

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مدل سازی پیشرفته شبکه های توزیع آب

تألیف

دکتر مسعود تابش

استاد دانشگاه تهران



شماره مسلسل ۹۸۱۶

شماره انتشار ۳۷۱۶

انتشارات دانشگاه تهران

سرشناسه	: تابش، مسعود
عنوان و نام پدیدآور	: مدل‌سازی پیشرفته شبکه‌های توزیع آب / تألیف مسعود تابش.
مشخصات نشر	: تهران: دانشگاه تهران، مؤسسه انتشارات، ۱۳۹۴.
مشخصات ظاهری	: ۶۰۴ ص: مصور، جدول، نمودار.
فروست	: انتشارات دانشگاه تهران؛ شماره انتشار ۳۷۱۶.
شابک	: 978-964-03-6896-1
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیپا.
یادداشت	: چاپ چهارم.
یادداشت	: کتابنامه.
موضوع	: آب بخشی - الگوهای ریاضی
موضوع	: لوله‌کشی آب - ریاضیات
موضوع	: لوله‌کشی آب - طرح و ساختمان
موضوع	: آب بخشی - مدیریت
شناسه افزوده	: دانشگاه تهران. مؤسسه انتشارات
رده‌بندی کنگره	: ۱۳۹۷ م ۴ ت ۱۷ / TD ۴۸۲
رده‌بندی دیویی	: ۶۲۸/۱۴۴۰۱۵۱
شماره کتابشناسی ملی	: ۴۱۵۳۰۵۵

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 و تمامی حقوق برای ناشر محفوظ است.



عنوان: مدل‌سازی پیشرفته شبکه‌های توزیع آب
تألیف: دکتر مسعود تابش
نوبت چاپ: چهارم
تاریخ انتشار: ۱۳۹۷
شمارگان: ۲۰۰ نسخه
ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران
چاپ و صحافی: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

«مسئولیت صحت مطالب کتاب با مؤلف است»

بها: ۷۲۰۰۰۰ ریال

خیابان کارگر شمالی - خیابان شهید فرشی مقدم - مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران
پست الکترونیک: press@ut.ac.ir - تارنما: <http://press.ut.ac.ir>
پخش و فروش: تلفکس ۸۸۳۳۸۷۱۲

فهرست مطالب

فصل اول: پیش‌بینی میزان تقاضای آب.....	۱
۱-۱- مقدمه.....	۱
۲-۱- پیش‌بینی میزان تقاضا.....	۲
۱-۲-۱- عوامل مؤثر در میزان تقاضا (مصرف).....	۳
۲-۲-۱- نگرش‌های مختلف در پیش‌بینی میزان تقاضا (مصرف).....	۶
۳-۲-۱- انواع پیش‌بینی.....	۷
۱-۳-۲-۱- پیش‌بینی کوتاه‌مدت.....	۷
۲-۳-۲-۱- پیش‌بینی میان‌مدت.....	۸
۳-۳-۲-۱- پیش‌بینی بلندمدت.....	۸
۱-۳-۳-۲-۱- روند تاریخی.....	۹
۲-۳-۳-۲-۱- پیش‌بینی گسسته.....	۱۰
۳-۱- دوره طرح.....	۱۰
۱-۳-۱- تعریف و انتخاب دوره طرح.....	۱۰
۲-۳-۱- عوامل مؤثر در دوره طرح.....	۱۱
۳-۳-۱- مرحله‌بندی عملیات اجرایی در دوره طرح.....	۱۱
۴-۱- مصرف سرانه آب.....	۱۲
۱-۴-۱- انواع نیازهای آبی شهر و روستا.....	۱۳
۲-۴-۱- نحوه تعیین مصرف سرانه آب.....	۱۵
۱-۲-۴-۱- جمع‌آوری آمار و اطلاعات تولید و مصرف.....	۱۵
۱-۱-۲-۴-۱- مصارف خانگی.....	۱۵
۲-۱-۲-۴-۱- مصارف غیرخانگی.....	۱۷
۳-۱-۲-۴-۱- تولید و مصرف کل.....	۱۸
۲-۲-۴-۱- تعیین میزان مصرف کل آب (نیاز آبی).....	۱۸
۳-۲-۴-۱- پیش‌بینی مصرف سرانه کل آب در انتهای دوره طرح.....	۱۸
۱-۳-۲-۴-۱- پیش‌بینی مصرف سرانه خانگی (بدون فضای سبز).....	۱۸
۲-۳-۲-۴-۱- پیش‌بینی مصرف سرانه فضای سبز خانگی و عمومی.....	۱۹
۳-۳-۲-۴-۱- پیش‌بینی مصرف سرانه عمومی.....	۲۱

- ۲۱-۴-۲-۳-۴- پیش‌بینی مصرف سرانه تجاری و صنعتی..... ۲۱
- ۲۱-۴-۲-۳-۵- پیش‌بینی مقدار سرانه آب به حساب نیامده (بدون درآمد)..... ۲۱
- ۲۱-۴-۲-۳-۶- پیش‌بینی مصرف سرانه کل..... ۲۱
- ۲۲-۴-۳- نوسانات زمانی تقاضا و عوامل مؤثر در آن..... ۲۲
- ۲۲-۴-۳-۱- تعیین ضریب حداکثر روزانه (C_1)..... ۲۲
- ۲۲-۴-۳-۲- پیش‌بینی ضریب حداکثر مصرف ساعتی (C_2)..... ۲۲
- ۲۵-۱- نیازهای جنبی در شبکه توزیع آب..... ۲۵
- ۲۵-۱-۱- آب مورد نیاز آتش‌نشانی..... ۲۵
- ۲۵-۱-۲- آب مورد نیاز شستشو و گندزدایی شبکه..... ۲۸
- ۲۸-۱-۶- برآورد جمعیت..... ۲۸
- ۲۹-۱-۶- منابع اصلی برآورد جمعیت..... ۲۹
- ۲۹-۱-۶-۲- عوامل مؤثر در برآورد جمعیت..... ۲۹
- ۲۹-۱-۶-۳- موارد ضروری برای برآورد جمعیت..... ۲۹
- ۳۲-۱-۶-۴- موارد مؤثر در دقت برآورد جمعیت..... ۳۲
- ۳۲-۱-۶-۵- روش‌های مرسوم پیش‌بینی جمعیت..... ۳۲
- ۳۲-۱-۶-۵-۱- روش گسترش نموداری..... ۳۲
- ۳۲-۱-۶-۵-۲- روش رشد حسابی یا روش خطی..... ۳۲
- ۳۳-۱-۶-۵-۳- روش رشد هندسی..... ۳۳
- ۳۳-۱-۶-۵-۴- روش رشد با آهنگ کاهشی..... ۳۳
- ۳۴-۱-۶-۵-۵- روش ریاضی - نموداری یا منحنی لجستیک..... ۳۴
- ۳۴-۱-۶-۵-۶- محاسبه برآورد جمعیت بر اساس ترکیب سن و جنس..... ۳۴
- ۳۵-۱-۶-۵-۱- روش مؤلفه‌ای..... ۳۵
- ۳۵-۱-۶-۵-۲- روش مؤلفه‌ای نسلی..... ۳۵
- ۳۵-۱-۷- مدل‌های پیش‌بینی میزان تقاضا..... ۳۵
- ۳۵-۱-۷-۱- مدل‌های ساختاری..... ۳۵
- ۳۶-۱-۷-۲- مدل‌های آماری..... ۳۶
- ۳۸-۱-۸- روش‌های نوین آماری پیش‌بینی تقاضا..... ۳۸
- ۳۸-۱-۸-۱- پیش‌بینی بر اساس واحد مشترکین (روش ضرایب واحد)..... ۳۸
- ۳۹-۱-۸-۲- مدل‌های چند پارامتری..... ۳۹

فهرست مطالب □ ج

۳۹	۱-۲-۸-۱- مدل های ضرایب چندگانه.....
۳۹	۲-۲-۸-۱- مدل های اقتصادی.....
۴۲	۹-۱- منابع داده برای تدوین مدل پیش بینی تقاضا.....
۴۲	۱-۹-۱- داده های میدانی.....
۴۳	۲-۹-۱- صورت حساب ها و مقادیر مصرف اندازه گیری شده مشترکین شبکه.....
۴۳	۳-۹-۱- سیستم های خودکار جمع آوری اطلاعات.....
۴۴	۱۰-۱- تخصیص نیازها به گره های مصرف.....
۴۷	۱۱-۱- مسائل.....

فصل دوم: معادلات و روش های تحلیل هیدرولیکی.....

۴۹	۱-۲- مقدمه.....
۴۹	۲-۲- تعاریف.....
۵۰	۳-۲- روابط هد - جریان اجزای شبکه توزیع.....
۵۱	۱-۳-۲- لوله ها.....
۵۱	۱-۱-۳-۲- افت هد اصلی.....
۵۲	۲-۱-۳-۲- افت هد فرعی.....
۵۴	۳-۱-۳-۲- سیستم لوله های سری.....
۵۴	۴-۱-۳-۲- سیستم لوله های موازی.....
۵۵	۲-۳-۲- پمپ.....
۵۶	۳-۳-۲- شیرها.....
۵۶	۱-۳-۳-۲- شیر یک طرفه (NRV).....
۵۶	۲-۳-۳-۲- شیر فشارشکن (PRV).....
۵۷	۳-۳-۳-۲- شیر کنترل جریان (FCV).....
۵۷	۴-۲- تحلیل هیدرولیکی سامانه های آبرسانی.....
۵۷	۱-۴-۲- قوانین پایه شبکه لوله ها.....
۵۸	۱-۱-۴-۲- قانون پیوستگی.....
۵۸	۲-۱-۴-۲- قانون بقای انرژی.....
۵۸	۲-۴-۲- معادلات حاکم بر شبکه.....
۵۹	۱-۲-۴-۲- معادلات جریان (معادلات Q).....

ح □ مدل‌سازی پیشرفته شبکه‌های توزیع آب

۵۹.....	۲-۲-۴-۲- معادلات گره‌ای (معادلات H)
۶۰.....	۳-۲-۴-۲- معادلات حلقه (معادلات ΔQ)
۶۰.....	۴-۲-۴-۲- معادلات ΔH
۶۰.....	۵-۲-۴-۲- معادلات H-Q
۶۱.....	۵-۲- روش‌های حل معادلات هیدرولیکی
۶۱.....	۱-۵-۲- روش هاردی - کراس
۶۵.....	۲-۵-۲- روش نیوتن - رافسون
۶۹.....	۳-۵-۲- روش تئوری خطی
۷۲.....	۴-۵-۲- روش گرادیان
۷۲.....	۱-۴-۵-۲- مدل‌سازی شبکه‌های دارای لوله و مخزن به روش گرادیان
۷۵.....	۲-۴-۵-۲- مدل‌سازی شبکه‌های دارای پمپ در روش گرادیان
۷۸.....	۳-۴-۵-۲- مدل‌سازی شیرها در روش گرادیان
۸۱.....	۴-۴-۵-۲- روش گرادیان در فرم ماتریسی
۹۲.....	۵-۵-۲- مشخصات محاسباتی روش‌ها
۹۴.....	۶-۲- شبیه‌سازی دوره زمانی گسترده (تحلیل دینامیکی)
۹۵.....	۱-۶-۲- فرایند تکراری پیش‌بینی - اصلاح
۹۷.....	۲-۶-۲- روش مستقیم
۹۹.....	۷-۲- مسائل

۱۰۷.....	فصل سوم: تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار
۱۰۷.....	۱-۳- مقدمه
۱۱۰.....	۲-۳- رابطه فشار - دبی گره‌ای
۱۱۰.....	۱-۲-۳- روابط ناپیوسته
۱۱۱.....	۲-۲-۳- روابط پیوسته
۱۱۱.....	۱-۲-۲-۳- روابط بدون حد بالا برای میزان برداشت
۱۱۲.....	۲-۲-۲-۳- روابط با حد بالا برای میزان خروجی
۱۲۳.....	۳-۳- الگوریتم تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار در وضعیت جریان ماندگار
۱۲۳.....	۱-۳-۳- معادلات اصلی در روش نیوتن - رافسون
۱۲۴.....	۱-۱-۳-۳- وارد کردن وابستگی فشار و دبی خروجی از گره‌ها در معادلات حاکم

فهرست مطالب □ خ

۱۲۵	۲-۳-۳- معادلات اصلی در روش گرادیان
۱۲۹	۳-۳-۳- مثال‌ها
۱۳۶	۴-۳-۳- کارایی محاسباتی
۱۳۷	۴-۳- روش‌های تقریبی تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار
۱۳۷	۱-۴-۳- روش SPDA
۱۴۱	۲-۴-۳- روش‌های مبتنی بر هد مخزن
۱۴۱	۱-۲-۴-۳- روش هد مخزن (SHM)
۱۴۴	۲-۲-۴-۳- روش بهبود یافته هد مخزن (ISHM)
۱۵۰	۵-۳- مسائل

فصل چهارم: مدل‌سازی آب به حساب نیامده و نشت در شبکه‌های توزیع آب

۱۵۵	۱-۴- مقدمه
۱۵۶	۲-۴- تعریف آب به حساب نیامده
۱۵۷	۳-۴- شاخص سنجش آب به حساب نیامده
۱۵۸	۴-۴- اجزای آب به حساب نیامده
۱۵۹	۱-۴-۴- آب به حساب نیامده غیرفیزیکی (تلفات ظاهری)
۱۵۹	۱-۱-۴-۴- خطای ابزار اندازه‌گیری
۱۶۱	۲-۱-۴-۴- خطاهای انسانی
۱۶۱	۳-۱-۴-۴- خطاهای مدیریتی
۱۶۱	۴-۱-۴-۴- خطاهای بهره‌برداری
۱۶۲	۵-۱-۴-۴- مصرف غیرمجاز
۱۶۲	۶-۱-۴-۴- مصارف مجاز اندازه‌گیری نشده مجانی
۱۶۲	۱-۶-۱-۴-۴- مصارف مجاز شرکت‌های آب و فاضلاب
۱۶۳	۲-۶-۱-۴-۴- مصارف مجاز برخی ارگان‌های عمومی و یا دولتی (فروش بدون اندازه‌گیری)
۱۶۳	۲-۴-۴- آب به حساب نیامده فیزیکی (تلفات واقعی)
۱۶۵	۱-۲-۴-۴- نشت از خطوط لوله انتقال
۱۶۵	۲-۲-۴-۴- تلفات از مخازن ذخیره
۱۶۵	۳-۲-۴-۴- تلفات شبکه توزیع و خطوط لوله انشعابات مشترکین
۱۶۵	۴-۲-۴-۴- تلفات از پمپ‌ها و شیرها

- ۱۶۷-۴-۵- مقادیر نمونه از مقدار آب به حساب نیامده در کشورهای مختلف.....
- ۱۶۸-۴-۶- مبانی نظری نشت در شبکه‌های توزیع آب شهری.....
- ۱۶۹-۴-۶-۱- رابطه فشار - نشت.....
- ۱۷۲-۴-۶-۲- متوسط فشار منطقه (AZP).....
- ۱۷۳-۴-۶-۳- مفهوم منافذ نشت با سطوح ثابت و متغیر (FAVAD).....
- ۱۷۶-۴-۷- روش‌های محاسبه تلفات آب و نشت.....
- ۱۷۶-۴-۷-۱- روش‌های تجربی.....
- ۱۷۶-۴-۷-۱-۱- روش بالانس سالانه آب.....
- ۱۷۸-۴-۷-۱-۲- روش تخمین مؤلفه‌های نشت.....
- ۱۷۹-۴-۷-۱-۲-۱- نشت زمینه.....
- ۱۸۱-۴-۷-۱-۲-۲- شکستگی‌ها.....
- ۱۸۵-۴-۷-۱-۳- روش اندازه‌گیری و تحلیل حداقل جریان شبانه (MNF).....
- ۱۸۶-۴-۷-۱-۳-۱- تعریف ایزوله.....
- ۱۸۶-۴-۷-۱-۳-۲- تعریف حداقل جریان شبانه.....
- ۱۸۶-۴-۷-۱-۳-۳- مؤلفه‌های حداقل جریان شبانه.....
- ۱۹۰-۴-۷-۲- مدل‌های تحلیل هیدرولیکی نشت.....
- ۱۹۰-۴-۷-۲-۱- روابط نشت - فشار.....
- ۱۹۱-۴-۷-۲-۲- مدل‌سازی نشت با استفاده از تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر تقاضا.....
- ۱۹۱-۴-۷-۲-۲-۱- فرض‌های مسئله.....
- ۱۹۲-۴-۷-۲-۲-۲- اختصاص نشت شبکه به گره‌ها.....
- ۱۹۳-۴-۷-۲-۲-۳- استفاده از ویژگی آبفشان‌ها در مدل تحلیل هیدرولیکی EPANET.....
- ۱۹۴-۴-۷-۲-۲-۴- محاسبه نشت تمام گره‌ها و لوله‌ها در طول شبانه‌روز.....
- ۱۹۴-۴-۷-۲-۳- مدل‌سازی نشت با استفاده از تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار.....
- ۱۹۶-۴-۷-۲-۳-۱- روش حل معادلات هیدرولیکی با در نظر گرفتن نشت.....
- ۲۰۱-۴-۸- محاسبه مؤلفه‌های آب به حساب نیامده.....
- ۲۰۱-۴-۸-۱- برآورد مؤلفه‌های آب به حساب نیامده غیرفیزیکی.....
- ۲۰۱-۴-۸-۱-۱- برآورد آب به حساب نیامده غیرفیزیکی ناشی از خطای مدیریتی و بهره‌برداری $UFW(E_{M0})$
- ۲۰۱-۴-۸-۱-۲- برآورد آب به حساب نیامده غیرفیزیکی ناشی از خطای انسانی $UFW(E_p)$

۳-۱-۸-۴- برآورد آب به حساب نیامده غیرفیزیکی ناشی از خطای ابزار اندازه‌گیری	۲۰۲
.....UFW(E _{FM})	
۱-۳-۱-۸-۴- برآورد آب به حساب نیامده ناشی از خطای اندازه‌گیری برای دبی شروع	۲۰۲
.....UFW(E _{FM1})	
۲-۳-۱-۸-۴- برآورد آب به حساب نیامده ناشی از خطای اندازه‌گیری برای دبی متوسط تا حداکثر	۲۰۳
.....UFW(E _{FM2})	
۳-۳-۱-۸-۴- برآورد آب به حساب نیامده انشعابات با کنترل خراب	۲۰۳
.....UFW(E _{FM3})	
۴-۱-۸-۴- برآورد آب به حساب نیامده غیرفیزیکی ناشی از مصارف غیرمجاز	۲۰۴
.....UFW(E _{UC})	
۵-۱-۸-۴- برآورد آب به حساب نیامده غیرفیزیکی ناشی از مصارف مجاز اندازه‌گیری نشده	۲۰۴
.....UFW(E _{AC})	
۱-۵-۱-۸-۴- برآورد مصارف مجاز توسط شرکت‌های آب و فاضلاب	۲۰۴
.....UFW(E _{AC1})	
۲-۵-۱-۸-۴- برآورد مصارف مجاز توسط سازمان‌های عمومی یا دولتی	۲۰۴
.....UFW(E _{AC2})	
۶-۱-۸-۴- محاسبه مقدار کل آب به حساب نیامده غیرفیزیکی	۲۰۵
.....UFW(E _{NP})	
۲-۸-۴- محاسبه نشت از تأسیسات و شبکه توزیع آب	۲۰۵
.....	
۱-۲-۸-۴- نشت از لوله‌ها (خطوط انتقال، شبکه توزیع و انشعابات)	۲۰۵
.....	
۱-۱-۲-۸-۴- نشت اجتناب‌ناپذیر (UARL)	۲۰۵
.....	
۲-۱-۲-۸-۴- نشت زمینه نامرئی ناشی از شکستگی‌های گزارش نشده	۲۰۷
.....	
۲-۲-۸-۴- نشت مرئی ناشی از شکستگی‌های گزارش شده (حوادث)	۲۰۷
.....	
۳-۲-۸-۴- نشت مخازن	۲۰۸
.....	
۱-۳-۲-۸-۴- نشت از بدنه مخازن	۲۰۸
.....	
۲-۳-۲-۸-۴- سرریز از مخازن	۲۰۹
.....	
۴-۲-۸-۴- نشت از تلمبه‌ها و شیرها	۲۱۰
.....	
۹-۴- مسائل	۲۱۰
.....	
فصل پنجم: مدل‌سازی کیفی	
.....	۲۱۳
۱-۵- مقدمه	۲۱۳
.....	
۲-۵- معادلات حاکم	۲۱۴
.....	
۱-۲-۵- انتقال	۲۱۴
.....	
۲-۲-۵- اختلاط	۲۱۵
.....	

۲۱۵	.....	۵-۲-۱-اختلاط در گره‌ها
۲۱۶	.....	۵-۲-۲-اختلاط در مخازن ذخیره
۲۱۸	.....	۵-۲-۳-واکنش‌های حجمی
۲۲۰	.....	۵-۲-۱-ثابت نرخ زوال حجمی
۲۲۲	.....	۵-۲-۲-ثابت نرخ زوال دیواره
۲۲۳	.....	۵-۲-۳-ثابت نرخ زوال کل
۲۲۶	.....	۵-۲-۴-واکنش‌های تشکیل
۲۲۷	.....	۵-۳-انواع دیگر شبیه‌سازی کیفیت آب
۲۲۷	.....	۵-۳-۱-تحلیل ردیابی منبع
۲۲۸	.....	۵-۳-۲-تحلیل سن آب
۲۲۹	.....	۵-۴-مدل استاتیکی برای تعیین غلظت کلر
۲۴۲	.....	۵-۵-مدل‌های دینامیکی شبیه‌سازی کیفی
۲۴۳	.....	۵-۵-۱-روش اولری تفاضل محدود (FDM)
۲۴۴	.....	۵-۵-۲-روش اولری حجم گسسته (DVM)
۲۴۵	.....	۵-۵-۳-روش مبتنی بر زمان لاگرانژی (TDM)
۲۴۶	.....	۵-۵-۴-روش مبتنی بر رویداد لاگرانژی (EDM)
۲۴۷	.....	۵-۵-۵-روش روندیابی رو به عقب ذرات (PBA)
۲۴۷	.....	۵-۶-نکات عمومی
۲۴۸	.....	۵-۶-مدل‌سازی کیفی شبکه‌های توزیع آب به روش اولری حجم گسسته (DVM)
۲۴۹	.....	۵-۶-۱-حل عددی مسئله
۲۵۱	.....	۵-۶-۲-قاعده تخصیص جرم
۲۵۹	.....	۵-۷-مسائل

فصل ششم: کالیبراسیون مدل‌های تحلیل هیدرولیکی و کیفی..... ۲۶۳

۲۶۳	.....	۶-۱-مقدمه
۲۶۴	.....	۶-۲-منابع خطا در مدل‌سازی
۲۶۵	.....	۶-۲-۱-خطا در داده‌های ورودی
۲۶۶	.....	۶-۲-۲-قطر لوله‌ها
۲۶۶	.....	۶-۲-۳-ضریب زبری لوله‌ها

فهرست مطالب □ ز

۲۶۸	..... ۱-۳-۲-۶- جبران خطاها
۲۷۰	..... ۲-۳-۲-۶- انتخاب بین تنظیم قطر و زبری لوله‌ها
۲۷۱	..... ۴-۲-۶- توزیع مصارف سیستم
۲۷۲	..... ۵-۲-۶- نقشه‌های سیستم
۲۷۳	..... ۶-۲-۶- تغییرات شرایط مرزی زمانی
۲۷۴	..... ۷-۲-۶- پیکربندی (ساده‌سازی) مدل
۲۷۵	..... ۸-۲-۶- بی‌قاعدگی‌های هندسی
۲۷۵	..... ۹-۲-۶- منحنی‌های مشخصه پمپ
۲۷۶	..... ۳-۶- روش‌های کالیبراسیون
۲۷۷	..... ۱-۳-۶- راهکارهای کالیبراسیون دستی
۲۷۷	..... ۱-۱-۳-۶- آنچه که باید تنظیم شود
۲۷۹	..... ۱-۱-۳-۶- تنظیم ضرایب زبری
۲۸۲	..... ۲-۱-۳-۶- اصلاح همزمان ضرایب زبری لوله‌ها و تقاضاهای گره‌ای
۲۹۱	..... ۲-۳-۶- راهکارهای کالیبراسیون به صورت خودکار
۲۹۴	..... ۱-۲-۳-۶- فرمولاسیون مسئله بهینه‌سازی
۲۹۵	..... ۲-۲-۳-۶- تعیین نقاط برداشت داده‌ها برای کالیبراسیون
۲۹۷	..... ۳-۲-۳-۶- استفاده از کالیبراسیون بهینه شده
۲۹۸	..... ۴-۲-۳-۶- اعتبار مدل
۲۹۹	..... ۴-۶- کالیبراسیون مدل تحلیل دینامیکی (EPS)
۲۹۹	..... ۱-۴-۶- پارامترهای مورد تنظیم
۳۰۰	..... ۲-۴-۶- مسائل کالیبراسیون مدل EPS
۳۰۰	..... ۳-۴-۶- کالیبراسیون با استفاده از ردیاب‌ها
۳۰۱	..... ۴-۴-۶- مطالعات انرژی
۳۰۱	..... ۵-۶- کالیبراسیون مدل‌های کیفی آب
۳۰۱	..... ۱-۵-۶- کالیبراسیون / صحت‌سنجی با استفاده از داده‌های سری زمانی
۳۰۵	..... ۶-۶- سطوح قابل قبول کالیبراسیون
۳۰۸	..... ۷-۶- نمونه‌ای از الگوریتم‌های مورد استفاده در کالیبراسیون انواع مدل‌های تحلیل هیدرولیکی
۳۰۹	..... ۱-۷-۶- تابع هدف و ساختار آن
۳۰۹	..... ۲-۷-۶- الگوریتم کالیبراسیون مدل مبتنی بر تقاضا

۳۱۰	۳-۷-۶- الگوریتم کالیبراسیون مدل HDSM
۳۱۰	۸-۶- حل مثال نمونه
۳۱۴	۱-۸-۶- روند کالیبراسیون مدل DDSM
۳۱۵	۱-۱-۸-۶- تنظیم ضریب زبری (ضریب هیزن - ویلیامز) لوله‌های شبکه
۳۱۶	۲-۱-۸-۶- تنظیم مصارف اختصاص یافته به گره‌ها
۳۱۸	۳-۱-۸-۶- تنظیم همزمان متغیرهای مصارف گرهی و زبری لوله‌های شبکه
۳۲۲	۴-۱-۸-۶- تنظیم قطر لوله‌های شبکه
۳۲۴	۵-۱-۸-۶- مقایسه نتایج کالیبراسیون با مقادیر حقیقی متغیرها
۳۲۴	۲-۸-۶- روند کالیبراسیون مدل HDSM
۳۲۷	۳-۸-۶- مدل‌سازی نشت و کالیبراسیون
۳۲۸	۱-۳-۸-۶- مدل‌سازی نشت به‌وسیله مدل DDSM
۳۲۹	۲-۳-۸-۶- مدل‌سازی نشت به‌وسیله مدل HDSM
۳۳۱	۹-۶- مسائل

۳۳۹	فصل هفتم: قابلیت اطمینان
۳۳۹	۱-۷- مقدمه
۳۴۱	۲-۷- انواع قابلیت اطمینان
۳۴۲	۱-۲-۷- قابلیت اطمینان مکانیکی
۳۴۲	۱-۱-۲-۷- قابلیت اطمینان (امکان کاربری) لوله
۳۵۰	۲-۱-۲-۷- قابلیت کاربری سایر اجزا
۳۵۱	۲-۲-۷- قابلیت اطمینان هیدرولیکی
۳۵۲	۱-۲-۲-۷- قابلیت اطمینان گره‌ای و سیستم
۳۵۵	۳-۷- رویکردهای جایگزین قابلیت اطمینان
۳۵۶	۱-۳-۷- شاخص قابلیت افزونگی
۳۵۸	۱-۱-۳-۷- شاخص قابلیت افزونگی اصلاح شده
۳۶۸	۴-۷- تأثیر تغییرات تقاضا بر قابلیت اطمینان
۳۷۰	۱-۴-۷- تحلیل دوره زمانی گسترده قابلیت اطمینان
۳۷۷	۲-۴-۷- تحلیل قابلیت اطمینان با استفاده از مقادیر متغیر (احتمالاتی) تقاضا (HDSRAPD)
۳۸۵	۳-۴-۷- تحلیل جامع دوره زمانی گسترده و احتمالاتی قابلیت اطمینان روزانه (IEPPRA)

فهرست مطالب □ ش

۳۸۷	۵-۷- قابلیت اطمینان کیفی
۳۸۷	۱-۵-۷- قابلیت اطمینان گرهی کیفیت آب
۳۸۸	۲-۵-۷- قابلیت اطمینان کیفی کل شبکه
۳۸۹	۳-۵-۷- قابلیت اطمینان حجمی کیفیت آب (RQ _v)
۳۹۰	۴-۵-۷- شاخص شکست زمانی کیفیت تحویل شده (FDQ)
۳۹۱	۵-۵-۷- شاخص شکست کیفی
۳۹۲	۶-۵-۷- شاخص سن آب در شبکه (WA)
۳۹۲	۶-۷- شاخص قابلیت عملکرد (PI)
۳۹۳	۱-۶-۷- انتخاب متغیر مناسب
۳۹۳	۲-۶-۷- محاسبه عملکرد المان‌های شبکه
۳۹۴	۳-۶-۷- منحنی‌های جریمه هیدرولیکی
۳۹۸	۴-۶-۷- منحنی‌های جریمه کیفی
۴۰۴	۵-۶-۷- محاسبه قابلیت عملکرد کل شبکه
	۷-۷- محاسبه قابلیت اطمینان شبکه با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان گرهی و لوله‌ای
۴۰۹	با استفاده از مفهوم افت انرژی در لوله‌ها
۴۲۴	۸-۷- مسائل

۴۲۵	فصل هشتم: طراحی بهینه
۴۲۵	۱-۸- مقدمه
۴۲۵	۲-۸- انواع کاربردهای مدل‌سازی
۴۲۶	۱-۲-۸- تصمیم‌گیری دربارهٔ اندازه لوله‌ها
۴۲۸	۲-۲-۸- رویکردهای طراحی سیستم
۴۲۹	۳-۲-۸- ضرورت طراحی بهینه
۴۳۰	۳-۸- روند بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع آب
۴۳۱	۱-۳-۸- اصطلاحات بهینه‌سازی
۴۳۲	۲-۳-۸- تجسم مسئله
۴۳۳	۳-۳-۸- دلایل استفاده از بهینه‌سازی
۴۳۴	۴-۳-۸- کاربردهای بهینه‌سازی
۴۳۸	۵-۳-۸- پیامد بهینه‌سازی

۴۳۹	۴-۸- ساختار کلی مدل‌های بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع آب
۴۳۹	۴-۸-۱- تعریف مسئله
۴۴۲	۵-۸- روش‌های بهینه‌سازی
۴۴۳	۵-۸-۱- بهینه‌سازی تحلیلی
۴۴۴	۵-۸-۲- برنامه‌ریزی خطی (LP)
۴۴۶	۵-۸-۳- برنامه‌ریزی غیرخطی (NLP)
۴۴۷	۵-۸-۴- برنامه‌ریزی پویا (DP)
۴۴۹	۵-۸-۵- روش جستجوی غیرتطبیقی
۴۵۰	۵-۸-۶- روش‌های جستجوی تطبیقی (الگوریتم‌های فراکاوشی تکاملی)
۴۵۱	۵-۸-۶-۱- الگوریتم ژنتیک
۴۵۳	۵-۸-۶-۲- جستجوی دسته‌مورچه‌ها (ACO)
۴۵۴	۵-۸-۶-۳- شبیه‌سازی بازپخت (SA)
۴۵۵	۵-۸-۶-۴- جستجوی تابو (TS)
۴۵۵	۸-۶- انواع حالات بهینه‌سازی
۴۵۵	۸-۶-۱- بهینه‌سازی تک‌هدفه
۴۵۶	۸-۶-۲- بهینه‌سازی چندهدفه
۴۵۸	۸-۶-۳- انتخاب بهترین جواب ممکن بر روی منحنی پارتو
۴۵۹	۸-۶-۳-۱- روش وزن‌دهی
۴۵۹	۸-۶-۳-۲- روش مقید
۴۶۰	۸-۶-۳-۳- روش Young
۴۶۱	۸-۶-۳-۴- روش چانه‌زنی Nash
۴۶۲	۸-۷- نمونه‌هایی از کاربرد روش‌های بهینه‌سازی در طراحی شبکه‌های توزیع آب شهری
۴۶۸	۸-۸- مثال‌های نمونه
۵۱۳	۸-۹- مسائل
۵۱۵	پیوست: راهنمای حل مسائل
۵۲۹	فهرست مراجع و منابع
۵۵۹	فهرست علائم
۵۷۷	واژه‌نامه

پیشگفتار

زیرساخت‌های آب و فاضلاب شهری و روستایی امروزه اهمیت به‌سزایی در تمدن، رفاه و آسایش جوامع انسانی یافته‌اند. طراحی این زیرساخت‌ها و توسعه هرچه سریع‌تر آنها تا رسیدن به پوشش صددرصدی شهرها و روستاها براساس استانداردهای ملی و بین‌المللی انجام می‌شود. سامانه‌های آبرسانی، بخشی از زیرساخت‌های آب و فاضلاب هستند که از ابتدای قرن حاضر هجری شمسی در شهرهای مختلف کشور ایجاد شده و توسعه یافته‌اند تا جایی که امروزه حدود ۹۹ درصد جمعیت شهری و ۷۰ درصد جمعیت روستایی کشور از نعمت دسترسی به آب شرب بهداشتی از طریق سامانه‌های آبرسانی بهره‌مند هستند.

مبانی طراحی سامانه‌های تأمین و شبکه‌های توزیع آب از دیرباز توسط دانشمندان مختلف تدوین و در قالب استانداردهای متعدد مستند شده و مورد استفاده کارشناسان از جمله مهندسان مشاور قرار دارد. از سوی دیگر با توجه به محدودیت شدید منابع آب قابل دسترس، هزینه‌بر بودن ساخت و بهره‌برداری سامانه‌های آبرسانی و افزایش سریع جمعیت و رشد روزافزون نیاز آبی این جمعیت، سامانه‌های آبرسانی موجود تحت فشار زیادی قرار دارند. در کنار آن، افزایش سن این سامانه‌ها و فرسودگی اجزای آنها نیز سبب افزایش مشکلات این سامانه‌ها و کاهش قابلیت اطمینان آنها شده است. در نظر گرفتن نکات بالا منجر به تغییر دیدگاه حاکم بر طراحی سامانه‌های آبرسانی و به‌خصوص شبکه‌های توزیع آب در سال‌های اخیر شده است. بر این اساس، دیدگاه سنتی حاکم بر طراحی این سامانه‌ها به دیدگاه طراحی مبتنی بر عملکرد (Performance base design) تغییر یافته است تا بتوان شبکه‌ها را به‌نحوی طراحی کرد که بهترین عملکرد را در طول دوران بهره‌برداری داشته باشند. همچنین به‌جای طرح این شبکه‌ها صرفاً با لحاظ کردن ضریب اطمینان بالا، در نظر گرفتن توأم بهینه‌سازی اقتصادی و افزایش قابلیت اطمینان شبکه از نظر پارامترهای هیدرولیکی و کیفی مد نظر قرار گرفته است.

با توجه به موارد بالا و تجربه بیش از دو دهه مؤلف در تدریس دروس مرتبط با مهندسی آب و فاضلاب در دوره‌های مختلف کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری و همچنین تجارب عملی در شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور و مهندسان مشاور، برای ارائه مباحث نو در زمینه سامانه‌های آب و فاضلاب، نیاز به سرفصل‌های جدیدی بود که کتاب‌های موجود قادر به پوشش دادن آن نبودند. بر این مبنا مباحث جدید مطرح در طراحی و بهره‌برداری شبکه‌های توزیع آب توسط مؤلف در قالب درس مهندسی آب و فاضلاب پیشرفته تعریف و تدوین شد. کتاب حاضر بخشی از مباحث مربوط به این موضوع را دربر می‌گیرد که بر اساس مطالب رساله دکترای نویسنده و بیش از ۵۰ پایان‌نامه کارشناسی

ارشد و رساله دکتری که در طول پانزده سال گذشته با راهنمایی مؤلف در دانشکده فنی دانشگاه تهران انجام شده و همچنین استانداردهای تهیه شده توسط مؤلف، تنظیم شده است. این مباحث در طول ۱۵ سال گذشته در درس مهندسی آب و فاضلاب دوره کارشناسی و دروس مهندسی آب و فاضلاب پیشرفته و طراحی شبکه‌های آب و فاضلاب در مقطع تحصیلات تکمیلی دانشکده فنی و همچنین دوره‌های آموزشی برای کارشناسان صنعت آب و فاضلاب کشور مورد استفاده قرار گرفته است.

تأسیس قطب علمی مهندسی و مدیریت زیرساخت‌ها و تصویب برنامه‌های پیشنهادی آن از سوی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری در دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تهران در سال ۱۳۸۴ که مؤلف از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۰ مدیریت آن را برعهده داشت نیز انگیزه نگارنده را در پرداختن عمیق‌تر به مباحث مربوط به زیرساخت‌ها تقویت کرد. در این راستا تدوین و انتشار مباحث جدید در خصوص مهندسی و مدیریت زیرساخت‌ها که از جمله مأموریت‌های این قطب علمی است ضرورت بیشتری پیدا کرد.

از سوی دیگر تشکیل انجمن آب و فاضلاب ایران وابسته به کمیسیون انجمن‌های علمی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری در سال ۱۳۹۳ و نقش مؤلف به‌عنوان عضو هیئت مؤسس و رئیس هیئت مدیره، مشوق جدیدی برای نویسنده در پیشبرد و توسعه علوم آب و فاضلاب ایجاد کرد. امید است که دیگر همکاران محترم و متخصصین این حوزه نیز با تدوین نتایج تحقیقات و تجربیات ارزشمند خود و انتشار کتب مورد نیاز، بر غنای بیش‌تر این حوزه از علوم بیفزایند.

مطالب ارائه شده در این کتاب در هشت فصل تنظیم شده است. فصل اول به تعریف تقاضا و چگونگی محاسبه نیاز آبی در بازه‌های کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت می‌پردازد. با تعریف دوره طرح و محاسبه جمعیت برای بازه زمانی مورد نظر، نیاز آبی طرح آبرسانی محاسبه می‌شود. در ادامه، انواع مدل‌سازی تقاضا در مراحل مختلف طراحی و بهره‌برداری طرح‌های آبرسانی تشریح می‌شود. در فصل دوم ضمن معرفی روابط هیدرولیکی حاکم بر شبکه‌های توزیع آب و اجزای مختلف شبکه، دسته معادلات مختلف هیدرولیکی و روش‌های حل مناسب برای هر دسته معادله تشریح می‌شود. ضمناً نحوه تحلیل استاتیکی (لحظه‌ای) و دینامیکی (دوره زمانی گسترده) شبکه‌های توزیع آب معرفی می‌شوند.

در فصل سوم روش تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار و معادلات مختلف دبی - فشار تشریح شده و نحوه حل معادلات هیدرولیکی جدید با روش‌های مختلف توضیح داده می‌شود.

فصل چهارم به تعریف مفهوم آب به حساب نیامده (بدون درآمد) و اجزای مختلف آن در شبکه‌های توزیع آب پرداخته و نحوه محاسبه هریک را تشریح می‌کند. ضمناً روابط مختلف برای محاسبه نشت معرفی شده و نحوه مدل‌سازی نشت در شبکه‌های توزیع آب بر اساس روش‌های تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر فشار و مبتنی بر تقاضا تشریح می‌شود.

پیشگفتار □ ظ

در فصل پنجم مدل‌سازی کیفی شبکه‌های توزیع آب بررسی می‌شود. در این فصل پس از معرفی پارامترهای کیفی و معادلات حاکم بر هریک از پارامترها، انواع روش‌های مدل‌سازی کیفی مورد بحث قرار می‌گیرد.

فصل ششم به تعریف کالیبراسیون مدل‌های تحلیل هیدرولیکی و کیفی شبکه‌های توزیع آب اختصاص دارد. در این فصل ضمن ارائه تعاریف و استانداردهای لازم در این خصوص، نقش شرایط مختلف مصرف و همچنین نشت، در کالیبراسیون مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین کالیبراسیون انواع مدل‌های تحلیل هیدرولیکی مبتنی بر تقاضا و مبتنی بر فشار بررسی و مقایسه می‌شوند.

در فصل هفتم مفهوم قابلیت اطمینان در شبکه‌های توزیع آب معرفی شده و روابط مختلفی برای این شاخص در رابطه با اجزای مختلف شبکه توزیع ارائه می‌شود. همچنین تعدادی از مهم‌ترین شاخص‌های جایگزین قابلیت اطمینان نیز مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند.

فصل هشتم طراحی بهینه و قابل اطمینان شبکه‌های توزیع آب به همراه فرمول‌های مربوطه و انواع الگوریتم‌های بهینه‌سازی را مورد بحث قرار می‌دهد. طراحی مبتنی بر عملکرد شبکه و تأثیر آن بر بهبود شرایط بهره‌برداری، با در نظر گرفتن نقش شاخص قابلیت اطمینان در مرحله بهینه‌سازی از دیگر مطالب این فصل است.

برای تهیه مطالب و تدوین این کتاب، نویسنده از یاری تعدادی از همکاران و دانشجویان عزیز به صورت مستقیم و غیرمستقیم بهره‌مند شده است. بخشی از مطالب فصل اول برگرفته از نشریه ۳-۱۱۷ (بازنگری اول) معاونت نظارت و راهبردی ریاست جمهوری است که با مسئولیت مؤلف و با همکاری آقایان مهندس حمیدرضا هنری، دکتر عبدالمهدی میرسپاسی، صدرالدین بلادی موسوی و خانم‌ها مهندس زهره جوادی و مهندس بیتا خویی تدوین شده است. بخشی از مطالب فصل ۴ نیز برگرفته از نشریه ۵۵۶ معاونت نظارت و راهبردی ریاست جمهوری است که با مسئولیت مؤلف و همکاری آقایان مهندس حمیدرضا هنری و دکتر عبدالمهدی میرسپاسی تهیه شده است. در بقیه فصول نیز از مطالب پایان‌نامه‌های تعدادی از دانشجویان که با راهنمایی اینجانب انجام و در قالب مقالات علمی در مجلات معتبر بین‌المللی و داخلی منتشر شده، استفاده شده است. در ادامه لازم است از زحمات سرکار خانم دکتر سارا نظیف و آقایان دکتر عباس روزبهانی و مهندس حامد توکلی‌فر که در تنظیم و تدوین بخش‌هایی از مطالب کتاب به نویسنده یاری رساندند تشکر کنم. از آقای مهندس سید احمدرضا شاهنگیان که برای ترسیم و افزایش کیفیت شکل‌های کتاب زحمت کشیدند نیز بسیار سپاسگزارم. ضمناً از زحمات استاد گرامی آقای دکتر کامبیز بهنیا و سرکار خانم دکتر سارا نظیف که با طرح نظرات ارزنده خود موجب غنای بیشتر مطالب این کتاب شدند تشکر می‌کنم. همچنین لازم است

در پایان از زحمات پدر و مادر عزیزم که مشوق من در تدوین این کتاب بودند و همسر و فرزندان عزیزم که با صبر و تحمل خود تألیف این کتاب را برای من امکان‌پذیر ساختند صمیمانه سپاسگزاری کنم. لازم به ذکر است که مطالب ارائه شده در درس مهندسی آب و فاضلاب پیشرفته بسیار وسیع‌تر از مطالب این کتاب است که بقیه سرفصل‌ها به حول و قوه الهی در قالب جلدهای دیگری به دانشجویان و دانش‌پژوهان تقدیم خواهد شد. کتاب حاضر می‌تواند به‌طور مستقیم توسط دانشجویان تمامی مراکز آموزشی از جمله دانشکده‌های عمران، مکانیک، شهرسازی، بهداشت و غیره در قالب دروس مهندسی آب و فاضلاب، زیرساخت‌ها و تأسیسات شهری و غیره مورد استفاده قرار گیرد. همچنین کارشناسان شاغل در بخش آب از جمله مهندسان مشاور، شرکت‌های آب و فاضلاب و غیره می‌توانند از بخش‌های مختلف این کتاب در راستای مأموریت‌های خود استفاده کنند.

در پایان یادآور می‌شود گرچه در تدوین کتاب حاضر تلاش زیادی از نظر حفظ صحت و دقت مطالب صورت گرفته است ولی بدیهی است که مطالب آن خالی از اشکال نیست. بنابراین امید است خوانندگان محترم با دقت نظر خود کاستی‌های موجود را برای اصلاح در چاپ‌های بعدی در اختیار نویسنده قرار دهند.

مسعود تابش
دانشکده فنی دانشگاه تهران
زمستان ۱۳۹۴