



مقدمه‌ای بر تحلیل عدم قطعیت در سامانه‌های منابع آب

تألیف

دکتر امید بزرگ‌حداد
عضو هیأت علمی دانشگاه تهران
مهندس سمانه سیفاللهی آغمیونی
مهندسی منابع آب دانشگاه تهران

توجه

این کتاب مشمول قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان است. تکثیر کتاب به هر روش اعم از فتوکپی، ریسوگرافی، تهیه فایل‌های pdf، لوح فشرده، بازنویسی در وبلاگ‌ها، سایت‌ها، مجله‌ها و کتاب، بدون اجازه کتبی ناشر مجاز نیست و موجب پیگرد قانونی می‌شود.



انتشارات دانشگاه تهران

شماره ۳۴۰۷

شماره مسلسل ۷۶۹۸

سرشناسه	بزرگ-حداد، امید، ۱۳۵۳-
عنوان و نام پدیدآور	مقدمه‌ای بر تحلیل عدم قطعیت در سامانه‌های منابع آب / تألیف امید بزرگ-حداد، سمانه سیفاللهی آغمیونی.
مشخصات نشر	تهران: دانشگاه تهران، مؤسسه انتشارات، ۱۳۹۲.
مشخصات ظاهری	۲۳۳ ص. - مصوره، جدول، نمودار.
ذروست	انتشارات دانشگاه تهران، ۳۴۰۷.
شابک	978-964-03-6497-0
وضعیت فهرست‌نویسی	فیب
یادداشت	کتابنامه.
موضوع	آب، منابع - - مدیریت - - الگوهای ریاضی.
موضوع	آب، منابع - - برنامه‌ریزی.
موضوع	آب - - مهندسی - - الگوهای ریاضی.
شناسه افزوده	سیفاللهی آغمیونی، سمانه، ۱۳۶۸.
شناسه افزوده	دانشگاه تهران: مؤسسه انتشارات.
رده‌بندی کنگره	۱۳۹۲ م ۷ ۴ ب / ۱۶۹۱ II
رده‌بندی دیویی	۳۶۳/۶۱
شماره کتابشناسی ملی	۳۱۹۵۱۴۳

ISBN:978-964-03-6497-0



9 789640 364970

عنوان: مقدمه‌ای بر تحلیل عدم قطعیت در سامانه‌های منابع آب

تألیف: دکتر امید بزرگ-حداد - مهندس سمانه سیفاللهی آغمیونی

ویراستار: فاطمه جهانگیری

نوبت چاپ: اول

تاریخ انتشار: ۱۳۹۲

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

چاپ و صحافی: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

«مسئولیت صحت مطالب کتاب با مؤلفان است»

«کلیه حقوق برای ناشر محفوظ است»

بها: ۱۰۰۰۰۰ ریال

خیابان کارگر شمالی - خیابان شهید قرشی مقدم - مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

پست الکترونیک: press@ut.ac.ir - سایت: <http://press.ut.ac.ir>

بخش و فروش: تلفکس ۸۸۰۱۲۰۷۸

فصل اول: کلیات	۱
۱-۱- مقدمه	۱
۲-۱- چرخه هیدرولوژیک در طبیعت	۲
۳-۱- اجزای سامانه‌های منابع آب	۳
۴-۱- مفاهیم بررسی سامانه‌های منابع آب	۷
۵-۱- مقدمه‌ای بر عدم قطعیت در منابع آب	۱۳
۶-۱- دسته‌بندی انواع عدم قطعیت در منابع آب	۱۵
۱-۶-۱- تغییرپذیری ذاتی و طبیعی	۱۹
۲-۶-۱- عدم قطعیت دانش	۱۹
۳-۶-۱- عدم قطعیت تصمیم‌گیری	۲۰
۷-۱- ضرورت بررسی عدم قطعیت در منابع آب	۲۲
۸-۱- نتیجه	۲۳
۹-۱- مسائل	۲۴
منابع	۲۵
فصل دوم: مقدمه‌ای بر آمار و احتمالات	۲۷
۱-۲- مقدمه	۲۷
۲-۲- اصول پایه‌ای و مفاهیم احتمالات	۲۷
۱-۲-۲- تعاریف	۲۸
۲-۲-۲- متغیرهای تصادفی و توزیع‌های آنها	۳۴
۳-۲-۲- خصوصیات آماری متغیرهای تصادفی	۴۰
۳-۲- توزیع‌های احتمالاتی متداول	۵۰
۱-۳-۲- توزیع نرمال	۵۲
۲-۳-۲- توزیع لوگ نرمال	۵۳
۳-۳-۲- توزیع گاما	۵۹
۴-۳-۲- توزیع لوگ پیرسون نوع III	۶۱

۶۳.....	۵-۳-۲- توزیع‌های گامبل و توزیع تعمیم‌یافته مقادیر حدی (GEV)
۶۷.....	۶-۳-۲- توزیع دوجمله‌ای
۶۸.....	۷-۳-۲- توزیع پواسون
۶۹.....	۸-۳-۲- توزیع‌های احتمالاتی چندمتغیره
۷۱.....	۴-۲- توزیع‌های متغیرهای تصادفی
۷۱.....	۱-۴-۲- برآورد پارامترهای توزیع‌های متغیرهای تصادفی
۷۶.....	۲-۴-۲- کفایت مدل
۸۰.....	۵-۲- فرایندهای استوکستیک و سری‌های زمانی
۸۰.....	۱-۵-۲- توصیف فرایندهای استوکستیک
۸۲.....	۲-۵-۲- فرایندهای مارکوف و زنجیره مارکوف
۸۶.....	۳-۵-۲- خصوصیات آماره‌های سری‌های زمانی
۹۱.....	۶-۲- نتیجه
۹۲.....	۷-۲- مسائل
۹۴.....	منابع
۹۵.....	فصل سوم: تحلیل عدم قطعیت و حساسیت
۹۵.....	۱-۳- مقدمه
۹۵.....	۲-۳- تحلیل عدم قطعیت
۹۶.....	۱-۲-۳- عدم قطعیت‌های مدل و پارامترهای مدل
۱۰۰.....	۲-۲-۳- نتایج تحلیل عدم قطعیت
۱۰۱.....	۳-۳- تحلیل حساسیت
۱۰۲.....	۱-۳-۳- ضرایب حساسیت
۱۰۳.....	۲-۳-۳- تحلیل حساسیت قطعی ساده
۱۰۷.....	۱-۲-۳-۳- عدم قطعیت‌های چندگانه و آثار متقابل
۱۰۸.....	۲-۲-۳-۳- مجموعه پارامترها
۱۰۸.....	۳-۲-۳-۳- ترکیبات
۱۰۸.....	۴-۲-۳-۳- دو پارامتر در یک زمان
۱۱۰.....	۳-۳-۳-۳- تحلیل حساسیت مرتبه اول
۱۱۳.....	۴-۳- عدم قطعیت‌های معیار کارایی سامانه

۱۱۳.....	۳-۴-۱-عدم قطعیت آستانه مطلوب برای معیار کارایی
۱۱۵.....	۳-۴-۲-تشخیص تفاوت‌های بین توزیع‌های معیار کارایی
۱۱۷.....	۳-۵-نتیجه
۱۱۸.....	۳-۶-مسائل
۱۱۹.....	منابع

فصل چهارم: تحلیل عدم قطعیت در شبیه‌سازی سامانه‌های منابع آب..... ۱۲۱

۱۲۱.....	۴-۱-مقدمه
۱۲۱.....	۴-۲-شبیه‌سازی سامانه‌های منابع آب
۱۲۲.....	۴-۳-روش تحلیل حساسیت
۱۲۴.....	۴-۴-شبیه‌سازی تصادفی (نمونه‌سازی)
۱۳۳.....	۴-۵-روش کاربرد نظریه فازی
۱۳۶.....	۴-۵-۶-مجموعه‌های فازی برای تخصیص آب
۱۳۸.....	۴-۶-روش تحلیل مرتبه اول (FOAM)
۱۴۲.....	۴-۷-روش برآورد واریانس مرتبه اول (FOVE)
۱۴۴.....	۴-۸-روش کاربرد نظریه آنتروپی
۱۴۸.....	۴-۹-نتیجه
۱۴۹.....	۴-۱۰-مسائل
۱۵۰.....	منابع

فصل پنجم: تحلیل عدم قطعیت در بهینه‌سازی سامانه‌های منابع آب..... ۱۵۳

۱۵۳.....	۵-۱-مقدمه
۱۵۳.....	۵-۲-بهینه‌سازی سامانه‌های منابع آب
۱۵۶.....	۵-۳-روش تحلیل مرتبه اول اطمینان‌پذیری (FORM)
۱۵۸.....	۵-۴-روش گشتاور دوم مرتبه اول (FOSM)
۱۵۹.....	۵-۵-روش مقدار میانگین گشتاور دوم مرتبه اول (MFOSM)
۱۶۱.....	۵-۶-روش گشتاور دوم مرتبه اول پیشرفته (AFOSM)
۱۶۳.....	۵-۷-روش مقید به شانس
۱۷۳.....	۵-۸-روش کاربرد نظریه فازی
۱۷۳.....	۵-۸-۱-مجموعه‌های فازی برای تخصیص آب

ح □ مقدمه‌ای بر تحلیل عدم قطعیت در سامانه‌های منابع آب

۱۷۴.....	۵-۸-۲- مجموعه‌های فازی برای ذخیره مخزن و اهداف رهاسازی
۱۷۷.....	۵-۸-۳- مجموعه‌های فازی برای مدیریت کیفی آب
۱۸۴.....	۵-۹- روش کاربرد نظریه آنتروپی
۱۸۵.....	۵-۱۰- نتیجه
۱۸۶.....	۵-۱۱- مسائل
۱۸۸.....	منابع
۱۹۱.....	فصل ششم: تحلیل کارایی و اطمینان‌پذیری در سامانه‌های منابع آب
۱۹۱.....	۶-۱- مقدمه
۱۹۲.....	۶-۲- کارایی در سامانه‌های منابع آب
۱۹۲.....	۶-۳- بیان آماری کارایی در سامانه‌های منابع آب
۱۹۴.....	۶-۳-۱- اطمینان‌پذیری
۱۹۵.....	۶-۳-۲- برگشت‌پذیری
۱۹۵.....	۶-۳-۳- آسیب‌پذیری
۱۹۶.....	۶-۴- محاسبات اطمینان‌پذیری با استفاده از تحلیل عدم قطعیت
۱۹۷.....	۶-۴-۱- روش انتگرال‌گیری مستقیم
۱۹۸.....	۶-۴-۲- روش‌های استفاده از حدود اطمینان و فاکتور اطمینان
۲۰۱.....	۶-۴-۳- مدل اطمینان‌پذیری پویا (وابسته به زمان)
۲۰۳.....	۶-۴-۴- تحلیل زمان برای شکست
۲۰۴.....	۶-۴-۵- نرخ شکست و تابع خطر
۲۰۵.....	۶-۴-۶- متوسط زمان برای شکست
۲۰۷.....	۶-۴-۷- تابع چگالی تعمیر، نرخ تعمیر و متوسط زمان تعمیر
۲۰۸.....	۶-۴-۸- متوسط زمان بین شکست و متوسط زمان بین تعمیر
۲۰۹.....	۶-۴-۹- موجودیت و عدم موجودیت
۲۱۱.....	۶-۵- نتیجه
۲۱۲.....	۶-۶- مسائل
۲۱۴.....	منابع
۲۱۵.....	منابع و مأخذ کلی کتاب

فهرست جدول‌ها

صفحه

عنوان

۵۵	جدول ۱-۲- مساحت منحنی نرمال استاندارد (دیور، ۱۹۸۷) $\Phi(z) = \Pr(Z \leq z)$
۷۸	جدول ۲-۲- مقادیر بحرانی آماره کلموگروف- اسمیرنوف به‌عنوان تابعی از تعداد مشاهده‌های مجموعه (n)
۷۹	جدول ۳-۲- مقادیر بحرانی برای آماره آزمون همبستگی نمودار احتمال (r) برای توزیع نرمال ..
۷۹	جدول ۴-۲- مقادیر بحرانی برای آماره آزمون همبستگی نمودار احتمال (r) برای توزیع گامبل .
۸۵	جدول ۵-۲- احتمالات متوالی جریان رودخانه براساس احتمالات انتقال شکل ۲-۱۴
۸۷	جدول ۶-۳- خطای استاندارد $\bar{X}$ زمانی که $\sigma_X = 0.25$ و $p_X(k) = p^k$ است.
۸۸	جدول ۷-۳- انحراف معیار $\sqrt{p_X}/\sigma_X$ زمانی که مشاهده‌ها دارای توزیع نرمال بوده و $p_X(k) = p^k$ برقرار است.
۱۰۴	جدول ۱-۳- محدوده مقادیر ممکن برای خراجی مدل (R) به‌ازای خطاهای ممکن در چهار مجموعه از پارامترهای مدل
۱۰۵	جدول ۲-۳- محدوده تغییرات (حساسیت) برآورد غلظت فسفر (mg/m^3) نسبت به مقادیر پارامترها
۱۱۱	جدول ۳-۳- ضرایب حساسیت برآوردشده پارامتر
۱۱۲	جدول ۴-۳- برآورد ضرایب حساسیت پارامتر
۱۱۶	جدول ۵-۳- داده‌های محتمل جریان از یک شبیه‌سازی ۵۰ ساله
۱۲۳	جدول ۱-۴- داده‌های مربوط به تعیین پتانسیل تفریحی مخزن
۱۵۵	جدول ۲-۵- مراحل حل یک مسئله بهینه‌سازی
۱۷۵	جدول ۳-۵- جواب حاصل از Lingo برای مسئله بهینه‌سازی حجم ذخیره
۱۷۸	جدول ۴-۵- جواب حاصل از مدل بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن براساس توابع هدف ۵-۸-۷ و ۵-۸-۹
۱۷۹	جدول ۴-۵- مقادیر پارامترهای مسئله مدیریت کیفی آب نشان داده شده در شکل ۵-۶
۱۸۳	جدول ۵-۵- جواب‌های حاصل از حل مدل مدیریت کیفی آب فازی در روابط ۵-۸-۱۱ تا ۵-۸-۸

فهرست شکل‌ها

عنوان

صفحه

شکل ۱-۱- اجزای خرخه آب و چگونگی ارتباط آن‌ها.....	۳
شکل ۲-۱- شمای کلی اجرای سامانه‌های منابع آب.....	۴
شکل ۳-۱- شمای کلی فرایند پیش‌بینی در سامانه‌های منابع آب. علامت ✓ به مفهوم معلوم بودن و علامت سوال (؟) به مفهوم مجهول بودن پارامتر مربوط است.....	۹
شکل ۴-۱- شمای کلی فرایند مدل‌سازی در سامانه‌های منابع آب. علامت ✓ به مفهوم معلوم بودن و علامت سوال (؟) به مفهوم مجهول بودن پارامتر مربوط است.....	۹
شکل ۵-۱- شمای کلی فرایند واسنجی در مدل‌سازی سامانه‌های منابع آب. علامت ✓ به مفهوم معلوم بودن و علامت سوال (؟) به مفهوم مجهول بودن پارامتر مربوط است.....	۱۰
شکل ۶-۱- شمای کلی فرایند شبیه‌سازی در سامانه‌های منابع آب. علامت ✓ به مفهوم معلوم بودن و علامت سوال (؟) به مفهوم مجهول بودن پارامتر مربوط است.....	۱۰
شکل ۷-۱- شمای کلی فرایند بهینه‌سازی جانمایی در سامانه‌های منابع آب. علامت ✓ به مفهوم معلوم بودن و علامت سوال (؟) به مفهوم مجهول بودن پارامتر مربوط است.....	۱۲
شکل ۸-۱- شمای کلی فرایند بهینه‌سازی طراحی در سامانه‌های منابع آب. علامت ✓ به مفهوم معلوم بودن و علامت سوال (؟) به مفهوم مجهول بودن پارامتر مربوط است.....	۱۲
شکل ۹-۱- شمای کلی فرایند بهینه‌سازی بهره‌برداری در سامانه‌های منابع آب. علامت ✓ به مفهوم معلوم بودن و علامت سوال (؟) به مفهوم مجهول بودن پارامتر مربوط است.....	۱۳
شکل ۱۰-۱- دسته‌بندی کلی انواع عدم قطعیت.....	۱۸
شکل ۱۱-۱- تغییرات خروجی مدل به دلیل تأثیر عدم قطعیت داده‌های ورودی مختلف.....	۲۱
شکل ۱۲-۱- منحنی‌های پوش تغییرات خروجی مدل به دلیل تأثیر عدم قطعیت داده‌های ورودی مختلف.....	۲۱
شکل ۱-۲- نمایش گرافیکی رویداد A متشکل از تعدادی از مشخصه‌ها.....	۳۲
شکل ۲-۲- PDF و CDF متغیرهای تصادفی پیوسته.....	۳۵
شکل ۳-۲- PMF و CDF متغیرهای تصادفی گسسته.....	۳۶
شکل ۴-۲- حالت‌های مختلفی از ضریب همبستگی.....	۴۶
شکل ۵-۲- شکل‌های توزیع احتمالاتی با علامت‌های مختلف ضریب چولگی.....	۴۷

- شکل ۶-۲- شکل شماتیک توزیع نرمال ۵۲
- شکل ۷-۲- تابع چگالی احتمال لوگ نرمال به‌ازای مقادیر مختلف انحراف معیار ۵۷
- شکل ۸-۲- تابع توزیع گاما برای مقادیر متفاوت از پارامتر شکل α ۶۰
- شکل ۹-۲- توابع چگالی احتمال توزیع لوگ پیرسون نوع III برای مقادیر مختلف از ضریب چولگی γ ۶۲
- شکل ۱۰-۲- تغییرات ضریب چولگی متغیر X با توزیع لوگ پیرسون نوع III در فضای غیرلگاریتمی به‌ازای مقادیر متفاوت انحراف معیار و به‌عنوان تابعی از ضریب چولگی تبدیل لگاریتمی متغیر X ۶۳
- شکل ۱۱-۲- ضریب تغییرات متغیر X با توزیع لوگ پیرسون نوع III در فضای غیرلگاریتمی به‌ازای مقادیر متفاوت انحراف معیار و به‌عنوان تابعی از ضریب چولگی تبدیل لگاریتمی متغیر X ۶۴
- شکل ۱۲-۲- توزیع‌های چگالی GEV برای مقادیر متفاوت از پارامتر شکل (α) ۶۶
- شکل ۱۳-۲- دنباله‌های سمت راست برای توزیع‌های GEV نشان داده شده در شکل ۱۲-۲ ۶۶
- شکل ۱۴-۲- هیستوگرام‌های احتمالات انتقال دسته‌های مختلف جریان رودخانه که احتمال وقوع جریان q در سال $y+1$ را در شرایطی که جریان رودخانه در سال y برابر با q_i باشد، نشان می‌دهند. ۸۴
- شکل ۱-۳- توزیع‌های احتمالاتی برای یک متغیر تصادفی X پیوسته یا گسسته. سطح زیر منحنی‌های توزیع (ناحیه هاشورخورده) در شکل‌های الف و پ برابر با یک است و سطح هاشورخورده در شکل ب، نشان‌دهنده این احتمال است که مقدار متغیر تصادفی X بین دو مقدار u و v باشد. ۹۶
- شکل ۲-۳- مدل‌سازی یک سامانه قطعی. ورودی‌ها تصادفی نیست و فقط مقدار پارامتر یا ساختار مدل نیاز به اصلاح دارند. ساختار مدل شبیه‌سازی، نیازمند واسنجی به‌ازای ورودی‌های مدل است. ۹۷
- شکل ۳-۳- یک مدل شبیه‌سازی قطعی برای یک سامانه تصادفی ۹۸
- شکل ۴-۳- توزیع خروجی مدل به‌ازای محدوده‌ای از مقادیر ممکن و احتمال گذر از مقدار آستانه مطلوب. سطح هاشورخورده زیر تابع چگالی در سمت چپ، احتمال گذر از مقدار مطلوب را نشان می‌دهد. مقدار این احتمال روی محور عمودی نمودار احتمال گذر در سمت راست قابل تعیین است. ۱۰۰
- شکل ۵-۳- نمودار توفان که محدوده تغییرات متغیر خروجی غلظت فسفر را برای بیشترین و کمترین مقادیر از هر مجموعه پارامترها نشان می‌دهد. ۱۰۶
- شکل ۶-۳- نمودار پرتو که نشان‌دهنده محدوده تغییرات متغیر خروجی غلظت فسفر به‌ازای بیشترین و کمترین مقادیر از مجموعه پارامترهای مفروض است. ۱۰۶

- شکل ۷-۳- نمودار عنکبوتی که نشان‌دهنده ارتباط خروجی مدل (غلظت فسفر) و تغییرات هر مجموعه پارامتر است که به صورت درصد انحراف از مقادیر اسمی آن پارامتر بیان شده است. ۱۰۷
- شکل ۸-۳- نمودار پرتو که نشان‌دهنده عدم قطعیت در غلظت‌های فسفر به‌ازای عدم قطعیت‌های جفت پارامترهای ورودی است. ۱۰۹
- شکل ۹-۳- نمودار پرتو که نشان‌دهنده ترکیبات بدترین عدم قطعیت به‌ازای هر جفت از پارامترهای ورودی است. ۱۰۹
- شکل ۱۰-۳- ترکیب توزیع احتمالاتی مقادیر معیار عملکرد با توزیع احتمالاتی مقادیر مطلوب معیار عملکرد برای برآورد اطمینان موجود در احتمال گذر از مقدار بیشینه مطلوب. ۱۱۴
- شکل ۱-۴- تابع توزیع چگالی احتمال متغیر تصادفی X ۱۲۵
- شکل ۲-۴- تابع توزیع تجمعی متغیر تصادفی X ۱۲۵
- شکل ۳-۴- دیاگرام نشان‌دهنده محاسبه یک مجموعه از مقادیر متغیر تصادفی X از توزیع نرمال چندمتغیره به‌گونه‌ای که میانگین، واریانس و همبستگی متغیر تصادفی حفظ شود. ۱۲۷
- شکل ۴-۴- روند اجرای فرایند MCS. ۱۲۹
- شکل ۵-۴- شکل شماتیک منحنی همگرایی. ۱۲۹
- شکل ۶-۴- تخصیص جریان رودخانه در هر بازه زمانی ۱ که در هر محل i به سود $B_i(x_{it})$ منجر می‌شود. ۱۳۰
- شکل ۷-۴- الف- سیاست تخصیص برای محل ۱ براساس جریان در محل انحراف آن. ۱۳۱
- شکل ۷-۴- ب- سیاست تخصیص برای محل ۲ براساس جریان در محل انحراف آن. ۱۳۱
- شکل ۷-۴- پ- سیاست تخصیص برای محل ۳ براساس جریان در محل انحراف آن. ۱۳۱
- شکل ۷-۴- ت- جریان رودخانه در پایین دست محل ۳ برای Q_{3t} معلوم در محل ۲. ۱۳۱
- شکل ۸-۴- شبیه‌سازی مونت کارلو برای تعیین توزیع‌های احتمالاتی تخصیص به هر یک از سه محل مصرف آب که در شکل‌های ۷-۴- الف تا ۷-۴- ت نشان داده شده‌اند. خط‌چین‌ها جریان اطلاعات (داده‌ها) را نشان می‌دهند. ۱۳۲
- شکل ۹-۴- (الف) مجموعه کلاسیک و (ب) مجموعه فازی، در یک مجموعه مرجع X' ۱۳۳
- شکل ۱۰-۴- تابع عضویت اشتراک دو مجموعه فازی $\tilde{A}$ و $\tilde{B}$ ۱۳۵
- شکل ۱۱-۴- تابع عضویت اجتماع دو مجموعه فازی $\tilde{A}$ و $\tilde{B}$ ۱۳۵
- شکل ۱۲-۴- تابع عضویت متمم مجموعه فازی $\tilde{A}$ ۱۳۶
- شکل ۱۳-۴- تابع عضویت برای آب در دسترس به مقدار تقریبی شش واحد یا کمتر. ۱۳۷
- شکل ۱-۵- فضای استاندارد دو بُعدی و تقریب سطح شکست در روش FORM. ۱۵۷

شکل ۵-۲- شکل شماتیک سامانه تصفیه پساب صنعتی.....	۱۶۶
شکل ۵-۳- CDF که نشان‌دهنده مقدار مشخصی از متغیر تصادفی ($q_i^{0.10}$) است، که در ۹۰ درصد مواقع، مقدار متغیر تصادفی برابر یا بزرگ‌تر از این مقدار مشخص ($q_i^{0.10}$) است.....	۱۷۲
شکل ۵-۴- تابع عضویت برای حجم‌های ذخیره.....	۱۷۶
شکل ۵-۵- تابع عضویت برای حجم رهاسازی.....	۱۷۷
شکل ۵-۶- شکل شماتیک مسئله آلودگی رودخانه برای یافتن بازده‌های تصفیه (x_1, x_2) برای تأمین شرایط کیفی استاندارد در رودخانه با کمترین هزینه.....	۱۷۹
شکل ۵-۷- تابع عضویت برای حدود ۲۰ میلی گرم در لیتر یا کمتر به عنوان بیشترین غلظت مجاز آلودگی.....	۱۸۰
شکل ۵-۸- تابع عضویت برای فناوری تصفیه موجود.....	۱۸۱
شکل ۵-۹- تابع عضویت عدالت در مقابل قدر مطلق اختلاف بین دو بازده تصفیه.....	۱۸۱
شکل ۶-۱- نمودار مجموعه داده‌ها و نمودار معکوس مجموعه داده‌ها نسبت به میانگین.....	۱۹۳
شکل ۶-۲- مقدار آستانه مشخص کننده مقادیر رضایت بخش و غیررضایت بخش.....	۱۹۴
شکل ۶-۳- شکل شماتیک نمودارهای PDF مربوط به بارگذاری و مقاومت سامانه.....	۱۹۸
شکل ۶-۴- شکل شماتیک نمودار PDF مقاومت سامانه در کنار نمودار CDF بارگذاری در صورت مستقل بودن دو متغیر بارگذاری و مقاومت سامانه.....	۱۹۸
شکل ۶-۵- اطمینان‌پذیری و ریسک در تحلیل زمان برای شکست.....	۲۰۴
شکل ۶-۶- موجودیت برای اجزای قابل تعمیر و غیر قابل تعمیر.....	۲۱۰

پیشگفتار

در طول تاریخ جهان شاهد نیاز روزافزون به تأمین آب مطمئن، با کیفیت و مقرون به صرفه برای مصارف شهری، کشاورزی و صنعت بوده است. از طرفی در دهه‌های اخیر نیاز به حفظ الگوهای هیدرولوژیکی که ضامن سلامت و تنوع زیست‌بوم‌ها هستند نیز افزایش یافته است. از این‌رو، مدیران آب همواره با چالش‌های تأمین نیازهای مختلف و غالباً متضاد روبه‌رو هستند. همه چالش‌های مدیریتی به نوعی با عدم قطعیت‌های گوناگون در زمینه نیاز و تأمین آب همراهند که از تغییر در اقلیم، تغییر در استانداردهای زندگی مردمی، تغییر در کاربری اراضی حوضه‌های آبریز و تغییر در دانش فنی کارشناسان ناشی می‌شوند. با وجود این، مدیران چگونه می‌توانند سامانه‌های منابع آب را توسعه دهند، بازسازی کنند و سپس به‌گونه‌ای مدیریت کنند که اهداف و مقاصد متغیر جامعه تأمین شوند؟ به عبارت دیگر، سامانه‌های منابع آب چگونه می‌توانند یکپارچه‌تر و پایدارتر شوند؟

بی‌شک، ارائه راهکارها و طرح‌های مهندسی برای نیل به اهداف جامعه، اجتناب‌ناپذیر است. پیش از آنکه بتوان طرح‌های مهندسی را برای مسائل مدیریتی آب به کار برد یا با هدف افزایش منافع اقتصادی، بوم‌شناختی^۱، زیست‌محیطی و اجتماعی آنها را به کار گرفت، ابتدا باید در مورد آنها برنامه‌ریزی صورت گیرد. برنامه‌ریزی به مفهوم تعیین گزینه‌های جایگزین مختلف برای بیان مسائل متفاوت است. سپس، آثار گوناگون هر گزینه باید برآورد و ارزیابی شود. در تعیین و ارزیابی طرح‌ها، مدل‌های شبیه‌سازی^۲ و بهینه‌سازی^۳ و روش‌های مدل‌سازی^۴ متنوعی برای کمک به مدیران و برنامه‌ریزان توسعه یافته‌اند. هدف از ارائه چنین مدل‌هایی دستیابی به طراحی‌های مطلوب سامانه‌های منابع آب از نظر اقتصادی و بهره‌برداری‌های کارآمد از این سامانه‌هاست. این در حالی است که شرایط طبیعی حاکم بر سامانه در آینده، به صورت دقیق پیش‌بینی‌پذیر نیست و تغییرات زمانی و مکانی عوامل مؤثر بر سامانه‌ها بیانگر عدم قطعیت در طراحی‌ها و قوانین بهره‌برداری ارائه‌شده توسط مدیران و برنامه‌ریزان سامانه‌های منابع آب است. این کتاب با عنوان کلی "مقدمه‌ای بر تحلیل عدم قطعیت در سامانه‌های منابع آب"، علم

استفاده از مدل‌سازی تحلیلی و آماری عدم قطعیت‌های موجود در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب را در شرایط واقعی ارائه می‌دهد. فراگیری کامل این علم در گرو کاربرد آن در مسائل واقعی مرتبط با سامانه‌های طبیعی منابع آب است. برای این منظور، در این کتاب نمونه‌های ساده و کوچکی از نحوه کاربرد روش‌های مختلف بررسی عدم قطعیت در مسائل مهندسی و مدیریت منابع آب ارائه شده است.

هدف این کتاب ایجاد ساختاری منظم در مدل‌سازی سامانه‌های منابع آب به‌منظور مدیریت آنها در شرایط حاکم و با لحاظ کردن عدم قطعیت‌های مربوط به آنهاست. در این کتاب کلیاتی از روش‌های تحلیلی و آماری مورد استفاده در سامانه‌های منابع آب و تحلیل عدم قطعیت در آنها ارائه شده است. کتاب حاوی شش فصل کلی است که در فصل اول، ضمن معرفی سامانه‌های منابع آب و اجزا و اصطلاحات متداول در بررسی آنها، کلیاتی از عدم قطعیت در منابع آب و ضرورت بررسی آن در مدیریت سامانه‌ها بیان شده است. به‌منظور آشنایی خوانندگان با اصول کلی آمار و احتمالات در تحلیل عدم قطعیت، در فصل دوم مفاهیم ریاضی و آماری مربوط به عدم قطعیت آورده شده است. فصل سوم شامل تحلیل عدم قطعیت و حساسیت بوده و تفاوت این دو مفهوم کلی بیان شده است. به‌طور کلی، می‌توان روش‌های تحلیل عدم قطعیت را با توجه به کاربرد آنها در مسائل شبیه‌سازی و بهینه‌سازی سامانه‌های منابع آب مورد بررسی قرار داد که در فصل‌های چهارم و پنجم به‌ترتیب به این روش‌ها پرداخته شده است. هدف از مدل‌سازی مسائل مدیریتی منابع آب و بررسی عدم قطعیت در آنها، دستیابی به عملکرد هر چه بهتر در سامانه‌های منابع آب است که در فصل ششم کتاب، مفاهیم عمومی مربوط به عملکرد سامانه‌های منابع آب تحت تأثیر عدم قطعیت‌های موجود، کارایی و اطمینان‌پذیری آنها ارائه شده است و می‌توان از آنها برای مسائل واقعی نیز استفاده کرد.

دکتر امید بزرگ‌حداد

عضو هیأت علمی دانشگاه تهران

مهندس سمانه سیف‌اللهی آغمیونی

مهندسی منابع آب دانشگاه تهران