

## «یادداشت تحقیقاتی»

# بر آورد عدم قطعیت متغیرهای مؤثر بر شبکه آبرسانی بر اساس فرضیه حداقل سازی نوسانات دبی

فروغ غلامی<sup>1</sup>، حسین محمد ولی سامانی<sup>2\*</sup>، علی حقیقی<sup>3</sup>

1- دانش آموزخته کارشناسی ارشد سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید چمران اهواز

2- استاد گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید چمران اهواز

3- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید چمران اهواز

\* Hossein.samani@gmail.com

**چکیده** - تحلیل و طراحی شبکه‌های آبرسانی، عموماً با در نظر گرفتن پارامترهای ورودی به صورت مقادیر قطعی انجام می‌شود؛ در حالی که پارامترهای ورودی شبکه آبرسانی مقادیری غیرصریح و دارای عدم قطعیت می‌باشند. پارامترهای ورودی مورد مطالعه در این تحقیق، ضرایب زبری لوله‌ها و مصارف گرهی می‌باشند. مقدار ضریب زبری لوله‌ها با افزایش سن شبکه آبرسانی و مقدار مصارف گرهی با تغییر در تراکم جمعیت و الگوی مصرف، تغییر می‌کنند. عدم قطعیت در پارامترهای ورودی می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای نتایج به دست آمده از مدل شبیه‌ساز هیدرولیکی شامل دبی لوله‌ها و فشار در گره‌ها را دستخوش تغییر کند. برای تحلیل عدم قطعیت، در این تحقیق از نظریه مجموعه فازی استفاده شده است. عدم قطعیت در ضریب زبری لوله‌ها و مصارف گرهی به صورت عدد فازی وارد مسأله می‌شود. در این تحقیق، میزان یکنواختی توزیع جریان در لوله‌های شبکه از طریق محاسبه نوسانات جریان با استفاده از مفهوم انحراف معیار دبی‌ها، به عنوان پاسخ مورد ارزیابی در نظر گرفته شده است. برای بررسی عدم قطعیت میزان انحراف معیار دبی‌ها، اعداد فازی ورودی به سطوحی با تابع عضویت مشخص منقطع شده‌اند و در هر سطح دو مسأله بهینه‌سازی برای محاسبه مقادیر حداقل و حداکثر انحراف معیار دبی‌ها انجام شده است.

با مشاهده نتایج می‌توان گفت هر چه عدد فازی متغیر خروجی نسبت به عدم قطعیت پارامترهای ورودی، در محدوده کوچکتری تغییر کند و عدم قطعیت کمتری داشته باشد، آن طرح نسبت به تغییراتی مانند افزایش عمر شبکه یا مصرف، مقاوم‌تر بوده و در نتیجه مناسب‌تر است.

**کلیدواژگان:** شبکه آبرسانی، یکنواخت‌سازی جریان، نوسانات دبی، عدم قطعیت، منطق فازی.

## 1- مقدمه

جریان در لوله‌ها با معیارهای طراحی مقایسه می‌شود. اعتمادپذیری نتایج حاصل از طراحی، به دقت در تعیین پارامترهای ورودی وابسته است. پارامترهای ورودی شبکه آبرسانی شامل ضرایب زبری لوله‌ها و مصارف گرهی به دلیل عدم قطعیت در مدل‌های ریاضی و اندازه‌گیری آن‌ها،

طراحی شبکه آبرسانی با وارد کردن مقادیر پارامترهای ورودی قطعی به مدل شبیه‌ساز هیدرولیکی انجام می‌شود. طراحی به ازای حالت‌های متفاوت پارامترهای ورودی، انجام شده و مقادیر خروجی نظیر فشار در گره‌ها و سرعت

پروفسور لطفی‌زاده در سال 1965، ارائه شد و به یک ابزار مهم در زمینه‌های بررسی عدم قطعیت تبدیل شد (Zadeh, 1965). پژوهشگران زیادی در زمینه‌های مختلف شامل مسائل تصمیم‌گیری (Zimmerman, 1985)، کنترل (Pedrycz, 1989; Sugeno, 1985)، پیش‌بینی (Jang, 1993; Kandel, 1992)، دسته‌بندی (Chiu, 1994) و مسائل تقریبی (Wang, 1992)، از نظریه مجموعه فازی استفاده کرده‌اند.

در سال 2002 برای اولین بار از نظریه مجموعه فازی در تحلیل عدم قطعیت در شبکه‌های آبرسانی استفاده شد. در تحقیق ذکر شده شبیه‌ساز هیدرولیکی با یک روش بهینه‌سازی مرتبط شد و ضریب زبری لوله‌ها و مصارف گرهی به‌عنوان اعداد فازی معرفی شدند. سپس در هر سطح عدم قطعیت، دو بار بهینه‌سازی برای به دست آوردن مقادیر حداقل و حداکثر هر پاسخ اجرا شد. محاسبات تا زمانی که همه دبی لوله‌ها و فشار در گره‌ها در تمامی سطوح عدم قطعیت تحلیل شوند، تکرار می‌شود (Revelli and Ridolfi, 2002). در سال 2012 یک روش فازی برای یافتن عدم قطعیت در مصارف گرهی با استفاده از روش نیوتون-رافسون ارائه شد. در تحقیق ذکر شده نشان داده شد که اگر ضریب زبری لوله‌ها ثابت فرض شود و فرایند بهینه‌سازی برای متغیرهای فازی نیاز نباشد، اصل یکنواختی معادله پیوستگی در گره‌های شبکه برقرار می‌شود (Spiliotis and Tsakiris, 2012). با توجه به آن‌که تحلیل فازی در شبکه آبرسانی یک تصمیم‌گیری چند معیاره با چندین تابع هدف می‌باشد، در یک تحقیق در سال 2014 به‌جای آن‌که برای هر پاسخ در هر سطح عدم قطعیت، دو مسأله بهینه‌سازی برای محاسبه حداقل و حداکثر با در نظر گرفتن بهینه‌سازی تک هدفه انجام شود، از بهینه‌سازی چندهدفه با استفاده از روش بهینه‌سازی NSGA-II استفاده شد (Haghighi and Zahedi, 2014). هدف از این تحقیق، بررسی عدم قطعیت میزان نوسانات جریان توزیع شده در شبکه‌های از پیش طراحی شده، در اثر عدم قطعیت در مقادیر پارامترهای ورودی شبکه از جمله ضرایب زبری لوله‌ها و مصارف گرهی است. منظور از شبکه از پیش طراحی شده، شبکه‌ای است که مقادیر قطر لوله‌ها و ارتفاع مخازن آن با در نظر گرفتن مقادیر قطعی

همچنین عدم قطعیت ذاتی پارامترها، به‌طور طبیعی دارای عدم قطعیت می‌باشند. این عدم قطعیت‌ها به‌مرور زمان و با افزایش سن شبکه آبرسانی، افزایش می‌یابند. با توجه به مشخصات و مدل شبکه آبرسانی، در اثر عدم قطعیت‌های کوچک در پارامترهای ورودی، ممکن است عدم قطعیت‌های بزرگی در پاسخ سیستم (شبیه‌ساز هیدرولیکی)، مشاهده شود.

مصارف گرهی با توجه به آمار رشد جمعیت و الگوی مصرف محاسبه می‌شوند. با گذشت زمان و تغییر در این دو کمیت، مصارف گرهی هم دچار تغییر می‌شوند. ضرایب زبری لوله‌ها با گذشت زمان و در اثر فرسایش و رسوب‌گذاری تدریجی در لوله‌ها دچار تغییر می‌شوند. بنابراین می‌توان گفت در تعیین مصارف گره‌ها و ضرایب زبری لوله‌ها عدم قطعیت وجود دارد. این عدم قطعیت ممکن است تعادل هیدرولیکی سیستم را تغییر دهد. به همین دلیل طراحی شبکه آبرسانی نیازمند توسعه مدل‌های دارای عدم قطعیت می‌باشد.

برای تحلیل عدم قطعیت در پارامترهای ورودی باید به‌وسیله روشی خاص این عدم قطعیت‌ها وارد مدل شبیه‌ساز هیدرولیکی شوند. تأثیر دادن این عدم قطعیت‌ها بر معادلات حاکم بر شبکه آبرسانی و تعیین میزان تغییرات دبی لوله‌ها و فشار گره‌ها در اثر عدم قطعیت‌ها، موضوع تحقیق بسیاری از پژوهشگران بوده است. تا مدت‌های زیادی روش‌های بر مبنای آمار و احتمالات، در این زمینه مقدم بوده‌اند. پرکاربردترین این روش‌ها، استفاده از روش مونت‌کارلو می‌باشد (Aghmiuni, et al. 2013; Bao and Mays, 1990; Revelli and Ridolfi, 2002). برای استفاده از شبیه‌ساز مونت‌کارلو، پاسخ‌های موردنیاز سیستم به تعداد دفعات زیادی محاسبه می‌شوند و در هر مرحله یک مجموعه مقادیر تصادفی برای تابع احتمال در نظر گرفته می‌شود و نهایتاً توزیع احتمال مقادیر خروجی محاسبه می‌شود. بسته به تعداد عدم قطعیت‌ها و نرخ تغییرات، شبیه‌ساز مونت‌کارلو ممکن است میلیون‌ها بار محاسبه را انجام دهد، بنابراین هزینه‌بر و وقت‌گیر می‌باشد.

یک روش متفاوت دیگر برای تحلیل عدم قطعیت، استفاده از نظریه مجموعه فازی است. این نظریه اولین بار توسط

بین مقادیر  $x_a$  و  $x_b$  تغییر کند ( $x_a < x_c < x_b$ ). این مقادیر بر اساس قضاوت مهندسی تعیین می‌شوند. به مقادیر  $x_a$  و  $x_b$  نیز، محدوده تغییرات گفته می‌شود.

برای بررسی تحلیل عدم قطعیت، از روشی به نام  $\alpha$ -cut استفاده می‌شود. در این روش، عدد فازی به سطوحی با تابع عضویت مشخص منقطع می‌شود. تابع عضویت هر سطح، در واقع همان  $\alpha$  آن سطح است ( $\alpha \in \mu$ ).

$$A_\alpha = \{x \in R, \mu_A(x) \leq \alpha\} \quad (2)$$

به هر سطح منقطع شده، یک  $\alpha$ -cut گفته می‌شود. تابع عضویت در عدد فازی مثلثی به صورت رابطه (3) تعیین می‌شود (Zadeh, 1965).

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x \leq x_a \\ \frac{x-x_a}{x_c-x_a} & x_a < x < x_c \\ \frac{x-x_b}{x_c-x_b} & x_c < x < x_b \\ 0 & x \geq x_b \end{cases} \quad (3)$$

هر سطح منقطع شده  $\alpha$  زیر مجموعه‌ای از مجموعه فازی  $A$  تولید می‌کند که مقادیر آن در فاصله  $[x_a^\alpha, x_b^\alpha]$  قرار می‌گیرند. در همه سطوح منقطع شده مقدار  $x_c$ ، مقداری قطعی است.  $\alpha=0$  نشان‌دهنده مقادیر بین  $[x_a, x_b]$  است و  $\alpha=1$  همان مقدار قطعی یا  $x_c$  است. در هر سطح منقطع شده، دو مسأله بهینه‌سازی برای دستیابی به مقادیر حداقل و حداکثر پاسخ‌های مورد نظر، حل می‌شود.

### 3- تحلیل عدم قطعیت در شبکه آبرسانی

برای بررسی عدم قطعیت در پارامترهای ورودی شامل ضرایب زبری و مصارف گرهی، می‌بایست آن‌ها را به صورت عدد فازی نمایش داد. مقادیر قطعی ضرایب زبری و مصارف گرهی به ترتیب با  $C_c$  و  $Q_c$  نشان داده شده است. می‌توان بر اساس قضاوت مهندسی و اطلاعات موجود تعیین کرد که این مقادیر در چه بازه‌ای تغییر می‌کنند  $[Q_a, Q_b], [C_a, C_b]$ . مدل‌های شبیه‌ساز هیدرولیکی مانند ایپانت<sup>1</sup> فقط مقادیر واحد و قطعی را می‌گیرند و پاسخ‌های واحد را محاسبه می‌کنند، بنابراین

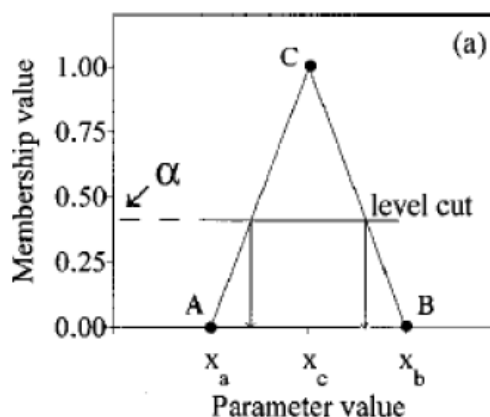
ضرایب زبری لوله‌ها و مصارف گرهی محاسبه شده‌اند. برای بررسی نوسانات جریان توزیع شده در شبکه نیز از مفهوم یکنواخت‌سازی توزیع جریان (محاسبه انحراف معیار دبی‌ها) که اولین بار توسط مارتینز در سال 2007 بیان شده، استفاده شده است (Martinez, 2007).

با توجه به مزایای استفاده از روش فازی نسبت به سایر روش‌های بررسی عدم قطعیت، از جمله عدم نیاز به تکرار زیاد محاسبات، صرفه‌جویی در زمان و هزینه و دقت بالای محاسبات، در این تحقیق، برای بررسی عدم قطعیت‌ها، نظریه مجموعه فازی به کار گرفته شده است.

### 2- معرفی منطق فازی

در نظریه فازی مقادیر غیرصریح به صورت اعداد فازی نشان داده می‌شوند. عدد فازی به دو صورت مثلث و ذوزنقه معرفی می‌شود. در این تحقیق از عدد فازی مثلثی استفاده شده است (شکل 1). عدد فازی  $A$  زیر مجموعه‌ای است از مجموعه اعداد حقیقی ( $A \subset R$ ) و شامل مجموعه‌ای از اعداد حقیقی  $x$  است که هر کدام با یک تابع عضویت به عدد فازی  $A$  تعلق دارند. تابع عضویت با  $\mu_A(x)$  نشان داده می‌شود و بیانگر میزان تعلق هر عضو به مجموعه فازی  $A$  است و مقدار آن بین  $0 < \mu_A(x) < 1$  متغیر است (Zadeh, 1965).

$$A = \{[x, \mu_A(x)], x \in R, \mu_A(x) \in [0, 1]\} \quad (1)$$



شکل 1 معرفی عدد فازی مثلثی (Zimmerman, 1985)

در عدد فازی مثلثی، مقدار قطعی  $x_c$  است که می‌تواند

1. EPANET

مفهوم انحراف معیار استفاده شده است، به صورتی که هر چه میزان انحراف معیار دبی در لوله‌ها کمتر باشد، مقدار نوسانات جریان کمتر شده و در نتیجه توزیع یکنواخت‌تری از جریان در شبکه ایجاد می‌شود (Martinez, 2007). با در نظر گرفتن عدم قطعیت پارامترهای ورودی، پاسخ‌های به‌دست‌آمده از تحلیل شبکه، که در اینجا دبی لوله‌ها مدنظر است، دچار عدم قطعیت شده و نتیجتاً انحراف معیار دبی‌ها هم دچار عدم قطعیت خواهد شد. انحراف معیار دبی لوله‌ها به‌صورت رابطه (7) تعریف می‌شود.

$$R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (\bar{q} - q_i)^2}{m-1}} \quad (7)$$

$m$  تعداد لوله‌های شبکه،  $R$  انحراف معیار دبی لوله‌ها و  $\bar{q}$  میانگین دبی لوله‌ها است. مثلث فازی ضرایب زبری لوله‌ها و مصارف گرهی به‌عنوان ورودی وارد مسأله می‌شود و نهایتاً با ترکیب منطق فازی و روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک، عدد فازی مثلثی انحراف معیار دبی لوله‌ها محاسبه می‌شود. برای به دست آوردن عدد فازی مثلثی انحراف معیار دبی‌ها باید مقادیر حداقل و حداکثر این انحراف معیار در هر سطح منقطع شده  $\alpha$  با بهینه‌سازی تعیین شود. با در نظر گرفتن انحراف معیار به‌عنوان تابع هدف، دو مسأله بهینه‌سازی برای به دست آوردن حداقل و حداکثر آن در هر سطح منقطع شده  $\alpha$  با در نظر گرفتن اعداد فازی ورودی (ضرایب زبری و مصارف گرهی) به عنوان متغیرهای تصمیم‌گیری، حل می‌شود. برای حل بهینه‌سازی از روش الگوریتم ژنتیک پیوسته استفاده شده است. الگوریتم ژنتیک در محیط برنامه‌نویسی مت‌لب<sup>2</sup> کدنویسی می‌شود. انتخاب والدین به روش انتخاب رقابتی<sup>3</sup> و تولیدمثل به روش ترکیبی<sup>4</sup> انجام شده است. همچنین برای نرخ جهش مقادیری بین 0/02 تا 0/06 انتخاب شده است. معیار همگرایی نیز، بررسی مقدار بهینه حاصل برای تابع هدف در دو تکرار متوالی از الگوریتم، از تکرار 3000 به بعد است.

ابتدا در  $\alpha=1$  که مقدار قطعی پارامترهای ورودی را در بردارد، شبکه با ایپانت تحلیل می‌شود و با استفاده از

نمی‌توان به‌طور مستقیم پارامترهای ورودی را به‌صورت فازی وارد ایپانت کرد و پاسخ‌های فازی را تعیین کرد. برای این کار نیاز است که از روش‌های بهینه‌سازی کمک گرفته شود. در این تحقیق برای بهینه‌سازی از روش الگوریتم ژنتیک استفاده شده است.

برای تحلیل هیدرولیکی شبکه آبرسانی دو معادله (4) و (5) باید در سراسر شبکه برقرار باشند:

1- معادله پیوستگی جریان در گره‌ها

$$\sum q_{in} + \sum q_{out} + Q = 0 \quad (4)$$

2- معادله انرژی در حلقه‌ها

$$\sum h_f = 0 \quad (5)$$

$q_{in}$  نشان‌دهنده دبی لوله‌های ورودی به گره و  $q_{out}$  دبی لوله‌های خروجی از گره و همچنین  $Q$  میزان مصرف گره موردنظر است.  $h_f$  افت انرژی برای لوله‌هایی است که در حلقه مورد نظر قرار دارند. برای محاسبه افت انرژی از رابطه هیزن - ویلیامز استفاده می‌شود (Williams and Hazen, 1914).

$$h_f = \frac{10.5 \times q^{1.85} \times L}{C_{HW}^{1.85} \times D^{4.87}} \quad (6)$$

$D$  قطر لوله،  $L$  طول لوله و  $C_{HW}$  ضریب زبری هیزن - ویلیامز برای لوله مورد نظر است.

در بررسی عدم قطعیت به‌جای وارد کردن مقادیر قطعی ضرایب زبری و مصارف، فاصله معینی از تغییرات ممکن مقادیر آن‌ها باید به ایپانت معرفی شود. در این صورت هر پاسخی که از تحلیل شبکه حاصل می‌شود، ترکیبی از متغیرهای فازی ورودی می‌باشد. در ترکیب روش منطق فازی و بهینه‌سازی، هدف به دست آوردن ترکیباتی از متغیرهای ورودی دارای عدم قطعیت (مصارف گرهی و ضرایب زبری)، است که مقادیر حداقل و حداکثر را برای پاسخ‌های خروجی (در این تحقیق، انحراف معیار دبی لوله‌ها)، تولید کنند.

در این تحقیق، هدف بررسی میزان عدم قطعیت یکنواختی توزیع جریان در شبکه با در نظر گرفتن عدم قطعیت در پارامترهای ضریب زبری لوله‌ها و مصارف گرهی شبکه می‌باشد. برای کمتی کردن مقدار یکنواختی توزیع جریان، می‌بایست مقدار نوسانات دبی‌ها در لوله‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد؛ برای محاسبه این نوسانات، از

2. MATLAB

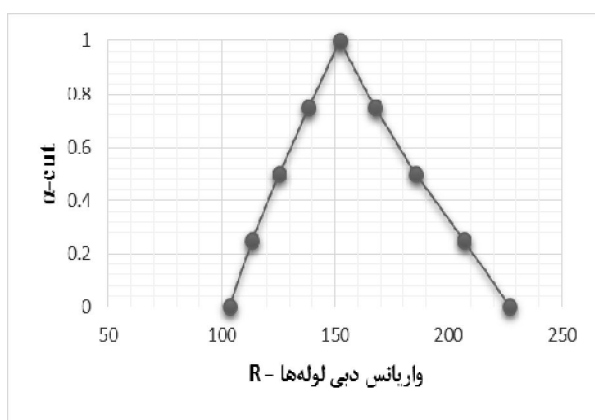
3. Tournament selection

4. Blending method

برای منقطع‌سازی اعداد فازی، 5 سطح (1، 0/75، 0/5، 0/25، 0) در نظر گرفته شده است. با توجه به مثلث فازی نشان داده شده در شکل 3، انحراف معیار محاسبه شده در  $\alpha - cut = 0$  حدود  $+49\%$  و  $-32\%$  عدم قطعیت دارد. مقادیر حداقل و حداکثر انحراف معیار دبی لوله‌های شبکه در هر چهار سطح منقطع شده در جدول 1 نشان داده شده است. مقادیر متغیرهای تصمیم‌گیری که به ازای آن‌ها حداقل و حداکثر انحراف معیار در  $\alpha - cut = 0$  به دست آمده است در جدول 2 ارائه شده‌اند.

گسترده بودن انحراف دبی در لوله‌ها نشان می‌دهد که در این شبکه میزان نوسانات توزیع جریان زیاد است. این موضوع چند علت می‌تواند داشته باشد که از جمله آن، محدود بودن تغذیه شبکه به یک مخزن و دیگری طراحی نامتناسب قطرها در شبکه می‌باشد. با توجه به شکل 2، ملاحظه می‌شود که لوله وصل‌کننده مخزن به گره 4 که دارای مصرف بالاتری است (250 لیتر بر ثانیه)، نسبت به گره 2 با مصرف 150 لیتر بر ثانیه با قطر کمتر طراحی شده است (قطر برابر با 0/35 متر) درحالی‌که لوله وصل‌کننده مخزن به گره 2 که مصرف کمتری دارد دارای قطر بیشتری است (0/5 متر).

**4-2- مثال 2:** با توجه به شکل 4، شبکه آبرسانی دارای دو مخزن با ارتفاعات 100 و 95 متر است. این شبکه دارای 26 گره، 34 لوله و 9 حلقه می‌باشد. ضرایب زبری قطعی تمامی لوله‌ها برابر 130 می‌باشد. اطلاعات ورودی شبکه در جدول 3 مشخص شده است.



شکل 3 مثلث فازی انحراف معیار دبی لوله‌ها در مثال اول

دبی‌های حاصل که مقادیر قطعی هستند، انحراف معیار محاسبه می‌شود. در این قسمت چون مقادیر قطعی هستند، مسأله بهینه‌سازی مطرح نمی‌شود، ولی در سطوح منقطع شده دیگر اعداد فازی ورودی منقطع شده و به‌عنوان متغیرهای تصمیم‌گیری وارد مسأله بهینه‌سازی می‌شوند و با استفاده از ایپانت به ازای متغیرهای تصمیم‌گیری، شبکه تحلیل می‌شود، تا زمانی که مقادیر حداقل و حداکثر انحراف معیار به ازای ترکیب خاصی از پارامترهای ورودی حاصل شود. در هر سطح منقطع شده  $\alpha$  روابط زیر برقرار است:

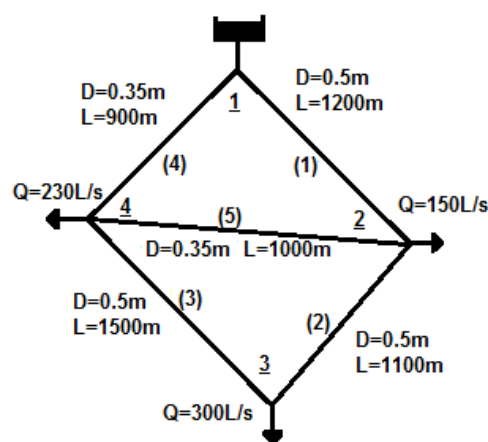
$$C_a^\alpha \leq C \leq C_b^\alpha, \quad Q_a^\alpha \leq Q \leq Q_b^\alpha \quad (8)$$

با تحلیل شبکه آبرسانی در هر سطح منقطع شده، مقدار انحراف معیار دبی لوله‌ها، در محدوده رابطه (9) تغییر می‌کند.

$$R_a^\alpha \leq R \leq R_b^\alpha \quad (9)$$

#### 4- بررسی شبکه‌های مورد مطالعه

**4-1- مثال اول:** با توجه به شکل 2، شبکه دارای 2 حلقه، 5 لوله، 4 گره و 1 مخزن است. هد مخزن 100 متر و بقیه گره‌ها در سطح‌مبنا هستند. مقدار قطعی ضریب زبری هیزن - ویلیامز برای تمامی لوله‌ها به طور یکسان برابر با 60 است. با در نظر گرفتن  $\pm 20\%$  عدم قطعیت برای تمامی مصارف گره‌ها و ضرایب زبری لوله‌ها در  $\alpha - cut = 0$ ، میزان عدم قطعیت انحراف معیار دبی لوله‌های شبکه محاسبه می‌شود.



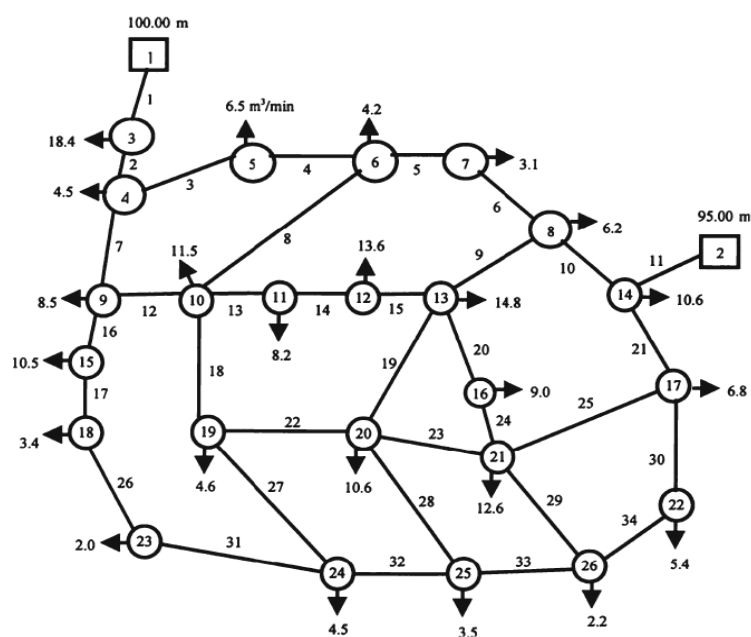
شکل 2 شبکه آبرسانی مثال اول (Revelli and Ridolfi, 2002)

جدول 1 مقادیر حداقل و حداکثر انحراف معیار دبی لوله‌های شبکه در مثال 1

$\alpha$ -cut	Rmin	Rmax
(سطوح منقطع شده)	(حداقل انحراف معیار دبی‌ها)	(حداکثر انحراف معیار دبی‌ها)
1	152/3	152/3
0/75	138/28	167/6
0/25	113/21	207/06
0	103/42	227/08

جدول 2 مقادیر ضرایب زبری و مصارف گرهی محاسبه شده برای یافتن حداقل و حداکثر انحراف معیار در  $\alpha$ -cut = 0

شماره لوله	C-Rmin	C-Rmax	شماره گره	Q-Rmin (L/s)	Q-Rmax (L/s)
1	48/462	71/991	2	121/26	178/82
2	49/25	71/669	3	241/16	358/4
3	71/268	48/623	4	184/87	274/08
4	71/97	48/29			
5	70/437	48/417			



شکل 4 شبکه آبرسانی مثال دوم (Haghighi et al. , 2011)

مقادیر ورودی، مقدار خروجی (انحراف معیار دبی‌ها) تغییر چندانی نداشته و تقریباً به همان اندازه  $\pm 20\%$  عدم قطعیت دارد و این مسئله به دلیل وجود دو مخزن در این شبکه می‌باشد. زیرا وجود دو مخزن، باعث تعادل بیشتری در شبکه می‌شود. مقادیر حداقل و حداکثر انحراف معیار دبی لوله‌های شبکه در هر سطح منقطع شده در جدول 4 نشان داده شده است.

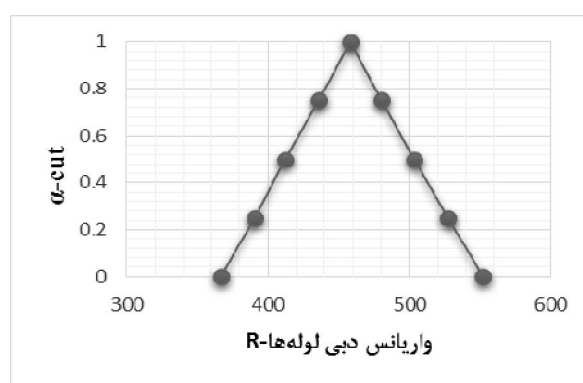
میزان  $\pm 20\%$  عدم قطعیت برای مصارف گره‌ها و ضرایب زبری لوله‌ها در  $\alpha$ -cut = 0 در نظر گرفته شده است. در 5 سطح ( $\alpha = 0, 0/25, 0/5, 0/75, 1$ ) مقادیر حداقل و حداکثر انحراف معیار دبی لوله‌های شبکه با بهینه‌سازی به روش الگوریتم ژنتیک محاسبه شده است. با توجه به شکل 5، انحراف معیار محاسبه شده در  $\alpha$ -cut = 0 حدود  $-20/1$  و  $+20/05$  عدم قطعیت دارد. در اثر در نظر گرفتن  $\pm 20\%$  عدم قطعیت برای

جدول 3 مشخصات شبکه آبرسانی مثال 2 (Haghighi et al., 2011)

شماره لوله	طول لوله (m)	قطر لوله (mm)	شماره گره	ارتفاع گره (m)	مصرف گره (L/s)
1	300	1000	3	85	306
2	820	900	4	85	75
3	940	400	5	85	108
4	730	350	6	85	70
5	1620	150	7	82	52
6	600	250	8	82	103
7	800	800	9	85	142
8	1400	150	10	85	192
9	1175	400	11	85	136
10	750	500	12	85	226
11	210	1000	13	82	246
12	700	700	14	82	176
14	500	400	16	82	150
15	1960	150	17	82	113
16	900	500	18	85	56
17	850	350	19	82	76
18	650	350	20	82	176
19	760	150	21	82	210
20	1100	150	22	80	90
21	660	700	23	82	33
22	1170	150	24	80	75
23	980	450	25	80	58
24	670	400	26	80	36
25	1080	700	-	-	-
26	750	250	-	-	-
28	650	200	-	-	-
30	730	300	-	-	-
31	1170	200	-	-	-
32	1650	150	-	-	-
33	1320	200	-	-	-
34	3250	150	-	-	-

جدول 4 مقادیر حداقل و حداکثر انحراف معیار دبی لوله‌های شبکه در مثال 2

$\alpha$ -cut	Rmin	Rmax
1	458	458
0/75	435/73	480/12
0/5	412/22	503/68
0/25	390/82	526/88
0	366/9	551/96



شکل 5 مثلث فازی انحراف معیار دبی لوله‌ها در مثال دوم

$D$	قطر لوله	در مورد مثال دوم، علاوه برداشتن دو مخزن، طراحی مناسب شبکه از نظر قطر لوله‌ها، بهینه‌تر است. هرچه اختلاف قطر لوله‌های هم‌رتبه (نسبت به مخزن لوله‌های مستقیماً متصل به مخزن دارای رتبه 1 و بعد از آن‌ها 2 و ... ) کمتر باشد، مثلث فازی به دست‌آمده جمع‌تر خواهد بود و در نتیجه معیار یکنواختی توزیع جریان دارای مقدار بالاتری خواهد بود. با توجه به مثلث فازی به دست‌آمده برای انحراف معیار در دو مثال بررسی شده، انحراف معیار دبی لوله‌ها در مثال دوم کمتر دچار تغییر شده در نتیجه می‌توان گفت نسبت به عدم قطعیت مصارف گرهی و ضریب زبری لوله‌ها مقاوم‌تر است.
$h_f$	افت انرژی در حلقه‌ها	
$L$	طول لوله	
$m$	تعداد لوله‌های شبکه	
$Q_c$	مقدار قطعی مصرف گرهی	
$Q_a, Q_b$	محدوده تغییرات مصرف گرهی در عدد فازی	
$q$	دبی جریان لوله‌ها	
$\bar{q}$	میانگین دبی لوله‌ها	
$R$	انحراف معیار دبی لوله‌ها	
$x_c$	مقدار قطعی عدد فازی	
$x_a, x_b$	محدوده تغییرات عدد فازی	
$\alpha$	سطوح منقطع شده عدد فازی	
$\mu$	تابع عضویت عدد فازی	

## 5- نتیجه‌گیری

این تحقیق تأثیر عدم قطعیت در پارامترهای ورودی (ضرایب زبری لوله‌ها و مصارف گرهی)، بر میزان یکنواختی توزیع جریان در شبکه (میزان انحراف معیار دبی‌ها)، را مورد بررسی قرار می‌دهد. تحلیل عدم قطعیت با استفاده از ترکیبی از الگوریتم ژنتیک و منطق فازی بررسی شده است. هر چه مثلث فازی محاسبه شده برای انحراف معیار دبی لوله‌ها، جمع‌تر باشد، نشان‌دهنده آن است که مقدار انحراف معیار دبی‌ها نسبت به عدم قطعیت در مقادیر مصارف گرهی و ضرایب زبری مقاوم‌تر است و کمتر دچار تغییر می‌شود و در واقع توزیع جریان یکنواخت‌تر است. در طراحی شبکه آبرسانی، می‌توان عدم قطعیت در مصارف گرهی و ضرایب زبری لوله‌ها را مورد بررسی قرار داد. در این صورت طراحی مناسب‌تر است که مثلث فازی مقادیر خروجی آن (دبی در لوله‌ها و فشار در گره‌ها)، جمع‌تر باشد، در واقع میزان دبی لوله‌ها و فشار در گره‌های شبکه نسبت به عدم قطعیت در مقادیر ضرایب زبری و مصارف گرهی، مقاوم‌تر باشد.

## 6- فهرست علائم

$A$	عدد فازی
$C_c$	مقدار قطعی ضریب زبری
$C_a, C_b$	محدوده تغییرات ضریب زبری در عدد فازی
$C_{HW}$	ضریب زبری هیزن - ویلیامز

## 7- منابع

- Aghmiuni, S.S., Haddad, O.B., Omid, M.H. and Mariño, M.A., (2013). "Effects of pipe roughness uncertainty on water distribution network performance during its operational period", *J. Water Resour Manage.*, 27(15), pp. 1581-1599.
- Bao, Y. and Mays, L., (1990). "Model for water distribution system reliability", *J. Hydraulic Eng.*, 116(9), pp. 1119-1137.
- Chiu, S., (1994). "Fuzzy model identification based on cluster estimation", *J. Intell. Fuzzy Syst.*, 2(3), pp. 747-753.
- Haghighi, A., M.V.Samani, H. and M.V.Samani, Z., (2011). "GA-ILP method for optimization of water distribution networks", *Water Resour. Manage.*, 25(7), pp. 1791-1808.
- Haghighi, A. and Zahedi Asl, A., (2014). "Uncertainty analysis of water supply networks using the fuzzy set theory and NSGA-II", *Eng. Appl. Artif. Intel.*, 32, pp. 270-282.
- Jang, J.R., (1993). "ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference system", *IEEE Trans. Syst. Man. Cybern.*, 23(3), pp. 665-685.
- Kandel, A., (1992). *Fuzzy expert system*, CRC, Boca Ratan, FL.
- Martinez, H.B., (2007). "Quantifying the economy of water supply looped networks", *J. Hydraulic Eng.*, 133(1), pp. 88-97.



Sugeno, M., (1985), *Industrial applications of fuzzy control*, Elsevier, New York.

Wang, L.X., (1992), "Fuzzy system are universal approximators", Proc. ,IEEE Int. Conf. on Fuzzy Systems, San Diego.

Zadeh, L.A., (1965). "FuzzySets", Inf. Control 8(3), pp. 338–353.

Zimmerman, H.J., (1985). *Fuzzy set theory and its application*, Martinus Nijhoff Boston.

Pedrycz, W., (1989). *Fuzzy control and fuzzy systems*, Wiley, New York.

Revelli, R. and Ridolfi, L., (2002). "Fuzzy approach for analysis of pipe networks"., J. Hydraulic Eng., 128(1), pp. 93-101.

Spiliotis, M., and Tsakiris, G., (2012)., "Water distribution network analysis under fuzzy demand", Civil Eng. Environ. Syst., 29(2), pp. 107–122.