

طبقه‌بندی مدل‌های هیدرولوژیکی و تشریح مدل بارش-رواناب IHACRES

مهدی زارعی، محمود حبیب‌نژاد روشن، محمدرضا قنبرپور و کاکا شاهدی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشگاه مازندران

۲- دانشیار گروه آبخیزداری دانشگاه مازندران

۳- استادیار گروه آبخیزداری دانشگاه مازندران

۴- استادیار گروه آبخیزداری دانشگاه مازندران

Hydrological Model Classification and Description IHACRES Rainfall-Runoff Model

M, Zareii. M, Habibnejad Roshan. M. R, Ghanbarpour and K, Shahedi

1- Msc Student Watershed Management of University Mazandaran

2- Associated professor, of University Mazandaran

3- Assistant professor, of University Mazandaran

4- Assistant professor, of University Mazandaran

چکیده:

حوزه آبخیز یک سیستم باز می‌باشد با توجه به پیچیدگی آن و برای دست یافتن به اهداف مورد نظر اقدام به مدل‌سازی می‌شود. از طریق مدل‌سازی هزینه مطالعه برای سامانه‌های پیچیده کاهش یافته، زیرا انجام آزمایشات صحرایی در سطح وسیع بسیار پر هزینه و یا غیر ممکن است. همچنین از طریق تحلیل نتایج حاصل از مدل می‌توان با پیش‌بینی آینده، حوزه آبخیز را مدیریت کرد. لذا در این تحقیق سعی شده ابتدا انواع طبقه‌بندی مدل‌های هیدرولوژیکی و نتایج حاصل از برخی مدل‌های بکار گرفته شده در کشور بیان و در نهایت مدل بارش-رواناب IHACRES و بیان کاربردهای آن که به علت نیاز به داده‌های اندک بدون صرف زمان و هزینه زیاد جهت تهیه داده‌ها در بسیاری از حوزه‌های آبخیز می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد، تشریح و کاربردهای این مدل بیان شود. از آنجا که این مدل تنها به داده‌های بارندگی و درجه حرارت (جهت شبیه‌سازی رواناب) و همچنین داده‌های رواناب مشاهده‌ای (جهت کالیبراسیون) نیاز دارد لذا می‌تواند برای استفاده در حوزه‌های آبخیز کشور که از لحاظ آماری با مشکل مواجه هستند و در نهایت برای شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی در حوزه‌های فاقد آمار به کار گرفته شود.

واژگان کلیدی: مدل هیدرولوژیکی، بارش-رواناب، IHACRES، مدل‌سازی، شبیه‌سازی، کالیبراسیون

مقدمه:

اهمیت و جایگاه آب در دوام و بقای حیات بر کسی پوشیده نیست. از اینرو مسأله آب همواره در کانون توجه پژوهشگران و متخصصان بوده است. کشور ایران با برخورداری از موقعیت جغرافیایی و اقلیمی خاص خود، سهم اندکی از ریزش‌های جوی را به عنوان منبع اصلی آب شامل می‌شود. به طوری که با دارا بودن میانگین بارندگی سالانه حدود ۲۴۰ میلی‌متر یعنی یک سوم مقدار جهانی (۸۶۰ میلی‌متر)، جزء اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود (علیزاد، ۱۳۷۶).

توسعه مناطق شهری و روستایی، تبدیل اراضی و بهره‌برداری بیش از حد از منابع طبیعی در دهه‌های اخیر موجب تغییر در خصوصیات و شرایط هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز شده و به تبع آن رژیم هیدرولوژیکی رودخانه‌ها دستخوش تغییر شده که از اثرات آن ایجاد رواناب بیش از حد ظرفیت رودخانه بوده که به صورت سیلاب‌های مخرب قابل مشاهده است (امیری، ۱۳۸۵).

با توجه به استاندارد تعیین شده توسط سازمان هواشناسی (WMO) برای حداقل تراکم شبکه هیدرومتری در شرایط مختلف، کشور ما شبکه هیدرومتری نابسامانی دارد و ایستگاه‌های موجود نیز تراکم خوبی نداشته، بیشتر در مناطق خاص متمرکز شده‌اند. در عمل بیشتر حوزه‌های کشور فاقد ایستگاه هیدرومتری‌اند و آمار اکثر ایستگاه‌های موجود کوتاه مدت است (مهدوی، ۱۳۷۴). با توجه به شرایط موجود در بسیاری از حوزه‌های آبخیز کشور از لحاظ کمبود آمار، و پیچیدگی زیاد اکوسیستم‌های هیدرولوژیکی و عدم امکان شناخت کامل آنها استفاده از روش‌هایی که بتوان به کمک آنها میزان رواناب حاصل از بارندگی را در حوزه‌های فاقد آمار یا دارای آمار ناقص تخمین زد از اهمیت قابل توجهی برخوردار است (نام درست، ۱۳۸۱؛ نجفی، ۱۳۸۱). یکی از این روشها، استفاده از قابلیت‌های مدل‌های هیدرولوژیکی در شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی است که از اولین مراحل اقدامات مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب و نیز بررسی اثرات هیدرولوژیکی تغییر کاربری اراضی و نحوه بهره‌برداری از منابع طبیعی در یک حوزه آبخیز می‌باشد که در حوزه‌های دارای آمار کامل می‌توان فرآیندهای هیدرولوژیکی از قبیل رواناب را شبیه‌سازی کرده و با کمترین هزینه و حداقل زمان برای برآورد میزان رواناب در حوزه‌های مشابه با حوزه مورد مطالعه و فاقد آمار یا دارای آمار ناقص به کار برد (نام درست، ۱۳۸۱).

از آنجا که در حوزه‌های آبخیز امکان اندازه‌گیری تمام کمیت‌های مورد نیاز جهت بررسی عکس العمل حوزه میسر نمی‌باشد، لذا انتخاب مدلی که بتواند در عین سادگی ساختار و با استفاده از حداقل اطلاعات ورودی مورد نیاز، پیش‌بینی با دقت قابل قبولی را ارائه کند امری ضروری به نظر می‌رسد (شریفی و همکاران، ۱۳۸۳).

سوابقی از مدل‌های بکار رفته در ایران:

- گوهری (۱۳۷۷) مدل بارش-رواناب SFB را برای برآورد رواناب در حوزه‌های آبخیز کارون شمالی به گرفته و به کمک کالیبراسیون مدل و بهینه کردن پارامترها، به این نتیجه رسید که مدل در شبیه‌سازی رواناب از دقت قابل قبولی برخوردار است.
- سنایی‌نی (۱۳۷۹) مدل AWBM1993 را در برخی از حوزه‌های کشور مورد استفاده قرار داد. نتایج نشان داد که اگر رواناب به دو بخش رواناب سطحی و جریان پایه تقسیم شود، مدل مذکور رواناب را به خوبی شبیه‌سازی کرده و رواناب شبیه‌سازی شده برآورد خوبی از رواناب واقعی حوزه‌ها خواهد بود.
- سعادت‌تی (۱۳۸۱) با بکارگیری مدل SWAT برای بررسی اثرات کاربری اراضی بر روی شبیه‌سازی دبی روزانه و بیلان آبی در حوزه کسلیان به این نتیجه رسید که این مدل نسبت به دوره‌های آبی و طول مدت دوره حساس بوده به نحوی که برای دوره‌های ماهانه و سالانه نتایج قابل قبول‌تری را نسبت به دوره روزانه نشان می‌دهد.
- صفارپور (۱۳۸۱) با بکارگیری مدل کامپیوتری AWBM در حوزه‌های کسلیان، کارده، امامه، لیقوان، کن و کامه نتیجه گرفت که این مدل به خوبی می‌تواند آستانه شروع رواناب و رواناب خروجی از هر حوزه را محاسبه کند.
- نام‌درست (۱۳۸۱) مدل SDI را در برخی از حوزه‌های کشور به کار گرفته و نشان داد که این مدل برای ارزیابی مؤلفه‌های جریان از قابلیت نسبتاً خوبی برخوردار بوده و نتایج مقایسه مقادیر رواناب مشاهده‌ای و برآوردی توسط مدل، قابل قبول است.
- شریفی و همکاران (۱۳۸۳) مدل AWBM2002 را با استفاده از داده‌های روزانه و ساعتی بارش، دبی، تبخیر و تعرق و به کمک بهینه‌سازی پارامترهای آن فرآیندهای هیدرولوژیکی و مؤلفه‌های رواناب را در حوزه‌های کسلیان، کارده، امامه، لیقوان، کن و کامه شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان داد که مدل مذکور قادر است شبیه‌سازی قابل قبولی در شرایط حوزه‌های آبخیز کشور ارائه داده و در حوزه‌های فاقد آمار قابل توصیه است.

- امیری (۱۳۸۵) با بکارگیری مدل SWRRB در حوزه کسپلیان به منظور شبیه‌سازی رواناب نشان داد که مدل در مقیاس سالانه شبیه‌سازی دقیق‌تری نسبت به ماهانه داشته و از سوی دیگر مقایسه بین رواناب روزانه و ماهانه نشان داد که شبیه‌سازی رواناب ماهانه نسبت به رواناب روزانه قابل قبول‌تر می‌باشد. این تحقیق نشان داد که مدل نسبت به طول دوره آماری نیز حساس است. با توجه به بررسی‌های انجام شده مدل IHACRES تاکنون در ایران استفاده نشده لذا کارهای انجام شده در سایر مناطق جهان ارائه می‌شود:

- سفتن و هوواریت (۱۹۹۸) پارامترهای واسنجی شده مدل IHACRES را با ویژگی‌های ۶۰ حوزه آبخیز در انگلستان و ولز مقایسه کردند. بهترین همبستگی ($R^2=0.59$) میان پارامتر روندیابی سفره آب زیرزمینی، و $R^2=0.69$ بین پارامتر تبخیر و تعرق و میانگین بارندگی سالانه بدست آمده است. برای پارامترهای ذخیره‌سازی همبستگی‌های مناسبی تعیین نشده بود.

- تیمو و همکاران (۲۰۰۱) یک مدل هیدرولوژیکی شبه‌توزیعی را با هدف نمایش تفاوت‌های خصوصیات منطقه در مدل‌سازی تولید رواناب، و چگونگی ساخته شدن مدل کنونی جریان آبراهه با واسنجی محدود، در یک حوزه آبخیز کوچک جنگلی در جنوب فنلاند استفاده کردند. نتایج نشان داد که بر خلاف رواناب تجمعی، تغییر زمانی عکس‌العمل رواناب تحت تأثیر توپوگرافی منطقه بوده است. و نتایج شبیه‌سازی جریان آبراهه توسط مدل شبه توزیعی و مدل یکپارچه IHACRES تنها اختلافات اندکی را نشان می‌دهد.

- تیمو و جیکمن (۲۰۰۱) در مقایسه روشهای متری و مفهومی برای مدل‌سازی بارش-رواناب در دو حوزه آبخیز دارای شرایط اقلیمی متفاوت در جنوب فنلاند، به این نتیجه رسیدند که به طور کلی مدل‌های متری-مفهومی حتی همراه مجموعه داده‌های مستقل، با دقت بیشتری جریان را شبیه‌سازی می‌کنند اما این تفاوت تنها هنگامی کاملاً آشکار می‌شود که روشها در حوزه‌های خشک به کار برده شوند.

- کروک و لیتوود (۲۰۰۵) در مقایسه بخش‌های هدر رفت تناوبی در مدل IHACRES و کاربرد آن در ۷ حوزه آبخیز در ولز نشان دادند که بخش CMD (کسر رطوبت حوزه آبخیز) عملکرد بهتری نسبت به نسخه سابق مدل برای حوزه‌های آبخیز بزرگ دارند.

- اندرسون و همکاران (۲۰۰۶) برای نشان دادن اثرات احتمالی کاهش پوشش جنگلی روی دبی رودخانه در دریاچه Erie واقع در شمال ایالت متحده آمریکا، بین عوامل مؤثر روی جریان رودخانه رابطه رگرسیونی برقرار کردند، اما نتوانستند یک مدل منطقه‌ای مناسب برای پارامترهای دخیل در روندیابی دبی مدل IHACRES بدست آورند.

- هوپ و همکاران (۲۰۰۶) در پیش‌بینی جریان روزانه رودخانه در حوزه‌های آبخیز جنوب کالیفرنیا با استفاده از مدل IHACRES و داده‌های ورودی شبکه‌بندی‌شده (gridded) بارندگی نتیجه گرفتند که عملکرد واسنجی مدل با استفاده از داده‌های مشبک بارندگی در مقایسه با واسنجی مدل مبنی بر داده‌های حاصل از باران سنج تقریباً برای نیمی از حوزه‌های آبخیز بهتر بود.

- ایوکویک و همکاران (۲۰۰۹) مدل IHACRES-GW را برای کشف اثر متقابل بین استخراج آبهای زیرزمینی و جریان سطحی توسعه داده بودند. نتایج نشان داد که پارامترهای f و t از CMD اصلاح شده می‌تواند برای کاهش فراوانی وقایع و تطابق بهتر مقادیر جریان پایه اصلاح شود.

مدل‌سازی در آبخیزداری

حوزه آبخیز یک سامانه یا سیستم باز می‌باشد که دارای ورودی‌هایی شامل: انرژی خورشیدی، نزولات جوی و ... بوده و با انجام فرآیندهایی روی ورودی‌ها، خروجی‌هایی از قبیل: آبنمود رسوب و تولیدات گیاهی را ایجاد می‌نماید. فرآیند تولید خروجی‌ها متأثر از ویژگی‌های داخلی سیستم از جمله ویژگی‌های زمین‌شناسی، فیزیوگرافی، بهره‌برداری از اراضی و پوشش گیاهی می‌باشد. با توجه به

پیچیدگی سامانه و برای دست یافتن به اهداف مورد نظر سعی می‌گردد مدل‌سازی انجام شود (رضایی، ۱۳۸۳). از طریق مدل‌سازی هزینه مطالعه برای سامانه‌های پیچیده کاهش یافته، زیرا انجام آزمایشات صحرایی در سطح وسیع بسیار پر هزینه و یا غیر ممکن است. همچنین از طریق تحلیل نتایج حاصل از مدل می‌توان از طریق پیش‌بینی آینده، حوزه آبخیز را مدیریت کرد (سان، ۱۹۹۸).

طبقه بندی مدل‌های هیدرولوژیکی

مدل‌های هیدرولوژیکی به صورت های مختلفی طبقه‌بندی می‌شوند که در آبخیزداری این طبقه‌بندی می‌تواند بر اساس اصول ساخت و فنون بکار رفته در حل آنها صورت گیرد (رضایی، ۱۳۸۳). در زیر به برخی از این طبقه‌بندی‌ها اشاره می‌شود.

❖ بر اساس یکی از این طبقه‌بندی‌ها مدل‌های هیدرولوژیکی به سه دسته تقسیم می‌شوند که عبارتند از:

۱- مدل‌های ریاضی^۱

در این مدل‌ها خصوصیات سیستم توسط یک سری معادلات ریاضی نشان داده می‌شود یعنی با در نظر گرفتن یک اصل منطقی، روابط بین متغیرها و پارامترها به صورت توابع همبستگی و به شکل روابط ریاضی نشان داده می‌شود (تلوری، ۱۳۷۵).
مدل‌های شبیه‌سازی ریاضی در هیدرولوژی خود به دو دسته زیر تقسیم می‌شوند:

الف) مدل‌های قطعی^۲

در این مدل‌ها روابط بین پارامترهای فیزیکی مؤثر در وقایع هیدرولوژیکی توسط یک سری روابط تجربی یا نظری بیان می‌شود (تلوری، ۱۳۷۵).

ب) مدل‌های تصادفی^۳

در این مدل‌ها از خصوصیات آماری متغیرهای هیدرولوژیکی در حل مسائل هیدرولوژیکی استفاده شده و بر اساس تئوری‌های علم آمار، روابط بین پدیده‌های مختلف هیدرولوژیکی بیان می‌شود (تلوری، ۱۳۷۵).

۲- مدل‌های آنالوگ^۴

مدل‌های آنالوگ یا قیاسی به معنای فرض نمودن شباهت یک نمونه کوچک با یک سیستم کامل می‌باشد. مثلاً هانتربلایر (۱۹۶۶) که یک لایه آبخوان ساحلی را به عنوان یک مدل برای آبخوان‌های ساحلی در نظر گرفته است (تلوری، ۱۳۷۵).

۳- مدل‌های فیزیکی^۵

مدل فیزیکی شبیه نمونه اصلی (سیستم اصلی) ولی در مقیاس کوچک‌تر است (تلوری، ۱۳۷۵).

❖ بر اساس یک تقسیم‌بندی دیگر مدل‌های هیدرولوژیکی به دو گروه زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

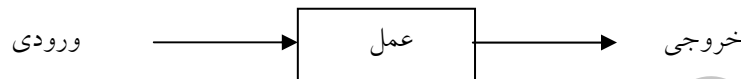
۱- مدل‌های جعبه سیاه^۱

به آن نگرش سیستمی هم گفته می‌شود. در این جا یک سیستم را صرفاً به منظور برقرار کردن رابطه بین ورودی و خروجی که بتوان از آن رابطه برای بازسازی وقایع گذشته یا پیش‌بینش وقایع آینده استفاده کرد، بررسی می‌کنیم. در این نگرش به نحوه عمل سیستم توجه می‌شود نه به طبیعت آن (اجزای تشکیل دهنده، ارتباط بین آنها و ...) یا قوانین فیزیکی حاکم بر آن. بنابراین میل به فائق

1-Mathematical Models
2- Deterministic Models
3- Stochastic Models
4- Analog Models
2- Physical Models
3- Black Box Models

شدن بریچیدگی دیدگاه فیزیکی است) در مورد بررسی مسائل هیدرولوژی دو نگرش عمده وجود دارد: نگرش علم فیزیک و نگرش سیستمی، که در نگرش فیزیکی تکیه بر انجام تحقیق علمی در نحوه عمل اصلی هر یک از اجزای چرخه هیدرولوژی به منظور درک کامل مکانیزم و نحوه عمل اجزاء با یکدیگر است. در روش نگرش سیستمی پیچیدگی‌های نگرش فیزیکی وجود ندارد. ورودی و خروجی به وسیله عمل سیستم به یکدیگر مرتبط می‌شوند (نجفی، ۱۳۸۱).

در این مدل‌ها هیچگونه اطلاعی از داخل حوزه وجود ندارد و فقط داده‌های ورودی و خروجی در دسترس است (تلوری، ۱۳۷۵).



شکل ۱- نمایش سیستم برای رابطه بین ورودی و خروجی

۲- مدل‌های جعبه خاکستری^۱

در این مدل‌ها بعضی عوامل درونی حوزه که در بیان آبی مؤثرند، در دسترس هستند (تلوری، ۱۳۷۵).

❖ بر طبق تقسیم بندی دیگر مدل‌های هیدرولوژیکی به شرح زیر می‌باشند:

۱-مدل‌های یکپارچه^۲

در مدل‌های یکپارچه کل وسعت حوزه آبخیز به عنوان یک ویژگی تصور می‌شود و سعی می‌شود رفتار سامانه در مقابل یک ورودی، بدون درگیر شدن با تغییرات مکانی در داخل حوزه شبیه‌سازی شود (رضایی، ۱۳۸۱). و به عبارت دیگر در مدل یکپارچه، توزیع مکانی در متغیرهای ورودی و مشخصات پرامترها و عملکرد فرآیندهای فیزیکی در داده‌های ورودی، در نظر گرفته نمی‌شود. مثلا در یک مدل بارش-رواناب هر یک از پارامترهای مورد استفاده در مدل به طور یکسان برای تمام سطح حوزه آبخیز در نظر گرفته می‌شود. مدل یکپارچه در مورد سیستم‌های هیدرولوژیکی نسبتا کوچک قابل اجرا است (تلوری، ۱۳۷۵).

۲-مدل‌های توزیعی^۳

در این مدل‌ها توزیع مکانی در متغیرهای ورودی و پارامترها در نظر گرفته می‌شود (تلوری، ۱۳۷۵).

واقعیت این است که هیچکدام از این روش‌ها در مدل‌سازی آبخیزداری مطلوب نیستند. با توجه به این که در روش یکپارچه موضوع به صورت بسیار ساده‌تر دیده می‌شود، در حالی که در روش توزیعی با توجه به گستردگی تغییرات مکانی در مقیاس حوزه آبخیز، جمع‌آوری کلیه داده‌ها و اطلاعات ضروری عملا غیر ممکن یا بسیار پرهزینه است، در بسیاری از مدل‌ها حوزه آبخیز به عنوان واحدهای هیدرولوژیکی کوچکتری تقسیم شده و مدل‌های یکپارچه برای هر یک از این واحدها بکار برده می‌شود که این مدل‌های شبه توزیعی یا جزء توزیعی نامیده می‌شوند (رضایی، ۱۳۸۱).

❖ مدل‌های هیدرولوژیکی، بر اساس آنالیز حوزه‌ها به صورت زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

۱-مدل‌های واقعه‌ای

این مدل‌ها واکنش یک رگبار را برای داده باران ورودی شبیه‌سازی می‌کند. تأکید این مدل‌های بر نفوذ و رواناب سطحی و هدف آن‌ها ارزیابی رواناب مستقیم است. این مدل‌ها در محاسبه طغیان‌ها به خصوص در مواردی که رواناب مستقیم بخش بزرگی از کل رواناب را شامل می‌شود، کاربرد دارند، نظیر مدل HEC-1 و SCSTR20 (شنزن، ۲۰۰۲).

4- Gray Box Models
5- Lumped Models
6- Distributed Models

۲- مدل‌های پیوسته

این مدل‌ها رواناب مستقیم و غیرمستقیم را شامل می‌شوند و برای شبیه‌سازی جریان روزانه، ماهانه و فصلی مناسب هستند، مانند مدل‌های SWMM و استانفورد (شنزن، ۲۰۰۲).

باید به خاطر بسپاریم که از مدل‌ها باید در توسعه منابع آب استفاده شود تا اینکه به آن معتقد باشیم. به عبارت دیگر به هر یک از مدل‌ها باید به عنوان وسایلی نگریست که برای منظوره‌های خاصی طراحی شده‌اند تا اینکه مانند عقیده تعصب‌آمیزی پشتیبان ایدئولوژی باشند (نجفی، ۱۳۸۱).

مروری بر مدل‌های رایج در شبیه‌سازی رواناب

با وجود اینکه استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی سابقه زیادی ندارد و با تحولات سریع نرم افزارهای کامپیوتری مدل‌های شبیه‌سازی زیادی به تدریج توسعه یافتند، از جمله: API، Stanford، SDI، SCS، Sacramento، SHE، SFB، AWBM، EPIC، SWAT، CSU، SHESDE، KINEROS، GUES، WEPP، IHACRES و ... اکثر مدل‌های شبیه‌سازی بر پایه مدل استانفورد بیان شده‌اند (سعادت، ۱۳۸۱).

در این بخش به برخی از مدل‌های هیدرولوژیکی اشاره می‌شود:

۱- مدل استانفورد^۱

این مدل توسط لینزلی و کرافورد (۱۹۶۶) برای شبیه‌سازی پدیده‌های فیزیکی بارش-رواناب توسعه پیدا کرد. این مدل ۳۲ پارامتر دارد و داده‌های بارش ساعتی و تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه به عنوان ورودی‌های این مدل محسوب می‌شوند. این مدل کاربردهای فراوانی از جمله: تهیه هیدروگراف‌های پیوسته، تعیین ضرایب رواناب و تعیین اثرات شهرسازی بر روی پیک سیلاب و حجم آن دارد. در این مدل ریزش بارش در مناطق نفوذ ناپذیر حوزه مثل سطح دریاچه‌ها و رودخانه‌ها به عنوان رواناب مستقیم و برگاب و ذخیره سطحی خاک به عنوان پتانسیل تبخیر و تعرق در نظر گرفته می‌شود (شریفی، ۱۹۹۷).

مدل SDI^۲

مدل SDI یا شاخص خشکیدگی خاک یک مدل بیلان آبی است که اولین بار توسط مونت^۳ در سال ۱۹۷۲ ارائه شد (مونت، ۱۹۷۲).

مدل SCS^۴

این مدل توسط سرویس حفاظت خاک آمریکا در سال ۱۹۷۲ تهیه شد. داده‌های مورد نیاز این مدل کم و استفاده از آن ساده است و برای برآورد رواناب از داده‌های بارش در حوزه‌های فاقد آمار مورد استفاده قرار می‌گیرد (نجمایی، ۱۳۶۹).

مدل ساکرامنتو^۵

این مدل در سال ۱۹۷۳ توسط برنش و همکاران تهیه شده و یکی از پر استفاده‌ترین مدل‌های بارش-رواناب است (بورناش، ۱۹۷۳).

1- Stanford Model
2- Soil Dryness Index
3- Mount
4- Soil Conservation Service Model
5- Sacramento Model

مدل SWRRB^۱

این مدل توسط ویلیامز و همکارانش در سال ۱۹۸۵ توسعه داده شد. هدف این مدل تخمین تأثیر اقدامات مدیریتی در تولید آب و رسوب در حوزه‌های روستایی فاقد ایستگاه اندازه‌گیری بود. فرآیند عمده در این مدل شامل رواناب سطحی، حرکت عمقی آب، جریان زیر قشری، تبخیر و تعرق، دما، بارندگی، ذخیره سطحی، رسوبگذاری و پوشش زراعی است. این مدل شامل سه بخش هیدرولوژی، آب و هوا و تولید رسوب است. شبیه‌سازی بخش هیدرولوژی مدل بر اساس رابطه بیلان آبی و محاسبه پارامترهای دخیل در آن، بخش آب و هوا بر اساس وضعیت بارندگی، درجه حرارت و تشعشعات خورشیدی بخش ارزیابی مقدار رسوب تولیدی بر طبق رابطه جهانی فرسایش اصلاح شده و یک مدل روندیابی رسوب، صورت می‌گیرد (آرنولد، ۱۹۹۶).

مدل AWBM^۲

این مدل اولین بار توسط برتون در سال ۱۹۹۳ ارائه شد. این مدل پارامترهای کمی داشته که هر پارامتر بخش خاصی از واکنش-های هیدرولوژیکی حوزه را مشخص می‌کند (بوگتون، ۱۹۹۳).

مدل ANSWERS^۳

این مدل برای تخمین هیدرولوژیکی ناشی از ریزش‌های جوی و برای تعیین میزان فرسایش و حمل رسوبات از حوزه‌های کشاورزی کاربرد دارد. اصول اولیه این مدل توسط مونیگ و هارگریوز در سال ۱۹۹۶ پایه‌ریزی شد (سعادتی، ۱۳۸۱).

مدل SWAT^۴

یک مدل پیوسته بوده که شکل امروزی آن در سال ۱۹۹۶ توسط آرنولد و همکاران طرح شد. این مدل برای شبیه‌سازی دبی روزانه رودخانه، برآورد رسوب روزانه، کیفیت آب با ملاحظه بر تغییرات کاربری اراضی کاربرد دارد (آرنولد، ۱۹۹۶).

مدل HEC-1

مدلی است که در سال ۱۹۸۱ و از سوی مرکز مهندسی هیدرولوژی ارتش آمریکا ارائه شد. به منظور توانایی بیشتر این مدل در بررسی مسائل پیچیده هیدرولوژی و همچنین آسانی کار با آن در محیط ویندوز با نام HEC-HMS توسعه یافت (U.S, ۱۹۹۸)

مدل IHACRES

IHACRES (تعیین هیدروگراف‌های واحد و مؤلفه‌های جریان ناشی از داده‌های جریان رودخانه، تبخیر و بارش) یک مدل بارش-رواناب پیوسته و متری-مفهومی است که در ابتدا توسط جیکمن و همکاران (۱۹۹۰) برای استفاده در حوزه‌های معتدل توسعه یافته است، و بعد برای رودخانه‌های موقت بهبود داده شده بود (بی و همکاران، ۱۹۹۵، ۱۹۹۷، اسچریدر و همکاران، ۱۹۹۶). پیشرفت‌های بعدی آن ابداع یک جزء تغذیه آبهای زیرزمینی (کروک و همکاران، ۲۰۰۲)، یک مدل تلفات مفهومی (کروک و جیکمن، ۲۰۰۴) و استفاده برای مدل‌سازی نیمه توزیعی (کروک و همکاران، ۲۰۰۶) را شامل شده است. این مدل برای حوزه‌های آبخیز با اندازه‌ها و شرایط آب و هوایی متنوع به کار برده شده است (کروک و همکاران، ۲۰۰۴)، همچنین، برای پیش‌بینی جریان رودخانه در حوزه‌های آبخیز فاقد آمار (کوکائن و همکاران، ۲۰۰۳؛ پست و جیکمن، ۱۹۹۹؛ پست و همکاران، ۱۹۹۸)، برای مطالعه اثرات پوشش

1-Simulator for Water Resources in Rural Basin

2- AREA Water Balance Model

3- Area Non point Source Watershed Environmental, Response Simulation

4- Soil and Water Assessment Tools

زمین روی فرآیندهای هیدرولوژیکی (کروک و همکاران، ۲۰۰۴؛ کوکان و جیکمن، ۲۰۰۲)، و برای بررسی خصوصیات پاسخ دینامیکی و فیزیکی حوزه‌های معرف استفاده شده بود (کوکان و همکاران، ۲۰۰۳؛ استفان و هوواریت، ۱۹۹۸).

تشریح مدل IHACRES

مدل IHACRES به علت داده‌های اندک مورد نیاز در بسیاری از حوزه‌های آبخیز بدون صرف زمان و هزینه زیاد برای تهیه داده‌ها می‌تواند بکار برده شود. مدل IHACRES شامل دو بخش خطی و غیر خطی است. بخش تلفات بارش غیرخطی مدل با استفاده از داده‌های درجه حرارت به عنوان یک شاخص از پتانسیل تبخیر و تعرق، سری زمانی بارش (r_k) را به بارش مؤثر (u_k) تبدیل می‌کند و به سه پارامتر (f و c ، τ_w) وابسته است. τ_w ثابت زمانی (روز) تلفات حوزه آبخیز در نتیجه دجه حرارت روزانه است. c موازنه جرم (میلی‌متر)، f فاکتور تشریح اثر تغییر واحد در درجه حرارت روی میزان تلفات است. این بخش تعیین شده برای بخشی از بارش که سرانجام جریان رودخانه را تشکیل می‌دهد. بخش روندیابی خطی بارش مؤثر را به جریان رودخانه (x_k) تبدیل می‌کند و همچنین به سه پارامتر v_q ، t_s و t_q وابسته است. بخش تلفات غیر خطی بارش مؤثر را در پایه زمانی k محاسبه می‌کند، u_k (بارش مؤثر) مطابق با رابطه (۱) محاسبه شده است:

$$u_k = [c \cdot (s_k - l)]^p \cdot r_k \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه، r_k بارش است و s_k شاخص رطوبت خاک در پایه زمانی k است. l شاخص آستانه رطوبت خاک و p شدت رطوبت خاک هستند. شاخص s_k توسط توزین سری‌های زمانی بارندگی محاسبه شده است، یعنی:

$$s_k = r_k + \left(1 - \frac{1}{\tau_w}\right) \cdot s_{k-1} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در روابط (۱) و (۲) τ_w ثابت زمانی تلفات حوزه آبخیز بر اساس دمای روزانه t_k (سلسیوس) مطابق رابطه زیر است:

$$\tau_w(t_k) = \tau_w^0 \cdot \exp[(20 - t_k) / f] \quad \text{رابطه (۳)}$$

τ_w^0 مقداری از τ_w به عنوان دمای مرجع، (20°C) است.

بخش خطی IHACRES اجازه می‌دهد بواسطه یک شکل قابل انعطاف از مخازن خطی متصل به صورت منشعب و یا سری‌ها، شکل ذخیره مطابق ضرایب a و b از چند جمله‌ای‌های سیستم خطی ساده زیر تعیین شود:

$$x_k = -a_1 \cdot x_{k-1} - \dots - a_n \cdot x_{k-n} + b_0 \cdot u_k + b_1 \cdot u_{k-1} + \dots + b_m \cdot u_{k-m} \quad \text{رابطه (۴)}$$

در اینجا x_k خروجی در پایه زمانی k است و a_1 ، a_n و b_0 ، b_m ضرایب مدل هستند.

روندیابی مبنی بر فهم ذخیره خطی است. دو مخزن موازی وجود دارد، یک مخزن کاهش سریع‌تری نسبت به پاسخ اوج خود برای یک جریان خروجی خواهد داشت. خروجی سریع در پایه زمانی k با رابطه زیر بازخوانی می‌شود:

$$x_k^q = -\alpha_q \cdot x_{k-1}^q + \beta_q \cdot u_k \quad \text{رابطه (۵)}$$

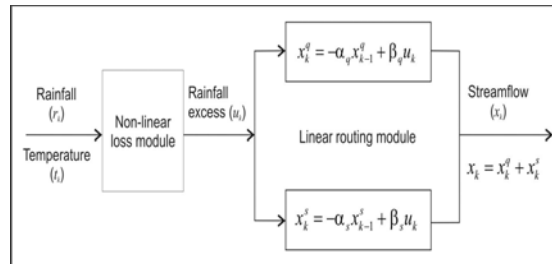
بطور مشابه، برای خروجی آهسته می‌تواند به صورت زیر نوشته شود:

$$x_k^s = -\alpha_s \cdot x_{k-1}^s + \beta_s \cdot u_k \quad \text{رابطه (۶)}$$

$\tau_q = -\Delta / \ln(-\alpha_q)$ (بر حسب روز) مدت زمانی است که در طی آن افت جریان تند در دو مخزن موازی مشاهده می‌شود.

$\tau_s = -\Delta / \ln(-\alpha_s)$ (بر حسب روز) مدت زمانی است که طی آن افت جریان کند در دو مخزن مشاهده می‌شود.

$v_q = \beta_q / (\beta_q + \beta_s)$ (بی‌بعد) ضریب تقسیم بین دو مخزن است مثلاً نسبت جریان سریع به کل



شکل (۲): ساختار مدل IHACRES (تهیه شده مطابق با جیکمن و هورن برجر، ۱۹۹۳؛ کروک و همکاران، ۲۰۰۴)

داده‌های مورد نیاز مدل:

مدل مذکور به سه سری زمانی داده‌ها نیاز دارد، که اینها عبارتند از:

- ۱- داده‌های بارندگی مشاهده‌ای که می‌تواند بر حسب میلی‌متر و یا اینچ باشد. ۲- داده‌های درجه حرارت (بر حسب درجه سلسیوس، فارنهایت و یا کلوین می‌تواند می‌باشد). ۳- داده‌های مشاهده‌ای جریان رودخانه (می‌تواند بر حسب متر مکعب در ثانیه، میلی‌گرم‌لیتر در پایه زمانی، میلی‌متر در هر پایه زمانی، لیتر بر ثانیه یا فوت مکعب بر ثانیه باشد).
- سری‌زمانی بارندگی و درجه حرارت به عنوان ورودی‌های مدل و برای شبیه‌سازی رواناب مورد استفاده اند. در حالیکه داده‌های جریان مشاهده‌ای برای کالیبراسیون مدل و همچنین بررسی دقت نتایج حاصل از شبیه‌سازی شده مورد استفاده قرار می‌گیرد.

کاربردهای مدل IHACRES

یک روش مدل‌سازی بارش-رواناب در مقیاس حوزه آبخیز است. هدف آن کمک به هیدرولوژیست‌ها و یا مهندسی منابع آب برای توصیف رابطه پویای بین رواناب و بارش حوزه آبخیز است. کاربردهای مدل به شرح زیر است:

- ✓ تمییز هیدروگراف‌های واحد
- ✓ مدل‌سازی سری‌های زمانی پیوسته رواناب
- ✓ مطالعات رژیم هیدرولوژیکی و تغییرات محیطی
- ✓ مدل‌سازی وقوع رواناب
- ✓ تجزیه هیدروگراف (برای مثال، جهت کمک به بررسی‌های کیفیت آب)
- ✓ استخراج شاخص جریان آرام
- ✓ استخراج خصوصیات پاسخ پویا (DRCs)
- ✓ بررسی روابط بین خصوصیات پاسخ دینامیکی
- ✓ حوزه (DRCs) و توصیف‌کننده‌های فیزیکی حوزه (PCDs)
- ✓ اصول تئوری هیدروگراف واحد و کاربردهاب آن
- ✓ کنترل یا اطمینان از کیفیت داده‌های هیدرومتری
- ✓ تکمیل نواقص داده‌های جریان رودخانه

فهرست منابع

- ۱- امیری، م. ۱۳۸۵. کالیبراسیون و ارزیابی مدل هیدرولوژیکی SWRRB به منظور شبیه‌سازی رواناب (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کسلیان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد. گروه آبخیزداری. دانشکده منابع طبیعی ساری. دانشگاه مازندران. ۱۳۴ ص.
- ۲- تلوری، ع. ۱۳۷۵. مدل‌های هیدرولوژیکی به زبان ساده. چاپ اول. انتشارات موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع. ۱۱۸ ص.
- ۳- رضایی، ع. ۱۳۸۳. مدل‌سازی منطقه‌ای دبی‌های اوج زیرحوزه‌های آبخیز سد سفیدرود با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی. رساله دکتری، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی. دانشکده منابع طبیعی کرج. دانشگاه تهران. ۱۴۱ ص.
- ۴- سعادت، ح. ۱۳۸۱. بررسی اثرات کاربری ارضی بر روی شبیه‌سازی دبی روزانه با استفاده از مدل SWAT (مطالعه موردی: حوزه معرف کسلیان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد. گروه آبخیزداری. دانشکده طبیعی و علوم دریایی نور. دانشگاه تربیت مدرس. ۱۲۱ ص.
- ۵- سنایی‌نیا، غ. ۱۳۷۹. ارزیابی مدل شبیه‌سازی AWBM (بارش-رواناب). پایان‌نامه کارشناسی ارشد. گروه آبیاری و زهکشی. دانشگاه آزاد اسلامی (واحد علوم تحقیقات). ۲۰۰ ص.
- ۶- شریفی، ف. صفار پور، ش. و ایوب زاده، س. ع. ۱۳۸۳. ارزیابی مدل رایانه‌ای AWBM2002 در شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی تعدادی از حوزه‌های آبخیز ایران. پژوهش و سازندگی. شماره ۶۳. ص ۳۵-۴۲.
- ۷- صفار پور، ش. ۱۳۸۱. تخمین آستانه شروع رواناب با استفاده از شبیه‌سازی داده‌های بارش و رواناب. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. گروه آبخیزداری. دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور. دانشگاه تربیت مدرس. ۱۰۳ ص.
- ۸- علیزاده، ا. ۱۳۷۶. اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ نهم، مرکز انتشارات آستان قدس رضوی. دانشگاه فردوسی مشهد. ۶۳۴ ص.
- ۹- گوهری، ا. ۱۳۷۷. ارزیابی مدل SFB در حوزه‌های آبخیز غرب ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. مرکز آموزش امام خمینی. ۱۰۹ ص.
- ۱۰- مهدوی، م. ۱۳۷۴. هیدرولوژی کاربردی. جلد اول. چاپ دوم. انتشارات دانشگاه تهران. ص ۲۶۳-۲۵۲.
- ۱۱- نام درست، ج. ۱۳۸۱. شبیه‌سازی اثر پارامترهای هیدرولوژیکی بر روی رواناب خروجی در برخی حوزه‌های آبخیز ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. گروه آبخیزداری. دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور. دانشگاه تربیت مدرس. ۱۴۴ ص.
- ۱۲- نجفی، م. ۱۳۸۱. سیستم‌های هیدرولوژیکی (مدل‌سازی بارندگی-رواناب). جلد اول. انتشارات دانشگاه تهران. ۵۷۸ ص.
- ۱۳- نجمایی، م. ۱۳۶۹. هیدرولوژی مهندسی. جلد اول. انتشارات دانشگاه علم و صنعت. ۲۴۷ ص.
- 14- Anderson, R.M., Hobbs, B.F., and Koonce, J.F. 2006. Modeling effects of forest cover reduction on larva walleye survival in Lake Erie Tributary spawning basins. *Ecosystems*, 9, 725-739.
- 15- Arnold, J.G., and Allen, P.M., 1996. Estimating Hydrologic Budgets for Three Illinois Watersheds. *Journal of Hydrology*. 176: 57-77.
- 16- Boughtone, W.C., 1993. A Hydrograph Based Method for Estimating the Water Yield of Ungauged Catchments. I.E. Aust., Hydrograph and Water Resources Symposium, NCP93.
- 17- Burnash, R.J.C., Ferral, K.L., and MC Guire, R.A., 1973. A generalized Streamflow System: Conceptual Modeling for Digital Computers. Joint Federal State River Forecast Center, USA, 204p.
- 18- Croke, B.F.W., and Littlewood, I.G. 2005. Comparison of alternative loss modules in the IHACRES model: an application to 7 catchments in Wales. In Zerger, A. and Argent, R.M. (eds)

- MODSIM 2005 International Congress on Modeling, and Simulation. Modeling and Simulation Society of Australia and New Zealand, December 2005, 2904-2910.
- 19- Croke, B.F.W., Jakeman, A.J., 2004. A catchments moisture deficit module for the IHACRES rainfall-runoff model. *Environmental Modeling and Software* 19 (1), 1-5.
- 20- Croke, B.F.W., Letcher, R.A., Jakeman, A.J., 2006. Development of a distributed flow model for underpinning assessment of water allocation options in the Naomi River Basin, Australia. *Journal of Hydrology*. 319 (1-4), 51-71.
- 21- Croke, B.F.W., Merritt, W.S. and A.J. Jakeman. 2004. A dynamic model for predicting hydrologic response to land cover changes in gauged and Ungauged catchments. *Journal Of Hydrology*, 291, 115-131.
- 22- Croke, B.F.W., Smith, A.B., Jakeman, A.J., 2002. A one-parameter groundwater discharge model linked to the IHACRES rainfall-runoff model. In: Rizzoli, A., Jakeman, A.J. (Eds.), *Proceedings of the First Biennial Meeting of the International Environmental Modeling and Software Society*, vol. 1. University of Lugarno, Switzerland, pp. 428-433.
- 23- Hope, A., Decker, J., and Jankowski, P. 2006. Daily river flow predictions in southern California catchments using the IHACRES model and gridded rainfall input data. *Ame Rican Geophysical Union fall meeting*, San Francisco, USA.
- 24- Ivkovic, K.M., Letcher, R.A., and Croke, B.F.W. 2009. The use of a simple surface-groundwater interaction model to inform water management, *Aust. J. Earth Science*. vol. 56. pp 71-80.
- 25- Jakeman, A.J., Littlewood, I.G., Whitehead, P.G., 1990. Computation of the instantaneous unit hydrograph and identifiable component flow with application to small upload catchments. *J. Hydro*. 117, 275-300.
- 26- Kokkonen, T.S. and A.J. Jakeman. 2002. Structural Effects of Landscape and Land Use on Streamflow Response, in: *Environmental Foresight and Models: A Manifesto*, 303-321.
- 27- Kokkonen, T.S., Jakeman, A.J., Young, P.C. and H.J. Koivusalo. 2003. Predicting daily flows in Ungauged catchments: model regionalization from catchments descriptors at the Coweeta Hydrologic Laboratory, *North Carolina Hydrological Processes*, 17, 2219-2238.
- 28- Morid, S., Gosain, A.K., and Keshari, K. 2002. Comparison of SWAT and ANN Models for daily Simulation of Runoff. *Fifth International Conference Hidroinformatics*. 707-714.
- 29- Mount, A.B. 1972. *The Derivation and Testing of a Soil Dryness Index Using Runoff Data*, Tasmania Forestry Commission. Bulletin NO.4.
- 30- Post, D.A. and A.J. Jakeman. 1999. Predicting the daily Streamflow of Ungauged catchments in S.E. Australia by regionalizing the parameters of a lumped conceptual rainfall-runoff model, *Ecological Modeling*, 123, 91.
- 31- Post, D.A., Jones, J.A. and G.E. Grant. 1998. An improved methodology for predicting the daily hydrologic response of Ungauged catchments, *Environmental Modeling and Software*, 13, 395-403.
- 32- Sefton, C.E.M., and Howarth, S.M., 1998. Relationships between dynamic response characteristics and physical descriptors of catchments in England and Wales. *J. hydrology*. 211, 1-16.
- 33- Sharifi, F., 1997. An Investigation to Rainfall-Runoff Processes Aiming at Estimation Runoff from Ungauged Catchments. *Proceeding the 8th International Conference in Rainwater Catchments Systems*. 416-432.
- 34- Shenzhen, A., 2002. An Assessment of Continuous Modeling for Water Management, (<http://202.136.24/>)
- 35- Sun, Ge., 1998. Lecture notes (Nov 3 & 5) for FOR401 Watershed and Wetland Hydrology, *USDAFS*, 515-9498.

- 36- Schreider, S.Y., Jakeman, A.J., Pittock, A.B., 1996. Modeling rainfall–runoff from large catchments to basin scale: the Goulburn Valley, Victoria. *Hydrological Processes* 10 (6), 863–876.
- 37- Ye, W., Jakeman, A.J., Barnes, C.J., 1995. A parametrically efficient model for prediction of Streamflow in an Australian benchmark catchments with complex storage dynamics. *Environment International* 21 (5), 475–758.
- 38- Ye, W., Bates, B.C., Viney, N.R., Sivapalan, M., Jakeman, A.J., 1997. Performance of conceptual rainfall–runoff models in low-yielding ephemeral catchments. *Water Resources Research* 33 (1), 153–166
- 39- Teemu, K., Harri, K., and Tuomo, K., 2001. A semi-distributed approach to rainfall-runoff modeling – a case study in a snow affected catchments. *Environmental Modeling & Software*. 16, 481-493.
- 40- Teemu, S.K., and Jakeman, A.J. 2001. A Comparison of Metric and Conceptual approaches in Rainfall-Runoff modeling and its implications. *Water Resources Research* 37(9), 2345-2352.
- 41- U.S. Army Corps of Engineers. 1998. Hydrologic Engineering Center. HEC-1 Flood Hydrograph Package: User’s Manual, 136pp.

Hydrological Model Classification and Description IHACRES Rainfall-Runoff Model

M, Zareii¹, M, Habibnejad Roshan², M. R, Ghanbarpour and K, Shahedi³

Cathment is an open System, there for we achieve Modeling due to it’s Complexity and to reach aimed goals. Modeling reduces Complex Systems costs, because doesn’t experiments in vast are costly and are impossible in some cases. Also we can Manage Cathment by analyzing the results of Modeling and by forecasting Cathment future. in this Study we first review Hydrological Model Classification Types and results of Some engaged Models in Iran and at last we descriptions the IHACRES Rainfall-Runoff Model and it’s applications. This Model enable used for most Catchments Science it needs to few information without considerable Cost or Time consuming. This Model needs to Rainfall and Temperature Data (for Runoff Simulation) and Observed Stream flow Data (for Calibration), therefore it can be used for the our Catchments with statically Data problems, and at last can be used to Simulation of Hydrological process in Catchments without statistic Data.

Keywords: *Hydrological Model, IHACRES Rainfall-Runoff, Modeling, Simulation, Calibration.*

1- Msc Student Watershed Management of University Mazandaran

2- Associated professor, of University Mazandaran

3- Assistant professor, of University Mazandaran