دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده مهندسی علوم آب

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

گرایش مهندسی منابع آب

عنوان:

مدلسازی هیدرولوژیکی پیوسته بارش-رواناب با استفاده از مدل احتساب رطوبت خاک HMS-SMA

نگارنده:

فهیمه سرتیپ

اساتید راهنما:

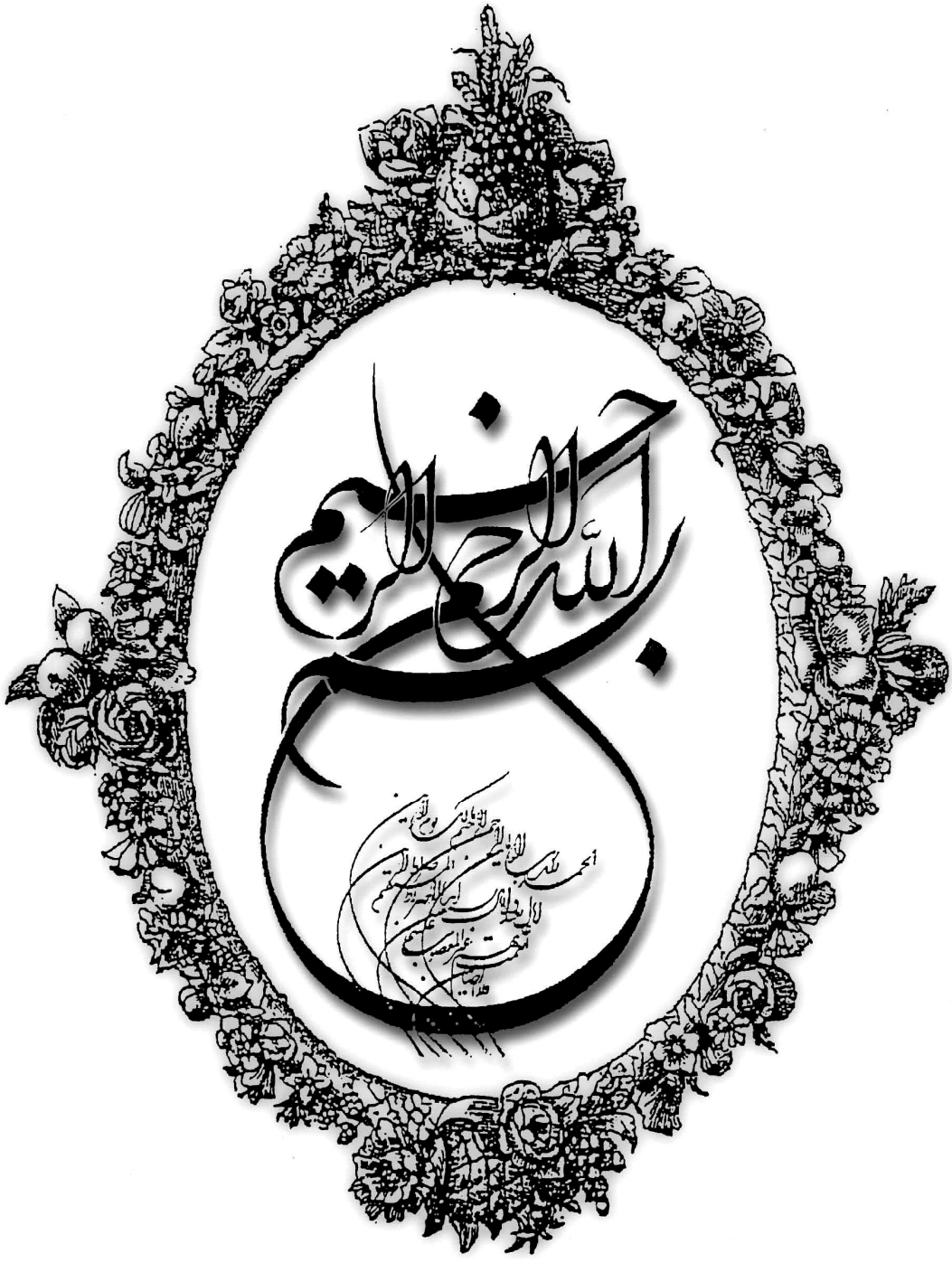
دکتر فریدون رادمنش

دکتر حیدر زارعی

استاد مشاور:

دکتر میثم سالاری جزی

شهریور ۱۳۹۳


بسم الله الرحمن الرحیم

فهرست مطالب **شماره صفحه**

۱-مقدمه

۱-۱- مقدمه ۱
۱-۲- ضرورت و اهمیت تحقیق ۱
۱-۳- اهداف تحقیق ۲
۱-۴-ساختار کلی پایان نامه ۲

۲- تئوری مطلب و مرور منابع

۲-۱- چرخه هیدرولو˚ی ۴
۲-۲- سیستم بارش-رواناب ۵
۲-۲-۱- جریان روزمینی یا رواناب سطحی ۵
۲-۲-۲ جریان داخلی یا زیر سطحی ۶
۲-۲-۳- جریان آب زیرزمینی ۶
۲-۳-مدلسازی بارش-رواناب ۸
۲-۳-۱- مقدمه ای بر مدل‌سازی ۸
۲-۳-۲-شرح مدل احتساب رطوبت خاکHEC-SMA ۹
۲-۴-واسنجی مدلو بهینه سازی نتایج ۱۷
۲-۴-۱- روش‌های جستجو ۱۷
۲-۴-۱-۱- الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچه ۱۷
۲-۵-تاریخچه مدلسازی بارش-رواناب‌و پیشرفت مدل‌ها ۲۷
۲-۶- مدل‌سازی پیوسته بارش رواناب با استفاده از HMS-SMA ۳۱
۲-۷-واسنجی‌مدل HEC-HMS ۳۷

۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- منطقه مورد مطالعه..... ۳۹
۳-۱-۱-انتخاب حوضه ۳۹
۳-۱-۲-موقعیت جغرافیایی..... ۳۹
۳-۱-۳-ویژگی‌های فیزیوگرافی..... ۴۴
۳ -۱-۴-ویژگی‌های طبیعی ۴۵

۳-۱-۵-محاسبه زمان تمرکز از ر.وش سازمان حفاظت منابع طبیعی آمریکا..... ۴۷
۳-۲- روش تحقیق..... ۴۷
۳-۲-۱- جمع آوری و آماده سازی اطلاعات ۴۷
۳-۲-۲-تخمین اولیه پارامترهای مدل ۴۷
۳-۲-۲-۱- تخمین پارامترهای لایه‌های برگاب، چالاب و لایه پروفیل خاک ۴۸
۳-۲-۲-۲- تخمین پارامترهای لایه‌های آب زیرزمینی ۴۹
۳-۲-۳-شبیه سازی پیوسته بارش-رواناب ۵۳
۳-۲-۳-۱-معرفی نرم افزار HEC-HMS..... ۵۳
۳-۲-۳-۱-۱-روشهای محاسباتی موجود در المانها ۵۳
۳-۲-۴-واسنجی مدل و بهینه سازی نتایج ۵۵
۳-۲-۴-۱-روشهای جستجو ۵۵
۳-۲-۴-۲-بررسی کارایی الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچه ۵۶
۳-۲-۴-۳-معرفی توابع هدف ۵۸
۳-۲-۴-۴-تعیین مدت زمان واسنجی..... ۶۰
۳-۲-۴-۵-آنالیز حساسیت ۶۲
۳-۲-۴-۶-صحت سنجی..... ۶۲
۳-۲-۴-۷-فلوچارت بهینه سازی و شبیه سازی در نرم افزار متلب ۶۲
۳-۲-۴-۸-بررسی صحت مدل..... ۶۳

۴- نتایج وبحث

۴-۱- مقدمه ۶۶
۴-۲- برآورد مقادیر پارامترها..... ۶۶
۴-۳- مدل‌سازی ۶۷
۴-۴- واسنجی مدل ۶۸
۴-۵- صحت‌سنجی مدل ۷۵
۴-۶- آنالیز حساسیت مدل ۷۹
۴-۷- مقایسه با نتایج سایر تحقیقات..... ۸۴

۵- نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه‌گیری..... ۸۸
۵-۲- پیشنهادات..... ۸۹

منابع..... ۹۰

فهرست جداول **شماره صفحه**

جدول ۳-۱- خلاصه آمار هیدرومتری حوضه معرف کسیلیان در ایستگاه هیدرومتری ولیک بن..... ۴۱
جدول ۳-۲- خلاصه آمار هواشناسی حوضه معرف کسیلیان در ایستگاه کلیماتولوژی سنگده..... ۴۲
جدول ۳-۳- مشخصات فیزیوگرافی حوضه آبریز معرف کسیلیان..... ۴۴
جدول ۳-۴- طبقه بندی خاک‌های حوضه بر طبق استاندارد NRCS..... ۴۶
جدول۳-۵- نوع کاربری اراضی به همراه مساحت و درصد مربوط در حوضه آبریز معرف کسیلیان..... ۴۶
جدول۳-۶-تخمین پارامتر ذخیره برگابی..... ۴۸
جدول۳-۷-تخمین پارامتر ذخیره چالابی..... ۴۸
جدول ۳-۸- تخمین پارامترهای لایه خاک مدل SMA..... ۴۹
جدول۳-۹ تخمین پارامتر سرعت نفوذ عمقی ناحیه خاک..... ۴۹
جدول۳-۱۰- معیار ارزیای ناش-ساتکلیف ۵۸
جدول ۳-۱۱- نتایج صحت عملکرد مدل لینک شده در نیمسال اول ۶۹..... ۶۴
جدول ۴-۱-محدوده پارامترهای ضریب ذخیره و عمق ذخیره لایه‌های آب زیر زمینی..... ۶۶
جدول۴-۲— مقدار ضریب کلارک در بارشهای مختلف..... ۶۶
جدول ۴-۳- تخمین اولیه از پارامترهای مدل حوضه کسیلیان..... ۶۷
جدول ۴-۴-.نتایج حاصل از واسنجی مدل SMA در هر نیمسال آبی..... ۷۲
جدول ۴-۵-.نتایج حاصل از واسنجی مدل SMA در هر سال آبی..... ۷۲
جدول۴-۶-پارامترهای تعیین شده حاصل از واسنجی مدل SMA در حوضه معرف کسیلیا.ن..... ۷۴
جدول ۴-۷- حدود بالا و پایین دامنه پارامترهای حوضه و مقدار میانگین آنها..... ۷۵
جدول۴-۸-.نتایج حاصل از صحت سنجی مدل SMA در هر نیمسال آبی..... ۷۸
جدول ۴-۹-نتایج حاصل از صحت سنجی مدل SMA در هر سال آبی..... ۷۸
جدول ۴-۱۰-نتایج حاصل از واسنجی و صحت سنجی سایر محققین براساس شبیه‌سازی بارش-رواناب بصورت پیوسته با استفاده از HMS-SMA..... ۸۵
جدول ۴-۱۱-نتایج حاصل از واسنجی و صحت سنجی سایر محققین براساس شبیه‌سازی بارش-رواناب بصورت پیوسته با استفاده از HMS-SMA..... ۸۶

جدول ۴-۱۲-نتایج حاصل از واسنجی و صحت سنجی سایر محققین براساس شبیه‌سازی بارش-رواناب بصورت پیوسته با استفاده از HMS-SMA.....۸۷

فهرست شکل‌ها **شماره صفحه**

شکل۲- ۱- سیستم چرخه هیدرولوژی(چو و همکاران، ۱۹۸۸).....۴
شکل ۲-۲- رابطه نرخ نفوذ پتانسیل و ذخیره موجود در خاک(بنت و پیترز،۲۰۰۰).....۱۱
شکل۲- ۳- تغییرات نفوذ عمقی در مقابل نسبت پر بودن لایه بالایی و پایینی (بنت و پیترز،۲۰۰۰).....۱۳
شکل۲- ۴-تبخیر و تعرق واقعی از ناحیه کششی خاک(بنت و پیترز، ۲۰۰۰).....۱۵
شکل ۲-۵- نمایش شماتیک روش تلفات پیوسته(بنت و پیترز، ۲۰۰۰).....۱۶
شکل ۲-۶- شکل ۲-۶- تابع توزیع احتمالاتی پیوسته (تابع شدت احتمال) و گسسته به ترتیب از راست به چپ...۲۳
شکل۳- ۱- موقعیت حوضه آبریز معرف کسیلیان نسبت به شهر تهران و راه های دسترسی به آن(مأخذ فضلی اولی، ۱۳۸۵).....۴۰
شکل ۳-۲-موقعیت ایستگاه های اندازه گیری بر روی نقشه توپوگرافی حوضه آبریز معرف کسیلیان (مأخذ: تماب) ۴۳
شکل۳-۳- هیدروگراف حاصل از بارش.۷۱/۷/۲۳.....۵۲
شکل۳-۴- نمودار q در مقابل q_0.....۵۳
شکل۳-۵- نمای سه بعدی از تابع شوئفل.....۵۷
شکل ۳-۶- روند بهینه سازی تابع شئوفل توسط الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچه.....۵۷
شکل ۳-۷- نمودار دما در ماه‌های مختلف.....۶۱
شکل ۳-۸- نمودار بارش در ماه‌های مختلف.....۶۱
شکل ۳-۹- دیاگرام ارتباط میان نرم‌افزارهای متلب و HMS.....۶۳
شکل ۳-۱۰- مراحل مختلف بهینه سازی.....۶۵
شکل ۴-۱- نمائی از روند بهینه سازی سال آبی ۷۵ توسط الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچه.....۶۹
شکل ۴-۲- مقایسه هیدروگرافهای مشاهداتی ومحاسباتی در مرحله واسنجی سال آبی ۶۳-۶۲.....۷۰
شکل ۴-۳- مقایسه هیدروگرافهای مشاهداتی ومحاسباتی در مرحله واسنجی سال آبی ۶۵-۶۴.....۷۰
شکل ۴-۴- مقایسه هیدروگرافهای مشاهداتی ومحاسباتی در مرحله واسنجی سال آبی ۷۰-۶۹.....۷۱
شکل ۴-۵- مقایسه هیدروگرافهای مشاهداتی ومحاسباتی در مرحله واسنجی سال آبی ۷۶-۷۵.....۷۱
شکل ۴-۶-مقایسه هیدروگرافهای مشاهداتی ومحاسباتی در مرحله صحت سنجی سال آبی ۶۴-۶۳.....۷۶
شکل ۴-۷-مقایسه هیدروگرافهای مشاهداتی ومحاسباتی در مرحله صحت سنجی سال آبی ۶۶-۶۵.....۷۶

شکل ۴-۸-مقایسه هیدروگرافهای مشاهداتی ومحاسباتی در مرحله صحت سنجی سال آبی ۷۱-۷۰..... ۷۷
شکل ۴-۹-مقایسه هیدروگرافهای مشاهداتی ومحاسباتی در مرحله صحت سنجی سال آبی ۷۴-۷۳..... ۷۷
شکل۴-۱۰- نمودار درصد تغییرات نسبی معیار ناش-ساتکلیف به ازاء تغییر ۱۰٪± پارامترهای مدل برای نیمه اول سال آبی ۷۵..... ۸۰
شکل۴-۱۱- نمودار درصد تغییرات نسبی معیار R به ازاء تغییر ۱۰٪± پارامترهای مدل. برای نیمه اول سال آبی ۷۵..... ۸۱
شکل۴-۱۲- نمودار درصد تغییرات نسبی معیار ناش-ساتکلیف به ازاء تغییر ۱۰٪±پارامترهای مدل برای نیمه دوم سال آبی۷۵..... ۸۲
شکل۴-۱۳- نمودار درصد تغییرات نسبی معیار RMSE به ازاء تغییر ۱۰٪±پارامترهای مدل برای نیمه دوم سال آبی ۷۵..... ۸۳

پیوست الف:تشریح الگوریتم مورچه(ACOR)..... ۹۵

تقدیر و تشکر

هم‌اکنون در سایه عنایت خداوند، نگارش این پایان‌نامه که حاصل زحمات بی دریغ دوستان عزیزی است که اینجانب را در رسیدن به این هدف یاری نمودند، به پایان رسید. وقت آن است تا وظیفه‌ی خود انجام داده و از تمام کسانی که به نحوی مرا در انجام این پژوهش یاری نمودند تشکر و قدردانی کنم.

از اساتید بزرگوار، جناب آقایان **دکتر فریدون رادمنش و دکتر حیدر زارعی** که در این پژوهش به عنوان اساتید راهنما در طول انجام کار و کلیه مراحل نگارش این پایان‌نامه، مرا از راهنمایی‌های خردمندانه خویش بهره‌مند ساخته‌اند کمال تشکر را دارم. همچنین از جناب آقای **دکتر میثم سالاری جزی**، استاد مشاور اینجانب که با کمک‌های دلسوزانه خود در این پایان‌نامه مرا راهنمایی کردند، قدردانی می‌کنم. در نهایت از خانواده عزیزم که در این راه از هیچگونه یاری و مساعدتی دریغ ننموده‌اند صمیمانه سپاسگذارم.

نام خانوادگی: سرتیپ ورنوسفادرانی	**نام:** فهیمه	**شماره دانشجوی:**۹۱۳۴۸۰۴
عنوان پایان‌نامه: مدل‌سازی هیدرولوژیکی بارش-رواناب با استفاده از مدل احتساب رطوبت خاک HMS-SMA		
اساتید راهنما: دکتر فریدون رادمنش، دکتر حیدر زارعی		
استاد مشاور: دکتر میثم سالاری جزی		
درجه تحصیلی: کارشناسی ارشد	**رشته:** مهندسی کشاورزی- آب	**گرایش:** مهندسی منابع آب
دانشگاه: شهید چمران اهواز	**دانشکده:** مهندسی علوم آب	**گروه:** هیدرولوژی و منابع آب
تاریخ فارغ التحصیلی: ۱۳۹۳/۰۶/۳۱		**تعداد صفحه:** ۹۹
کلید واژه‌ها:HMS-SMA ، الگوریتم کلونی مورچه‌ها(ACOR)، حوضه کسیلیان، ناش-ساتکلیف، واسنجی، بهینه سازی		

مدل‌سازی پیوسته بارش-رواناب پایه بسیاری از مطالعات از جمله مدیریت منابع آب، کنترل سیل، اثرات تغییر اقلیم، مدیریت خشکسالی و.... می‌باشد. بنابراین با توجه به اهمیت موضوع، مدل‌سازی این پدیده هدف اصلی تحقیق قرار گرفت. در مدل‌سازی پیوسته بسیاری از فرایندهای هیدرولوژیک در دوره‌های متوالی تر و خشک در نظر گرفته می‌شود، که همین نوع مدل‌سازی در تحقیق حاضر استفاد شده است. مدل احتساب رطوبت خاک (SMA) از جمله روش‌های هیدرولوژیک پیوسته مورد استفاده است که بسیاری از فرایندهای چرخه هیدرولوژیک را همچون بارش، برگاب، چالاب، نفوذ، تبخیر و تعرق، رطوبت خاک، ذخایر آب زیرزمینی و خروجی آن به رودخانه را محاسبه می‌کند. در این تحقیق از مدل HMS-SMA برای مدل‌سازی پیوسته جریان در حوضه کسیلیان واقع در شمال کشور استفاده شد. از آنجا که تعداد پارامترهای الگوریتم SMA زیاد بوده و ضعف‌هایی در واسنجی نرم افزار و واسنجی دستی وجود داشت، از یک واسنجی خودکار بواسطه یک برنامه بهینه سازی خارجی (الگوریتم کلونی مورچه‌ها یا ACOR) در محیط نرم‌افزار متلب استفاده شد. پس از آنکه صحت عملکرد واسنجی جدید با بهینه ساز ACOR مورد تایید قرار گرفت، از داده‌های بارش رواناب ۴ سال برای واسنجی و ۴ سال برای صحت سنجی مدل‌سازی استفاده شد. واسنجی

سالانه مدل، بدلیل عدم تطبیق مناسب نتایج شبیه‌سازی با مشاهداتی کنار گذاشته شد و بجای آن واسنجی به صورت ۶ ماهه در دو دوره زمستانی و تابستانی انجام شد. سنجش نتایج حاصل از واسنجی و صحت‌سنجی مدل، براساس معیار ناش-ساتکلیف صورت گرفت که این معیار در کل برای تمامی موارد واسنجی در محدوده خوب و برای موارد صحت‌سنجی در محدوده قابل قبولی بدست آمد. همچنین تحلیل حساسیت پارامترهای مدل هیدرولوژیک HMS-SMA انجام شد و ۴ پارامتر حداکثر نرخ نفوذ خاک، حداکثر ذخیره خاک، حداکثر ذخیره ناحیه کششی خاک و حداکثر نرخ نفوذ عمقی خاک به عنوان پارامترهای حساس تعیین شد.

فصل اول

مقدمه و اهداف

۱-۱-مقدمه

ایران فلاتی پهناور، خشک، کم باران و با توزیع نامناسب آب است. میانگین بارندگی در کل سطح کشور حدود ۲۴۰ میلی‌متر در سال است که در مقایسه با میانگین بارندگی سالانه در سطح کره زمین که حدود۸۶۰ میلی‌متردر سال است، کمتر از یک سوم میانگین بارندگی در سطح جهان را داراست. بارندگی در فصول غیر کشاورزی موجب شده است که در بسیاری از موارد تامین آب مورد نیاز کشاورزی بدون ایجاد تاسیسات ذخیره، کنترل، انتقال و توزیع آب مقدور نباشد. عدم توزیع زمانی یکنواخت بارندگی در کشور که خود جزء مشخصات مناطق خشک و نیمه خشک است، باعث شده در فصولی از سال خشکی و در ماه‌هایی از سال سیلاب ایجاد گردد که باعث ایجاد خسارات عمده‌ای برای انواع مصرف کنندگان می‌گردد (صفوی،۱۳۸۸). از این رو می‌توان گفت از راههای سازگاری با مشکلات فوق و بحران کم آبی استفاده بهینه از منابع آب و افزایش بهره‌وری آن است، به‌همین جهت باید تا حد ممکن از نزولات جوی، جریان آبهای سطحی و منابع آب زیرزمینی و رطوبت خاک به نحو مطلوب و بهینه استفاده شود. و این کار فقط با بررسی درست پدیده‌های هیدرولوژیکی و درک صحیح و دقیق از مدل‌سازی بارش-رواناب عملی خواهد بود. در همین راستا در تحقیق حاضر سعی شده است تا با مدل‌سازی صحیح این پدیده، بتوان به نحو مطلوبی بر آب‌های سطحی حوضه مدیریت نمود.

۱-۲-ضرورت و اهمیت تحقیق

مدل‌های شبیه‌سازی بارش-رواناب در بسیاری از برنامه‌های کاربردی منابع آب مانند کنترل سیل، مدیریت خشکسالی، عملیات تامین آب و برق، عملیات بهینه‌سازی مخزن شامل اهداف چندگانه آبیاری، تولید برق آبی، تامین آب و طراحی‌های مختلف سازه‌های هیدرولیکی مانند سدها، پل‌ها، کالورت‌ها و نظایر آن می‌تواند بکار گرفته شود. از همین رو مدل‌سازی بارش-رواناب و بالتبع واسنجی صحیح مدل که مبنای تمامی این مطالعات می‌باشد، از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است.

از طرفی مدل‌سازی‌ها معمولاً به صورت تک-رخداد بوده و مدل‌سازی‌های پیوسته بالاخص در کشور ما کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در مدل‌های پیوسته در مقایسه با مدل‌های تک-رخداد پارامترهای هیدرولوژیکی بیشتری دخالت داده شده و در نتیجه مدل‌سازی پیچیده‌تر می‌شود. اما دو مزیت عمده دارند: اول اینکه واقعیت حوضه یک سیستم هیدرولوژیک پیچیده است که پارامترهای زیادی در رواناب حاصل از بارش آن دخالت دارند. پس هر چه پارامترهایی که در شبیه‌سازی رواناب حوضه نقش دارند، کامل‌تر باشد شرایط واقعی‌تری از سیستم هیدرولوژیک حوضه را ترسیم خواهد نمود. دوم اینکه در سیستم‌های پیوسته می‌توان وضعیت منابع آب سطحی را در یک مدت زمان طولانی بررسی نمود و براساس آن تصمیم گیری های مناسبی اتخاذ نمود. بنابراین ضرورت مدل-سازی پیوسته بارش-رواناب کاملاً بدیهی است ودر واقع اساس و مبنای این تحقیق را شکل می‌دهد.

۱-۳-اهداف تحقیق

همانطور که گفته شد مدل‌سازی پیوسته بارش-رواناب مبنای مطالعه قرار گرفته است، پس با توجه به مدل مورد استفاده و روش مدل‌سازی پیوسته اهداف کلی تحقیق را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

- اجرا و واسنجی مدل شبیه سازی بارش- رواناب HMS-SMA بر روی حوضه مورد مطالعه
- ارزیابی مدل شبیه سازی هیدرولوژیکی پیوسته
- تعیین پارامتر های هیدرولوژیک حوضه براساس مدلسازی هیدرولوژیکی پیوسته
- تحلیل حساسیت پارامترهای مدل

۱-۴-ساختار کلی پایان‌نامه

این تحقیق درپنج فصل تدوین شده است.

فصل اول–مقدمه

فصل دوم– تئوری مطلب و مرور منابع: دراین فصل مباحث پایه از جمله پدیده بارش–رواناب، مدل پیوسته بارش–رواناب، الگوریتم بهینه‌سازی بیان شده است و در ادامه چکیده تحقیقات محققان داخلی وخارجی که در این زمینه انجام شده گرد آوری شده است.

فصل سوم–مواد و روش‌ها: در این فصل حوضه مورد مطالعه معرفی و مراحل انجام تحقیق توضیح داده شده است.

فصل چهارم–نتایج و بحث: خروجی‌های تحقیق شامل هیدروگراف‌های حاصل از واسنجی وصحت سنجی مدل، مقدار معیارهای ارزیابی آنها، نتایج حاصل از آنالیز حساسیت مدل و ... بیان گردیده‌اند.

فصل پنجم–نتیجه‌گیری و پیشنهادات : نتایج برگرفته از این تحقیق به همراه پیشنهاداتی برای تحقیقات بعدی در این زمینه آورده شده است.

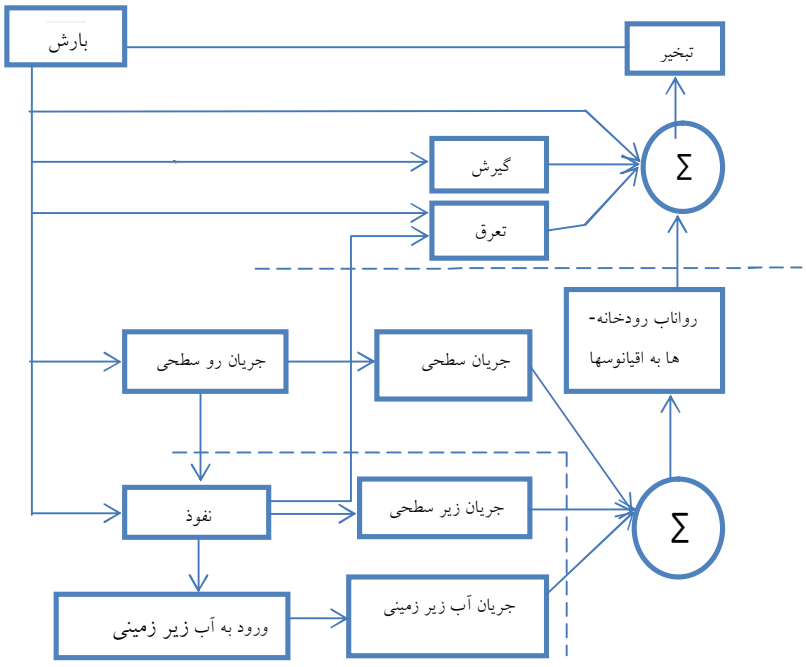
فصل دوم

تئوری مطلب

و مرور منابع

۲-۱-چرخه هیدرولوژی

چرخه هیدرولوژی چرخه‌ای بدون ابتدا و انتها می‌باشد. بدین ترتیب که آب از سطح دریاها و خشکیها تبخیر شده وارد اتمسفر می‌گردد و سپس بخار آب وارد شده به جو طی فرایندهای گوناگون به صورت نزولات جوی به سطح زمین یا روی دریاها فرو می‌ریزد. نزولات جوی ممکن است با سه حالت روبرو شوند: یا قبل از رسیدن به سطح زمین توسط شاخ و برگ گیاهان گرفته شوند(برگاب یا باران گیرش) که بعد مستقیماً از همان جا تبخیر و به هوا باز می‌گردند، یا در سطح زمین در صورتیکه شدت بارش از شدت نفوذ خاک بیشتر باشد جاری می‌شوند و یا درخاک نفود می‌کنند. آب نفوذی نیز یا بطور موقت در خاک ذخیره می‌شود که سپس در اثر تبخیر به هوا برمی‌گردد و یا منابع آب زیر زمینی را تشکیل می‌دهد که سرانجام از طریق چشمه‌ها و یا تراوش به رودخانه‌ها مجددا در سطح زمین ظاهر می‌گردد(علیزاده، ۱۳۸۳). بخش‌های اصلی و زیر بخش‌های چرخه به طور خلاصه در شکل ۲-۱ نشان داده شده است.



شکل ۲-۱ سیستم چرخه هیدرولوژی (چو[1] و همکارن، ۱۹۸۸)

[1] Chow

۲-۲-سیستم بارش-رواناب

تولید رواناب فرآیند پیچیده‌ای است که بین بارش و زمین رخ می‌دهد. در آغاز بارش، درصد قابل توجهی از آن صرف پر کردن چالاب‌ها می‌گردد، مقداری به صورت تبخیر از دسترس خارج می‌گردد و بخشی نیز به داخل خاک نفوذ می‌کند. در چرخه هیدرولوژی ردیابی یک قطره آب از زمانی که به زمین می‌رسد تا موقعی که به رودخانه خاتمه می‌یابد تقریبا غیر ممکن است. به همین علت آسانتر آن است، که سه مسیر اصلی حرکت آب جریان سطحی(روزمینی)، جریان داخلی و جریان آب زیرزمینی بررسی شود.

۲-۲-۱-جریان روزمینی یا رواناب سطحی

بخشی از آب باران است که روی سطح زمین حرکت می‌کند تا به یک آبراهه(آبراهه شامل هر نوع شیارکه حتی آب باریکه کوچکی از جریان را در حین و حتی مدت کوتاهی بعد از بارش حمل می‌کند نامیده می‌شود) برسد. چنین آبراهه‌هایی تعداد آنها زیاد است و فاصله‌ای که آنها تحت عنوان جریان روزمینی طی می‌کنند، نسبتا کوتاه است و به ندرت از چند فوت تجاوز می‌کند. بنابراین جریان‌های روزمینی خیلی زود به یک آبراهه بزرگ ختم می‌شوند، و در صورتی که مقدار آن باندازه کافی باشد یکی از المان‌های موثر در تشکیل حداکثر سیلاب‌ها خواهد بود. با این حال ممکن است مقدار رواناب سطحی بسیار کم باشد چرا که جریان سطحی عبوری از روی سطح نفوذپذیر خاک، تنها زمانی که شدت بارش از ظرفیت نفوذ خاک بیشتر گردد می‌تواند رخ دهد. در بسیاری از بارش‌های کوچک و متوسط رواناب سطحی ممکن است فقط از سطوح نفوذناپذیر و نواحی اشباع درون حوضه و یا از بارش‌های مستقیم روی سطح آبی نشأت بگیرد. بجزء نواحی شهری، وسعت چنین نواحی معمولا بخش کوچکی از حوضه را در برمی‌گیرد.رواناب سطحی تنها وقتی که جریان رودخانه ناشی از بارش‌ها سنگین و یا شدید باشد، عامل مهمی در جریان رودخانه‌ها به شمار می‌رود(لینزلی و همکاران، ۱۹۵۸)[۱].

[۱] linsley et al.

۲-۲-۲-جریان داخلی یا زیر سطحی

بخشی از آب که از سطح خاک نفوذ کرده، ممکن است از درون لایه‌های بالایی خاک حرکت کرده و بطور غیر مستقیم به جریان رودخانه ختم گردد. این جریان که جریان بینابینی یا جریان زیر سطحی نامیده می‌شود، با سرعت کمتری نسبت به رواناب سطحی حرکت می‌کند، و با یک تاخیر زمانی به رودخانه وارد می‌شود. سهم جریان زیر سطحی از کل رواناب به سیمای فیزیکی حوضه بستگی دارد. لایه‌های خاکی که روی سطوح سنگی قرار گرفته‌اند، زمین‌های سفت و سخت یا بسترهای شخمی تا عمق کوتاهی از خاک از جمله مواردی هستند که بطور ذاتی جریان‌های بینابینی را بوجود می‌آورند، در حالی که نواحی با نفوذپذیری یکنواخت، عامل نفوذ عمقی آب و پیوستن به آب‌های زیرزمینی است. گرچه جریان‌های زیرسطحی سرعت کندتری نسبت به جریان‌های روزمینی دارند، اما به لحاظ مقدار ممکن است حجم بزرگتری به خود اختصاص دهند، به خصوص در بارش‌های با شدت متوسط و البته ممکن است عامل اصلی در کمتر شدن خیز جریان رودخانه باشد.(لینزلی و همکاران، ۱۹۵۸).

۲-۲-۳-جریان آب زیرزمینی

بخشی از باران ممکن است به اعماق زمین نفوذ کند تا به سطح آب زیرزمینی برسد. این آب ملحق شده به آب زیرزمینی ممکن است درصورتی که سطح آب زیرزمینی رودخانه‌های حوضه را قطع نماید، در نهایت تحت عنوان جریان آب زیرزمینی یا جریان پایه یا جریان دوره خشک[1] در مجاری جریان ظاهر شود. مشارکت آب زیرزمینی در جریان رودخانه‌ها نمی‌تواند نوسانات سریعی داشته باشد چرا که دارای سرعت پایینی می‌باشد. اما از سوی دیگر آب باریده شده در مجاورت رودخانه‌هایی که در تقاطع با سطح آب زیرزمینی هستند، ممکن است بطور نسبی با سرعت بیشتری به جریان رودخانه-ای ملحق شوند.

[1] Dry-weather flow

حوضه‌های دارای خاک سطحی نفوذپذیر و حجم آب زیرزمینی بالا و تغذیه کننده آب‌های سطحی، در طول کل سال جریان بالایی را از خود نشان می‌دهند و در عین حال جریان سیلابی در مقایسه با جریان متوسط رودخانه، نسبت خیلی کمی خواهد داشت. اما حوضه‌های با خاک‌های سطحی دارای نفوذپذیری پایین یا دارای آب‌های زیرزمینی تغذیه شونده(درون‌ریز)، دارای نسبت جریان پیک سیلابی بزرگتری در مقایسه با متوسط جریان رودخانه خواهند بود که جریان بسیار کمی بین دو سیلاب و حتی صفر بروز می‌دهند.

آب ممکن است ابتدا روی زمین جاری شود و سپس نفوذ کرده و تحت عنوان جریان زیرسطحی، مسیر خود را کامل و به جریان رودخانه ملحق شود، یا آب نفوذ کرده در مکانی که یک چینه نفوذ ناپذیر دامنه کوه را قطع می‌کند از طریق جریان روزمینی به مسیر خود پایان داده و وارد جریان رودخانه‌ای شود. در مناطق آهکی، جریان آب زیرزمینی با سرعت زیاد و بطور متناوب از میان شکستگی‌ها و مجاری زیرزمینی که حاصل حل شدن آهک در آب است، حرکت می‌کند.

برای راحتی معمولاً کل جریان را به دو بخش رواناب سیلابی یا مستقیم و جریان پایه تقسیم می‌کنند. این تمایز در واقع به پایه زمانی که آب، به جریان رودخانه ملحق می‌شود، مربوط می‌شود تا به اینکه مسیری که آب ناشی از باران می‌پیماید. رواناب مستقیم به احتمال زیاد شامل رواناب سطحی و بطور ذاتی بخشی از جریان بینابینی (داخلی) می‌شود، در حالی که جریان پایه شامل جریان عظیم آب زیرزمینی در نظر گرفته می‌شود (لینزلی و همکاران،۱۹۵۸).

۲-۳-مدلسازی بارش-رواناب

۲-۳-۱-مقدمه ای بر مدلسازی

شبیه‌سازی رواناب خروجی یک حوضه امری پیچیده است، چرا که عوامل مختلفی در تعیین شرایط و چرخه آبی آن حوضه دخالت دارند. این عوامل از شرایط آب و هوایی(بارش، تبخیر) گرفته تا کاربری اراضی و شرایط مورفولوژیک حوضه را در برمی‌گیرد. بنابراین در پیش‌بینی رواناب از مدل‌های کامپیوتری استفاده می‌شود که اکثر این جنبه‌ها را در نظر می‌گیرند. مدل‌ها به دو گروه مدل‌های یکپارچه و مدل‌های توزیعی[۱] تقسیم می‌شوند. در مدل‌های یکپارچه، کل حوضه همانند مخزنی در نظر گرفته می‌شود که در آن پارامترهای هیدرولوژیکی مقدار متوسط داده‌های مکانی را به خود می‌گیرند. در مدل‌های توزیعی حوضه به سلول‌های(ناحیه) کوچکی تقسیم می‌شود، که امکان در نظر گرفتن پارامترها به صورت متغیر با مکان را فراهم می‌آورد. بنابراین در این مدل‌ها با تقسیم حوضه به قطعات کوچکتر، پارامترهای بیشتری نسبت به مدل‌های یکپارچه مورد نیاز است. ارجحیت مدل های یکپارچه به این دلیل است که مدل‌های توزیعی با فقدان اطلاعات به صورت متغیر با مکان و مشکل پردازش حجم عظیمی از اطلاعات همراه هستند. مشکل پردازش اطلاعات با پیشرفتی که اخیراً در کامپیوترها، کارتوگرافی رقومی، سیستم اطلاعات جغرافیایی و ابزارهای سنجش از دور صورت گرفته است، تا حدودی برطرف شده است، اما فقدان داده‌های هیدرولوژیک همچنان مشکل جدی این مدل‌ها محسوب می‌شود. در تقسیم‌بندی دیگر اگر مدل‌های شبیه‌سازی برای یک دوره زمانی کوتاه در نظر گرفته شوند همانند شبیه‌سازی برای یک رخداد بارندگی، مدل‌های تک رخداد[۲] نامیده می‌شوند ولی اگر قابلیت شبیه‌سازی یک دوره زمانی طولانی مدت را داشته باشند آنها را مدل‌های هیدرولوژیک پیوسته[۳] می‌نامند. مدل‌های هیدرولوژیک پیوسته را می‌توان بسته به فواصل زمانی شبیه‌سازی تقسیم بندی بیشتری نمود. اگر شبیه‌سازی انجام شده براساس مقیاس زمانی کوتاه همانند ساعتی یا روزانه باشد، در این صورت لازم است بیشتر فرایندهای چرخه آبی را در نظر گرفت. در این مورد نیاز به

[۱] Lumped models and distributed models
[۲] Event Based model
[۳] Continuous hydrologic models