www.noavarpub.com

بسم الله الرحمن الرحیم

آموزش کاربردی

مدلسازی جریان و رسوب

در

HEC-RAS

ویرایش جدید با تجدیدنظر و اضافات

مؤلفین:

دکتر اصغر عزیزیان

اعضای هیأت علمی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)

دکتر امیر صمدی

اعضای هیأت علمی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)

مرضیه آغاز

کارشناسی ارشد سازه‌های آبی دانشگاه تهران

سرشناسه	: عزیزیان، اصغر، ۱۳۶۵ -
عنوان و نام پدیدآور	: آموزش کاربردی مدلسازی جریان و رسوب در HEC - RAS/ مؤلفین اصغر عزیزیان، امیر صمدی، مرضیه آغاز
مشخصات نشر	: تهران : نوآور.
مشخصات ظاهری	: ۲۷۲ ص.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۱۵۹-۲
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: کتابنامه: ص ۲۶۹.
موضوع	: رسوب -- انتقال -- برنامه‌های کامپیوتری
موضوع	: رسوب -- انتقال -- الگوهای ریاضی
موضوع	: سد و سدسازی -- الگوهای ریاضی
موضوع	: مهندسی رودخانه-- نرم‌افزار
شناسه افزوده	: صمدی، امیر، ۱۳۵۹-
شناسه افزوده	: آغاز، مرضیه، ۱۳۶۴-
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۲ ۸آ۴ع/۲/۱۷۵ TC
رده بندی دیویی	: ۵۵۱/۳۵۳
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۳۰۳۳۶۲

آموزش کاربردی مدلسازی جریان و رسوب در HEC – RAS

مولفین:	**اصغر عزیزیان، امیر صمدی، مرضیه آغاز**
ناشر:	**نوآور**
شمارگان:	**۲۰۰ نسخه**
ناظر چاپ:	**محمدرضا نصیرنیا**
شابک:	**۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۱۵۹-۲**

نشرنوآور

مرکز فروش:نوآور: تهران ـ خ انقلاب، خ فخررازی، خ شهدای ژاندارمری، نرسیده به خ دانشگاه، ساختمان ایرانیان، پلاک ۵۸، طبقه اول، واحد ۳

۶۶۴۸۴۱۹۱-۹۲

www.noavarpub.com

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلفان و مصنفان مصوف سال ۱۳۴۸ برای ناشر محفوظ و منحصراً متعلق به نشر نوآور می‌باشد. لذا هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از این کتاب (از قبیل هر نوع چاپ، فتوکپی، اسکن، عکس‌برداری، نشر الکترونیکی، هر نوع انتشار به صورت اینترنتی، سی دی، دی وی دی، فیلم فایل صوتی یا تصویری و غیره بدون اجازه کتبی از نشر نوآور ممنوع بوده و شرعاً حرام است و متخلفین تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

فهرست مطالب

پیشگفتار ۷

فصل اول: مقدمه ۹

۱-۱ تاریخچه علم رسوب ۹

۱-۲ هیدرولیک انتقال رسوب ۱۱

۱-۳ مدلسازی رودخانه ۱۱

۱-۳-۱ ضرورت مدلسازی ۱۲

۱-۳-۲ اهداف مدلسازی ۱۲

۱-۳-۲-۱ پدیده‌های عمومی ۱۳

۱-۳-۲-۲ پدیده‌های موضعی ۱۳

۱-۳-۲-۳ روندیابی سیلاب ۱۳

۱-۳-۲-۴ اثر الگوی جریان رودخانه بر محیط اطراف در شرایط مختلف جریان ۱۳

۱-۳-۲-۵ اثر آبشستگی و رسوبگذاری در رودخانه و اطراف سازه‌های هیدرولیکی ۱۳

۱-۳-۲-۶ اثر الگوی جریان رودخانه و سازه‌های هیدرولیکی بر روی ریخت‌شناسی رودخانه ۱۴

۱-۳-۲-۷ مسایل زیست‌محیطی و کیفیت آب در رودخانه ۱۴

۱-۴ معیارهای انتخاب مدل مناسب ۱۴

۱-۴-۱ معرفی مدل HEC-RAS ۱۶

۱-۵ ساختار کتاب ۱۷

فصل دوم: مدلسازی یک‌بعدی جریان ۱۹

۲-۱ مقدمه ۱۹

۲-۲ گام اول: تعریف پروژه ۱۹

۲-۳ گام دوم: وارد نمودن اطلاعات مقاطع عرضی ۲۰

۲-۳-۱ ترسیم مسیر اصلی رودخانه ۲۱

۲-۳-۲ منوی EDIT ۲۲

۲-۳-۲-۱ ابزار ویرایش عناوین و نقاط ۲۲

۲-۳-۲-۲ ابزار ویرایش خطوط و متون ۲۳

۲-۳-۳ منوی VIEW ۲۴

۲-۳-۴ نمایش تصاویر پیش‌زمینه (BACKGROUND PICTURES) ۲۴

۲-۳-۵ داده‌های مقاطع عرضی ۲۵

۲-۳-۵-۱ وارد نمودن اطلاعات مقاطع عرضی در مدل HEC-RAS ۲۶

اطلاعات موردنیاز هر مقطع عرضی ۲۷

معرفی منوی Options ۲۹

۲-۴ گام سوم: وارد نمودن داده‌های جریان ۳۷

۲-۵ گام چهارم: انجام محاسبات جریان ماندگار .. ۴۱

۲-۶ گام پنجم: مشاهده و چاپ نتایج ۴۳

۲-۶-۱ نیم‌رخ عرضی سطح آب ۴۳

۲-۶-۲ نیم‌رخ طولی سطح آب ۴۳

۲-۶-۳ ترسیم توزیع سرعت در راستای مقاطع عرضی ۴۴

۲-۶-۴ ترسیم پارامترهای هیدرولیکی جریان در راستای طولی رودخانه ۴۵

۲-۶-۵ ترسیم منحنی‌های دبی- اشل برای هر مقطع عرضی ۴۵

۲-۶-۶ ترسیم نمودارهای سه بعدی (X-Y-Z) ۴۷

۲-۶-۷ خروجی‌های جدولی ۴۷

۲-۷ مثال‌های کاربردی ۴۹

۲-۷-۱ مثال ۱: مدلسازی نیم‌رخ سطح آب در کانال ۴۹

۲-۷-۲ مثال ۲: مدلسازی نیم‌رخ سطح آب در محل پل ۶۰

۲-۷-۳ مثال ۳: کانالیزه کردن مسیر یک رودخانه . ۸۱

۲-۷-۴ مثال ۴: بهینه‌سازی جریان در محل اتصال چند شاخه به یکدیگر ۹۱

۲-۷-۵ مثال ۵: مدلسازی جهش هیدرولیکی در محل اتصال دو کانال با شیب متفاوت ۹۶

۲-۷-۶ مثال ۶: شبیه‌سازی عددی و آزمایشگاهی یک سرریز پلکانی ۱۰۴

فصل سوم: توابع طراحی کانال پایدار ۹۹
۳-۱ مقدمه ۹۹
۳-۲ راهنمای کلی مدلسازی..... ۹۹
۳-۳ محاسبات جریان یکنواخت ۹۹
۳-۳-۱ محاسبه شیب، دبی یا ارتفاع سطح آب ...۱۰۰
۳-۳-۲ محاسبه عرض کف ۱۰۲
۳-۳-۳ کاربرد داده‌های جریان یکنواخت در فایل هندسی ۱۰۴
۳-۳-۴ ذخیره داده‌های جریان یکنواخت ۱۰۴
۳-۴ طراحی کانال پایدار ۱۰۴
۳-۴-۱ روش کوپلند.....۱۰۴
۳-۴-۲ روش رژیم ۱۰۷
۳-۴-۳ روش نیروی کششی.....۱۰۹
۳-۵ محاسبه ظرفیت انتقال رسوب ۱۱۱
ترسیم منحنی سنجه رسوب (نمودار/جدول).....۱۱۶
ترسیم نیم‌رخ انتقال رسوب (نمودار/جدول) ۱۱۶
۳-۶ محاسبه آبشستگی ناشی از احداث پل ۱۳۴
۳-۶-۱ مبانی مدلسازی آبشستگی در مدل HEC-RAS ۱۳۴
۳-۶-۲ مثال ۱: محاسبه آبشستگی در پل چند دهانه ۱۴۳

فصل چهارم: انجام تحلیل انتقال رسوب ۱۳۰
۴-۱ مقدمه ۱۳۰
۴-۲ وارد نمودن داده‌های رسوب ۱۳۰
۴-۲-۱ شرایط اولیه و پارامترهای انتقال ۱۳۱
۴-۲-۱-۱ تابع انتقال ۱۳۱
۴-۲-۱-۲ روش مرتب‌سازی مصالح بستر ۱۳۲
۴-۲-۱-۳ روش‌های سرعت سقوط ۱۳۳
۴-۲-۱-۴ عمق حداکثر و ارتفاع حداقل ۱۳۴
۴-۲-۱-۵ حدود مقطع عرضی متحرک ۱۳۵
۴-۲-۱-۶ دانه‌بندی مصالح بستر ۱۳۵
۴-۲-۲ شرایط مرزی رسوب.....۱۳۷
۴-۲-۲-۱ انتخاب مکان مورد نظر جهت تعریف شرایط مرزی رسوب ۱۳۷
۴-۲-۲-۲ بار تعادلی ۱۳۹
۴-۲-۲-۳ منحنی سنجه ۱۳۹
۴-۲-۲-۴ بارهای نقطه‌ای و بارهای توزیعی ۱۴۰
۴-۲-۲-۵ گزینه DOWNSTREAM PASS THROUGH BOUNDARY ۱۴۰
۴-۲-۳-۱ گزینه SET SEDIMENT PROPERTIES ۱۴۲
۴-۲-۳-۲ گزینه SET COHESIVE OPTIONS ۱۴۳
۴-۲-۳-۳ گزینه BED CHANGE OPTIONS ۱۴۳
۴-۲-۳-۴ گزینه CALIBRATE TRANSPORT FUNCTION ۱۴۴
۴-۲-۳-۵ گزینه USER DEFINED GRAIN CLASSES ۱۴۵
۴-۲-۳-۶ گزینه OBSERVED DATA ۱۴۷
۴-۳ وارد نمودن داده‌های جریان شبه غیرماندگار.....۱۴۷
۴-۳-۱ انتخاب شرایط مرزی ۱۴۷
۴-۳-۱-۱ شرط مرزی FLOW SERIES.....۱۴۸
۴-۳-۱-۲ شرط مرزی LATERAL FLOW SERIES ۱۵۱
۴-۳-۱-۳ شرط مرزی UNIFORM LATERAL FLOW ۱۵۱
۴-۳-۱-۴ شرط مرزی GATE TIME SERIES.....۱۵۱
۴-۳-۱-۵ شرط مرزی STAGE TIME SERIES ۱۵۳
۴-۳-۱-۶ شرط مرزی RATING CURVE ۱۵۳
۴-۳-۱-۷ شرط مرزی NORMAL DEPTH ۱۵۳
۴-۳-۲ تنظیم داده‌های مربوط به درجه حرارت آب ۱۵۴
۴-۴ اجرای مدل انتقال رسوب ۱۵۵
۴-۴-۱ تعریف یک PLAN ۱۵۵
۴-۴-۲ تنظیم پارامترهای محاسباتی و پیش فرض‌های مدل رسوبی ۱۵۶
۴-۴-۲-۱ گزینه SEDIMENT COMPUTATION OPTIONS AND TOLERANCES.....۱۵۶
۴-۴-۲-۲ گزینه SEDIMENT OUTPUT OPTIONS.....۱۵۹
۴-۴-۲-۳ گزینه لایروبی ۱۶۲
۴-۴-۲-۴ شیب انرژی انتقال رسوب ۱۶۴
۴-۴-۲-۵ اجرای مدل رسوبی.....۱۶۴
۴-۵ نمایش نتایج ۱۶۴
۴-۵-۱ ترسیم نیم‌رخ طولی ۱۶۴
۴-۵-۲ نمایش سری‌های زمانی ۱۶۵

فصل پنجم: روش‌های ارزیابی اثر رسوب.....۱۶۸

۵-۱ مقدمه ۱۶۸
۵-۲ شروع کار ۱۶۸
۵-۳ تعیین یک بازه رسوبی ۱۶۹
۵-۴ وارد نمودن داده‌ها ۱۷۰
۵-۴-۱ بخش BED MAT'L ۱۷۰
۵-۴-۲ بخش HYDRO ۱۷۱
۵-۴-۳ بخش SED PROP ۱۷۲
۵-۴-۳-۱ تابع انتقال رسوب ۱۷۲
۵-۴-۳-۲ روش محاسبه سرعت سقوط ۱۷۳
۵-۴-۳-۳ حداکثر کلاس دانه‌بندی (قطر) بار شسته ۱۷۳.
۵-۴-۳-۴ وزن مخصوص ذرات ۱۷۴
۵-۴-۳-۵ غلظت رسوبات ریزدانه ۱۷۴
۵-۴-۴ بخش SOURCES ۱۷۴
۵-۴-۵ بخش HYDRAULICS ۱۷۵
۵-۴-۶ منوی OPTIONS ۱۷۶
۵-۴-۶-۱ گزینه USER DEFINED PARTICLE SIZES ۱۷۶.
۵-۴-۶-۲ گزینه MULTIPLE TRANSPORT FUNCTIONS BY GRAIN SIZE ۱۷۷.....
۵-۴-۶-۳ گزینه REMOVE CROSS SECTIONS FROM SEDIMENT REACH ۱۷۷.....
۵-۴-۶-۴ گزینه BUDGET TOLERANCES ۱۷۸
۵-۴-۷ اجرای برنامه SIAM ۱۷۸
۵-۴-۸ خروجی مدل SIAM ۱۷۹
۵-۴-۸-۱ گزینه SEDIMENT TRANSPORT POTENTIAL ۱۸۱.....
۵-۴-۸-۲ گزینه SUPPLY AND BALANCE ۱۸۱
۵-۴-۸-۳ گزینه LOCAL SUPPLY ۱۸۲
۵-۴-۸-۴ گزینه ANNUAL CAPACITY ۱۸۳
۵-۴-۸-۵ گزینه‌های WASH MATERIAL و BED MATERIAL ۱۸۴.....
۵-۴-۸-۶ گزینه LOCAL BALANCE ۱۸۵
۵-۴-۸-۷ گزینه NORMALIZED LOCAL BAL ۱۸۶
۵-۴-۹ کاربردها و محدودیت‌های برنامه SIAM ۱۸۷..

پیوست ۱: پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از الحاقیه HEC-GeoRAS در بستر GIS و ابزار GISTools در بستر مدل HEC-RAS ۱۸۸

پ۱-۱ مقدمه ۱۸۸
پ۱-۲ تجهیزات موردنیاز کامپیوتر ۱۸۸
پ۱-۳ داده‌های موردنیاز ۱۸۹
پ۱-۴ تعریف پروژه و شروع کار ۱۸۹
پ۱-۴-۱ شروع کار با الحاقیه HEC-GEORAS . ۱۹۱
پ۱-۴-۲ ایجاد لایه‌های RAS ۱۹۲
پ۱-۴-۳ ایجاد خط مرکزی رودخانه (STREAM CENTERLINE) ۱۹۲
پ۱-۴-۴ ترسیم خطوط سواحل (BANK LINES) ۱۹۶
پ۱-۴-۵ ترسیم مسیرهای جریان (FLOW PATHS) ۱۹۶
پ۱-۴-۶ ترسیم مقاطع عرضی (XSCUTLINES) ۱۹۷
پ۱-۴-۸ ایجاد سطوح غیر موثر (INEFFECTIVE AREAS) ۲۰۰
پ۱-۴-۹ ایجاد موانع انسدادی (OBSTRUCTIONS) ۲۰۱
پ۱-۴-۱۰ آماده‌سازی اطلاعات جهت انتقال به مدل HEC-RAS ۲۰۳
پ۱-۵ وارد نمودن اطلاعات هندسی در مدل HEC-RAS ۲۰۴
پ۱-۵-۱ وارد نمودن داده‌های پل ۲۰۸
پ۱-۶ وارد نمودن داده‌های جریان ۲۴۱
پ۱-۷ اجرای مدل در حالت ماندگار ۲۴۲
پ۱-۸ انتقال خروجی‌های مدل HEC-RAS به محیط GIS ۲۴۳
پ۱-۹ پهنه‌بندی سیلاب در بستر GIS ۲۴۵
پ۱-۹-۱ تبدیل لایه‌های برداری به فرمت DWG و KML ۲۵۲
پ۱-۱۰ پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از ابزار RAS MAPPER در محیط HEC-RAS ۲۵۴

پیوست ۲: مبانی مدلسازی پل‌ها ۲۲۹

پ۲-۱ هیدرولیک پل‌ها ۲۲۹
پ۲-۱-۱ روش معادله انرژی ۲۳۰
پ۲-۱-۲ روش معادله اندازه حرکت ۲۳۰
پ۲-۱-۳ روش تجربی یارنل ۲۳۲

پ۲-۱-۴ روش WSPRO ۲۳۳
پ۲-۲ مقایسه روش‌های مختلف ۲۳۳
پ۲-۲-۱ جریان‌های با دبی کم ۲۳۴
پ۲-۲-۲ جریان‌های با دبی بالا ۲۳۴
پ۲-۲-۲-۱ نتیجه‌گیری کلی در مورد دبی‌های بالا ..۲۳۵
پ۲-۳ موقعیت قرارگیری مقاطع عرضی در محدوده پل ۲۳۶

پیوست ۳: مبانی مدلسازی رسوب در مدل HEC-RAS ۲۳۹
پ۳-۱ توابع محاسبه زبری بستر ۲۳۹
پ۳-۱-۱ معادله مانینگ ۲۳۹
پ۳-۱-۲ معادله کولگان ۲۴۰
پ۳-۱-۳ معادله استریکلر ۲۴۲
پ۳-۱-۴ معادله لیمرینوس ۲۴۳
پ۳-۱-۵ معادله براونلی ۲۴۳
پ۳-۱-۶ روش سرویس حفاظت خاک آمریکا ۲۴۵
پ۳-۱-۷ معیارهای انتخاب معادله مناسب برای تخمین ضریب زبری مانینگ ۲۴۵
پ۳-۲ مبانی طراحی کانال پایدار ۲۴۶
پ۳-۲-۱ روش کوپلند ۲۴۷
پ۳-۲-۲ تئوری رژیم ۲۵۲
پ۳-۲-۳ روش نیروی کششی ۲۵۳
پ۳-۳ توابع انتقال رسوب ۲۵۴
پ۳-۳-۱ روش یانگ ۲۵۴
پ۳-۳-۲ روش انگلوند- هانسن ۲۵۵
پ۳-۳-۳ روش ایکرز- وایت ۲۵۶
پ۳-۳-۴ روش میر- پیتر و مولر ۲۵۸
پ۳-۳-۵ روش توفالتی ۲۵۹
پ۳-۳-۶ روش لارسن ۲۶۰
پ۳-۳-۷ روش ویلکاک ۲۶۰
پ۳-۴ روش‌های برآورد سرعت سقوط ذرات ۲۶۱
پ۳-۴-۱ روش توفالتی ۲۶۲
پ۳-۴-۲ روش ون راین ۲۶۲
پ۳-۴-۳ روش روبی ۲۶۳
پ۳-۴-۴ روش گزارش ۱۲ ..... ۲۶۳

پیوست ۴: ماکروی GRADISTAT ۲۶۵
پ۴-۱ مقدمه ۲۶۵
پ۴-۲ معرفی نرم‌افزار GRADISTAT ۲۶۵
پ۴-۲-۱ روش کار با نرم‌افزار ۲۶۶
فهرست منابع ۲۶۹

پیشگفتار

انجام هرگونه فعالیت در رودخانه‌ها مستلزم شناخت قواعد حاکم بر رودخانه و پیش‌بینی عکس‌العمل رودخانه نسبت به آن است تا از پیامدهای زیان‌بار مربوطه جلوگیری شود. شناخت یک فرآیند رودخانه‌ای با اندازه‌گیری پارامترهای هیدرولیکی در مقیاس واقعی معمولاً دشوار می‌باشد. از سوی دیگر مدلسازی انتقال رسوب نیز امری کاملاً پیچیده و مشکل می‌باشد زیرا اطلاعاتی که جهت پیش‌بینی تغییرات بستر به کار می‌رود اساساً دارای عدم قطعیت بوده و تئوری‌های به کار رفته نیز تجربی بوده و حساسیت شدیدی نسبت به دامنه وسیعی از متغیرهای فیزیکی از خود نشان می‌دهند. بالا بودن هزینه‌های مربوط به تجهیزات آزمایشگاهی و محدودیت استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری، از جمله دلایلی است که استفاده از روش‌های فیزیکی را محدود ساخته و باعث سوق یافتن متخصصان به سمت مدلسازی ریاضی و عددی برای شبیه‌سازی جریان و رسوب داخل مجاری آبی شده است.

راهنمای طراحی حاضر مدلسازی هیدرولیک جریان یک‌بعدی توسط مدل معروف HEC-RAS را در مسیر رودخانه‌ها و آبراهه‌های جاری و همچنین در نزدیکی سازه‌های هیدرولیکی پل و کالورت بررسی می‌کند. علاوه بر آن، روش‌های مختلف طراحی کانال پایدار و محاسبات ظرفیت انتقال رسوب داخل مجاری آبی بیان گردیده است. همچنین بخش‌های کاربردی مدلسازی رسوب نرم‌افزار (شامل تحلیل انتقال رسوب و ارزیابی اثر رسوب) برای سهولت دسترسی، بصورت گام به گام معرفی گردیده و نکات راهبردی برای مدلسازی جریان‌های رسوبی تشریح گردیده است. این کتاب شامل چهار پیوست کاربردی برای مدلسازی جریان و رسوب نیز می‌باشد که در آنها، مبانی مدلسازی پل‌ها و جریان‌های رسوبی براساس روش‌های موجود در مدل HEC-RAS تشریح گردیده است که متخصصان بتوانند با آشنایی کامل از تئوری حاکم بر روش‌های مختلف، نسبت به انتخاب آنها اقدام نمایند. یکی از نکات مهم، ارائه دستورالعمل کاربردی برای استخراج پارامترهای هندسی مدل با استفاده از الحاقیه HEC-GeoRAS و نرم‌افزار ArcGIS می‌باشد تا مهندسان بتوانند براحتی با استفاده از محیط پرکاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی به مدلسازی جریان و رسوب اقدام نموده و نتایج را با قابلیت‌های آن مشاهده و تفسیر نمایند. در انتها نیز ماکروی کاربردی GRADISTAT برای تجزیه و تحلیل آماره‌های اندازه ذرات نمونه‌های مختلف خاک و رسوب معرفی شده و نحوه استفاده از آن بیان گردیده است.

در وهلهٔ اول این راهنما برای استفادهٔ مهندسین عمران و آب در محل اجرای پروژه‌های آبی در مسیر رودخانه‌ها بوده لیکن می‌تواند مورد استفاده محققین در زمینه مهندسی هیدرولیک نیز قرار گیرد. با توجه به جوان بودن و وابستگی بسیار شدید علم مهندسی رودخانه به شاخه‌های مختلف علوم

مهندسی شامل هیدرولیک، ژئوتکنیک، منابع آب و محیط زیست و همچنین عدم قطعیت‌های موجود در زمینه وضعیت انتقال رسوب در مجاری آبی طبیعی، عموماً مشکلات جدی در بالادست و پایین‌دست محل اجرای طرح‌های مهندسی رودخانه پدیدار می‌شود. آنچه که مسلم است یکی از عوامل اصلی بروز مشکلات در پروژه‌های مختلف مهندسی رودخانه، عدم توجه به پدیده مهم انتقال رسوب بوده و بعضاً مهندسان به بررسی وضعیت هیدرولیکی جریان اکتفا می‌نمایند.

امیدواریم با انتشار این کتاب که اطلاعات مفیدی را در زمینه مدلسازی جریان و رسوب در مجاری آبی در اختیار مهندسان طراح می‌گذارد، گام کوچکی در جهت توسعه و پیشبرد اهداف صنعت آب کشور برداشته شود.

در انتها از خوانندگان محترم درخواست می‌نماید در صورت برخورد به نواقص، خطاها و اشتباهات احتمالی، اینجانب را مطلع نمایند تا در چاپ‌های بعدی کتاب کامل‌تری در اختیار علاقه‌مندان قرار گیرد.

اصغر عزیزیان

عضو هیئت علمی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

(Info@noavarpub.com)

فصل اول

مقدمه

۱-۱ تاریخچه علم رسوب

به نظر می‌رسد نخستین پیشرفت‌ها در دانش رسوبات رودخانه‌ای به حدود چهار هزار سال پیش از میلاد مسیح و بـه کشور چین برمی‌گردد. البته هم‌زمان تمدن‌های دیگری چون مصریان و بابلیان نیز با کارهای آبی که انجام می‌داده‌اند، بنحوی به توسعه علم هیدرولیک کمک کرده‌اند. دوران جدید پیشرفت هیدرولیک رودخانه به اواسط قرن پـانزدهم و توسط لئوناردو داوینچی[۱] برمی‌گردد که مشاهدات علمی خود را در کتابی تحت عنوان "بخـاطر بـسپار وقتـی بحـث درباره آب است، ابتدا بیان تجربه سپس دلیل[۲]" منتشر کرد. وی اولین کسی بود که اصول مدلـسازی هیـدرولیکی را آموزش داد. دانشمندان متعدد دیگری نیز در زمینه انتقال رسوبات رودخانه‌ای مطالعه کرده‌اند که از آن جمله می‌توان به کاستلی[۳]، توریچلی[۴]، ماریوتی[۵]، هوک[۶]، دکارت[۷]، پاسکال[۸] و نیوتن[۹] اشاره کرد. البته نباید نام دومینو گـولیلمینی[۱۰] که فریمن[۱۱] او را پدر علم مهندسی رودخانه نامیده، فراموش کرد. وی کتابی تحت عنوان " طبیعت رودخانـه، پیمـان فیزیکی- ریاضی[۱۲]" در سال ۱۶۹۷ در بولونیا ایتالیا منتشر کرده است. از ابتکارات وی، احداث دیواره‌هـای سـاحلی و اپی در بعضی از رودخانه‌های ایتالیا بوده است (شفاعی بجستان، ۱۳۹۰؛ سایمونز و سنتورک[۱۳]، ۱۹۹۲).

---

1. Leonardo da Vinci (1452 – 1519)
2. “Remember When Discussing about Water to Adduce First Experience and then Reason”
3. Castelli (1577 – 1644)
4. Torricelli (1608 – 1647)
5. Mariotte (1620 – 1684)
6. Hooke (1635 – 1703)
7. Descartes (1596 – 1650)
8. Pascal (1623 – 1662)
9. Newton (1642 – 1727)
10. Domenico Guglielmini (1655 – 1710)
11. Freeman (1855 – 1932)
12. “Della Natura De' Fiumi, Trattato Fisico-Matematico”
13. Simons and Sentürk

در سال‌های ۱۷۶۲ و ۱۷۶۷، فریزی[1] در ویرایش‌های اول و دوم کتاب خود با عنوان "رساله‌ای در رودخانه‌ها و جریان‌های سیلابی با روش تنظیم جریان‌ها و آبراهه آنها[2]"، مسائلی از قبیل اصلاح رودخانه‌ها و انتقال مواد رسوبی توسط جریان آب را توضیح داد و اولین مطالعات آزمایشگاهی در این زمینه را به انجام رساند. دوبوات[3] دانشمند فرانسوی در سال ۱۷۸۶ کتاب دو جلدی خود را تحت عنوان "اصول علم هیدرولیک[4]" منتشر کرد. وی در جلد دوم کتاب، نتایج آزمایشگاهی در خصوص حداقل سرعت جریان لازم برای انتقال ذرات رسوب با اندازه‌های مختلف را منتشر نمود (سایمونز و سنتورک، ۱۹۹۲؛ گارد[5]، ۱۹۹۵).

شزی[6] دانشمند فرانسوی دیگری بود که در پیشرفت علم هیدرولیک نقشی موثر داشت. رابطه او برای جریان‌های یکنواخت هنوز مورد استفاده قرار می‌گیرد. از دانشمندان دیگری که در قرن ۱۸ و اوایل قرن ۱۹ به پیشرفت دانش هیدرولیک و انتقال مواد رسوبی کمک کرده‌اند، می‌توان به ناویر[7]، سنت ـ ونان[8]، فرود[9]، مانینگ[10]، استوکس[11]، بازن[12]، رینولدز[13] و بوزینسک[14] اشاره کرد. در زمینه خاص انتقال رسوبات، دوبوی[15] دانشمندی است که تئوری کششی را که بصورت گسترده مورد قبول قرار گرفته و در مطالعات حرکت بستر کاربرد زیادی دارد، بوجود آورده است. کندی[16] اولین کسی بود که اصول پایداری کانال‌ها را مطرح کرد و روابطی جهت طراحی کانال‌هایی که نه فرسایش داشته باشند و نه رسوب‌گذاری ارائه کرد. در پنج دهه گذشته، علم هیدرولیک انتقال رسوب پیشرفت گسترده‌ای کرده است. شیلدز[17] در سال ۱۹۳۶ نخستین فردی بود که بطور سیستماتیک حرکت نخستین ذره یا به عبارتی آستانه شروع حرکت ذرات رسوبی را مورد مطالعه قرار داد. اینشتین[18] در سال ۱۹۵۰ با تکمیل و ارائه رابطه خود برای برآورد میزان بار رسوبی، گامی جدید در پیشبرد تکنولوژی انتقال مواد رسوبی برداشت. افراد دیگری نیز در این زمینه فعالیت داشته‌اند که ذکر اسامی آنها بعلت محدودیت کتاب، در این جا غیر ممکن است. در خصوص تاریخچه علم هیدرولیک، دو کتاب معتبر توسط راس و اینس[19] (۱۹۵۷) و گارد (۱۹۹۵) منتشر شده که بطور کامل تاریخچه علم هیدرولیک و هیدرولیک رودخانه را بررسی نموده است.

---

1. Frisi (1728 – 1784)
2. “A Treatise on Rivers and Torrents with the Method of Regulating Their Courses and Channels”
3. Du Buat (1734 – 1809)
4. “Principes d’Hydraulique”
5. Garde
6. Chez’y (1718 – 1798)
7. Navier (1785 – 1836)
8. Saint – Venant (1797 – 1886)
9. Froude (1810 – 1879)
10. Manning (1816 – 1897)
11. Stokes (1819 – 1903)
12. Bazin (1829 – 1917)
13. Reynolds (1842 – 1912)
14. Boussinesq (1842 – 1929)
15. du Boys (1847 – 1924)
16. Kennedy (1851 – 1920)
17. Shields (1908 – 1974)
18. Einstein (1904 – 1973)
19. Rouse & Ince

۱-۲ هیدرولیک انتقال رسوب

هیدرولیک انتقال رسوبات رودخانه‌ای یا به اختصار هیدرولیک رسوب بر پایه علومی چون مکانیک سیالات، هیدرولیک، هیدرولیک رودخانه‌ای و رسوب‌شناسی استوار است.

فرآیندهای فرسایش، انتقال و ته‌نشینی مواد رسوبی در علم مهندسی هیدرولیک دارای پیچیدگی خاصی می‌باشند زیرا عوامل موجود در بوجود آوردن این فعالیت‌ها بسیار زیاد می‌باشند. در فرآیند فرسایش، ذرات خاک توسط ضربه قطره‌های باران و یا توسط نیروهای بوجود آمده در اثر حرکت آب، از بستر خود جدا می‌شوند سپس ذرات جدا شده در آستانه حرکت قرار می‌گیرند و در صورتی که نیروهای وارد شده توسط آب بیشتر از نیروهای مقاوم باشند، ذره همراه با جریان آب منتقل می‌شود. شرایط شروع آستانه حرکت ذرات و میزان انتقال آنها به خصوصیت مواد رسوبی مثل اندازه، شکل و چگالی ذره و همچنین به خصوصیات جریان نظیر سرعت، عمق و نیز به خصوصیات شکل رودخانه نظیر شعاع هیدرولیکی، شیب و غیره بستگی دارد. چنانچه در مسیر انتقال به هر دلیلی نیروهای وارد شده از طرف آب کاهش یابد، ذرات رسوبی ته‌نشین می‌شوند.

رسوبات رودخانه‌ای به دو صورت منتقل می‌شوند، یا این مواد درون جریان آب غوطه‌ور هستند و همراه با آب در حرکت می‌باشند که به آنها مواد رسوبی معلق گفته می‌شود و میزان مواد رسوبی معلق را که در واحد زمان از یک مقطع رودخانه عبور می‌کند، بار معلق می‌نامند. از طرفی مواد رسوبی در نزدیکی‌های بستر ممکن است که به یکی از صور لغزش، غلتیدن و پرش حرکت نماید که به آنها بار بستر می‌گویند. نوع حرکت به صورت بار معلق و بار بستر بستگی به خصوصیت مواد رسوبی، شرایط جریان و خصوصیات رودخانه دارد. ذرات رسوب فرسایش یافته ممکن است پس از فاصله کوتاهی و یا پس از طی مسافت‌های طولانی ته‌نشین شوند. رسوب‌گذاری ذرات زمانی شدت می‌گیرد که از عوامل بوجود آورنده فرسایش و شروع حرکت ذرات کاسته شود. یکی از مهمترین مشکلاتی که رسوب‌گذاری مواد می‌تواند بوجود آورد رسوب‌گذاری در مخازن پشت سدها و در نتیجه کاستن از ظرفیت ذخیره مخزن می‌باشد.

۱-۳ مدلسازی رودخانه

انجام مطالعات و تحقیقات مختلف مهندسی هیدرولیک و هیدرولیک رسوب به طور معمول دارای پیچیدگی‌ها و محاسبات فراوانی است که مستلزم دقت و توجه زیاد می‌باشد. بنابراین لازم است قبل از اقدام به طراحی و اجرای پروژه‌های هیدرولیکی از نحوه عملکرد آنها اطلاعاتی به دست آورده شود. به منظور پیش‌بینی پدیده‌های پیچیده هیدرولیکی لازم است از تکنیک شبیه‌سازی یا مدلسازی استفاده شود که برای انجام این امر عمدتاً دو روش وجود دارد: یکی مدل ریاضی و دیگری مدل فیزیکی. در مدل‌های ریاضی اطلاعات موردنظر از طریق محاسبات بدست می‌آیند در حالی که در مدل‌های فیزیکی داده‌های مربوطه با اندازه‌گیری تعیین می‌شوند. امروزه با پیشرفت روز افزون رایانه‌ها و توسعه هرچه بیشتر روش‌های عددی، مدل‌های ریاضی کاربرد فوق‌العاده وسیعی یافته‌اند (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، ۱۳۹۱a).

در مدل‌های ریاضی سیستم رودخانه توسط یکسری معادلات ریاضی که بیان‌گر خصوصیات آن سیستم می‌باشند، معرفی شده و سپس این معادلات به روش‌های تحلیلی یا عددی حل می‌گردند.

توسعه یک مدل ریاضی برای بیان یک پدیده خاص عبارتست از شناخت قوانین حاکم بر آن و بیـان آن در قالب مجموعه‌ای از روابط ریاضی (این روابط ممکن است به طریق تجربی و یا تئوری به دست آیند) و سپس دادن شکل خاصی به این روابط به گونه‌ای که بتوان در کوتاه‌ترین مدت، رفتار واقعی پدیـده را که در طبیعت رخ می‌دهد، پیش‌بینی نمود. یک مدل ریاضی ممکن است سیر تکاملی خود را در صحنه عمل و به کارگیری در پروژه‌ای عینی طی کند.

۱-۳-۱ ضرورت مدلسازی

شبیه‌سازی عبارت است از فرآیند طراحی مدلی از یک سیستم واقعی و انجام آزمایش‌هـایی بـا ایـن مدل که به منظور درک رفتار سیستم یا ارزیابی راهبردهای گوناگون برای عملیات آن سیـستم صـورت می‌گیرد. بنابراین فرآیند شبیه‌سازی هم شـامل مدلـسازی و هـم شـامل اسـتفاده تحلیلـی از آن بـرای مطالعه یک مساله است. شبیه‌سازی زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که :

الف- امکان حل معادلات ریاضی حاکم با روش‌های تحلیلی وجود نداشته باشد.

ب- انجام آزمایش‌ها و مشاهده پدیده‌ها در محیط واقعی آنها مشکل یا غیر عملی باشد.

شناخت دقیق یک فرآیند فیزیکی توسط اندازه‌گیری پارامترهـای حـاکم بـر آن در مقیـاس واقعـی امکان‌پذیر است (مطالعه صحرایی). البته کنترل شرایط حاکم بر سیستم واقعی (بازه‌ای از یک رودخانه) معمولاً دشوار بوده و اندازه‌گیری پارامترهای حاکم در طبیعت با پیچیـدگی‌هـای فراوانـی همـراه اسـت. علاوه بر آن، بررسی تاثیر شرایط مختلف بر پدیده مورد مطالعه (نظیر تاثیر سیلاب‌های مختلف بر رونـد پدیده‌های فرسایش و رسوبگذاری در رودخانه‌ها، اثر الگوی جریان بر روی ریخت‌شناسی رودخانه، تـاثیر ناشی از اعمال روش‌های حفاظت سواحل بر هندسه و هیدرودینامیک جریان رودخانه، تـاثیر روش‌هـای انحراف جریان بر روی رودخانه و پیرامون آن و . . .) در مقیاس واقعی به راحتی امکان‌پذیر نمی‌باشـد. از این رو، شناخت و بررسی پدیده‌های فیزیکی با روش شبیه‌سـازی بـه دو طریـق مدلـسازی فیزیکـی در آزمایشگاه و مدلسازی ریاضی و عددی با رایانه قابل انجام است (عزیزیان، ۱۳۸۹).

مدلسازی فیزیکی پدیده‌های طبیعی مانند هیدرولیک جریان و انتقال رسوب داخل رودخانه‌ها بعلت بزرگ بودن اندازه‌های میدان، اغلب بسیار پر هزینه و غیرممکن است. حتی در صـورت انجـام آزمـایش، اغلب برای سهولت انجام مطالعات آزمایشگاهی، ناچار به انجام برخی ساده‌سـازی‌هـا در مراحـل سـاخت مدل فیزیکی بوده و یا از برخی فرآیندهای واقعی رودخانه در شبیه‌سازی صرفنظر می‌شود. لذا از تعمیم نتایج مدل به شرایط طبیعی اطمینان کافی وجود ندارد. محاسبات تئوری نیز که حاصل یک مدلـسازی ریاضی می‌باشد، عمدتاً باتوجه به پیچیدگی مسائل مربوط به حرکت سیالات، بـا روش‌هـای عـددی بـه سرانجام می‌رسد.

۱-۳-۲ اهداف مدلسازی

به طورکلی اهدافی که برای مدلسازی ریاضی در رودخانه‌ها می‌توان متصور شد، عبارتند از:

۱- درک بیشتر مساله،

۲- توسعه گزینه‌های مختلف،

۳- ارزیابی گزینه‌های مطرح شده.

در ادامه زمینه‌های قابل بررسی در مهندسی رودخانه توسط مدل‌های ریاضی بیان می‌شود.

۱-۳-۲-۱ پدیده‌های عمومی

برای تعیین الگوی کلی جریان یا انتقال رسوب در یک بازه از رودخانه یا بررسی وضعیت ریخت‌شناسی آن می‌توان از مدل‌های ریاضی که بدین منظور توسعه پیدا کرده‌اند، استفاده نمود. معمولاً در بررسی پدیده‌های عمومی، از *مدل‌های یک‌بعدی* استفاده می‌شود.

۱-۳-۲-۲ پدیده‌های موضعی

برخی از پدیده‌های موضعی که بوسیله مدل‌های ریاضی می‌توان مورد مطالعه قرار داد، ناشی از وجود سازه‌های هیدرولیکی در مسیر جریان به وقوع می‌پیوندند. وجود سازه‌های هیدرولیکی مختلف مانند پل‌ها، آبشکن‌ها، آبگیرها و ... باعث تغییر هیدرودینامیک جریان شده که نهایتاً سبب تغییرات تراز بستر رودخانه بعلت آبشستگی و رسوبگذاری در اطراف این سازه‌ها می‌گردد. برای تحلیل بهتر این پدیده‌ها، استفاده از *مدل‌های دو بعدی و سه بعدی* دقیق‌تر ضروری می‌باشد.

۱-۳-۲-۳ روندیابی سیلاب

در مدلسازی رودخانه جهت روندیابی سیلاب، هدف تعیین و ارزیابی رفتار حوضه بالادست یا رودخانه زهکش آن در مقابل یک یا چند رویداد پی در پی بارش- رواناب، تعیین و محاسبه ترازهای سیلاب در نقاط مختلف برای دوره بازگشت‌های متفاوت و برآورد خسارات احتمالی ناشی از آن، اتخاذ روش‌ها و طرح‌های مناسب و اقتصادی برای پروژه‌های مهار سیلاب، هشدار به ساکنان مناطق در معرض خطر در مواقع سیلابی و کمک به مدیران برای تصمیم‌گیری در مواقع ضروری می‌باشد. با توجه به اهمیت پروژه‌های روندیابی سیلاب، امکان استفاده از *مدل‌های یک‌بعدی و دو بعدی* وجود دارد که یقیناً مدل دو بعدی با دقت بهتری وضعیت پخش سیلاب در حاشیه رودخانه را شبیه‌سازی خواهد نمود.

۱-۳-۲-۴ اثر الگوی جریان رودخانه بر محیط اطراف در شرایط مختلف جریان

در این قسمت، منظور برآورد ظرفیت انتقال رودخانه و بررسی سناریوهای مختلف برای افزایش ظرفیت انتقال آن، بررسی اثر تغییرات هندسی بر روی رژیم هیدرولیک و رسوب رودخانه، بررسی تاثیر روش‌های هدایت و انحراف جریان بر روی الگوی جریان رودخانه و اطراف آن، ارزیابی تاثیر کاهش عرض رودخانه بر روی هیدرودینامیک جریان و همچنین ارزیابی و مقایسه تاثیر وجود سازه‌های هیدرولیکی مختلف بر الگوی جریان می‌باشد. برای انجام این بررسی‌ها، بسته به دقت موردنیاز و جزئیات مورد مطالعه، می‌توان از *مدل‌های یک‌بعدی، دو بعدی و سه بعدی* مختلف استفاده نمود.

۱-۳-۲-۵ اثر آبشستگی و رسوبگذاری در رودخانه و اطراف سازه‌های هیدرولیکی

یکی از روش‌های مناسب برای تعیین اثرات سازه‌های هیدرولیکی بر روی جریان رودخانه، استفاده از مدل‌های ریاضی می‌باشد. اهداف مدلسازی در این شرایط، شامل بررسی تاثیر سازه‌های حفاظت بر روی الگوی جریان، بررسی پایداری دیواره‌های رودخانه و عملکرد سازه‌های حفاظت دیواره رودخانه، تاثیر حرکت کشتی‌ها بر روی رسوب‌گذاری و کنترل بهینه رسوب‌گذاری در کانال‌های کشتیرانی، درک