



Semnan University



Research Article

Applying Simultaneously Monte Carlo Method and Dimension Reduction in Calculating the Reliability of Water Column Separation Phenomenon

Sakineh Safari ^a, Mehdi Azhdary Moghaddam ^{a,*}, Abdolhamid BahrPeyma ^a,
Mohammad GivehChi ^a

^a Civil Engineering Department, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran.

PAPER INFO

Paper history:

Received: 2023-11-28

Revised: 2024-05-18

Accepted: 2024-05-25

Keywords:

Transient flow;
Water column separation phenomenon;
Loop network;
Reliability;
Reduction dimension method;
Monte carlo method.

ABSTRACT

Network reliability is one of the main effective indicators for designing and managing water distribution networks in normal or critical operating conditions. Occurrence of transient flow and sometimes the water column separation phenomenon is one of the factors of reducing reliability in water distribution networks. The increase in pressure caused by the mentioned phenomenon can cause financial and life damages, which makes it necessary to discuss the reliability of the network, occurrence the transient flow and water column separation. In this article, with the help of the Monte Carlo method and the dimension reduction method, the reliability of the water supply network has been investigated, taking the conditions of the occurrence of the water column separation phenomenon. For this purpose, the Loop system of Wang et al. (2017) was simulated in ANSYS Fluent software and the results of these simulations were called as input data for the mentioned methods in Matlab.

Examining the reliability results showed that the occurrence of the water column separation phenomenon reached the probability of network failure to 0.247. Also, the comparison of the probability of failure of variables effective in creating pressure shows that the probability of failure caused by the valve closing time and the distance from the upstream valve with amounts 0.209 and 0.0158 have the highest and lowest values, respectively. The result of this research shows that the dimension reduction method, along with the Monte Carlo method, is a practical solution for calculating and analyzing the reliability of the water supply network.

DOI: <https://doi.org/10.22075/jme.2024.32476.2570>

© 2024 Published by Semnan University Press.

This is an open access article under the CC-BY 4.0 license.(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

* Corresponding author.

E-mail address: mazhdary@eng.usb.ac.ir

How to cite this article:

Azhdary Moghaddam, M., Safari, S., BahrPeyma, A. H., & GivehChi, M. (2024). Applying simultaneously Monte Carlo method and dimension reduction in calculating the reliability of water column separation phenomenon. Journal of Modeling in Engineering, 22(79), 311-323. doi: 10.22075/jme.2024.32476.2570

بکارگیری همزمان روش مونت کارلو و کاهش ابعاد در محاسبه قابلیت اطمینان پدیده جدایی ستون آب

سکینه صفری^۱، مهدی اژدری مقدم^{۱*}، عبدالحمید بحرپیما^۱، محمد گیوه چی^۱

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۹/۰۷	قابلیت اطمینان شبکه یکی از اصلی ترین شاخص های موثر برای طراحی و مدیریت شبکه های توزیع آب، در شرایط بهره برداری عادی و یا بحرانی است. رخ دادن جریان گذرا و بعضاً پدیده جدایی ستون آب یکی از عوامل کاهش قابلیت اطمینان در شبکه های توزیع آب می باشد. افزایش فشار ناشی از پدیده مذکور می تواند آسیب های مالی و جانی به همراه داشته باشد که پرداختن به بحث قابلیت اطمینان شبکه با در نظر گرفتن جریان گذرا و جدایی ستون آب را الزامی می کند. در این مقاله با کمک روش مونت کارلو و روش کاهش ابعاد به بررسی قابلیت اطمینان شبکه آبرسانی با در نظر گرفتن شرایط رخ دادن پدیده جدایی ستون آب پرداخته شده است. بدین منظور سیستم حلقوی وانگ و همکاران (۲۰۱۷) در نرم افزار ANSYS Fluent شبیه سازی گردید و نتایج این شبیه سازی ها به عنوان داده ورودی برای روش های مذکور در محیط Matlab فراخوانی شدند. بررسی نتایج قابلیت اطمینان نشان داد که رخ دادن پدیده جدایی ستون آب، احتمال خرابی شبکه را به ۰/۲۴۷ می رساند. همچنین مقایسه احتمال خرابی متغیری های موثر در ایجاد فشار بیانگر آن است که احتمال خرابی ناشی از زمان بسته شدن شیر و متغیر فاصله از شیر بالادست با مقادیر ۰/۲۰۹ و ۰/۱۵۸، به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار را به خود اختصاص داده اند. نتیجه این تحقیق کارایی روش کاهش ابعاد در کنار روش مونت کارلو، به عنوان راهکاری عملی برای محاسبه و تحلیل قابلیت اطمینان شبکه آبرسانی، را نشان می دهد.
بازنگری مقاله: ۱۴۰۳/۰۲/۲۹	
پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۳/۰۵	
واژگان کلیدی: جریان گذرا، پدیده جدایی ستون آب، شبکه حلقوی، قابلیت اطمینان، روش کاهش ابعاد، مونت کارلو.	
DOI: https://doi.org/10.22075/jme.2024.32476.2570	
© 2024 Published by Semnan University Press. This is an open access article under the CC-BY 4.0 license. (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)	

۱- مقدمه

باشد [۳]. پارامترهای اصلی که در اختلال عملکرد شبکه توزیع آب نقش دارند در سه دسته تقسیم بندی می شوند: (۱) عوامل فیزیکی (مانند مواد لوله، ضخامت دیوار، سن، قطر، رنگ)، (۲) عوامل محیطی (مانند بستر لوله، نوع خاک، سطح آب زیرزمینی، شرایط آب و هوایی و فعالیت های لرزه ای) و (۳) عوامل عملیاتی (مانند فشار داخلی، فشار گذرا، نشت، کیفیت آب، سرعت جریان، و جریان های برگشتی احتمالی). خرابی در هر جزء می تواند یکپارچگی شبکه توزیع آب را تضعیف و یا عملکرد مداوم آن را گاهی

شبکه های توزیع آب^۲ از اجزای مختلفی مانند لوله ها، مخازن، شیرها و پمپ ها تشکیل شده اند و به دلیل کارکرد مهم در تأمین آب به عنوان یک نیاز اساسی روزانه، جزء ضروری سیستم های زیرساخت شهری هستند [۱، ۲]. در حالی که یک شبکه اغلب برای ارائه مداوم مقدار آب مورد نیاز با کیفیت قابل قبول و فشار کافی به مصرف کنندگان مختلف طراحی شده است، ممکن است اهداف فرعی مانند تأمین آب آتش نشانی نیز داشته

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: mazhdary@eng.usb.ac.ir

۱. گروه مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

استناد به این مقاله:

² Water Distribution Network (WDN)

گره‌های تقاضا کاهش می‌یابد، یک شکست هیدرولیک یکپارچگی هیدرولیکی شبکه را تضعیف می‌کند [۴]. رخ دادن جریان گذرا یکی از عوامل کاهش قابلیت اطمینان در شبکه‌های توزیع آب می‌باشد. جریان گذرای هیدرولیکی ناشی از تغییرات ناگهانی در شرایط جریان شبکه به دلیل مانورهای برنامه‌ریزی شده یا تصادفی است [۶]. باز یا بستن سریع شیرها و یا ازکار افتادن پمپ ناشی از قطعی برق نمونه‌ای از این تغییرات هستند [۷]. جریان گذرا می‌تواند باعث ایجاد شرایطی از جمله حداکثر فشار در سیستم، وقوع شرایط خلأ محلی، لرزش هیدرولیکی لوله، تأثیر بر کیفیت آب و سلامتی، را در شبکه توزیع آب شود [۸، ۹]. رژیم جریان گذرا را بر اساس وضعیت فیزیکی آب و حداکثر فشار، به سه طبقه مجزا شامل رژیم چکش آبی، رژیم جدایی ستون فعال و رژیم جدایی ستون غیرفعال تقسیم‌بندی می‌گردد. جداسازی ستون در رژیم جدایی ستون غیرفعال انتظار نمی‌رود، در حالی که در رژیم فعال جدایی ستون آب می‌تواند فشاری بیش از حد مقادیر فشار در رژیم فشار چکش آبی ایجاد کند [۱۰، ۱۱].

پدیده جدایی ستون آب^۲ یکی از انواع جریان گذراست که با کاهش فشار در شبکه شروع می‌شود. بدین ترتیب که وقتی فشار در سیستم توزیع آب به فشاری کمتر از فشار بخار آب برسد حفره جریان ایجاد شده و ستون آب تقریباً به دو بخش مجزا تقسیم می‌گردد. عدم تعادل در ناحیه جریان حفره‌ای باعث ایجاد یک حفره بخار محلی می‌شود که در آن جریان خروجی بیشتر از جریان ورودی می‌باشد. هنگامی که فشار در سیستم افزایش یابد، حفره شروع به خرد شدن می‌کند تا حجم آن به صفر برسد و دو ستون به هم متصل شوند. در هنگام فروپاشی حفره، تبادل مومنتوم بین ستون‌ها می‌تواند موج فشاری زیادی در کل سیستم هیدرولیکی ایجاد کند. مقدار این افزایش فشار مستقیماً به تفاوت بین سرعت برخورد دو ستون و سرعت موج در لوله‌ها بستگی دارد که این تفاوت سرعت خود با حداکثر کردن حجم حفره هوا افزایش می‌یابد [۱۰]. رخ دادن موارد واقعی از پدیده جدایی ستون آب [۱۰، ۱۲] نشان می‌دهد که افزایش فشار ناشی از پدیده مذکور می‌تواند آسیب‌های مالی و جانی به همراه داشته باشد؛ در نتیجه پرداختن به بحث

اوقات متوقف‌کننده؛ از این رو، اندازه‌گیری قابلیت اطمینان این شبکه‌ها در شرایط خرابی بسیار مهم است [۴]. یکی از اصلی‌ترین شاخص‌های موثر در طراحی و مدیریت شبکه‌های توزیع آب، قابلیت اطمینان شبکه در شرایط بهره‌برداری عادی و یا بحرانی می‌باشد. قابلیت اطمینان معیاری از عملکرد یا توانایی یک شبکه برای تأمین خواسته‌های مصرف‌کنندگان در جنبه‌های کمی و کیفی در هر شرایطی است [۴]. در تعریف خاص‌تر برای قابلیت اطمینان شبکه توزیع می‌توان گفت: نگرانی درباره ظرفیت سیستم برای تأمین نیاز آبی مصرف‌کننده با فشار مناسب وقتی شرایط بحرانی مانند شکست اتفاقی اجزاء سیستم و یا تغییر در تقاضا وجود داشته باشد [۵]. قابلیت اطمینان از اوایل قرن بیستم جزء مباحث اصلی طراحی و بهره‌برداری سیستم آب قرار گرفته است. داشتن نیروی کاری آموزش دیده کافی، ارتباطات خوب، موجودی کافی قطعات یدکی و اتصالات، تغذیه چندگانه، پمپ‌های پشتیبان، مخازن ذخیره، جلوگیری از جریان برگشتی، کامیون‌های تانکر آب اضطراری، برخی از راه‌هایی هستند که از طریق آنها قابلیت اطمینان در یک سیستم توزیع آب واقعی بالا می‌رود [۴]. قابلیت اطمینان سیستم تأمین آب شرب شهری به شدت به آسیب‌پذیری بخش توزیع بستگی دارد چرا که سایر بخش‌های این سیستم مانند بخش‌های تصفیه و انتقال معمولاً تحت نظارت روزانه قرار می‌گیرند و از نظر فیزیکی/ مکانیکی ایمن‌تر هستند [۳].

برای یک شبکه توزیع آب می‌توان قابلیت اطمینان را از سه جنبه هیدرولیکی، کیفی و مکانیکی بررسی نمود [۵]. قابلیت اطمینان مکانیکی^۱ عملکرد شبکه را در شرایط عدم قطعیت مکانیکی مانند خرابی قطعات (به عنوان مثال شکستگی لوله یا خرابی پمپ) منعکس می‌کند. قابلیت اطمینان کیفی، کیفیت آب تحویلی به مصرف‌کنندگان را تحت هر گونه عدم قطعیت مکانیکی یا هیدرولیکی در طول زمان اندازه‌گیری می‌کند. در آخر قابلیت اطمینان هیدرولیکی^۲ که عملکرد این شبکه‌ها را تحت عدم قطعیت هیدرولیکی در طول زمان اندازه‌گیری می‌کند، مانند تغییرات تقاضا به دلیل رشد جمعیت یا تغییرات آب و هوا و زوال لوله در طول زمان. به عنوان مثال وقتی فشار در

³ water column separation phenomenon

¹ Mechanical Reliability

² Hydraulic Reliability

استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک در نرم‌افزار Matlab پیگیری گردید. حسن‌پور و همکاران [۱۸] در تحقیقی کارایی الگوریتم بهینه‌سازی گروه میگوها را برای بهینه‌سازی قطر لوله‌ها در شبکه‌های آبرسانی بررسی کردند. در تحقیق آنها شبکه حلقه‌ای دو شهر خرمشهر و کادو در نرم‌افزار EPANET شبیه‌سازی و وارد الگوریتم مذکور در محیط Matlab گردید. مقایسه نتیجه بهینه‌سازی قطر لوله با الگوریتم گروه میگو و تحقیقات انجام شده با سایر الگوریتم‌ها بهبود ۲/۶ درصدی را نشان داد. بررسی نتایج بیانگر کارایی الگوریتم گروه میگو در بهینه‌سازی شبکه‌های آبرسانی بود.

جبدجیان^۲ [۱۹] در پژوهشی به طراحی بهینه شبکه‌های توزیع آب در شرایط پایدار و گذرا، بر اساس قابلیت اطمینان پرداخته است. در این پژوهش الگوریتم ژنتیک به عنوان ابزار بهینه‌سازی، روش نیوتن رافسون به عنوان حل‌کننده آنالیز هیدرولیکی و یک برنامه تحلیل گذرا برای ارزیابی قابلیت اطمینان ترکیب شده است. شرایط گذرا با قطع برق پمپ و بسته شدن ناگهانی شیر در شبکه ایجاد گردید. بررسی نتایج حاکی از آن بود که این تکنیک بهینه‌سازی مبتنی بر قابلیت اطمینان ابزار مهمی برای طراحی و بهره‌برداری از شبکه‌های آب بدون استفاده از دستگاه‌های هیدرولیک برای کنترل چکش آب است. تابش^۳ و همکاران [۲۰] دو مدل مبتنی بر تکنیک‌های مدل‌سازی داده محور^۴، شبکه عصبی مصنوعی^۵ و سیستم‌های عصبی فازی را برای پیش‌بینی دقیق نرخ شکست لوله‌ها و ارزیابی قابلیت اطمینان لوله‌ها ارائه کردند. برخلاف مدل‌های رگرسیونی ساده رایج که در آنها به منظور پیش‌بینی میزان خرابی لوله‌ها فقط چند فاکتور مانند قطر، سن و طول لوله در نظر گرفته می‌شود، در این مقاله پارامترهای دیگری مانند فشار و عمق لوله نیز گنجانده شده است.

مدل‌های پیشنهادی در یک مطالعه موردی واقعی شامل یک شبکه توزیع آب بزرگ در ایران اعمال می‌شوند و نتایج پیش‌بینی‌های مدل با داده‌های شکست لوله اندازه‌گیری شده مقایسه می‌شوند. در مقایسه با نتایج مدل‌های رگرسیون عصبی فازی و چند متغیره، نتایج مدل شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی میزان خرابی لوله‌ها و ارزیابی قابلیت اطمینان مکانیکی در شبکه‌های توزیع آب واقعی‌تر

قابلیت اطمینان شبکه توزیع آب با در نظر گرفتن جریان گذرا و جدایی ستون آب اهمیت ویژه‌ای دارد. قابلیت اطمینان یک شبکه به طور مکرر در مقالات مورد مطالعه قرار گرفته است تا عملکرد سیستم را زمانی که به طور جزئی یا کامل به دلیل خرابی مکانیکی، هیدرولیکی و کیفیت آب از کار می‌افتد ارزیابی کند [۴].

طاهری و صفوی [۱۳] تحقیقی با هدف تعیین شاخص ترکیبی قابلیت اطمینان با در نظر گرفتن جنبه‌های مکانیکی، هیدرولیکی و کیفی انجام دادند. در پژوهش آنها شبکه‌ای شامل دو حلقه با نرم‌افزار EPANET شبیه‌سازی گردید. بررسی نتایج حاکی از آن بود که با تغییر کوچکی همچون تغییر جایگاه مخزن به بالاترین نقطه یا اضافه کردن منبع جدید در شبکه و لوله‌ها، قابلیت اطمینان افزایش می‌یابد و فشار در شبکه به حالت تعادل می‌رسد که پایداری را بالا می‌برد. فتوحی و تابش [۱۴] الگوریتم جامعه مورچگان را برای بهینه‌سازی تانک در شبکه آبرسانی و بالا بردن قابلیت اطمینان آن معرفی کردند. بختیاری و همکاران [۱۵] برای محاسبه معیارهای عملکرد شبکه از جمله قابلیت اطمینان در زمان، قابلیت اطمینان ترکیبی، برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیر، روشی را با استفاده از منطق فازی پیشنهاد کردند. کاربرد روش پیشنهادی در شبکه حلقه‌ای آیتون^۱ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی‌ها نشان داد که از نظر کارشناسان نتایج شاخص پایداری فازی توسعه داده شده پیشنهادی نسبت به روش قطعی به جواب واقعی مسئله نزدیک‌تر است. غیبی و همکاران [۱۶] در پژوهشی در راستای بهبود قابلیت اطمینان شبکه‌های آبرسانی، عملکرد شیرهای فشارشکن با سه رویکرد متفاوت فشار خروجی ثابت، نوسان زمانی و نوسان دبی برای مدیریت فشار، مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش نشان داد که رویکردهای فشار خروجی ثابت، نوسان زمانی و نوسان دبی، به ترتیب دارای کمترین مقدار اطمینان‌پذیری می‌باشند. شیرزاد و همکاران [۱۷] به بررسی قابلیت اطمینان در شبکه آبرسانی شهر اشنویه (یکی از شهرهای استان آذربایجان غربی) پرداخته‌اند. در این پژوهش ابتدا به منظور تهیه مدل هیدرولیکی برای شبکه ذکر شده، از نرم‌افزار WaterGEMS V8 استفاده کردند. بعد از تهیه مدل هیدرولیکی و کالیبراسیون آن، بحث قابلیت اطمینان با

⁴ Data-Driven Modeling (DDM)

⁵ Artificial Neural Network (ANN)

¹ Anytown

² Djebedjian

³ Tabesh

آبرسانی حلقوی با در نظر گرفتن شرایط رخ دادن جدایی ستون آب بپردازد.

۲- مواد و روش‌ها

یکی از دقیق‌ترین روش‌ها برای ارزیابی قابلیت اطمینان در سازه‌ها، روش‌های شبیه‌سازی هستند [۲۲]. روند روش‌های شبیه‌سازی برای محاسبه احتمال خرابی، بر این اساس است که مطابق با تابع توزیع متغیرهای مسئله نمونه‌های تصادفی تولید شده و پاسخ سیستم برای هر متغیر محاسبه می‌گردد. در این پژوهش روش مونت کارلو^۵ که یکی از روش‌های شبیه‌سازی می‌باشد برای بررسی قابلیت اطمینان شبکه حلقوی انتخاب شده است. در ادامه توضیح مختصری درباره این روش ارائه می‌گردد.

۲-۱- روش مونت کارلو

روش مونت کارلو یکی از پرکاربردترین و دقیق‌ترین روش‌های حل برای مسئله قابلیت اطمینان می‌باشد که توسط متروپولیس و یولام در ۱۹۴۹ ارائه گردید. احتمال خرابی به روش مونت کارلو با رابطه (۱) بدست می‌آید [۲۳]:

$$P_f = \int \dots \int I[g(X) < 0] f_X(x) dx \quad (1)$$

$$\approx \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n I[g(x_i) < 0] \approx \frac{n_f}{N}$$

طبق معادله (۱) با نسبت تعداد نقطه‌های ناحیه خرابی (n_f) به تعداد کل نقاط ایجاد شده بر اساس تابع چگالی متغیرها (N)، احتمال خرابی محاسبه می‌شود. در رابطه (۱) I برای نمونه‌های ناحیه خرابی برابر یک و برعکس برای ناحیه سلامت مقدار آن برابر صفر است. نکته اصلی در روش مونت کارلو تولید نمونه‌ها در فضای طراحی مسئله است که برای تولید نمونه‌ها معمولاً از معکوس تابع توزیع استفاده می‌شود. در این روش با استفاده از معکوس تابع توزیع که متناسب با تابع چگالی احتمال متغیرها است، نمونه تصادفی ایجاد می‌شود. مطابق با روش معکوس تابع توزیع اگر V بیانگر عددهای دنباله احتمالاتی تابع جمع‌ی احتمال باشد، نمونه‌های متغیر تصادفی X با تابع چگالی احتمال جمع‌ی $F_X(x)$ با رابطه (۲) ایجاد می‌گردند [۲۲] (شکل ۱):

$$F_X(x_i) = v_i \Rightarrow x_i = F^{-1}(v_i) \quad (2)$$

و دقیق‌تر است. قیسی^۱ و ناصر^۲ [۳] با تمرکز بر ارزیابی قابلیت اطمینان مکانیکی سیستم توزیع آب، تکنیکی برای ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم در حالت شکست همزمان چندین لوله معرفی کردند.

گیستولیسی^۳ [۲۱] با هدف توسعه شاخص‌های قابلیت اطمینان با در نظر گرفتن تحلیل فشار محور برای تقاضای مشتری و تغییرات توپولوژیکی پژوهشی انجام داد. در این راستا سه عامل مؤثر بر قابلیت اطمینان شناسایی گردید: (۱) رفتار هیدرولیکی شبکه متصل (۲) عملکرد توپولوژیکی سیستم شیر جداسازی^۴ (IVS) و (۳) عملکرد توپولوژیکی IVS با توجه به جداسازی ناخواسته. در نتیجه پژوهش شاخص‌هایی برای در نظر گرفتن نقص شیر جداسازی معرفی شدند. شبکه توزیع آب واقعی آپولین برای بحث و نشان دادن یافته‌های نظری مورد بررسی قرار گرفت. مطالعه موردی نشان داد که زیرمجموعه بسیار کوچکی از شیرها با توجه به تأثیر توپولوژیکی آنها در طول برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری، نیاز به توجه ویژه‌ای دارند. القندور^۵ و همکاران [۷] از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای بهینه‌سازی WDS با در نظر گرفتن شرایط ثابت و گذرا برای به حداقل رساندن هزینه‌ها استفاده کردند. همچنین در کنار آن برای بررسی عدم قطعیت در ضرایب زبری لوله‌ها از روش مونت کارلو بهره گرفتند. روش پیشنهادی در شبکه تونل شهر نیویورک^۶ اعمال گردید و قابلیت اطمینان مربوطه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج بیانگر آن بود که با افزایش عدم قطعیت زبری لوله، قابلیت اطمینان شبکه توزیع آب کاهش پیدا کرد.

بررسی مطالعات انجام شده بر روی بحث قابلیت اطمینان در شبکه‌های آبرسانی بیانگر آن است که اکثر این تحقیقات بر روی جریان پایدار انجام شده است و موضوع قابلیت اطمینان در شبکه توزیع آب در حالت جریان گذرا و بعضاً پدیده جدایی ستون آب نادیده گرفته شده است. با توجه به اهمیت موضوع جریان گذرا و پدیده جدایی ستون آب و خسارت‌های ناشی از آنها، پرداختن به قابلیت اطمینان شبکه با در نظر گرفتن این جریان‌ها الزامی است. در این راستا، مقاله حاضر سعی دارد با بکارگیری روش‌های مونت کارلو و کاهش ابعاد، به بررسی قابلیت اطمینان در شبکه

⁵ El-Ghandour
⁶ New York City tunnel network
⁷ Monte Carlo Method

¹ Gheisi
² Naser
³ Giustolisi
⁴ Isolation Valve System

شکل (۲) بیانگر آن است که برای شبیه‌سازی به روش مونت کارلو نمونه‌هایی بر اساس تابع چگالی احتمال تولید می‌شود که بیشتر این نمونه‌ها در اطراف میانگین و به نسبت انحراف معیار ایجاد می‌شوند. برای مسئله‌ای با احتمال خرابی کوچک که فاصله بین ناحیه خرابی و میانگین متغیر بیشتر است، روش مونت کارلو نیاز به تعداد نمونه‌های زیاد دارد که در پی آن برای شبیه‌سازی باید هزینه و وقت بسیار زیادی صرف شود. از آنجایی که در مسائل مهندسی و به ویژه مسئله ارزیابی تابع شرایط حدی در آن نیاز به آنالیز اجزای محدود دارد، روش مونت کارلو بسیار سخت و هزینه‌بر خواهد بود [۲۲].

۲-۲- روش کاهش ابعاد:

در بخش قبلی اشاره شد که روش مونت کارلو برای مسائل با احتمال خرابی کم به نمونه‌های زیاد نیاز دارد که بسیار وقت‌گیر است و هزینه محاسباتی بالا می‌رود. به عنوان راهکاری برای رفع این ضعف از ترکیب روش مونت کارلو با روش‌های دیگری از جمله روش کاهش ابعاد^۱، روش شبکه عصبی^۲، روش کریجینگ^۳ و روش سطح پاسخ^۴ بهره گرفت [۲۴، ۲۵].

روش کاهش ابعاد اولین بار توسط رحمان و شو^۵ در سال ۲۰۰۴ برای حل انتگرال چند بعدی پیشنهاد گردید. چون حل انتگرال قابلیت اطمینان برای حالتی که تعداد متغیرهای تصادفی بیشتر از سه یا چهار باشد، نیاز به زمان و هزینه محاسباتی بالایی دارد؛ در روش کاهش ابعاد انتگرال چندبعدی را به چند انتگرال یک بعدی تبدیل کرده و بعد حل می‌کند [۲۶]. رابطه (۳) نمونه‌ای از انتگرال چند بعدی است که می‌توان با روش کاهش ابعاد آن را حل نمود:

$$E(y(x)) = \int_{-\infty}^{+\infty} \dots \int_{-\infty}^{+\infty} y(x)f(x)dx \quad (3)$$

$$x = [x_1, x_2, \dots, x_N]$$

در رابطه (۳)،

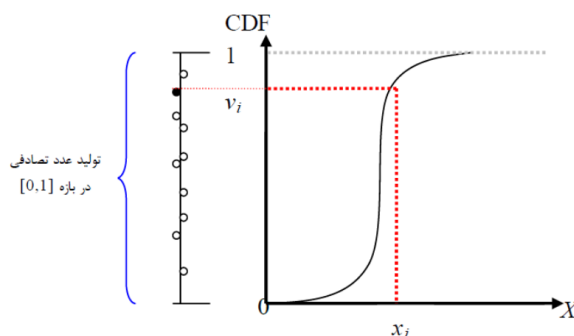
E امید ریاضی

$f(x)$: تابع چگالی احتمال

$y(x)$: تابعی حقیقی، مشتق‌پذیر و چند بعدی وابسته به

بردار متغیرهای تصادفی x

رابطه (۳) انتگرالی را نشان می‌دهد که حل آن دشوار و یا گاهی غیرممکن می‌باشد. روش کاهش ابعاد $y(x)$ را به

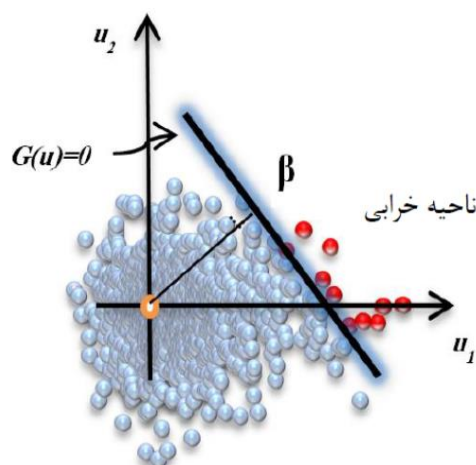


شکل ۱- روش معکوس تابع تجمعی احتمال برای تولید نمونه در شبیه‌سازی مونت کارلو [۲۲]

روند تولید نمونه در این روش را می‌توان در مراحل زیر خلاصه نمود [۲۲]:

- ۱- ایجاد اعداد تصادفی در بازه مشخص $v = [0,1]$
 - ۲- انتقال دادن مقادیر v_i به معکوس تابع تجمعی احتمال
 - ۳- خواندن مقادیر اعداد تصادفی با استفاده از روش ذکر شده در v_i
- در شکل (۲) چگونگی محاسبه احتمال خرابی در روش مونت کارلو نشان داده شده است. از مزایای روش مونت کارلو می‌توان به موارد زیر اشاره نمود [۲۲]:

- بدست آوردن احتمال خرابی به صورت مستقیم بدون ساده‌سازی مسئله.
- حل مسائل صریح و ضمنی قابلیت اطمینان بدون مشتق‌گیری.
- مستقل بودن روش شبیه‌سازی از پیچیدگی‌های تابع شرایط حدی و یا ابعاد مسئله.



شکل ۲- محاسبه احتمال خرابی به روش مونت کارلو [۲۳]

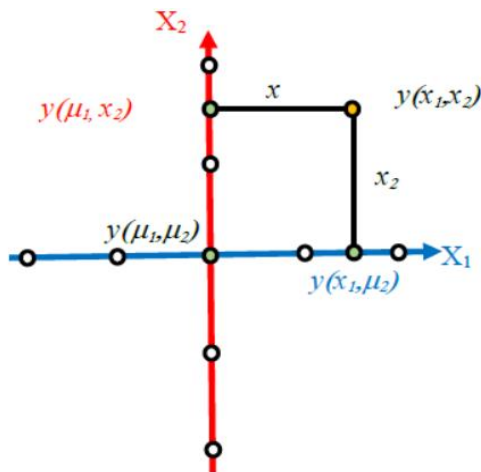
⁴ Response Surface Model

⁵ Rarman and Xu

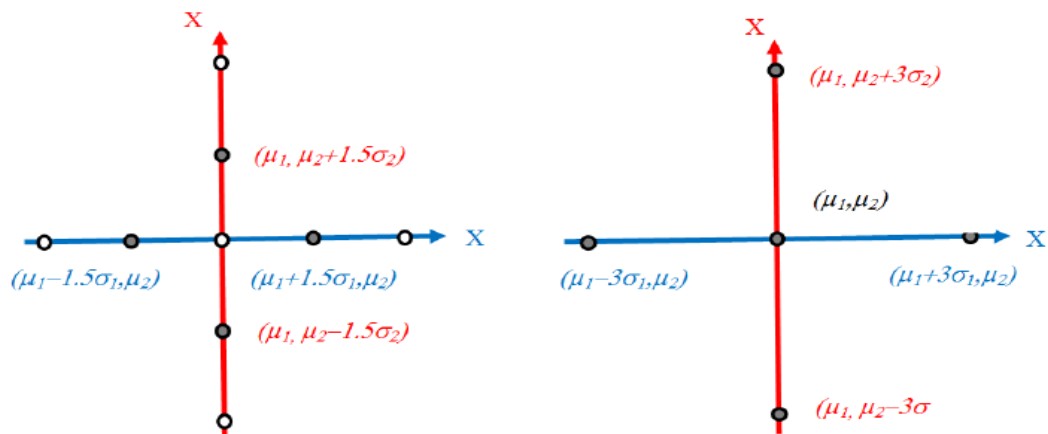
¹ Reduction Dimension Method (RDM)

² Neural Networks

³ Kriging



شکل ۳- محاسبه مقدار تابع با روش کاهش ابعاد برای متغیرهای x_1 و x_2 [۲۴]



شکل ۴- نمونه برداری محوری بر اساس روش کاهش ابعاد [۲۵، ۲۸]

ستون آب می‌باشد. در راستای هدف مقاله با روش مونت کارلو در مرحله اول به داده‌های اولیه مرتبط با پدیده مورد نظر نیاز است. از آنجایی که بحث جدایی ستون آب در مطالعات گذشته اکثراً به صورت عددی بررسی شده و مطالعه آزمایشگاهی مرتبط با آن انجام نگردیده است؛ شبیه‌سازی عددی برای بدست آوردن این داده‌ها بکار گرفته شد. پژوهش‌های گذشته (۲۹)، [۳۰] و [۳۱]) نرم‌افزار ANSYS Fluent را به منظور شبیه‌سازی دوبعدی و سه بعدی جریان گذرا معرفی شده است. با الهام از این پژوهش‌ها نرم‌افزار ANSYS Fluent برای شبیه‌سازی شبکه حلقوی انتخاب گردید. در ابتدا با هدف صحت‌سنجی نرم‌افزار کار تحقیقاتی وانگ و همکاران (۲۰۱۷) [۳۲] انتخاب گردید. وانگ و همکاران با استفاده از یک مدل الاستیک، به صورت عددی پر شدن سریع خط لوله حلقوی را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده‌اند. سیستم مورد مطالعه

یک تابع یک بعدی (۴) تجزیه می‌کند [۲۶]:

$$Y(x) \cong \hat{y}(x) = \sum_{i=1}^N y(\mu_1, \dots, \mu_{i-1}, x_i, \mu_{i+1}, \dots, \mu_N) - (N-1) y(\mu_1, \dots, \mu_N) \quad (4)$$

μ_i : میانگین متغیر x_i

N : تعداد متغیر در طراحی.

اگر طراحی دارای دو متغیر باشد ($N=2$) در این صورت رابطه (۴) به صورت رابطه (۵) نوشته می‌شود. شکل (۳) به صورت شماتیک برآورد مقدار تابع y را برای دو متغیر با روش کاهش ابعاد را نشان می‌دهد.

$$Y(x) \cong \hat{y}(x) = y(x_1, \mu_2) + y(\mu_1, x_2) - y(\mu_1, \mu_2) \quad (5)$$

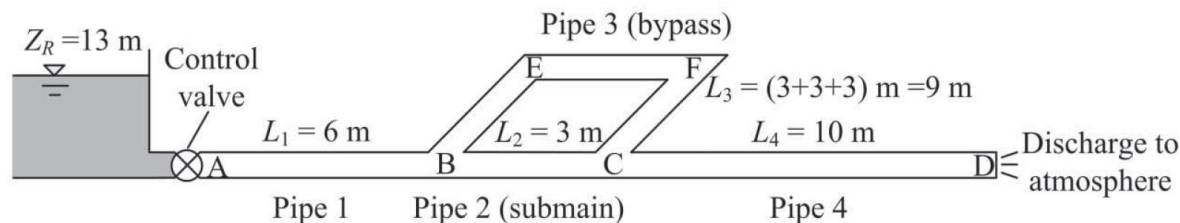
تبدیل انتگرال چند بعدی به چند انتگرال یک بعدی (روش کاهش ابعاد) بالا رفتن دقت حل را به همراه دارد. از طرفی حل کردن N انتگرال یک بعدی نسبت به حل یک انتگرال N بعدی به مراتب ساده‌تر است [۲۴، ۲۵]. لازم به ذکر است که روش کاهش ابعاد نیازی به محاسبه حساسیت پاسخ ندارد [۲۷]. طبق مطالب ذکر شده، از روش کاهش ابعاد می‌توان در کنار دیگر روش‌های قابلیت اطمینان برای محاسبه قابلیت اطمینان استفاده نمود [۲۵]. در روش کاهش ابعاد برای n متغیر تصادفی نیاز به $2n+1$ یا $4n+1$ نمونه می‌باشد (شکل ۴) که این نمونه‌ها بر اساس دو مقدار میانگین (μ) و انحراف معیار (σ) متغیرها تولید می‌شود.

۳- بحث

۳-۱- شبیه‌سازی عددی پدیده جدایی ستون آب

هدف اصلی این مقاله بررسی قابلیت اطمینان در شبکه آبرسانی حلقوی با در نظر گرفتن شرایط رخ دادن جدایی

ضریب اصطکاک داریسی - وایسباخ 0.02 و سرعت موج یکسان 1000 متر بر ثانیه هستند. یک شیر کنترل با ضریب افت هد 0.8 در فاصله 1 متری مخزن نصب می‌شود. در ابتدا شیر کنترل به طور کامل بسته می‌شود [۳۲].



شکل ۵- شماتیک از سیستم مورد مطالعه [۳۲].

نشان می‌دهد که نرم‌افزار ANSYS Fluent برای شبیه‌سازی جریان گذرا در یک سیستم حلقوی مناسب است.

۳-۲- تحلیل قابلیت اطمینان شبکه

بعد از تأیید کارایی نرم‌افزار معرفی شده برای شبیه‌سازی پدیده مذکور، تولید نمونه برای محاسبه قابلیت اطمینان با این نرم‌افزار انجام گردید. به علت نیاز به حجم بالا (حدود 70 گیگا بایت) و زمان شبیه‌سازی طولانی (متوسط 3 روز برای هر شبیه‌سازی) انجام شبیه‌سازی به تعداد بالا امکان‌پذیر نبود. از طرف دیگر روش مونت کارلو برای محاسبه قابلیت اطمینان شبکه نیاز به تعداد نمونه‌های زیاد دارد که در پی آن برای شبیه‌سازی باید هزینه و وقت بسیار زیادی صرف شود. برای صرف هزینه و وقت کمتر، در کنار روش مونت کارلو برای پیش‌بینی از روش کاهش ابعاد، بهره گرفته شد.

در قسمت مواد و روش‌ها روش کاهش ابعاد به صورت خلاصه توضیح داده شد. همانطور که گفته شد بسته به تعداد متغیرها (n) تعداد نمونه‌های مورد نیاز برای روش کاهش ابعاد متفاوت است. برای مطالعه موردنظر چهار پارامتر سرعت جریان، مقدار فشار ورودی به شبکه (ارتفاع مخزن بالادست)، زمان بسته بودن شیر و فاصله از شیر بالادست به عنوان متغیرهای موثر در ایجاد ماکزیمم فشار شبکه انتخاب شدند. چون تعداد متغیرها برابر 4 است پس تعداد نمونه‌های موردنیاز برابر 17 است.

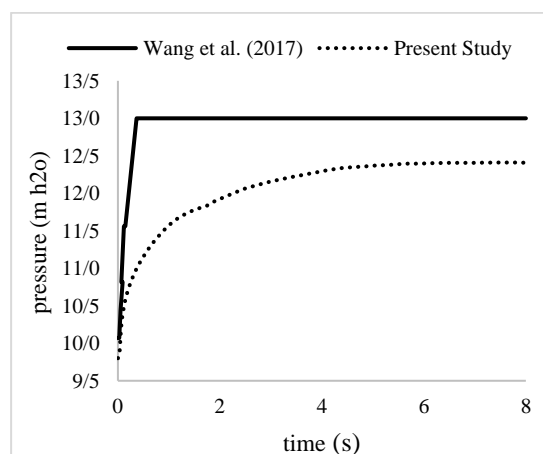
این 17 نمونه در واقع نتایج شبیه‌سازی‌هایی با مقادیر مختلف از چهار متغیر ذکر شده است که مقدار آنها بر اساس میانگین و انحراف معیار هر کدام از متغیرها مشخص می‌گردد. برای بدست آوردن میانگین و انحراف معیار

در مقاله مرجع در شکل (۵) نشان داده شده است. این سیستم متشکل از 4 لوله با طول‌های 9.63 و 10 متر با قطر ثابت 100 میلی‌متر می‌باشد. جریان آب توسط یک مخزن با ارتفاع 13 متر تأمین می‌شود. همه لوله‌ها دارای

شبیه‌سازی‌هایی با مشخصات زیر در محیط نرم‌افزار انجام گردید:

روش مش‌بندی	اتوماتیک
چولگی مش	0.799
کیفیت متعامد	0.8
مدل آشفتگی	K- ϵ Standard
شرط مرزی جریان ورودی	Pressure inlet
شرط مرزی جریان خروجی	Pressure Outlet
نوع حلگر	Pressure based

شکل (۶) یکی از نمودارهای مقایسه نتایج شبیه‌سازی با داده‌های مقاله مرجع می‌باشد که در آن تغییرات هد فشار برای حالت در نظر گرفتن توده هوا نشان داده می‌شود.



شکل ۶- تغییرات هد فشار خروجی از شیر کنترل برای حالت وجود توده هوا

مقایسه نتایج بیانگر آن بود بیشترین میزان درصد خطا بین مقدار شبیه‌سازی شده و داده‌های مقاله برابر با 7 درصد می‌باشد؛ در نتیجه نتایج شبیه‌سازی با نرم‌افزار مورد نظر با نتایج مقاله مرجع تقریباً هم‌خوانی دارد. این بخش از تحقیق

متغیرها باید رنج تغییرات آنها مشخص باشد که جهت تعیین این دامنه نشریه شماره ۳-۱۱۷ با عنوان " ضوابط طراحی سامانه‌های انتقال و توزیع آب شهری و روستایی" ملاک عمل قرار گرفت. طبق این نشریه حدود برای فشار و سرعت به شرح زیر است [۳۳]:

- سرعت بین ۰/۳-۲ متر بر ثانیه.

- رنج فشار ۰/۳-۵ بار

در کنار فشار و سرعت جریان، شبیه‌سازی‌هایی با زمان مختلف بسته شدن شیر و در فواصل متفاوت از شیر بالادست برای دو متغیر دیگر انجام گرفته است. برای هر کدام از متغیرها مقدار میانگین و انحراف معیار را محاسبه نموده و بر اساس آن مقادیر متغیرها برای شبیه‌سازی‌ها

بدست می‌آید.

مشخصات شبیه‌سازی‌های انجام شده در جدول ۱ آمده که ردیف اول این جدول مربوط به شبیه‌سازی با مقادیر میانگین چهار متغیر است. همانطور که در جدول مشاهده می‌شود با تغییر هر پارامتر مقدار سه متغیر دیگر ثابت بوده تا تغییرات فشار در شبکه ناشی از تغییر فقط همان متغیر نشان داده شود. به عنوان مثال برای شبیه‌سازی ۵-۲ فقط مقدار سرعت تغییر کرده و مقادیر (۱/۵۵۳۵، ۰/۷۴۶۵، ۱/۹۵۷، ۰/۳۴۳) به خود اختصاص می‌دهد این در حالی است که متغیر زمان (۰/۱۴۵)، فشار ورودی (۳/۰۲۲)، فاصله از شیر بالادست (۹/۵) مقادیری ثابت دارند.

جدول ۱- مشخصات شبیه‌سازی انجام شده با ANSYS Fluent

فشار ماکزیمم (بار)	سرعت (متر بر ثانیه)	زمان (ثانیه)	فشار (بار)	فاصله (متر)	
۲۱۷/۹۲	۱/۱۵	۰/۰۱۴۵	۳/۰۲۲	۹/۵	۱
۲۹۳/۹۴	۱/۵۵۳	۰/۰۱۴۵	۳/۰۲۲	۹/۵	۲
۱۴۱/۷۱	۰/۷۴۶	۰/۰۱۴۵	۳/۰۲۲	۹/۵	۳
۳۷۰/۰۳	۱/۹۵۷	۰/۰۱۴۵	۳/۰۲۲	۹/۵	۴
۶۵/۷۱	۰/۳۴۳	۰/۰۱۴۵	۳/۰۲۲	۹/۵	۵
۱۸۱/۷۸	۱/۱۵	۰/۰۱۴۶۵	۳/۰۲۲	۹/۵	۶
۳۶۲/۵۴	۱/۱۵	۰/۰۱۴۳۵	۳/۰۲۲	۹/۵	۷
۱۳۶/۵۶	۱/۱۵	۰/۰۱۴۸۰۱	۳/۰۲۲	۹/۵	۸
۵۴۳/۱۵	۱/۱۵	۰/۰۱۴۱۹۹	۳/۰۲۲	۹/۵	۹
۷۴/۳۹	۱/۱۵	۰/۰۱۴۵	۴/۶۰۳	۹/۵	۱۰
۳/۴۶	۱/۱۵	۰/۰۱۴۵	۱/۴۴۰	۹/۵	۱۱
۵۳/۸۲	۱/۱۵	۰/۰۱۴۵	۳/۸۱۳	۹/۵	۱۲
۲۴/۰۳	۱/۱۵	۰/۰۱۴۵	۲/۲۳۱	۹/۵	۱۳
۱۹۵/۰۹	۱/۱۵	۰/۰۱۴۵	۳/۰۲۲	۱۰/۵	۱۴
۲۳۷/۴۴	۱/۱۵	۰/۰۱۴۵	۳/۰۲۲	۸/۵	۱۵
۱۷۲/۲۵	۱/۱۵	۰/۰۱۴۵	۳/۰۲۲	۱۱/۵	۱۶
۲۵۴/۵۱	۱/۱۵	۰/۰۱۴۵	۳/۰۲۲	۷/۵	۱۷

اعداد ارائه شده در جدول ۱ را می‌توان در دو ماتریس زیر به عنوان تابع ورودی و خروجی خلاصه نمود که این ماتریس‌ها به عنوان داده‌های اولیه در کد متلب وارد می‌شوند. سطرهای ماتریس input به ترتیب مقادیر اولیه متغیر سرعت، فشار، زمان و فاصله از شیر بالادست را نشان می‌دهد.

$$Input = \begin{bmatrix} 0.343 & 0.746 & 1.15 & 1.553 & 1.957 \\ 1.44 & 2.231 & 3.022 & 3.813 & 4.603 \\ 7.5 & 8.5 & 9.5 & 10.5 & 11.5 \\ 0.01419 & 0.0143 & 0.0145 & 0.0146 & 0.0148 \end{bmatrix}$$

هر شبیه‌سازی به صورت جداگانه انجام شده و مقدار ماکزیمم فشار ایجاد شده در شبکه به عنوان خروجی مهم آن ثبت گردید که این مقادیر در ستون آخر جدول ۱ آورده شده است. علت اهمیت مقدار ماکزیمم فشار آن است که در زمان رخ دادن پدیده جدایی ستون آب علت شکست (خرابی) شبکه ایجاد فشاری بیشتر از فشار قابل تحمل توسط اجزاء شبکه می‌باشد. در نتیجه اگر در شبکه این فشار ماکزیمم ایجاد شده از فشار قابل تحمل شبکه کمتر باشد، شبکه ایمن بوده و قابلیت اطمینان آن بالا می‌رود.

جدول ۲- نتایج قابلیت اطمینان

مود خرابی	شاخص قابلیت اطمینان (β)	احتمال خرابی (P_f)
شبکه موردنظر	۱/۴۹۸	۰/۲۷۴

با هدف افزایش دقت حل مسئله، مقدار خرابی حاصل از متغیرها به صورت جداگانه محاسبه گردید. جدول ۳ مقادیر خرابی ناشی از هر کدام از متغیرها را نشان می‌دهد.

جدول ۳- احتمال خرابی متغیرهای موثر بر جدایی ستون آب

مود خرابی	احتمال خرابی (P_f)
سرعت جریان	۰/۰۲۸
فشار ورودی	۰/۰۴۰۵
فاصله از شیر بالادست	۰/۰۱۵۸
زمان بسته بودن شیر	۰/۲۰۹

همانطور که از مقایسه اعداد جدول ۳ مشاهده می‌شود احتمال خرابی ناشی از زمان بسته شدن شیر بیشترین و احتمال خرابی ناشی از متغیر فاصله از شیر بالادست کمترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند. احتمال خرابی بیشتر ناشی از متغیر زمان بسته شدن شیر دور از انتظار نیست چرا که با تغییر بسیار کوچکی در زمان بسته شدن شیر (۰/۰۱۵) مقدار ماکزیمم فشار ایجاد شده در شبکه به طور متوسط ۱۰۱/۶۴ بار تغییر می‌کند در نتیجه میزان حساسیت شبکه به تغییرات زمان بسته شدن شیر بیشتر است. پس می‌توان با کنترل زمان بسته شدن شیر در شبکه‌ها احتمال خرابی کل شبکه را تنظیم نموده و از خسارت‌های جانی و مالی شبکه پیشگیری نمود.

در این مقاله با بکارگیری همزمان روش مونت کارلو و کاهش ابعاد توانسته قابلیت اطمینان شبکه حلقوی با در نظر گرفتن شرایط پدیده جدایی ستون آب مورد بحث قرار گیرد. در نتیجه به منظور کاهش هزینه و زمان می‌توان راهکارهای مذکور را به عنوان راهکار عملی برای بررسی قابلیت اطمینان شبکه‌های آبرسانی معرفی نمود.

۴- نتیجه‌گیری

وظیفه اصلی شبکه‌های آبرسانی تأمین آب برای مصرف‌کنندگان (خانگی، تجاری و صنعتی) در کمیت، کیفیت و فشار مورد نیاز می‌باشد. قابلیت اطمینان شبکه یکی از اصلی‌ترین شاخص‌های موثر در طراحی و مدیریت شبکه‌های آبرسانی، در شرایط بهره‌برداری عادی و یا بحرانی

$$Output = \begin{bmatrix} 65.71 & 141.71 & 217.92 & 293.94 & 370.03 \\ 3.46 & 24.03 & 217.92 & 53.82 & 74.39 \\ 254.51 & 237.44 & 217.92 & 195.09 & 172.25 \\ 543.15 & 362.54 & 217.92 & 181.78 & 136.56 \end{bmatrix} (bar)$$

نتایج شبیه‌های عددی انجام شده با نرم‌افزار ANSYS Fluent به عنوان داده ورودی برای بررسی قابلیت اطمینان شبکه با ترکیب دو روش مونت کارلو و کاهش ابعاد در نظر گرفته شد و احتمال خرابی و شاخص قابلیت اطمینان محاسبه گردید. برای بدست آوردن احتمال خرابی، ۱۰۰۰۰۰۰ نمونه تصادفی توسط روش مونت کارلو تولید و با روش کاهش ابعاد پیش‌بینی شدند.

احتمال خرابی سیستم با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید. در این رابطه تعداد نمونه‌های موجود در ناحیه خرابی و ناحیه سلامت محاسبه می‌شود. در محاسبه احتمال خرابی تابع شرایط حدی باید تعریف شده باشد. تابع شرایط حدی برای خرابی شبکه موردنظر تفاضل مقدار فشار ایجاد شده در شبکه و مقدار فشار قابل تحمل آن تعریف می‌شود. از آنجایی که شبکه حلقوی مورد بررسی، شبکه‌ای شامل چهار لوله بوده و شکست هر کدام از لوله‌ها باعث شکست کل سیستم می‌شود؛ در نتیجه ماکزیمم فشار قابل تحمل در لوله‌ها، به عنوان مقدار فشار قابل تحمل در شبکه تعریف می‌گردد. انتخاب جنس لوله عاملی حیاتی در شبکه‌ها می‌باشد که تحت تأثیر عواملی مانند هزینه، اثرات زیست محیطی و مسائل بهداشتی است [۳۴]. در این شبکه جنس لوله را PVC فرض کرده که مقدار ماکزیمم فشار قابل تحمل برای لوله موجود در بازار ایران، ۱۶ بار می‌باشد. با داشتن حداکثر فشار قابل تحمل، مقدار فشار ایجاد شده در شبکه با آن مقایسه می‌شود. بدین صورت که برای هر نمونه تولید شده، اگر مقدار فشار پیش‌بینی شده کمتر از مقدار فشار قابل تحمل شبکه (۱۶ بار) باشد نمونه در ناحیه سلامت قرار می‌گیرد و برعکس. (رابطه ۶)

$$F = 16 - P_{max} \rightarrow \begin{cases} F > 0 & \text{safe} \\ F < 0 & \text{failure} \end{cases} \quad (6)$$

برای محاسبه شاخص قابلیت اطمینان (β) از رابطه زیر استفاده می‌شود [۲۵].

$$\beta = -\Phi^{-1}(P_f) \quad (7)$$

در جدول ۲ نتایج تحلیل قابلیت اطمینان شبکه مورد نظر، ارائه شده است.

عددی انجام شده با نرم‌افزار ANSYS Fluent به عنوان داده ورودی برای بررسی قابلیت اطمینان شبکه با ترکیب دو روش مونت کارلو و کاهش ابعاد در نظر گرفته شد و احتمال خرابی و شاخص قابلیت اطمینان محاسبه گردید. برای بدست آوردن احتمال خرابی، ۱۰۰۰۰۰۰ نمونه تصادفی توسط روش مونت کارلو تولید و با روش کاهش ابعاد پیش‌بینی شدند.

بررسی نتایج بیانگر آن است که مقدار شاخص قابلیت اطمینان شبکه آبرسانی در شرایط رخ دادن پدیده جدایی ستون آب و احتمال خرابی شبکه به ترتیب برابر با ۱/۴۹۸ و ۰/۲۷۴ می‌باشد. در ادامه با هدف افزایش دقت حل مسئله مقدار خرابی متغیرها به صورت جداگانه محاسبه گردید که مقایسه این احتمال خرابی‌ها نشان داد احتمال خرابی ناشی از زمان بسته شدن شیر بیشترین و احتمال خرابی ناشی از متغیر فاصله از شیر بالادست کمترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند. در نتیجه می‌توان با کنترل زمان بسته شدن شیر در شبکه‌ها احتمال خرابی کل شبکه را تنظیم نموده و از خسارت‌های جانی و مالی شبکه پیشگیری نمود. به عنوان پیشنهادی برای تحقیقات آتی می‌توان بررسی آزمایشگاهی پدیده جدایی ستون آب در شبکه آبرسانی و محاسبه قابلیت اطمینان آن را مطرح شود. همچنین می‌توان ترکیب روش مونت کارلو با روش‌های دیگر پیش‌بینی متغیرهای تصادفی مانند روش شبکه عصبی، روش کریجینگ و روش سطح پاسخ و یا دیگر روش‌های محاسبه قابلیت اطمینان مانند FORM و SORM را برای پدیده مذکور مورد بررسی قرار گیرد.

می‌باشد. رخ دادن جریان گذرا و گاه پدیده جدایی ستون آب یکی از عوامل کاهش قابلیت اطمینان در شبکه‌های توزیع آب می‌باشد که افزایش فشار ناشی از آنها می‌تواند آسیب‌های مالی و جانی به همراه داشته باشد. با توجه به اهمیت موضوع جریان گذرا و پدیده جدایی ستون آب و خسارت‌های ناشی از آنها، پرداختن به قابلیت اطمینان شبکه با در نظر گرفتن این جریان‌ها الزامی است. در این راستا، مقاله حاضر سعی دارد با بکارگیری روش‌های مونت کارلو و کاهش ابعاد، به بررسی قابلیت اطمینان در شبکه آبرسانی حلقوی با در نظر گرفتن شرایط رخ دادن پدیده جدایی ستون آب بپردازد.

در راستای هدف اصلی مقاله به داده‌های اولیه برای روش مونت کارلو نیاز می‌باشد. به علت عدم وجود داده‌های آزمایشگاهی مرتبط با پدیده مذکور، از شبیه‌سازی عددی با نرم‌افزار ANSYS Fluent برای تولید داده‌های اولیه مورد نیاز استفاده گردید. کار تحقیقاتی وانگ و همکاران (۲۰۱۷) با هدف صحت‌سنجی نرم‌افزار انتخاب گردید که در آن یک شبکه حلقوی با روش عددی مورد بررسی قرار گرفته است.

بعد از تأیید کارایی نرم‌افزار معرفی شده برای شبیه‌سازی، برای تولید داده‌های اولیه با صرف کمترین هزینه و زمان، در کنار روش مونت کارلو برای پیش‌بینی از روش کاهش ابعاد، بهره گرفته شد. روش کاهش ابعاد و مونت کارلو برای چهار متغیر تصادفی (سرعت جریان، مقدار فشار ورودی به شبکه (ارتفاع مخزن بالادست)، زمان بسته بودن شیر و فاصله از شیر بالادست) به عنوان متغیرهای موثر در ایجاد ماکزیمم فشار شبکه انجام گردید. نتایج شبیه‌سازی‌های

مراجع

- [1] I. Sarbu. "Optimization of urban water distribution networks using deterministic and heuristic techniques: Comprehensive review." *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice* 12, no. 4 (2021): 03121001.
- [2] Y. Huang, F. Zheng, H.F. Duan, and Q. Zhang. "Multi-objective optimal design of water distribution networks accounting for transient impacts." *Water Resources Management* 34 (2020): 1517-1534.
- [3] A. Gheisi, and Gh. Naser. "Multistate reliability of water-distribution systems: Comparison of surrogate measures." *Journal of Water Resources Planning and Management* 141, no. 10 (2015): 04015018.
- [4] A. Gheisi, M. Forsyth, and Gh. Naser. "Water distribution systems reliability: A review of research literature." *Journal of Water Resources Planning and Management* 142, no. 11 (2016): 04016047.
- [5] M. Tabesh. "Advanced modeling of water distribution networks" 4th edition, University of Tehran, Iran.(2014). (in Persian)
- [6] V.S. Fuertes-Miquel, O.E. Coronado-Hernández, D. Mora-Meliá, and P.L. Iglesias-Rey. "Hydraulic modeling during filling and emptying processes in pressurized pipelines: A literature review." *Urban Water Journal* 16, no. 4 (2019): 299-311.

- [7] H.A. El-Ghandour, S.M. Elabd, and E. Elbeltagi. "Assessment of optimal water distribution systems design under steady-state and transient conditions due to pipe roughness uncertainty." *Ain Shams Engineering Journal* 12, no. 1 (2021): 465-473.
- [8] I. Sârbu, and A. Tokar. "Numerical simulation of unsteady flow in water supply pipe networks." *Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara* 16, no. 3 (2018): 17-26.
- [9] P.F. Boulos, B.W. Karney, D.J. Wood, and S. Lingireddy. "Hydraulic transient guidelines for protecting water distribution systems." *Journal-American Water Works Association* 97, no. 5 (2005): 111-124.
- [10] A. Malekpour. Analysis of rapid pipeline filling including column separation & entrapped air effects. University of Toronto (Canada), 2014.
- [11] A. Bergant, and A.R. Simpson. "Pipeline column separation flow regimes." *Journal of Hydraulic Engineering* 125, no. 8 (1999): 835-848.
- [12] A. Bergant, A.R. Simpson, and A.S. Tijsseling. "Water hammer with column separation: A historical review." *Journal of Fluids and Structures* 22, no. 2 (2006): 135-171.
- [13] S. Taheri, and H.R. Safavi. "presenting a composite index of reliability in order to evaluate the stability of urban water supply networks." *National Congress of Civil Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.* (2014). (in Persian)
- [14] M. Fatuhi, and M. Tabesh. "optimization of energy cost considering the hydraulic reliability and quality of water distribution networks using the ant community algorithm." *Civil Engineering* 27, no. 2 (2016): 126- 111. (in Persian)
- [15] Sh. Bakhtiari, H.R. Safavi, and M.H. Golmohamadi. "Analysis and evaluation of the performance of water distribution networks using performance criteria and deterministic and fuzzy stability index." *Journal of Water and Sewerage Science and Engineering* 1, no.1 (2016): 28-36. (in Persian)
- [16] M.A. Ghaibi, M. Latifi, and T. Nayini. "Review and comparison of the effectiveness of different approaches to adjusting pressure relief valves in improving the reliability of water distribution networks." *Journal of Water and Sewerage Science and Engineering* 2, no. 3 (2016) 13-4. (in Persian)
- [17] A. Shirzad, M. Haydarzadeh, and M.A. Mohammadi. "preparation of hydraulic model and reliability assessment of water distribution networks (case study: Ashnoye city)." *Journal of Water and Wastewater Science and Engineering*, (2020) (in Persian)
- [18] Z. Hassanpour, B. Shahinejad, H. Torabipodeh, and A. Jabari Azadeh. "Optimal design of water distribution networks using the optimization algorithm of Migoha group." *Journal of Civil and Environmental Engineering* 51, no. 4 (2022): 43- 31. (in Persian)
- [19] B.O. Djebedjian. "Reliability-based optimal design of water distribution networks under steady and transient conditions." *Int. Rev. Mech. Eng* 3, no. 4 (2009): 382-395.
- [20] M. Tabesh, J. Soltani, R. Farmani, and D. Savic. "Assessing pipe failure rate and mechanical reliability of water distribution networks using data-driven modeling." *Journal of Hydroinformatics* 11, no. 1 (2009): 1-17.
- [21] O. Giustolisi. "Water distribution network reliability assessment and isolation valve system." *Journal of Water Resources Planning and Management* 146, no. 1 (2020): 04019064.
- [22] M. Rashki. "Presenting a new and effective simulation method for sensitivity analysis and design of SAHs based on reliability." PhD thesis, University of Sistan and Baluchistan, Zahedan.(2013). (in Persian)
- [23] F. Miyaran Naimi. "Optimizing hydraulic structures based on reliability using a new thematic model." Sistan and Baluchistan University PhD thesis, Zahedan. (2018). (in Persian)
- [24] M. Ali Ahmad. "investigating the effect of pozzolan additive on the mechanical properties and durability of rolled concrete (RCC)." Master's thesis, University of Sistan and Baluchistan, Zahedan. (2015). (in Persian).
- [25] M. Ali Ahmad, M. Miri, and M. Rashki. "Investigating the effect of forming materials on the performance of roadway roller concrete using dimensional reduction and Monte Carlo simulation." *Transportation Infrastructure Engineering*.(2016). (in Persian).
- [26] M. AliAhmad, M. Miri, and M. Rashki. "Probabilistic and experimental investigating the effect of pozzolan and Lumachelle fine aggregates on roller compacted concrete properties." *Construction and Building Materials* 151 (2017): 755-766.

- [27] I. Lee, K.K. Choi, L. Du, and D. Gorsich. "Dimension reduction method for reliability-based robust design optimization." *Computers & Structures* 86, no. 13-14 (2008): 1550-1562.
- [28] G. GLee, S. Yook, K. Kang, and D.H. Choi. "Reliability-based design optimization using an enhanced dimension reduction method with variable sampling points." *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing* 13 (2012): 1609-1618.
- [29] H. Wang, L. Zhou, D. Liu, B. Karney, P. Wang, L. Xia, J. Ma, and C. Xu. "CFD approach for column separation in water pipelines." *Journal of Hydraulic Engineering* 142, no. 10 (2016): 04016036.
- [30] S. Yang, D. Wu, Z. Lai, and T. Du. "Three-dimensional computational fluid dynamics simulation of valve-induced water hammer." *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science* 231, no. 12 (2017): 2263-2274.
- [31] X. Zhang, Y. Cheng, Z. Yang, Q. Chen, and D. Liu. "Water column separation in pump-turbine after load rejection: 1D-3D coupled simulation of a model pumped-storage system." *Renewable Energy* 163 (2021): 685-697.
- [32] L. Wang, F. Wang, B. Karney, and A. Malekpour. "Numerical investigation of rapid filling in bypass pipelines." *Journal of Hydraulic Research* 55, no. 5 (2017): 647-656.
- [33] Criteria for the design of urban and rural water transmission and distribution systems, publication number 117-3, first revision. 2013. (in Persian)
- [34] M. Shakhsi-Niaei, and M. Salehi Esfandarani. "Multi-objective deterministic and robust models for selecting optimal pipe materials in water distribution system planning under cost, health, and environmental perspectives." *Journal of Cleaner Production* 207 (2019): 951-960.