به نام خداوند جان و خرد

انتشارات
۸۸۵

مرجع تخصّصی شبیه‌سازی فرایندی
تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با نرم‌افزار GPS-X

دکتر مهدی پورافشاری‌چنار
استاد دانشگاه فردوسی مشهد
سیّدمهدی قاسمی
پوریا اسمعیلی
شکیبا بهرامی

عنوان و نام پدیدآور: مرجع تخصصی شبیه‌سازی فرایندی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با نرم‌افزار GPS-X / مهدی پورافشاری‌چنار ...[و دیگران]؛ ویراستار علمی احسان سلجوقی؛ ویراستار ادبی هانیه اسدپور فعال مشهد.
مشخصات نشر: مشهد: دانشگاه فردوسی مشهد، انتشارات، ۱۴۰۲.
مشخصات ظاهری: ۵۱۲ ص.
فروست: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد؛ ۸۸۵.
شابک: ISBN: 978-964-386-579-5
وضعیت فهرست‌نویسی: فیپا.
یادداشت: مهدی پورافشاری‌چنار ، سیّدمهدی قاسمی، پوریا اسمعیلی، شکیبا بهرامی.
موضوع: GPS-X (Computer software(
نرم‌افزار جی. پی. اس.- ایکس
Sewage -- Purification -- Computer simulation
فاضلاب -- تصفیه -- شبیه‌سازی کامپیوتری
Sewage disposal plants-- Computer simulation
تصفیه‌خانه‌های فاضلاب-- شبیه‌سازی کامپیوتری
شناسه افزوده: پورافشاری‌چنار، مهدی، ۱۳۵۵-
شناسه افزوده: سلجوقی، احسان، ۱۳۶۱ -، ویراستار
شناسه افزوده: دانشگاه فردوسی مشهد، انتشارات.
رده‌بندی کنگره: TD۷۴۵
رده‌بندی دیویی: ۶۲۸/۱۶۲۰۱۱۳
شمارهٔ کتابشناسی ملّی: ۹۲۵۳۷۷۶

مرجع تخصّصی شبیه‌سازی فرایندی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با نرم‌افزار GPS-X

پدیدآورندگان: دکتر مهدی پورافشاری‌چنار: سیّدمهدی قاسمی: پوریا اسمعیلی؛ شکیبا بهرامی
ویراستار علمی: دکتر احسان سلجوقی
ویراستار ادبی: هانیه اسدپور فعال مشهد
مشخصات: وزیری، ۱۰۰ نسخه، چاپ دوم، تابستان ۱۴۰۴ (اوّل، ۱۴۰۲)
چاپ و صحافی: همیار
بها : ۵/۶۰۰/۰۰۰ ریال
حق چاپ برای انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد محفوظ است.

مراکز پخش:

فروشگاه و نمایشگاه کتاب پردیس: مشهد، میدان آزادی، دانشگاه فردوسی مشهد، جنب سلف یاس
تلفن: ۳۸۸۰۲۶۶۶- ۳۸۸۳۳۷۲۷ (۰۵۱)
مؤسّسهٔ کتابیران: تهران، میدان انقلاب، خیابان کارگر جنوبی، بین روانمهر و وحید نظری، بن‌بست گشتاسب، پلاک ۸ تلفن: ۶۶۴۸۴۷۱۵ (۰۲۱)
مؤسّسهٔ دانشیران: تهران، خیابان انقلاب، خیابان منیری جاوید (اردیبهشت) نبش خیابان نظری، شمارهٔ ۱۴۲
تلفکس: ۶۶۴۰۰۲۲۰ – ۶۶۴۰۰۱۴۴ (۰۲۱)

http://press.um.ac.ir Email: press@um.ac.ir

انتشارات
۸۸۵

فهرست مطالب

پیشگفتار ۱۳
هدف از انتشار کتاب ۱۴
سخنی با خوانندگان ۱۶
قدردانی ۱۷
فهرست اختصارات ۱۸

بخش اوّل: مبانی مدل‌سازی

فصل ۱. مقدّمه‌ای بر مدل‌سازی ۲۳
۱-۱ مقدّمه ۲۳
۱-۲ مدل‌سازی و شبیه‌سازی ۲۵
۱-۳ مدل‌سازی آلاینده‌های فاضلاب ۲۶
۱-۴ داده‌های موردنیاز ۲۸
۱-۵ مدل‌سازی در نرم‌افزار GPS-X ۲۹
۱-۶ کالیبراسیون ۳۰

فصل ۲. محیط مدل‌سازی ۳۱
۲-۱ مقدّمه ۳۱
۲-۱-۱ نوار صفحات اصلی ۳۲
۲-۱-۲ نوار ابزار ۳۷
۲-۱-۳ گروه‌ابزارها ۳۷
۲-۱-۴ صفحهٔ رسم طرح (layout) ۳۷
۲-۱-۵ نام رمزی متغیّرها ۳۹
۲-۱-۶ تابع تعیین ۴۰

فصل ۳. معرفی کتابخانه‌ها ۴۷
۳-۱ مقدّمه ۴۷

۳-۲ کتابخانه متغیّرهای پایه..... ۴۸
۳-۳ متغیّرهای مرکّب..... ۵۸
۳-۳-۱ متغیّرهای مرکّب در کتابخانهٔ CN..... ۶۰
۳-۳-۲ متغیّرهای مرکّب در کتابخانهٔ CNP..... ۶۱
۳-۳-۳ متغیّرهای مرکّب کتابخانه جامع..... ۶۳
۳-۴ گروه‌ابزارهای محیط مدل‌سازی..... ۶۸

فصل ۴. معرفی مدل‌های زیستی..... ۶۹
۴-۱ مقدّمه..... ۶۹
۴-۲ ماتریس پترسون..... ۷۰
۴-۳ نسبت‌های استوکیومتری..... ۷۱
۴-۴ مدل‌های لجن فعال..... ۷۱
۴-۴-۱ مدل ASM1..... ۷۲
۴-۴-۲ مدل ASM2d..... ۷۳
۴-۴-۳ مدل ASM3..... ۷۵
۴-۵ مدل New General..... ۷۶
۴-۶ مدل‌های Mantis..... ۷۷
۴-۶-۱ مدل Mantis..... ۷۸
۴-۶-۲ مدل Mantis2..... ۷۹
۴-۷ مدل پیش‌تخمیر..... ۹۲
۴-۸ انتخاب مدل زیستی..... ۹۵
۴-۹ تنفس‌سنجی..... ۹۶
۴-۹-۱ موازنهٔ جرم اکسیژن (فاز مایع)..... ۹۸
۴-۹-۲ موازنهٔ جرم اکسیژن (فاز گاز)..... ۱۰۰
۴-۹-۳ کاربردهای تنفس‌سنجی..... ۱۰۱

فصل ۵. مدل‌های ورودی فاضلاب..... ۱۰۵
۵-۱ مقدّمه..... ۱۰۵
۵-۲ صحّت‌سنج مشخصات فاضلاب ورودی..... ۱۰۵
۵-۳ ابزارهای جریان ورودی..... ۱۰۸
۵-۳-۱ ابزار فاضلاب ورودی..... ۱۰۹
۵-۳-۲ مدل رواناب ناشی از باران‌های رگباری..... ۱۱۳

۵-۳-۳ ابزار ورودی تزریق مادّهٔ شیمیایی..... ۱۱۴
۵-۳-۴ ابزار فاضلاب ورودی ناپیوسته..... ۱۱۴
۵-۳-۵ ابزار جریان آب ورودی..... ۱۱۵
۵-۴ ابزار جریان ورودی در کتابخانهٔ جامع..... ۱۱۵
۵-۴-۱ ابزار فاضلاب ورودی در کتابخانهٔ جامع..... ۱۱۵
۵-۴-۲ ابزار جریان ورودی تزریق مواد شیمیایی..... ۱۱۵
۵-۴-۳ ابزار جریان ورودی تزریق اسید..... ۱۱۶
۵-۴-۴ ابزار جریان ورودی تزریق باز..... ۱۱۶
۵-۴-۵ ابزار جریان ورودی تزریق مادّهٔ مغذّی..... ۱۱۷

فصل ۶. رآکتورهای زیستی با رشد معلّق (بخش مایع)..... ۱۱۹
۶-۱ مقدّمه..... ۱۱۹
۶-۲ مدل‌سازی انتقال اکسیژن..... ۱۱۹
۶-۲-۱ بازدهی استاندارد انتقال اکسیژن (SOTE)..... ۱۲۶
۶-۲-۲ توان مصرفی دمنده..... ۱۲۸
۶-۲-۳ پارامترهای ورودی برای هوادهی..... ۱۲۹
۶-۲-۴ مدل افت فشار در انتقال هوا..... ۱۳۱
۶-۲-۵ انواع رآکتورهای زیستی متعارف..... ۱۳۴
۶-۳ فرایند بستر عمیق (DS)..... ۱۳۶
۶-۴ فرایند رآکتور زیستی غشایی (MBR)..... ۱۳۶
۶-۴ رآکتور زیستی غشایی بی‌هوازی (AnMBR)..... ۱۴۳
۶-۵ فرایند رآکتور ناپیوستهٔ مرحله‌ای (SBR)..... ۱۴۳
۶-۵-۱ ابزار رآکتور ناپیوسته مرحله‌ای ساده..... ۱۴۵
۶-۵-۲ ابزار رآکتور ناپیوستهٔ مرحله‌ای پیشرفته..... ۱۴۷
۶-۵-۳ ابزار رآکتور ناپیوستهٔ مرحله‌ای دستی..... ۱۴۸
۶-۶ فرایند برکه و لاگون..... ۱۴۸
۶-۷ فرایند نهر اکسیداسیون..... ۱۵۱
۶-۸ فرایند رآکتور زیستی ناپیوستهٔ مرحله‌ای با ورودی پیوسته (CFSR)..... ۱۵۲
۶-۹ فرایند تزریق اکسیژن با خلوص بالا (HPO)..... ۱۵۴
۶-۹-۱ فرایند تزریق اکسیژن با خلوص بالا (سر باز)..... ۱۵۶
۶-۹-۲ مدل‌سازی سینتیک وابسته به دما..... ۱۵۹
۶-۱۰ فرایند رآکتور زیستی با پودر کربن فعال..... ۱۶۳

فصل ۷. رآکتورهای زیستی با رشد چسبیده (بخش مایع) ۱۶۷
۷-۱ مقدّمه ۱۶۷
۷-۲ صافی چکنده ۱۶۸
۷-۳ تماس‌دهندهٔ زیستی چرخان (*RBC*) ۱۷۵
۷-۴ تماس‌دهندهٔ زیستی مستغرق (SBC) ۱۷۷
۷-۵ فیلتر هوادهی زیستی ساده (BAF) ۱۷۷
۷-۶ فیلتر هوادهی زیستی پیشرفته (BAF) ۱۷۹
۷-۷ فرایند تلفیقی رشد چسبیده و لجن فعال (سیستم ترکیبی) ۱۸۲
۷-۸ فیلتر دی‌نیتریفیکاسیون ۱۸۳
۷-۹ زیست‌رآکتور هوادهی غشایی ۱۸۴

فصل ۸. مدل‌های فیزیکی ۱۸۹
۸-۱ مقدّمه ۱۸۹
۸-۲ مدل‌های ته‌نشینی ۱۸۹
۸-۲-۱ مدل‌های صفربُعدی ۱۹۰
۸-۲-۲ مدل‌های یک‌بُعدی ۱۹۳
۸-۲-۳ رابطهٔ شاخص حجمی لجن و زلال‌سازی ۱۹۷
۸-۲-۴ توزیع جریان فاضلاب ورودی ۱۹۹
۸-۲-۵ ابزارهای ته‌نشینی- زلال‌سازی ۲۰۰
۸-۳ مدل شناورسازی ۲۰۴
۸-۳-۱ مدل شناورسازی یک‌بُعدی ۲۰۴
۸-۴ مدل‌های فیلتر شنی ۲۰۸
۸-۴-۱ مدل پیوسته ۲۰۸
۸-۴-۲ مدل موازنه جرم ۲۰۹
۸-۴-۳ مدل یک‌بُعدی ۲۰۹

فصل ۹. مدل‌های هضم (بخش لجن) ۲۱۵
۹-۱ مقدّمه ۲۱۵
۹-۲ مدل بنیادی هضم بی‌هوازی ۲۱۵
۹-۲-۱ مدل مفهومی ۲۱۶
۹-۲-۲ مدل ریاضی ۲۱۶
۹-۲-۳ استوکیومتری ۲۱۷

۹-۲-۴ پارامترها و فرایندها در مدل ریاضی..... ۲۱۸
۹-۲-۵ پارامترهای مدل بنیادی هضم بی‌هوازی..... ۲۲۱
۹-۲-۶ مدل هضم بی‌هوازی شمارهٔ یک (ADM1)..... ۲۲۷
۹-۳ مدل هضم هوازی..... ۲۳۲
۹-۴ مدل UASB/EGSB..... ۲۳۲
۹-۴-۱ پارامترهای رآکتور..... ۲۳۳

فصل ۱۰. سایر مدل‌ها..... ۲۳۵
۱۰-۱ مقدّمه..... ۲۳۵
۱۰-۲ مقسّم جریان..... ۲۳۵
۱۰-۳ مقسّم کنترلی جریان..... ۲۳۷
۱۰-۴ ایستگاه پمپاژ..... ۲۳۷
۱۰-۵ فیلتر غشایی..... ۲۳۹
۱۰-۶ تانک متعادل‌ساز..... ۲۴۰
۱۰-۷ پیش‌تصفیهٔ لجن..... ۲۴۱
۱۰-۸ ابزار تزریق مادّهٔ شیمیایی درون‌خط..... ۲۴۲
۱۰-۸-۱ مدل ترسیب *Chemeq*..... ۲۴۲
۱۰-۸-۲ مدل ترسیب-انعقاد (*metaladd*)..... ۲۴۵
۱۰-۹ دانه‌گیر..... ۲۴۸
۱۰-۱۰ مدل ترسیب استرووویت..... ۲۵۰
۱۰-۱۱ واحد گندزدایی با مواد شیمیایی..... ۲۵۰
۱۰-۱۱-۱ مدل *Empiric*..... ۲۵۳
۱۰-۱۱-۲ مدل *Chlorination*..... ۲۵۴
۱۰-۱۲ ابزار گندزدایی با اشعهٔ فرابنفش (UV)..... ۲۵۹
۱۰-۱۳ آب‌گیری لجن..... ۲۵۹
۱۰-۱۳-۱ مدل ASCE..... ۲۶۰
۱۰-۱۳-۲ مدل *Empiric*..... ۲۶۰
۱۰-۱۳-۳ مدل *Simple*..... ۲۶۱
۱۰-۱۳-۴ مدل *Press*..... ۲۶۲
۱۰-۱۴ غربال میکرونی تسمه‌ای و دیسکی..... ۲۶۲
۱۰-۱۴-۱ مدل *Differential*..... ۲۶۲
۱۰-۱۵ هیدروسیکلون (دیفرانسیلی)..... ۲۶۳

۱۰-۱۶ ابزار تصفیه با نرخ بارگذاری بالا ۲۶۳
۱۰-۱۶-۱ پیش‌زمینهٔ مدل *highrate* ۲۶۴
۱۰-۱۶-۲ سربرگ پارامترهای فیزیکی و عملیاتی در ابزار تصفیه با نرخ بارگذاری بالا ۲۶۶
۱۰-۱۶-۳ سربرگ متغیّرهای خروجی در ابزار تصفیه با نرخ بارگذاری بالا ۲۶۹
۱۰-۱۷ فرایند اکسیداسیون پیشرفته ۲۶۹
۱۰-۱۸ ابزار جعبهٔ سیاه ۲۷۰
۱۰-۱۸-۱ مدل *Empiric* ۲۷۱
۱۰-۱۸-۲ مدل *Interchange* ۲۷۱
۱۰-۱۸-۳ مدل Pipe ۲۷۱
۱۰-۱۹ ابزار پمپ ۲۷۱
۱۰-۱۹-۱ مدل پیشرفتهٔ انرژی پمپ ۲۷۱
۱۰-۲۰ ابزار ساختمان ۲۷۹
۱۰-۲۱ ابزار تخلیهٔ پساب ۲۸۰
۱۰-۲۲ ابزار تخلیهٔ لجن ۲۸۳
۱۰-۲۳ ابزار نمونه‌بردار ۲۸۳
۱۰-۲۴ ابزار pH ۲۸۵
۱۰-۲۵ فیلتر LOW-PASS ۲۸۸
۱۰-۲۶ کنترل‌کنندهٔ چندمتغیّره ۲۹۰

فصل ۱۱. کنترل فرایند ۲۹۱
۱۱-۱ مقدّمه ۲۹۱
۱۱-۲ کنترل‌کنندهٔ PID ۲۹۱
۱۱-۲-۱ فرم‌های Velocity و Full position ۲۹۳
۱۱-۲-۲ محافظ ضربهٔ ترم مشتقی ۲۹۴
۱۱-۲-۳ فیلتر مشتقی ۲۹۴
۱۱-۲-۴ پارامترهای کنترل‌کنندهٔ PID ۲۹۵
۱۱-۲-۵ تنظیم کنترل‌کننده‌های PID ۲۹۷
۱۱-۳ کنترل‌کننده‌های پیش‌خور- پس‌خور ۲۹۹
۱۱-۳-۱ پارامترهای کنترل‌کنندهٔ پیش‌خور ۳۰۰
۱۱-۴ کنترل‌کنندهٔ ON/OFF ۳۰۱
۱۱-۴-۱ پارامترهای مربوط به متغیّر مستقل ۳۰۲
۱۱-۴-۲ پارامترهای مربوط به متغیّر کنترل‌شونده ۳۰۲

۱۱-۵ کنترل زمان‌سنج ۳۰۳
۱۱-۵-۱ پارامترهای کنترل زمان‌سنج ۳۰۴
۱۱-۶ مدل زمان‌سنج جریان ۳۰۴
۱۱-۶-۱ پارامترهای مدل زمان‌سنج جریان ۳۰۴
۱۱-۷ مدل برنامه‌ریز ۳۰۵

فصل ۱۲. مصرف انرژی و آنالیز اقتصادی ۳۰۷
۱۲-۱ مقدّمه ۳۰۷
۱۲-۲ ساختار مدل ۳۰۷
۱۲-۲-۱ هزینهٔ انرژی هوادهی ۳۰۸
۱۲-۲-۲ هزینهٔ انرژی اختلاط ۳۰۹
۱۲-۲-۳ هزینهٔ انرژی پمپاژ ۳۰۹
۱۲-۲-۴ هزینهٔ گرمایش ۳۰۹
۱۲-۲-۵ هزینهٔ انرژی مربوط به سایر موارد متفرّقه ۳۰۹
۱۲-۲-۶ هزینهٔ مرتبط با تزریق مواد شیمیایی ۳۱۰
۱۲-۲-۷ هزینهٔ دفع لجن ۳۱۰
۱۲-۳ پارامترهای مدل هزینهٔ عملیاتی ۳۱۰
۱۲-۳-۱ پارامترهای هزینهٔ عملیاتی عمومی ۳۱۰
۱۲-۳-۲ پارامترهای هزینهٔ عملیاتی مختص هر ابزار ۳۱۳
۱۲-۴ نتایج خروجی مدل هزینهٔ عملیاتی ۳۱۴
۱۲-۴-۱ نتایج خروجی هزینهٔ عملیاتی عمومی ۳۱۴
۱۲-۴-۲ نتایج خروجی هزینهٔ عملیاتی مختص هر ابزار ۳۱۴
۱۲-۵ کالیبراسیون مدل‌های هزینهٔ عملیاتی ۳۱۴
۱۲-۶ سربرگ‌های محاسبات اقتصادی ۳۱۷

بخش دوم: مبانی شبیه‌سازی

فصل ۱۳. مقدّمهٔ شبیه‌سازی ۳۲۳
۱۳-۱ مقدّمه ۳۲۳
۱۳-۲ پنجرهٔ شبیه‌سازی ۳۲۵
۱۳-۳ هدف از شبیه‌سازی ۳۲۷

فصل ۱۴. محیط شبیه‌سازی ۳۲۹
۱۴-۱ محیط شبیه‌سازی ۳۲۹
۱۴-۲ بخش کنترل ۳۳۰
۱۴-۲-۱ کنترل با داده‌های ورودی ۳۳۴
۱۴-۳ بخش نتایج ۳۳۹
۱۴-۳-۱ صفحات Quick Display ۳۴۰
۱۴-۳-۲ صفحات Table Display ۳۴۱
۱۴-۳-۳ صفحات User-Defined Displays ۳۴۲
۱۴-۳-۴ نمودار تحلیل نقطهٔ عملکرد (State Point Analysis) ۳۴۸
۱۴-۳-۵ اَشکال فرایندی (Process Diagram) ۳۴۹
۱۴-۴ گزارش‌گیری ۳۵۳
۱۴-۵ ساخت و اجرای مدل ۳۵۴
۱۴-۵-۱ مروری کلی بر فرایند ساخت مدل در نرم‌افزار ۳۶۰
۱۴-۵-۲ ساخت مدل ۳۶۱
۱۴-۵-۳ تنظیمات ساخت مدل ۳۶۲
۱۴-۵-۴ شروع شبیه‌سازی ۳۶۳
۱۴-۵-۵ استفاده از سناریوها ۳۶۹

فصل ۱۵. مبانی محاسبات ۳۷۵
۱۵-۱ مقدّمه ۳۷۵
۱۵-۲ انواع داده‌های تجربی ۳۷۵
۱۵-۳ شاخص‌های آماری ۳۷۸
۱۵-۴ نمودارهای آماری ۳۷۹
۱۵-۵ نمودارهای باقی‌مانده ۳۸۰
۱۵-۶ شبیه‌سازی در زمان واقعی (Real Time Clock) ۳۸۲
۱۵-۷ محاسبه‌گر شرایط پایا ۳۸۳
۱۵-۸ کنترل عددی ۳۸۶
۱۵-۹ پارامترهای رقّت ۳۸۷
۱۵-۱۰ محافظت در برابر تقسیم پارامترها بر عدد صفر ۳۸۸
۱۵-۱۱ زیربخش سرعت ۳۸۹
۱۵-۱۲ مدل‌های بزرگ ۳۸۹
۱۵-۱۳ دقت، سرعت و قوّت الگوریتم‌ها ۳۹۰

فصل ۱۶. ابزار تحلیلگر ۳۹۳
۱۶-۱ مقدّمه ۳۹۳
۱۶-۲ تحلیلگر حالت پایا ۳۹۳
۱۶-۳ تحلیلگر حالت پویا ۳۹۴
۱۶-۴ تجزیه‌وتحلیل پویای زمانی و پویای فازی ۳۹۶
۱۶-۵ مراحل استفاده از ابزار تحلیلگر ۳۹۷
۱۶-۶ ابزار تحلیلگر مونت‌کارلو ۳۹۸

فصل ۱۷. ابزار بهینه‌سازی ۴۰۱
۱۷-۱ مقدّمه ۴۰۱
۱۷-۲ توابع هدف ۴۰۲
۱۷-۳ استفاده از ابزار بهینه‌سازی برای تخمین پارامتر ۴۰۴
۱۷-۴ استفاده از ابزار Optimizer برای بهینه‌سازی فرایند ۴۰۴
۱۷-۵ معیارهای خاتمه ۴۰۵
۱۷-۶ انواع بهینه‌سازی ۴۰۶
۱۷-۷ تنظیمات و پارمترهای ابزار بهینه‌سازی ۴۰۸
۱۷-۸ انتخاب متغیّرهای بهینه‌سازی ۴۱۵
۱۷-۹ مراحل اجرای بهینه‌سازی ۴۱۶
۱۷-۹-۱ پنجرهٔ تنظیمات بهینه‌سازی (Optimizer Setup Wizard) ۴۱۶
۱۷-۹-۲ اجرای بهینه‌سازی ۴۱۸
۱۷-۹-۳ مشکلات متداول در بهینه‌سازی ۴۲۰

بخش سوم: مثال‌ها و کاربردها

فصل ۱۸. مثال‌ها (نتایج شبیه‌سازی فرایند لجن فعال) ۴۲۳
۱۸-۱ مقدّمه ۴۲۳
۱۸-۲ اطلاعات ورودی ۴۲۴
۱۸-۳ نتایج شبیه‌سازی ۴۲۶

فصل ۱۹. کاربردها (مطالعات موردی) ۴۴۵
۱۹-۱ مقدّمه ۴۴۵
۱۹-۲ شبیه‌سازی تصفیه‌خانهٔ پساب صنایع لبنی- مطالعهٔ موردی ۴۴۵

۱۹-۳ بهینه‌سازی واحد لجن فعال تصفیه‌خانهٔ صنایع لبنی- مطالعهٔ موردی..... ۴۴۹
۱۹-۳-۱ معرفی واحد..... ۴۴۹
۱۹-۳-۲ شبیه‌سازی و بهینه‌سازی واحد هوازی..... ۴۵۰
۱۹-۴ بررسی اثر شرایط عملیاتی بر واکنش نیتریفیکاسیون در فرایند IFAS..... ۴۵۲
۱۹-۴-۱ شبیه‌سازی فرایند..... ۴۵۳
۱۹-۴-۲ نتایج شبیه‌سازی..... ۴۵۴
۱۹-۵ اثر افزایش بارگذاری بر عملکرد فرایندهای لجن فعال، IFAS و MBR..... ۴۵۷
۱۹-۵-۱ مشخصات و مبانی طراحی..... ۴۵۷
۱۹-۵-۲ نتایج شبیه‌سازی..... ۴۵۹
۱۹-۶ اثر SRT بر فرایندهای حذف بیولوژیکی فسفر (EBPR)..... ۴۶۴

پیوست‌ها..... ۴۶۹
پیوست «أ»- معرفی ابزارهای نرم‌فزار GPS-X و کتابخانه‌های مشمول آن ابزار..... ۴۶۹
پیوست «ب»- ماتریس پترسون برای مدل‌های زیستی..... ۴۷۵
پیوست «ج»- روش تابع هدف حداکثر احتمال در ابزار بهینه‌سازی..... ۴۹۰
پیوست د- گزارش پاسخ ارائه‌شده توسط ابزار بهینه‌سازی..... ۴۹۴

مراجع..... ۵۰۷
نمایه..... ۵۱۱

پیشگفتار

آب به‌عنوان عنصری حیات‌بخش در کرهٔ خاکی ما، نه‌تنها یکی از عوامل رشد و توسعهٔ کشورهاست، بلکه وجود آن در طبیعت درراستای حفاظت از محیط‌زیست و درنتیجه توسعهٔ پایدار عمل می‌کند. تأمین این منبع بنیادی، با کیفیت و دسترسی مناسب، از الزامات تداوم زیست جوامع انسانی است. بدیهی است محدودیت نسبی قابلیت دستیابی به منابع آب ازیک‌طرف و افزایش مصارف گوناگون آن، ناشی از توسعهٔ واحدهای مصرف‌کننده و تغییر الگوی زیست ازسوی‌دیگر، سبب شده است که نگرانی از کمبود منطقه‌ای این منبع حیاتی پیوسته توسعه یابد و به‌تدریج فراگیر شود. البته روند فعلی گرمایش زمین و وقوع بحران‌های اقلیمی نظیر سیل و خشک‌سالی نیز بر این نگرانی‌ها بیشتر دامن می‌زنند.

آب علاوه‌بر جان‌بخشی به موجودات زنده و محیط‌زیست، به‌عنوان یک عنصر پاک‌کننده، در مسیر چرخهٔ طبیعی خود در تماس با مواد معدنی و آلی، کیفیت متغیّری پیدا کرده است که قابلیت مصرف مجدّد آن را در مواردی کاهش و یا به‌طورکلی ناممکن می‌سازد.

بخش عمده‌ای از این آلودگیِ منابع آب را خودِ طبیعت طی چرخهٔ آبی پالایش می‌کند. ولی به‌هرحال، دخالت انسان در قالب طرح‌های بزرگ و کوچک تصفیهٔ فاضلاب‌های شهری و پساب‌های صنعتی، تأمین آب کشاورزی و همچنین فرایندهای نمک‌زدایی به جریان پالایش طبیعی آب از مواد آلوده‌کننده، سرعت می‌بخشد.

نهادهای ملّی و منطقه‌ای درجهت صیانت از سلامتی جوامع متمرکز انسانی و محیط‌زیست، استانداردهای کیفی سخت‌گیرانه‌ای برای بازچرخانی منابع آب تدوین کرده و پشتیبانی نظارتی دارند. با توجه به پیچیدگی‌های فرایندهای تصفیه و توزیع کیفی آب، رعایت این استانداردها می‌تواند باعث افزایش جریان سرمایه‌گذاری و هزینه‌های بهره‌برداری شود. درحالی‌که با ارزیابی و تحلیل عملکرد واحدها و بهینه‌یابی آن‌ها می‌توان تعدیل قابل‌ملاحظه‌ای در این‌گونه هزینه‌ها، همراه با بهبود کیفیت آب خروجی از این واحدهای تصفیه‌خانه به‌وجود آورد.

این کتاب راهنمای مناسبی برای کاربرد روش‌های بهینه‌یابی و همچنین فرایندهای تصمیم‌سازی در این زمینه است و می‌تواند موردبهره‌گیری دانش‌پژوهان، پژوهشگران و صنعت‌گران علاقه‌مند به توسعهٔ صنعت تصفیهٔ آب و فاضلاب کشور قرار گیرد. امید است این سند گامی درراستای بهسازی عملکرد تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب همراه با گسترش دانش فنّی مربوط در کشور باشد و توسط نیروهای علمی و عملی توانمند داخلی کشور در دسترس همگان قرار گیرد.

سعید نیریزی

مدیرعامل و رئیس هیئت‌مدیرهٔ شرکت مهندسی مشاور طوس آب

هدف از انتشار کتاب

تصفیهٔ آب و فاضلاب یک صنعت روبه‌پیشرفت است که در ابتدا کار خود را با هدف تأمین آب شرب و کاهش آلودگی‌های ناشی از دفع فاضلاب به طبیعت آغاز کرد. پیشرفت جامعهٔ انسانی، گسترش شهرنشینی، گسترش صنایع، تغییر سبک زندگی، افزایش جمعیت، حوادث طبیعی و ازاین‌دست مسائل موجب افزایش اهمیت تصفیهٔ آب و فاضلاب شده است. همچنین، این عوامل باعث گسترش آلودگی‌های آب و فاضلاب و تنوّع کمی و کیفی آن نیز شده‌اند. مسائلی همچون وجود پساب‌های صنعتی، اهداف متنوع مصرف آب و پساب و به‌ویژه بحران کمبود آب در جهان باعث تنوع فرایندهای تصفیهٔ آب و فاضلاب شده است. حال‌آنکه محدودیت‌هایی همچون فضای موردنیاز جهت احداث واحدهای تصفیه‌خانه، مصرف انرژی و مواد شیمیایی، اثرات باقی‌ماندهٔ حاصل از تصفیه، سایر مسائل محیط‌زیستی و اجتماعی باعث شده است محقّقان درپی اصلاح و بهبود فرایندهای تصفیهٔ فاضلاب گام بردارند. به‌ویژه ایجاد ارزش‌افزوده از فرایند تصفیهٔ فاضلاب و مصرف مجدّد پساب و لجن حاصل از آن، مسئله‌ای مهم در گسترش فرایندهای متنوع و مدیریت آب و فاضلاب جهان تلقّی می‌شود.

در دهه‌های اخیر، فرایندهای نوین و پیچیدهٔ تصفیهٔ آب و فاضلاب گسترش یافته‌اند. این فرایندها به‌جهت پیچیدگی‌هایی که نسبت به سایر فرایندهای قدیمی در این حوزه دارند، نیازمند محاسبات و طراحی دقیق و تجربهٔ بیشتر هستند. ازسوی‌دیگر، افزایش اهمیت مسائل محیط‌زیستی، فنّی و اقتصادی در تصفیه‌خانه‌ها توجه طراحان و بهره‌برداران تصفیه‌خانه‌ها را به‌سمت ایجاد مدلی صحیح و کامل از فرایند تصفیه‌خانه برده است. گسترش علم مدل‌سازی فرایند تصفیه‌خانه این امکان را برای طراحان فراهم می‌کند تا طراحی خود را با جزئیات دقیق‌تر انجام دهند و دید بهتری نسبت به آیندهٔ آن داشته باشند. ازسوی‌دیگر، با توجه به دینامیکی بودن عملکرد تصفیه‌خانه در مرحلهٔ بهره‌برداری، استفاده از مدل‌های ریاضی کمک می‌کند تا بهره‌بردار پیش‌بینی بهتری از رفتار فرایند تصفیه‌خانه داشته باشد. علاوه‌براین، تلفیق واکنش‌های زیستی، شیمیایی و فیزیکی در واحدهای تصفیه‌خانهٔ فاضلاب موجب پیچیدگی این فرایندها شده است که بررسی اثر متقابل واکنش‌ها در این فرایندها مستلزم ابزاری هوشمند و مناسب برای طراحان و بهره‌برداران است.

از سال ۱۹۸۷ و با ارائهٔ اوّلین مدل‌های لجن فعال، محقّقان بسیاری شروع به گسترش نرم‌افزارهای طراحی واحدهای تصفیه‌خانهٔ فاضلاب کردند. طی سالیان گذشته این نرم‌افزارها گسترش یافته‌اند و درحال‌حاضر نرم‌افزار GPS-X به‌عنوان یکی از ابزارهای قدرتمند و نوین برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی فرایندهای تصفیهٔ آب و فاضلاب در دنیا شناخته می‌شود. در این کتاب سعی شده است با استفاده از منابع ارائه‌شده توسط شرکت

ارائـه‌دهندهٔ این نرم‌افزار و تجربیات نویســـندگان در به‌کارگیری این نرم‌افزار در تحلیل و بهینه‌ســـازی و همچنین طراحی و بهره‌برداری از تصـفیه‌خانه‌های فاضـلاب، منبعی مناسـب برای محقّقان و فعالان در حوزهٔ صنعت آب و فاضـلاب ارائه شود. امید است که این کتاب بتواند به‌عنوان مرجعی درخور، درجهت بهبود و ارتقای سطح علمی کشور در حوزهٔ تصفیهٔ آب و فاضلاب مورداستفاده قرار گیرد.

پدیدآوران

سخنی با خوانندگان

در نگارش این کتاب برآن بودیم تا با ارائهٔ مطالب صحیح و بدون هرگونه ایرادات علمی و نگارشی، به خوانندگان در مطالعه و به‌کارگیری این کتاب در مسائل علمی و پژوهشی اطمینان خاطر بدهیم. البته که هیچ متنی مصون از خطاهای احتمالی نخواهد بود. بدین‌جهت، از شما خوانندگان گرامی خواهشمندیم درصورت مواجهه و مشاهدهٔ مغایرت و یا ایراد علمی و نگارشی در متن این کتاب به ما اطّلاع دهید و با ما در ارتباط باشید.

آدرس پست‌الکترونیکی پدیدآوران: pourafshari@um.ac.ir و smghasemi@um.ac.ir

قدردانی

مغتنم است که از تمامی کسانی که در تهیه، تنظیم و نگارش این کتاب همراه ما بودند و از عطوفت‌های بی‌دریغ آنان بهره‌مند شدیم، به‌ویژه سرکار خانم مهندس مهسا صادقی وزین، جناب آقای محمدمهدی فرامرز، جناب آقای مهندس علیرضا اتّحادی‌نیا و جناب آقای مهندس آرش رئوف شیبانی کمال سپاس و قدردانی را داشته باشیم.

فهرست اختصارات

ACSL	Advanced Continuous Simulation Language
ADHLM	Air Delivery Head Loss Model
ADM	Anaerobic Digestion Model
AnMBR	Anaerobic Membrane Bioreactor
AOB	Ammonia-Oxidizing Bacteria
AOP	Advanced Oxidation Process
ASCE	American Society of Civil Engineers
ASM1	Activated Sludge Model No.1
ASMs	Activated Sludge Models
BAF	Biological Aerated Filter
BFP	Belt Filter Press
BNR	Biological Nutrient Removal
BOD	Biological Oxygen Demand
BOD_{st}	Short-Term Biochemical Oxygen Demand
BOD_u	Ultimate Biological Oxygen Demand
bCOD	Biodegradable Chemical Oxygen Demand
CHP	Combined Heat and Power
COD	Chemical Oxygen Demand
CSO	Combined Sewer Overflows
CSTR	Continuous Stirred-Tank Reactor
CV	Controlled Variable
DAF	Dissolved Air Flotation
DO	Dissolved Oxygen
DPE	Dynamic Parameter Estimation
DS	Deep Shaft
EBPR	Enhanced Biological Phosphorus Removal
EGSB	Expanded Granular Sludge Bed
EQI	Effluent Quality Index
FOPDT	First-Order Plus Dead Time

HAA	Halo-Acetic Acid
HPO	High Purity Oxygen
HRT	High-Rate Treatment
HRT	Hydraulic Retention Time
HVAC	Heating, Ventilation and Air Conditioning
IALG	Integration Algorithm
IFAS	Integrated Fixed-film Activated Sludge
IWA	International Water Association
LRWRP	Lou Romano Water Reclamation Plant
MABR	Membrane-Aerated Bioreactor
MBBR	Moving Bed Bioreactor
MBR	Membrane Bioreactor
MLE	Modified Ludzack-Ettinger
MLSS	Mixed Liquor Suspended Solids
MOV	Most Open Valve
MV	Manipulated Variable
nbCOD	Non-biodegradable Chemical Oxygen Demand
nbpCOD	Non-biodegradable Particulate Chemical Oxygen Demand
nbsCOD	Non-biodegradable Soluble Chemical Oxygen Demand
NG	New General
NOB	Nitrite-Oxidizing Bacteria
OD	Oxidation Ditch
OTR	Oxygen Transfer Rate
OUR	Oxygen Uptake Rate
PAC	Powdered Activated Carbon
PAO	Phosphorous Accumulator Organisms
PID	Proportional–Integral–Derivative
RBC	Rotating Biological Contactor
rbCOD	Readily biodegradable Chemical Oxygen Demand
RTB	Retention Treatment Basin
SBC	Submerged Biological Contactor
sbCOD	Slowly biodegradable Chemical Oxygen Demand
SBR	Sequencing Batch Reactor
SCFA	Short-Chain Fatty Acids

SOR	Surface Overflow Rate
SOTE	Standard Oxygen Transfer Efficiency
SOTR	Standard Oxygen Transfer Rate
SPA	State Point Analysis
SPP	Set Point Pressure
SQL	Structured Query Language
SRT	Solids Retention Time
SSVI	Stirred Specific Volume Index
SVI	Sludge Volume Index
TAW	Technical Advisory Workgroup
TF	Trickling Filter
THM	Tri-Halo-Methane
TKN	Total Kjeldahl Nitrogen
TMP	Trans-membrane Pressure
TN	Total Nitrogen
TOC	Total Organic Carbon
TSS	Total Suspended Solids
UASB	Up-flow Anaerobic Sludge Blanket
UCTADMI	University of Cape Town Anaerobic Digestion Model
USEPA	United States Environmental Protection Agency
UV	Ultra-Violet
VFA	Volatile Fatty Acid
VFD	Variable Frequency Drive
VSS	Volatile Suspended Solids
WAS	Waste Activated Sludge
WERF	Water Environment Research Foundation
WQI	Water Quality Index
WWTP	Wastewater Treatment Plant