

مدل‌های هیدرولوژیک

دکتر مسعود گودرزی

عضر هیئت علمی: وهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

دکتر سید احمد حسینی

دکتری اقلیم‌شناسی از دانشگاه محقق اردبیلی

ابراهیم مهری

دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی دانشت سیستان و بلوچستان

سپیده چوبه

دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری دانشگاه سیستان و بلوچستان



نشر گنج

www.ketab.ir

عنوان و نام پدیدآور	: مدل‌های هیدرولوژیکی / مسعود نرگزی، (ویراسته)
مشخصات نشر	: زنجان : آذرگلک، ۱۳۹۶.
مشخصات ظاهری	: ۲۲۴ ص. : مصور، جدول، نمودار.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۶۳۵۹-۵۲-۶
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیپا
یادداشت	: مسعود گودرزی، سید اسعد حسینی، ابراهیم مسگری، سپیده چوبه.
موضوع	: آب‌شناسی - الگوها
موضوع	: Hydrologic models
موضوع	: آب - مهندسی - الگوهای ریاضی
موضوع	: Hydraulic engineering -- Mathematical models
شناسه‌ی افزوده	: گودرزی، مسعود، ۱۳۴۴-
رده‌بندی کنگره	: GB۶۵۲/۲/م۴ ۱۳۹۶
رده‌بندی دیویی	: ۵۵۱/۴۸۰۱۱
شماره‌ی کتاب‌شناسی ملی	: ۴۶۵۴۳۱۹



نشر آذرکَلک

نام کتاب	: مدل‌های هیدرولوژیکی
تألیف	: مسعود گودرزی، سید اسعد حسینی، ابراهیم مسگری، سید محمد
طرح جلد	: خالد الیاسی
صفحه‌آرایی	: لیلا احدی
سال انتشار	: ۱۳۹۶
نوبت انتشار	: اول
شمارگان	: ۵۰۰ نسخه
لیتوگرافی	: چاپ ولیعصر (عج)
قیمت	: ۱۸۰۰۰ تومان
ناشر	: آذرکَلک
نشانی	: زنجان، آزادگان، ساختمان تجاری سه‌پند، طبقه‌ی پنجم، واحد ۵۰۲
تلفن	: ۰۲۴-۳۳۴۱۱۵۸۳، ۰۲۴-۳۳۴۱۱۵۸۴، همراه: ۰۹۳۹۹۸۹۲۵۶۷
	: نشانی خرید اینترنتی و تحویل درب منزل: www.azarkelk.com

پیشگفتار

قرن بیست و یکم با معضله‌های زیست‌محیطی زیادی روبه‌رو است. در دهه‌های اخیر با توجه به رشد جمعیت جهان و سچدن افزایش مصرف سرانه آب، کمبود آب به معضله جهانی تبدیل گشته است. از این رو، با توجه به محدود بودن منابع آب، مدیریت صحیح و بهینه مهم‌ترین وظیفه سیاست‌گذاران و مدیران منابع آب می‌باشد. کشور ایران با میانگین سالانه ۲۲۰ میلی‌متر بارش یکی از کشورهای کم‌سک دنیا محسوب می‌شود و سالانه مقدار زیادی از این بارش از دسترس خارج می‌شود. بنابراین طرح الگوهای مناسب برای مدل‌سازی فرآیند بارش - رواناب، گذشته از اینکه پایه و اساس علم هیدرولوژی است گامی مؤثر در مدیریت منابع آب، آبخیزداری، بحران کمبود آب و مواجهه با سوانح و مخاطرات عنوان چالش‌های اساسی فرا روی جامعه می‌باشد. یکی دیگر از معضله‌های قرن بیست و یکم، تغییرات اقلیمی است که در طول دهه‌های گذشته همواره موضوع بحث بوده است. دانشمندان یکی از مهمترین اثرات آن را تحت عنوان تشدید چرخه هیدرولوژیکی نام می‌برند که موجب تغییر میزان تبخیر و ته‌رق و تغییر الگوی بارش می‌شود. تجزیه و تحلیل هیدرولوژیکی سناریوهای محتمل تغییرات اقلیمی نشان می‌دهد که خشک‌سالی‌های شدید در برخی از مکان‌ها و سیل در مکان‌های دیگر رخ می‌دهد. تأثیرات منفی تغییرات اقلیمی در آینده به سبب نگرش جوامع بر توسعه سریع صنعت و توجه کمتر به محیط‌زیست می‌تواند شدت گرفتن آن را به دنبال داشته باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که این پدیده می‌تواند بر سیستم‌های مختلف شامل منابع آب، کشاورزی، محیط‌زیست، بهداشت، صنعت و اقتصاد اثرات منفی داشته باشد. تغییرات در الگوهای اقلیمی به‌ویژه دما و بارش به‌عنوان یک نتیجه‌ی منطقی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای ممکن است فرایندهای هیدرولوژیکی،

منابع آب موجود و آب در دسترس برای کشاورزی، شرب، صنعت، زندگی جانوری در رودخانه‌ها و دریاچه‌ها و نیروی برق آبی را تحت تأثیر قرار دهد. بهره‌برداری و استفاده مطلوب از منابع آب و مدیریت بهینه‌ی آن مستلزم شناخت بهتر مدل‌های هیدرولوژیکی است. لذا این امر ما را بر آن داشت که کتابی با هدف ارائه مجموعه‌ای مدون از مدل‌های هیدرولوژیکی و آموزش برخی از مدل‌های پرکاربرد در این زمینه، جهت آشنایی دانشجویان و پژوهشگران رشته‌های جغرافیا، مهندسی عمران، آب‌خیزداری، آبیاری، زمین‌شناسی و دیگر رشته‌های مرتبط به رشته تحریر در آوریم. خوشبختانه کتاب‌های جامع و کاملی در زمینه‌ی هیدرولوژی تألیف و ترجمه شده است و در این کتاب، تنها سعی شده است مدل‌های هیدرولوژیکی و اصول کلی آن‌ها به همراه آموزش مدل‌های مورد نیاز آن مورد بررسی قرار گیرد. کتاب حاضر بر اساس تجارب عملی و آموزشی مؤلفین تأمین شده و سعی بر آن بوده است بر جنبه‌های کاربردی مطالب تأکید گردد؛ و در بیشتر موارد از مقالات و مثال‌های آموزشی که مؤلفین در مناطق مورد مطالعه با استفاده از مدل‌های مختلف انجام داده‌اند بهره‌گرفته شده است. این کتاب مشتمل بر شش فصل می‌باشد که در فصل اول به کلیات و مفاهیم علم هیدرولوژی اشاره می‌کنیم و سپس به مطالب مرتبط با این دانش پرداخته شد و در ادامه به چرخه‌ی هیدرولوژی و توازن هیدرولوژی اشاره می‌شود. در فصل دوم به مفاهیم مرتبط با اقلیم و هیدرولوژی و همچنین تغییرات اقلیمی و طبقه‌بندی‌های اقلیمی پرداخته می‌شود و در ادامه انواع الگوهای پیوند از دهه‌ی ۱۹۵۰ می‌شود. در فصل سوم به توزیع‌های آماری و احتمالی در هیدرولوژی و انواع آن‌ها پرداخته خواهد شد. انواع و روش‌های طبقه‌بندی مدل‌های هیدرولوژیکی در فصل چهارم تشریح می‌شود. سپس در فصل پنجم به آموزش برخی از مدل‌های پرکاربرد در هیدرولوژی پرداخته می‌شود. در فصل ششم به انواع روش‌های بازسازی داده‌های اقلیمی و هیدرولوژی و انواع آن اشاره می‌شود. در پایان لازم می‌آید که تمام کسانی که ما را در تهیه و جمع‌بندی مطالب این کتاب کمک نموده‌اند و همچنین از انتشار این کتاب انتشارات آذرکلک برای چاپ این کتاب سپاسگزاری و قدردانی نماییم. امید است همه اساتید، محققان و دانش‌پژوهان عزیز با نظرات و پیشنهادات خود ما را در پر بارتر کردن این کتاب و رفع اشکالات احتمالی یاری نمایند و ما را از تذکرات خود بی‌نصیب نگردانند.

دکتر مسعود گودرزی

دکتر سید اسعد حسینی

ابراهیم مسگری

سپیده چوبه

بهار ۱۳۹۶

فهرست

صفحه	عنوان
۱۷	فصل اول: کلیات مفاهیم
۱۸	۱.۱. تعاریف
۲۱	۱.۲. تاریخچه علم هیدرولوژی
۲۳	۱.۳. بیان هیدرولوژیکی
۲۴	۱.۴. چرخه هیدرولوژیکی
۲۶	۱.۵. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب
۲۹	۱.۶. حوزه آبخیز
۳۱	فصل دوم: هیدرولوژی و اقلیم
۳۱	۲.۱. هواشناسی و اقلیم‌شناسی
۳۳	۲.۲. طبقه‌بندی‌های اقلیمی
۳۴	۲.۲.۱. کوپن
۳۴	۲.۲.۲. گروه A: اقلیم‌های استوایی/گرمسیری
۳۶	۲.۲.۲. گروه B: اقلیم‌های خشک (بایر و نیمه بایر)
۳۸	۲.۲.۲. گروه C: اقلیم‌های معتدل
۴۱	۲.۲.۲. گروه D: اقلیم‌های قاره‌ای
۴۳	۲.۲.۲. گروه E: اقلیم‌های قطبی و آلبی
۴۵	۲.۲.۲. دمارتن

۴۶	۳.۲.۲. سلیمانینوف
۵۱	۳.۲. نمودارهای اقلیمی
۵۱	۱.۳.۲. نمودار آمپروترمیک
۵۲	۲.۳.۲. نمودار آمبرژه
۵۳	۳.۳.۲. نمودار هایترگراف
۵۴	۴.۳.۲. نمودار راداری
۵۵	۵.۳.۲. گلباد
۵۶	۴.۲. روش های برآورد تبخیر و تعرق
۵۶	۱.۴.۲. روش تورنت وایت
۵۷	۲.۴.۲. روش لاری-جاسن
۵۷	۳.۴.۲. روش جنسن-هس
۵۹	۴.۴.۲. روش بلانی-کریست
۶۰	۵.۴.۲. روش هارگریوز-سامانی
۶۱	۶.۴.۲. روش پنمن - مانتیث
۶۲	۷.۴.۲. روش پریستلی-تیلور
۶۲	۸.۴.۲. روش تشعشعی-فائو
۶۳	۹.۴.۲. روش تورک
۶۳	۱۰.۴.۲. روش تشت تبخیر
۶۶	۵.۲. هیدرولوژی و تغییر اقلیم
۶۷	۱.۵.۲. تغییر اقلیم
۶۸	۱.۱.۵.۲. نوسان اقلیمی
۶۸	۲.۱.۵.۲. افت وخیز
۶۸	۳.۱.۵.۲. روند
۶۹	۶.۲. الگوهای پیوند از دور
۶۹	۱.۶.۲. ENSO
۷۱	۲.۶.۲. NAO
۷۲	۳.۶.۲. PDO
۷۳	۴.۶.۲. PNA

۷۳	MJO .۵ .۶ .۲
۷۴	NCP .۶ .۶ .۲
۷۵	AO .۷ .۶ .۲

۸۷ فصل سوم: توزیع های آماری و احتمالاتی در هیدرولوژی

۸۸	۱.۳. فراوانی وقوع و دوره بازگشت
۹۰	۲.۳. توزیع های احتمالی
۹۰	۱.۲.۳. توزیع های گسسته
۹۰	۱.۱.۲.۳. توزیع برنولی
۹۱	۲.۱.۲.۳. توزیع دو جمار
۹۱	۳.۱.۲.۳. توزیع پواسون
۹۲	۴.۱.۲.۳. توزیع هندسی
۹۳	۵.۱.۲.۳. توزیع فوق هندسی
۹۳	۲.۲.۳. توزیع های پیوسته
۹۴	۱.۲.۲.۳. توزیع نرمال
۹۶	۲.۲.۲.۳. توزیع لوگ نرمال
۹۶	۳.۲.۲.۳. توزیع لوگ نرمال سه پارامتری
۹۷	۴.۲.۲.۳. توزیع نمایی
۹۷	۵.۲.۲.۳. توزیع گامبل
۹۸	۶.۲.۲.۳. توزیع پیرسون تیپ سه
۹۹	۷.۲.۲.۳. توزیع لوگ پیرسون تیپ سه
۱۰۰	۸.۲.۲.۳. توزیع گاما
۱۰۰	۹.۲.۲.۳. تبدیل باکس کاکس
۱۰۱	۳.۳. نحوه انتخاب تابع احتمالی مناسب

۱۰۳ فصل چهارم: طبقه بندی مدل های هیدرولوژیکی

۱۰۴	۱.۴. طبقه بندی بر اساس روابط بین پارامترها
۱۰۴	۱.۱.۴. مدل های ریاضی
۱۰۴	۱.۱.۱.۴. مدل های قطعی

صفحه

عنوان

۱۰۴	۲.۱.۱.۴ مدل‌های تصادفی
۱۰۵	۲.۱.۴ مدل‌های آنالوگ
۱۰۵	۳.۱.۴ مدل‌های فیزیکی
۱۰۵	۲.۴ طبقه‌بندی بر اساس نوع نگرش
۱۰۵	۱.۲.۴ مدل‌های جعبه سیاه
۱۰۶	۲.۲.۴ مدل‌های جعبه خاکستری
۱۰۶	۳.۴ طبقه‌بندی بر اساس ساختار شبیه‌سازی حوزه
۱۰۶	۱.۳.۴ مدل‌های یکپارچه
۱۰۶	۲.۳.۴ مدل‌های توزیعی
۱۰۷	۴.۴ طبقه‌بندی بر اساس آلیز نوزده‌ها
۱۰۷	۱.۴.۴ مدل‌های افق‌ها
۱۰۷	۲.۴.۴ مدل‌های بیوست
۱۰۷	۵.۴ معرفی مدل‌های هیدروپوریتی
۱۰۷	۱.۵.۴ Sacramento مدل
۱۰۸	۲.۵.۴ ANSWERS مدل
۱۰۹	۳.۵.۴ IHACRES مدل
۱۱۲	۴.۵.۴ HEC-HMS مدل
۱۱۲	۵.۵.۴ SIMHYD مدل
۱۱۳	۶.۵.۴ WetSpa مدل
۱۱۵	۷.۵.۴ SWRRB مدل
۱۱۵	۸.۵.۴ L-THIA مدل
۱۱۶	۹.۵.۴ AWBM مدل
۱۱۷	۱۰.۵.۴ SWAT مدل
۱۱۹	۱۱.۵.۴ TANK مدل
۱۲۰	۱۲.۵.۴ SWM مدل
۱۲۰	۱۳.۵.۴ SDI مدل
۱۲۰	۱۴.۵.۴ SCS مدل

۱۲۱	فصل پنجم: نحوه اجرای مدل‌های هیدرولوژیکی
۱۲۱	۱.۵. مدل SWAT
۱۲۱	۱.۱.۵. نحوه نصب
۱۲۶	۲.۱.۵. نحوه آماده‌سازی اطلاعات و داده‌های ورودی
۱۲۶	۱.۲.۱.۵. نقشه اطلاعات ارتفاعی DEM
۱۲۹	۲.۲.۱.۵. نقشه خاک و کاربری اراضی
۱۲۹	۳.۲.۱.۵. اطلاعات و داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی
۱۳۲	۳.۱.۵. معرفی حوزه و ساختار آن
۱۴۱	۴.۱.۵. معرفی نقشه‌های شیب، خاک و کاربری حوزه
۱۴۳	۵.۱.۵. مشخص کردن واحد هیدرولوژیکی
۱۴۶	۶.۱.۵. معرفی اطلاعات و داده‌های اضافه شده به مدل
۱۵۲	۷.۱.۵. اجرا و شبیه‌سازی مدل
۱۵۲	۸.۱.۵. خروجی مرحله شبیه‌سازی
۱۵۳	۹.۱.۵. نرم‌افزار SWAT Error Checker
۱۵۴	۱۰.۱.۵. نرم‌افزار SWAT CUP و کالیبراسیون مدل
۱۵۴	۱.۱۰.۱.۵. نحوه ایجاد پروژه
۱۵۷	۲.۱۰.۱.۵. نحوه تعریف و اصلاح فایل‌های ورودی
۱۵۹	۳.۱۰.۱.۵. نحوه تنظیم بخش Executable Files
۱۶۱	۴.۱۰.۱.۵. نحوه اجرای برنامه
۱۶۳	۵.۱۰.۱.۵. خروجی‌های برنامه
۱۶۴	۲.۵. مدل IHACRES
۱۶۴	۱.۲.۵. نحوه نصب
۱۶۹	۲.۲.۵. نحوه ورود داده
۱۶۹	۱.۲.۲.۵. Summary تب
۱۶۹	۲.۲.۲.۵. Import تب
۱۷۱	۳.۲.۲.۵. View تب
۱۷۳	۳.۲.۵. نحوه واستنجی

۱۷۳	Period تب ۱.۳.۲.۵
۱۷۴	Model تب ۲.۳.۲.۵
۱۸۳	نحوه شبیه سازی ۴.۲.۵
۱۸۳	تب واسنجی ۱.۴.۲.۵
۱۸۳	تب خلاصه شبیه سازی ۲.۴.۲.۵
۱۸۴	تب خلاصه آماری ۳.۴.۲.۵
۱۸۵	تب نمودارها ۴.۴.۲.۵
۱۸۶	تب هیدروگراف ۱.۴.۲.۵
۱۸۶	IHACRES مدل ۱.۵.۲.۵
۱۸۷	HEC HMS مدل ۳.۵
۱۸۷	۱.۳.۵. آشنایی با ... برنا
۱۸۷	۱.۱.۳.۵. نوار ابزار
۱۸۸	۲.۱.۳.۵. محیط گرافیکی
۱۸۹	۳.۱.۳.۵. قسمت مدیریت محیط
۱۸۹	۲.۳.۵. مدل سازی مؤلفه های حوزه آبخیز
۱۹۰	۱.۲.۳.۵. مدل حوزه
۱۹۰	۲.۲.۳.۵. مدل هواشناسی
۱۹۱	۳.۲.۳.۵. مدل کنترل
۱۹۱	۳.۳.۵. اجزای مختلف مدل حوزه
۱۹۱	۱.۳.۳.۵. تلفات
۱۹۲	۲.۳.۳.۵. تبدیل بارش به رواناب
۱۹۲	۳.۳.۳.۵. روند یابی رودخانه
۱۹۳	۴.۳.۳.۵. جداسازی جریان پایه
۱۹۳	۴.۳.۵. اجزاء مختلف مؤلفه های شاخص های کنترل
۱۹۴	۵.۳.۵. اجزاء مختلف مدل هواشناسی
۱۹۴	۱.۵.۳.۵. مدل بارش
۱۹۴	۲.۵.۳.۵. تخمین پارامتر

عنوان

صفحه

۱۹۵	۵. ۳. ۶. نحوه ساخت و اجرای یک پروژه
۱۹۵	۵. ۳. ۶. ۱. ایجاد یک پروژه جدید
۱۹۶	۵. ۳. ۶. ۲. مرحله اول: تعیین مؤلفه‌های پروژه
۲۰۲	۵. ۳. ۶. ۳. مرحله دوم: تعیین مدل هواشناسی
۲۰۴	۵. ۳. ۶. ۴. مرحله سوم: تعیین مشخصات کنترلی
۲۰۵	۵. ۳. ۶. ۵. مرحله چهارم: تعیین اجرا
۲۰۶	۵. ۳. ۶. ۶. مرحله پنجم: تعیین نوع خروجی
۲۰۷	۵. ۳. ۶. ۶. جدول خلاصه اطلاعات
۲۰۷	۵. ۳. ۶. ۶. نمودار
۲۰۸	۵. ۳. ۶. ۶. ۳. جدول سری زمانی
۲۰۸	۵. ۳. ۷. واسنجی مدل M-C-H
۲۰۹	۵. ۳. ۸. میزان حساسیت پارامترها
۲۰۹	۵. ۳. ۹. اجرای عملیات بهینه‌سازی
۲۱۰	۵. ۳. ۱۰. روش‌های مقایسه ترسیمی
۲۱۰	۵. ۳. ۱۰. ۱. نمودار پراکندگی
۲۱۰	۵. ۳. ۱۰. ۲. نمودار باقیمانده‌ها
۲۱۰	۵. ۳. ۱۰. ۳. نمودار تابع هدف
۲۱۰	۵. ۳. ۱۱. واسنجی و صحت‌سنجی مدل
۲۱۱	۵. ۴. ۴. مدل Smada
۲۱۱	۵. ۴. ۱. نحوه نصب
۲۱۴	۵. ۴. ۲. نحوه ورود به بخش Distrib
۲۱۵	۵. ۴. ۳. نحوه اجرا Distrib
۲۲۳	فصل ششم: بازسازی داده‌های اقلیمی و هیدرولوژی
۲۲۳	۶. ۱. روش استفاده از ایستگاه‌های معرف
۲۲۴	۶. ۲. روش نسبت نرمال
۲۲۴	۶. ۳. روش همبستگی بین ایستگاه‌ها
۲۲۵	۶. ۴. روش محور مختصات

صفحه

۲۲۶

۲۲۶

۲۲۶

۲۲۷

۲۲۷

۲۲۸

۲۳۵

عنوان

۵.۶. روش واسطه یابی

۶.۶. روش نسبت ها

۷.۶. روش تفاضل ها

۸.۶. روش میانگین گیری

۹.۶. روش معادله رگرسیون

۱۰.۶. روش تخمین منحنی

فهرست، تابع

www.ketab.ir