



## تجزیه و تحلیل عدم قطعیت محاسبات پروفیل سطح آب در کانال‌ها با استفاده از روش حساب فازی

علی یوسفی<sup>۱</sup>، سید محمود حسینی<sup>۲</sup>، محمد رضا اکبرزاده توتونچی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دانشگاه فردوسی مشهد

۲ و ۳- استاد دانشگاه فردوسی مشهد

ali.yousefi@stu-mail.um.ac.ir

### خلاصه

در محاسبه پروفیل سطح آب در کانال‌ها، برخی از پارامترهای فیزیکی به صورت دقیق قابل اندازه‌گیری نمی‌باشند و دارای عدم قطعیت هستند. با استفاده از تجزیه و تحلیل عدم قطعیت می‌توان عدم قطعیت در خروجی مدل را که ناشی از عدم قطعیت در پارامترهای ورودی می‌باشد، محاسبه کرد. در این تحقیق، تجزیه و تحلیل عدم قطعیت محاسبه پروفیل سطح آب در کانال‌ها با در نظر گرفتن ضریب زبری مانینگ به عنوان تنها پارامتر ورودی دارای عدم قطعیت، با استفاده از روش حساب فازی انجام شده و نتایج آن با نتایج حاصل از یک روش ساده تخمین نقطه‌ای به عنوان یکی از روش‌های آماری، مقایسه شده است. نتایج حاصله از دو روش تفاوت محسوسی با یکدیگر ندارند، اما حجم محاسبات انجام شده در روش حساب فازی بسیار کمتر و شیوه محاسباتی آن نیز ساده‌تر از روش آماری می‌باشد. همچنین، از دیدگاه کاربردی نیز ماهیت ضریب زبری مانینگ در کانال‌های مصنوعی به گونه‌ای است که برآورد آن با تئوری فازی هماهنگ‌تر است که استفاده از روش حساب فازی را برای تجزیه و تحلیل عدم قطعیت توجیه می‌کند.

کلمات کلیدی: پروفیل سطح آب، تجزیه و تحلیل عدم قطعیت، روش حساب فازی، روش تخمین نقطه‌ای.

### ۱. مقدمه

همانطور که نمی‌توان از عدم قطعیت‌های موجود در زندگی دوری جست، در پروژه‌های مهندسی نیز نمی‌توان از عدم قطعیت‌ها صرف‌نظر کرد. عدم قطعیت خروجی یک مدل به دلیل عدم قطعیت در ساختار ریاضی یک مدل و یا به دلیل عدم قطعیت موجود در پارامترهای ورودی به آن مدل می‌باشد. هدف از تجزیه و تحلیل عدم قطعیت ناشی از پارامترهای ورودی، تعیین عدم قطعیت خروجی مدل با اعمال عدم قطعیت پارامترهای ورودی به آن مدل می‌باشد. تجزیه و تحلیل عدم قطعیت یک چهارچوب منظم و سیستماتیک برای کمی کردن عدم قطعیت‌های خروجی مدل تهیه می‌کند و با استفاده از آن می‌توان تأثیر پارامترهای ورودی را بر عدم قطعیت کلی خروجی مدل تعیین کرد [۱].

در این چهارچوب، روش‌های مختلفی برای تجزیه و تحلیل عدم قطعیت وجود دارند که یکی از این روش‌ها، روش‌های آماری می‌باشند که در بسیاری از مسایل هیدرولیکی مورد استفاده قرار گرفته‌اند که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. در زمینه تجزیه و تحلیل عدم قطعیت سیستم‌های توزیع آب می‌توان به کارهای Kang و Lansey در سال ۲۰۰۸ [۲]، Kang و همکاران در سال ۲۰۰۹ [۳] و Jankovic و همکاران در سال ۲۰۰۰ [۴] اشاره کرد. همچنین، در زمینه تجزیه و تحلیل عدم قطعیت مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی می‌توان به کارهای Crystal و همکاران در سال ۲۰۱۰ [۵]، Ye و همکاران در سال ۲۰۰۹ [۶] و Kunstmann و همکاران در سال ۲۰۰۲ [۷] اشاره کرد. در این تحقیق‌ها، از روش‌های آماری شبیه‌سازی مونت-کارلو، شبیه‌سازی مونت کارلو با نمونه‌گیری مربع لاتین و تخمین مرتبه اول برای تجزیه و تحلیل عدم قطعیت مدل استفاده شده است. روش‌های آماری

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری مهندسی هیدرولیک، گروه مهندسی عمران

<sup>۲</sup> استاد گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی

<sup>۳</sup> استاد گروه مهندسی برق، دانشکده مهندسی



تجزیه و تحلیل عدم قطعیت نیازمند حجم محاسباتی زیادی می‌باشند و در برخی موارد که مدل پیچیده است، شیوه محاسباتی برخی از روش‌ها نیز سخت می‌باشد.

یکی دیگر از روش‌های تجزیه و تحلیل عدم قطعیت، روش‌های حساب فازی می‌باشند که بر پایه تئوری فازی بنا شده‌اند. در مسایلی که پارامترهای ورودی مدل قابل اندازه‌گیری مستقیم نبوده و یا تعداد داده‌ها برای محاسبه خصوصیات آماری کم باشد، پارامترهای ورودی به صورت متغیرهای فازی تعریف شده و می‌توان از روش‌های حساب فازی برای تجزیه و تحلیل عدم قطعیت مدل استفاده نمود. این روش‌ها نیز در مسایل هیدرولیکی کاربرد دارند که چند نمونه از آن‌ها در ادامه ذکر می‌شوند. Revelli و Ridolfi در سال ۲۰۰۲ [۸]، Ivetic و Branislavljevic در سال ۲۰۰۶ [۹] و Bhave و Gupta در سال ۲۰۰۷ [۱۰] به تجزیه و تحلیل عدم قطعیت سیستم‌های توزیع آب با استفاده از روش حساب فازی پرداخته‌اند. همچنین، Abebe و همکاران در سال ۲۰۰۰ [۱۱]، Kumar و Schuhmacher در سال ۲۰۰۵ [۱۲]، Ganoulis در سال ۲۰۰۶ [۱۳] و Mpimpas و همکاران در سال ۲۰۰۸ [۱۴] به تجزیه و تحلیل عدم قطعیت آلودگی جریان در رودخانه‌ها و آب‌های زیرزمینی پرداخته‌اند. در تحقیق حاضر، از یک روش حساب فازی برای تجزیه و تحلیل عدم قطعیت محاسبه پروفیل سطح آب در یک کانال، که توسط Zoppou و Li در سال ۱۹۹۳ مورد بررسی قرار گرفته، استفاده شده که در آن تنها عدم قطعیت ناشی از زبری کانال در نظر گرفته شده است. در تحقیق Zoppou و Li از یک روش آماری تخمین نقطه‌ای برای تجزیه و تحلیل عدم قطعیت تعیین پروفیل سطح آب در این کانال استفاده شده است و پارامتر ورودی دارای عدم قطعیت ضریب زبری مانینگ می‌باشد [۱۵]. در تحقیق حاضر، با استفاده از خصوصیات آماری پارامتر ورودی دارای عدم قطعیت و اصل تبدیل توابع توزیع و توابع امکان، متغیر فازی ورودی تعریف شده و با اعمال روش حساب فازی، تجزیه و تحلیل عدم قطعیت انجام و نتایج آن با نتایج روش آماری مقایسه شده‌اند.

## ۲. مواد و روش‌ها

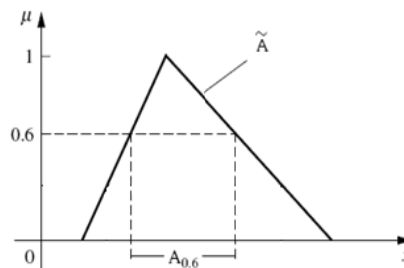
در این بخش، ابتدا روش‌های حساب فازی به همراه مفاهیمی از تئوری فازی ارائه می‌شوند. سپس، مسئله مورد مطالعه و روش آماری مورد استفاده در تحقیق Zoppou و Li بررسی شده و در ادامه، نحوه تولید داده‌های ورودی برای روش حساب فازی در این مسئله توضیح داده می‌شود.

### ۲-۱. روش‌های حساب فازی

تئوری فازی به وسیله پروفیسور لطفی زاده در سال ۱۹۶۵ معرفی گردید [۱۶]. تئوری فازی دارای زیرمجموعه‌هایی مانند منطق فازی و استدلال تقریبی، مدل‌سازی فازی و شناخت الگوی فازی، کنترل فازی، و حساب فازی می‌باشد. از حساب فازی برای اعمال عدم قطعیت در معادلات حاکم بر پدیده‌های مختلف استفاده می‌شود [۱۷]. در روش‌های حساب فازی، پارامترهای ورودی دارای عدم قطعیت توسط اعداد فازی بیان می‌شوند که این اعداد به وسیله توابع عضویت تعریف می‌شوند. یک تابع عضویت، میزان درجه عضویت المان‌های مختلف را به یک مجموعه نشان می‌دهد. اعداد فازی انواع مختلفی دارند که عدد فازی مثلثی پرکاربردترین آن‌ها می‌باشد. برش  $\alpha$  در اعداد فازی، یکی از مفاهیمی است که در روش‌های حساب فازی کاربرد فراوانی دارد. مجموعه برش  $\alpha$  ( $A_\alpha$ ) در عدد فازی  $\tilde{A}$  توسط رابطه زیر تعریف می‌شود [۱۷]:

$$A_\alpha = \{x | \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha\} \quad (1)$$

که در آن  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  میزان درجه عضویت  $x$  به عدد فازی  $\tilde{A}$  می‌باشد. در شکل ۱، یک عدد فازی مثلثی به همراه برش  $\alpha = 0.6$  آن نشان داده شده است.



شکل ۱- عدد فازی مثلثی  $\tilde{A}$  و برش  $\alpha = 0.6$  آن



برای اعمال پارامترهای فازی ورودی به مدل و به دست آوردن عدم قطعیت خروجی مدل به صورت اعداد فازی، از روش های حساب فازی استفاده می شود. در روش های حساب فازی برای هر برش از عدد فازی ورودی تحلیل صورت می گیرد و مقادیر ماکزیمم و مینیمم خروجی مدل محاسبه می شود و با تجمیع نتایج برش های مختلف، عدد فازی خروجی به دست می آید. سپس، با استفاده از رابطه بین مفهوم برش  $\alpha$  در اعداد فازی و فاصله اطمینان در توابع توزیع که در بخش بعد توضیح داده می شود، عدم قطعیت خروجی محاسبه می شود. روش های حساب فازی عبارتند از: ۱- اصل توسعه، ۲- روش های تقریبی توسعه و ۳- روش بهینه سازی مقید. روش اصل توسعه برای متغیرهای ورودی گسسته مورد استفاده قرار می گیرد درحالی که دو روش دیگر برای متغیرهای ورودی پیوسته کاربرد دارند. روش های تقریبی توسعه برای مدل هایی که پیچیده نیستند و به دست آوردن مقادیر ماکزیمم و مینیمم خروجی مدل در هر برش از متغیرهای فازی ورودی، آسان می باشد، مورد استفاده قرار می گیرند. در صورتیکه به دست آوردن این مقادیر ماکزیمم و مینیمم مشکل باشد، از روش بهینه سازی مقید استفاده می شود. به دلیل اینکه در این تحقیق از روش ورتکس که یک روش تقریبی توسعه می باشد، استفاده شده است. در ادامه این روش را توضیح می دهیم.

روش ورتکس بر پایه مفهوم برش  $\alpha$  و تحلیل بازه ای استاندارد می باشد. نگاشت  $y = f(x)$  در نظر گرفته می شود به طوریکه پارامتر ورودی آن توسط عدد فازی  $\tilde{A}$  و خروجی توسط عدد فازی  $\tilde{B}$  تعریف می شوند. هنگامیکه تابع  $f(x)$  در بازه  $A_\alpha = [a, b]$  پیوسته و یکنواخت باشد، بازه  $\tilde{B}$  در برش  $\alpha$  توسط رابطه زیر به دست می آید [۱۷]:

$$B_\alpha = f(A_\alpha) = [\min(f(a), f(b)), \max(f(a), f(b))] \quad (2)$$

در این روش، به دلیل پیوستگی و یکنواختی تابع در بازه ی مورد نظر، مقادیر ماکزیمم و مینیمم خروجی تابع در نقاط ابتدایی و انتهایی بازه به وجود می آید و به دلیل اینکه در مسئله مورد مطالعه نیز این شرایط برقرار است، از روش ورتکس استفاده می شود.

## ۲-۲. مسئله مورد مطالعه و روش آماری

در این تحقیق، کانال مورد مطالعه در تحقیق Zoppou و Li [۱۵] مورد بررسی قرار گرفته است. کانال بتنی ذوزنقه ای دارای عرض ۶/۱ متر و شیب کناری (قائم):۱ (افقی):۱/۵، می باشد. شیب کف کانال ۰/۰۰۱ و دبی جریان ۲۸/۳ مترمکعب بر ثانیه، می باشند. به دلیل ریزش آزاد در انتهای کانال، در این نقطه عمق بحرانی خواهیم داشت که برابر با ۱/۱۷ متر می باشد. ضریب زبری مانینگ به عنوان تنها پارامتر دارای عدم قطعیت در نظر گرفته شده و برای محاسبه پروفیل سطح آب از روش گام به گام استاندارد [۱۸] استفاده شده است. مقادیر میانگین و ضریب تغییرات ضریب زبری مانینگ به ترتیب ۰/۲۵ و ۱۵٪ در نظر گرفته شده اند [۱۵]. Zoppou و Li [۱۵] برای تجزیه و تحلیل عدم قطعیت پروفیل سطح آب در کانال مذکور از یک روش تخمین نقطه ای استفاده کرده اند. با استفاده از این روش، میانگین و واریانس متغیر خروجی با استفاده از میانگین و واریانس متغیر ورودی دارای عدم قطعیت که در اینجا ضریب زبری مانینگ می باشد، به دست می آیند. این روش از نظر دقت مشابه روش تخمین دو نقطه ای روزنبلات می باشد. اما برای بیش از ۳ متغیر تصادفی ورودی، نسبت به روش روزنبلات به حجم محاسبات کمتری نیاز دارد [۱۵]. در ادامه این روش به صورت مختصر توضیح داده می شود.

اگر  $f(X)$  یک چند جمله ای باشد، می توان آن را به صورت یک سری تیلور نوشت. سپس، با گرفتن امید ریاضی از سری تیلور به رابطه زیر می رسم:

$$E[f(X)] = f(\mu) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k f_{ii}'' \sigma_i^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i}^k f_{ij}'' \sigma_i \sigma_j \rho_{ij} \quad (3)$$

که در آن،  $\mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k)$ ،  $\mu_i$  مقدار میانگین  $X_i$ ،  $f_i' = \partial f / \partial x_i$ ،  $f_{ij}'' = \partial^2 f / \partial x_i \partial x_j$ ،  $\sigma_i$  انحراف استاندارد  $X_i$  و  $\rho_{ij}$  ضریب همبستگی بین  $X_i$  و  $X_j$  می باشند. مشتق های مطرح شده در رابطه (۳) را می توان با استفاده از عبارات تفاضل محدود به شکل زیر به دست آورد:

$$f_{ii}'' = \frac{f_i^+ - 2f(\mu) + f_i^-}{\sigma_i^2} \quad (4)$$

$$f_{ij}'' = \frac{f_{ij}^{++} - f_i^+ - f_j^+ + f(\mu)}{\sigma_i \sigma_j} \quad (5)$$

که در آن ها،



$$f_i^{\pm} = f(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_i \pm \sigma_i, \dots, \mu_k) \quad (6)$$

$$f_{ij}^{++} = f(\mu_1, \dots, \mu_i + \sigma_i, \dots, \mu_j + \sigma_j, \dots, \mu_k) \quad (7)$$

با جایگزینی روابط (۴) و (۵) در رابطه (۳) و ساده‌سازی به رابطه زیر خواهیم رسید:

$$E[f(X)] = (1 - k + \frac{\rho}{2}) f(\mu) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k [(1 - 2\rho_i) f_i^+ + f_i^-] + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=1}^k f_{ij}^{++} \rho_{ij} \quad (8)$$

که در آن،

$$\rho_i = \sum_{j=1}^k \rho_{ij} \quad (9)$$

$$\rho = \sum_{i=1}^k \rho_i \quad (10)$$

واریانس  $f(X)$ ، با قرار دادن  $[f(X) - E[f(X)]]^2$  به جای  $f(X)$  در رابطه (۸) به دست می‌آید. در این مسئله،  $Y = f(X)$  پروفیل سطح آب در کانال مربوطه را نشان می‌دهد و  $X$  می‌تواند هر پارامتر ورودی به مدل، که به صورت تصادفی تعریف شده است، باشد که در اینجا ضریب زبری مانینگ می‌باشد. کانال به ۳۰ مقطع تقسیم شده و مقدار ضریب زبری مانینگ در هر مقطع به صورت یک متغیر تصادفی مجزا رفتار می‌کند. بنابراین، در مجموع ۳۱ متغیر تصادفی خواهیم داشت [۱۵]. با توجه به اینکه کانال بتنی بوده و تغییرات ضریب زبری مانینگ در طول کانال کم می‌باشد، ضریب همبستگی برابر ۱ در نظر گرفته می‌شود.

### ۳-۲. تولید داده‌های فازی ورودی

با توجه به استفاده از روش حساب فازی در تحقیق حاضر، در این بخش نحوه تبدیل ضریب زبری مانینگ از یک متغیر تصادفی به یک متغیر فازی تشریح می‌شود. دلیل استفاده از این تبدیل در تحقیق حاضر، مقایسه نتایج روش آماری با نتایج روش حساب فازی در یک فضای کاملاً یکسان می‌باشد. برای ایجاد تابع عضویت ضریب زبری مانینگ با استفاده از خصوصیات آماری آن، از اصل تبدیل تابع عضویت و تابع توزیع استفاده می‌شود که رابطه آن به صورت زیر تعریف می‌شود [۱۹]:

$$\mu(x) = \mu(y') = \int_{-\infty}^x p(y) dy + \int_{y'}^{+\infty} p(y) dy \quad (11)$$

که در آن،  $p(y)$  تابع توزیع احتمال و  $\mu(x)$  میزان درجه عضویت می‌باشد و  $y'$  توسط رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$y' = \max \{ y | p(y) \geq p(x) \} \quad (12)$$

از روابط (۱۱) و (۱۲) نتیجه گرفته می‌شود که برش  $\alpha$  در اعداد فازی معادل سطح اطمینان  $(1 - \alpha)\%$  در توابع توزیع می‌باشد. در نتیجه با استفاده از این روابط و خصوصیات آماری ضریب زبری مانینگ، می‌توان تابع عضویت آن را تشکیل داد که در ادامه توضیح داده می‌شود.

تابع توزیع احتمال ضریب مانینگ با توجه به تحقیقات گذشته [۲۰، ۲۱]، نرمال در نظر گرفته شده است. با توجه به رابطه بین برش  $\alpha$  و فاصله اطمینان، و استفاده از جداول مربوط به توزیع نرمال، تابع عضویت پارامتر مربوطه تولید می‌شود. در جدول ۱ مقادیر ماکزیمم و مینیمم ضریب زبری مانینگ در هر برش  $\alpha$ ، محاسبه شده و تابع عضویت آن در شکل ۲ ارائه شده است. در جدول ۱،  $P(Z \leq z)$  تابع توزیع نرمال استاندارد و  $Z_{1-\alpha/2}$  مقدار متغیر نرمال استاندارد در احتمال  $(1 - \frac{\alpha}{2})\%$  می‌باشند که از جدول توزیع نرمال برداشت شده‌اند. مقادیر  $n_{\max}$  و  $n_{\min}$  از روابط (۱۳) و (۱۴) به دست می‌آیند.

$$n_{\min} = \mu + \sigma Z \quad (13)$$



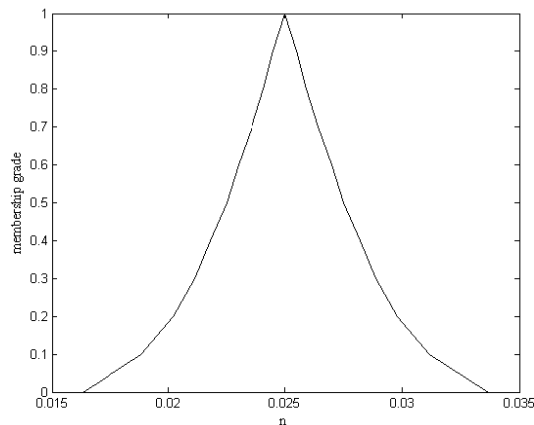
$$n_{\max} = \mu - \sigma Z$$

(۱۴)

که در آن‌ها،  $\mu$  میانگین و  $\sigma$  انحراف معیار می‌باشند که به ترتیب مقادیر آن‌ها ۰/۰۲۵ و ۰/۰۰۳۷۵ می‌باشند.

جدول ۱- مقادیر ماکزیمم و مینیمم تابع عضویت ضریب زبری مانینگ در برش‌های مختلف

$n_{\max}$	$n_{\min}$	$Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$	$P(Z \leq z)$	فاصله اطمینان (1 - $\alpha$ ) %	برش $\alpha$
۰/۰۲۵۰	۰/۰۲۵۰	۰	۰/۵۰	۰	۱
۰/۰۲۵۵	۰/۰۲۴۵	۰/۱۲۶	۰/۵۵	۰/۱	۰/۹
۰/۰۲۵۹	۰/۰۲۴۱	۰/۲۵۲	۰/۶۰	۰/۲	۰/۸
۰/۰۲۶۴	۰/۰۲۳۶	۰/۳۸۵	۰/۶۵	۰/۳	۰/۷
۰/۰۲۷۰	۰/۰۲۳۰	۰/۵۲۵	۰/۷۰	۰/۴	۰/۶
۰/۰۲۷۵	۰/۰۲۲۵	۰/۶۷۵	۰/۷۵	۰/۵	۰/۵
۰/۰۲۸۲	۰/۰۲۱۸	۰/۸۴۱	۰/۸۰	۰/۶	۰/۴
۰/۰۲۸۹	۰/۰۲۱۱	۱/۰۳۷	۰/۸۵	۰/۷	۰/۳
۰/۰۲۹۸	۰/۰۲۰۲	۱/۲۸۱	۰/۹۰	۰/۸	۰/۲
۰/۰۳۱۲	۰/۰۱۸۸	۱/۶۴۵	۰/۹۵	۰/۹	۰/۱
۰/۰۳۳۷	۰/۰۱۶۳	۲/۳۳۰	۰/۹۹	۰/۹۸	۰

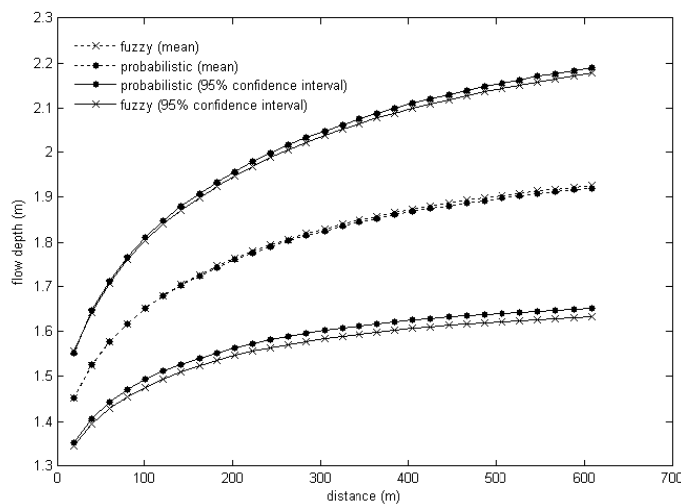


شکل ۲- تابع عضویت ضریب زبری مانینگ

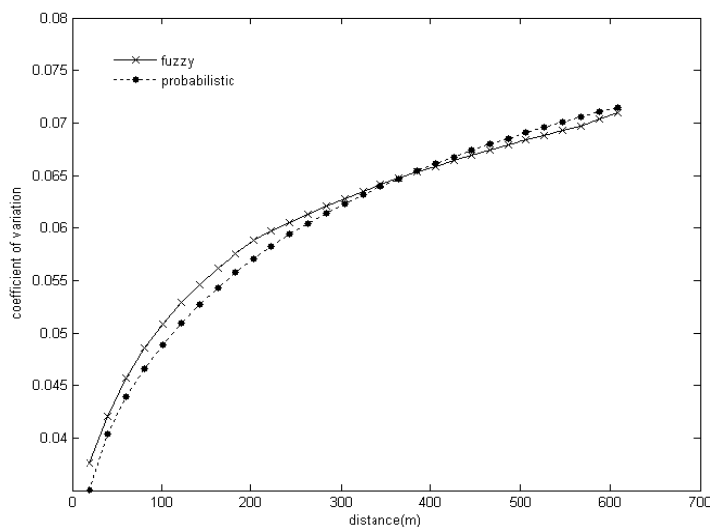
بعد از اعمال ضریب زبری مانینگ به شکل عدد فازی در محاسبه پروفیل سطح آب در کانال مربوطه، در هر برش  $\alpha$  مقادیر مینیمم و ماکزیمم عمق آب به دست می‌آیند. با توجه به روند مشخص تغییرات عمق آب بر اثر تغییر ضریب زبری مانینگ، نیازی به بهینه‌سازی برای محاسبه مقادیر ماکزیمم و مینیمم نیست و می‌توان با یکی از روش‌های تقریبی توسعه این کار را انجام داد که در اینجا از روش ورتکس استفاده شده است. در نتیجه، در هر مکان از کانال، مقدار عمق آب به صورت یک تابع عضویت به دست می‌آید که مقدار با درجه عضویت یک، معادل مقدار میانگین می‌باشد. فاصله اطمینان هم با توجه به رابطه سطح اطمینان و برش  $\alpha$  به دست می‌آید.

### ۳. نتایج و بحث

در این قسمت، مقادیر میانگین عمق آب در طول کانال حاصل از روش حساب فازی با مقادیر حاصل از روش آماری ارائه شده توسط Li و Zoppou مقایسه می شود. همچنین، برای مقایسه عدم قطعیت حاصل از دو روش، از ضریب تغییرات استفاده می شود. ضریب تغییرات از تقسیم انحراف معیار بر میانگین به دست می آید. برای تعریف ضریب تغییرات در روش حساب فازی از رابطه بین برش  $\alpha$  و فاصله اطمینان استفاده می شود. با توجه به توزیع نرمال ضریب زبری مانینگ، ضریب تغییرات در روش حساب فازی از تقسیم نصف بازه حاصل از برش  $0.32/0$  تابع عضویت ضریب زبری مانینگ بر مقدار این پارامتر با بیشترین درجه عضویت، به دست می آید. نتایج در شکل های ۳ و ۴ ارائه شده اند. در شکل ۳، پروفیل سطح آب با سطح اطمینان ۹۵٪ که توسط روش حساب فازی و روش آماری محاسبه شده اند، نشان داده شده است. برای رسم سطح اطمینان ۹۵٪، پروفیل سطح آب، برای عمق آب در طول کانال توزیع نرمال در نظر گرفته شده است. در شکل ۴، ضریب تغییرات عمق آب در طول کانال که معیار عدم قطعیت در نظر گرفته شده، توسط دو روش مذکور نشان داده شده اند.



شکل ۳- فاصله اطمینان ۹۵٪ برای پروفیل سطح آب کانال، ترسیم شده نسبت به انتهای کانال، در روش حساب فازی و روش آماری



شکل ۴- ضریب تغییرات عمق آب بر حسب فاصله از انتهای کانال در روش حساب فازی و روش آماری



همانطور که در شکل های ۳ و ۴ مشاهده می شود، نتایج حاصل از روش حساب فازی تفاوت چندانی با روش آماری ندارد و هر دو روش، عدم قطعیت یکسانی را نتیجه می دهند. تفاوت اندک نتایج، به دلیل تقریبی بودن روش آماری می باشد اما در روند محاسبات، روش حساب فازی نسبت به تحلیل آماری دو مزیت دارد که عبارتند از:

۱- حجم محاسبات در روش حساب فازی به مراتب کمتر از روش آماری می باشد. در روش آماری برای تجزیه و تحلیل عدم قطعیت، بایستی ۴۶۵ پروفیل سطح آب محاسبه شود درحالی که در روش فازی تنها با محاسبه ۳ پروفیل سطح آب می توان عدم قطعیت عمق آب را محاسبه کرد. در روش حساب فازی تنها بایستی برای تبدیل توزیع احتمالی به تابع عضویت از روابط (۳) و (۴)، استفاده کرد که البته عملیات چندان دشوار و وقت گیری نمی باشد.

۲- روش آماری مورد استفاده و یا هر روش آماری دیگر نیازمند عملیات ریاضی نسبتاً دشواری می باشد که بایستی در کنار روش حل هیدرولیکی مسئله مورد استفاده قرار گیرند. اما در روش حساب فازی نیاز به عملیات ریاضی پیچیده ای نمی باشد و تنها بایستی به حل هیدرولیکی مسئله پرداخت. در نتیجه، مزیت دوم روش فازی را می توان سادگی محاسبات برشمرد.

#### ۴. نتیجه گیری کلی

روش های آماری تجزیه و تحلیل عدم قطعیت نیازمند حجم محاسباتی بالایی می باشند و در برخی موارد شیوه محاسباتی آن ها نیز پیچیده می باشد اما روش های حساب فازی تجزیه و تحلیل عدم قطعیت این حجم محاسباتی بالا و پیچیدگی محاسباتی را دارا نمی باشند. تحقیق حاضر نشان می دهد که در صورت تعریف متغیر ورودی فازی به وسیله خصوصیات آماری آن و اصل تبدیل تابع توزیع و تابع عضویت و با استفاده از روش حساب فازی تجزیه و تحلیل عدم قطعیت در پروفیل سطح آب، به نتایج روش های آماری خواهیم رسید اما با این تفاوت که حجم محاسبات کاهش یافته و از پیچیدگی محاسباتی نیز به میزان زیادی کاسته می شود.

گرچه مطالعه حاضر با تأکید بر مقایسه دو روش آماری و حساب فازی انجام شد، اما باید توجه داشت که ضریب زبری مانینگ پارامتری است که مقدار آن با توجه به جنس کانال و با استفاده از نظر کارشناسان خبره تعیین می شود و لذا عدم دقت و ابهام در برآورد آن امری ذاتی است. در نتیجه، در کانال های مصنوعی که ضریب زبری مانینگ تقریباً در طول کانال ثابت می باشد، می توان این پارامتر را بدون استفاده از خصوصیات آماری و بر اساس داده های حاصل از نظرات کارشناسان، به صورت یک عدد فازی تعریف کرد و برای تجزیه و تحلیل عدم قطعیت محاسبات پروفیل سطح آب، از روش حساب فازی بهره جست. در این حالت، با توجه به تعریف صحیح پارامتر ورودی بر اساس ماهیت آن، نتایج با واقعیت تطابق بیشتری خواهند داشت.

#### ۵. مراجع

1. Yen, B. C and Tung, Y. K. (1993), "Some Recent Progress in Uncertainty Analysis for Hydraulic Design," *Reliability and Uncertainty Analysis in Hydraulic Design*, B. C. Yen and Y. K. Tung, eds., ASCE Publications, USA.
2. Kang, D. and Lansey, K. (2010), "Demand and Roughness Estimation in Water Distribution Systems," *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, 137(1), pp 20-30.
3. Kang, D., Pasha, M. F. K. and Lansey, K. (2009), "Approximate Methods for Uncertainty Analysis of Water Distribution Systems," *Urban Water Journal*, 6(3), pp 233-249.
4. Jankovic, B., Maksimovic, C. and Graham, N. (2000), "Using a Monte Carlo Method for Active Leakage Control in Water Supply Networks," *Proc. of the 4<sup>th</sup> Hydroinformatics conference*, July 23-27, Iowa, USA.
5. Crystal Ng, G. H., McLaughlin, D., Entekhabi, D. and Scanlon, B. R. (2010), "Probabilistic Analysis of the Effects of Climate Change on Groundwater Recharge," *Water Resources Research*, 46, pp 1-18.
6. Ye, M., Pohlmann, K. F., Chapman, J. B., Pohl, G. M. and Reeves, D. M. (2009), "A Model-Averaging Method for Assessing Groundwater Conceptual Model Uncertainty," *Ground Water*, 48(5), pp 716-728.



7. Kunstmann, H., Kinzelbach, W. and Siegfried, T. (2002), "Conditional First-Order Second-Moment Method and its Application to the Quantification of Uncertainty in Groundwater Modeling," *Water Resources Research*, 38(4), pp 1-14.
8. Revelli, R. and Ridolfi, L. (2003), "Fuzzy Approach for Analysis of Pipe Networks," *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 128(1), pp 93-101.
9. Branisavljevic, N. and Ivetic, M. (2006), "Fuzzy Approach in the Uncertainty Analysis of the Water Distribution Network of Becej," *Journal of Civil Engineering and Environmental Systems*, 23(3), pp 221-236.
10. Gupta, R. and Bhawe, P. R. (2007), "Fuzzy Parameters in Pipe Network Analysis," *Journal of Civil Engineering and Environmental Systems*, 24(1), pp 33-54.
11. Abebe, A. J., Guinot, V. and Solomatine, D. P. (2000), "Fuzzy Alpha-cut vs. Monte Carlo Techniques in Assessing Uncertainty in Model Parameters," *Proc. of the 4<sup>th</sup> Hydroinformatics conference*, July 23-27, Iowa, USA.
12. Kumar, V. and Schuhmacher, M. (2005), "Fuzzy Uncertainty Analysis in System Modelling," *Proc. of the 38<sup>th</sup> European Symposium of the Working Party on Computer Aided Process Engineering*, 29 May-1 June, Barcelona, Spain.
13. Ganoulis, J. (2006), "Fuzzy Modelling for Uncertainty Propagation and Risk Quantification in Environmental Water Systems," *Proc. of the NATO Advanced Research Workshop on Computational Models of Risks to Infrastructure*, May 9-13, Primosten, Croatia.
14. Mpimpas, H., Anagnostopoulos, P. and Ganoulis, J. (2008), "Uncertainty of Model Parameters in Stream Pollution Using Fuzzy Arithmetic," *Journal of Hydroinformatics*, 10(3), pp 189-200.
15. Zoppou, C. and Li, K. S. (1993), "New Point Estimate Method for Water Resources Modeling," *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 119(11), pp 1300-1307.
16. Zadeh, L. A. (1965), "Fuzzy Sets," *Information and Control*, 8(3), pp 338-353.
17. Ross, T. J. (2010), "*Fuzzy Logic with Engineering Applications*," 3<sup>rd</sup> Edition, Wiley, England.
۱۸. حسینی، س. م. و ابریشمی، ج. (۱۳۹۰)، "هیدرولیک کانالهای باز،" چاپ بیست و پنجم، دانشگاه امام رضا (ع)، انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد.
19. Dubois, D., Prade, H. and Sandri, S. (1993), "On Possibility/Probability Transformations," *Proc. of 4<sup>th</sup> IFSA Conference*, Brussels, Belgium.
20. Cesar, M. A. (1991), "First-Order Analysis of Open-Channel Flow," *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 117(2), pp 242-247.
21. Mays, L. W. and Tung, Y. K. (1992), "*Hydrosystems Engineering and Management*," McGraw-Hill, New York, USA.