تحلیل عدم قطعیت در شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب با منطق فازی، مطالعه موردی: بخشی از شبکه فاضلاب شهر مشهد

علی قاسمی [1] سید محمود حسینی [2]

(دریافت ۸۹/۲/۹ پذیرش ۹۰/۳/۲۵)

چکیده

پارامترهای ورودی در طراحی و ارزیابی عملکرد هیدرولیکی شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب دقیق نیستند و در معرض عدم قطعیت فراوان قرار دارند. در این تحقیق، یک روش جدید برای تجزیه و تحلیل عدم قطعیت جریان در شبکه‌های فاضلاب بر پایه منطق فازی ارائه شده است که از انعطاف کامل در انتخاب پارامترهای ورودی و سهولت در محاسبات و کاربرد برخوردار است. روش بر بخشی از شبکه جمع‌آوری شهر مشهد، به‌عنوان مطالعه موردی، اعمال شد. بررسی نتایج نشان داد که چنین تجزیه و تحلیل عدم قطعیتی می‌تواند تصویر مناسبی از عملکرد جریان و متغیرهای اصلی آن یعنی دبی، سرعت و عمق جریان در اختیار طراحان و بهره‌برداران قرار دهد. این امر می‌تواند در ارزیابی عملکرد هیدرولیکی یک شبکه، با وارد نمودن طیف وسیع‌تری از مقادیر متغیرهای اصلی، کمک نماید.

واژه‌های کلیدی: شبکه جمع‌آوری فاضلاب، تجزیه و تحلیل عدم قطعیت، رابطه مانینگ، منطق فازی

Uncertainty Analysis of Sanitary Sewer Networks Using Fuzzy Logic, Case Study: Part of Mashhad Sanitary Sewer Network

Ali Ghasemi [1] *Seyed Mahmood Hosseini[2]*

(Received Apr. 28, 2010 Accepted June 14, 2011)

Abstract

Design parameters for sanitary sewer networks are imprecise and subject to high degree of uncertainty. In this research, a new method based on fuzzy logic, is proposed for uncertainty analysis of flow in sanitary sewer networks. The method is flexible enough for selecting design parameters and simple to use. It is applied to part of the sanitary sewer network of Mashhad, as a case study. The results indicate that such an uncertainty analysis can provide designers and maintainers with an appropriate perspective of flow and its associated parameters such as discharge, velocity and depth. This can be used in performance analysis of networks by including a wider spectrum of parameters in the analysis.

Keywords: Sanitary Sewer Networks, Uncertainty Analysis, Manning's Equation, Fuzzy Logic.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران- آب، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد (نویسنده مسئول) (۰۵۱۱) ۸۸۰۵۰۴۳ Shossein@Ferdowsi.um.ac.ir

1. Grad. Student of Civil Eng., Dept. of Eng., Ferdowsi University of Mashhad
2. Prof. of Civil Eng., Dept. of Eng., Ferdowsi University of Mashhad (Corresponding Author) (+98 511) 8805043 Shossein@Ferdowsi.um.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

شبکه جمع‌آوری فاضلاب از اساسی‌ترین تأسیسات عمومی و زیربنایی شهری است زیرا در کلیه شهرها و مراکز جمعیتی، تولید آبهای آلوده حتمی و جمع‌آوری و دفع آنها ضروری است. در طراحی و آنالیز شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب عواملی همچون جمعیت، روند گسترش شهرها، مصرف سرانه آب، ضریب تبدیل آب به فاضلاب، نشتاب و میزان آبهای نفوذی به شبکه تأثیرگذار هستند.

با توجه به مجموعه عوامل و پارامترهای مؤثر در طراحی شبکه جمع‌آوری فاضلاب، می‌توان دریافت که اکثر پارامترها به‌طور دقیق و قطعی قابل محاسبه و دستیابی نیستند. لزوم پیش‌بینی مقادیر بعضی پارامترها در پایان دوره طرح و تأثیر عوامل گوناگون و پیچیده در تخمین مقدار آنها، نیز باعث می‌شود تا تعیین مقدار دقیق پارامترها مشکل و در بعضی موارد حتی غیرممکن باشد. در یک نگاه جامع‌تر، می‌توان عوامل مختلفی را برای وجود این عدم قطعیت‌ها برشمرد که از آن جمله می‌توان به کمیّت و کیفیت نامناسب اطلاعات جمع‌آوری شده، عدم دقت کافی و ابهام در برآورد پارامترها و یا حتی ناکارآمدی ساختار مدل‌های ریاضی که برای توصیف پدیده به‌کار می‌روند، اشاره کرد. پارامترهای ورودی به‌صورت ذاتی می‌توانند در شبکه‌ها منبع اصلی عدم قطعیت محاسباتی و یا عملکردی باشند. در تحقیق حاضر، تجزیه و تحلیل عدم قطعیت با تمرکز بر اثر عدم قطعیت ناشی از پارامترهای ورودی مسئله، بر متغیرهای طراحی یا همان متغیرهای بررسی عملکرد هیدرولیکی شبکه‌های فاضلاب مجزا، صورت گرفت.

عدم قطعیت موجود در تعیین پارامترهای ورودی باعث می‌شود تا در مقادیر حاصل از نتایج طراحی از جمله ابعاد شبکه، شیب مجاری و همچنین در سایر متغیرهای وابسته مانند سرعت جریان که از جمله عوامل مهم کنترل کننده طراحی است نیز، عدم دقت پدیدار شود. به‌عبارت دیگر عدم قطعیت در پارامترهای ورودی یک مدل طراحی انتخابی برای طرح شبکه، در نتایج مدل گسترش می‌یابد که هدف اصلی در تجزیه و تحلیل عدم قطعیت نیز کمّی نمودن این فرایند است.

از دیدگاه احتمالاتی در مسائل مهندسی آب، برای تجزیه و تحلیل عدم قطعیت روشهای مختلفی وجود دارد. این روشها به سه دسته تحلیلی، تقریبی و شبیه‌سازی طبقه‌بندی می شوند[۱ و ۲]. هر یک از این روشها در سطوح مختلفی از پیچیدگی از دیدگاه ریاضی و نیز از نقطه نظر تعیین و برآورد پارامترها و داده‌های مورد نیاز قرار دارند. انتخاب روش مناسب به ماهیت مسئله در دسترسی به اطلاعات، پیچیدگی مدل ریاضی مورد استفاده و نوع و دقت نتایج خواسته شده بستگی دارد [۳].

در کاربردهای مهندسی، روشهای احتمالاتی به‌دلیل نیاز به اطلاعات ورودی زیاد، بیشتر از آنچه که به‌طور متداول و در حد قابل قبول در دسترس می‌باشد، مورد انتقاد قرار می‌گیرند. به‌عبارت دیگر، تجزیه و تحلیل و ارزیابی‌های آماری و احتمالاتی نیاز به حداقل تعداد اطلاعات دارد که اکثر موارد در دسترس نمی‌باشد. در این صورت طراح باید به همان تعداد داده در دسترس اکتفا کند، که می‌تواند نتیجه حاصل از تحلیلهای آماری را زیر سؤال ببرد. در چنین شرایطی می‌توان از تئوری مجموعه‌های فازی که دارای درجه آزادی بیشتری در مدلسازی هستند، استفاده نمود. به‌علاوه، مجموعه‌های فازی در مدل کردن ابهامات و آنچه که به‌وضوح قابل تعریف نیست، مورد توجه قرار گرفته‌اند. برای شرح و تفسیر ابهامات در مجموعه فازی یا به‌عبارت دیگر برای شکل دادن یک مجموعه فازی از مفهوم امکان استفاده می‌شود. به‌طور کلی فرض بر این است که یک مجموعه فازی، عدم قطعیت و عدم دقت یک پارامتر حقیقی ارزیابی شده را توصیف می‌کند [۴].

در پژوهشی با عنوان تجزیه و تحلیل عدم قطعیت در شبکه‌های توزیع آب، نتایج حاصل از سه دیدگاه متمایز تجزیه و تحلیل عدم قطعیت براساس تئوری بازه‌ای، تئوری احتمال و منطق فازی برای ارزیابی و تخمین چگونگی اثرعدم دقت و عدم قطعیت تقاضای مصرف گره‌ای و پارامترهای لوله، بر نتایج آنالیز شبکه، بررسی شده‌اند[۵]. بررسی نشان می‌دهد اگر داده‌های آماری از قبیل میانگین و واریانس در دسترس باشند، روش آنالیز احتمالاتی مناسب است اما روشهای احتمالاتی برای تجزیه و تحلیل عدم قطعیت رخدادهایی که به‌ندرت رخ می‌دهند، می‌توانند گمراه کننده باشند. در تحقیق مذکور نیز روشهای مبتنی بر تئوری مجموعه‌های فازی، بهترین روشها برای بیان عدم قطعیت ناشی از تعاریف مبهم حاصل از دانش ناقص بشری و عدم دقت در عبارات بیانی پارامترهای مورد نظر ذکر شده‌اند. تجزیه و تحلیل بازه‌ای نیز مورد خاصی از مدلسازی فازی است که در یک سطح برش خاص انجام می‌شود. انتخاب مناسب‌ترین روش برای یک کاربرد خاص به داده‌های موجود برای تجزیه و تحلیل و هدف از تجزیه و تحلیل عدم قطعیت بستگی دارد.

تئوری مجموعه‌های فازی با توجه به ویژگی‌های خود در مطالعاتی مشابه با مطالعه حاضر مورد استفاده قرار گرفته است [۶و ۷]. دو و همکاران[1] با توجه به عدم دقت، وجود تغییرات مکانی و دسترسی محدود به اطلاعات در مدلسازی ریاضی آبهای زیرزمینی، نتایج یک مدل ریاضی آب زیرزمینی تحت شرایط جریان دائمی را تحت تجزیه و تحلیل عدم قطعیت قرار داده‌اند[۶]. در مطالعه

[1] Dou et al.

Archive of SID
www.SID.ir

دیگری با تأکید بر اینکه در تجزیه و تحلیل رفتار هیدرولیکی شبکه‌های آب عموماً پارامترهای کم دقت و نامطمئن مانند ضریب زبری لوله‌های کهنه و یا دبی‌های برداشتی از شبکه وجود دارند، تئوری مجموعه‌های فازی به‌منظور تجزیه و تحلیل عدم قطعیت و چگونگی گسترش عدم قطعیتهای ورودی به پارامترهای خروجی تحلیل یک شبکه نظیر دبی لوله‌ها و فشارهای گرهی مورد استفاده قرار گرفته است[۷].

به‌صورت متداول، طراحان تجزیه و تحلیل عدم قطعیت در پارامترهای شبکه فاضلاب را در قالب شرایط حدی انجام می‌دهند. چنین تحلیلی نمی‌تواند یک تجزیه و تحلیل عدم قطعیت کامل در نظر گرفته شود. در مقابل، تجزیه و تحلیل عدم قطعیت بر پایه تئوری فازی تصویر بهتری از فضای پارامترهای ورودی و فضای متغیرهای وابسته خروجی ارائه می‌دهد. همچنین تحلیل‌گر به‌راحتی می‌تواند نظرات افراد خبره را نیز در کنار مقادیر توصیه شده آئین‌نامه‌ای در انتخاب پارامترهای مؤثر ورودی مد نظر قرار دهد و به آنها اعتبار کمّی بدهد. نکته قابل ذکر این است که نتایج تجزیه و تحلیل عدم قطعیت شبکه‌های فاضلاب می‌تواند در ارزیابی عملکرد هیدرولیکی شبکه‌ها و دخالت دادن فضای وسیع‌تری از متغیرهای وابسته در این ارزیابی به‌کار گرفته شود[۸، ۹ و ۱۰].

در مطالعات گذشته، عملکرد هیدرولیکی شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب مورد بررسی قرار گرفته است [۱۱]. متغیرهای مؤثر در تعیین میزان عملکرد هیدرولیکی در مقاطع مختلف زمانی براساس آنالیز عدم قطعیت و تعیین هر یک از پارامترهای ورودی مدل به صورت فازی صورت گرفته است.

در این تحقیق، با توجه به عدم دقت و ابهام موجود در پارامترهای مؤثر بر رفتار هیدرولیکی شبکه‌های فاضلاب مجزا، از تئوری امکان (مجموعه‌های فازی) در تجزیه و تحلیل عدم قطعیت شبکه‌های فاضلاب استفاده شد. روش بر شبکه جمع‌آوری فاضلاب بخشی از شهر مشهد اعمال شد و نتایج آن مورد بررسی قرار گرفت. این نتایج می‌تواند تصویر بهتری از متغیرهای وابسته نظیر سرعت و عمق جریان ارائه دهد که می‌تواند در ارزیابی عملکرد هیدرولیکی، بهره‌برداری، مدیریت و اصلاح شبکه فاضلاب مورد استفاده قرار گیرد. نتایج حاصل حتی می‌تواند نیاز به بررسی مجدد و تغییر در ضوابط طرح و یا تجدید نظر در برخی مؤلفه‌های طرح را ایجاد نماید. در این تحقیق ابتدا تجزیه و تحلیل عدم قطعیت بر روی دبی‌های مختلف طراحی نظیر دبی حداقل، دبی حداکثر و دبی شستشو در سالهای مختلف در طول اجرای طرح در یک شبکه طراحی شده انجام و سپس تأثیر این عدم قطعیتها بر روی متغیرهای وابسته نظیر سرعت و عمق جریان بررسی گردید. در پایان به‌عنوان یک رویکرد کاربردی نشان داده شد که چگونه نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل عدم قطعیت می‌تواند در ارزیابی عملکرد هیدرولیکی مجاری و مقایسه نسبی آنها در یک مقطع زمانی مشخص و یا متوسطگیری شده در طول دوره طرح به‌کار گرفته شود. این نتایج به‌خوبی در رتبه‌بندی نیاز به شستشوی لوله‌ها بر پایه یک سرعت شستشوی دیکته شده در آیین‌نامه‌ها کاربرد دارد.

۲- مواد و روشها

در این بخش در راستای بیان مفاهیم و محاسبات لازم برای تجزیه و تحلیل عدم قطعیت، ابتدا مجموعه‌های فازی معرفی شده و روش برپا سازی یک عدد فازی ارائه گردید. این روش می‌تواند در مورد پارامترهای ورودی مؤثر در تحلیل یک شبکه جمع‌آوری فاضلاب بهداشتی نظیر ضریب تبدیل آب به فاضلاب، نشتاب و غیره به‌کار گرفته شود. در ادامه از آنجا که رابطه مانینگ به‌عنوان معادله حاکم بر جریان در شبکه فاضلاب انتخاب شد، این رابطه در یک ساختار فازی مطرح شده و روش حل آن توضیح داده شد. حل رابطه مانینگ در این حالت منجر به محاسبه عمق و سرعت جریان به ازای یک دبی جریان فازی می‌شود. در پایان به ارائه یک جمع‌بندی فشرده از فرایند تجزیه و تحلیل عدم قطعیت به روش پیشنهادی در این مقاله پرداخته شد.

۲-۱- مجموعه‌های فازی

زاده در سال ۱۹۶۵، برای اولین بار تئوری مجموعه فازی را مطرح کرد[۱۲]. از آن پس این تئوری به‌عنوان یک ابزار تحقیقاتی مهم در زمینه‌های زیادی از مسائل مهندسی شامل تصمیم‌گیری‌ها، کنترل و مسائل پیش‌بینی به‌کار برده شده است[۱۳، ۱۴ و ۱۵]. منظور از تئوری فازی، تمام تئوری‌هایی است که از مفاهیم اساسی مجموعه‌های فازی با توابع تعلق استفاده می‌کنند به‌طوری که تصمیم‌گیری فازی، سیستم‌های فازی، منطق فازی و ریاضیات فازی از آن جمله‌اند.

ریاضیات فازی به‌عنوان نقطه شروع در تئوری مجموعه فازی، یک زبان اصلی را برای سیستم‌های فازی فراهم می‌کند. ریاضیات فازی به‌تنهایی زمینه گسترده‌ای است که در آن اصول ریاضی با جایگزینی مجموعه‌های فازی به‌جای مجموعه‌های ریاضیات کلاسیک توسعه یافته‌اند. در این راه تمامی شاخه‌های ریاضیات کلاسیک به‌شکل فازی تبدیل می‌گردند.

نکته اصلی در بیان ریاضیات فازی، مفهوم مجموعه فازی است. در عمل مجموعه‌های کلاسیک با قید عضویت معین تعریف می‌شوند. در مقابل مجموعه فازی مجموعه‌ای است از عناصر متعلق به فضایی که مرزهای آن به‌صورت دقیق و مشخص تعریف نشده‌اند. در این حالت قید عضویت مجموعه دقیق و قطعی نیست.

Archive of SID

www.SID.ir

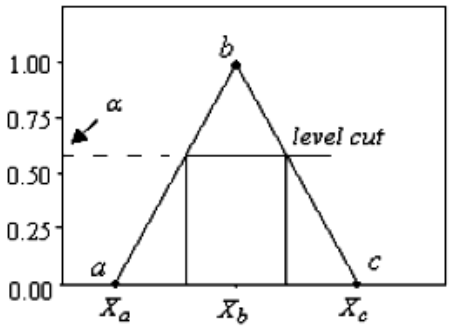
بنابراین در مورد مجموعه‌های فازی، عضویت عنصر x در مجموعه A از نوع دو دویی (عنصر x به مجموعه A تعلق دارد یا به مجموعه A تعلق ندارد) نیست و این عضویت به تابع عضویت $\mu_A(x)$ مشهور است [۶]. تابع عضویت، مقدار تعلق اعضا به مجموعه را بیان می‌کند که مقدار آن بین دو مقدار حقیقی صفر و یک می‌باشد. مقدار عضویت نزدیک به یک، بیانگر تعلق زیاد عنصر x به مجموعه A است و برعکس نزدیک شدن آن به صفر، تعلق کمتری را بیان می‌کند. با استفاده از مفهوم مجموعه فازی می‌توان اصطلاحات زبانی را به‌صورت ریاضی بیان کرد. آبرگوگنبرگ[1] روشی برای تعریف یک مجموعه فازی ارائه کرده است[۱۶]. در این روش، مقدار هر پارامتر با مقدار عضویت α بر اساس بازه $0\le\alpha\le1$ تعریف شده است. تعریف α ، به‌وسیله مهندس طراح و یا فرد تصمیم‌گیر بیان می‌شود اما در طول کل فرایند مدل‌سازی ثابت باقی خواهد ماند. برای مثال $\alpha=1$، بیانگر مقدار استاندارد پارامتر و $\alpha=2/3$ و $\alpha=1/3$ به‌ترتیب میزان امکان زیاد، متوسط و کم مقدار پارامتر را نشان می‌دهند.

در چهارچوب روش مجموعه فازی اگر مقدار پارامتر بین دو مقدار X_a , X_c و نزدیک به مقدار X_b باشد و همچنین تابع عضویت در قالب رابطه ۱ تعریف گردد، مجموعه فازی یک عدد فازی مثلثی خواهد بود (شکل ۱).

(۱)

$$\mu_A(x)=\mu_A(x;a,b,c)=\begin{cases}(x-a)/(b-a): a\le x\le b\\(c-x)/(c-b): b\le x\le c\\0 \qquad x>c \text{ or } x<a\end{cases}$$

سطح برش α و مقادیر بازه متناظر آن از متغیر x که درجه عضویت α متناظر آن است، در شکل ۱ نشان داده شده است. بازه متناظر $\alpha=0$ تکیه‌گاه اعداد فازی و در سطح برش $\alpha=1$ برای تابع عضویت مثلثی، بازه مقادیر به یک عدد قطعی (ممکن‌ترین مقدار) تقلیل می‌یابد [۷ و۱۷].



شکل ۱- عدد فازی مثلثی

۲-۲- رابطه مانینگ دریک ساختار فازی

با توجه به فرضیات صورت گرفته در مورد جریان در مجاری فاضلاب از جمله یکنواخت بودن جریان و همچنین سهولت محاسبات و دقت قابل قبول، از رابطه مانینگ به‌عنوان معادله حاکم بر جریان در مجاری فاضلابرو استفاده می‌شود. فرم فازی این معادله به‌صورت رابطه ۲ بیان می‌شود.

$$\tilde{Q}=\frac{1}{\tilde{n}}S_0^{1/2}\tilde{R}^{2/3}\tilde{A} \qquad (۲)$$

که در این رابطه

$\tilde{Q}$ دبی فازی جریان است که خود متأثر از پارامترهای فازی دیگر می‌باشد و $\tilde{n}$ ضریب زبری مانینگ است که به فرم عدد فازی بیان شده است. اگر شیب طولی، S_0 ، و قطرها، D، در یک شبکه موجود مقادیر قطعی داشته باشند، متغیرهای مساحت، $\tilde{A}$ و شعاع هیدرولیکی مقطع، $\tilde{R}$ نیز با توجه به فازی بودن دبی جریان، به شکل فازی محاسبه خواهند شد. با توجه به‌فرض جریان آزاد، رابطه مانینگ در مجاری فاضلابروی دایره‌ای توسط رابطه ۳ بیان می‌شود (شکل ۲).

(۳)

$$\tilde{Q}=\frac{1}{\tilde{n}}S_0^{1/2}\left[\frac{D}{4}\left(1-\frac{\sin\tilde{\theta}}{\theta}\right)\right]^{2/3}\left[\frac{D^2}{8}(\tilde{\theta}-\sin\tilde{\theta})\right]$$

از حل رابطه ۳ مقدار متغیر $\tilde{\theta}$ زاویه مرکزی، که معرف عمق جریان در مجرا است، به‌صورت فازی قابل محاسبه است. در شکل ۲ فازی بودن مقدار $\tilde{\theta}$ به‌صورت عمق جریان $\tilde{y}$ ، با توجه به فازی بودن پارامترهای ورودی در مدل ریاضی نشان داده شده است. اگر دبی جریان دارای یک مقدار دقیق و قطعی باشد، مقدار محاسبه شده برای عمق جریان برابر y خواهد شد، اما با وجود عدم قطعیت در مقدار دبی جریان که به‌صورت فازی بیان می‌شود $\left[\overline{Q},\underline{Q}\right]$ ، در محاسبه عمق جریان نیز یک مقدار غیرقطعی به‌صورت عدد فازی $\tilde{y}\in\left[\overline{y},\underline{y}\right]$ ، حاصل خواهد شد.

۲-۳- حل رابطه مانینگ با پارامترهای فازی

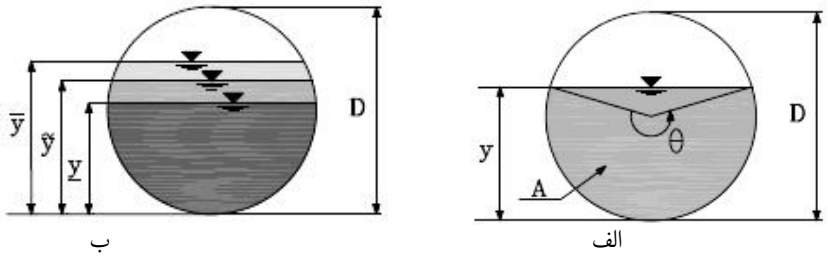
از عوامل کنترل ضوابط طراحی در شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب، عمق و سرعت جریان است. با استفاده از رابطه ۳ می‌توان مقدار θ را از حل یک معادله غیرخطی به‌دست آورد. با استفاده از این مقدار می‌توان سرعت و عمق جریان را محاسبه کرد.

در تئوری مجموعه‌های فازی برای محاسبه مقدار θ از مباحث

[1] Oberguggenberg

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲- عمق جریان در مجاری فاضلابرو دایروی، الف) دقیق(قطعی)، ب) فازی

ریاضیات فازی و اصل توسعه[1] استفاده می‌شود. مشکل عمده در فرم جداسازی شده اصل توسعه برای متغیرهای ورودی در توابع پیوسته است که محاسبه توابع عضویت اشتباه و نامنظم برای متغیرهای خروجی را سبب می‌شود. جداسازی هریک از متغیرها ممکن است به حذف بخشی از فضای جواب در محاسبات و در نتیجه جوابهای اشتباه منجر شود. دلیل این امر رابطه‌های ارائه شده برای اصل توسعه است که در قالب یک مسئله برنامه‌ریزی خطی می‌باشد. در توابع پیوسته برای دوری جستن از این اشکال، روشهای تقریبی توسعه[2] شامل روش ورتکس[3] و روش DSW معرفی شده‌اند. در این تحقیق، برای حل معادله غیرخطی در رابطه ۳ با پارامترهای فازی، از روش DSW و مفهوم برش α مجموعه‌های فازی استفاده شد. این روش بر تلفیق مفهوم برش α و تجزیه و تحلیل بازه‌ای استاندارد استوار است. این روش از غیر نرمال بودن توابع خروجی مدل ناشی از به‌کارگیری تکنیک جداسازی بر دامنه متغیرهای فازی و همچنین از گسترش بازه مجموعه مقدار تابع جواب، ناشی از رخدادهای متعدد متغیرها در بسط تابع‌ای، به‌وسیله روشهای آنالیز بازه‌ای مرسوم جلوگیری می‌کند. الگوریتم روش شامل گامهای زیر است: الف) انتخاب یک مقدار α به‌طوری‌که $0\le\alpha\le1$ ب) یافتن بازه‌های متناظر با این α از تابع عضویت ج) استفاده از عملیات بازه‌ای استاندارد برای محاسبه بازه تابع عضویت خروجی در سطح برش α انتخاب شده د) تکرار گام‌های فوق برای مقادیر متفاوت α [۱۸]. در این روش اگر داده‌های ورودی فازی، شامل اعداد مثبت و منفی، یعنی کران پایین بازه منفی و کران بالای بازه مثبت (بازه شامل عدد صفر است) و یا تابع شامل توان فرد یا جذر باشد، آنگاه کران پایین حاصل عملیات جبری صفر در نظر گرفته می‌شود. با توجه به روابط موجود برای عملیات حسابی بازه‌ها، برای محاسبه حداکثر و حداقل مقدار θ در هریک از بازه‌ها به ازای برش α مشخص یعنی گام سوم، از حل یک مسئله بهینه‌سازی مقید غیرخطی با عنوان روش برنامه‌ریزی درجه دوم متوالی[4] استفاده شده است. رابطه ۴ تابع هدف و رابطه ۵ قیدهای مسئله بهینه‌سازی هستند[۷]. در این پژوهش از قابلیت نرم‌افزار ریاضی MATLAB در این رابطه استفاده شد. به اختصار می‌توان گفت که این روش یک روش شبه نیوتنی تکراری است که به جستجوی بیشینه و کمینه تابع هدف می‌پردازد. در حقیقت تابع لاگرانژ که شامل تابع هدف و قیدها است، در هر آزمون به‌گونه‌ای تقریب زده می‌شود که قابل بیان به‌وسیله یک مسئله درجه دو با قابلیت حل سریع باشد. در این رابطه، تابع fmincon در بسته محاسباتی بهینه‌یابی MATLAB مورد استفاده قرار گرفت.

$$\text{Min or Max} \qquad \theta_{\alpha=\alpha^*} \qquad \alpha\in[0,1] \tag{۴}$$

$$\frac{Q_n}{S_0^{1/2}\left(\frac{D^2}{4}\right)^{2/3}\left(\frac{D^2}{8}\right)}-\left(1-\frac{\sin\theta_{\alpha=\alpha^*}}{\theta_{\alpha=\alpha^*}}\right)^{2/3}\left(\theta_{\alpha=\alpha^*}-\sin\theta_{\alpha=\alpha^*}\right)=0 \tag{۵}$$

$$Q_{\min_{\alpha=\alpha^*}} \le Q \le Q_{\max_{\alpha=\alpha^*}}$$

$$n_{\min_{\alpha=\alpha^*}} \le n \le n_{\max_{\alpha=\alpha^*}}$$

که در این روابط $Q_{\min_{\alpha=\alpha^*}}$ حداقل مقدار دبی و $Q_{\max_{\alpha=\alpha^*}}$، حداکثر مقدار دبی در سطح برش α^* هستند. به‌طور مشابه $n_{\min_{\alpha=\alpha^*}}$، حداقل مقدار ضریب زبری و $n_{\max_{\alpha=\alpha^*}}$، حداکثر مقدار ضریب زبری در سطح برش α^* می‌باشند.

با کمینه و بیشینه کردن متغیر وابسته تحت قیدهای داده شده با پارامترهای ورودی فازی، مقادیر کمینه و بیشینه متغیر θ برای سطح برش αی مورد نظر به‌دست می‌آید. دامنه بازه θ به‌عنوان اندازه عدم قطعیت متغیر خروجی، ناشی از عدم قطعیت در

[1] Extension Principle
[2] Approximate Methods of Extension
[3] Vertex Method
[4] Sequential Quadratic Programming Method

Archive of SID

www.SID.ir

پارامترهای ورودی قابل بررسی است. این روش برای ایجاد یک تابع عضویت کامل از عمق فازی جریان یا (θ)، در چندین برش αی مختلف تکرار می‌شود.

با استفاده از مقادیر به‌دست آمده برای θ می‌توان سرعت جریان را در سطح αی انتخابی تعیین کرد (رابطه۶). به‌طوری‌که V_{min} و V_{max} حدود پایین و بالای بازه سرعت در برش α^* هستند. محدوده دامنه تغییرات V بیانگر میزان عدم قطعیت در مقدار سرعت جریان در مجاری فاضلابرو است.

$$\left[V_{min}, V_{max}\right]_{\alpha=\alpha^*} = \frac{1}{\left[n_{max}, n_{min}\right]_{\alpha=\alpha^*}} S_0^{1/2} \left[\frac{D}{4}\left(1-\frac{\sin\left[\theta_{min}, \theta_{max}\right]_{\alpha=\alpha^*}}{\left[\theta_{min}, \theta_{max}\right]_{\alpha=\alpha^*}}\right)\right]^{2/3} \quad (۶)$$

۲-۴- فرایند تجزیه و تحلیل عدم قطعیت

با توجه به مطالبی که ارائه شد، می‌توان گامهای زیر را به‌منظور تجزیه و تحلیل عدم قطعیت پیاده نمود:

۱- بازه‌ی هریک از پارامترهای فازی ورودی در هر برش $\alpha=\alpha^*$ تعیین و عدد فازی مربوطه تولید شود. این پارامترها در یک شبکه فاضلاب می‌توانند پارامترهایی چون ضریب تبدیل آب به فاضلاب، نشتاب، آبهای نفوذی و یا ضریب زبری مانینگ در تحلیل هیدرولیکی شبکه باشند.

۲- بازه دبی جریان در هر برش بر اساس روابط و ضوابط توصیه شده توسط استانداردها (بر مبنای پارامترهای فازی ورودی) و یا اعمال نظرات خبرگان تعیین و به‌دنبال آن عدد فازی دبی جریان تولید شود.

۳- مقادیر بیشینه و کمینه θ (زاویه مرکزی جریان) در هر برش، محاسبه و اعداد فازی سرعت و عمق نسبی جریان تولید شوند.

۴- نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل عدم قطعیت طبق نظر تحلیل‌گر، بهره‌بردار و یا طراح سیستم در موضوعاتی چون تجزیه و تحلیل رفتار و یا ارزیابی عملکرد هیدرولیکی شبکه تحت دبی‌های مختلف از جریان و در زمان‌های مختلف به خدمت گرفته شوند.

۳- مطالعه موردی

بخشی از شبکه جمع‌آوری فاضلاب ناحیه جنوب غربی شهر مشهد، منطقه سرافرازان، به‌عنوان مورد مطالعاتی در نظر گرفته شد (شکل ۳). نام‌گذاری‌ها در شکل کاملاً قراردادی است و مسیر جریان را مشخص می‌کند. شبکه این منطقه از نوع شبکه مجزا بوده و برای مقاطع مجاری فاضلابرو از معمول‌ترین مقطع یعنی دایروی و جنس پلی‌اتیلن استفاده شده است. اقطار شبکه به‌صورت کلی در محدوده ۲۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر قرار دارند. انتخاب این شبکه به دلایل مختلف چون مجزا بودن آن و در دسترس و معلوم بودن نقشه‌ها و مشخصات طراحی آن صورت گرفت. در این تحقیق، مقادیر پارامترهای مورد نیاز طراحی شد و حدود و بازه مقادیر آنها با استفاده از مقادیر توصیه شده استانداردها، مراجع معتبر و نظرات افراد خبره تعیین گردید [۱۹ و ۲۰].

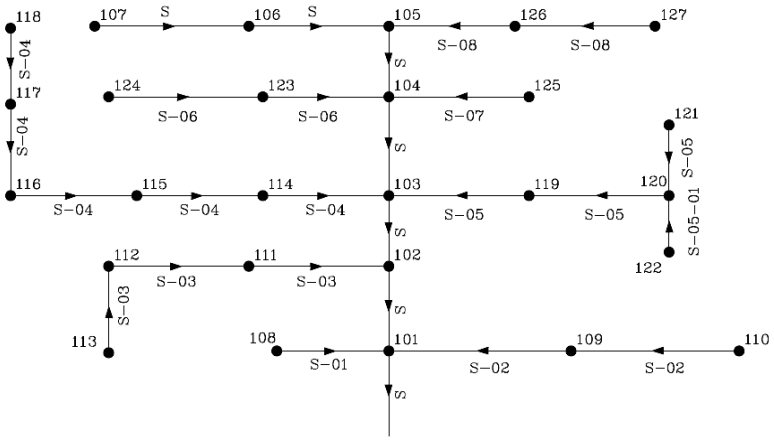
۳-۱- تخمین مقدار و بازه پارامترهای مؤثر در تعیین مقدار دبی فاضلاب

بر مبنای استانداردها دبی‌های مورد نظر برای هر یک از مجاری در طراحی و ارزیابی عملکرد هیدرولیکی شبکه‌های فاضلاب مجزا می‌توانند از روابط ۸،۷ و ۹ به‌دست آیند [۱۹].

$$Q_{max} = K_{max} Q_{ave} + \text{آبهای نفوذی و نشتاب} \quad (۷)$$

$$Q_{min} = K_{min} Q_{ave} + \text{نشتاب} \quad (۸)$$

$$Q_{sh} = K_{max} Q_{ave} + \text{نشتاب} \quad (۹)$$



شکل ۳- پلان شبکه جمع آوری فاضلاب مورد مطالعه

Archive of SID
www.SID.ir

که در این روابط
Q_{ave}، Q_{max}، Q_{min} و Q_{sh} به‌ترتیب دبی متوسط، دبی حداکثر، دبی حداقل و دبی شستشو در هر مقطع زمانی مدنظر هستند. K_{max} و K_{min} نیز به‌ترتیب ضرایب حداکثر و حداقل دبی ساعتی می‌باشند. Q_{ave} خود از حاصلضرب مصرف سرانه آب، ضریب تبدیل آب به فاضلاب، تعداد جمعیت تحت پوشش و ضریب بهره‌برداری به‌دست می‌آید. همچنین، ضرایب K_{max} و K_{min} از روابط ۱۰ و ۱۱ قابل محاسبه هستند که در آنها، P جمعیت برحسب هزار نفر است.

$$K_{max} = \frac{5}{P^{0.267}} \qquad (۱۰)$$

$$K_{min} = \frac{P^{0.167}}{5} \qquad (۱۱)$$

همانطور که پیشتر عنوان گردید، عدم قطعیت در مقادیر پارامترهای پایه ورودی باعث می‌شود تا دبی‌های جریان به‌صورت فازی محاسبه شوند که در نتیجه سرعت و عمق جریان نیز به‌عنوان متغیرهای وابسته به‌صورت اعداد فازی خواهند بود. پارامترهای پایه به‌صورت اعداد فازی مثلثی در نظر گرفته شدند و بازه هر یک از پارامترها در برش تکیه‌گاهی صفر با بررسی عوامل مختلف و مؤثر بر مقدار پارامتر اعم از روشهای محاسباتی، آمار و اطلاعات موجود، شرایط خاص جغرافیایی و محلی، وضع فرهنگی، شرایط آب و هوایی، توانمندی‌های اقتصادی، امکانات اجرایی و دستورالعمل و استانداردها، تعیین شد.

برآورد مصرف سرانه آب و دامنه‌های آن در هر زمان با استفاده از اطلاعات طراحی و روشهای متداول پیش‌بینی بر پایه بررسی آمار مصارف گذشته صورت گرفت. ضریب تبدیل آب به فاضلاب نیز با در نظر گرفتن عواملی نظیر درجه حرارت و اقلیم منطقه، مصارف فضای سبز و فرهنگ و عادات مردم به‌صورت فازی و بین دو مقدار ۷۰ و ۸۰ درصد مصرف سرانه کل منظور شد. به‌عنوان مثال، در مجموع در محاسبه Q_{ave} حاصلضرب مصرف سرانه در ضریب تبدیل یعنی مقدار سرانه تولید فاضلاب در انتهای دوره طرح بین دو مقدار ۱۸۲ و ۲۱۲ لیتر در روز به ازای هر نفر در برش تکیه‌گاهی صفر فرض گردید.

جمعیت منطقه مورد مطالعه به‌صورت عدد ثابت در نظر گرفته شد اما عدم قطعیت در برآورد مقادیر رشد جمعیت در ضریب بهره‌برداری لحاظ گردید و این ضریب با ۵± درصد اختلاف نسبت به مقدار استاندارد در تعیین جمعیت اعمال شد. به‌عنوان مثال، حاصلضرب مقادیر تراکم ناخالص در ضریب بهره‌برداری برای انتهای دوره طرح به‌صورت عدد فازی مثلثی، با برش تکیه‌گاهی صفر بین دو مقدار ۵۷۷/۵ و ۵۲۲/۵ نفر بر هکتار فرض شد.

آبهای نفوذی یعنی آن مقدار از رواناب که به‌صورت آب نفوذی وارد شبکه می‌شود، با توجه به سیستم‌های دفع آب باران داخل منازل و برنامه‌های بلند مدت برای جلوگیری از ورود آب باران به شبکه‌های جمع‌آوری مجزا برآورد شد. مقدار این ضریب بین ۱۰ تا ۲۰ درصد (با ممکن‌ترین مقدار ۱۵ درصد) مقدار متوسط فاضلاب در محاسبه دبی حداکثر در نظر گرفته شد.

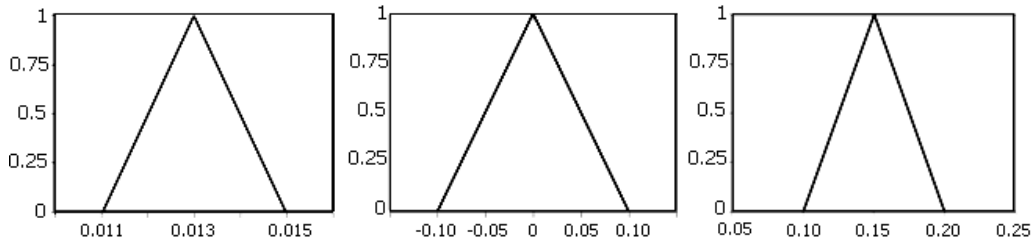
نشتاب عبارت است از مقدار آبهای زیرزمینی که از طریق اتصالات ضعیف، درزها و ترک‌های لوله‌ها، دیواره‌های منهول‌ها و خوردگی لوله از داخل و خارج وارد مجاری می‌گردد. علاوه بر نشتاب، امکان خروج آب از مجاری فاضلابرو نیز به‌صورت طبیعی و به‌ویژه در فصل تابستان و در مناطق خشک وجود دارد که بالطبع از نظر هیدرولیکی بر میزان دبی حداقل و دبی شستشو تأثیرگذار است. منظور نمودن درصدی از فاضلاب تولیدی متوسط به‌عنوان مقدار نشتاب، یک روش متداول در طراحی است. از اینرو در تحقیق حاضر، مقدار نشتاب در دبی حداقل با ممکن‌ترین مقدار یعنی صفر و با دامنه فازی ۱۰+ درصد و ۱۰- درصد و در دبی حداکثر بین دو مقدار ۱۰ تا ۲۰ درصد مقدار متوسط فاضلاب تولیدی در هر مقطع زمانی در نظر گرفته شد. شکلهای ۴- الف و ۴- ب اعداد فازی نشتاب را نشان می‌دهند.

یکی از عوامل مهم و نسبتاً پیچیده در تحلیل شبکه‌های فاضلاب، تعیین ضریب زبری مانینگ در رابطه ۲ است که به‌عوامل متعددی بستگی داشته و به‌دست آوردن مقدار دقیق آن به‌خصوص در فاضلابروها، کاری دشوار بوده و عمدتاً با تقریب همراه است. با توجه به فرضیات صورت گرفته در مورد تعیین مقدار ضریب زبری و اعداد ارائه شده در مطالعات شبکه جمع‌آوری شهر مشهد و توصیه انجمن مهندسی عمران آمریکا مبنی بر انتخاب ضریب زبری در بازه ۰/۰۱۱ تا ۰/۰۱۵ و ثابت شدن مقدار آن در مقدار ۰/۰۱۳ بعد از گذشت زمان و تجمع رسوبات در لوله، ضریب زبری مانینگ بین دو مقدار ۰/۰۱۱ و ۰/۰۱۵ و با ممکن‌ترین مقدار حدود ۰/۰۱۳ انتخاب گردید [۲۰]. در شکل ۴- ج عدد فازی مثلثی ضریب زبری نشان داده شده است.

می‌توان حاصل تقسیم مقدار (میانگین اختلاف حد بالا و پایین عدد فازی) بر مقدار (میانگین) آن در $\alpha=0$ را به‌عنوان یک معیار عدم قطعیت نسبی در نظر گرفت، که به آن ضریب عدم قطعیت گفته می‌شود. به‌عبارت دیگر این ضریب شاخصی از میزان نسبی تغییر هر پارامتر نسبت به مقدار استاندارد آن است و لذا برای نشتاب در حالت دبی حداقل و شستشو، که مقدار استاندارد آن صفر است، قابل تعریف نیست. در جدول ۱ ضریب عدم قطعیت پارامترهای ورودی در دوران مختلف بهره‌برداری ارائه شده است.

Archive of SID

www.SID.ir



(الف) (ب) (ج)

شکل ۴- تابع عضویت مثلثی الف) مقدار نشتاب در شرایط محاسبه دبی حداکثر
ب) مقدار نشتاب در شرایط محاسبه دبی حداقل و دبی شستشو و ج) ضریب زبری مانینگ

جدول ۱- ضریب عدم قطعیت منظور شده در تعریف عدد فازی هر یک از پارامترهای ورودی

پارامتر	ضریب تبدیل آب به فاضلاب	ضریب بهره برداری	آب‌های نفوذی	نشتاب (در دبی حداکثر)	ضریب زبری مانینگ
ضریب عدم قطعیت (٪)	۶/۷۰	۵/۰۰	۳۳/۳۳	۳۳/۳۳	۱۵/۳۸

جدول ۲- مشخصات مجاری شماره یک، دو و سه

شماره مجرا	نام مجرا	از آدم‌رو	تا آدم‌رو	مساحت تحت پوشش (هکتار)	طول (متر)	قطر (میلی‌متر)	شیب طولی (در هزار)
۱	S -05	۱۲۰	۱۱۹	۱/۳۵	۵۳	۲۰۰	۵
۲	S -04	۱۱۴	۱۰۳	۵/۶۸	۴۴	۲۵۰	۵
۳	S	۱۰۲	۱۰۱	۱۰/۹۳	۳۱	۳۰۰	۲۵

۴- نتایج و بحث

در این بخش، نتایج تجزیه و تحلیل عدم قطعیت یعنی چگونگی گسترش عدم قطعیتها در پارامترهای طراحی به دبی‌های طراحی و سپس از دبی‌ها به متغیرهای وابسته هیدرولیکی (عمق و سرعت) ارائه می‌شود. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل عدم قطعیت برای سه مجرای فاضلابرو به‌عنوان نمونه مورد بررسی قرار گرفته است. مشخصات این سه مجرا در جدول ۲ آمده است.

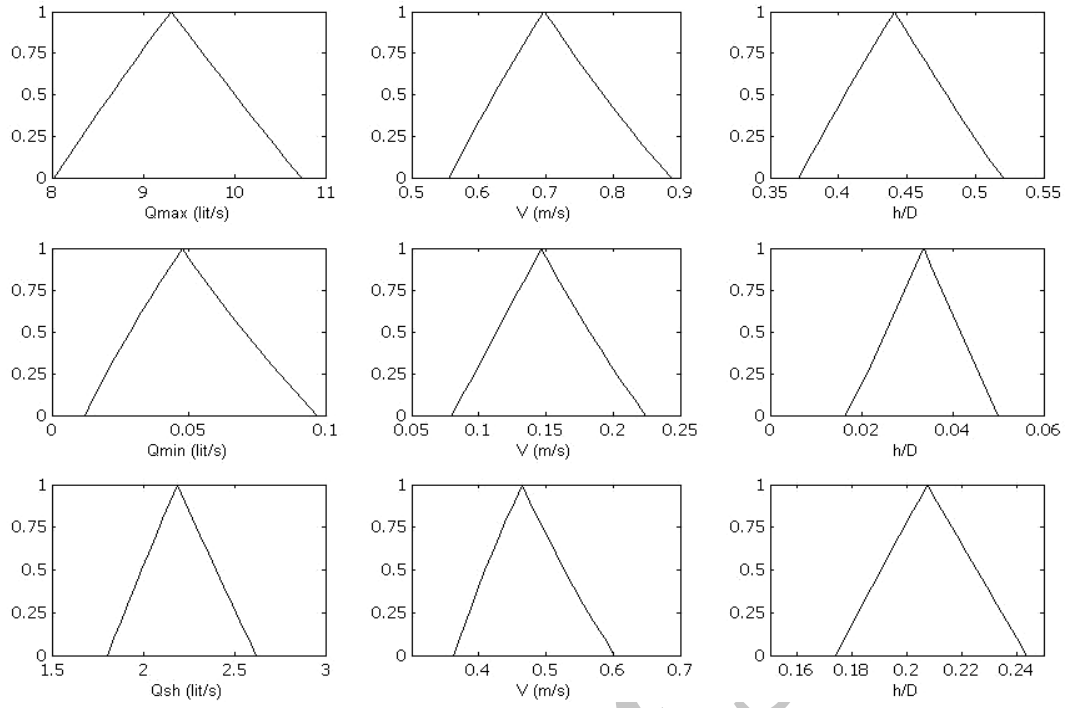
انتخاب مجاری فرعی و اصلی برای بحث در مورد عدم قطعیت متغیرها در شرایط عملکردی متفاوت صورت گرفته است. مقادیر متغیرهای شبکه در زمان‌های مختلف دوره طرح و به ازای جریان‌های متفاوت و پارامترهای قطعی و غیرقطعی تعریف شده، با استفاده از روابط ۴ تا ۶ به‌صورت فازی محاسبه شده‌اند.

در شکلهای ۵ تا ۷ مقادیر دبی، سرعت و نسبت عمق جریان به قطر مجرا (با نماد مرسوم h/D) به ازای دبی حداکثر در انتهای دوره طرح و دبی‌های حداقل و شستشو در ابتدای دوره طرح برای مجاری مختلف ارائه شده‌اند. ضریب عدم‌قطعیت، چنانکه قبلاً تعریف شد نیز برای این مجاری در جدولهای ۳ تا ۵ مشاهده می‌شوند.

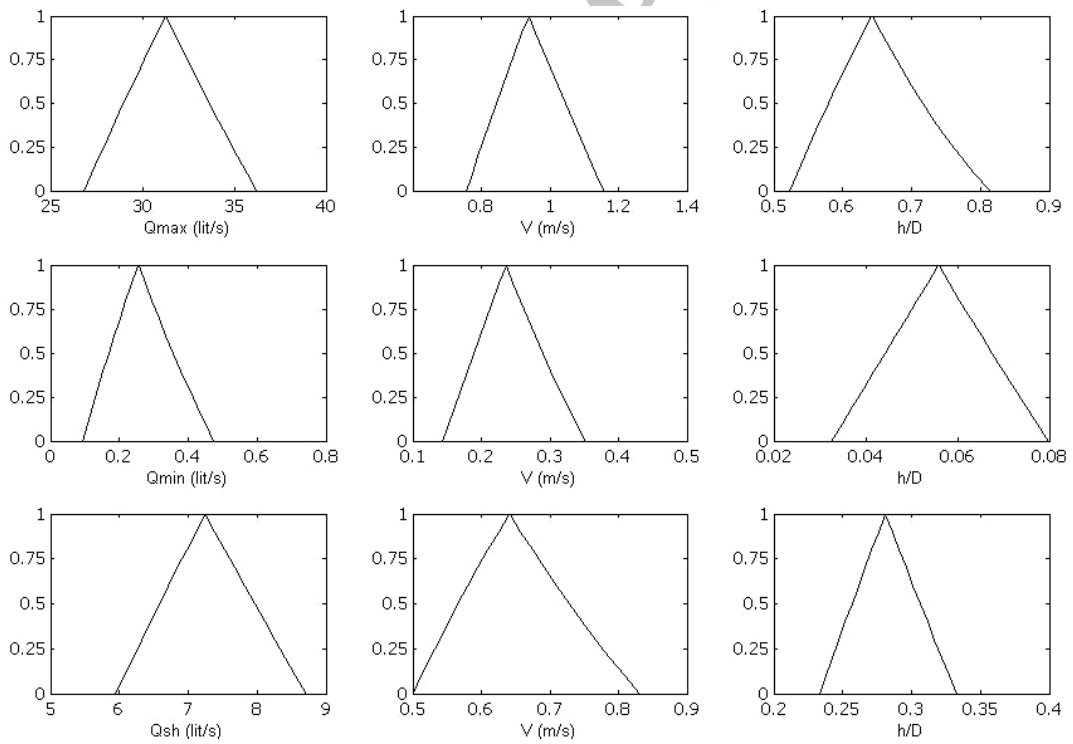
نمودارها و مقادیر ارائه شده برای هر متغیر نشان می‌دهند که چگونه عدم قطعیت در پارامترهای پایه ورودی به مدل در نتایج مدل گسترش یافته است. همان‌طور که در شکلهای ۵ تا ۷ نشان داده شده است، با توجه به غیرخطی بودن معادلات، توابع عضویت متغیرهای خروجی مدل دارای یک روند خطی نیستند. به‌عبارت دیگر، ترکیب عدم قطعیت پارامترهای ورودی و ساختار ریاضی معادلات، برایند غیر خطی در مقدار متغیرها را سبب شده‌اند. بنابراین، تعریف سایر کمیّتها به‌صورت فازی می‌تواند بر دامنه متغیرهای مدل اثرگذار باشد. نکته دیگر تقریباً خطی و متقارن بودن اعداد فازی خروجی است. بر این پایه می‌توان محاسبات را فقط برای مقدار استاندارد و تکیه‌گاه عدد فازی انجام داد و شکل تقریبی اعداد را به‌دست آورد.

نتایج کمّی قابل توجهی نیز از جدولهای ۳ تا ۵ قابل استخراج است. به‌عنوان نمونه، در مجرای شماره یک ضریب عدم قطعیت

Archive of SID
www.SID.ir

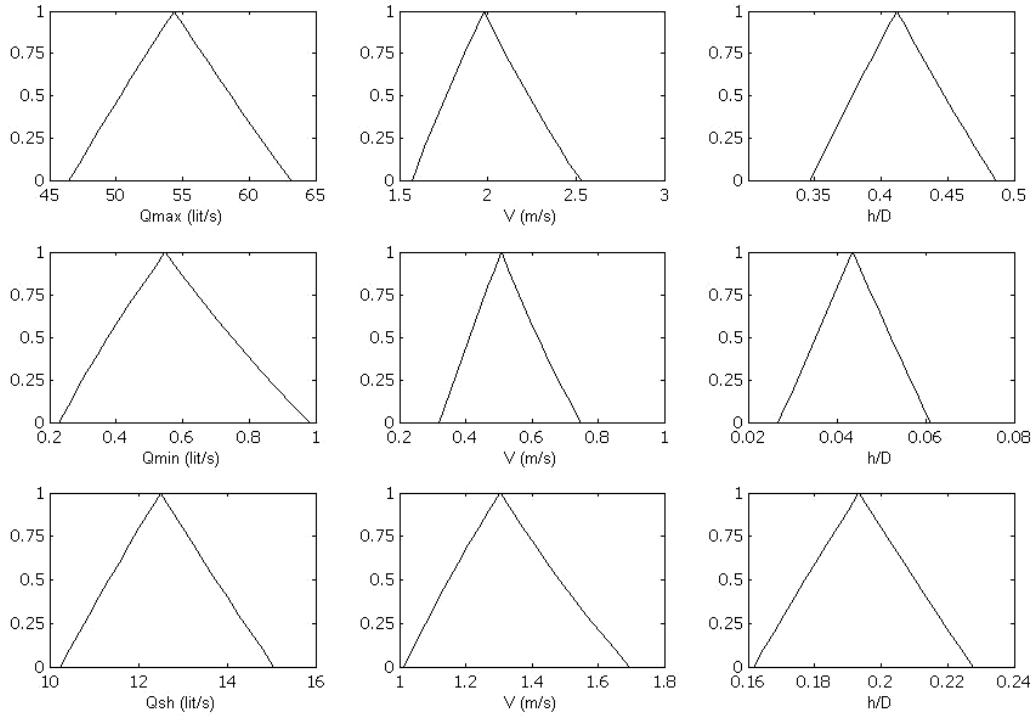


شکل ۵- مشخصات فازی جریان در مجرای شماره یک به ازای دبی حداکثر در انتهای دوره طرح (سال ۱۴۱۰) و دبی‌های حداقل و شستشو در ابتدای طرح (سال ۱۳۸۵)



شکل ۶- مشخصات فازی جریان در مجرای شماره دو به ازای دبی حداکثر در انتهای دوره طرح (سال ۱۴۱۰) و دبی‌های حداقل و شستشو در ابتدای طرح (سال ۱۳۸۵)

www.SID.ir



شکل ۷- مشخصات فازی جریان در مجرای شماره سه به ازای دبی حداکثر در انتهای دوره طرح (سال ۱۴۱۰) و دبی‌های حداقل و شستشو در ابتدای طرح (سال ۱۳۸۵)

جدول ۳- ضریب عدم قطعیت هر یک از متغیرها در مجاری برای دبی حداکثر در انتهای دوره طرح

شماره مجرا	Q_{max}	V_{max}	h/D_{max}
۱	۱۴/۰۲	۲۳/۶۱	۱۶/۸۵
۲	۱۴/۹۴	۲۱/۰۵	۲۱/۸۰
۳	۱۵/۲۰	۲۳/۶۵	۱۶/۶۷

جدول ۴- ضریب عدم قطعیت هر یک از متغیرها در مجاری برای دبی حداقل در ابتدای دوره طرح

شماره مجرا	Q_{min}	V_{min}	h/D_{min}
۱	۶۳/۶۴	۴۶/۶۷	۶۶/۶۷
۲	۶۴/۹۱	۴۲/۸۶	۴۵/۴۵
۳	۶۳/۳۳	۴۰/۱۹	۴۰/۰۰

جدول ۵- ضریب عدم قطعیت هر یک از متغیرها در مجاری برای دبی شستشو درابتدای دوره طرح

شماره مجرا	Q_{sh}	V_{sh}	h/D_{sh}
۱	۱۸/۲۸	۲۵/۰۰	۱۷/۰۷
۲	۱۹/۲۳	۲۶/۱۵	۱۷/۸۶
۳	۱۸/۸۶	۲۵/۴۸	۱۵/۷۹

Archive of SID

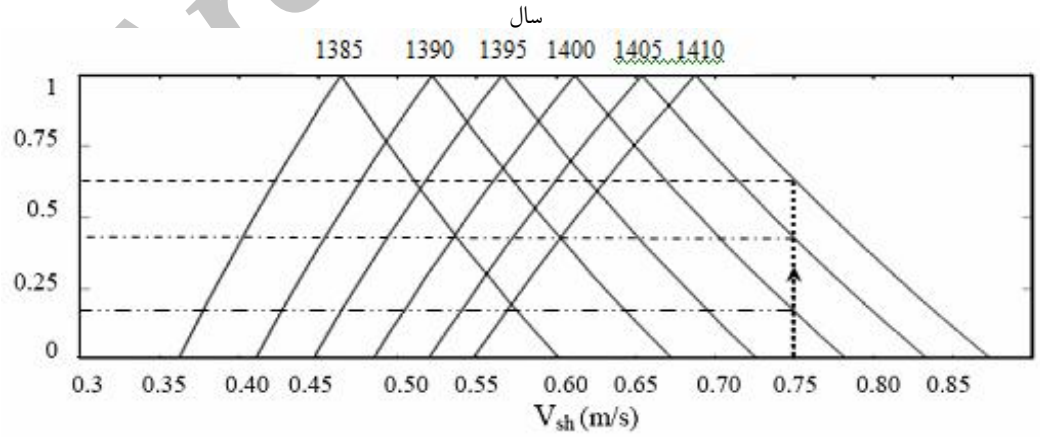
www.SID.ir

برای دبی حداکثر در انتهای طرح، تقریباً ۱۴درصد است. در همین دبی این معیار برای سرعت، در حدود ۲۴ درصد و برای عمق نسبی جریان در حدود ۱۷ درصد است. به‌طور مشابه، ضریب عدم قطعیت برای دبی حداقل جریان، سرعت و عمق نسبی جریان به‌ترتیب در حدود ۶۴، ۴۷ و ۶۷ درصد است. در مورد دبی شستشو در ابتدای طرح نیز، مقادیر برای دبی، سرعت و عمق نسبی جریان در مجرای شماره یک به‌ترتیب در حدود ۱۸، ۲۵ و ۱۷ درصد است. به‌صورت کلی، این نتایج نشان می‌دهد که در دبی‌های کمتر درصد نسبی عدم قطعیت بالاتر است. در شکلهای ۸ تا ۱۰ نیز مقادیر سرعت به ازای دبی شستشو (Q_{sh}) در سالهای مختلف بهره‌برداری برای مجاری تحت مطالعه به‌صورت اعداد فازی نشان داده شده‌اند. در این شکلها، روند صعودی سرعت به ازای دبی شستشو با توجه به افزایش مقدار دبی جریان در طول دوره طرح مشاهده می‌شود. با توجه به اهمیت کنترل سرعت شستشو در طراحی یک شبکه، محاسبه این متغیر به شکل فازی می‌تواند تصویر بهتری ارائه دهد و در تصمیم‌گیری طراح و بهره‌بردار برای تعیین برنامه زمانی و لزوم شستشوی مصنوعی در مجاری، مؤثر و راهگشا باشد. اگر درجه اطمینان به اطلاعات و داده‌های انتخابی پنجاه درصد باشد (α=0.5)، به‌عنوان مثال در مورد مجرای شماره دو با قاطعیت می‌توان اظهار داشت که از سالهای ۱۴۰۰ به بعد نیاز به شستوی مصنوعی نخواهد بود. به‌صورت کلی، مقایسه دامنه این تغییرات در سالهای مختلف برای هر مجرای فاضلابرو، می‌تواند اولویت شستشوی مصنوعی در هر مجرا را نشان دهد.

به‌منظور کمیّت بخشیدن به این موضوع می‌توان به این مطلب اشاره نمود که اگر تأمین سرعت شستشو (۰/۷۵ متر بر ثانیه) به‌عنوان یک شاخص عملکرد هیدرولیکی مجرا مد نظر قرار گیرد، می‌توان با توجه به شکلهای ۸ تا ۱۰ به موارد زیر به‌عنوان نتایج کاربردی اشاره نمود:

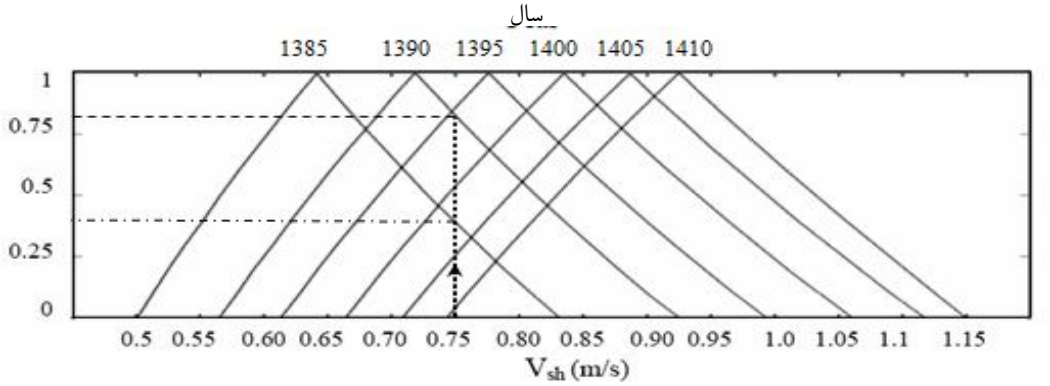
۱- شکل ۸ نشان می‌دهد که در سالهای ۱۳۸۵، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ مقدار شاخص عملکرد برای مجرای شماره ۱ در هیچ سطحی، امکان ندارد و برابر صفر است. در سالهای ۱۴۰۰، ۱۴۰۵و ۱۴۱۰ مقدار این شاخص به‌ترتیب در سطوح امکان ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶۵ به‌وقوع می‌پیوندد. با توجه به این اعداد مقدار این شاخص عملکرد در طول دوران طرح برابر ۰/۲۱ یعنی حاصل تقسیم ۱/۲۵ بر ۶ می‌باشد. با توجه به شکل ۹ در مجرای شماره ۲ مقدار شاخص عملکرد در دوره‌های ۵ ساله تا سال ۱۴۱۰ به‌ترتیب ۰/۴، ۰/۸، ۱، ۱، ۱ و ۱ با مقدار متوسطی در حدود ۰/۸۷ است. به‌طور مشابه با توجه به شکل ۱۰ برای مجرای ۳، مقدار شاخص عملکرد در سالهای مختلف برابر ۱ با متوسط کلی ۱ می‌باشد که امکان وقوع تأمین شستشو را به‌صورت قطعی نشان می‌دهد.

با توجه به حضور تمام عدم قطعیتهای منظور شده و اندرکنش آنها، مجرای شماره ۱ با مقدار شاخص متوسط ۰/۲۱، از امکان تأمین سرعت شستشوی کمتری نسبت به مجرای شماره ۲ (با مقدار شاخص متوسط ۰/۸۷) برخوردار است. این نتایج عددی می‌تواند در تصمیم‌گیری و رتبه‌بندی نیاز به شستشوی مجاری فاضلاب در هر مقطع زمانی و یا در کل دوره طرح از دیدگاه مدیریت، بهره‌برداری و یا حتی اصلاح طراحی مورد استفاده قرار گیرد. نکته اساسی این است که با روش مطرح شده امکان تأمین سرعت شستشو بر حسب درجه تعلق (سطح امکان) مطرح می‌شود و با نوع سفید و سیاه (سرعت شستشو تأمین می‌شود یا نمی‌شود)، که بر مبنای یک تحلیل کلاسیک حاصل می‌شود، متفاوت است. چنین روشی در شرایط عدم قطعیت در انتخاب پارامترها، مبانی و حتی ضوابط طراحی، معیارهای قوی‌تری را به‌منظور تحلیل عملکرد در اختیار کارشناسان قرار می‌دهد.

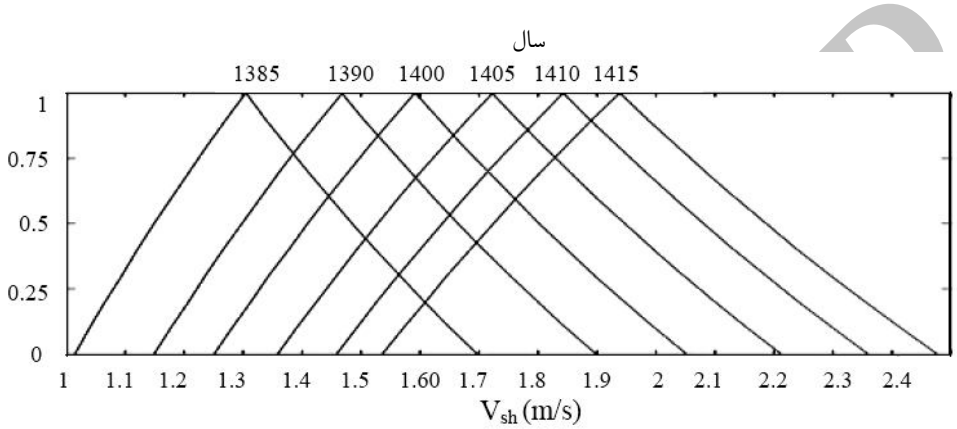


شکل ۸- سرعت شستشو در مجرای شماره یک برای سالهای مختلف بهره‌برداری شبکه

www.SID.ir
Archive of SID



شکل ۹- سرعت شستشو در مجرای شماره دو برای سالهای مختلف بهره‌برداری



شکل ۱۰- سرعت شستشو در مجرای شماره سه برای سالهای مختلف بهره‌برداری

۵- نتیجه‌گیری

در تجزیه و تحلیل کلاسیک، محاسبه مقادیر قطعی سرعت و عمق جریان در مجاری یک شبکه فاضلاب، به استفاده از مجموعه پارامترهای ورودی دقیق محدود است. اما در واقعیت پارامترهای ورودی به مدل طراحی به ندرت به‌صورت دقیق برآورد می‌شوند و در معرض عدم قطعیت فراوان می‌باشند. این موضوع نیاز به تجزیه و تحلیل عدم قطعیت در شبکه‌های جمع‌آوری فاضلاب را نمایان می‌سازد.

در این تحقیق، یک روش تجزیه و تحلیل عدم قطعیت بر پایه منطق فازی ارائه گردید و چگونگی گسترش عدم قطعیتها از پارامترهای ورودی پایه به دبی و نهایتاً متغیرهای عمق نسبی و سرعت جریان بررسی گردید. پارامترهای ورودی پایه به‌صورت اعداد فازی مثلثی و متقارن انتخاب شدند که بازه تکیه گاه این اعداد بر پایه مقادیر توصیه شده آیین‌نامه‌ای و اطلاعات و آمار موجود با انعطاف کامل تعیین شدند.

نتایج تجزیه و تحلیل نشان داد که اگر در رابطه مانینگ، دبی و ضریب زبری مانینگ به‌عنوان پارامترهای دارای عدم‌قطعیت قابل توجه باشند، متغیرهای وابسته عمق نسبی و سرعت نیز با یک ساختار نزدیک به عدد فازی مثلثی ظاهر می‌شوند. این امر ناشی از ساختار ریاضی رابطه مانینگ و چگونگی ترکیب عدم قطعیتها است. از این نتیجه می‌توان این استفاده را نمود که در صورتی که بازه عدم قطعیت فقط در تکیه‌گاه عدد فازی تعیین شود، می‌توان شکل تقریبی اعداد فازی مربوطه را تخمین زد و از حجم محاسبات به میزان زیادی کاست.

به‌عنوان یک نتیجه کلی می‌توان اظهار داشت که تجزیه و تحلیل عدم قطعیت نسبت به‌روشهای قطعی متداول، اطلاعات بیشتری از وضعیت سیستم در اختیار می‌گذارد. این اطلاعات می‌تواند در تشخیص قبول یا رد یک خط مشی برای طراحی، بهره‌برداری و ارزیابی عملکرد هیدرولیکی یک شبکه به‌کار گرفته شود. کاربر می‌تواند با توجه به ساختار فازی متغیرهای خروجی، میزان اطمینان خود را نسبت به دقت پارامترهای انتخابی در قالب هر برش دلخواه (مثلاً ۵۰ درصد) در مسئله در نظر بگیرد و بر این پایه به تحلیل نتایج بپردازد.

Archive

www.SID.ir

۶- مراجع

1- Tung, Y. K. (1996). "Uncertainty and reliability analysis." Mays, L. (Ed.) Chapter 7 in: *Water Resources Handbook*, McGraw-Hill, New York.

2- Tung, Y. K. (1996). "Uncertainty analysis in water resources engineering." Tickle, K.S., Goulter, I. C., Xu, C., Wasimi, S. A., and Bouchart, F. (Eds.), *In Stochastic Hydraulics 96*, *Proceeding of the 7th IAHR International Symposium*, Balkema, Rotterdam, Netherlands.

3- Tung, Y. K., and Yen, B. C. (1993). "Some progress in uncertainty analysis for hydraulic design." Yen, B. C. and Tung, Y. K., (Eds.). *In reliability and uncertainty analysis in hydraulic design (report)*, American Society of Civil Engineers.

4- Ayyub, B. M. (1998). *Uncertainty analysis in engineering and sciences: Fuzzy logic statistics, and neural network approach*, Kluwer Academic Publisher, USA.

5- Xu, C., and Goulter, I. C. (1996). "Uncertainty analysis of water distribution networks." Tickle, K. S., Goulter, I. C., Xu, C., Wasimi, S. A., and Bouchart, F. (Eds.), *In Stochastic hydraulics 96, Proceeding of the 7th IAHR International Symposium*, Balkema, Rotterdam, Netherlands.

6- Dou, C., Woldt, W., Bogardi, I., and Dahab, M. (1995). "Steady state groundwater flow simulation with imprecise parameters." *Water Resources Research*, 31(11), 2709-2719.

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

8- Tabesh, M., and Madani, S. (2006). "A performance indicator for wastewater collection systems." *Water Practice and Technology*, 1(4), 318-324.

9- Cardoso, M. A., Coelho, S. T., Praca, P., Brito, R. S., and Matos, J. (2005). "Technical performance assessment of urban sewer systems." *J. of Performance of Constructed Facilities*, 19(4), 339-346.

10- Cardoso, A., Prigiobbe,V., Giulianelli, M., Baer, E., De Bénédittis, J., and Coelho, S. T. (2005). "Assessing the impact of infiltration and exfiltration in sewer systems using performance indicators: Case studies of the APUSS project." *10th International Conf. on Urban Drainage*, Copenhagen, Danmark, 21-26.

11- Hosseini, S. M., and Ghasemi, A. (2012). "Hydraulic performance analysis of sewer systems with uncertain parameters." *J. of Hydro Informatics*, 14 (3), 682-696.

12- Zadeh, L. A. (1965). "Fuzzy sets." *Info. Control*, 8, 338-353.

13- Zimmermann, H. J. (1986). "Multi criteria decision making in crisp and fuzzy environment." Jones, A. (Eds.) *Fuzzy sets and application*, Reidel Publication Company, Boston.

14- Sugeno, M. (1985). *Industrial application of fuzzy control*, Elsevier Science Ltd., New York.

15- Kandel, A. (1992). *Fuzzy expert system*, CRC Press, U.K.

16- Oberguggenberg, M. (2005). "The mathematics of uncertainty." Fellin, W. Heimo, L. Oberguggenberg, M. and Vieider, R. (Eds.), Chapter 4 in: *Analyzing uncertainty in civil engineering*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

17- Kuaffmann, A. (1985). *Introduction to fuzzy arithmetic theory and applications*, Van Nostrand Reinhold, New York.

18- Ross, T. J. (1995). *Fuzzy logic with engineering applications*, McGraw-Hill, New York.

Archive of SID

www.SID.ir

19- Iranian Organization of Budget and Planning. (1992). *Standards and criteria for designing urban drainage and wastewater collection networks*, Report 3-118, Organization of Budget and Planning and Ministry of Energy of Iran. (In Persian)

20- ASCE. and WEF. (2007). *Gravity sanitary sewer design and construction*, ASCE Manual and Reports on Engineering Practice, No. 60, USA.

Archive of SID

www.SID.ir