دانشکده مهندسی - گروه مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته سازه‌های هیدرولیکی

تجزیه و تحلیل عدم‌قطعیت پروفیل سطح آب در کانال‌ها و محیط‌های سنگریزه‌ای با رویکرد احتمالاتی فازی

علی یوسفی

استاد راهنما

دکتر سید محمود حسینی

استاد مشاور

دکتر محمدرضا اکبرزاده توتونچی

شهریور ۱۳۹۰

چکیده:

عدم‌قطعیت موجود در تجزیه و تحلیل مسایل مهندسی، یکی از موضوعاتی است که نمی‌توان از آن صرفنظر کرد. عدم‌قطعیت اساساً به‌دلیل درک ناقص از پدیده‌ها و عوامل موثر بر شکل‌گیری آن‌ها ایجاد می‌شود. در این تحقیق، به تجزیه و تحلیل عدم‌قطعیت ناشی از عدم قطعیت در پارامترهای ورودی در سه موضوع هیدرولیکی پرداخته شده است که عبارتند از: محاسبه پروفیل سطح آب در کانال‌ها، بررسی معادلات جریان در محیط متخلخل درشت‌دانه و محاسبه پروفیل سطح آب در محیط‌های سنگریزه‌ای. در تجزیه و تحلیل عدم‌قطعیت محاسبات پروفیل سطح آب در کانال‌ها، از سه روش تخمین نقطه‌ای، حساب فازی و احتمالاتی فازی استفاده شده است. نتایج این بخش نشان می‌دهند که روش حساب فازی نسبت به روش آماری تخمین نقطه‌ای از حجم محاسباتی کمتری برخوردار است و ساده‌تر نیز می‌باشد درحالیکه عدم‌قطعیت خروجی حاصل از دو روش تقریباً یکسان می‌باشند. از روش احتمالاتی فازی هنگامیکه اطلاعات کم می‌باشد، استفاده می‌شود که نتایج موید این است که عدم‌قطعیت خروجی حاصل از این روش از روش‌های آماری و حساب فازی بیشتر می‌باشد. در بررسی معادلات جریان در محیط متخلخل درشت‌دانه، از روش تخمین مرتبه اول برای تجزیه و تحلیل عدم‌قطعیت معادلات Stephenson، Wilkins و Adel و همچنین، از روش ترکیبی که یک روش احتمالاتی فازی می‌باشد، برای معادلات Stephenson و Wilkins استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهند که عدم‌قطعیت معادلات Stephenson و Wilkins در روش ترکیبی، که ماهیت واقعی پارامترها را بهتر شناسایی می‌کند، بیشتر از روش آماری تخمین مرتبه اول می‌باشد. از مقایسه‌ی نتایج سه معادله مذکور نیز مشخص می‌شود که معادله Adel کمترین عدم-قطعیت را دارا می‌باشد. برای تجزیه و تحلیل عدم‌قطعیت محاسبات پروفیل سطح آب در محیط‌های سنگریزه‌ای، از دو روش ترکیبی و تخمین مرتبه اول برای دو معادله Stephenson و Wilkins استفاده شده و نتایج با نتایج موجود از یک مدل آزمایشگاهی، مقایسه شده‌اند. نتایج موید این است که برآورد میانگین معادله Stephenson مطابقت بیشتری با نتایج آزمایشگاهی دارد. همچنین، نتایج دو موضوع جریان در محیط‌های سنگریزه‌ای نشان می‌دهند که ضریب تغییرات مقادیر پارامترهای فازی تخمین زده

شده در معادلات Stephenson و Wilkins، تأثیر به‌سزایی در عدم‌قطعیت خروجی دارند. این دو پارامتر فازی K_t (در معادله Stephenson) و r_e (در معادله Wilkins) بوده که به‌ترتیب ضریب اصطکاک در جریان آشفته و راندمان نسبی سطح ذرات می‌باشند و براساس شکل و زبری ذرات تخمین زده می‌شوند. اگر چه این دو پارامتر ماهیت مشابهی دارند، اما برآورد مستقل آنها و نیز نحوه حضور این پارامترها در ساختار ریاضی معادلات می‌تواند دامنه عدم قطعیت هر یک از دو معادله Stephenson و Wilkins را تحت تاثیر قرار دهد. اگر در تخمین آن‌ها تناسب بین این دو پارامتر در نظر گرفته شود، می‌توان انتظار داشت که معادله Stephenson عدم‌قطعیت کمتری را نشان دهد.

کلیدواژه‌ها: پروفیل سطح آب، تجزیه و تحلیل عدم‌قطعیت، روش احتمالاتی فازی، روش تخمین مرتبه اول، روش تخمین نقطه‌ای، روش حساب فازی، سنگریزه

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست اشکال..... أ

فهرست جداول..... ج

فهرست علائم اصلی..... د

پیش‌گفتار..... ۱

فصل۱- بررسی منابع **۵**

مقدمه..... ۵

۱-۱- روش‌های تجزیه و تحلیل عدم‌قطعیت..... ۵

۱-۱-۱- روش‌های آماری..... ۶

۱-۱-۱-۱- روش‌های تحلیلی..... ۷

۱-۱-۱-۲- روش‌های تقریبی..... ۸

۱-۱-۱-۳- روش‌های شبیه‌سازی..... ۱۳

۱-۱-۱-۴- مروری بر برخی مطالعات گذشته پیرامون استفاده از روش‌های آماری تجزیه و تحلیل عدم‌قطعیت در مسائل مهندسی عمران..... ۱۵

۱-۱-۲- حساب فازی..... ۱۷

۱-۱-۲-۱- مفاهیم اولیه‌ی تئوری فازی..... ۱۸

۱-۱-۲-۲- روش‌های حساب فازی..... ۲۴

۱-۱-۲-۳- مروری بر برخی مطالعات گذشته پیرامون استفاده از روش‌های حساب فازی تجزیه و تحلیل عدم‌قطعیت در مسائل مهندسی عمران..... ۲۶

۱-۱-۳- روش احتمالاتی فازی..... ۳۰

۱-۱-۳-۱- متغیر تصادفی فازی ۳۱
۱-۱-۳-۲- روش ترکیبی ۳۳
۱-۱-۳-۳- مروری بر برخی مطالعات گذشته پیرامون استفاده از روش‌های احتمالاتی فازی تجزیه و تحلیل عدم‌قطعیت در مسائل مهندسی عمران ۳۴
۱-۲- پروفیل سطح آب در کانال‌ها و توده‌های سنگریزه‌ای و عدم‌قطعیت‌های مرتبط با آن‌ها. ۳۶
۱-۲-۱- پروفیل سطح آب در کانال‌ها ۳۶
۱-۲-۲- جریان در محیط متخلخل و پروفیل سطح آب در توده‌های سنگریزه‌ای ۳۸

فصل۲- مواد و روش‌ها **۴۶**

مقدمه ۴۶
۲-۱- تجزیه و تحلیل عدم‌قطعیت پروفیل سطح آب در کانال‌ها ۴۶
۲-۱-۱- روش آماری تجزیه و تحلیل عدم‌قطعیت پروفیل سطح آب در کانال‌ها ۴۷
۲-۱-۲- روش حساب فازی تجزیه و تحلیل عدم‌قطعیت پروفیل سطح آب در کانال‌ها ۴۹
۲-۱-۳- تحلیل احتمالاتی فازی ۵۲
۲-۱-۳-۱- توابع عضویت به‌شکل توزیع‌های پیشین ۵۵
۲-۲- تجزیه و تحلیل عدم‌قطعیت معادلات جریان در محیط متخلخل درشت‌دانه ۵۷
۲-۲-۱- معادلات روش تخمین مرتبه اول ۶۳
۲-۲-۱-۱- ضرایب حساسیت معادله Stephenson ۶۴
۲-۲-۱-۲- ضرایب حساسیت معادله Wilkins ۶۵
۲-۳- تجزیه و تحلیل عدم‌قطعیت پروفیل سطح آب در یک توده سنگریزه‌ای ۶۶
۲-۳-۱- معادلات روش تخمین مرتبه اول ۷۱

فصل۳- نتایج و بحث **۷۳**

مقدمه ۷۳
۳-۱- نتایج تجزیه و تحلیل عدم‌قطعیت پروفیل سطح آب در کانال ۷۳
۳-۱-۱- نتایج روش آماری تجزیه و تحلیل عدم‌قطعیت پروفیل سطح آب در کانال ۷۴
۳-۱-۲- نتایج روش حساب فازی تجزیه و تحلیل عدم‌قطعیت پروفیل سطح آب در کانال. ۷۶
۳-۱-۳- نتایج روش‌های احتمالاتی فازی تجزیه و تحلیل عدم‌قطعیت پروفیل سطح آب در کانال ۷۸
۳-۲- نتایج تجزیه و تحلیل عدم‌قطعیت معادلات جریان در محیط متخلخل درشت‌دانه ۸۲
۳-۳- نتایج تجزیه و تحلیل عدم‌قطعیت پروفیل سطح آب در محیط سنگریزه‌ای ۸۵

فصل۴- جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۹۰

۴-۱- جمع‌بندی ۹۰
۴-۲- نتیجه‌گیری ۹۱
۴-۳- پیشنهادات ۹۴
فهرست مراجع ۹۶

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل۱-۱- نمودار شماتیک روش تخمین نقطه‌ای روزنبلات در حالت تک متغیره‌ای ۱۰

شکل۱-۲- مقایسه مجموعه کلاسیک (شکل الف) و مجموعه فازی (شکل ب)..... ۱۸

شکل۱-۳- مجموعه فازی نرمال و محدب..... ۲۰

شکل۱-۴- مجموغه فازی پیوسته $\tilde{A}$ و برش‌های α آن ۲۰

شکل۱-۵- عدد فازی مثلثی..... ۲۱

شکل۱-۶- عدد فازی ذوزنقه‌ای ۲۲

شکل۱-۷- روش مرکز سطح ۲۴

شکل۱-۸- یک متغیر تصادفی فازی نرمال..... ۳۲

شکل۱-۹- تابع توزیع تجمعی فازی ۳۲

شکل۲-۱- تابع عضویت ضریب زبری مانینگ..... ۵۱

شکل۲-۲- تابع عضویت میانگین ضریب زبری مانینگ..... ۵۴

شکل۲-۳- تابع عضویت واریانس ضریب زبری مانینگ..... ۵۴

شکل۲-۴- نمودار ستونی K_t ۶۱

شکل۲-۵- نمودار ستونی r_e ۶۱

شکل۲-۶- تابع عضویت K_t ۶۲

شکل۲-۷- تابع عضویت r_e ۶۲

شکل۲-۸- کانال مورد استفاده در تحقیق Bari (۱۹۹۷) برای محاسبه پروفیل سطح آب در محیط سنگریزه‌ای..... ۶۷

شکل۲-۹- نمونه‌ای از مصالح مورد استفاده در آزمایش..... ۶۸

شکل۲-۱۰- نمودار ستونی K_t ۶۹

شکل۲-۱۱- نمودار ستونی r_e ۶۹
شکل۲-۱۲- تابع عضویت K_t ۷۰
شکل۲-۱۳- تابع عضویت r_e ۷۰
شکل۳-۱- ضریب تغییرات عمق آب برحسب فاصله از انتهای کانال برای دو حالت $\rho = 0$ و $\rho = 1$ ۷۵
شکل۳-۲- فاصله اطمینان ۹۵٪ برای پروفیل سطح آب کانال، ترسیم شده نسبت به انتهای کانال، برای دو حالت $\rho = 0$ و $\rho = 1$ ۷۵
شکل۳-۳- ضریب تغییرات عمق آب برحسب فاصله از انتهای کانال در روش حساب فازی و روش آماری ۷۶
شکل۳-۴- فاصله اطمینان ۹۵٪ برای پروفیل سطح آب کانال، ترسیم شده نسبت به انتهای کانال، در روش حساب فازی و روش آماری ۷۷
شکل۳-۵- تابع عضویت ضریب تغییرات عمق آب برحسب فاصله از انتهای کانال در روش احتمالاتی فازی اول برای حالت $\rho = 0$ ۷۹
شکل۳-۶- تابع عضویت ضریب تغییرات عمق آب برحسب فاصله از انتهای کانال در روش احتمالاتی فازی اول برای حالت $\rho = 1$ ۸۰
شکل۳-۷- ضریب تغییرات عمق آب برحسب فاصله از انتهای کانال در دو روش احتمالاتی فازی برای دو حالت $\rho = 0$ و $\rho = 1$ ۸۰
شکل۳-۸- ضریب تغییرات عمق آب برحسب فاصله از انتهای کانال در روش احتمالاتی فازی و روش آماری برای دو حالت $\rho = 0$ و $\rho = 1$ ۸۲
شکل۳-۹- پروفیل سطح آب در محیط سنگریزه‌ای، ترسیم شده نسبت به ابتدای کانال، با سطح اطمینان ۹۰٪ با استفاده از معادله Stephenson ۸۵
شکل۳-۱۰- پروفیل سطح آب در محیط سنگریزه‌ای، ترسیم شده نسبت به ابتدای کانال، با

سطح اطمینان ۹۰٪ با استفاده از معادله Wilkins ۸۶

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول۲-۱- مقادیر ماکزیمم و مینیمم تابع عضویت ضریب زبری مانینگ در برش‌های مختلف۵۱

جدول۲-۲- مقادیر ماکزیمم و مینیمم توابع عضویت میانگین و واریانس ضریب زبری مانینگ در برش‌های مختلف ۵۳

جدول۲-۳- مشخصات فیزیکی نمونه‌های تصادفی از توده سنگریزه‌ای..... ۵۹

جدول۲-۴- مقادیر حاصل از نظرات کارشناسی برای پارامترهای K_t و r_e ۶۰

جدول۲-۵- خصوصیات آماری پارامترهای تصادفی..... ۶۳

جدول۲-۶- خصوصیات آماری پارامترهای تصادفی..... ۶۷

جدول۲-۷- نظرات کارشناسان در مورد پارامترهای فازی..... ۶۸

جدول۳-۱- نتایج تجزیه و تحلیل عدم‌قطعیت در روش تخمین مرتبه اول و روش ترکیبی برای معادلات Stephenson و Wilkins..... ۸۳

جدول۳-۲- تجزیه و تحلیل عدم‌قطعیت سه معادله Stephenson، Wilkins و Adel..... ۸۴

فهرست علائم اصلی

نسبت مساحت سطح یک ذره به مساحت سطح کره‌ای با همان حجم	α
میانگین یک متغیر تصادفی	μ
میزان درجه عضویت x به مجموعه فازی A	$\mu_A(x)$
ضریب چولگی	γ
انحراف معیار یک متغیر تصادفی	σ
ضریب همبستگی	ρ
لزجت جنبشی سیال	ν
فراوانی تجمعی اندازه مصالح	ω
ضریب تغییرات	CV
ضریب تجربی برای محاسبه اثر دیواره	c_w
عمق هیدرولیکی	D
اندازه میانگین هارمونیک مصالح	d
اندازه مصالح که ۱۵ درصد مصالح از نظر وزنی از آن ریزتر هستند	d_{15}
درصد وزنی مصالح که کوچکتر از ω هستند	$D(\omega)$
فاکتور اصطکاک دارسی برای مصالح درشت‌دانه	f_e
فاکتور اصطکاک دارسی ویسباخ برای سطحی که از نظر هیدرولیکی صاف است	f_o
عدد فرود منفذی	Fr_p
شتاب جاذبه زمین	g
گرادیان هیدرولیکی	i
فاکتور اصطکاک در ناحیه جریان آشفته	K_t
شعاع هیدرولیکی منفذی	m

شعاع هیدرولیکی مؤثر منفذی	m'
تخلخل	n
دبی جریان	Q
شعاع هیدرولیکی دستگاه اندازه‌گیری نفوذپذیری مصالح درشت‌دانه	R
عدد رینولدز منفذی	R_p
عدد رینولدز منتسب به Ward	R_w
راندمان نسبی سطح ذرات	r_e
شیب بستر کانال	S_0
شیب اصطکاکی	S_f
سرعت منفذی	V_v
سرعت جریان	V
مقدار ثابت معادله Wilkins	W
عمق آب	y

پیش‌گفتار

همانطور که نمی‌توان از عدم‌قطعیت[1]های موجود در زندگی دوری جست، در پروژه‌های مهندسی نیز نمی‌توان از عدم‌قطعیت‌ها صرفنظر کرد. عدم‌قطعیت‌ها اساساً به‌دلیل درک ناقص از پدیده‌ها و روند حاکم بر آن‌ها ایجاد می‌شوند. Yen و Ang در سال ۱۹۷۱ عدم‌قطعیت‌ها را به دو دسته تقسیم کردند: ۱- عدم‌قطعیت ذاتی مرتبط با هر فرآیند تصادفی یا استنباط از نمونه‌های آماری. ۲- عدم‌قطعیت موضوعی ناشی از کمی نبودن اطلاعات عملی موجود. Burges و Lettenmaier در سال ۱۹۷۵، عدم‌قطعیت مرتبط با مدل‌سازی ریاضی را به دو دسته تقسیم کردند: ۱- نتایج اشتباه ناشی از به‌کاربردن مدل نامناسب با مقادیر صحیح پارامترها. ۲- فرض‌های اشتباه در به‌کاربردن مدل مناسب با پارامترهای در معرض عدم-قطعیت. معمولاً در مسایل این دو نوع عدم‌قطعیت به‌طور همزمان رخ می‌دهند (Yen and Tung,1993).

در تحلیل ها و طراحی های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی عوامل زیر در ایجاد عدم‌قطعیت نقش دارند (Yen and Tung,1993):

۱- عدم‌قطعیت ناشی از تصادفی بودن پدیده های طبیعی.

۲- عدم‌قطعیت مدل که منعکس کننده‌ی ناتوانی مدل شبیه‌سازی یا روش‌های طراحی در بیان دقیق رفتار فیزیکی واقعی سیستم، می‌باشد.

۳- عدم‌قطعیت پارامترهای مدل که ناشی از ناتوانی در بررسی دقیق پارامترهای ورودی مدل، می‌باشد.

۴- عدم‌قطعیت داده‌ها که شامل موارد زیر است:

الف- خطاهای اندازه‌گیری.

ب- ناهماهنگی و ناهمگن بودن داده‌ها.

ج- خطاهای نسخه‌برداری و مدیریت داده‌ها.

از دیدگاه دیگری نیز می‌توان انواع عدم‌قطعیت برای پارامترهای ورودی را دسته‌بندی کرد که عبارتند از:

1- *Uncertainty*

۱- عدم‌قطعیت تصادفی: این نوع عدم‌قطعیت هنگامی مطرح می‌شود که نتایج تصادفی یک آزمایش تحت شرایط یکسان، به‌صورت غیردقیق مشاهده شوند.

۲- عدم‌قطعیتی که در اثر کمبود اطلاعات به وجود می‌آید.

۳- عدم‌قطعیت کلامی: این نوع عدم‌قطعیت در اثر تعریف پارامترهای ورودی به‌صورت عبارات کلامی، به وجود می‌آید.

هدف از تجزیه و تحلیل عدم‌قطعیت[1]، تعیین عدم‌قطعیت خروجی مدل با استفاده از عدم‌قطعیت پارامترهای ورودی و عدم‌قطعیت مدل می‌باشد. تجزیه و تحلیل عدم‌قطعیت یک چهارچوب منظم و سیستماتیک برای کمی کردن عدم‌قطعیت‌های خروجی مدل تهیه می‌کند و با استفاده از آن می‌توان تأثیر پارامترهای ورودی و مدل را بر عدم‌قطعیت کلی خروجی مدل تعیین کرد.

منظور از عدم‌قطعیت مدل، عدم‌قطعیت در الگوریتم و معادلات مورد استفاده در محاسبات می‌باشد و منظور از عدم‌قطعیت پارامترهای ورودی، عدم‌قطعیت در داده‌هایی که در مدل اعمال می‌شوند، می‌باشد. در تحقیق حاضر تنها عدم‌قطعیت پارامترهای ورودی در نظر گرفته شده است.

برای تجزیه و تحلیل عدم‌قطعیت، روش‌های مختلفی وجود دارد که به نوع عدم‌قطعیت پارامترهای ورودی بستگی دارد. در تحقیق حاضر سه روش تجزیه و تحلیل عدم‌قطعیت مورد استفاده قرار گرفته است. سه موضوع از دیدگاه عدم‌قطعیت مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند که عبارتند از: پروفیل سطح آب در کانال و محیط سنگریزه‌ای و معادلات جریان در محیط متخلخل درشت‌دانه. هدف از این تحقیق، تعریف صحیح پارامترهای ورودی هر مدل با توجه به ماهیت آن‌ها و اعمال روش مناسب تجزیه و تحلیل عدم‌قطعیت با توجه به پارامترهای تعریف شده و مقایسه نتایج با نتایج روش‌های گذشته می‌باشد.

در فصل اول این تحقیق، روش‌های تجزیه و تحلیل عدم‌قطعیت به‌صورت مختصر توضیح داده می‌شود و برخی سوابق مطالعاتی در کاربرد این روش‌ها در مسائل مهندسی عمران، بررسی می‌شوند. در

1- *Uncertainty Analysis*

ادامه‌ی این فصل، به بررسی موضوعات مورد مطالعه در این تحقیق پرداخته می‌شود. در فصل دوم، روش تجزیه و تحلیل عدم‌قطعیت مورد استفاده برای سه موضوع مورد مطالعه و نحوه‌ی ایجاد اطلاعات ورودی برای هر روش، ارائه می‌شوند. در فصل سوم، نتایج تجزیه و تحلیل عدم‌قطعیت هر موضوع به‌طور جداگانه بیان می‌شود و در ادامه نیز به تجزیه و تحلیل و مقایسه نتایج پرداخته می‌شود. در فصل چهارم، نتایج به‌صورت خلاصه مطرح می‌شوند و پیشنهاداتی برای ادامه تحقیق حاضر ارائه می‌شوند.

همانطور که ذکر شد، نوع پارامترها، روش تجزیه و تحلیل عدم‌قطعیت را تعیین می‌کند. با توجه به نتایج محاسبات، مشخص گردید که تعریف صحیح پارامترها و اعمال روش تجزیه و تحلیل عدم‌قطعیت مناسب، تأثیر به‌سزایی در نتایج و تصمیم‌گیری‌ها دارد.

فصل ۱

بررسی منابع

فصل اول- بررسی منابع

مقدمه

این فصل از دو بخش اصلی تشکیل شده است. در بخش اول، روش‌های مختلف تجزیه و تحلیل عدم‌قطعیت به تفکیک ارائه می‌شوند و برخی سوابق مطالعاتی در کاربرد این روش‌ها در مسائل مهندسی عمران، با تأکید بر مسائل هیدرولیکی، بررسی می‌شوند. در بخش دوم، به بررسی موضوعات مورد نظر در این تحقیق پرداخته می‌شود. ابتدا، محاسبات پروفیل سطح آب در کانال‌ها بررسی می‌شوند. سپس، به معادلات جریان در محیط متخلخل و محاسبات پروفیل سطح آب در توده‌های سنگریزه‌ای پرداخته می‌شود. ضمن معرفی معادلات لازم برای انجام این محاسبات، عدم‌قطعیت‌های موجود در این محاسبات و سوابق مطالعاتی در این موارد مورد بحث قرار می‌گیرند. مجموعه این فصل زمینه‌ی لازم برای نمایان شدن اهداف این تحقیق را فراهم می‌کند.

۱-۱- روش‌های تجزیه و تحلیل عدم‌قطعیت

عدم‌قطعیت خروجی یک مدل به‌دلیل عدم‌قطعیت در ساختار ریاضی مدل و یا به‌دلیل عدم‌قطعیت موجود در پارامترهای ورودی به آن می‌باشد. در این تحقیق تنها عدم‌قطعیت در پارامترهای ورودی به مدل به‌عنوان عامل اصلی عدم‌قطعیت در خروجی مدل درنظرگرفته می‌شود و ساختار ریاضی مدل به-

صورت دقیق فرض می‌شود. از همین رو تحقیقاتی که مورد بررسی قرارگرفته‌اند، دارای همین ویژگی می-باشند.

برای تجزیه و تحلیل عدم‌قطعیت ناشی از پارامترهای ورودی مدل، روش‌های مختلفی وجود دارد که با توجه به نوع عدم‌قطعیت پارامترها، مورد استفاده قرار می‌گیرند. این روش‌ها عبارتند از:

۱- روش‌های آماری[۱]

۲- حساب فازی[۲]

۳- روش‌های احتمالاتی فازی[۳]

در ادامه روش‌های مذکور را در سه بخش بررسی کرده و در انتهای هر بخش، برخی سوابق مطالعاتی در کاربرد این روش‌ها در مسائل عمران ارائه می‌شوند.

۱-۱-۱- روش‌های آماری

در روش‌های آماری سه خاصیت آماری میانگین[۴]، واریانس[۵]، ضریب تغییرات[۶] از متغیر یا متغیرهای خروجی یک مدل ریاضی دارای اهمیت زیادی می‌باشند. در این روش‌ها هدف اصلی از تجزیه و تحلیل عدم‌قطعیت، به‌دست آوردن خصوصیات آماری خروجی سیستم به‌عنوان تابعی از مشخصات پارامترهای تصادفی ورودی به مدل می‌باشد. روش‌های مختلفی را برای این منظور می‌توان اعمال کرد که هر کدام از آنها دارای سطح مختلفی از پیچیدگی ریاضی می‌باشند.

این روش‌ها را می‌توان به سه روش کلی تقسیم کرد که عبارتند از:

1- *Statistical Methods*
2- *Fuzzy Method*
3- *Fuzzy Probabilistic Methods*
4- *Mean*
5- *Variance*
6- *Coefficient Of Variation*

۱- روش‌های تحلیلی[1] ۲- روش‌های تقریبی[2] ۳- روش‌های شبیه‌سازی[3]

انتخاب روش به طبیعت مسئله شامل میزان دسترسی به اطلاعات، پیچیدگی مدل و نوع و دقت نتایج مطلوب برای تحلیل مسئله بستگی دارد. در روش‌های تحلیلی، گشتاورهای آماری به‌صورت تحلیلی مورد محاسبه قرار می‌گیرند. اما در بعضی موارد، حل تحلیلی گشتاورهای آماری کارپیچیده‌ای است و این روش‌ها در کاربردهای عملی دارای محدودیت‌هایی می‌باشند، در نتیجه، در این شرایط می‌بایستی از روش‌های تقریبی یا شبیه‌سازی استفاده کرد (Tung, 1993). در ادامه روش‌های تحلیلی را به‌صورت مختصر توضیح داده و بیشتر به روش‌های تقریبی و شبیه‌سازی، که جنبه‌ی کاربردی وسیع‌تری دارند، پرداخته می‌شود.

۱-۱-۱-۱- روش‌های تحلیلی

الف- روش استخراج تابع توزیع[4]: این روش به روش تبدیل متغیرها نیز معروف است. متغیر تصادفی W که تابعی از متغیر تصادفی دیگر به نام X است را درنظر بگیرید. تابع چگالی احتمال (PDF)[5] و یا تابع توزیع تجمعی (CDF)[6] X معلوم است. تابع تجمعی احتمال W از رابطه ۱-۱ به‌دست می‌آید.

$$H_W(w) = P[W \le w] = F_X\left[g^{-1}(w)\right] \qquad (۱-۱)$$

که در آن، $g^{-1}(w)$ تابع معکوس g که یک تابع یکسویه افزایشی یا کاهشی است، می‌باشد. سپس با مشتق گرفتن از $H_W(w)$ بر حسب w تابع چگالی احتمال W به‌دست می‌آید (Tung, 1996)..

ب- روش‌های تبدیل انتگرالی: روش‌های تبدیل انتگرالی برای تحلیل آماری توابع یک متغیره

1- *Analytical Methods*
2- *Approximation Methods*
3- *Simulation Methods*
4- *Derived Distribution Method*
5- *Probability Density Function*
6- *Cumulative Distribution Function*

کاربرد دارند. تبدیل‌های انتگرال فوریه، لاپلاس و نمایی جزء پرکاربردترین تبدیل‌ها در بحث مطالعات آب می‌باشند. تبدیل مفید دیگر که کمتر در مهندسی منابع آب از آن استفاده می‌شود، تبدیل ملین است. برتری عمده این تبدیل‌ها این است که اگر این تبدیل‌ها برای یک PDF وجود داشته باشند، ارتباط بین PDF و تبدیل انتگرال آن یک به یک و منحصر به فرد است (Tung, 1996).

در هر یک از روش‌های تبدیل انتگرالی، با استفاده از روابطی، تبدیل‌های مربوطه محاسبه می‌شوند و با بهره‌گیری از این روابط، گشتاورهای مراتب مختلف به‌دست می‌آیند. با توجه به اینکه این روش‌ها در مقایسه با روش‌های تقریبی و شبیه‌سازی کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند، از توضیح بیشتر خودداری کرده و برای مطالعه بیشتر در این زمینه می‌توان به مطالبی که Tung (۱۹۹۳) جمع‌آوری و ارائه کرده است، مراجعه کرد.

۱-۱-۱-۲- روش‌های تقریبی

الف- روش تخمین مرتبه اول تغییرات[1] (Tung, 1996): در این روش، میزان عدم‌قطعیت خروجی یک مدل بر اساس ویژگی‌های آماری پارامترهای تصادفی مدل تخمین زده می‌شود. نظریه‌ی اصلی این روش، تقریب مدل دارای پارامترهای تصادفی با استفاده از بسط سری تیلور می‌باشد.

فرض کنید که کمیت هیدرولیکی یا هیدرولوژیکی W به N متغیر تصادفی به‌شکل رابطه زیر مرتبط باشد:

$$W = g(X) = g(X_1, X_2, ..., X_N) \qquad (۲-۱)$$

که در آن، $X = (X_1, X_2, ..., X_N)^t$، یک بردار ستونی N بعدی از پارامترهای مدل است به‌طوریکه تمام Xها در معرض عدم‌قطعیت می‌باشند. بالانویس t نشان دهنده‌ی ترانهاده ماتریس یا بردار است. بسط سری تیلور مرتبه اول تابع $g(X)$ نسبت به نقطه $X = x_0$ در فضای پارامتری به‌صورت رابطه

1- *First-Order Variance Estimation Method*