



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

آموزش کاربردی مدل سازی

{ هیدرولوژیکی حوضه آبریز }

در

HEC-HMS

9

HEC-GeoHMS

مؤلفان:

دکتر فرشته مدرسی

دکتری مهندسی منابع آب از دانشگاه تهران

دکتر شهاب عراقی نژاد

عضو هیئت علمی دانشگاه تهران

سرشناسه	: مدرسی، فرشته، ۱۳۶۳-
عنوان و نام پدیدآور	: آموزش کاربردی مدل سازی هیدرولوژیکی حوضه آبریز در HEC-HMS و HEC-GeoHMS
مشخصات نشر	: تهران: نوآور، ۱۳۹۳.
مشخصات ظاهری	: ۳۰۴ص.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۱۸۵-۱
وضعیت فهرست نویسی	: فیپای مختصر
یادداشت	: این مدرک در آدرس http://opac.nlai.ir قابل دسترسی است.
شناسه افزوده	: عراقی نژاد، شهاب، ۱۳۵۴-
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۵۴۶۶۷۹

آموزش کاربردی مدل سازی هیدرولوژیکی حوضه آبریز در HEC-HMS و HEC-GeoHMS

دکتر فرشته مدرسی - دکتر شهاب عراقی نژاد

نوآور

نسخه ۱۰۰۰

محمد رضا نصیرنیا

۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۱۸۵-۱

مؤلفین:

ناشر:

شمارگان:

مدیر فنی:

شابک:



نشر نوآور

نمایشگاه دائمی و مرکز فروش:

نوآور: تهران - خ انقلاب، خ فخر رازی، خ شهدای ژاندارمری نرسیده به خ دانشگاه ساختمان ایرانیان،

پلاک ۵۸، طبقه اول، واحد ۳

تلفن: ۶۶۴۸۴۱۸۹

www.noavarpub.com

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلفان و مصنفان مصوب سال ۱۳۴۸ برای ناشر محفوظ و منحصراً متعلق به نشر نوآور می باشد. 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، دی وی، 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 می گیرند.

فهرست مطالب

مقدمه مؤلف	۷
بخش اول / نرم افزار HEC-HMS	۹
فصل اول / کلیات	۱۰
۱-۱- مقدمه و آشنایی با ساختار کتاب	۱۰
۱-۲- تاریخچه مدل سازی فرآیند بارش-رواناب	۱۱
۱-۳- دیدگاه های موجود برای مدل سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی	۱۴
۱-۳-۱- دیدگاه اول (مدل سازی داده مینا):	۱۴
۱-۳-۲- دیدگاه دوم (مدل سازی مفهومی):	۱۵
۱-۴- اصول پایه مدل سازی هیدرولوژیکی در نرم افزار HEC-HMS	۱۵
۱-۵- آشنایی کلی با نحوه مدل سازی در نرم افزار HEC-HMS	۱۷
۱-۶- روش نصب نرم افزار HEC-HMS در سیستم عامل ویندوز	۱۷
فصل دوم / آشنایی با صفحه اصلی و فهرست های اصلی برنامه	۱۹
۱-۲- آشنایی با صفحه اصلی برنامه و نوع کارایی هر بخش	۱۹
۲-۲- آشنایی با فهرست های اصلی برنامه	۲۱
۲-۲-۱- گزینه File	۲۱
۲-۲-۲- گزینه Edit	۲۲
۲-۲-۳- گزینه View	۲۲
۲-۲-۴- گزینه Components	۲۳
۲-۲-۱-۴- نحوه ایجاد و مدیریت سری های زمانی (Time-Series Data Manager)	۲۴
۲-۲-۲-۴- نحوه ایجاد و مدیریت توابع میان دو متغیر (Paired Data Manager)	۳۰
۲-۲-۵- گزینه Parameters	۳۶
۲-۲-۶- گزینه Compute	۳۷
۲-۲-۷- گزینه Results	۳۸
۲-۲-۸- گزینه Tools	۳۹
۲-۲-۹- گزینه Help	۴۰
۲-۳- آشنایی با نوار ابزار اصلی برنامه	۴۰
فصل سوم / مدل سازی حوضه آبریز	۴۲
۱-۳- ایجاد یک پروژه جدید	۴۲
۲-۳- ایجاد مدل حوضه	۴۴
۳-۳- تنظیمات مدل حوضه در پنجره ویرایشگر مؤلفه ها	۴۶
۳-۴- ترسیم مدل حوضه (بر اساس یک حوضه واقعی)	۴۸



۵۳	۵-۳- تنظیم پارامترهای مدل حوضه
۵۴	۵-۳-۱- معرفی عنصر زیرحوضه (Subbasin) و تنظیم پارامترهای آن (بر اساس داده‌های واقعی)
۵۵	۵-۳-۱-۱- توصیف زیرحوضه (Description)
۵۵	۵-۳-۱-۲- تعیین نقطه پایین دست زیرحوضه (Downstream)
۵۵	۵-۳-۱-۳- تعیین مساحت هر زیرحوضه (Area)
۵۶	۵-۳-۱-۴- تنظیم روش برگاب (Canopy Method) و معرفی و شرح گزینه‌های موجود برای آن
۵۸	۵-۳-۱-۵- تنظیم روش چالاب (Surface Method) و معرفی و شرح گزینه‌های موجود برای آن
۶۱	۵-۳-۱-۶- تنظیم روش تلفات (Loss Method) و معرفی و شرح گزینه‌های موجود برای آن
۷۴	۵-۳-۱-۷- تنظیم روش تبدیل بارش به رواناب (Transform Method) و معرفی و شرح گزینه‌های موجود برای آن
۸۲	۵-۳-۱-۸- تنظیم روش جریان پایه (Base flow Method) و معرفی و شرح گزینه‌های موجود برای آن
۹۰	۵-۳-۱-۹- تنظیمات موجود برای زیرحوضه در سربرگ اختیارات (Option) این عنصر
۹۱	۵-۳-۲- معرفی عنصر آبراهه (Reach) و تنظیم پارامترهای آن
۹۲	۵-۳-۲-۱- توصیف آبراهه (Description)
۹۲	۵-۳-۲-۲- تعیین نقطه پایین دست آبراهه (Downstream)
۹۲	۵-۳-۲-۳- تنظیم روش روندیابی جریان (Routing Method) و معرفی و شرح گزینه‌های موجود برای آن
۱۰۲	۵-۳-۲-۴- تنظیم روش تلفات تقویت جریان (Routing Method) و معرفی و شرح گزینه‌های موجود برای آن
۱۰۴	۵-۳-۲-۵- تنظیمات موجود برای آبراهه در سربرگ اختیارات (Option) این عنصر
۱۰۵	۵-۳-۳- معرفی عنصر انشعاب (Junction) و تنظیم پارامترهای آن
۱۰۷	فصل چهارم / مدل‌سازی هواشناسی حوضه آبریز
۱۰۷	۴-۱- ایجاد مدل هواشناسی حوضه
۱۱۰	۴-۲- تنظیمات مدل هواشناسی حوضه در پنجره ویرایشگر مؤلفه‌ها
۱۱۱	۴-۲-۱- معرفی و شرح روش‌های موجود برای تنظیم میزان بارش اثرگذار بر حوضه (Precipitation)
۱۳۷	۴-۲-۲- معرفی و شرح روش‌های موجود برای تنظیم میزان تبخیر و تعرق درحوضه (Evapotranspiration)
۱۴۳	۴-۲-۳- معرفی و شرح روش‌های موجود برای تنظیم میزان ذوب برف درحوضه (Snowmelt)
۱۵۸	فصل پنجم / مدل‌سازی مشخصات کنترل اجرای نرم‌افزار
۱۵۸	۵-۱- ایجاد مدل مشخصات کنترل
۱۶۱	۵-۲- تنظیمات مدل مشخصات کنترل در پنجره ویرایشگر مؤلفه‌ها
۱۶۴	فصل ششم / اجرای نرم‌افزار و بررسی و تحلیل نتایج
۱۶۴	۶-۱- ایجاد یک اجرای جدید (Run)
۱۷۲	۶-۲- نحوه اجراسازی نرم‌افزار
۱۷۴	۶-۳- نحوه مشاهده نتایج اجرای برنامه و بررسی و تحلیل آنها برای هر یک از عناصر مدل حوضه

۱۷۸	نحوه مشاهده نتایج عناصر زیرحوضه و بررسی و تحلیل آنها
۱۸۶	نحوه مشاهده نتایج عناصر آبراهه و بررسی و تحلیل آنها
۱۹۰	نحوه مشاهده نتایج عناصر انشعاب و بررسی و تحلیل آنها
۱۹۷	فصل هفتم / بهینه‌سازی پارامترها برای واسنجی مدل و حصول نتایج بهتر
۱۹۸	۱-۷- ایجاد یک کوشش بهینه‌سازی جدید
۲۰۰	۲-۷- نحوه انجام تنظیمات برای اجرای بهینه‌سازی
۲۰۰	۱-۲-۷- تنظیمات فرآیند بهینه‌سازی
۲۰۲	۲-۲-۷- تنظیمات تابع هدف
۲۰۵	۳-۲-۷- تنظیمات متغیر تصمیم
۲۱۰	۳-۷- نحوه اجرای فرآیند بهینه‌سازی
۲۱۲	۴-۷- نحوه مشاهده نتایج دست آمده از اجرای فرآیند بهینه‌سازی و بررسی و تحلیل آنها
۲۱۹	بخش دوم / نرم‌افزار HEC-GeoHMS
۲۲۰	فصل هشتم / آشنایی با نرم‌افزار HEC-GeoHMS و نحوه پردازش اطلاعات توسط آن
۲۲۰	۱-۸- ضرورت استفاده از نرم‌افزار HEC-GeoHMS و چگونگی ارتباط آن با نرم‌افزار HEC-HMS
۲۲۱	۲-۸- اصول پایه مدل‌سازی حوضه و آبراهه در نرم‌افزار HEC-GeoHMS
۲۲۴	۳-۸- محیط مورد نیاز برای نصب و روش نصب و فعال‌سازی نرم‌افزار HEC-GeoHMS
۲۲۶	۴-۸- پیش‌پردازش داده‌های خام و تهیه نقشه حوضه و آبراهه توسط این نرم‌افزار
۲۲۶	۱-۴-۸- مرحله اول: ذخیره فایل Arc Map
۲۲۶	۲-۴-۸- مرحله دوم: فراخوانی داده‌های اولیه
۲۲۷	۳-۴-۸- مرحله سوم: ایجاد نقشه DEM بدون تورفتگی‌های موضعی
۲۲۸	۴-۴-۸- مرحله چهارم: ایجاد نقشه جهت جریان (Flow Direction)
۲۳۰	۵-۴-۸- مرحله پنجم: ایجاد نقشه تراکم جریان (Flow Accumulation)
۲۳۱	۶-۴-۸- مرحله ششم: ایجاد نقشه آبراهه‌ها (Stream Definition)
۲۳۳	۷-۴-۸- مرحله هفتم: ایجاد نقشه تقسیم‌بندی آبراهه‌ها (Stream Segmentation)
۲۳۴	۸-۴-۸- مرحله هشتم: ایجاد نقشه محدوده زیرحوضه‌ها (Catchment Delineation)
۲۳۵	۹-۴-۸- مرحله نهم: ایجاد نقشه پلی‌گونی محدوده زیرحوضه‌ها (Catchment Polygon)
۲۳۶	۱۰-۴-۸- مرحله دهم: ایجاد نقشه پلی‌لاینی از آبراهه‌ها (Drainage Line)
۲۳۷	۱۱-۴-۸- مرحله یازدهم: ایجاد نقشه پلی‌گونی از زیرحوضه‌های الحاقی (Adjoint Catchment)
۲۳۹	فصل نهم / نحوه جداسازی ناحیه پروژه و پردازش اطلاعات آن برای ورود به نرم‌افزار HEC-HMS
۲۳۹	۱-۹- ایجاد یک پروژه جدید و جداسازی ناحیه مورد مطالعه
۲۴۶	۲-۹- پردازش اطلاعات ناحیه پروژه برای بکارگیری در نرم‌افزار HEC-HMS
۲۴۷	۱-۲-۹- پردازش زیرحوضه‌ها و رودخانه‌ها
۲۴۷	۱-۱-۲-۹- تلفیق زیرحوضه‌ها

- ۲۴۹ تقسیم‌بندی کردن زیرحوضه‌ها در شرایط مختلف ۲-۱-۲-۹
- ۲۵۲ تلفیق رودخانه‌ها ۳-۱-۲-۹
- ۲۵۳ مشاهده پروفیل رودخانه‌ها ۴-۱-۲-۹
- ۲۵۵ تعیین خصوصیات فیزیکی زیرحوضه‌ها و رودخانه‌ها ۲-۲-۲-۹
- ۲۵۵ محاسبه طول رودخانه‌ها ۱-۲-۲-۹
- ۲۵۶ محاسبه شیب رودخانه‌ها ۲-۲-۲-۹
- ۲۵۸ محاسبه شیب زیرحوضه‌ها ۳-۲-۲-۹
- ۲۶۰ تعیین بلندترین طول مسیر جریان ۴-۲-۲-۹
- ۲۶۲ روش‌های تعیین مرکز ثقل زیرحوضه‌ها ۵-۲-۲-۹
- ۲۶۶ تعیین ارتفاع مرکز ثقل زیرحوضه‌ها ۶-۲-۲-۹
- ۲۶۷ تعیین بلندترین مسیر جریان از مرکز ثقل تا خروجی زیرحوضه‌ها ۷-۲-۲-۹
- ۲۶۹ تعیین روش‌های مدل‌سازی هیدرولوژیکی ناحیه پروژه ۳-۲-۲-۹
- ۲۶۹ انتخاب فرآیندهای مدل‌سازی در محیط مدل HEC-HMS ۱-۳-۲-۹
- ۲۷۱ نام‌گذاری رودخانه‌ها ۲-۳-۲-۹
- ۲۷۲ نام‌گذاری زیرحوضه‌ها ۲-۳-۲-۹
- ۲۷۳ آماده‌سازی اطلاعات برای استفاده در نرم‌افزار HEC-HMS ۴-۲-۲-۹
- ۲۷۳ تبدیل واحدها به واحدهای قابل قبول نرم‌افزار HEC-HMS ۱-۴-۲-۹
- ۲۷۴ بررسی نهایی داده‌ها ۲-۴-۲-۹
- ۲۷۶ ایجاد شمای مدل حوضه برای نرم‌افزار HEC-HMS ۳-۴-۲-۹
- ۲۷۸ ایجاد شمای مدل حوضه با نمادهای نرم‌افزار HEC-HMS ۴-۴-۲-۹
- ۲۷۹ تعیین مختصات اجزای مدل حوضه ۵-۴-۲-۹
- ۲۸۰ آماده‌سازی داده‌ها برای انتقال به نرم‌افزار HEC-HMS ۶-۴-۲-۹
- ۲۸۱ ایجاد نقشه گرافیکی ناحیه پروژه برای نرم‌افزار HEC-HMS ۷-۴-۲-۹
- ۲۸۲ ایجاد فایل مدل حوضه برای نرم‌افزار HEC-HMS ۸-۴-۲-۹
- ۲۸۳ روش‌های ایجاد مدل هواشناسی حوضه مورد مطالعه برای نرم‌افزار HEC-HMS ۹-۴-۲-۹
- ۲۹۲ نحوه فراخوانی اطلاعات آماده شده توسط نرم‌افزار HEC-GeoHMS در نرم‌افزار HEC-HMS ۳-۹
- ۲۹۲ مرحله اول: ایجاد یک پروژه جدید در نرم‌افزار HEC-HMS ۱-۳-۹
- ۲۹۳ مرحله دوم: فراخوانی مدل حوضه در نرم‌افزار HEC-HMS ۲-۳-۹
- ۲۹۶ مرحله سوم: فراخوانی نقشه‌های زیرحوضه‌ها و رودخانه‌ها در نرم‌افزار HEC-HMS ۳-۳-۹
- ۲۹۸ مرحله چهارم: فراخوانی مدل‌های هواشناسی در نرم‌افزار HEC-HMS ۴-۳-۹
- ۲۹۸ نحوه فراخوانی مدل‌های هواشناسی ۱-۴-۳-۹
- ۲۹۹ اطلاعات ایجاد شده توسط مدل‌های هواشناسی با روش‌های مختلف ۲-۴-۳-۹
- ۳۰۴ مراجع (References) ۳-۴-۳-۹

مقدمه مؤلف:

خداوند بزرگ را شکرگزاریم که به ما توفیق داد تا داشته‌هایی هرچند اندک و ناچیز از آموزه‌های خویش را که به رسم امانت از بزرگان و پیشکسوتان علم، اندیشه و صاحبان خرد به ما رسیده است به رشته تحریر درآورده، شاگردانه و مخلصانه به رسم هدیه به پیشگاه آنان تقدیم نمائیم. امید است به منزله پس دادن درس تلقی شود و امیدوارتر آنکه انشاء الله خداوند متعال این توشه را زکات دانش‌مان قرار دهد.

در حیطه عرصه‌های مختلف مهندسی منابع آب، همواره مسائل اساسی زیر مطرح بوده و تلاش‌های پژوهشگران و مهندسين بسیاری در یافتن پاسخ برای این سئوال‌ها جهت دهی شده است:

- تحلیل مخاطرات سیلاب در حوضه‌ها
 - تحلیل بیلان آب و بررسی شرایط مختلف جوی و زمینی در محاسبه مولفه‌های آن
 - پیش‌بینی و پیش‌هشدار سیلاب
 - برنامه‌ریزی و طراحی مبتنی بر پیش‌گیری و کاهش سیلاب
- اهمیت این مسائل تا حدی است که هدف‌گذاری اولین نرم‌افزارهای توسعه داده شده در مهندسی عمران معطوف به تحلیل‌های مورد نیاز برای ارائه پاسخ‌های لازم به آنها بوده است. دو نرم‌افزار HEC-HMS و HEC-GeoHMS نسخه‌های روزآمد و تکامل یافته محصولاتی هستند که از بدو دوران رواج بهره‌گیری از رایانه در محاسبات مهندسی عمران متولد شده‌اند و در مطالعات پژوهشی و کاربردی به عنوان مرجعی برای مقایسه کارایی سایر نرم‌افزارها بکار می‌روند.

ضرورت استفاده از نرم‌افزارهای روز دنیا برای انجام محاسبات مهندسی منابع آب بر کسی پوشیده نیست. اما موفقیت و اطمینان از حصول به نتایج قابل اتکا، میسر نمی‌شود مگر در شرایطی که کاربر نرم‌افزار، آگاهی کامل به فرضیات و فرآیند محاسبات در بهره‌گیری از آنها داشته باشد و علاوه بر این‌ها تجربه کافی را در بکارگیری آنها کسب نماید.

کتاب حاضر سعی بر این دارد تا با ارائه پیش زمینه تئوری نرم‌افزارهای HEC-HMS و HEC-GeoHMS و نیز آموزش گام به گام روش بکارگیری این دو نرم‌افزار، تا حدی تأمین کننده شرایط مذکور برای کاربر باشد. هر چند همانند هر فعالیت حرفه‌ای، ضامن موفقیت هر شخص، تلاش و پشتکار وی و البته کنجکاوی در زوایای مختلف علمی و کاربردی یک زمینه تخصصی است.

نویسندگان این کتاب تلاش کرده‌اند تا با در نظر داشتن ویژگی‌ها و ظرایف زیر در جهت ایجاد درک بهتر مطالب برای خوانندگان، ویژگی‌های مثبت کتاب حاضر را افزایش دهند:

- ✓ ارائه تئوری مطالب در کنار قابلیت‌های نرم‌افزارها
 - ✓ انجام یک پروژه واقعی برای یک حوضه آبریز کشور به صورت گام به گام همراه با ارائه مطالب در هر بخش
 - ✓ وحدت رویه در پروژه انجام شده با هر دو نرم‌افزار به گونه‌ای که امکان مقایسه برای خواننده فراهم باشد.
 - ✓ تحلیل نتایج بدست آمده از هر یک از نرم‌افزارها
- در هر حال امید است این مجموعه توانسته باشد گامی مفید در جهت آموزش این دو نرم‌افزار برداشته باشد و نیز بتواند در ارتقاء سطح علمی دانش پژوهان محترم رشته‌های مهندسی هیدرولوژی و منابع آب و دانشجویان عزیز رشته‌های مهندسی عمران، مهندسی آب و آبخیزداری و سایر رشته‌های مرتبط با مفاهیم هیدرولوژی و منابع آب در مقاطع مختلف تحصیلات دانشگاهی مثمر ثمر باشد.
- بدیهی است هیچ کتابی نمی‌تواند مصون از اشتباهاتی اعم از ویرایشی و یا دانشی باشد؛ لذا نویسندگان این کتاب مشتاقانه انتظار دارند تا نظرات کارشناسانه شما مطالعه‌کنندگان گرامی را همچون هدیه‌ای گرانبها دریافت نموده تا در چاپ‌های بعدی کتاب مدنظر خویش قرار دهند. پیشاپیش نیز از هرگونه پیشنهاد و یا مطالعه نقادانه شما صمیمانه سپاسگزاری می‌نمائیم.
- به منظور برقراری تعامل پایدار، آدرس پست الکترونیکی زیر در نظر گرفته شده است که در هر زمان پذیرای سئوال‌ها و نظرات خوانندگان گرامی می‌باشد.

دکتر فرشته مدرسی

دکتری مهندسی منابع آب از دانشگاه تهران

دکتر شهاب عراقی‌نژاد

عضو هیئت علمی دانشگاه تهران

Info@noavarpub.com

بخش اول

نرم افزار HEC-HMS

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه و آشنایی با ساختار کتاب

نرم افزار HEC-HMS^۱ یک نرم افزار مدل سازی هیدرولوژیکی از نوع شبیه سازی (با قابلیت بهینه سازی پارامترها) است که توسط مرکز مهندسی هیدرولوژیکی ارتش آمریکا تولید شده است. از سال ۱۹۸۹ تاکنون، این مرکز مهندسی، نرم افزارهای مدل سازی هیدرولوژیکی متنوعی نظیر (۱۹۸۹) PRECIP، (۱۹۸۹) HEC-1F، (۱۹۹۲) HEC-IFH و (۱۹۹۸) HEC-1 را ارائه کرده و در هر نسخه سعی در به روزرسانی و تکمیل مدل سازی نموده است. نرم افزار HEC-1 در واقع نسخه اول نرم افزار HEC-HMS است که پس از آن، نسخه های ۲ و ۳ این نرم افزار نیز به بازار آمدند و در نهایت آخرین و جدیدترین نسخه که نسخه ۳،۵ آن است در سال ۲۰۱۰ وارد بازار شد. این نسخه از نرم افزار HEC-HMS قابل نصب بر روی سیستم عامل های Windows XP، Vista و Seven (32-Bit and 64-Bit) و نیز Solaris (64-Bit SPARC) و Linux (32-Bit x86) است. بدین دلیل در این کتاب نیز به آموزش نرم افزار HEC-HMS نسخه ۳،۵ پرداخته شده است.

همچنین، این مرکز مهندسی در راستای افزایش دقت اطلاعات ورودی به نرم افزار HEC-HMS، نرم افزار دیگری را با عنوان HEC-GeoHMS^۲ ایجاد کرده است که این نرم افزار با بهره گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS، خصوصیات منطقه مورد مطالعه را با دقت مضاعف استخراج می نماید. این نرم افزار قابلیت نصب در محیط ویندوز را داراست و تاکنون، نسخه های قابل نصب در سیستم عامل های دیگر برای آن ایجاد نشده است. از این رو در این کتاب نحوه استفاده از این دو نرم افزار در سیستم عامل ویندوز آموزش داده شده است.

1. Hydrologic Engineering Center- Hydrologic Modeling System
2. Geospatial Hydrologic Modeling Extension

این کتاب در دو بخش تهیه شده است:

- **بخش اول:** این بخش شامل آموزش کامل نرم افزار HEC-HMS برای مدل سازی فرآیند بارش - رواناب است و دربرگیرنده هفت فصل از فصل اول تا هفتم می باشد.
- **بخش دوم:** در این بخش کتاب که دربرگیرنده دو فصل هشتم و نهم است، نحوه مدل سازی حوضه آبریز با استفاده از نرم افزار HEC-GeoHMS و نحوه فراخوانی نتایج حاصل از این نرم افزار در نرم افزار HEC-HMS آموزش داده شده است. در واقع، هدف از بکارگیری نرم افزار HEC-GeoHMS ایجاد مدل حوضه قابل کاربرد در نرم افزار HEC-HMS و نیز تولید داده های ورودی دقیق تر برای این نرم افزار در جهت افزایش دقت نتایج مدل سازی است.

همچنین، برای آنکه خوانندگان بتوانند به صورت گام به گام با مطالب ارائه شده در این کتاب پیش روند و نیز درک بهتری از مطالب داشته باشند، برای آموزش نرم افزار HEC-HMS یک پروژه کاربردی با داده های واقعی همگام با معرفی روش ها انجام شده است. این پروژه به صورت مدل سازی فرآیند بارش - رواناب در زیرحوضه تمر از حوضه گرگان رود می باشد. همچنین در بخش آموزش مدل سازی حوضه با استفاده از نرم افزار HEC-GeoHMS، در این پروژه کاربردی نحوه مدل سازی حوضه گرگان رود و جداسازی این زیرحوضه از کل حوضه و استخراج اطلاعات آن آموزش داده شده است.

۱-۲- تاریخچه مدل سازی فرآیند بارش-رواناب

در سال ۱۸۵۱ مهندسی ایرلندی به نام توماس جیمز مولونسی (۱۸۹۲-۱۸۲۲) اولین مدل بارش - روانابی را ایجاد کرد که به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفت. ساختار مدل مولونسی به صورت زیر بود:

$$Q_P = C \bar{A} R \quad (1-1)$$

در این مدل، Q_P : دبی پیک سیلاب، C : ضریب رواناب است که به صورت تجربی محاسبه می شود، A : مساحت حوضه و \bar{R} : ماکزیمم شدت بارش متوسط است. این رابطه نشان می دهد که با زیاد شدن مساحت و شدت بارش، دبی پیک افزایش می یابد. همان طور که مشاهده می شود، مولونسی تلاش نکرد که تمامی هیدروگراف را تخمین بزند، بلکه فقط سعی کرد تا دبی پیک را تخمین بزند. این روش به نام روش **Rational Method** شهرت یافت و تا امروز نیز در تخمین دبی پیک سیلاب مورد استفاده قرار گرفته است. ضریب C موجود در رابطه ۱-۱ نشان می دهد که تمامی بارش به رواناب تبدیل نمی شود. تعیین مقدار ضریب C عاملی شد تا محققان روش ها و مدل های دقیق تری را برای تخمین میزان رواناب از بارش

جستجو کنند.

برای تخمین درست مقدار ضریب C لازم بود که رواناب ناشی از بارش از جریان موجود در رودخانه (جریان پایه) جداسازی شود. این امر باعث ایجاد تلاش‌هایی شد و در نهایت منجر به تولید مدل هیدروگراف گردید که شروع این تحقیقات به دهه ۱۹۲۰ میلادی برمی‌گردد. در آن زمان تمامی محاسبات به صورت دستی انجام می‌شد و هیچ نوع ابزار محاسبگر الکترونیکی نظیر کامپیوتر وجود نداشت.

در سال ۱۹۲۱، راس^۱ اولین فردی بود که از یک مدل توزیع شده هیدرولوژیکی براساس مفهوم هیدروگراف استفاده کرد. هدف او تقسیم یک حوضه^۲ به چندین بخش براساس زمان تمرکز^۳ آن بخش تا خروجی حوضه بود. او اعتقاد داشت که اگر بتوان برای هر بخش حوضه میزان رواناب را محاسبه کرد، روندیابی آن تا خروجی حوضه، امکان پذیر خواهد بود. تحقیقات دیگری با مفاهیم مشابه به تحقیق راس، در آمریکا توسط زاک^۴ (۱۹۳۴)، ترنر و بوردوین^۵ (۱۹۴۱) و کلارک^۶ (۱۹۴۵) و در انگلیس توسط ریچاردز^۷ (۱۹۴۴) مورد استفاده قرار گرفت. فرضیه تمامی این مدل‌ها، روندیابی خطی رواناب بود. روندیابی خطی به این معناست که در بازه‌های مختلف زمانی روندیابی، همواره رواناب ایجاد شده به ازای یک واحد بارش مشخص، ثابت است. این فرضیه سبب تخمین تقریبی رواناب می‌شود؛ زیرا در زمان ابتدای بارش که خاک خشک است، بارش مؤثر کمتر از زمانی است که مدتی از بارش گذشته است. بارش مؤثر مقداری از بارش است که به رواناب مستقیم تبدیل می‌شود.

مشکل اصلی در روش مدت-مساحت ارائه شده توسط راس، نحوه تقسیم بندی حوضه براساس زمان تمرکز بود؛ زیرا اطلاعات بسیار کمی در مورد سرعت جریان در مسیرهای سطحی و زیرسطحی وجود داشت. در تحقیقات صورت گرفته توسط مهندسی آمریکایی به نام شرمن^۸ (۱۹۳۲) از این مشکل اجتناب شد. شرمن از این ایده استفاده کرد که تأخیرهای زمانی مختلف برای رواناب ایجاد شده در حوضه تا رسیدن به نقطه خروجی می‌تواند به صورت توزیع زمانی در نظر گرفته شود بدون هیچ نوع ارتباط مستقیمی با بخش‌هایی از حوضه که تولید رواناب می‌کنند. به دلیل آنکه این روش روندیابی نیز خطی بود، این توزیع می‌توانست برای ارائه پاسخ یک حوضه به یک واحد بارش مؤثر که در یک گام زمانی رخ داده است، مورد استفاده قرار گیرد. او این تابع را گراف واحد^۹ نامید که امروزه به نام هیدروگراف واحد

1. Ross
2. Catchment
3. Travel time
4. Zoch
5. Turnur & Burdoin
6. Clark
7. Richards
8. Sherman
9. Unitgraph

شناخته می‌شود و یکی از معمول‌ترین روش‌های مدل‌کننده هیدروگراف در هیدرولوژی است و کاربرد آن بسیار ساده است. هیدروگراف واحد یک تابع تبدیل گسسته برای بارش مؤثر تا رسیدن به خروجی حوضه ارائه می‌دهد و این تابع برای کل حوضه به صورت توده‌ای^۱ است. روش هیدروگراف واحد نیز روش روندیابی خطی را در حوضه باقی نگه داشت؛ به گونه‌ای که با استفاده از اصل انطباق^۲ می‌توان برای دو واحد بارش در یک گام زمانی، هیدروگراف بارش را در خروجی حوضه تخمین زد و یا می‌توان هیدروگراف ناشی از چند بارش مؤثر در گام‌های زمانی متوالی را با استفاده از تأخیر زمانی مناسب، بدست آورد. با وجود پیشرفت‌های صورت گرفته تا زمان ارائه مدل هیدروگراف واحد، هنوز مسئله تعیین میزان بارش مؤثر باقی مانده بود؛ زیرا این امر یک مسئله غیرخطی است که فرایندهای مختلف هیدرولوژیکی، غیریکنواختی شدت بارش، خصوصیات خاک و ... را در بر می‌گیرد.

یک گام بزرگ برای حل این مسئله درست یک‌سال پس از آنکه مفهوم هیدروگراف واحد ارائه شد، توسط رابرت هورتون^۳ در سال ۱۹۳۳ بیان گردید. او مقاله‌ای درباره تولید رواناب ارائه کرد و اظهار داشت که رواناب زمانی تولید می‌شود که میزان بارش از ظرفیت نفوذ خاک تجاوز کند. کار هورتون براساس آزمایش بود و یک فرمول تجربی برای نفوذ خاک براساس نتایج آزمایشاتش ارائه داد. پس از آن نیز روش‌های مختلفی برای محاسبه میزان نفوذ ارائه شده است که اکثر آنها براساس ساده سازی‌هایی در جریان غیرخطی داری^۴ بوده است.

روش دیگر برای تخمین رواناب سطحی و بارش مؤثر، روش شماره منحنی^۵ (CN) بود که توسط سرویس حفاظت خاک^۶ ارتش آمریکا (USDA) در سال ۱۹۸۲ ارائه شد. این روش میزان بارش نفوذ کرده به داخل خاک را محاسبه می‌کرد و در نتیجه، رواناب سطحی به دست می‌آمد. فرض اصلی روش SCS این بود که نسبت رواناب واقعی به رواناب پتانسیل برابر است با نسبت نگهداشت واقعی به نگهداشت پتانسیل، ولی این روش تجربی است و هیچ مطابقت فیزیکی برای این فرضیه وجود ندارد.

در دهه ۱۹۶۰ میلادی، اولین بار کامپیوترها در پاسخ به نیازهای محاسباتی موجود، به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفتند. ولی این کامپیوترها بسیار گران، با استانداردهای بسیار پایین و حافظه در دسترس بسیار محدود بودند و در نتیجه از لحاظ پیچیدگی بسیار محدود بودند؛ ولی در همین دوران رشد و توسعه بسیار سریعی در تعداد مدل‌های هیدرولوژیکی در دسترس صورت گرفت. این مدل‌ها که در بیشترین بخششان فرم مشابهی داشتند، از دو بخش تشکیل می‌شدند:

1. Lumped
2. Principle of superposition
3. Robert Horton
4. Darcy
5. Curve Number
6. Soil Conservation Service (SCS)

۱. مجموعه‌ای از عناصر ذخیره که فرآیندهای مختلفی را که تصور می‌شد در کنترل پاسخ حوضه مهم باشند، نشان می‌دادند.
 ۲. توابع ریاضی برای توصیف جریان میان عناصر ذخیره این مدل‌ها از دو نظر با یکدیگر تفاوت داشتند:
 - الف: تعداد عناصر ذخیره مورد استفاده
 - ب: توابع کنترل کننده تبادل و در نتیجه تعداد و نوع پارامترهای مورد نیاز
- یکی از اولین و موفق‌ترین این مدل‌ها، مدل حوضه استنفورد^۱ (SWM) بود که توسط نورمن کروفورد^۲ و ری لینزلی^۳ در دانشگاه استنفورد ایجاد و پس از آن تحت عنوان تجاری (HSP^۴) وارد بازار شد و به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفت. آژانس حفاظت محیطی آمریکا^۵ در سال ۱۹۹۵ بخش کیفی را به این مدل افزود و این مدل با عنوان HSPF^۶ بقا یافت و هم‌اکنون نیز از این مدل با همین عنوان استفاده می‌شود.

۱-۳-۳- دیدگاه‌های موجود برای مدل‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی

دو دیدگاه کاملاً متفاوت ولی بسیار گسترده درباره مدل‌سازی وجود دارد که به شرح زیر می‌باشند:

۱-۳-۳-۱- دیدگاه اول (مدل‌سازی داده مبنا):

اولین دیدگاه بر این باور است که همه مدل‌ها (حتی مدل‌های فیزیک مبنا) اساساً ابزارهایی برای برون‌یابی داده‌های موجود، در زمان (یعنی دوره‌های مختلف) و در مکان (یعنی برای حوضه‌های مختلف) هستند. در این دیدگاه، روش مدل‌سازی، تجربی است. در این روش، با استفاده از داده‌های موجود، نحوه کارکرد سیستم مشخص می‌شود. در واقع با استخراج رابطه موجود میان سری داده‌های ورودی و خروجی، می‌توان دریافت که سیستم به چه صورت کار می‌کند. این نوع مدل‌سازی، مدل‌سازی داده مبنا یا **Data-based** نام دارد که بدون در نظر گرفتن عناصر فیزیکی یا تئوری فرآیند صورت می‌گیرد. نام دیگر این نوع مدل‌سازی، مدل‌سازی جعبه سیاه^۷ است. با استفاده از این نوع مدل‌سازی برای حوضه، اگر بتوان میان ورودی‌ها و خروجی‌ها به درستی ارتباط برقرار کرد، دیگر نیازی به دانستن فرآیندهای فیزیکی درون حوضه نیست؛ ولی گاهی برقراری این رابطه بسیار پیچیده می‌شود، در این حالت، تفسیرهای فیزیکی

1. Stanford Watershed Model
 2. Norman Crawford
 3. Ray Linsely
 4. Hydrocomp Simulation Program
 5. US Environmental Agency (US EPA)
 6. Hydrological Simulation Program-Fortran
 7. Black box modeling