



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

آموزش کاربردی

{ مدلسازی جریان و رسوب }

در

HEC-RAS

مؤلفین:

اصغر عزیزیان

کاندیدای دکتری سازه‌های آبی دانشگاه تهران

امیر صمدی

عضو هیئت 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 RAS - HEC/تالیف و ترجمه اصغر عزیزیان، امیر صمدی، مرضیه آغاز.
مشخصات نشر	: تهران : نوآور، ۱۳۹۲.
مشخصات ظاهری	: ۲۴۰ ص.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۱۵۹-۲
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: کتابنامه: ص. ۲۴۹.
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	: TC ۱۷۵/۲/ع۴۱۸ ۱۳۹۲
رده بندی دیویی	: ۳۵۳/۵۵۱
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۳۰۳۳۶۲

آموزش کاربردی مدل‌سازی جریان و رسوب در RAS - HEC

اصغر عزیزیان - امیر صمدی - مرضیه آغاز

نوآور

۱۰۰۰ نسخه

محمد رضا نصیرنیا

۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۱۵۹-۲

تالیف و ترجمه:

ناشر:

شمارگان:

ناظر چاپ:

نوبت چاپ:

شابک:



نمایشگاه دائمی و مرکز فروش:

نوآور: تهران - خ انقلاب، خ فخررازی، خ شهدای ژاندارمیری،

نرسیده به خ دانشگاه، ساختمان ایرانیان، پلاک ۵۸، طبقه دوم، واحد ۶

۹۲-۶۶۴۸۴۱۹۱ و ۰۹۱۲۳۰۷۶۷۴۸

www.noavarpub.com

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلفان و مصنفان مصوف سال ۱۳۴۸ برای ناشر محفوظ و متحصراً متعلق به نشر نوآور می‌باشد. لذا هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از این کتاب (از قبیل هر نوع چاپ، فتوکپی، اسکن، عکس برداری، نشر الکترونیکی، هر نوع انتشار به صورت اینترنتی، سی 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

فصل دوم: مدل‌سازی یک‌بعدی جریان

پیشگفتار

فصل اول: مقدمه

۱-۲ مقدمه

۱-۱ تاریخچه علم رسوب

۲-۲ گام اول: تعریف پروژه

۲-۱ هیدرولیک انتقال رسوب

۳-۲ گام دوم: وارد نمودن اطلاعات
مقاطع عرضی

۳-۱ مدل‌سازی رودخانه

۱-۳-۲ ترسیم مسیر اصلی رودخانه

۱-۳-۱ ضرورت مدل‌سازی

۲-۳-۲ منوی EDIT

۲-۳-۱ اهداف مدل‌سازی

۱-۲-۳-۲ ابزار ویرایش عناوین و نقاط

۱-۲-۳-۱ پدیده‌های عمومی

۲-۲-۳-۲ ابزار ویرایش خطوط و متون

۲-۲-۳-۱ پدیده‌های موضعی

۳-۳-۲ منوی VIEW

۳-۲-۳-۱ روندیابی سیلاب

۴-۳-۲ نمایش تصاویر پیش‌زمینه

۴-۲-۳-۱ اثر الگوی جریان رودخانه بر

(BACKGROUND PICTURES)

محیط اطراف در شرایط مختلف جریان

۵-۳-۲ داده‌های مقاطع عرضی

۵-۲-۳-۱ اثر آبستگي و رسوبگذاري در

۱-۵-۳-۲ وارد نمودن اطلاعات مقاطع

رودخانه و اطراف سازه‌های هیدرولیکی

عرضی در مدل HEC-RAS

۶-۲-۳-۱ اثر الگوی جریان رودخانه و

اطلاعات موردنیاز هر مقطع عرضی

سازه‌های هیدرولیکی بر روی ریخت‌شناسی

معرفی منوی Options

رودخانه

۴-۲ گام سوم: وارد نمودن داده‌های
جریان

۷-۲-۳-۱ مسایل زیست‌محیطی و کیفیت

آب در رودخانه

۴-۱ معیارهای انتخاب مدل مناسب

۵-۲ گام چهارم: انجام محاسبات جریان

۱-۴-۱ معرفی مدل HEC-RAS

ماندگار

۵-۱ ساختار کتاب

- ۶-۲ گام پنجم: مشاهده و چاپ نتایج
- ۱-۳-۳ محاسبه شیب، دبی یا ارتفاع سطح آب
- ۱-۶-۲ نیم‌رخ عرضی سطح آب
- ۲-۳-۳ محاسبه عرض کف
- ۲-۶-۲ نیم‌رخ طولی سطح آب
- ۳-۳-۳ کاربرد داده‌های جریان یکنواخت در فایل هندسی
- ۳-۶-۲ ترسیم توزیع سرعت در راستای مقاطع عرضی
- ۴-۳-۳ ذخیره داده‌های جریان یکنواخت
- ۴-۶-۲ ترسیم پارامترهای هیدرولیکی جریان در راستای طولی رودخانه
- ۴-۳ طراحی کانال پایدار
- ۵-۶-۲ ترسیم منحنی‌های دبی-اشل برای هر مقطع عرضی
- ۱-۴-۳ روش کوپلند
- ۲-۴-۳ روش رژیم
- ۳-۴-۳ روش نیروی کششی (Z)
- ۷-۶-۲ خروجی‌های جدولی
- ۵-۳ محاسبه ظرفیت انتقال رسوب
- ۷-۲ مثال‌های کاربردی
- ترسیم منحنی سنج رسوب (نمودار/جدول)
- ۱-۷-۲ مثال ۱: مدلسازی نیم‌رخ سطح آب در کانال
- ترسیم نیم‌رخ انتقال رسوب (نمودار/جدول)
- ۲-۷-۲ مثال ۲: مدلسازی نیم‌رخ سطح آب در محل پل
- فصل سوم: توابع طراحی کانال پایدار
- ۱-۴-۴ مقدمه
- ۱-۳ مقدمه
- ۲-۴ وارد نمودن داده‌های رسوب
- ۱-۲-۴ شرایط اولیه و پارامترهای انتقال
- ۲-۳ راهنمای کلی مدلسازی
- ۱-۲-۴ تابع انتقال
- ۲-۴-۱ روش مرتب‌سازی مصالح بستر
- ۳-۱-۲-۴ روش‌های سرعت سقوط
- ۴-۱-۲-۴ عمق حداکثر و ارتفاع حداقل

GATE TIME SERIES ۴-۱-۳-۴ شرط مرزی
STAGE TIME SERIES ۵-۱-۳-۴ شرط مرزی
RATING CURVE ۶-۱-۳-۴ شرط مرزی
NORMAL DEPTH ۷-۱-۳-۴ شرط مرزی
۲-۳-۴ تنظیم داده‌های مربوط به درجه
حرارت آب

۴-۴ اجرای مدل انتقال رسوب

۱-۴-۴ تعریف یک PLAN
۲-۴-۴ تنظیم پارامترهای محاسباتی و
پیش فرض‌های مدل رسوبی
SEDIMENT COMPUTATION ۱-۲-۴-۴ گزینه
OPTIONS AND TOLERANCES
SEDIMENT OUTPUT ۲-۲-۴-۴ گزینه
OPTIONS
۳-۲-۴-۴ گزینه لایروبی
۴-۲-۴-۴ شیب انرژی انتقال رسوب
۵-۲-۴-۴ اجرای مدل رسوبی

۵-۴ نمایش نتایج

۱-۵-۴ ترسیم نیم‌رخ طولی
۲-۵-۴ نمایش سری‌های زمانی
فصل پنجم: روش‌های ارزیابی اثر
رسوب
۱-۵ مقدمه

۵-۱-۲-۴ حدود مقطع عرضی متحرک
۶-۱-۲-۴ دانه‌بندی مصالح بستر
۲-۲-۴ شرایط مرزی رسوب
۱-۲-۲-۴ انتخاب مکان مورد نظر جهت
تعریف شرایط مرزی رسوب
۲-۲-۲-۴ بار تعادلی

۳-۲-۲-۴ منحنی سنج

۴-۲-۲-۴ بارهای نقطه‌ای و بارهای توزیعی

DOWNSTREAM PASS ۵-۲-۲-۴

THROUGH BOUNDARY

SET SEDIMENT ۱-۳-۲-۴

PROPERTIES

SET COHESIVE OPTIONS ۲-۳-۲-۴

BED CHANGE OPTIONS ۳-۳-۲-۴

CALIBRATE TRANSPORT ۴-۳-۲-۴

FUNCTION

USER DEFINED GRAIN ۵-۳-۲-۴

CLASSES

OBSERVED DATA ۶-۳-۲-۴

۳-۴ وارد نمودن داده‌های جریان شبیه
غیرماندگار

۱-۳-۴ انتخاب شرایط مرزی

FLOW SERIES ۱-۱-۳-۴

LATERAL FLOW ۲-۱-۳-۴

SERIES

UNIFORM LATERAL ۳-۱-۳-۴

FLOW

۲-۵ شروع کار	۵-۴-۸-۲ گزینه SUPPLY AND BALANCE
۳-۵ تعیین یک بازه رسوبی	۵-۴-۸-۳ گزینه LOCAL SUPPLY
۴-۵ وارد نمودن داده‌ها	۵-۴-۸-۴ گزینه ANNUAL CAPACITY
۱-۴-۵ بخش BED MAT'L	۵-۴-۸-۵ گزینه‌های WASH MATERIAL و BED MATERIAL
۲-۴-۵ بخش HYDRO	۵-۴-۸-۶ گزینه LOCAL BALANCE
۳-۴-۵ بخش SED PROP	۵-۴-۸-۷ گزینه NORMALIZED LOCAL BAL
۱-۳-۴-۵ تابع انتقال رسوب	۵-۴-۹-۹ کاربردها و محدودیت‌های برنامه SIAM
۲-۳-۴-۵ روش محاسبه سرعت سقوط	پیوست ۱: استخراج پارامترهای هندسی مدل HEC-RAS با استفاده از الحاقیه HEC-ArcGIS 9.3 و نرم‌افزار GeoRAS
۳-۳-۴-۵ حداکثر کلاس دانه‌بندی (قطر) بار شسته	پ ۱-۱ مقدمه
۴-۳-۴-۵ وزن مخصوص ذرات	پ ۲-۱ تجهیزات موردنیاز کامپیوتر
۵-۳-۴-۵ غلظت رسوبات ریزدانه	پ ۳-۱ داده‌های موردنیاز
۴-۴-۵ بخش SOURCES	پ ۴-۱ تعریف پروژه و شروع کار
۵-۴-۵ بخش HYDRAULICS	پ ۱-۴-۱ شروع کار با الحاقیه HEC-GEORAS
۶-۴-۵ منوی OPTIONS	پ ۱-۴-۲ ایجاد لایه‌های RAS
۱-۶-۴-۵ گزینه USER DEFINED PARTICLE SIZES	پ ۱-۴-۳ ایجاد خط مرکزی رودخانه (STREAM CENTERLINE)
۲-۶-۴-۵ گزینه MULTIPLE TRANSPORT	پ ۱-۴-۴ ترسیم خطوط سواحل (BANK LINES)
۳-۶-۴-۵ گزینه REMOVE CROSS SECTIONS FROM SEDIMENT REACH	پ ۱-۴-۵ ترسیم مسیرهای جریان (FLOW PATHS)
۴-۶-۴-۵ گزینه BUDGET TOLERANCES	
۷-۴-۵ اجرای برنامه SIAM	
۸-۴-۵ خروجی مدل SIAM	
۱-۸-۴-۵ گزینه SEDIMENT TRANSPORT POTENTIAL	

- پ ۱-۴-۶ ترسیم مقاطع عرضی
(XSCUTLINES)
- پ ۱-۴-۸ ایجاد سطوح غیر موثر
(INEFFECTIVE AREAS)
- پ ۱-۴-۹ ایجاد موانع انسدادی
(OBSTRUCTIONS)
- پ ۱-۴-۱۰ آماده‌سازی اطلاعات جهت انتقال به مدل HEC-RAS
- پ ۱-۳-۱ توابع محاسبه زبری بستر
- پ ۱-۳-۱-۱ معادله مانینگ
- پ ۱-۳-۲-۱ معادله کولگان
- پ ۱-۳-۳-۱ معادله استریکلر
- پ ۱-۳-۴-۱ معادله لیمرینوس
- پ ۱-۳-۵-۱ معادله براونلی
- پ ۱-۳-۶-۱ روش سرویس حفاظت خاک آمریکا
- پ ۱-۳-۷-۱ معیارهای انتخاب معادله مناسب برای تخمین ضریب زبری مانینگ
- پ ۱-۳-۲-۲ هیدرولیک پل‌ها
- پ ۱-۳-۱-۵-۱ وارد نمودن داده‌های پل پیوست ۲: مبانی مدل‌سازی پل‌ها
- پ ۱-۲-۱ روش معادله انرژی
- پ ۱-۲-۲ روش معادله اندازه حرکت
- پ ۱-۲-۳ روش تجربی یارنل
- پ ۱-۲-۴ روش WSPRO
- پ ۲-۲-۲ مقایسه روش‌های مختلف
- پ ۱-۲-۲-۱ جریان‌های بادی کم
- پ ۱-۲-۲-۲ جریان‌های بادی بالا
- پ ۱-۲-۲-۲-۱ نتیجه‌گیری کلی در مورد دبی‌های بالا
- پ ۱-۳-۱-۳ روش یانگ
- پ ۱-۳-۲-۳ روش انگلوند-هانسن
- پ ۱-۳-۳-۳ روش ایکرز-وایت

- پ ۳-۳-۴ روش میر- پیتر و مولر
پ ۳-۳-۵ روش توفالتی
پ ۳-۳-۶ روش لارسن
پ ۳-۳-۷ روش ویلکاک
- پ ۳-۳-۴ روش‌های برآورد سرعت سقوط ذرات
پ ۳-۴-۱ روش توفالتی
پ ۳-۴-۲ روش ون راین
پ ۳-۴-۳ روش رویی
- پ ۳-۴-۴ روش گزارش ۱۲
پیوست ۴: ماکروی GRADISTAT
پ ۴-۱ مقدمه
پ ۴-۲ معرفی نرم‌افزار GRADISTAT
پ ۴-۲-۱ روش کار با نرم‌افزار
فهرست منابع

نشر نوآور

تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱

پیشگفتار

انجام هر گونه 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 مشکل‌می‌باشد 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 وهله اول این راهنما برای استفاده مهندسين 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، اینجانبان را مطلع نمایند تا در چاپ‌های بعدی کتاب کامل‌تری در اختیار علاقه‌مندان قرار گیرد.

امیر صمدی

عضو هیئت علمی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ع)

اصغر عزیزیان

کандیدای دکتری سازه‌های آبی دانشگاه تهران

مرضیه آغاز

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی دانشگاه تهران

نشر نوآور

تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱

فصل اول

مقدمه

۱-۱ تاریخچه علم رسوبات

به نظر می‌رسد نخستین پیشرفت‌ها در دانش رسوبات رودخانه‌ای به حدود چهار هزار سال پیش از میلاد مسیح و به 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 پانزدهم و توسط لئوناردو داوینچی^۱ برمی‌گردد که مشاهدات علمی خود را در کتابی تحت عنوان "بخاطر بسیار وقتی بحث درباره آب است، ابتدا بیان تجربه سپس دلیل"^۲ منتشر کرد. وی اولین کسی بود که اصول مدلسازی هیدرولیکی 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، هوک^۷، دکارت^۸، پاسکال^۹ و نیوتن^{۱۰} اشاره کرد. البته نباید نام دومینو گولیمینی^{۱۱} که فریمن^{۱۱} او را پدر علم مهندسی رودخانه نامیده، فراموش کرد. وی کتابی تحت عنوان "طبیعت رودخانه، پیمان فیزیکی-ریاضی"^{۱۲} در سال ۱۶۹۷ در بولونیا ایتالیا منتشر کرده است. از ابتکارات وی، احداث دیواره‌های ساحلی و آبی در بعضی از رودخانه‌های ایتالیا بوده است (شفاعی بجستان، ۱۳۹۰؛ سایمونز و سنتورک^{۱۳}، ۱۹۹۲).

۱. Leonardo da Vinci (1452 – 1519)

۲. "Remember When Discussing about Water to Adduce First Experience and then Reason"

۳. Castelli (1577 – 1644)

۴. Torricelli (1608 – 1647)

۵. Mariotte (1620 – 1684)

۶. Hooke (1635 – 1703)

۷. Descartes (1596 – 1650)

۸. Pascal (1623 – 1662)

۹. Newton (1642 – 1727)

۱۰. Domenico Guglielmini (1655 – 1710)

۱۱. Freeman (1855 – 1932)

۱۲. "Della Natura De' Fiumi, Trattato Fisico-Matematico"

۱۳. Simons and Sentürk

در سال‌های ۱۷۶۲ و ۱۷۶۷، فریزی^۱ در ویرایش‌های اول و دوم کتاب خود با عنوان "رساله‌ای در رودخانه‌ها و جریان‌های سیلابی با روش تنظیم جریان‌ها و آبراهه آنها"^۲، 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^۳ دانشمند فرانسوی در سال ۱۷۸۶ کتاب دو جلدی خود را تحت عنوان "اصول علم هیدرولیک"^۴ 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^۵، ۱۹۹۵).

شزی^۶ 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^۷، سنت - ونان^۸، فرود^۹، مانینگ^{۱۰}، استوکس^{۱۱}، بازن^{۱۲}، رینولدز^{۱۳} و بوزینسک^{۱۴} اشاره کرد. در زمینه خاص انتقال رسوبات، دوبوی^{۱۵} 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^{۱۶} 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^{۱۷} 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^{۱۸} 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 بعلاوه محدودیت

۱. Frisi (1728 - 1784)

۲. "A Treatise on Rivers and Torrents with the Method of Regulating Their Courses and Channels"

۳. Du Buat (1734 - 1809)

۴. "Principes d'Hydraulique"

۵. Garde

۶. Chez'y (1718 - 1798)

۷. Navier (1785 - 1836)

۸. Saint - Venant (1797 - 1886)

۹. Froude (1810 - 1879)

۱۰. Manning (1816 - 1897)

۱۱. Stokes (1819 - 1903)

۱۲. Bazin (1829 - 1917)

۱۳. Reynolds (1842 - 1912)

۱۴. Boussinesq (1842 - 1929)

۱۵. du Boys (1847 - 1924)

۱۶. Kennedy (1851 - 1920)

۱۷. Shields (1908 - 1974)

۱۸. Einstein (1904 - 1973)

کتاب، در این جا غیر ممکن است. در خصوص تاریخچه علم هیدرولیک، دو کتاب معتبر توسط راس و اینس^۱ (۱۹۵۷) و گارد (۱۹۹۵) منتشر شده که بطور کامل تاریخچه علم هیدرولیک و هیدرولیک رودخانه را بررسی نموده است.

۲-۱ هیدرولیک انتقال رسوب

هیدرولیک انتقال رسوبات رودخانه‌ای یا به اختصار هیدرولیک رسوب بر پایه علمی 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 نمایند 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.

۳-۱ 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 عمده‌تاً 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، ۱۳۹۱ا).

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 بیان 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 پدیده 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 آزمایش‌هایی با این مدل که به منظور درک رفتار سیستم یا ارزیابی راهبردهای گوناگون برای عملیات آن سیستم صورت می‌گیرد. بنابراین فرآیند شبیه‌سازی هم شامل مدل‌سازی و هم شامل استفاده تحلیلی از آن برای 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 پارامترهای حاکم بر آن در مقیاس واقعی امکان‌پذیر است (مطالعه صحرائی). البته کنترل شرایط حاکم بر سیستم واقعی (بازه‌ای از یک رودخانه) معمولاً دشوار بوده و اندازه‌گیری پارامترهای حاکم در طبیعت با پیچیدگی‌های فراوانی همراه است. علاوه بر آن، بررسی تاثیر شرایط مختلف بر پدیده مورد مطالعه (نظیر تاثیر سیلاب‌های مختلف بر روند پدیده‌های فرسایش و رسوبگذاری در رودخانه‌ها، اثر الگوی جریان بر روی ریخت‌شناسی رودخانه، تاثیر ناشی از اعمال روش‌های حفاظت سواحل بر هندسه و هیدرودینامیک جریان رودخانه، تاثیر روش‌های انحراف جریان بر روی رودخانه و پیرامون آن

و . . .) در مقیاس واقعی به راحتی امکان پذیر نمی باشد. از این رو، شناخت و بررسی پدیده های فیزیکی با روش شبیه سازی به دو طریق مدل سازی فیزیکی در آزمایشگاه و مدل سازی ریاضی و عددی با رایانه قابل انجام است (عزیزیان، ۱۳۸۹).

مدلسازی فیزیکی پدیده های طبیعی مانند هیدرولیک جریان و انتقال رسوب داخل رودخانه ها بعلاوه بزرگ بودن اندازه های میدان، اغلب بسیار پرهزینه و غیرممکن است. حتی در صورت انجام آزمایش، اغلب برای سهولت انجام مطالعات آزمایشگاهی، ناچار به انجام برخی ساده سازی ها در مراحل ساخت مدل فیزیکی بوده و یا از برخی فرآیندهای واقعی رودخانه در شبیه سازی صرف نظر می شود. لذا از تعمیم نتایج مدل به شرایط طبیعی اطمینان کافی وجود ندارد. محاسبات تئوری نیز که حاصل یک مدل سازی ریاضی می باشد، عمدتاً با توجه به پیچیدگی مسائل مربوط به حرکت سیالات، با روش های عددی به سرانجام می رسد.

۱-۳-۲ اهداف مدل سازی

به طور کلی اهدافی که برای مدل سازی ریاضی در رودخانه ها می توان متصور شد، عبارتند از:

- ۱- درک بیشتر مساله،
- ۲- توسعه گزینه های مختلف،
- ۳- ارزیابی گزینه های مطرح شده.

در ادامه زمینه های قابل بررسی در مهندسی رودخانه توسط مدل های ریاضی بیان می شود.

۱-۳-۳-۱ پدیده های عمومی

برای تعیین الگوی کلی جریان یا انتقال رسوب در یک بازه از رودخانه یا بررسی وضعیت ریخت شناسی آن می توان از مدل های ریاضی که بدین منظور توسعه پیدا کرده اند، استفاده نمود. معمولاً در بررسی پدیده های عمومی، از مدل های یک بعدی استفاده می شود.

۱-۳-۳-۲ پدیده های موضعی

برخی از پدیده های موضعی که بوسیله مدل های ریاضی می توان مورد مطالعه قرار داد، ناشی از وجود سازه های هیدرولیکی در مسیر جریان به وقوع می پیوندند. وجود سازه های