



اصلاح ضرایب زبری شبکه توزیع آب با استفاده از روش بهینه‌سازی

حمید آذروش^۱، کریم دینی^{۲*}

^۱ کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران - آب و سازه‌های هیدرولیکی، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران

^{۲*} استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران (mehdini@gmail.com)

چکیده

با توجه به وسعت و پیچیدگی شبکه‌های توزیع آب، مدل‌سازی این شبکه‌ها برای بهره‌برداری و راهبری مناسب شبکه‌ها ضروری می‌باشد. در مدل‌سازی شبکه‌ها تعیین ضرایب شبکه از اهمیت بالایی برخوردار است. ضرایب قابل تنظیم مدل شامل ضرایب زبری لوله‌ها و مصارف در گره‌ها می‌باشد. مقادیر قابل اندازه‌گیری نیز شامل فشار در گره‌ها و دبی جریان در لوله‌ها است. در یک مدل خوب از شبکه، انتظار آن است مقادیر فشار و دبی مدل شده با مقادیر فشار و دبی مشاهداتی با هم برابر باشند و یا کمترین اختلاف را داشته باشند. این کار در قالب یک مدل بهینه‌سازی و با تنظیم ضرایب مدل انجام می‌شود. در این مقاله با فرض معلوم بودن مقادیر فشار در گره‌های شبکه، ضرایب زبری لوله‌ها تعیین شده است. این کار در قالب یک مدل بهینه‌سازی در محیط متلب انجام شده است. برای بهینه‌سازی از الگوریتم دسته ذرات استفاده شده است. مدل بهینه‌سازی بر روی شبکه نمونه نسبتاً بزرگ یعنی شبکه جیپسون با ۳۰ لوله مورد واسنجی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که شبکه در حالت عدم دسته‌بندی ضرایب زبری لوله‌های شبکه، جواب بهینه موضعی با دقت در حد جواب بهینه واقعی را پیدا کرده است و در حالت دسته‌بندی ضرایب جواب بهینه واقعی را پیدا کرده است که نشان می‌دهد دسته‌بندی مناسب ضرایب لوله‌های شبکه در تعیین دقیق ضرایب، بخصوص در مورد شبکه‌های بزرگ موثر می‌باشد.

کلمات کلیدی

ضرایب زبری، بهینه‌سازی، شبکه توزیع آب، جیپسون، دسته ذرات، فشار.



Modification of Roughness Coefficients of Water Distribution Network Using Optimization Method

Hamid Azarvash¹, Mehdi Dini^{2*}

¹Ms.c. of Water and Hydraulic Structures, Ahar Branch, Islamic Azad University, Ahar, Iran

^{*2}Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Shahid Madani University, Tabriz, Iran
(mehdini@gmail.com)

ABSTRACT

Due to the breadth and complexity of water distribution networks, modeling of these networks is essential for proper utilization and proper network management. Determination of network coefficients is the more importance in network modeling. Adjustable coefficients of the model include roughness coefficients of pipes and consumption in nodes. Measurable quantities also include pressure in the nodes and flow rate in the pipes. In a good model of the network, it is expected that the pressure and discharge values that are modeled with the values of pressure and discharge of the observations are equal or the least difference. This is done in the form of an optimization model and by setting the coefficients of the model. In this paper, the roughness coefficients of the tubes are determined by assuming that the values of pressure in the network nodes are known. This work is done in the form of an optimization model in MATLAB software. The particle algorithm is used to optimize. The optimization model is located on a relatively large sample network, i.e. the Gepson network, with 30 pipes calibrated. The results showed that the network in the case of non-categorizing the roughness coefficients of the network of pipes, has the optimal local solution with accuracy in the amount of the actual optimal solution. The network has categorized the coefficients of the actual optimal response. The results showed that the proper classification of network pipe coefficients was effective in determining the exact coefficients, especially for large networks.

Keywords: Roughness Coefficients, Optimization, Water Distribution Network, Jippon, Particle Batch, Pressure.



۱- مقدمه

ایران کشوری با اقلیم عمدتاً گرم و خشک است. رشد سریع جمعیت مهم‌ترین عامل کاهش سرانه آب تجدید شونده کشور در قرن گذشته بوده است. جمعیت ایران در طی این هشت دهه، از حدود ۸ میلیون نفر در سال ۱۳۰۰ به ۸۵ میلیون نفر تا پایان سال ۱۳۹۲ رسیده است. بر این اساس میزان سرانه آب تجدیدپذیر سالانه کشور از میزان حدود ۱۳۰۰۰ متر مکعب در سال ۱۳۰۰ به حدود ۱۵۰۰ متر مکعب در سال ۱۳۹۲ تقلیل یافته و در صورت ادامه این روند، وضعیت در آینده به مراتب بدتر خواهد شد [۱]. با وجود این شرایط، مدیریت منابع آب در تمامی بخش‌ها بخصوص در شبکه‌های توزیع آب که با صرف هزینه‌های بسیار زیاد آب تصفیه و به صورت شرب در شبکه توزیع می‌شود، از اهمیت بالایی برخوردار است. در مدیریت صحیح منابع آب، یکی از موضوعات بسیار مهم مدل‌سازی آنها و تعیین سناریوهای مختلف قابل برنامه‌ریزی و در نهایت انتخاب بهترین سناریو می‌باشد. در یک مدل خوب از شبکه، انتظار آن است مقادیر فشار و دبی مدل شده با مقادیر فشار و دبی مشاهداتی با هم برابر باشند و یا کمترین اختلاف را داشته باشند. این کار در قالب یک مدل بهینه‌سازی و با تنظیم ضرایب مدل انجام می‌شود. در ارتباط با این مسئله تحقیقات زیادی انجام شده است. صدرالساداتی و قدیانی، ۱۳۸۸ کالیبراسیون مدل شبکه توزیع آب شهری یزد با ایجاد ارتباط بین نرم‌افزارهای شبکه توزیع آب و سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام دادند. در این تحقیق آنها به این نتیجه رسیدند که پیش‌بینی مصرف سرانه به عنوان موثرترین عامل برای مدل‌سازی بشمار می‌رود و تقریب هر چه دقیق‌تر آن به کاربردی بودن مدل کمک شایانی می‌کند. در این مرحله با کنترل مصارف و فشارهای مدل با فشارسنجی و مصارف برداشت شده میدانی، تفاوت‌ها و دلایل ایجاد آن شناسایی شده و نسبت به تصحیح مدل اقدام شد. مانور انجام شده بر روی شیرآلات، عدم وجود ارتباطات لوله‌ها از اقداماتی بود که با انجام آنها داده‌ها خروجی مدل به نتایج واقعی نزدیک می‌شد. نتایج مدل برای مدل‌سازی استخراج الگوی مصرف آب در طول ساعات شبانه روز و انجام برنامه‌ریزی جهت کنترل مصارف، تعیین نواحی پر فشار و کم فشار، تعیین تقریبی نواحی نشت شبکه، تعیین میزان تلفات آب شبانه، امکان شناسایی مصرف کنندگان پرمصرف و شناسایی نقاط حادثه خیز، ایجاد بانک اطلاعاتی مشترکین و تعیین نیازمندی‌های اصلاح و توسعه در دوره‌های زمانی مشخص مورد استفاده قرار گرفت [۲].

فغفورمغربی و همکارن، ۱۳۹۰، کالیبراسیون شبکه توزیع آب را با استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان و الگوریتم ژنتیک انجام دادند. که در آن تعیین نشت از شبکه مورد توجه بوده است. در این تحقیق از شبکه نمونه با ۳۰ گره، ۵۰ لوله و یک مخزن برای واسنجی و صحت‌سنجی نتایج مدل استفاده شده است. بر اساس نتایج بدست آمده از این تحقیق، روش بهینه‌سازی جامعه مورچگان و کالیبراسیون شبکه توزیع آب، روشی مناسب برای نشت‌یابی در شبکه توزیع آب می‌باشد [۴]. دینی و تابش، ۱۳۹۲ کالیبراسیون شبکه توزیع آب با در نظر گرفتن عدم قطعیت در داده‌ها را بررسی کردند. با توجه به اینکه مسئله کالیبراسیون شبکه و تنظیم پارامترهای مدل دارای جواب‌های متعددی است. استفاده از نقاط نمونه‌برداری محدود و در نظر نگرفتن عدم قطعیت داده‌ها در کالیبراسیون شبکه می‌تواند منجر به انتخاب جواب‌های غیرواقعی برای شبکه شود. برای تشریح بهتر این مسئله کالیبراسیون شبکه در حالت در نظر گرفتن عدم قطعیت داده‌ها و بدون اعمال عدم قطعیت داده‌ها مدل گردیده و نتایج آنها با هم مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که در کالیبراسیون دقیق یک مدل شبیه‌ساز، حداقل نقاط نمونه‌برداری از نظر مکانی و زمانی، بسیار وابسته به فاکتور عدم قطعیت داده‌ها می‌باشد و با اعمال عدم قطعیت داده‌ها، تعداد نقاط نمونه‌برداری نیز به شدت افزایش می‌یابد [۵]. دینی و تابش، ۱۳۹۲ کالیبراسیون شبکه توزیع آب با در نظر گرفتن عدم قطعیت در داده‌ها را بررسی کردند. با توجه به اینکه مسئله کالیبراسیون شبکه و تنظیم پارامترهای مدل دارای جواب‌های متعددی است. استفاده از نقاط نمونه‌برداری محدود و در نظر نگرفتن عدم قطعیت داده‌ها در کالیبراسیون شبکه می‌تواند منجر به انتخاب جواب‌های غیرواقعی برای شبکه شود. برای تشریح بهتر این مسئله کالیبراسیون شبکه در حالت در نظر گرفتن عدم قطعیت داده‌ها و بدون اعمال عدم قطعیت داده‌ها مدل گردیده و نتایج آنها با هم مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که در کالیبراسیون دقیق یک مدل شبیه‌ساز، حداقل نقاط نمونه‌برداری از نظر مکانی و زمانی، بسیار وابسته به فاکتور عدم قطعیت داده‌ها می‌باشد و با اعمال عدم قطعیت داده‌ها، تعداد نقاط نمونه‌برداری نیز به شدت افزایش می‌یابد [۵].



دینی و تابش، ۱۳۹۵ مدل‌سازی شبکه‌های توزیع آب شهری با در نظر گرفتن تاثیر جنس، قطر و سن لوله‌ها در تنظیم ضرایب زبری شبکه انجام دادند. ضریب زبری لوله‌ها تابع عوامل مختلفی از جمله قطر، جنس و سن لوله‌ها می‌باشد که هر کدام از آنها به تنهایی یا در ترکیب با همدیگر در تعیین دقیق تر ضریب موثر می‌باشد. در این مقاله با جمع‌آوری اطلاعات مربوط به شبکه توزیع آب اهر، مدل اولیه شبکه ساخته شده است و برای مدل‌سازی دقیق تر شبکه، پارامترهای مدل از جمله ضریب زبری لوله‌ها تنظیم شده‌اند. با توجه به اینکه تنظیم ضرایب برای هر لوله به صورت مجزا می‌تواند رسیدن به جواب را سخت نماید، لوله‌ها بر اساس قطر، جنس و سن‌شان و یا ترکیبی از آنها به دسته‌ها مختلف تقسیم شده‌اند و به صورت گروهی تنظیم گردیده‌اند. برای تنظیم ضرایب از تلفیق نرم‌افزار EPANET با الگوریتم جامعه مورچگان در محیط متلب استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که بکارگیری سن لوله‌ها و یا ترکیبی از سن لوله‌ها با سایر پارامترها برای تنظیم ضرایب زبری نتایج بهتری تولید می‌کند [۶]. بطور کلی برای مدل‌سازی یک سیستم با دقت مناسب، لازم است که مدل برای داده‌های میدانی کافی واسنجی و مورد صحت‌سنجی قرار گیرد. لازمه این کار تنظیم مناسب پارامترهای دخیل در مدل می‌باشد. روش‌های زیادی برای کالیبراسیون و تنظیم ضرایب مدل وجود دارد که در قالب روش‌های سعی و خطا و یا بهینه‌سازی بیان می‌شود. از جمله الگوریتم‌های بهینه‌سازی می‌توان به الگوریتم ژنتیک، نورد شبیه‌سازی شده، تکامل مجموعه نامنظم، جستجوی هارمونی، جفت‌گیری زنبور عسل، جامعه مورچگان و دسته ذرات نمود. این الگوریتم‌های کاربردهای خیلی زیادی در علوم مختلف بخصوص علوم مهندسی پیدا کرده‌اند که تعدادی از کارهای انجام شده در قالب پیشینه تحقیقات در این فصل مرور شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که بکارگیری این الگوریتم‌های روش بسیار کارایی برای تنظیم ضرایب مدل‌ها و واسنجی و صحت‌سنجی آنها بوجود آورده‌اند. در این بین الگوریتم بهینه‌سازی دسته ذرات که یک الگوریتم با دامنه پیوسته است در علوم مهندسی مختلف مورد استفاده قرار گرفته است ولی برای کالیبراسیون و تنظیم ضرایب مدل‌های شبکه توزیع آب بکار گرفته نشده است. در این تحقیق کاربرد این روش در تنظیم ضرایب مدل‌های شبکه توزیع آب مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این مقاله سعی شده است با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام دسته ذرات مدلی برای تنظیم ضرایب هیدرولیکی مدل شبکه توزیع آب ساخته شود. ضریب قابل تنظیم در این مدل شامل ضرایب زبری لوله‌ها است که با تنظیم آن نتایج مشاهداتی به نتایج محاسباتی همگرا می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

در این مقاله، روش تنظیم ضرایب به صورت انجام بهینه‌سازی یک تابع هدف با قیود مشخص می‌باشد که حل آنها در واقع منجر به تعیین پارامترهای مجهول در قالب تنظیم پارامترهای مدل خواهد شد. این شیوه، پرفرمدارترین و به عبارتی مؤثرترین راه ممکن به منظور انجام روند تنظیم ضرایب است. تابع هدف مدل تنظیم ضرایب به صورت رابطه (۱) می‌باشد [۶].

$$\sum_{j=1}^N \sum_{t=1}^T (PO_{tj} - PS_{tj})^2 \quad (1)$$

که در آن N تعداد گره‌های نمونه برداری از شبکه و T کل ساعت‌های نمونه برداری از شبکه، PO_{tj} فشار مشاهداتی و PS_{tj} فشار محاسباتی در گره Zام در زمان t و F مقدار تابع هدف می‌باشد که هدف حداقل‌سازی آن می‌باشد. در رابطه فوق اگر T به صورت یک ساعت در نظر گرفته شود. تنظیم ضرایب در حالت مدل استاتیک انجام خواهد شد و اگر T به صورت ۲۴ ساعته در نظر گرفته شود در این حالت، تنظیم ضرایب به صورت مدل دینامیک خواهد بود. مدل بهینه‌ساز استفاده شده در این تحقیق، مدل بهینه‌سازی دسته ذرات (PSO) می‌باشد [۷]. الگوریتم دسته ذرات از دسته الگوریتم‌های بهینه‌سازی است که بر مبنای تولید تصادفی جمعیت اولیه عمل می‌کنند. در این الگوریتم با الگوگیری و شبیه‌سازی رفتار پرواز گروهی پرندگان یا حرکت گروهی ماهی‌ها بنا نهاده شده



است. هر عضو در این گروه توسط بردار سرعت و بردار موقعیت در فضای جستجو تعریف می‌گردد. در هر تکرار زمانی، موقعیت جدید ذرات با توجه به برار سرعت و بردار موقعیت در فضای جستجو تعریف می‌گردد. در هر تکرار زمانی، موقعیت جدید ذرات با توجه به بردار سرعت فعلی، بهترین موقعیت یافت شده توسط آن ذره و بهترین موقعیت یافت شده توسط بهترین ذره موجود در گروه، به روزرسانی می‌گردد. فرض کنید یک فضای جستجوی d بعدی داریم. i امین ذره در این فضای d بعدی با بردار موقعیت X_i به صورت رابطه زیر بیان می‌شود.

$$X_i = (x_{i_1}, x_{i_2}, x_{i_3}, \dots, x_{i_d}) \quad (2)$$

بردار سرعت i امین ذره نیز با بردار V_i به شکل زیر تعریف می‌گردد:

$$V_i = (v_{i_1}, v_{i_2}, v_{i_3}, \dots, v_{i_d}) \quad (3)$$

بهترین موقعیتی که ذره i ام پیدا کرده است را با $P_{i.best}$ تعریف می‌کنند:

$$P_{i.best} = (p_{i_1}, p_{i_2}, p_{i_3}, \dots, p_{i_d}) \quad (4)$$

بهترین موقعیتی که بهترین ذره در بین کل ذرات پیدا کرده است را با $P_{g.best}$ به صورت زیر تعریف می‌کنند:

$$P_{g.best} = (p_{g_1}, p_{g_2}, p_{g_3}, \dots, p_{g_d}) \quad (5)$$

برای به روز رسانی محل هر کدام از ذرات از روابط زیر استفاده می‌کنند:

$$X_i = X_i(t-1) + V_i(t) \quad (6)$$

$$V_i(t) = c_1 * rand_1 * (P_{i.best} - X_i(t-1)) + c_2 * rand_2 * (P_{g.best} - X_i(t-1)) + w * V_i(t-1) \quad (7)$$

که در آن W : ضریب وزنی اینرسی (حرکت در مسیر خودی) که نشان دهنده میزان تأثیر بردار سرعت تکرار قبل $(V_i(t))$ بر روی بردار سرعت در تکرار فعلی $(V_i(t+1))$ است، c_1 : ضریب ثابت آموزش (حرکت در مسیر بهترین مقدار ذره مورد بررسی)، c_2 : ضریب ثابت آموزش (حرکت در مسیر بهترین ذره یافت شده در بین کل جمعیت)، $rand_1, rand_2$: دو عدد تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه ۰ تا ۱، $V_i(t-1)$: بردار سرعت در تکرار $(t-1)$ ام، $X_i(t-1)$: بردار موقعیت در تکرار $(t-1)$ ام، برای جلوگیری از افزایش بیش از حد سرعت حرکت یک ذره در حرکت از یک محل به محل دیگر (و اگر شدن بردار سرعت)، تغییرات سرعت را به رنج V_{min} تا V_{max} محدود می‌کنیم؛ یعنی $V_{min} \leq V \leq V_{max}$. حد بالا و پایین سرعت با توجه به نوع مسئله تعیین می‌گردد. همچنین بعضی از مسائل دامنه تعریفی خاصی برای پارامترهای خود دارند و تنها در این دامنه دارای مقداری محدود، منطقی و تعریف شده هستند. به عبارت دیگر اگر در مسئله مورد بررسی قید و یا قیودی وجود داشته باشد، باید توسط مکانیزمی این قیود لحاظ گردند تا از ورود ذرات به فضای غیر مجاز جلوگیری شود. این مکانیزم را اصطلاحاً محدودسازی فضا



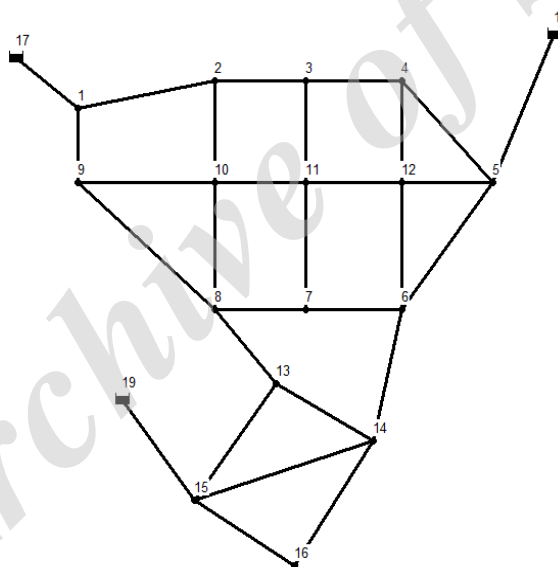
می‌نامند. اگر از این مکانیزمها استفاده نشود، پاسخ پیدا شده توسط الگوریتم اشتباه و یا غیر قابل اطمینان است. در این مقاله ضرایب الگوریتم دسته ذرات به صورت مقادیر پیشنهادی Sedki and Ouazar, 2012 در نظر گرفته شده است که مقادیر مربوط به آن در جدول ۱ آورده شده است [۸].

جدول ۱- ضرایب الگوریتم دسته ذرات

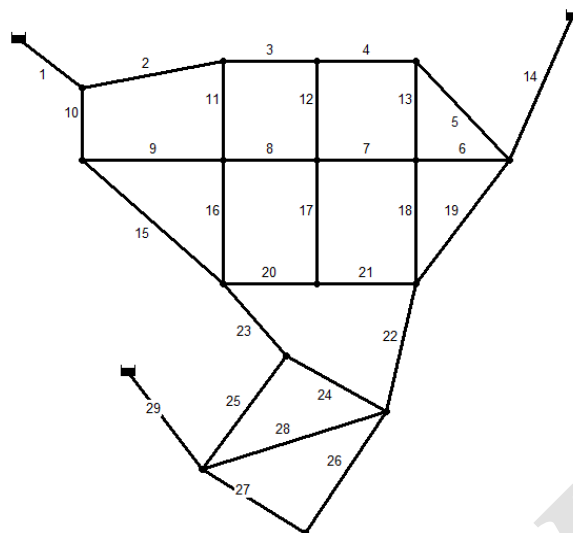
ضرایب	Nswarm	w	C1	C2
مقدار	۱۰۰	۰/۸۰	۲/۰	۲/۰

۳- مطالعه موردی

مطالعه موردی که در این تحقیق مورد بررسی قرار می‌گیرد شبکه جیپسون است. در شکل ۱ ساختار شبکه Jeppson1976 به همراه گره‌ها و مخازن شبکه و در شکل ۲ شماره لوله‌های شبکه نشان داده شده است. این شبکه یک شبکه با ۱۹ گره و ۳۰ لوله می‌باشد. در جدول ۲ الگوی زمانی مصرف در شبکه توزیع آب نمونه، در جدول ۳ مشخصات لوله‌های شبکه توزیع آب و در جدول ۴ مشخصات گره‌های شبکه توزیع آب نشان داده شده است [۹].



شکل ۱: گره‌های شبکه نمونه



شکل ۲: لوله‌های شبکه نمونه

جدول ۲: الگوی زمانی مصرف در شبکه توزیع آب نمونه

ساعت	الگوی زمانی مصرف	ساعت	الگوی زمانی مصرف
1	0.63	13	0.98
2	0.59	14	0.87
3	0.55	15	0.85
4	0.60	16	1.04
5	0.71	17	1.15
6	0.81	18	1.25
7	1.02	19	1.50
8	1.23	20	1.46
9	1.32	21	1.34
10	1.30	22	1.27
11	1.19	23	1.11
12	1.08	24	0.74



جدول ۳: مشخصات لوله‌های شبکه توزیع آب

لوله	طول (m)	قطر (mm)	ضریب زبری
1	308	305	100
2	2743	254	130
3	1829	203	130
4	2195	254	120
5	3658	254	120
6	1829	305	130
7	2012	254	130
8	1829	152	100
9	2377	152	100
10	1524	254	100
11	2012	152	120
12	2195	152	130
13	2377	152	120
14	613	406	100
15	4572	102	120
16	2926	152	120
17	2926	152	120
18	2926	152	120
19	5121	254	120
20	1829	203	120
21	2012	152	120
22	2012	305	120
23	305	203	100
24	1829	102	130
25	2195	203	120
26	1890	203	120
27	2012	203	120
28	3292	254	120
29	305	406	100



جدول ۴: مشخصات گره‌های شبکه توزیع آب

شماره گره	ارتفاع (m)	مصرف (lit/s)
1	341	0.0
2	335	0.0
3	329	0.0
4	330	31.4
5	351	0.0
6	329	25.2
7	331	0.0
8	328	0.0
9	335	37.9
10	329	0.0
11	330	44.2
12	335	0.0
13	331	31.4
14	329	37.9
15	338	25.2
16	327	31.4
17	389	0.0
18	396	0.0
19	390	0.0

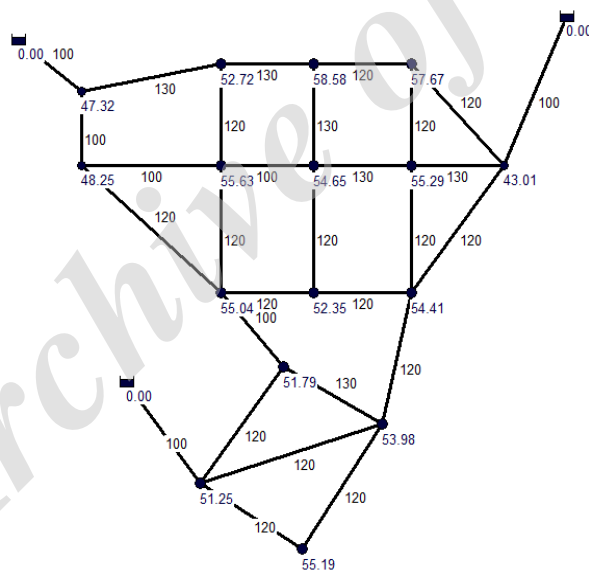


۴- نتایج و بحث

در بخش بحث و نتایج دو سناریو به صورت موارد زیر در نظر گرفته شده است: الف- تعیین ضرایب مدل در حالت عدم دسته‌بندی ضرایب، ب- تعیین ضرایب مدل در حالت دسته‌بندی ضرایب

۴-۱- تعیین ضرایب مدل در حالت عدم دسته بندی ضرایب

در این سناریو با فرض نمونه‌برداری از تمامی گره‌ها شبکه در یک ساعت، ضرایب مدل تعیین می‌شود. فرض بر این است که مقادیر فشار در گره‌های شبکه در حالت متوسط مصرف از شبکه معلوم و به صورت شکل ۳ است. با فرض معلوم بودن فشار در گره‌ها، مقادیر ضرایب زبری لوله‌ها که در شکل ۳ در کنار لوله‌ها نشان داده شده، تعیین می‌شود. در این سناریو محدوده ضریب زبری لوله‌ها بین ۱۰۰ تا ۱۳۰ در نظر گرفته شده است و با اعمال تابع اعداد صحیح، محدوده جواب‌ها به اعداد صحیح خلاصه شده است. با اعمال این محدودیت‌ها، در هر انتخاب، ۳۰ حالت (۱۰۰ - ۱۳۰) وجود دارد و با توجه به اینکه تعداد لوله‌های شبکه Jeppson برابر ۲۹ است، فضای تصمیم مسئله 30^{29} (۶/۸۶*۱۰^{۴۲}) خواهد بود. خلاصه نتایج مدل بهینه‌سازی برای ۲ اجرای متوالی در جدول ۵ نشان داده شده است.



شکل ۳: مقادیر فشار و ضرایب زبری شبکه



جدول ۵: نتایج مدل برای دو اجرای متوالی

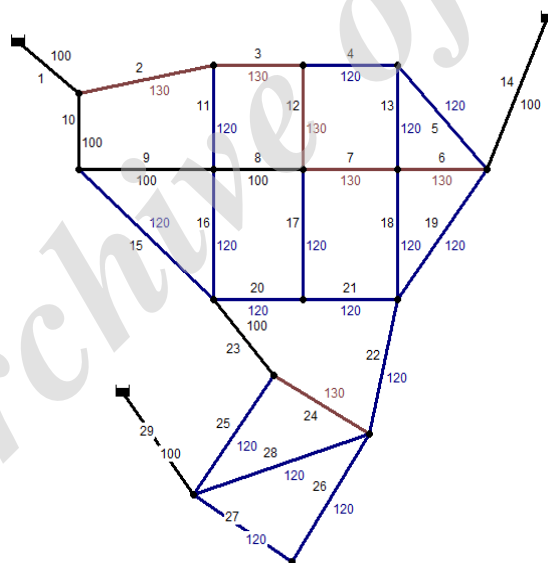
نتایج مدل		جواب واقعی	شماره لوله
۲	۱		
100	100	100	1
130	100	130	2
125	100	130	3
130	130	120	4
123	130	120	5
124	128	130	6
130	130	130	7
100	129	100	8
101	100	100	9
100	100	100	10
114	112	120	11
130	130	130	12
100	100	120	13
101	100	100	14
130	116	120	15
115	100	120	16
110	130	120	17
100	119	120	18
130	117	120	19
125	128	120	20
130	130	120	21
124	111	120	22
103	100	100	23
100	120	130	24
121	122	120	25
110	130	120	26
123	117	120	27
114	126	120	28
100	101	100	29
0.0030	0.0016	0.00012	مقدار تابع هدف



همانطوری که مشخص است مدل بهینه‌سازی در دو اجرای متوالی نتوانسته است دقیقاً جواب واقعی را پیدا کند ولی به جواب‌های مشابه جواب واقعی رسیده است. بهترین جواب در بین جواب‌ها مربوط به دسته جواب اول با مقدار خطا (تابع هدف) برابر $0/0016$ است. از نظر مهندسی این میزان خطا در مقایسه با مقدار خطای واقعی قابل قبول است و می‌توان این دسته جواب را بجای دسته جواب واقعی بکار برد ولی از نظر بهینه‌سازی قابل قبول نیست و یک مقدار بهینه موضعی در مقابل مقدار بهینه اصلی مسئله است. برای حل این مشکل بکارگیری روش‌های که بتوان با استفاده از آنها فضای جستجوی مسئله را کوچکتر کرد و یا روش حل را به شکلی تغییر داد که مدل در بهینه‌های موضعی توقف نکند، از راه‌کارهای قابل استفاده است.

۴-۲- تعیین ضرائب مدل در حالت دسته بندی ضرائب

با توجه به شکل ۴ مشخص می‌شود که به ترتیب لوله‌های ۱، ۸، ۹، ۱۰، ۱۴، ۲۳، ۲۹ دارای ضریب زبری لوله‌ها برابر ۱۰۰ و لوله‌های ۴، ۵، ۱۱، ۱۳، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۵، ۲۶، ۲۷ و ۲۸ دارای ضریب زبری لوله‌ها برابر ۱۲۰ و لوله‌های ۲، ۳، ۶، ۷، ۱۲ و ۲۴ دارای ضریب زبری لوله‌ها برابر ۱۳۰ است و لذا می‌توان مجموع همه لوله‌ها را در سه گروه مجزا دسته‌بندی نمود. بدین ترتیب و با توجه به اینکه محدوده ضریب زبری لوله‌ها بین ۴۰ و ۱۶۰ است، فضای جستجوی مسئله به 120^3 ($10^6 * 1/72$) کاهش پیدا می‌کند و مدل بهینه‌سازی راحت‌تر و سریع‌تر می‌تواند جواب واقعی را پیدا کند.



شکل ۴: ضرایب زبری لوله‌ها

نتایج مدل بهینه‌سازی برای سناریوی دوم و برای دو اجرای متوالی در جدول ۶ نشان داده شده است. همانطوری که از نتایج معلوم است مدل بهینه‌سازی در این سناریوی برای هر دو اجرای متوالی نتوانسته است که جواب واقعی را پیدا کند. بدین ترتیب مشخص می‌شود که برای شبکه‌های بزرگ پیدا کردن شاخص‌های که بر اساس آنها بتوان لوله‌های شبکه را به تعدادی دسته تقسیم کرد می‌تواند در پیدا کردن جواب بهینه واقعی موثر می‌باشد.



جدول ۶: نتایج مدل برای ۲ اجرای متوالی

نتایج مدل		جواب واقعی	شماره لوله
2	1		
100	100	100	1
130	130	130	2
130	130	130	3
120	120	120	4
120	120	120	5
130	130	130	6
130	130	130	7
100	100	100	8
100	100	100	9
100	100	100	10
120	120	120	11
130	130	130	12
120	120	120	13
100	100	100	14
120	120	120	15
120	120	120	16
120	120	120	17
120	120	120	18
120	120	120	19
120	120	120	20
120	120	120	21
120	120	120	22
100	100	100	23
130	130	130	24
120	120	120	25
120	120	120	26
120	120	120	27
120	120	120	28
100	100	100	29
0.00012	0.00012	0.00012	مقدار تابع هدف



۵- جمع بندی و نتیجه گیری

در این مقاله تنظیم ضرایب زبری لوله‌های شبکه توزیع آب در حالت مدل‌سازی استاتیکی و دسته‌بندی و عدم دسته‌بندی ضرایب مد نظر بود. برای این منظور شبکه جیپسون مورد استفاده قرار گرفته است بطوری که در آن با فرض معلوم بودن ضرایب زبری لوله‌ها، شبیه‌سازی انجام شده است و مقادیر فشار محاسباتی در گره‌های شبکه محاسبه گردید، سپس با فرض معلوم بودن مقادیر فشار در گره‌های شبکه ضرایب هیزن ویلیامز لوله‌ها با روش‌های بهینه‌سازی تعیین شده است. برای بهینه‌سازی با کدنویسی در محیط متلب از الگوریتم دسته ذرات استفاده شده است. بررسی نتایج شبکه جیپسون در حالت عدم دسته‌بندی ضرایب نشان می‌دهد که مدل بهینه‌سازی در هیچ کدام از دو اجرای متوالی نتوانسته است جواب واقعی را پیدا کند، هر چند در همه این موارد روند همگرایی به شکلی بوده است که به یک جواب بهینه موضعی نزدیک به بهینه واقعی دست یافته است و با اینکه نتایج از نظر بهینه‌سازی قابل قبول نیست، ولی از نظر مهندسی قابل قبول است. همچنین در حالت دسته‌بندی ضرایب، مدل بهینه‌سازی در همه دو اجرای متوالی نتوانسته است جواب واقعی را پیدا کند که نشان دهنده تاثیر دسته‌بندی درست ضرایب در تنظیم بهتر آنها می‌باشد. همچنین بررسی کلی نتایج نشان می‌دهد که مدل بهینه‌سازی الگوریتم دسته ذرات از قابلیت خوبی برای تنظیم ضرایب مدل شبکه توزیع آب برخوردار است به طوری که در بیشتر موارد در ۳۰ درصد ابتدایی گام‌های اجرای الگوریتم نتوانسته است جواب واقعی را پیدا کند.

۶- مراجع

- [۱]- [۱] بیران، ص.، هنربخش، ن.، (۱۳۸۷)، "بخران وضعیت آب در جهان و ایران"، فصل نامه راهبرد، سال ۱۶، شماره ۴۸، ص ۲۱۲-۱۹۳.
- [۲]- [۲] صدرالساداتی س، ع.، قدیانی، م.، (۱۳۸۸) "کالیبراسیون مدل شبکه‌های توزیع آب شهری (با مطالعه موردی شبکه توزیع آب شهر یزد)" سومین همایش ملی آب و فاضلاب (با رویکرد اصلاح الگوی مصرف)، ۴ و ۵ اسفند ماه، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)، تهران، ایران
- [۳]- [۳] فغفور مغربی م، حسن زاده ی، یزدانی س، "کالیبراسیون شبکه‌های توزیع آب شهری با استفاده از روش بهینه‌یابی کلونی مورچه‌ها"، مجله آب و فاضلاب، ۱۳۹۲، ۲۴(۱)، ۱۰۱-۱۱۱.
- [۴]- [۴] دینی، م.، تابش، م.، (۱۳۹۲)، " کالیبراسیون هیدرولیکی شبکه‌های توزیع آب با در نظر گرفتن عدم قطعیت داده‌ها"، دوازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، ۷ و ۸ آبان‌ماه، کرج، ایران.
- [۵]- [۵] دینی، م.، تابش، م.، (۱۳۹۵) "مدل‌سازی شبکه‌های توزیع آب شهری با در نظر گرفتن تاثیر جنس، قطر و سن لوله‌ها در تنظیم ضرایب هیزن ویلیامز شبکه" نهمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمرن، ۲۱ و ۲۲ اردیبهشت ماه، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
- [6]- Vassiljev, A., Koppel, T. and Puust, R., (2005), "Calibration of the model of an operational water distribution system", Proceedings of the 8th International Conference on Computing and Control for the Water Industry, University of Exeter, UK, September 4-7, 1(2), 155-159.
- [7]- Kennedy, J. and Eberhart, R.C., (1995), "Particle swarm optimization", IEEE International Conference on Neural Networks, Perth, Australia, IEEE Service Center, Piscataway, NJ.
- [8]- Sedki, A., Ouazar, D., (2012), "Hybrid particle swarm optimization and differential evolution for optimal design of water distribution systems", Advanced Engineering Informatics, 26, 582-591.
- Jeppson R.W. (1976), "Analysis of Flow in Pipe Networks", Ann Arbor Science Publishers, Inc.