بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده کشاورزی
بخش مهندسی آب

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته سازه های آبی

آنالیز عدم قطعیت
در شبکه های توزیع آب شهری

استاد راهنما:
دکتر مجید رحیم پور

استاد مشاور:
دکتر شهرام کریمی گوغری

مولف:
فاطمه توسرکانی راوری

مردادماه ۱۳۹۰

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط درجه کارشناسی ارشد به

بخش مهندسی آب
دانشکده کشاورزی
دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی‌شود.

دانشجو: فاطمه توسرکانی راوری

استاد راهنما: دکتر مجید رحیم پور

استاد مشاور: دکتر شهرام کریمی

داور۱: دکتر محمد باقر رهنما

داور۲: دکتر محمد ذونعمت کرمانی

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده: دکتر شهرام پورسیدی

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است.

تقدیم به:

پدرم ، به خاطر همه فداکاری‌هایش.

مادرم ،که ساختمان موفقیت‌هایم بر کوه رنج‌هایش بنا شد.

همسرم ، او که در تمام راه همراه و همکار و همفکر من بود.

تشکر و قدردانی

من لم یشکر المخلوق، لم یشکر الخالق

سپاس می‌گویم به درگاه خداوند مهربان که توفیق دانش اندوزی و انجام این پایان نامه را به من عطا نمود، پدر و مادری مهربان عطایم کرد که از خویشتن گذشتند تا من ببالم، همسری شایسته نصیبم نمود تا همواره یاورم باشد، اساتیدی گرانمایه در مسیر راهم قرار داد تا علاوه بر راهنمایی علمی، استاد زندگی‌ام باشند، مرا با دوستانی عزیز آشنا کرد تا همیشه همراهم باشند و من شایسته این همه لطف معبود نبودم و او از احسان خویش این همه را به من ارزانی داشت.

از استاد گرامی آقای دکتر مجید رحیم پور که جز در سایه راهنمایی‌ها و محبت‌های بی دریغشان این مهم میسر نبود، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌کنم. همچنین از آقای دکتر شهرام کریمی به عنوان استاد مشاور که در مراحل مختلف انجام این تحقیق از لطف و راهنمایی‌هایشان بهره‌مند شدم صمیمانه تشکر می‌کنم. همچنین جا دارد از آقای مهندس امین ایزدپناه برای تهیه اطلاعات اولیه پروژه از شرکت مهندسی آب و فاضلاب استان کرمان، تشکر کرده و از کلیه اساتیدم که در طول تحصیل از دانش و لطفشان بهره بردم کمال تشکر را دارم. در پایان از تمامی دوستان و عزیزانی که به هر نحو در انجام این پروژه مرا یاری نمودند تشکر کرده و توفیق روزافزون را از خداوند متعال آرزومندم.

چکیده:

تجزیه و تحلیل عدم اطمینان برای هر پدیده منظره‌ای واقعی از پارامترهای آن را نمایان می‌کند و درک درستی از عوامل تأثیرگذار بر آن پدیده را ایجاد می‌کند. منظور از تجزیه و تحلیل عدم اطمینان، تشخیص خواص آماری مدل خروجی بر اساس روابط موجود بین پارامترهای آماری ورودی می‌باشد. بررسی عدم قطعیت و چگونگی تأثیر پارامترهای مختلف در کارایی شبکه‌های توزیع آب از مباحث مهم در تحلیل ریسک و اطمینان پذیری در طراحی است. در این تحقیق تاثیر پارامترهای مختلف بر روی ضریب زبری تعیین شد، همچنین تاثیر عدم قطعیت متغیرهای غیرقطعی موجود در شبکه‌های توزیع آب، بر میزان کارایی شبکه تعیین گردید. در این تحقیق برآورد عدم قطعیت ضریب زبری در شبکه توزیع آب شهر کشکوئیه از توابع شهرستان رفسنجان واقع در استان کرمان بررسی شد. روش استفاده شده برای آنالیز عدم قطعیت در این تحقیق، روش شبیه سازی مونت‌کارلو بود. نتایج نشان داد که میزان عدم قطعیت ضریب زبری هیزن ویلیامز به طور متوسط ۱۰ درصد است و دبی مهم‌ترین پارامتر تاثیر گذار در برآورد ضریب زبری هیزن ویلیامز می‌باشد که جا دارد دقت بیشتری در تخمین آن شود. نتایج کارایی شبکه توزیع آب شهر کشکوئیه حاکی از آن است که طراحی قطعی شبکه‌های توزیع آب شهری نسبت به تغییرات ضریب زبری لوله‌ها از حساسیت کمی برخوردار بوده و تقریباً در ۹۰ درصد از مواقع شبکه توزیع آب مورد نظر جوابگوی تغییرات ضریب زبری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ضریب زبری، شبکه توزیع آب، عدم قطعیت، شبیه سازی مونت‌کارلو

فهرست

فصـل اول: کلیات

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- بیان مسئله ۳

۱-۳- ضرورت انجام تحقیق ۴

۱-۴- روش تحقیق ۵

۱-۵- شرح پایان نامه ۵

فصل دوم: مروری بر کارهای گذشته

۲-۱- مقدمه ۸

۲-۲- تاریخچه ۸

۲-۴- جمع بندی ۱۳

فصل سوم:طراحی و تحلیل شبکه‌های توزیع آب

۳-۱- مقدمه ۱۵

۳-۲- انواع شبکه‌های توزیع آب ۱۵

۳-۳- قوانین هیدرولیکی ۱۵

۳-۳-۱- رابطه دارسی ویسباخ ۱۸

۳-۳-۲- رابطه شزی ۱۹

۳-۳-۳- رابطه مانینگ ۲۰

۳-۳-۴- رابطه اسکوبی ۲۰

۳-۳-۵- رابطه هیزن ویلیامز ۲۱

۳-۴- تشریح ضرایب موجود در روابط جریان ۲۱

۳-۴-۱- ضریب زبری f در رابطه‌ی دارسی ویسباخ ۲۱

۳-۴-۲- ضریب زبری C_h در رابطه‌ی هیزن ویلیامز ۲۲

۳-۵- مدل‌های شبیه سازی هیدرولیکی ۲۴

۳-۵-۱- EPANET ۲۴

فصل چهارم: ارزیابی عدم قطعیت

۴-۱- مقدمه ۲۷
۴-۲- روش‌های بررسی عدم قطعیت ۲۷
۴-۳- روش‌های تحلیلی ۲۹
۴-۳-۱- روش استخراج تابع توزیع ۲۹
۴-۳-۲- تکنیک‌های تبدیل انتگرال ۳۰
۴-۳-۲-۱- تبدیل فوریه ۳۱
۴-۳-۲-۲- تبدیل لاپلاس ۳۲
۴-۳-۲-۳- تبدیل نمایی ۳۲
۴-۳-۲-۴- تبدیل ملین ۳۳
۴-۴- روش‌های تقریبی ۳۵
۴-۴-۱- روش تخمین مرتبه اول تغییرات ۳۵
۴-۴-۲- روش تخمین نقطه‌ای روزنبلات ۳۷
۴-۴-۳- روش تخمین نقطه‌ای هار ۳۹
۴-۵- روش شبیه سازی ۴۰
۴-۵-۱- نمونه گیری مربع لاتین *(LHS)* ۴۲
۴-۶- روش تحلیل حساسیت ۴۳

فصل پنجم: معرفی شبکه توزیع آب مورد مطالعه

۵-۱- مقدمه ۴۵
۵-۲- تاریخچه ۴۵
۵-۲-۱- موقعیت جغرافیایی ۴۵
۵-۲-۲- هواشناسی ۴۹
۵-۲-۳- بارندگی ۴۹
۵-۲-۴- زمین شناسی ۴۹
۵-۴- مطالعه موردی ۵۲
۵-۵- معیارهای هیدرولیکی طراحی شبکه ۵۳
۵-۵-۱- فشار ۵۳
۵-۵-۲- سرعت ۵۳

۵-۵-۳- حجم مخزن ۵۳
۵-۶- رابطه مورد استفاده ۵۶
۵-۷- نرم افزار مورد استفاده ۵۶

فصل ششم: ارزیابی عدم قطعیت شبکه مورد مطالعه بر پایه شبیه سازی مونت‌کارلو

۶-۱- مقدمه ۶۴
۶-۲- تجزیه و تحلیل عدم اطمینان به روش شبیه سازی مونت‌کارلو ۶۴
۶-۲-۱- تعیین پارامترهای تصادفی ورودی به رابطه هیزن ویلیامز ۶۴
۶-۲-۲- انتخاب توزیع آماری جهت مقادیر متغیرهای مختلف سیستم ۶۶
۶-۲-۲-۱- توزیع‌های احتمالاتی پرکاربرد ۶۶
۶-۲-۳- تولید اطلاعات با روش شبیه سازی مونت‌کارلو ۶۹
۶-۲-۴- نتایج و تجزیه و تحلیل عدم اطمینان در شبکه ۷۶
۶-۳- تعریف شاخص شکست ۸۶

فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۷-۱- نتیجه گیری ۹۲
۷-۲- پیشنهادات ۹۳
منابع ۹۴

پیوست

پیوست ۹۸

فصل اول:

کلیات

۱-۱- مقدمه

بهره برداری از منابع آب، چه به صورت سطحی و چه به صورت زیر زمینی و انتقال آن از یک نقطه به نقطه‌ی دیگر به منظور آبیاری و آبرسانی، از ابتدای زندگی انسان و به عنوان یک ضرورت حیاتی، مورد نظر بشر بوده است. لذا بشر برای سهل‌الوصول کردن آب اقدام به ساختن تاسیساتی نموده است که در ابتدا با توجه به ناشناخته بودن عوامل تأثیرگذار بر پدیده‌ها و یا عدم اجرای صحیح تاسیسات مربوطه، گاه در بهره برداری از آن‌ها در عمل با شکست روبرو شده است. در گذشته‌های نه چندان دور طراحان برای اینکه مشکل ناکامی را مرتفع سازند، اقدام به بالا بردن هرچه بیشتر ضریب اطمینان در محاسبات پروژه‌ها می‌نمودند، که این خود باعث افزایش هزینه‌های ساخت تاسیسات مربوطه می‌گردیده است [۳].

ریشه اصلی ناکامی در عملکرد صحیح پروژه‌ها، ناتوانی طراحان در شناخت و به کمیت درآوردن متغیرهای نامطمئن حاکم بر فرایندهای موثر در محاسبه و اجرای پروژه‌ها بوده است. بنابراین تجزیه و تحلیل عدم قطعیت برای هر پدیده نمایی واقعی از پارامترهای آن را نمایان می‌کند و درک درستی از عوامل تأثیرگذار بر آن پدیده را ایجاد می‌کند [۱۲].

هدف اصلی سیستم‌های توزیع آب این است که آب مطمئن و ایمن را در فشار قابل قبول در همه‌ی زمان‌ها و با پایین‌ترین قیمت اقتصادی به جز شرایط بحرانی برای همه کاربرها عرضه کند. سیستم‌های توزیع آب با مجموعه‌ای از منبع‌ها، لوله‌ها، و اجزای کنترل هیدرولیکی (از قبیل پمپ‌ها، شیرها، تنظیم کننده‌ها و تانک‌ها) تشکیل شده تا آب را در فشار مطلوب به مصرف کننده‌ها تحویل دهد.

رفتار یک سیستم توزیع آب توسط:

۱-قانون‌های فیزیکی که نسبت جریان در لوله‌ها و اجزای کنترل هیدرولیکی را شرح می‌دهد

۲-تقاضای مصرف کننده‌ها

۳-طرح اولیه سیستم کنترل می‌شود [۲۰].

با وجود اینکه مسائل طراحی شبکه‌های توزیع آب به صورت کلی با هدف کمینه کردن هزینه‌های ساخت شبکه با در نظر گرفتن تامین حداقل فشار مجاز یا حداکثر سرعت مجاز در الگوهای نیاز مورد نظر مطرح می‌شوند، بررسی اطمینان پذیری شبکه توزیع آب شهری، جزئی از طراحی بهینه آن بوده و می‌تواند به عنوان یکی از اهداف طراحی منظور شود. به این ترتیب می‌توان عوامل موثر بر کارایی شبکه را در دوران بهره برداری شناسایی کرده و نحوه تأثیر گذاری

آن‌ها را بر کارکرد شبکه مورد بررسی قرار داد. بررسی عدم قطعیت و چگونگی تأثیر پارامترهای احتمالاتی در کارایی شبکه‌های توزیع آب یکی از مباحث مهم در تحلیل ریسک و اطمینان پذیری در طراحی است. به طور ساده می‌توان عدم قطعیت را به عنوان احتمال وقوع رخدادی خارج از کنترل طراح تعریف کرد [۷].

۱-۲- بیان مسئله

سیستم‌های توزیع آب از ضروری‌ترین سیستم‌های شهری محسوب می‌شوند، برای اینکه آب را با اطمینان برای مصرف کننده‌ها تامین کنند لازم است که طراحی، تعمیر و نگهداری شوند. قابلیت اطمینان سیستم به عنوان بخشی از طراحی مطرح می‌شود [۲۰].

در شرایط کنونی، استفاده از مدل‌های کامپیوتری به منظور شبیه سازی هیدرولیکی جریان در شبکه‌های آب گسترش قابل توجهی یافته و نقش موثری را در ارزیابی و مدیریت آب شهری و تصمیمات آتی برای سیستم ایفا می‌کنند. مسئله حائز اهمیت در روند مدل سازی این است که کیفیت نتایج خروجی متأثر از داده‌های ورودی می‌باشد. لیکن عوامل زیادی از جمله تغییر ضریب زبری، میزان تقاضا، قطر داخلی و ... را می‌توان برشمرد که ممکن است باعث به وجود آمدن خطا در مقادیر ورودی گردد، ضمن اینکه اصولاً طراحی شبکه‌ها همراه با فرضیاتی است که لزوماً با واقعیت سیستم در زمان بهره برداری منطبق نخواهد بود. تمام پارامترهایی که تعیین آن‌ها همراه با عدم قطعیت است، قادر خواهند بود محاسبات هیدرولیکی مدل (فشار در گره‌ها، جریان در لوله‌ها و ...) را تحت تأثیر قرار دهند [۴].

قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع آب توسط Goulter (1995) و Cullinane و همکارانش (1992) به صورت زیر تعریف شده است: "توانایی یک سیستم توزیع آب در تامین تقاضای سیستم می‌باشد که تقاضای سیستم بر اساس جریان‌های موجود و محدوده فشار در سرعت‌های جریان تعیین می‌شود". همچنین قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع آب توسط Kaufmamn (1977) به این صورت تعریف شده است: "احتمال یک سیستم، که وظایف معین را تحت شرایط معلوم و در طی یک زمان معین انجام دهد". قابلیت اطمینان یک فاکتور مهم در طی طراحی بهینه سیستم‌های توزیع آب است که باید مورد توجه قرار گیرد [۲۰].

جهت به کمیت در آوردن عدم قطعیت، روش‌های متعددی وجود دارد که از بین آن‌ها روش شبیه سازی مونت‌کارلو به طور گسترده در منابع آب مورد استفاده قرار گرفته است.

۱-۳- ضرورت انجام تحقیق

منظور از تجزیه و تحلیل عدم اطمینان، تشخیص خصوصیات آماری (میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات) خروجی مدل بر اساس روابط موجود بین پارامترهای آماری ورودی می‌باشد. آنالیز حساسیت، سهم هر کدام از پارامترهای ورودی بر خطای ظاهر شده در خروجی مدل را ارائه می‌دهد. فهم چنین مطلبی کمک می‌کند تا پارامترهایی که تأثیر بیشتری بر روی نتایج خروجی دارند تشخیص داده شوند و دقت بیشتری برای برآورد آن‌ها به عمل آید که بدین وسیله از خطای حاصل در مقادیر خروجی کاسته می‌شود [۳].

طراحی بهینه شبکه‌های توزیع آب در حالت قطعی برای دستیابی به کارایی بالا، با تعریف و بیشینه کردن پارامترهایی که نشان دهنده عملکرد شبکه هستند انجام می‌شود. از طرفی طراحی شبکه‌های توزیع آب شهری، عموماً بر اساس شرایط انتهای عمر مفید آن‌ها صورت می‌گیرد. در حالی که لازم است شبکه پاسخگوی شرایط و نیازهای موجود در طول این مدت باشد. با توجه به رشد جمعیت، تغییر الگوی مصرف، تغییر منابع آب شبکه و غیره، منظور کردن یک مقدار ثابت و قطعی برای نیاز در گره‌های شبکه در طراحی، منطقی به نظر نمی‌رسد. از طرفی برای دستیابی به کارایی بالا، طراحی شبکه برای بدترین وضعیت ممکن در طول عمر مفید شبکه یعنی شرایط و نیاز موجود در سال آخر، صورت می‌گیرد. حداکثر بودن مقدار نیاز در این حالت، هزینه ساخت شبکه را افزایش می‌دهد. چنین شبکه‌ای در ابتدای دوران بهره برداری دارای ظرفیت مازاد بوده و تنها در برخی شرایط ممکن است از حداکثر ظرفیت آن استفاده شود. از طرفی به دلیل عدم قطعیت در پارامترهای آن تضمینی برای حصول به کارایی مورد انتظار وجود ندارد. همچنین در اثر گذشت زمان و افزایش سن اجزای مختلف شبکه توزیع آب، زبری لوله‌ها تغییر کرده و افزایش می‌یابد. این مسئله باعث تغییر فرضیات و رفتارهای هیدرولیکی جریان در شبکه توزیع آب شده و در نتیجه اطمینان پذیری و عملکرد مطلوب شبکه را کاهش دهد. بنابراین فرض یک مقدار ثابت برای ضریب زبری لوله‌ها در طراحی شبکه با عمر مفید معین، معقول و منطقی نیست [۷].

با توجه به تحقیقاتی که انجام شده است، در ایران مطالعات محدودی در زمینه‌ی بررسی عدم قطعیت ضریب زبری در شبکه آبرسانی شهری انجام شده است و نیاز است که مطالعات و تحقیقات بیشتری در این زمینه انجام شود. هدف این مطالعه این است که آنالیز عدم قطعیت سیستم‌های توزیع آب را تحت شرایط تصادفی انجام دهد. برای تولید داده‌های ورودی مدل از روش مونت‌کارلو استفاده شده است. همچنین، چگونگی اثر گذاری عدم قطعیت متغیرهای غیرقطعی موجود در شبکه‌های توزیع آب شهری، در میزان کارایی آن در دوران بهره برداری

مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور تأثیر مقدار متغیرهای مختلف بر میزان ضریب زبری در شبکه‌های آبرسانی شهری تعیین شد. با وجود آنکه بر اساس پیش بینی‌های صورت گرفته، شبکه طراحی شده توانایی لازم را در تأمین نیاز و فشار کافی در نقاط مصرف دارا می‌باشد، ولی تغییرات غیر قطعی پارامترهای مؤثر در طراحی شبکه‌ها در دوران بهره برداری می‌تواند باعث کاهش کارایی برآورد شده برای شبکه طراحی شده گردد. کارایی شبکه توزیع آب با استفاده از محاسبه یک شاخص قطعی به نام شاخص شکست تعیین می‌شود.

۱-٤- روش تحقیق

در این تحقیق برآورد عدم قطعیت ضریب زبری در شبکه توزیع آب شهر کشکوئیه بررسی شده است. به این صورت که متغیرهای غیرقطعی با استفاده از توابع توزیع احتمالاتی معرفی می‌شوند. سپس با استفاده از روش شبیه سازی مونت‌کارلو سری‌های تصادفی از متغییرهای غیر قطعی مورد نظر تولید شده و شبکه مورد نظر با استفاده از نرم افزار تحلیل هیدرولیکی EPANET *2.0* شبیه سازی می‌شود. روش استفاده شده برای آنالیز عدم قطعیت در این تحقیق، روش شبیه سازی مونت‌کارلو می‌باشد.

مراحل انجام شده در این روش به شرح زیر می‌باشد:

۱- تعیین پارامترهای تصادفی ورودی به رابطه هیزن ویلیامز

۲- انتخاب توزیع آماری مناسب جهت مقادیر متغیرهای مختلف سیستم

۳- تولید اطلاعات با روش شبیه سازی مونت‌کارلو

۴- ارائه نتایج و تجزیه و تحلیل عدم اطمینان در شبکه

در این تحقیق، جهت بررسی انعطاف پذیری شبکه توزیع آب شهر کشکوئیه نسبت به سری‌های تصادفی تولید شده در روش مونت‌کارلو، از شاخص شکست استفاده شده است. این شاخص نشدنی بودن جواب‌ها را نشان می‌دهد و در ارزیابی تأثیر شکست و بروز نارسایی در لوله‌های مختلف یک شبکه به کار می‌آید.

۱-۵- شرح پایان نامه

این تحقیق در قالب شش فصل تهیه و به شرح ذیل می‌باشد:

فصل اول مقدمه و خلاصه‌ای از کار می‌باشد. فصل دوم مروری بر تحقیقات گذشته می‌باشد. فصل سوم به کلیاتی راجع به طراحی و تحلیل شبکه‌های توزیع آب می‌پردازد. در فصل

چهارم روش‌های آنالیز عدم قطعیت مورد بررسی قرار می‌گیرند. در فصل پنجم به معرفی شبکه توزیع آب مورد مطالعه و مشخصات آن پرداخته می‌شود. در فصل ششم به آنالیز عدم قطعیت شبکه مورد مطالعه بر پایه آنالیز مونت‌کارلو پرداخته می‌شود. در نهایت در فصل هفتم نتیجه گیری و پیشنهادات ارائه می‌گردد.

فصل دوم:

مروری بر کارهای گذشتــه

۲-۱- مقدمه

تحقیقات گسترده و فراوان انجام شده در زمینه طراحی و بهره برداری از شبکه‌های توزیع آب بیانگر اهمیت انکارناپذیر این سیستم‌ها در جوامع مختلف از گذشته تا حال می‌باشد. مطالعات زیادی بر روی آنالیز عدم قطعیت در زمینه‌های مختلف انجام شده است. در مسائل مهندسی آب هم مطالعاتی بر روی آنالیز عدم قطعیت رسوب، جریان در محیط سنگریزه، جابجایی گودال، دبی جریان رودخانه، سیستم‌های توزیع آب و ... انجام شده است [۳].

در این فصل، تاریخچه‌ای از این تحقیقات بیان شده است.

۲-۲- تاریخچه

Thomas (1943) خطاهای تصادفی در مقدار ضریب هیزن ویلیامز را گزارش داد. وی تأثیر سه نوع خطا را بر روی نتایج یک مدل از سیستم توزیع آب را بررسی کرد و شبکه‌های مختلف را آنالیز کرد. برای شبکه لوله‌های با ترکیب ساده، خطای مطلق[1] در افت هد کلی را محاسبه کرد، که با افزایش تعداد لوله‌ها افزایش می‌یابد [۱۸].

McIlroy (1946) پنج آزمایش آنالیز مونت‌کارلو را برای مطالعه تأثیر خطاهای تصادفی ضریب هیزن ویلیامز بر روی حداقل هد فشار در سیستم اجرا کرد. در آزمایشات بعدی مقدار ضریب هیزن ویلیامز با خطای تصادفی مربوط به توزیع نرمال با انحراف معیار ۱۵ تطبیق داده شد. مقدار ضریب هیزن ویلیامز برای نتایج قطعی استفاده شد و خطاهای تصادفی از ۴۰ تا ۱۰۰ با میانگین وزنی ۷۰ متنوع بودند [۱۸].

Rowell (1982) و Barnes اولین کسانی بودند که مسئله تعیین اطمینان پذیری را از طریق تأمین ظرفیت کافی در لوله‌های داخلی شبکه، جهت حفظ سطح خدمات دهی مورد نیاز در یک شبکه حلقه‌ای به علت شکست سایر اجزای سیستم مطرح کردند [۲۸].

Chan (1982) روش‌های مختلف شامل مونت‌کارلو، توزیع نرمال[2] و روش احتمال مستقیم را بررسی کرد و یک مدل رگرسیون چندگانه را پیشنهاد داد [۱۸].

McBean و همکارانش (1983) عدم قطعیت ضریب هیزن ویلیامز، قطر داخلی لوله، سرعت جریان در سراسر لوله، توان در معادله جریان- افت هد و ترم‌های مقدار افت کوچک‌تر که در معادله مدل آشکار نیستند را مطرح کردند. استفاده از روش‌های عدم قطعیت قبلاً به کار برده می‌شد تا تقاضا را برای ساختمان‌های مسکونی پیش بینی کند [۱۸].

---

[1] absolute error
[2] Normal Distribution

Jezowiecki و همکارانش (1985) روش مونت‌کارلو را به کار بردند تا تقاضای آب را در واحدهای خانگی چند خانوار ارزیابی کنند. هیچ یک از این مطالعات عدم قطعیت تقاضا در مدل سیستم توزیع یکی نیست [۱۸].

کاربرد آنالیز حساسیت در شبکه لوله توسط Giudice (1965) ، Stoner (1972) ، Donachie (1974) ، Shamir(1977) و Howard ، Coulbeck(1978) و Sterling ، Rahal (1980,1981) و همکارانش، و Coulbeck (1984,1985) انجام شده است. این محققان آنالیز حساسیت را در روش‌های بهینه سازی و در کالیبره کردن مدل‌های شبکه استفاده کردند [۱۸].

Su و همکاران (1987) روشی برای مدل‌سازی واقع بینانه اطمینان پذیری در طراحی شبکه توزیع آب ارائه کردند. در این روش اطمینان پذیری به صورت توانایی سیستم در تأمین نیاز گره‌ها (نقاط مصرف) در شبکه با حداقل ارتفاع فشاری مورد نیاز یا بیشتر از آن تعریف می‌شود. این مدل از نرخ شکست اجزا برای محاسبه احتمال شکست آن‌ها در تعریف اطمینان پذیری گره و سیستم، استفاده می‌کند. برای این منظور از روش حداقل مجموعه برش[1] استفاده شده است [۳۰].

Holub (1988) به مدل سازی[2] عدم قطعیت سیستم‌های توزیع آب پرداخت، که در این تحقیق زبری لوله، تقاضای کل و تقاضای گره را به عنوان متغیر تصادفی در سه مدل سیستم توزیع آب شهری در نظر گرفت، و از دو معادله هیزن ویلیامز[3] و دارسی ویسباخ-کول بروک برای مدل سازی سیستم‌ها استفاده نمود [۱۸].

Kevin و همکارانش (1989) یک مدل اجباری تصادفی برای حداقل کردن قیمت طراحی شبکه آبرسانی ارائه کردند. هدف این روش این بود تا عدم قطعیت را در تقاضای مورد نیاز، افت فشار مورد نیاز و ضریب زبری لوله محاسبه کند. موضوع بهینه سازی[4] به عنوان یک مدل برنامه غیر خطی که با روش generalized reduced gradient حل شده است [۲۲].

Marin و همکاران (1989) از روش مونت‌کارلو برای محاسبه‌ی احتمال تخطی غلظت متغیر کیفی شاخص از سطح استاندارد در آبخوان‌های مجاور مدفن‌های زباله استفاده کردند. در این تحقیق برخی از پارامترهای مدل شبیه سازی کیفی آب زیر زمینی[5]، غیر قطعی در نظر گرفته

[1] Minimum Cut-Set Method
[2] Modeling
[3] Hazen-Williams
[4] Optimization
[5] Ground water

شده‌اند و با توجه به تابع توزیع متغیرهای احتمالی در نظر گرفته شده، مجموعه‌ای از اعداد تصادفی با تابع توزیع احتمال مشخص تولید شده و بر اساس آن‌ها پخش و انتقال آلودگی در آبخوان بررسی شده است. سپس با شبیه سازی مکرر آبخوان، تغییرات زمانی و مکانی غلظت متغیر کیفی شاخص محاسبه شده و بر پایه آن، احتمال تخطی از استاندارد کیفیت آب برآورد گردیده است [۹].

Lansey و همکارانش (1989) یک مدل اجباری برای طراحی حداقل هزینه شبکه‌های توزیع آب ارائه دادند. آن‌ها روشی را شروع کردند تا عدم قطعیت در تقاضاهای لازم، هد فشاری مورد نیاز و ضرایب زبری لوله را محاسبه کند. آن‌ها یک مسئله بهینه سازی را به عنوان یک مدل برنامه ریزی غیرخطی تنظیم کردند که با استفاده از روش گرادیان کاهشی تعمیم یافته حل می‌شود. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که عدم قطعیت در تقاضاهای آینده، هد فشاری مورد نیاز و زبری لوله می‌تواند اثر قابل توجهی بر روی طراحی بهینه و قیمت داشته باشد [۲۳].

Bao (1990) و May نیز از روش‌های شبیه سازی مانند مونت‌کارلو برای بررسی عدم قطعیت در تخمین اطمینان پذیری شبکه توزیع آب استفاده کردند. مدل ارائه شده توسط آن‌ها با هدف تعیین اطمینان پذیری هیدرولیکی، دارای سه مرحله اصلی است:۱- تولید مقادیر احتمالاتی برای متغیرهای غیر قطعی،۲- شبیه سازی هیدرولیکی شبکه به کمک شبیه ساز KYPIPE و ۳- محاسبه اطمینان پذیری[1] شبکه. تحلیل حساسیت[2] در این روش نیز با در نظر گرفتن ۱۰ توزیع مختلف برای متغیرهای احتمالاتی انجام شده است. احتمال شکست گره‌ها (یا ریسک شکست گره‌ها که مکمل احتمال است) می‌تواند بعد از انجام تعداد کافی از شبیه سازی‌ها با سعی و خطاها، با استفاده از روش‌های آماری به دست آید. روش مونت‌کارلو به تعداد زیادی از سعی و خطاها نیاز دارد تا نتایج دقیق و قابل قبولی حاصل شود [۱۴].

Yixing (1990) یک روش ارائه داد تا عدم قطعیت در گره‌ها و قابلیت اطمینان هیدرولیکی سیستم توزیع آب را تخمین بزند. روش آن‌ها بر اساس شبیه سازی مونت‌کارلو است که در مرحله اول اعداد تصادفی تولید می‌شود و سپس شبیه سازی هیدرولیکی شبکه انجام می‌شود و در نهایت قابلیت اطمینان محاسبه می‌گردد. شبکه‌های توزیع آب به طور تصادفی تشکیل نشده‌اند بلکه کارایی هیدرولیکی آن‌ها به دقت مورد بررسی قرار می‌گیرد. شناخت انواع گوناگون لوله‌ها و اهمیت نسبی لوله‌ها در یک شبکه توزیع آب بر کارایی هیدرولیکی شبکه تأثیر می‌گذارد [۳۴].

[1] Reliability
[2] Sensitivity Analysis

Ganoulis (1991) یک مدل تصادفی را اجرا کرد که از نظریه مجموعه فازی، برای تعریف ظرفیت و مقاومت سیستم‌های هیدرولیکی تحت شرایط ریسک استفاده می‌کرد. این کار با توجه به متغییرهای هیدرولوژیکی[1]، پارامترها، ورودی‌ها و خروجی‌های تصادفی از قبیل متغیرهای فازی یا تصادفی انجام شد [۱۷].

Matias (1995) از الگوریتم ژنتیک[2] برای تکنیک‌های بهینه سازی استفاده کرده است و راهی است که قابلیت اطمینان را به طور افزاینده توسعه می‌دهد [۱۹].

Xu , Goulter (1997) آنالیز قابلیت هیدرولیکی شبکه‌های توزیع آب را بر اساس قابلیت اطمینان مرتبه اول انجام دادند. آن‌ها یک الگوریتم کارآمد را با استفاده از شبیه سازی و روش‌های آنالیز حساسیت توسعه دادند تا نقاط شکست را شناسایی کنند. آن‌ها نشان دادند که این روش پیشنهادی قادر است که قابلیت هیدرولیکی را برای محدوده وسیعی از تقاضاهای گره[3] و زبری لوله‌ها به دقت تعیین کند [۳۳].

Pappenberger (2005) عدم قطعیت در کالیبراسیون پارامتر زبری موثر در HEC-RAS را برآورد کردند. آنالیز عدم قطعیت جزء جریان غیر ماندگار(UNET) مدل یک بعدی HEC-RAS با روش GLUE انجام شده است [۲۵].

Thorndahl و همکارانش (2008) عدم قطعیت در مدل سازی فاضلاب شهری را بررسی کردند [۳۱].

Verdonck و همکارانش (2000) روش Bootstrapping، روش حداکثر درستنمایی و روش Bayesian را به کار بردند تا عدم قطعیت را بر روی نتایج آزمایش سمیت تخمین بزنند. آن‌ها مناسب‌ترین و موفق‌ترین روش را انتخاب کردند تا عدم قطعیت را با تابع توزیع تجمعی تعیین کنند [۳۲].

Souza و همکارانش (2001) روش‌های احتمالاتی را به کار بردند تا عدم قطعیت‌های موجود در فرایند آنالیز آلودگی آب‌ها را ارزیابی کنند و نشان دادند که بعضی ممنوعیت‌ها در استفاده از روش‌های احتمالاتی با مجموعه داده‌های ناجور[4] است. در نظریه احتمالات، تابع چگالی احتمال برای همه مجموعه متغیرهای تصادفی، با اندازه گیری ریسک هر سیستم محیطی آنالیز می‌شود، که این با یک مجموعه داده ناجور نمی‌تواند انجام شود [۲۹].

[1] Hydrological
[2] Genetic Algorithm
[3] Demand Nodes
[4] Inconsistent sets of data