

اثر طرح پیکربندی شبکه توزیع آب بر روی میزان عدم قطعیت پاسخ‌های شبکه و قابلیت اطمینان شبکه

عبدالحسین بغلانی^۱، بهزاد بیشه^{۲*}

۱- عبدالحسین بغلانی، دانشگاه صنعتی شیراز، دانشکده عمران و محیط زیست، baghlani@sutech.ac.ir

۲- بهزاد بیشه^{*}، دانشگاه صنعتی شیراز، دانشکده عمران و محیط زیست، behzadbisheh@gmail.com

چکیده

این تحقیق تاثیر طرح پیکربندی شبکه توزیع آب بر روی میزان عدم قطعیت پاسخ‌ها و قابلیت اطمینان شبکه را با استفاده از تجزیه و تحلیل فازی عدم قطعیت، نشان داده است. مجموعه‌ای از طرح‌های پیکربندی متفاوت شبکه و میزان عدم قطعیت یکسان برای متغیرهای ورودی همه طرح‌ها انتخاب شده است. اثر عدم قطعیت ورودی‌های شبکه به‌روی پاسخ‌های شبکه، برای همه‌ی طرح‌ها محاسبه شده است. سپس، میزان قابلیت اطمینان طرح‌های مختلف پیکربندی شبکه با توجه به میزان عدم قطعیت پاسخ‌های هر طرح با یکدیگر مقایسه شده است. تجزیه و تحلیل فازی پاسخ‌ها با استفاده از روش فازی قله و به‌کارگیری NSGA-II به روی یک مثال و روی مجموعه طرح‌های پیکربندی مختلف شبکه انجام شده است. نتیجه این تحقیق نشان می‌دهد که تغییر در طرح پیکربندی شبکه توزیع آب تاثیر زیادی بر میزان عدم قطعیت پاسخ‌ها و قابلیت اطمینان شبکه داشته است. جایگذاری بیشتر لوله‌ها و اتصال بیشتر نقطه‌های درخواست به‌وسیله‌ی لوله‌های بیشتر، تأثیری در بهبود قابلیت اطمینان شبکه نداشته است.

واژه‌های کلیدی: تجزیه و تحلیل فازی، شبکه توزیع آب، طرح پیکربندی شبکه، عدم قطعیت، قابلیت اطمینان

۱- مقدمه

یک شبکه توزیع آب برای طراحی، ارزیابی شرایط، پیمایش^۱ یا گسترش دادن نیاز به تجزیه و تحلیل پاسخ‌های شبکه دارد. فشار آب در نقطه‌های درخواست و سرعت آب در لوله‌ها، پاسخ‌های مورد نیاز در شبکه‌های توزیع آب هستند. قابلیت اطمینان پاسخ‌ها شبکه برای هر تصمیمی که جهت طراحی، پیمایش، توسعه و توان‌بخشی شبکه گرفته می‌شود بسیار مهم است. عدم برآورد دقیق از قابلیت اطمینان یک شبکه توزیع آب می‌تواند منجر به اختلال در پاسخ‌ها، ناکارآمد شدن شبکه، صرف هزینه اضافه برای بازسازی، ترمیم و نگهداری و نارضایتی کاربران شود. عدم قطعیت پاسخ‌ها شبکه در تجزیه و تحلیل شبکه‌های توزیع آب به‌طور عمده از عدم قطعیت در متغیرهای ورودی ضریب‌زبری لوله‌ها و درخواست آب نقطه‌ها^۲ حاصل می‌شود. یک شبکه‌ی توزیع آب در غیاب عدم قطعیت متغیرهای ورودی، می‌تواند با چندین طرح پیکربندی^۳ متفاوت، با توجه به معیارهای طراحی، عملکرد یکسانی را داشته باشد، اما طرح پیکربندی یک شبکه توزیع آب زمانی که متغیرهای ورودی شبکه دارای عدم قطعیت باشند؛ خود می‌تواند یک متغیر اثر گذار بر گسترش و میزان عدم قطعیت در پاسخ‌های شبکه باشد و قابلیت اطمینان شبکه را تحت تأثیر قرار دهد. از این جهت بررسی این موضوع از اهمیت بالایی برخوردار است. بنابراین با در نظر گرفتن عدم قطعیت ثابت برای متغیرهای ورودی، و محاسبه مقدار عدم قطعیت متغیرهای خروجی، به ازای طرح‌های مختلف پیکربندی شبکه برای یک شبکه توزیع آب می‌توان به تأثیر طرح پیکربندی شبکه بر میزان قابلیت اطمینان پاسخ‌ها، و به پیروی از آن بر قابلیت اطمینان طراحی پی‌برد. تاثیر طرح پیکربندی یک شبکه توزیع آب بر میزان قابلیت اطمینان شبکه موضوعی است که در سال‌های اخیر در پژوهش‌ها به آن توجه شده است.

Gheisi et al در سال ۲۰۱۵ یک روش ساده بر اساس تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چند معیار برای رتبه‌بندی یک مجموعه از شبکه‌های توزیع آب با طرح‌های پیکربندی متفاوت بر اساس سطح انعطاف‌پذیری آن‌ها تحت عدم قطعیت‌های مکانیکی و هیدرولیکی آینده معرفی کردند که یکی از معیارهای رتبه‌بندی عدم قطعیت پاسخ‌های شبکه بوده است. معیار در نظر گرفته شده برای محاسبه عدم قطعیت در آن روش رابطه‌ی تجربی و بسیار ساده بوده همچنین از دقتی کمی برخوردار بوده است.

Gupta & Rathi در سال ۲۰۱۷ یک روش ابتکاری بر اساس یکنواختی جریان در شبکه توزیع آب برای انتخاب پیکربندی بهینه شبکه بر اساس عدم قطعیت معرفی و استفاده کرده‌اند. یکنواختی جریان از طریق واریانس سری جریان‌ها ارزیابی شده است. روش پیشنهاد شده برای حل یک مسئله‌ی ساده و یک مسئله‌ی مشکل استفاده شده و قابلیت اطمینان طرح‌های پیکربندی مختلف شبکه مقایسه شده است. روش استفاده شده اطلاعات دقیقی از عدم قطعیت پاسخ‌ها در طرح‌های مختلف پیکربندی در اختیار نگذاشته است و تعداد طرح‌های مختلف شبکه محدود و اندازه آنها کوچک بوده است.

Zarghami et al در سال ۲۰۱۸ یک روش دو-رویکرده برای ارزیابی افزونگی لوله‌ها در رتبه‌بندی طرح پیکربندی شبکه‌های توزیع آب معرفی کرده‌اند. رویکرد اول با تکیه بر روش درخت کاسپین یک روش ابتکاری برای افزونگی محلی لوله‌ها پیشنهاد داده است. رویکرد دوم از نتیجه‌های رویکرد اول استفاده کرده و نظریه آنتروپی اطلاعاتی را به عنوان یک ابزار برای محاسبه‌ی افزونگی جهانی به کار گرفته است. روش پیشنهاد شده به روی یک شبکه توزیع آب فرضی و یک شبکه‌ی واقعی اعمال شده است. روش استفاده شده در آن مطالعه ساده بوده و اطلاعات دقیقی از عدم قطعیت پاسخ‌ها در اختیار نگذاشته است. تعداد طرح‌های پیکربندی بررسی شده محدود و کم بوده، همچنین شبکه بررسی شده بسیار کوچک بوده است.

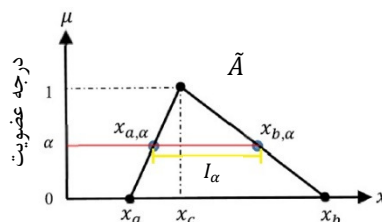
در این مطالعه یک مجموعه از شبکه‌های توزیع آب با طرح‌های پیکربندی متفاوت و میزان عدم قطعیت یکسان برای متغیرهای ورودی شبکه انتخاب شده است و برای هر طرح اثر عدم قطعیت متغیرهای ورودی شبکه، شامل ضریب زبری لوله‌ها و درخواست آب نقطه‌ها، به روی پاسخ‌ها شبکه، شامل سرعت آب در لوله‌ها و فشار آب در نقطه‌های درخواست، به وسیله‌ی تجزیه و تحلیل فازی محاسبه شده است. عدم قطعیت‌ها در این پژوهش به وسیله عددهای فازی با تابع عضویت‌های مثلثی مشخص شده و به معادله‌های حاکم بر جریان معرفی شده است. روش فازی قله^۴ برای تجزیه و تحلیل متغیرهای فازی معرفی شده به معادله‌های حاکم بر جریان تحت فشار در لوله‌ها استفاده شده است. به کارگیری روش قله باعث ایجاد بینهایت ترکیب محتمل از متغیرهای ورودی، برای به دست آوردن پاسخ‌های فازی شده است. شبکه توزیع آب دارای چندین متغیر خروجی بوده و هدف روش قله پیدا کردن بیشینه و کمینه‌ی پاسخ‌ها در ازای همه‌ی ترکیب‌های محتمل متغیرهای ورودی بوده است. بنا براین؛ یک مسئله بهینه‌سازی چندهدفه برای تجزیه و تحلیل هیدرولیکی فازی پاسخ‌های دارای عدم قطعیت ساخته شده است. روش NSGA-II اصلاح شده برای حل مسئله بهینه سازی چندهدفه به وجود آمده پیشنهاد شده است. روش تجزیه و تحلیل فازی با استفاده از روش قله و به کارگیری NSGA-II اصلاح شده^۵ ابتدا برای صحت سنجی به روی یک شبکه فرضی ساده اعمال شده است و سپس برای بررسی اثر طرح پیکربندی شبکه بر عدم قطعیت پاسخ‌ها، به روی مجموعه شبکه‌های توزیع آب مورد نظر در این پژوهش اعمال شده است.

۲- مواد و روشها

عدم قطعیت موجود در متغیرهای یک شبکه توزیع آب در این پژوهش به وسیله نظریه مجموعه فازی معرفی شده و روشهای فازی برای محاسبه میزان عدم قطعیت متغیرها استفاده شده است. روشها، قانونهای و رابطههای این نظریه که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته در این فصل شرح داده شده است.

۱-۲ تعریف عدد فازی

پارامترهای مبهم و دارای عدم قطعیت در نظریه مجموعه فازی به وسیله عدد های فازی تعریف شده است. یک عدد فازی N ، در واقع، مجموعه ای از عدد های حقیقی بوده به طوری که $N \subset R$. برای یک عدد فازی مانند N ، یک تابع عضویت پیوسته $\mu_N(x) \in [0, 1]$ وجود داشته؛ که درجهی تعلق متغیر x را به عدد فازی N توصیف کرده است. $\mu_N(x) = 0$ به این معنی است که درجه تعلق x به عدد فازی N برابر با صفر بوده و عدد فازی N در مجموعه فازی شامل عدد حقیقی x نمی شده است و $\mu_N(x) = 1$ به این معنی بوده که درجه عضویت x در عدد فازی N برابر یک بوده و عدد فازی N در مجموعه فازی به طور کامل شامل عدد حقیقی x شده است. در صورتی که $0 < \mu_N(x) < 1$ آنگاه x یک عدد بوده که تا حدودی به N تعلق داشته است و درجه عضویت آن $\mu_N(x)$ بوده است. شکل ۱-۲، یک عدد فازی مثلثی نرمال را نشان داده است که توسط سه مقدار ویژه شامل x_a ، x_c و x_b تعریف شده است به طوری که $x_a < x_c < x_b$. همان طوری که در شکل ۱-۲ نشان داده شده، درجه عضویت μ در x_a و x_b صفر بوده در حالی که در x_c برابر با یک بوده است. x_c محتمل ترین مقدار N بوده و بازه ی $[x_a, x_b]$ جای که درجهی عضویت در نقاط حداقل و حداکثر آن صفر بوده بازه پشتیبان عدد فازی N نامیده شده است.



شکل ۱-۲- یک عدد فازی نرمال مثلثی

ضریب زبری لولهها \bar{c} و همچنین درخواست آب در نقطهها \bar{q} در این مطالعه شامل عدم قطعیت بوده و برای تجزیه و تحلیل عدم قطعیت در شبکه لولهها در شبیه سازیهای مسئله به صورت عددهای فازی مثلثی متقارن در نظر گرفته شده است. علامت "-" برای تاکید بر این بوده که متغیر دارای عدم قطعیت بوده است و توسط عدد فازی ارائه شده است. بازه هر متغیر ورودی در این تحقیق بر اساس دانستهها از دقت این متغیرها و قضاوت مهندسی تعریف شده است و مقدار بیشترین درجه عضویت برای مرکز بازه در نظر گرفته شده است.

۲-۲ مفهوم برش آلفا

یکی از روش های متداول برای گسسته کردن عددهای فازی استفاده از مفهوم فازی برش-آلفا و گسسته کردن یک عدد فازی به چند عدد زیرفازی با چندین برش-آلفا به روی مجموعه فازی آن عدد فازی است. مجموعه عضوهای از مجموعه X مرجع که درجه عضویت آنها در زیر مجموعه فازی \tilde{A} حداقل به بزرگی α باشد؛ با شرط $(0 \leq \alpha \leq 1)$ برش-آلفا A نامیده و با α_A نشان داده می شود. برش-آلفا به صورت ریاضی با رابطه ی ۲-۱ تعریف می شود:

$$\alpha_A = \{x \in X \mid \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha\} \quad (2-1)$$

یک برش-آلفا بر روی یک عدد فازی مانند N یک عدد زیرفازی با بازه ی پشتیبان $I_{\alpha} = [x_{a,\alpha}, x_{b,\alpha}]$ و بیشترین مقدار محتمل برابر با همان x_c می سازد. (شکل ۲-۱)

۳-۲ روش فازی قله

روش فازی قله، زمانی که متغیرهای ورودی برای معرفی عدم قطعیت به صورت عددهای فازی معرفی شده است؛ یکی از روش های مفید برای تجزیه و تحلیل فازی یک سیستم مهندسی و محاسبه عدد فازی متغیرهای خروجی یک سیستم بوده است. این روش بر اساس ترکیب مفهوم برش-آلفا و تجزیه و تحلیل استاندارد بازه عمل کرده است. نحوه ی عملکرد این روش به این صورت می باشد:

یک تابع با ورودی و خروجی یک متغیر به صورت $y = f(x)$ برای مجموعه های فازی، $\tilde{B} = f(\tilde{A})$ این گونه تعمیم می یابد که اگر مجموعه یا عدد فازی \tilde{A} را به چند سری از بازه های برش-آلفا تجزیه کنیم I_{α} زمانی که تابع $f(x)$ بر روی بازه ی $I_{\alpha} = [x_{a,\alpha}, x_{b,\alpha}]$ (نشان داده شده در شکل ۲-۱) پیوسته و یکنواخت باشد برای هر مقدار به خصوص α بازه پشتیبان B_{α} از رابطه ی ۲-۲ به دست می آید.

$$B_{\alpha} = f(I_{\alpha}) = [\min(f(a), f(b)), \max(f(a), f(b))] \quad (2-2)$$

فضای ورودی زمانی که یک تابع با n تعداد متغیر ورودی $y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ وجود داشته باشد، به وسیله ی یک فضای n بعدی کارتزینی معرفی می شود. متغیرهای ورودی برای هر برش-آلفا مانند حالت تک متغیر هر یک به وسیله ی یک بازه $I_{i\alpha} = [a_i, b_i]$ تعریف می شود. در حالی که $i = 1, 2, 3, \dots, n$ دو نقطه پایانی از هر یک از این بازه ها در فضای n بعدی کارتزینی در کنج های این فضا پخش می شوند. مختصات این کنج ها مقادیرهای ورودی تابع در روش قله خواهد بود، که تعداد آنها برابر با $N = 2^n$ خواهد بود. به عبارت دیگر در هر برش-آلفا متغیر x_i می تواند یکی از مقادیرهای کران بالا یا پایین بازه ی پشتیبان b_i و a_i را اختیار کند، و به این ترتیب N تعداد ترکیب برای متغیرهای ورودی فازی وجود دارد که با C_j نشان داده می شود در حالی که $j = 1, 2, 3, \dots, N$. بازه ی پشتیبان مقدار خروجی تابع یا همان B_{α} در این حالت به شرط این که $f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ در فضای کارتزینی n بعدی پیوسته و هیچ نقطه شدیدی در این فضا (یا روی مرزها) وجود نداشته باشد با رابطه ی ۲-۳ تعریف می شود.

$$B_{\alpha} = f(I_{1\alpha}, I_{2\alpha}, I_{3\alpha}, \dots, I_{n\alpha}) = [\min(f(C_j)), \max(f(C_j))] \quad (2-3)$$

۲-۲ روش تجزیه و تحلیل فازی

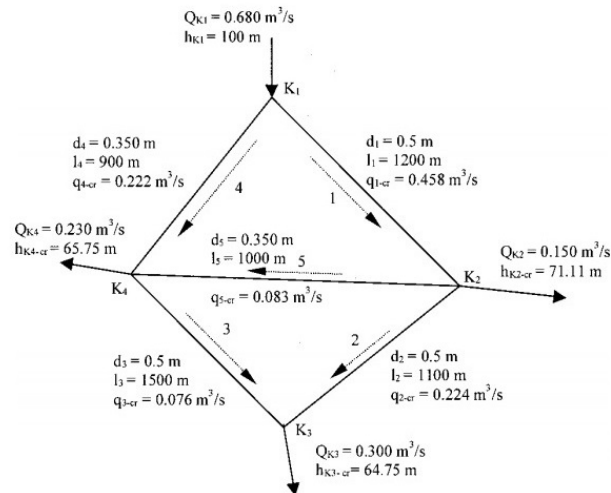
معادله‌های حاکم بر جریان تحت فشار در لوله‌ها و حل‌کننده این معادلات نرم‌افزار EPANET فقط مقدارهای به خصوصی را برای متغیرهای ورودی مانند ضریب زبری c و فشار در نقطه‌ها q می‌پذیرفته است. زمانی که این متغیرها شامل عدم قطعیت بوده است و به وسیله‌ی اعداد فازی \tilde{c} و \tilde{q} معرفی شده است؛ مجهول‌های سیستم به صورت عدد‌های فازی فشار \tilde{p} و سرعت \tilde{v} با استفاده از روش فازی قله بدست آمده است. روش بهینه‌سازی NSGA-II اصلاح‌شده برای بهینه‌سازی مسئله‌ی به وجود آمده در روش قله استفاده شده است. معادله‌های حاکم بر جریان در هر مرحله از مرحله‌های تکرار شونده الگوریتم ژنتیک به وسیله‌ی شبیه‌ساز هیدرولیکی EPANET حل شده است. مرحله‌های کامل تجزیه و تحلیل فازی در ادامه به ترتیب آورده شده است.

۱- شرایط اولیه‌ی شبکه یا به عبارتی همان پارامترهای ثابت شبکه توزیع آب برای شبیه‌ساز هیدرولیکی جریان EPANET تعریف شده است. ۲- پارامترهای مانند درخواست آب نقطه‌ها و ضریب زبری لوله‌ها که دارای عدم قطعیت ذاتی هستند، با عدد‌های فازی مشخص شده و به‌عنوان متغیرهای ورودی شبکه در نظر گرفته شده است. ۳- عدد‌های فازی همه متغیرها ورودی به چندین سطح از برش-آلفا گسسته شده است. ۴- روش فازی قله برای محاسبه عدد‌های فازی متغیرهای خروجی (فشار در نقطه‌های درخواست و سرعت در لوله‌ها) به کار گرفته شده است. ۵- عدد فازی هر متغیر ورودی در هر سطح از برش-آلفا یک بازه پشتیبان داشته $[\tilde{q}_{b,\alpha}, \tilde{q}_{a,\alpha}]$ یا $[\tilde{c}_{b,\alpha}, \tilde{c}_{a,\alpha}]$ که دارای یک عدد قطعی برای کران بالا $\tilde{q}_{b,\alpha}$ یا $\tilde{c}_{b,\alpha}$ و یک عدد قطعی برای کران پایین $\tilde{q}_{a,\alpha}$ یا $\tilde{c}_{a,\alpha}$ بوده است. هر یک از این عدد‌های قطعی در روش قله می‌توانسته به‌عنوان مقدار قطعی آن متغیر در هر سطح از برش-آلفا انتخاب شده باشد. بنابراین اگر شبکه دارای n متغیر ورودی بوده باشد $N = 2^n$ ترکیب محتمل از این عدد‌های قطعی برای متغیرهای ورودی در روش قله وجود داشته است. بنابراین با توجه به این که شبکه دارای چند متغیر خروجی بوده است، این مسئله به‌عنوان یک مسئله بهینه‌سازی چند هدفه با روش NSGA-II اصلاح‌شده حل شده است. ۶- مقدار کران بالا و پایین بازه پشتیبان همه‌ی متغیرهای خروجی برای هر سطح از برش-آلفا به وسیله NSGA-II اصلاح‌شده و شبیه‌ساز هیدرولیکی با روش فازی قله محاسبه شده بنابراین عدد فازی همه‌ی متغیرهای خروجی با داشتن بازه پشتیبان آن‌ها به دست آمده است. مقدار متغیرهای خروجی در هر مرحله از الگوریتم ژنتیک به وسیله‌ی شبیه‌ساز هیدرولیکی شبکه EPANET محاسبه شده است. برنامه نویسی‌های لازم برای پیاده‌سازی الگوریتم ژنتیک به روی داده‌های در نرم‌افزار MATLAB صورت گرفته است.

۳- نتایج و بحث

یک شبکه توزیع آب فرضی به‌عنوان مثال با استفاده از روش تجزیه و تحلیل فازی عدم قطعیت شبکه‌های توزیع آب و به کارگیری NSGA-II اصلاح‌شده تجزیه و تحلیل شده و نتیجه‌های به دست آمده از این روش برای راستی آزمایی با نتیجه‌های به دست آمده از روش‌های پیشین مقایسه گردیده است. سپس یک شبکه توزیع آب در ازای چندین طرح پیکربندی مختلف با به کارگیری NSGA-II اصلاح شده تجزیه و تحلیل فازی شده و با استفاده از نتیجه‌های به دست آمده، اثر طرح پیکربندی شبکه بر روی میزان قابلیت اطمینان شبکه بررسی شده است.

۳-۱ مثال فرضی

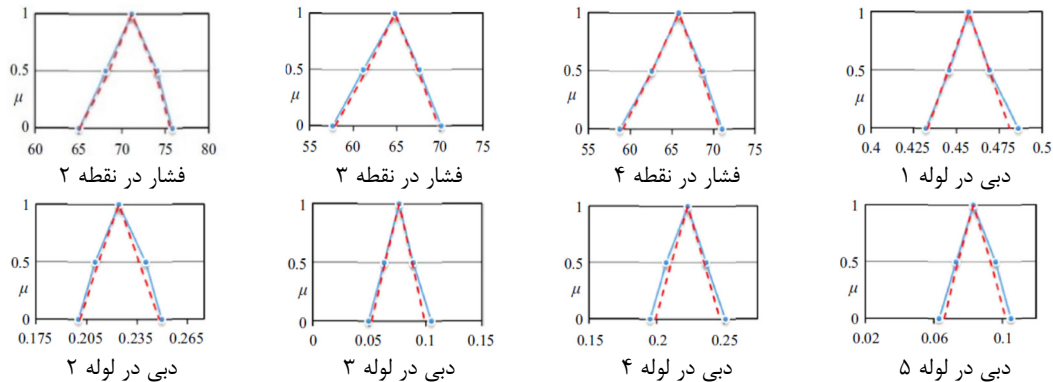


شکل ۳-۱- شبکه توزیع آب فرضی معرفی شده به وسیله ریویلی و رودولفی ۲۰۰۲

شبکه توزیع آب نشان داده شده در شکل ۳-۱ برای راستی آزمایی روش تجزیه و تحلیل فازی با به کارگیری NSGA-II اصلاح شده از مقاله ریویلی و رودولفی ۲۰۰۲ انتخاب شده و در این مثال در نظر گرفته شده است. قطر و طول لوله‌ها مانند درخواست آب و ارتفاع نقطه‌ها در شکل ۳-۱ نشان داده شده است. عدم قطعیت در این مثال فقط برای متغیرهای ورودی ضریب زبری لوله‌ها در نظر گرفته شده و به وسیله عددی فازی مثلثی متقارن با بازه پشتیبان [55 65] و بیشترین مقدار محتمل $C = 60 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ معرفی شده است. متغیرهای خروجی فازی، فشار در نقطه‌های ۲، ۳ و ۴ و دبی در تمامی لوله‌ها در تجزیه و تحلیل فازی این شبکه برای سه سطح از برش-آلفا 1 و $\alpha = 0.0.5$ با روش قله محاسبه شده است.

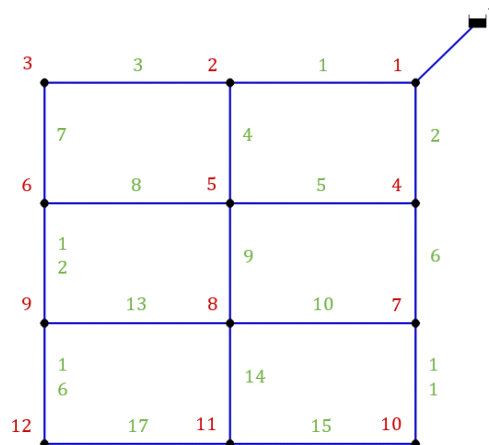
یک مدل بهینه‌سازی تک‌هدفه به وسیله ریویلی و رودولفی (۲۰۰۲) برای حل مسئله بهینه‌سازی که در روش قله برای محاسبه متغیرهای خروجی ایجاد می‌شود استفاده شده است. روش برنامه‌ریزی چهارتایی به عنوان یک شیوه کلاسیک بهینه‌سازی، برای پیدا کردن بازه پشتیبان متغیرهای خروجی در روش قله به کار گرفته شده است. عدد فازی متغیرهای خروجی شبکه (فشار در نقطه‌ها و دبی لوله‌ها) که با روش برنامه‌ریزی چهارتایی به دست آمده در شکل ۳-۲ به وسیله خط چین قرمز رنگ نشان داده شده است.

سپس تجزیه و تحلیل فازی این شبکه با به کارگیری NSGA-II اصلاح شده، برای حل مسئله بهینه‌سازی که در روش قله برای محاسبه متغیرهای خروجی ایجاد می‌شود انجام شده است. عدد فازی متغیرهای خروجی شبکه (فشار در نقطه‌ها و دبی لوله‌ها) که با روش NSGA-II اصلاح شده به دست آمده در شکل ۳-۲ به وسیله خط آبی نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل‌ها نشان داده شده؛ نتایج به دست آمده با NSGA-II اصلاح شده به نتایج به دست آمده با روش برنامه‌ریزی چهارتایی معرفی شده به وسیله ریویلی و رودولفی ۲۰۰۲ بسیار نزدیک بوده است.

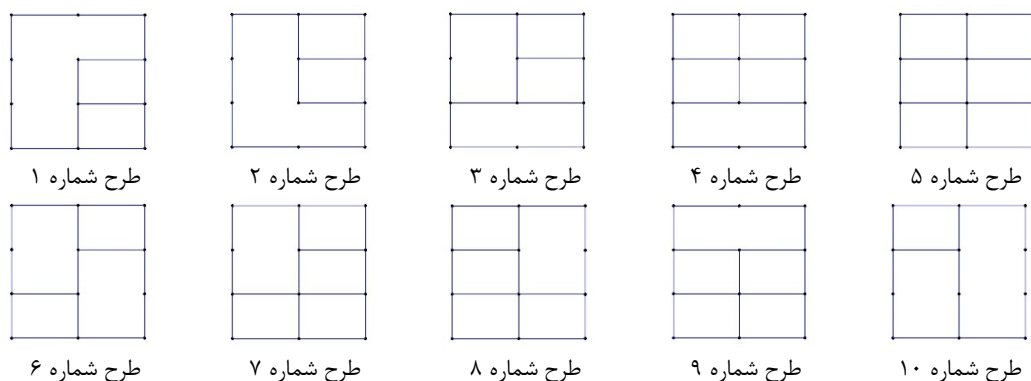


شکل ۳-۲- عدد فازی متغیرهای خروجی فشار در نقطه های ۴ تا ۲ و سرعت در لوله های ۱ تا ۵ در شبکه توزیع آب بدست آمده با دو روش NSGA-II (خط آبی) و برنامه ریزی چهارتایی (خطچین قرمز)

۳-۲ مجموعه ی شبکه های بررسی شده برای اثر طرح پیکربندی بر روی قابلیت اطمینان



شکل ۳-۳- شبکه توزیع آب در نظر گرفته شده برای بررسی اثر طرح پیکربندی بر روی قابلیت اطمینان شبکه



شکل ۳-۴- طرح های مختلف پیکربندی شبکه توزیع آب بررسی شده برای اثر طرح پیکربندی بر روی قابلیت اطمینان شبکه

شبکه توزیع آب نشان داده شده در شکل ۳-۳ و یک مجموعه‌ی شامل ۱۰ طرح پیکربندی مختلف از آن که در شکل ۳-۴ نشان داده شده، برای بررسی اثر طرح پیکربندی شبکه توزیع آب بر عدم قطعیت پاسخ‌های شبکه در نظر گرفته شده است. تجزیه و تحلیل فازی شبکه با به‌کارگیری NSGA-II اصلاح شده انجام گرفته است. این شبکه و مجموعه‌ی طرح‌های پیکربندی آن، در اصل یک شبکه توزیع آب فرضی بوده که به پیروی از مقاله‌های (تی.تی. تانیمبوا و همکاران ۲۰۰۰، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۱. قیسی و همکاران ۲۰۱۵) انتخاب شده است. قطر لوله‌ها برای طرح‌های پیکربندی ۱ تا ۱۰ در جدول ۳-۱ نشان داده شده.

جدول ۳-۱- قطر لوله‌های طرح‌های پیکربندی ۱ تا ۱۰ (میلی‌متر)

شماره طرح شماره لوله	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
۱	۲۸۴	۳۲۸	۲۹۸	۲۹۴	۳۰۲	۳۲۵	۳۰۷	۳۴۵	۲۳۱	۴۰۵
۲	۳۶۸	۳۳۵	۳۶۰	۳۶۵	۳۶۱	۳۳۷	۳۵۵	۳۱۹	۴۰۴	۲۳۶
۳	۲۶۸	۲۷۵	۲۲۳	۱۹۴	۱۹۲	۲۲۷	۲۲۱	۲۰۵	۲۱۰	۲۶۷
۴	-	۱۶۹	۱۹۱	۲۱۴	۲۲۸	۲۳۱	۲۰۸	۲۷۶	-	۳۰۸
۵	۲۲۵	۱۷۴	۱۹۰	۲۱۲	۲۲۶	۲۳۲	۲۰۶	-	۲۷۵	-
۶	۲۸۶	۲۷۲	۲۹۸	۲۹۱	۲۷۵	۲۳۴	۲۸۲	۲۹۹	۲۹۵	۲۰۸
۷	۲۴۰	۲۸۴	۱۸۴	۱۴۱	۱۲۸	۱۹۰	۱۸۲	۱۵۹	۱۶۲	۲۴۰
۸	-	-	-	۱۸۱	۱۷۵	-	-	۱۵۳	۱۵۲	-
۹	۱۸۸	۱۸۹	۲۲۹	۲۰۶	۲۲۹	۲۹۳	۲۵۵	۲۰۷	۲۰۶	۲۸۳
۱۰	۱۸۴	۱۷۴	۱۶۶	۱۵۴	۱۷۹	-	۱۸۸	۲۱۰	۲۰۶	۲۳۸
۱۱	۱۸۴	۲۵۹	۲۱۹	۲۱۶	۱۶۹	۱۸۵	۱۷۲	۱۷۷	۱۷۶	۲۶۹
۱۲	۲۱۵	۲۲۵	۱۳۹	۱۹۰	۱۸۲	۱۴۹	۱۳۷	۱۷۹	۱۸۱	۲۱۷
۱۳	-	-	۲۲۷	۱۹۴	۱۷۸	۱۹۴	۲۰۴	۱۷۸	۱۷۶	-
۱۴	۲۰۰	-	-	-	۱۸۴	۱۷۸	۱۸۹	۱۷۷	۱۷۵	-
۱۵	۱۴۳	۲۲۹	۱۹۱	۱۸۸	۱۱۹	۱۳۹	۱۲۴	۱۳۳	۱۳۳	۲۴۱
۱۶	۱۰۵	۱۴۳	۱۸۲	۱۸۵	۱۶۲	۱۴۹	۱۵۰	۱۵۸	۱۵۸	۱۲۴
۱۷	۱۷۶	۱۵۱	۱۰۰	۱۰۰	۱۳۵	۱۴۷	۱۴۷	۱۳۷	۱۳۷	۱۷۰

ارتفاع مخزن، ارتفاع همه‌ی نقطه‌ها، طول و ضریب HW همه لوله‌ها در همه‌ی طرح‌های پیکربندی در زمان طراحی به ترتیب برابر ۱۰۰ متر، ۰ متر، ۱۰۰۰ متر و ۱۳۰ بوده است. مقدار درخواست آب نقطه‌ها در زمان طراحی نیز مطابق با جدول ۳-۲ در همه‌ی طرح‌ها یکسان بوده است.

جدول ۳-۲- در خواست آب نقطه‌ها شبکه توزیع آب بررسی شده برای اثر طرح پیکربندی بر روی قابلیت اطمینان شبکه

شماره نقطه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
میزان درخواست آب (لیتر بر ثانیه)	۲۳/۹۷	۳۵/۹۶	۳۵/۹۶	۳۵/۹۶	۲۳/۹۷	۴۷/۹۵	۴۷/۹۵	۴۷/۹۵	۴۷/۹۵	۲۳/۹۷	۳۵/۹۶	۲۳/۹۷

حداقل فشار نقطه‌ها و سرعت در لوله‌ها به‌عنوان شرط‌های طراحی برای پیدا کردن قطر لوله‌ها و ارتفاع مخزن در زمان طراحی ۱۳/۱۰۴۶ متر و ۰/۳ متر بر ثانیه بوده است. میزان حداکثر مجاز طراحی فشار در نقطه‌ها و سرعت در لوله‌ها برابر ۴۴/۸۹ متر و ۲/۵ متر بر ثانیه بوده است.

عدم قطعیت در این شبکه‌ها برای متغیرهای ورودی ضریب زبری HW لوله‌ها و درخواست آب نقطه‌ها در نظر گرفته شده بوده است. ضریب زبری لوله‌ها و درخواست آب در نقطه‌ها به‌صورت عددهای فازی مثلثی متقارن معرفی شده که بیشترین مقدار محتمل آن‌ها همان مقدار طراحی اصلی (برای همه‌ی لوله‌ها ضریب زبری $C = 130$ HW و برای درخواست آب نقطه‌ها مقادیرهای نشان داده شده در جدول ۲-۳) در نظر گرفته شده بوده است. عدم قطعیت درخواست آب نقطه‌ها و ضریب زبری HW با توجه به بیشترین مقدار محتملشان به ترتیب $\pm 15\%$ درصد و $\pm 10\%$ درصد بوده است. بنابراین بازه‌ی پشتیبان هر عدد فازی متغیرهای ورودی بر این اساس به دست آمده است. برای مثال عددی فازی به شکل مثلثی متساوی‌الساقین با بازه‌ی [117 143] برای ضریب زبری HW همه‌ی لوله‌ها با بیشترین مقدار محتمل $C_c = 130$ ساخته شده است. همچنین عدد فازی درخواست آب در نقطه‌های شبکه به همین صورت ساخته شده است.

متغیرهای خروجی فازی، فشار در نقطه‌های ۲ تا ۱۲ و سرعت در تمامی ۱۳ تا ۱۷ لوله موجود با توجه به طرح پیکربندی شبکه در تجزیه و تحلیل فازی این شبکه برای دو سطح از برش-آلفا $\alpha = 0$ و 1 با روش قله محاسبه شده است. مطابق با روش قله برای سطح برش-آلفا $\alpha = 1$ متغیرهای ورودی همه مقدار حقیقی و برابر با مقدار طراحی اصلی داشته و مقدار متغیرهای خروجی برای این سطح از برش-آلفا برابر با مقادیرهای به دست آمده از حل معادله‌های حاکم بر جریان، به‌وسیله‌ی شبیه‌ساز هیدرولیکی شبکه EPANET به ازای این متغیرهای ورودی بوده است. بازه پشتیبان همه‌ی متغیرهای ورودی برای سطح برش-آلفا $\alpha = 0$ نیز برابر با بازه پشتیبان عدد فازی همان متغیر بوده است. بازه پشتیبان در سطح برش-آلفا $\alpha = 0$ و عدد فازی همه‌ی متغیرهای خروجی در کل شبکه برای همه‌ی طرح‌ها با تجزیه و تحلیل فازی به‌دست آمده است.

میزان قابلیت اطمینان هر شبکه در سطح برش-آلفا برابر با صفر بر اساس این دو شرط محاسبه شده است. ۱- تعداد متغیرهای خروجی که از معیار طراحی عبور کرده است. ۲- میزان عبور از معیار طراحی، در صورتی که تعداد متغیرهای خروجی عبور کرده از معیار طراحی برای دو طرح برابر بوده است. میزان عبور از معیار طراحی در شرط دوم با استاندارد دی به نام درصد انحراف از معیار میانگین dev تعریف شده است.

$$dev = \sum_{i=1}^n \frac{Cr_i - x_i}{Cr_i} / n \quad (3-1)$$

n تعداد متغیرهای خروجی که از معیار طراحی عبور کرده‌اند. Cr_i معیار طراحی برای متغیر خروجی i که برای فشار نقطه‌ها و سرعت در لوله‌ها به ترتیب ۱۳/۱۰۴۶ متر و ۰/۳ متر بر ثانیه بوده است. x_i مقدار متغیر خروجی i بوده و i شمارنده متغیرهای خروجی که از معیار طراحی عبور کرده بوده است. بر این اساس قابلیت اطمینان طرح پیکربندی بیشتر بوده که تعداد متغیرهای خروجی آن که از معیار طراحی عبور کرده کمتر بوده است و در صورت برابر بودن تعداد این متغیرها برای دو طرح پیکربندی قابلیت اطمینان طرح پیکربندی بیشتر بوده که مقدار dev آن کمتر بوده است. سپس طرح‌های پیکربندی مختلف شبکه بر اساس میزان قابلیت اطمینان در سطح برش-آلفا های $\alpha = 0$ در جدول ۳-۳ از بالا به پایین مرتب شده و نمایش داده شده است.

جدول ۳-۳- طرح‌های مختلف پیکربندی شبکه مرتب شده بر اساس میزان قابلیت اطمینان در سطح برش-آلفا $\alpha = 0$

درصد انحراف از معیار میانگین	تعداد متغیرهای که از معیار طراحی عبور کرده‌اند	شماره طرح
۴۳/۱۸	۴	۱
۵۳/۴۱	۴	۴
۴۴/۱۵	۵	۸
۵۸/۶۱	۵	۹
۶۰/۲۲	۵	۳
۴۵/۲۴	۶	۵
۵۳/۷۳	۶	۱۰
۵۹/۹۳	۶	۲
۴۹/۰۵	۷	۷
۵۲/۵۳	۷	۶

با توجه به حداقل فشار و سرعت مورد نیاز برای طراحی ۴ تا ۷ معادل با ۱۴/۸۱ درصد تا ۲۶/۹۲ درصد از پاسخ‌ها برای طرح‌های مختلف پیکربندی شبکه از معیارهای طراحی در اثر عدم قطعیت عبور کرده است. بیشترین میزان عدم قطعیت منفی برای یک متغیر ۱۰۰- درصد و برای سرعت ۰ متر بر ثانیه بوده که در چندین طرح از شبکه و در لوله‌های مختلف در اثر عدم قطعیت رخ داده است. مطابق با جدول ۳-۳ بیشترین قابلیت اطمینان در میان طرح‌های مختلف پیکربندی شبکه مربوط به طرح شماره ۱ و کمترین میزان عدم قطعیت مربوط به طرح شماره ۶ بوده است.

۴- جمع بندی و نتیجه گیری

یک مجموعه از شبکه‌ها با طرح‌های پیکربندی مختلف و میزان عدم قطعیت یکسان متغیرهای ورودی از مطالعات پیشین انتخاب شده، متغیرهای ورودی به صورت عددهای فازی تعریف شده و سپس برای روش تجزیه و تحلیل فازی با استفاده از روش فازی قله و بکارگیری روش بهینه‌سازی NSGA-II اصلاح شده عدد فازی همه متغیرهای خروجی برای همه طرح‌ها را محاسبه کرده است. سپس طرح‌های مختلف پیکربندی شبکه بر اساس میزان عدم قطعیت پاسخ‌ها و معیارهای تعریف شده برای قابلیت اطمینان شبکه با یکدیگر مقایسه شده و بر اساس میزان قابلیت اطمینان رتبه‌بندی شده‌اند. میزان قابلیت اطمینان هر طرح پیکربندی بر اساس تعداد متغیرهای خروجی عبور کرده از معیار طراحی و میزان عبور این متغیرها از معیار طراحی محاسبه شده و طرح‌های مختلف پیکربندی بر اساس این میزان قابلیت اطمینان مرتب شده است. مقایسه نتایج به دست آمده از طرح‌های مختلف پیکربندی نشان داده است که طرح پیکربندی یک شبکه توزیع آب اثر قابل توجهی به میزان گسترش و شدت عدم قطعیت در پاسخ‌ها شبکه داشته است و به پیروی از آن اثر قابل توجهی به روی قابلیت اطمینان شبکه داشته است. همچنین با توجه به تعداد لوله‌های استفاده شده و قطر آن‌ها در طرح‌های مختلف پیکربندی شبکه و میزان قابلیت اطمینان هر طرح مشخص شده که جایگذاری بیشتر لوله‌ها و اتصال بیشتر نقطه‌های درخواست به وسیله لوله‌های بیشتر تأثیری در بهبود قابلیت اطمینان شبکه نداشته است.

۵- پی نوشتها

1. Calibration
2. Nodal demands
3. Configuration
4. Vertex method
5. Non-dominated genetic algorithm
6. Quadratic programming
7. Alpha-cut

۶- مراجع

- Gheisi, A., S. Shabani, and Gh Naser. "Flexibility ranking of water distribution system designs under future mechanical and hydraulic uncertainty." *Procedia Engineering* 119 (2015): 1202-1211.
- Gupta, Rajesh, and Shweta Rathi. "Joint Consideration of Layout and Pipe Sizes for Water Distribution Network Design with Reliability." *Procedia Engineering* 186 (2017): 357-363.
- Revelli, R., & Ridolfi, L. (2002). Fuzzy approach for analysis of pipe networks. *Journal of Hydraulic Engineering*, 128(1), 93-101.
- Zarghami, S. A., Gunawan, I., & Schultmann, F. (2018). Integrating Entropy Theory and Cospinning Tree Technique for Redundancy Analysis of Water Distribution Networks. *Reliability Engineering & System Safety*.

Assessment of water distribution network configuration effect on the network responses uncertainty and network reliability

A.Baghlani¹, B.Bisheh^{2*}

1- Abdol Hossein Baghlani, baghlani@sutech.ac.

2- Behzad Bisheh*, behzadbisheh@gmail.com

Faculty of Civil and Environmental Engineering, Shiraz University of Technology, Shiraz

Abstract

In this paper the effect of network configuration on the uncertainty of water distribution network responses and network reliability is evaluated. For this purpose, a set of water distribution networks with different network configuration and same input uncertainty has been selected and the uncertainty of network responses, including pipe velocities and nodal pressures, is estimated for each network configuration. Furthermore the reliability of different network configuration are assessed with respect to their responses uncertainty. In this study uncertainties are represented by fuzzy numbers. In order to estimate responses' fuzzy numbers, the fuzzy vertex method has been used resulting a multi-objective optimization problem to be solved. The problem is solved by the modified NSGA-II. Fuzzy analysis using the vertex method and the modified NSGA-II applied to a presumptive example and other selected set of networks. It is found that changing the configuration of a network can significantly influence the uncertainty of network responses and network reliability. Also, the placement of more pipes and more connection of the demand points through the pipes did not increase the reliability of the network.

Keywords: Fuzzy analysis; Network configuration; Reliability; Uncertainty; Water distribution networks