نشان داده شده است که میزان تأمین در گره‌ها با توجه به زمان و مکان تأمین آب می‌تواند با مقدار نیاز در گره متفاوت باشد.

کلمات کلیدی: کمبود آب، تأمین نوبتی، تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار، الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات، برگشت‌پذیری

۱. مقدمه

روند روبه رشد جمعیت جهان و افزایش نیاز به منابع آب شیرین، بهره‌وری بیشتر از منابع آب و کاهش ذخایر آب‌های شیرین را به همراه دارد. بدون شک در چندین سال آینده، دغدغه کنترل منابع آب به مهم‌ترین مسئله جهان تبدیل خواهد شد، هرچند که هم‌اکنون هم اهمیت آن قابل اغماض نیست. وقوع شرایط کم‌آبی به دلیل عدم دسترسی به منابع آب کافی، به ناچار به کارگیری روش تأمین نوبتی یا متناوب آب را به عنوان یک راه‌حل، مطرح می‌کند. تأمین نوبتی، همان‌طور که از اسم آن برمی‌آید قابلیت دسترسی مقطعی به آب می‌باشد که با توجه به شرایط شبکه ممکن است این تأمین برابر با نیاز مصرف‌کننده باشد و یا کفایت لازم را نداشته باشد. سامانه‌های آبرسانی عموماً برای قابلیت دسترسی به آب با فشار مداوم ۲۴ ساعته در روز (تأمین پیوسته) و به منظور برآورده کردن تقاضا در تمامی زمان‌ها طراحی می‌شوند. حال اینکه در حالت تأمین نوبتی، در طول ساعاتی از شبانه‌روز که عرضه آب انجام می‌شود آب ممکن است بطور کامل در دسترس برخی گره‌ها قرار گیرد و یا به علت کمبود منابع آب و مشخصات هیدرولیکی شبکه، گره‌های دورتر از منبع تأمین، توانایی دسترسی به آب مورد نیاز خود را نداشته باشند.

اعمال روش تامین نوبتی^۱ مصرف کنندگان را وادار به تحمل قطعی آب در ساعات طولانی می کند. همچنین به هنگام شروع تامین آب در لحظات ابتدایی به علت هجوم مصرف کنندگان برای برداشت آب، میزان فشار در شبکه به طور محسوسی افت می کند. از این رو افزایش مطلوبیت در تامین و فشار و به بیان دیگر افزایش قابلیت اطمینان هیدرولیکی سیستم به منظور افزایش رضایت مصرف کنندگان به عنوان هدف در این تحقیق در نظر گرفته شده است. از سوی دیگر با توجه به ماهیت تامین نوبتی میزان برداشت آب برای گره های مختلف با توجه به موقعیت مکانی آن ها متفاوت است. به گونه ای که گره های نزدیک تر به منبع تامین، آب بیشتری برداشت کرده و هرچه از منبع دورتر شویم میزان برداشت آب کاهش می یابد. بنابراین هدف دیگر در نظر گرفته شده در این تحقیق، افزایش یکنواختی توزیع آب در شبکه و برای گره های مصرف بوده که تابع هدف ارائه شده در این تحقیق موجب یکنواختی و تعادل مصرف در گره های مختلف می شود. به دلیل محدود بودن تعداد تحقیقات انجام شده در این راستا، منابع کافی برای پایه گذاری فرضیات و مبانی تحقیق و مراجع قابل استناد، در دسترس نبوده است. با این حال فرض اساسی در این تحقیق بر مبنای مجهز بودن شبکه به شیرآلات مخصوص بوده به صورتی که در حالت تامین نوبتی از شیرهای قطع و وصل استفاده شده که امکان باز و بسته شدن شیر به صورت کامل وجود دارد. تامین به روش نوبتی حالتی از شرایط غیرعادی و بحرانی در شبکه ایجاد می کند چرا که در این شبکه ها به علت کمبود آب یا کمبود انرژی، زمان تامین آب کمتر از ۲۴ ساعت بوده و حتی به ۱ الی ۲ ساعت در روز می رسد. در این شرایط مصرف کنندگان برای تامین نیاز کامل خود در طول روز مجبور به برداشت آب از شبکه در آن مدت محدود بوده و تا جایی که امکان دارد به ذخیره آب می پردازند. این هجوم همزمان مصرف کنندگان برای برداشت آب موجب ایجاد شرایط بحرانی هیدرولیکی در شبکه شده و فشار در شبکه به طور محسوس افت می کند. به همین علت در این شرایط مقدار برداشت هر گره مستقیماً وابسته به میزان فشار موجود در آن گره می باشد و حتماً می بایست از تحلیل HDSM استفاده کرد [۱]. در سال های اخیر تحقیقات زیادی صورت گرفته تا رابطه مناسب برای بیان ارتباط دبی و فشار بیان شود. بیشتر این روابط مربوط به شبکه های توزیع آب و تامین پیوسته بوده است. در سامانه های تامین نوبتی تاکنون مطالعات بسیار محدودی در مورد رابطه مناسب دبی - فشار انجام گرفته است. به طور کلی مطالعات انجام شده در بحث تامین نوبتی بیشتر بر روی بررسی پارامترهای کیفی تمرکز داشته و یا بحث طراحی این نوع از شبکه ها را بررسی نموده است. همچنین در مطالعات داخلی انجام شده تاکنون از بکارگیری روش HDSM به منظور تحلیل هرچه نزدیکتر به واقعیت شرایط شبکه استفاده نشده است. به طور خلاصه در جدول ۱ مطالعات صورت گرفته در گذشته در زمینه تامین نوبتی و اهداف در نظر گرفته شده به همراه نوع شبیه سازی و الگوریتم بهینه سازی و همچنین روش شبیه سازی آورده شده است.

جدول ۱- اهداف، الگوریتم و روش شبیه سازی هیدرولیکی در مطالعات گذشته

ردیف	تحقیق	هدف	الگوریتم یا شبیه ساز مورد استفاده	نوع شبیه سازی
۱	[۲]	طراحی بهینه با هدف کمینه کردن هزینه در قبال دسترسی به آب کافی و فشار مناسب	S Q P	DDSM
		مشخص کردن تنظیمات شیرهای کنترل جریان با هدف کمینه کردن تغییرات فشار و ثابت نگه داشتن مقدار فشار در حدود فشار مینیمم	GA	پیشنهاد استفاده از روش HDSM
۲	[۳]	بررسی شرایط خاص ایجاد شده در حالت تامین نوبتی از جمله وجود پاکت های هوا و فاکتور اوج مصرف بالا	EPANET	DDSM
۳	[۴]	بررسی کیفیت آب را در سامانه های تامین نوبتی	EPANET	DDSM
۵	[۵]	بررسی تاثیر دو حالت دائم و نوبتی تامین آب بر میزان مصرف آب خانگی	EPANET	DDSM
۶	[۶]	مدلسازی مقرون به صرفه شبکه های تامین آب نوبتی در راستای بررسی ماهیت شبکه های تامین آب کشورهای در حال توسعه	SWMM & EPANET	DDSM
۸	[۷]	- بررسی جیره بندی آب در شبکه های توزیع آب شهری - بهینه سازی با هدف تامین آب با فشار کافی، مطلوبیت تامین و رضایت مصرف کنندگان	EPANET & HBMO	DDSM
۹	[۸]	- پیشینه سازی برگشت پذیری تامین - پیشینه سازی اعتماد پذیری مکانیکی	EPANET & HBMO	DDSM

^۱ Intermittent supply

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. شبیه‌سازی و تحلیل هیدرولیکی تأمین نوبتی به روش مبتنی بر فشار

به منظور تحلیل HDSM همان‌طور که پیشتر توضیح داده شد، باید دبی خروجی از گره را بجای ثابت فرض کردن، متناسب با فشار موجود در گره محاسبه کرد. در جدیدترین تحقیق انجام گرفته در این زمینه [۹] ضمن مطالعه مقایسه‌ای روابط ارائه شده در این زمینه و همچنین انجام آزمایشات آزمایشگاهی و میدانی رابطه‌ای جدید ارائه کرده است. در این تحقیق حدود توان و ضریب بکار رفته در رابطه اریفیس برای شیرهای مختلف با بازشدگی‌های مختلف بدست آمده است و همچنین ضمن در نظر گرفتن افزایش دبی فشارهای بیشتر از فشار حداقل استاندارد، مصرف گره به دو بخش مصرف وابسته به فشار و مصرف حجمی تفکیک شده است. همان‌طور که در واقعیت هم شاهد هستیم مصارف مختلف در یک گره مصرف برخی با ارضای حجم مشخصی دیگر نیاز به آب ندارند، مانند مصارف ماشین ظرف‌شویی، استخرهای شنا و غیره. این مصارف که داری حجم مشخصی بوده مصارف حجمی و دبی خروجی ناشی از آن دبی حجمی (Q_a) تعریف شده است. از طرفی برخی مصارف دیگر مانند مصارف آبیاری، شست و شو و حمام و ... وابسته به فشار بوده و با تغییر فشار میزان آن‌ها هم تغییر می‌کند که به این مصارف، مصارف وابسته فشار و دبی خروجی ناشی از آن دبی فشاری (Q_b) گفته می‌شود. با توجه توضیحات داده شده این رابطه کامل‌ترین توصیف از ارتباط دبی خروجی و فشار را بیان کرده و برای بیان مصرف گره‌ها در این تحقیق از رابطه (۱) استفاده خواهد گرفت:

$$Q_j^{avl} = \begin{cases} 0 & ; \text{if } H_j \leq H_j^{min} \\ Q_j^{req} \left(\frac{H_j - H_j^{min}}{H_j^{des} - H_j^{min}} \right)^{\left(\frac{1}{n}\right)} & ; \text{if } H_j^{min} < H_j \leq H_j^{des} \\ Q_a + Q_b \left(\frac{H_j - H_j^{min}}{H_j^{des} - H_j^{min}} \right)^{\left(\frac{1}{n}\right)} & ; \text{if } H_j^{des} < H_j \leq H_j^{max} \\ Q_a + Q_b \left(\frac{H_j^{max} - H_j^{min}}{H_j^{des} - H_j^{min}} \right)^{\left(\frac{1}{n}\right)} & ; \text{if } H_j > H_j^{max} \end{cases} \quad (1)$$

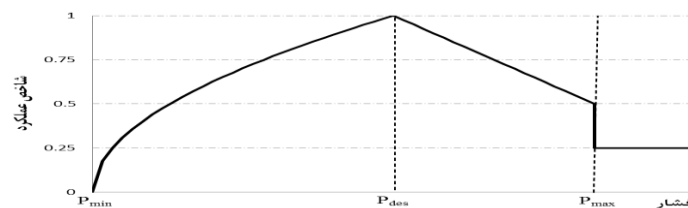
که در آن H_j : هد موجود در گره j ، H_j^{min} : حداقل حد مطلق گره‌ای، H_j^{des} : حداقل حد مطلوب گره‌ای، Q_j^{req} و Q_j^{avl} دبی موجود و دبی مورد تقاضا گره j ، H_j^{max} : هد حداکثر می‌باشد که برای هدهای بیشتر از آن دبی خروجی با فشار تغییر نکرده و ثابت باقی می‌ماند، Q_a : دبی حجمی، Q_b : دبی وابسته به فشار در گره j و n ضریبی که معمولاً بین ۱/۵ تا ۲ در نظر گرفته می‌شود [۱۰]. مقدار H_j^{max} فشار حداکثر و با توجه به فشار ترکیبگی لوله باید انتخاب شود که این مقدار با توجه به انواع لوله‌ها از لحاظ جنس و عمر می‌تواند متفاوت باشد، مقدار پیشنهاد شده برای H_j^{max} دو برابر H_j^{des} می‌باشد. برای تعیین مقادیر مصرف حجمی، با توجه به اینکه سهم عمده‌ای از مصارف را بخش حجمی در خود جا داده لذا مقدار Q_a را برابر ۵۰٪ و در نتیجه مقدار Q_b هم ۵۰٪ مقدار مصرف مورد نیاز می‌توان در نظر گرفت. مطمئناً برای تعیین دقیق‌تر این ضرایب نیاز به مطالعات و بررسی‌های بیشتری می‌باشد. برای تحلیل مبتنی بر فشار توسط نرم‌افزار EPANET، باید دبی برداشتی از گره‌ها به جای مقدار ثابت، با رابطه (۱) جایگزین شود. روش‌های مختلفی برای تحلیل HDSM توسط این نرم‌افزار ارائه شده است. در این تحقیق از روش استفاده شده توسط [۱۱] استفاده خواهد شد با این تفاوت که فرمول مورد استفاده برای بیان رابطه دبی-فشار، رابطه (۱) می‌باشد. روند کار به این صورت است که ابتدا شبکه مورد نظر در محیط MATLAB، فراخوانی شده و تحلیل هیدرولیکی انجام می‌شود. سپس فشار در گره‌ها محاسبه می‌شود و با توجه به اینکه فشار در چه بازه‌ای قرار دارد، در حالت تحلیل استاتیکی، مقدار برداشت آب از هر گره با رابطه (۱) به روز رسانی می‌شود و به عنوان تقاضای پایه در گره تخصیص داده می‌شود و در حالت تحلیل دینامیکی (تحلیل گسترده زمانی)، به روز رسانی به جای اعمال بر روی تقاضای پایه، بر روی ضرایب مصرف اعمال می‌شود. سپس این روند تا زمان ارضای شرایط همگرایی ادامه می‌یابد. برای اطلاع بیشتر از جزئیات روش به [۱۱] مراجعه شود. در این تحقیق با توجه به این که در فاز بهره‌برداری از سیستم هستیم از حالت تحلیل گسترده زمانی استفاده می‌شود.

۲-۲. بیان تابع هدف و مدل بهینه‌سازی

ماهیت فرآیند تأمین نوبتی به این گونه می‌باشد که در طول مدت بهره‌برداری در بازه‌های زمانی مختلف، میزان آب در دسترس برای برخی گره‌های مصرف کلا قطع می‌شود و برای برخی دیگر تأمین به صورت کامل انجام می‌شود. در این شرایط مهم‌ترین چالش ایجاد شده بحث یکنواختی تأمین و ایجاد عدالت برای مصرف‌کنندگان است. از طرف دیگر در هر سامانه آبرسانی ایجاد مطلوبیت‌های هیدرولیکی از جمله ملزومات اساسی برای بهره‌برداری به بهترین شکل از شبکه می‌باشد. با توجه به توضیحات ارائه شده، مدل بهینه‌سازی به صورت رابطه (۲) ارائه می‌شود:

$$Max O.F = \frac{1}{N_h} \times \sqrt[N_i]{\prod_{i=1}^{N_i} [\sum_{h=1}^{N_h} (2\sqrt{DP_{i,h}} \times DQ_{i,h})]} \quad (2)$$

که در آن i : شماره گره مصرف، h : شماره هر یک از بازه‌های شبیه‌سازی در طول دوره بهره‌برداری، N_i : تعداد گره‌های مصرف و N_h : تعداد بازه‌های شبیه‌سازی در طول دوره بهره‌برداری می‌باشد. تابع هدف تعریف شده در رابطه (۲) دارای چند قسمت عملکردی بوده که باعث افزایش مطلوبیت هیدرولیکی و همچنین مطلوبیت در توزیع عادلانه آب بین گره‌های مصرف می‌شود. پارامتر $DP_{i,h}$ میزان مطلوبیت تأمین فشار در بازه h در گره i را نشان می‌دهد که با توجه به منحنی جریمه پیشنهادی برای فشار و با استفاده از شکل ۱ بدست می‌آید.



شکل ۱- منحنی جریمه برای فشارهای گرهی

که در آن P_{min} : کمینه فشار مورد نیاز در شبکه (صفر)، P_{des} : مقدار فشار مجاز طراحی استاندارد شبکه (۳۰ متر) و P_{max} : مقدار حداکثر فشار مجاز شبکه (۵۰ متر) می‌باشد. پارامتر $DQ_{i,h}$ میزان مطلوبیت تأمین دبی در بازه h در گره i را نشان می‌دهد که به صورت زیر بدست می‌آید.

$$DQ_{i,h} = \alpha_{i,h} \quad (3)$$

که $\alpha_{i,h}$: متغیر تصمیم نشان دهنده میزان تأمین آب در بازه h برای گره i می‌باشد که دو مقدار صفر یا یک را می‌گیرد، $RQ_{i,h}$: مقدار نیاز واقعی گره i در بازه h و $Q_{i,h}$: میزان دبی تأمین شده در بازه h در گره i می‌باشد.

۲-۳. شاخص ارزیابی کارایی سیستم

در بسیاری از مطالعات، نحوه عملکرد سیستم‌های منابع آب را می‌توان به صورت‌های رضایت بخش یا نارضایت بخش توصیف نمود. بدین منظور مشخصه‌های مختلفی جهت تشریح کارایی این سیستم‌ها بکار برده می‌شوند. در این بخش به منظور بررسی عملکرد سیستم و مقایسه نتایج تحلیل به دو صورت مبتنی بر فشار و مبتنی بر تقاضا از معیار برگشت پذیری استفاده خواهد شد. طبق تعریف [۱۲]، برگشت پذیری نشان دهنده احتمال بازگشت سیستم به حالت مطلوب پس از یک شکست است. برگشت پذیری شبکه‌ای و برگشت پذیری گرهی در این تحقیق به صورت روابط (۴) و (۵) برگرفته از تحقیق [۱۳] محاسبه شده است. شایان ذکر است که در این تحقیق محاسبه شاخص برگشت پذیری برای آستانه‌های کارایی ۷۰، ۹۰ و ۱۰۰ درصد صورت گرفته است.

$$\gamma_{\theta} = 100 \times \frac{\sum_{h=1}^{N_h} \begin{cases} 1 & \text{if } \sum_{i=1}^{N_i} Q_{i,h} < \theta \times \sum_{i=1}^{N_i} De_{i,h}, \quad \sum_{i=1}^{N_i} Q_{i,h+1} \geq \theta \times \sum_{i=1}^{N_i} De_{i,h+1} \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases}}{\sum_{h=1}^{N_h} \begin{cases} 1 & \text{if } \sum_{i=1}^{N_i} Q_{i,h} < \theta \times \sum_{i=1}^{N_i} De_{i,h} \\ 0 & \text{if } \sum_{i=1}^{N_i} Q_{i,h} \geq \theta \times \sum_{i=1}^{N_i} De_{i,h} \end{cases}} \quad (4)$$

و

$$\gamma'_{\theta} = 100 \times \sqrt{\prod_{i=1}^{N_i} \frac{\sum_{h=1}^{N_h} \begin{cases} 1 & \text{if } Q_{i,h} < \theta \times De_{i,h}, \quad Q_{i,h+1} \geq \theta \times De_{i,h+1} \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases}}{\sum_{h=1}^{N_h} \begin{cases} 1 & \text{if } Q_{i,h} < \theta \times De_{i,h} \\ 0 & \text{if } Q_{i,h} \geq \theta \times De_{i,h} \end{cases}}} \quad (5)$$

که در آن γ_{θ} : سرعت برگشت پذیری شبکه‌های و γ'_{θ} : سرعت برگشت پذیری گرهی شبکه در تمامی بازه‌های شبیه سازی متوالی دوره بهره برداری می‌باشد. θ : آستانه کارآیی موردنظر جهت محاسبه مقدار شاخص برگشت پذیری می‌باشد. $Q_{i,h}$: میزان دبی تأمین شده در گره i در بازه شبیه سازی h . $De_{i,h}$: میزان دبی موردنیاز در گره i در بازه شبیه سازی h است، که در این بازه‌ها نسبت دبی تأمین شده به مقدار دبی موردنیاز کمتر از آستانه کارآیی در نظر گرفته شده بدست آمده است.

۴-۲. الگوریتم بهینه‌سازی

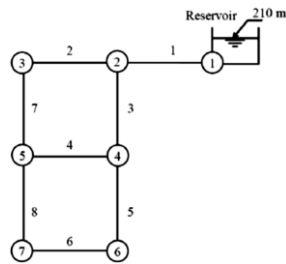
روش بهینه‌سازی در تحقیق حاضر نیز الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات (PSO) می‌باشد. این الگوریتم یکی از الگوریتم‌های قدرتمند در حل مسائل بهینه‌سازی است که بر مبنای حرکت و هوش ذرات کار می‌کند و مفهوم تعامل اجتماعی را برای حل مسائل بهینه‌سازی به کار می‌گیرد. این الگوریتم که با الهام از رفتار اجتماعی حیواناتی چون ماهی‌ها و پرندگان، که در گروه‌هایی کوچک و بزرگ کنار هم زندگی می‌کنند، طراحی شده است و با توجه به پیشرفت‌هایی که داشته است توانایی حل مسائل در هر دو محیط پیوسته و گسسته را دارد. پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم PSO به این صورت که جمعیت برابر با ۳۰، بیشترین تکرار برابر با ۱۰۰۰، ضریب C_1 برابر با ۲، ضریب C_2 برابر با ۲ و ضریب W برابر با ۰/۹ در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است C_1 و C_2 پارامترهای شناختی و اجتماعی و W اینرسی وزنی می‌باشد.

۳. بحث و نتایج

مطالعه موردی برای این تحقیق، شبکه دو حلقه‌ای می‌باشد که اولین بار توسط [۱۴] ارائه شد. این شبکه تک مخزنه، ساده و ثقلی است و دارای هشت لوله و شش گره مصرف آب می‌باشد. اطلاعات مربوط به مقدار نیاز و رقوم ارتفاعی گره‌های این شبکه در جدول ۲ مشخص شده است. طول همه لوله‌ها برابر ۱۰۰۰ متر بوده و ضریب هیزن ویلیام برای همه لوله‌ها برابر ۱۳۰ می‌باشد. در شکل ۲ این شبکه قابل مشاهده است.

جدول ۲- مشخصات گره‌های شبکه دو حلقه

شماره گره	مقدار تقاضا (m^3/h)	رقوم ارتفاعی (m)
مخزن	-۱۱۲۰	۲۱۰
۱	۱۰۰	۱۵۰
۲	۱۰۰	۱۶۰
۳	۱۲۰	۱۵۵
۴	۲۷۰	۱۵۰
۵	۳۳۰	۱۶۵
۶	۲۰۰	۱۶۰



شکل ۲- شبکه دو حلقه‌ای

۳-۱. سناریوهای تعریف شده و پارامترهای شبیه‌سازی

سناریوهای تعریف شده در این تحقیق در جدول ۳ ارائه شده است. ملاک تقسیم‌بندی سناریوها بر دو مبنای میزان آب در دسترس و نوع تحلیل هیدرولیکی می‌باشد. پارامتر اول کمبود آب در سیستم به معنای عدم تعادل میان مقدار عرضه و تقاضای آب برای مصرف‌کنندگان و پارامتر دوم روش تحلیل مورد استفاده یعنی HDSM یا DDSM است. همان‌طور که دیده می‌شود سناریوهای ۱ تا ۳ مربوط به تحلیل HDSM و سناریوهای ۴ تا ۶ مربوط به تحلیل DDSM بوده و همچنین میزان آب در دسترس در سه حالت بدون کمبود، کمبود ۲۵٪ و کمبود ۵۰٪ تعریف شده است.

جدول ۳- سناریوهای مختلف تعریف شده

شماره سناریو	Q_{avl}/Q_{req}	نوع تحلیل	شماره سناریو	Q_{avl}/Q_{req}	نوع تحلیل
۱	۱	HDSM	۴	۱	DDSM
۲	۰/۷۵	HDSM	۵	۰/۷۵	DDSM
۳	۰/۵	HDSM	۶	۰/۵	DDSM

در همه سناریوها، شبیه‌سازی برای مدت ۱ روز و بازه‌های تأمین آب برابر گام زمانی هیدرولیکی و برابر با ۱ ساعت در نظر گرفته شده است. سناریوهای تعریف شده با نسبت $\frac{Q_{avl}}{Q_{req}} = 1$ ، سناریوهای بدون بحران بوده و برای مقایسه مقدار تابع هدف در حالت‌های بحرانی با شرایط مطلوب و بدون بحران در نظر گرفته شده است. ضرایب الگوی نوسانات مصرف در طول شبانه‌روز با توجه به نشریه ۳-۱۱۷ (بازنگری اول) [۱۵] در نظر گرفته شده است.

۳-۲. ارائه نتایج

نتایج بدست آمده از اعمال روش تحقیق بر روی شبکه‌ی نمونه و اعمال سناریوهای مختلف در جدول ۴ نشان داده شده است. در ادامه به مقایسه نتایج برای هر کدام از حالت‌های کمبود آب و شیوه تحلیل HDSM یا DDSM پرداخته می‌شود. همچنین شرایط حاکم در شبکه در سناریوهای مختلف مورد بررسی و تحلیل قرار خواهد گرفت.

جدول ۴- مقادیر تابع هدف برای سناریوهای ۱ تا ۶

نوع تحلیل	مقدار تابع هدف	شماره سناریو
HDSM	۰/۷۸	۱
	۰/۵۴	۲
	۰/۳۹	۳
DDSM	۰/۶۸	۴
	۰/۵۱	۵

۰/۳۶	۶
------	---

بر اساس مقادیر بدست آمده برای تابع هدف، به خوبی می توان به عملکرد صحیح مدل بهینه سازی پی برد. چراکه با افزایش میزان تنش آبی و کمبود آب از ۰ تا ۵۰ درصد مقادیر تابع هدف برای هر دو حالت تحلیل کاهش یافته است. همچنین همان طور که مشاهده می شود برای سناریوهایی که تحلیل به صورت HDSM انجام شده (سناریوهای ۱ تا ۳)، از آنجا که رفتار شبکه به شکل واقعی تری مدل شده، مقادیر تابع هدف نسبت به سناریوهایی که تحلیل بصورت DDSM انجام شده (سناریوهای ۴ تا ۶)، بیشتر شده است. این امر به علت بیشتر بودن مقادیر فشار در گره ها بوده چراکه با تحلیل شبکه به صورت مبتنی بر فشار شبکه به صورت واقعی تری مدل شده و سطح فشار در شبکه بالاتر می باشد.

پس از محاسبه مقادیر تابع هدف برای ارزیابی عملکرد شبکه تحت سناریوهای تعریف شده، مقادیر معیارهای کارآیی سیستم که شامل برگشت پذیری شبکه ای (Y) و برگشت پذیری گره ای (Y') با آستانه های ۱۰۰، ۹۰ و ۷۰ درصد برای سناریوهایی که کمبود آب دارند محاسبه شده و در جدول ۵ نشان داده شده است.

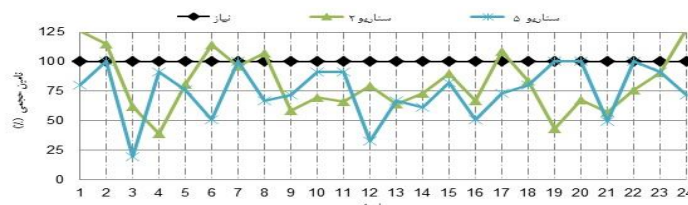
جدول ۵- مقادیر شاخص های کارآیی سیستم برای سناریوهای مختلف

شماره سناریو ^۰	شاخص				
	۶	۵	۳	۲	
۰		۲۲/۱	۴/۳	۲۱/۲	Y_{100}
۶۷/۱		۹۳/۵	۴۷/۵	۴۷/۷	Y'_{100}
۹/۱		۴۰	۵	۱۸/۸	Y_{90}
۶۷/۱		۹۳/۵	۶۰/۵	۵۷/۶	Y'_{90}
۲۶/۳		۷۵	۱۶/۷	۵۰	Y_{70}
۶۶/۲		۹۸/۹	۶۶/۳	۸۰/۳	Y'_{70}

^۰: مقادیر متمایز شده در هر ردیف نشان دهنده بهترین جواب می باشد

همان طور که در جدول ۵ مشاهده می شود مقادیر برگشت پذیری با کاهش آستانه کارآیی از ۱۰۰ به ۷۰ افزایش یافته و برای حالت کمبود آب ۲۵٪ (سناریوهای ۲ و ۵) بیشتر از حالت کمبود ۵۰٪ (سناریوهای ۲ و ۶) بدست آمده است. همچنین برای تمامی آستانه ها، مقدار برگشت پذیری سناریوی ۵ بیشترین و بهترین جواب را به خود اختصاص داده است. سناریوی ۵ مربوط به حالتی است که کمبود آب ۲۵٪ بوده و تحلیل بصورت DDSM می باشد. علت این امر هم می توان اینگونه بیان کرد که در مقایسه با حالت HDSM از آنجا که تأمین بدون در نظر گیری مقدار فشار در گره صورت می گیرد، مقادیر دبی ها واقعی نبوده و حالت شکست در تأمین آب مورد تقاضای گره ها به ندرت رخ می دهد.

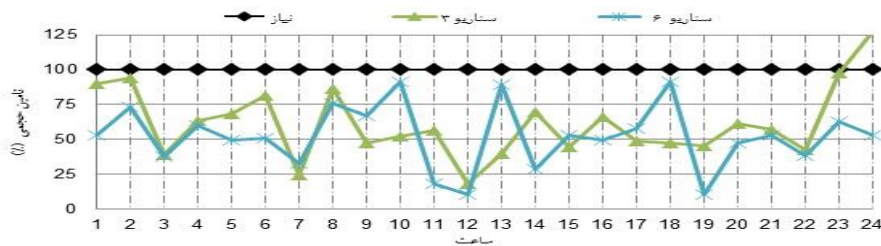
در ادامه با بررسی مجموع دبی های تأمین شده در هر ساعت در مدت بهره برداری برای کل شبکه، یکنواختی توزیع آب را در بین سناریوهای مختلف مقایسه می شود. شکل های ۳ و ۴ درصد آب تأمین شده نسبت به نیاز شبکه را در هر ساعت بترتیب برای سناریوهایی با کمبود آب ۲۵٪ و ۵۰٪ نشان می دهند.


شکل ۳- درصد آب تأمین شده نسبت به نیاز شبکه در هر ساعت برای سناریوهایی با کمبود آب ۲۵٪

کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران

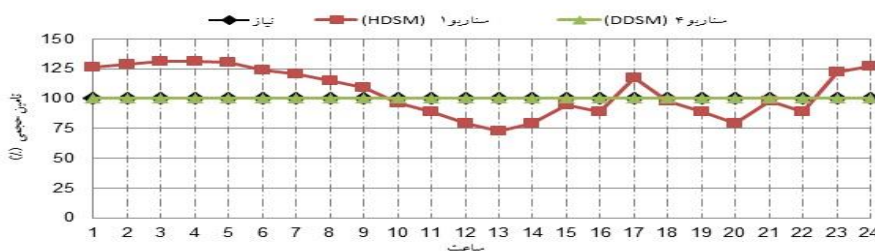
دانشگاه تهران، تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۵



شکل ۴- درصد آب تأمین شده نسبت به نیاز شبکه در هر ساعت برای سناریوهایی با کمبود آب ۵۰٪

نکته قابل توجه این است که برای سناریوهای HDSM امکان تأمین آب حتی بیشتر از نیاز به علت مثبتی بر فشار بودن دبی تأمین شده برای برخی از ساعات وجود دارد. این امر در شکل ۳ برای سناریو ۲ و در شکل ۴ برای سناریو ۳ قابل مشاهده است. برای بهتر نشان دادن تاثیر تحلیل HDSM بر میزان دبی تأمین شده، سناریو ۱ با سناریو ۴ مقایسه می شود. شکل ۵ درصد آب تأمین شده نسبت به نیاز شبکه را در هر ساعت برای این سناریوها نشان می دهد.



شکل ۵- درصد آب تأمین شده نسبت به نیاز شبکه در هر ساعت برای سناریوهایی با تحلیل HDSM و DDSM

همانطور که در شکل ۵ مشاهده می شود برای سناریو ۱ که تحلیل به صورت HDSM بوده، در ساعاتی که مصرف پایین و فشار در شبکه بالاست، مقدار مجموع دبی تأمین شده برای گره ها در این ساعات ها از ۱۰۰ درصد نیاز آنها بیشتر شده است.

۴. نتیجه گیری

در این تحقیق مدل بهینه سازی با هدف حداکثرسازی یکنواختی و عدالت توزیع آب بین گره های مصرف و همچنین بیشینه سازی قابلیت اطمینان بر روی شبکه دو حلقه مورد مطالعه اعمال شد. نتایج حاصل برای دو حالت شبیه سازی HDSM و DDSM و برای سناریوهای مختلف کم آبی مورد بررسی قرار گرفت. مطابق نتایج بدست آمده مقادیر تابع هدف برای حالت بدون کمبود بیشترین مقدار را داشته و برای سناریوهایی با تنش آبی کمتر، مقادیر بیشتری را نشان می دهد که بیانگر عملکرد صحیح مدل بهینه سازی می باشد. همچنین مقدار تابع هدف برای سناریوهای HDSM در حدود ۲۰ درصد بیشتر از DDSM بدست آمده است. چرا که در حالت HDSM مقادیر دبی تأمین شده با توجه به رابطه در نظر گرفته شده برای بیان ارتباط دبی خروجی و فشار گره، مثبتی بر فشار گره بوده و مقادیر نزدیک به واقعیت به خود می گیرد. از این رو سطح فشار در شبکه نسبت به حالت DDSM بیشتر بوده و میزان مطلوبیت فشار که یکی از پارامترهای تابع هدف بوده افزایش می یابد. از مقایسه مقادیر بدست آمده برای معیارهای کار آبی سیستم مشاهده می شود که میزان برگشت پذیری شبکه ای و گره ای در اکثر سناریوهای DDSM بیشتر از HDSM بوده که علت این امر هم می توان اینگونه بیان کرد که در مقایسه با حالت HDSM از آنجا که تأمین بدون در نظر گیری مقدار فشار در گره صورت می گیرد، مقادیر دبی واقعی نبوده و حالت شکست در تأمین آب مورد تقاضای گره ها به ندرت رخ می دهد. همچنین معیار برگشت پذیری، با بیشترین مقدار در حدود ۹۹ درصد برای آستانه ۷۰٪ و در حالت گره ای بدست آمده است.



۵. مراجع

۱. تابش، م. (۱۳۹۴). "مدلسازی پیشرفته شبکه‌های توزیع آب"، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، تهران، ایران.
2. Vairavamoorthy, K. (1994). "Water distribution networks: design and control for intermittent supply", Thesis Presented to the Imperial college of Science, Technology and Medicine, London, UK in partial fulfilment of the requirement for the degree of Doctor of Philosophy.
3. Sashikumar, N., Mohankumar, M. S., & Sridharan, K. (2003). "Modeling an intermittent water supply", Proceedings of World Water and Environmental Resources Congress, USA, June, 23-26, 261.
4. Coelho, S. T., James, S., Sunna, N., Jaish, A. A., & Chatila, J. (2003). "Controlling water quality in intermittent supply systems", Water Supply, 3(1-2), 119-125.
5. Andey, S.P., and Kelkar, P.S. (2009). "Influence of intermittent and continuous modes of water supply on domestic water consumption." Water Resources Management, 23(12), 2555-2566.
6. Cabrera-Bejar, J. & Tzatchkov, V. (2009). "Inexpensive modeling of intermittent service water distribution networks". World Environmental and Water Resources Congress, pp. 1-10.
۷. سلطان جلیلی، م. ج. (۱۳۸۹). "جیره‌بندی آب در شبکه‌های توزیع آب شهری با استفاده از ایده تأمین نوبتی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی آب و خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
۸. حسینی غفاری، س. (۱۳۹۳). "بهینه‌سازی چندهدفه تأمین نوبتی در شبکه‌های توزیع آب شهری"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی آب و خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
۹. شیرزاد، ا. (۱۳۹۲). "بهینه‌سازی چند هدفه شبکه‌های توزیع آب و ارائه مدلی جامع برای طراحی پویای شبکه‌ها"، رساله دکتری، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
10. Tabesh, M., Tanyimboh, T. T., & Burrows, R. (2002). "Head-driven simulation of water supply networks", International Journal of Engineering, 15(1), 11-22.
۱۱. شکوهی، م. (۱۳۹۳). "طراحی بهینه دوهدفه شبکه‌های توزیع آب با در نظر گرفتن پارامترهای کیفی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
12. Eberhart, R. C., & Kennedy, J. (1995). "A new optimizer using particle swarm theory". In Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science, Vol. 1, pp. 39-43.
13. Soltanjilili, M., Bozorg Haddad, O., & Marino, M.A., (2013). "Operating water distribution networks during water shortage conditions using hedging and intermittent water supply concepts." Journal of Water Resources Planning and Management, 139(6), 644-659.
14. Alperovits, E., & Shamir, U. (1977). "Design of optimal water distribution systems", Water Resource Research, 13(6), 885-900.
۱۵. معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری و وزارت نیرو، (۱۳۹۲). "ضوابط طراحی سامانه‌های انتقال و توزیع آب شهری و روستایی (نشریه شماره ۳-۱۱۷ بازنگری اول)"، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری. تهران، ایران.