دانشکده مهندسی عمران
گروه آب

رساله
برای دریافت درجه دکتری تخصصی در رشته مهندسی عمران- آب

عنوان

شبیه سازی هوشمند فرآیند بارش- رواناب در قالب یک مدل نیمه توزیعی متغیر در زمان

استادان راهنما

دکتر محمد تقی اعلمی
دکتر وحید نورانی

استاد مشاور
دکتر محمد علی قربانی

پژوهشگر
بهرام سعیدی فرزاد
بهمن ماه ۱۳۹۳

بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیم

به مادر صبور و مهربانم:

به او که قلب بزرگ مادرانه اش سرشار از فداکاری است

تقدیر و تشکر

لطف و مرحمت بی کران پروردگار حکیم را سپاسگزارم که هستیم بخشید و به طریق دانش رهنمونم ساخت و به همنشینی رهروان علم و معرفت مفتخرم نمود. سپاسگزار مادر مهربانم هستم که با صبوری مرا در این راه همراهی و حمایت نمود.

این مجموعه به پاس الطاف و زحمات اساتید گرانقدر و دلسوزم به سرانجام خود آنطور که می خواستیم رسید. برخود لازم می دانم از این بزرگواران و سایر عزیزانی که مرا در به انجام رساندن این امر یاری نمودند قدردانی نمایم.

با سپاس فراوان از زحمات جناب آقای دکتر محمد تقی اعلمی، استاد راهنمای عالم و فرهیخته ام که سالهاست از محضر پر فیض تعلیم و تربیتشان بهره ها می برم، هم ایشان که معرف اینجانب جهت حضور در عرصه تعلیم و تربیت در سالیان قبل بودند و در دوره دکتری نیز مشکلات پیش روی بسیاری را بزرگوارانه و با حسن خلق و فروتنی بر من آسان نمودند.

با امتنان بی کران از دانشمند جوان، جناب آقای پروفسور وحید نورانی استاد راهنمای دلسوز اینجانب که زحمات فراوانی را در تمام مراحل از ابتدا تا انتهای دکتری متحمل شدند و با تلاش های بی دریغ، قدم به قدم راهنمای بنده در ورود سیستماتیک به عرصه علم و پژوهش بودند که در این خصوص هر چه بگویم کم گفته ام. امیدوارم همواره پذیرای بنده به عنوان دانشجوی خویش باشند.

از جناب آقای دکتر محمد علی قربانی که در سمت استاد مشاور در چندین جلسه از راهنمایی هایشان قبل از ارائه پروپوزال و بعد از آن بهره بردم تشکر می نمایم.

همچنین از استاد راهنمای گرامی پروفسور ک.دابلیو. چائو و دانشجوی دکترای ایشان ریکاردو تائورمینا که در دوره فرصت مطالعاتی اینجانب در دانشگاه پلی تکنیک هنگ کنگ نهایت تلاش خود را با رهنمود های علمی برای بهبود و توسعه الگوریتم های رساله اینجانب نمودند تشکر و قدر دانی می نمایم.

از جناب آقای پروفسور یوسف حسن زاده که در تمام دوران تحصیلات دانشگاهیم از لیسانس تا دکتری از محضر ایشان کسب علم و اخلاق نمودم و از حمایت و راهنمائیهایشان بهره بردم و زحمت داوری رساله را نیز بر عهده داشتند تقدیر و تشکر می نمایم.

از سایر داوران رساله، جناب آقایان پروفسور مجید خلقی و دکتر محمد تقی ستاری که زحمت مطالعه و بررسی این پژوهش را تقبل فرمودند و از راهنمایی های ارزنده شان استفاده نمودم، سپاسگزارم.

از تمام اساتید گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز و نیز مسئولین دانشگاه شهید مدنی آذربایجان که صمیمانه مسیر پیشرفت بنده را میسر نمودند متشکرم.

نام خانوادگی دانشجو: سعیدی فرزاد نام: بهرام

عنوان رساله: شبیه سازی هوشمند فرآیند بارش- رواناب در قالب یک مدل نیمه توزیعی متغیر در زمان

استادان راهنما: دکتر محمد تقی اعلمی و پروفسور وحید نورانی

استاد مشاور: دکتر محمد علی قربانی

مقطع تحصیلی: دکتری تخصصی رشته: مهندسی عمران گرایش: آب

دانشگاه: تبریز دانشکده: مهندسی عمران تاریخ فارغ التحصیلی: ۱۳۹۳

کلید واژه ها: مدلسازی ژئومورفولوژیکی بارش- رواناب، هوش محاسباتی، بهینه سازی چند ایستگاهه NSGA-II، استراتژی های کالیبراسیون، تغییر کاربری اراضی/ پوشش گیاهی، حوضهٔ آبریز شاخهٔ جنوبی رودخانه ایل

چکیده:

شبیه سازی فرآیند بارش-رواناب نقش بسیار مهمی را در برنامه ریزی های شهری، محیط زیستی، کاربری اراضی، مدیریت منابع آب و سیل و نیز کاهش اثرات خشکسالی در سیستم های منابع آب می تواند ایفا کند. هدف این رساله ارائه شیوه ای از مدلسازی هیدرولوژیکی به صورت مدل خطی متغیر در زمان است که در کنار لحاظ نمودن تغییرات زمانی در مدلسازی در برگیرنده ویژگی های تغییرات مکانی نیز بوده و قابل اعمال در هر مطالعه موردی باشد. بر این اساس در این تحقیق ترکیبی از دو نگرش مفهومی نیمه توزیعی (بخش خطی و متغیر در مکان مدل سازی) و سیستمی یا جعبه سیاه (بخش متغیر در زمان مدل سازی) در بررسی مدلسازی فرآیند بارش ـ رواناب با استفاده از ابزار هوش محاسباتی مورد توجه قرار گرفته و در محاسبه و پیش بینی تغییرات آتی پارامتر معرف مشخصات حوضه آبریز(کاربری اراضی/ پوشش گیاهی) در مورد حوضهٔ آبریز شاخهٔ جنوبی رودخانه ایل مورد استفاده قرار گرفته است.

بر اساس نگرش مفهومی نیمه توزیعی بکار گرفته شده در این تحقیق با تقسیم حوضه آبریز به زیر حوضه‌ها و اعمال مدل مخزن خطی به آنها مجموعه‌ای از مدل‌های همگن خطی به دست می‌آید که میزان بارش بر روی هر یک از آنها می‌تواند متفاوت باشد ولی بر هر یک به طور یکنواخت توزیع شده است. بر این اساس دو مدل ژئومورفولوژیکی به نام های مدل تصحیح یافته مدل GUHN و مدل آبشار مخازن نا مساوی UECR ارائه می شود. دو پارامتر زمان تاخیر مخزن خطی k و پارامتر زمان تاخیر کانال خطی T در این مدل ها بکار رفته است. پارامتر k دلالت بر انتقال بارش به رواناب بر روی زمین داشته در حالیکه پارامتر T مربوط به انتقال رواناب در طول مسیر رودخانه ها و آبراهه ها می باشد. برای لحاظ نمودن تأثیر داده های دبی مشاهداتی سایر ایستگاه های داخل حوضه آبریز و یا به عبارت دیگر کالیبراسیون دو ایستگاهه در مدلسازی از روش بهینه سازی NSGA-II استفاده شده است. کاربرد روش بهینه سازی

NSGA-II در چهار چوب کالیبراسیون دو ایستگاهه در زمینه مدلسازی هیدرولوژیکی رویداد- پایه از جمله نو آوری های این پژوهش می باشد. مدلسازی دو ایستگاهه با بهینه‌سازی همزمان ایستگاههای بالادست و پایین‌دست می‌تواند منجر به انتشار اثرات شرایط و پارامترهای زیرحوضه‌های بالادست به زیرحوضه‌های پائین‌دست شده، مفهوم و تفسیر فیزیکی پارامترهای مدل را افزایش دهد. کاربرد جدیدی از دو استراتژی کالیبراسیون در زمینه مدلسازی هیدرولوژیکی رویداد- پایه تحت عنوان استراتژی کالیبراسیون نیمه گرده ای و استراتژی کالیبراسیون نیمه توزیعی با لحاظ نمودن خصوصیات ژئوموفولوژیکی و عدم لحاظ نمودن آنها در این تحقیق ارائه شده است. در مجموع نتایج کلی نشان دهنده برتری استراتژی کالیبراسیون نیمه گرده‌ای نسبت به استراتژی کالیبراسیون نیمه توزیعی است.

در بخش نگرش سیستمی این تحقیق، داده های اندازه گیری حدود سی سال جهت استخراج و تجزیه و تحلیل رویدادهای بارش-رواناب مورد استفاده قرار گرفته است. در این بخش، از مدل UECR بر اساس استراتژی کالیبراسیون نیمه گرده ای استفاده شده است. نتایج بدست آمده نشان می دهد که مدل پیشنهادی حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات زمانی پارامتر k داشته و تغییرات طولانی مدت آن می‌تواند به عنوان معیاری از تغییر پوشش گیاهی و کاربری اراضی در طی زمان باشد. نتیجتاً در این تحقیق برای اولین بار جهت شناسایی و پیش‌بینی تغییرات درخصوصیات حوضه آبریز اقدام به مدلسازی تغییرات سری زمانی پارامتر k از طریق دو رهیافت شبکه عصبی- پایه شامل یک مدل شبکه عصبی ساده و یک مدل ترکیبی شبکه موجکی- عصبی $WANN$ صورت گرفته است. بر این اساس متغیر های ورودی مناسب در مدلسازی که شامل ترکیبی از پارامتر زمان تأخیر حوضه، تبخیرتعرق و دما است با استفاده از روش تابع اطلاعات مشترک MI تعیین شده است. با مقایسهٔ دو مدل شبکه عصبی- پایه (یعنی شبکه عصبی ساده و WANN)، ملاحظه می‌شود مدل WANN بسیار کاراتر از شبکه عصبی ساده می‌باشد. نتایج کلی تایید کننده این مطلب است که بررسی تغییرات دراز مدت پارامتر k می تواند یک روش معقول برای ارزیابی و پیش بینی تغییر کاربری اراضی و پوشش گیاهی حوضه آبریز باشد.

عنوان مطالب | فهرست مطالب | صفحه

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱- آشنایی با مفاهیم وکلیات و اهمیت موضوع ۲

۱-۲- ساختار رساله ۶

فصل دوم: پیشینه پژوهش و نو آوری ۸

۲-۱- مدلسازی مفهومی ۹

۲-۲- مدلسازی نیمه توزیعی و مدلسازی ژئومورفولوژیکی ۱۰

۲-۳- مدلسازی جعبه سیاه ۱۳

۲-۴- تخمین پارامترها ۱۸

۲-۵- شناسایی، کمی سازی و پیش بینی تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی ۲۳

۲-۶ - نوآوری رساله ۲۵

۲-۶-۱- سوالات تحقیق ۲۷

۲-۶-۲- فرضیات تحقیق ۲۸

فصل سوم: مواد و روش ها (روش انجام پژوهش) ۳۰

۳-۱- مدلسازی مفهومی برمبنای IUH و مدل های ارائه شده جدید ۳۱

۳-۱-۱- مدل اول(مدل GUHN اصلاح شده) ۳۳

۳-۱-۲- مدل دوم (مدل UECR) ۳۷

۳-۲- استراتژی های کالیبراسیون ۴۱

۳-۳- بهینه‌سازی چند هدفه ۴۲

۳-۴- مرحله مدل‌سازی پارامتری شبکه عصبی- پایه ۴۵

۳-۴-۱- کلیات شبکه های عصبی- مصنوعی ۴۶

۳-۴-۲- مدل شبکه عصبی ساده ۴۹

۳-۴-۳- کلیاتی از تبدیل موجک ۵۲
۳-۴-۴- مدل ترکیبی شبکه عصبی- موجکی WANN ۵۹
۳-۵- معیارهای سنجش و ارزیابی مدل‌ها ۶۲
فصل چهارم: حوضهٔ مطالعاتی و داده‌های مربوطه ۶۴
فصل پنجم: نتایج و بحث ۷۲
۵-۱- کلیات ۷۳
۵-۲- نتایج بخش اول ۷۳
۵-۲-۱- نتایج واسنجی و صحت سنجی مدل‌ها ۷۳
۵-۲-۲- بحث نتایج بخش اول ۸۱
۵-۲-۲-۱- مقایسه نتایج بین مدل‌های مختلف ۸۷
۵-۲-۲-۲- مقایسه نتایج بین ایستگاه پائین دست (ایستگاه ۱) و ایستگاه بالا دست (ایستگاه ۲) ۸۷
۵-۲-۲-۳- مقایسه نتایج بین دو استراتژی کالیبراسیون ۸۸
۵-۳- نتایج بخش دوم ۸۹
۵-۳-۱- نتایج واسنجی و صحت سنجی مدل توسعه یافته UECR برای داده های طولانی مدت ۸۹
۵-۳-۲- نتایج تولید سری های زمانی پارامترها ۹۲
۵-۳-۳- نتایج مدل شبکه عصبی ساده ۹۶
۵-۳-۴- نتایج مدل WANN ۱۰۰
فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۰۷
۶-۱- نتیجه‌گیری کلی ۱۰۸
۶-۲- پیشنهادات ۱۱۰
منابع مورد استفاده ۱۱۲

فصل سوم

جدول ۳- ۱- استراتژی های کالیبراسیون ۳۸

فصل چهارم

جدول ۴-۱- اطلاعات مربوط به ایستگاههای دبی سنجی ۶۸

جدول ۴-۲- اطلاعات مربوط به زیرحوضه ها ۶۸

جدول ۴-۳- مشخصات مربوط به رویدادهای رگباری ۶۹

فصل پنجم

جدول ۵-۱- نتایج پارامترهای واسنجی شده مدل های مختلف ۷۴

جدول ۵-۲- نتایج صحت سنجی مدل تصحیح شده GUHN، مدل توسعه یافته UECR و مدل ناش ۷۵

جدول ۵-۳- مشخصات آماری مربوط به کل رویدادهای رگباری مشاهداتی بین سالهای ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۳ ..... ۸۹

جدول ۵-۴- نتایج حاصل از واسنجی و صحت سنجی مدل UECR برای داده های طولانی مدت ۸۹

جدول ۵-۵- نتایج و ساختار مدل سادهٔ ANN برای پیش بینی k_1^{t+1} ۹۶

جدول ۵-۶- نتایج و ساختار مدل سادهٔ ANN برای پارامتر k زیر حوضه ها ۹۷

جدول ۵-۷- نتایج مدل WANN با متغیرهای ورودی مختلف، موجک های مادر و مرتبهٔ تجزیهٔ مختلف

برای k_1 ..... ۱۰۰

جدول ۵-۸- نتایج مدل WANN برای پارامتر k زیر حوضه ها ۱۰۳

فصل دوم

شکل ۲-۱- طرح شماتیک مدلسازی..... ۲۶

فصل سوم

شکل ۳-۱- ساختار شماتیک نسخهٔ جدید مدل GUHN ۳۲

شکل ۳-۲- ساختار شماتیک مدل UECR..... ۳۶

شکل ۳-۳- نمایش شماتیک الگوریتم NSGA-II..... ۴۰

شکل ۳-۴- شبکه عصبی پیشرو با الگوریتم انتشار برگشتی با ساختار سه لایه ای..... ۴۴

شکل ۳- ۵- نمایش شماتیک مدل ANN ساده..... ۴۹

شکل ۳- ۶- نمایش شماتیک تجزیه تک مرحله ای با تبدیل موجک گسسته..... ۵۲

شکل ۳- ۷- نمایش شماتیک تجزیه چند مرحله ای با تبدیل موجک گسسته ۵۳

شکل ۳-۸- نمایش تابع موجک مادر Haar یا db1 ..... ۵۶

شکل ۳-۹- نمایش خانواده تابع موجک *Daubechies* (*dbN*)..... ۵۶

شکل ۳-۱۰- نمایش خانواده تابع موجک *Symlet* (*symN*)..... ۵۷

شکل ۳-۱۱- نمایش خانواده تابع موجک *Coiflets* (*coifN*) ۵۷

شکل ۳-۱۲- نمایش شماتیک مدل شبکه عصبی- موجکی WANN..... ۵۹

فصل چهارم

شکل ۴-۱- حوضه آبریز شاخه جنوبی رودخانه ایل (a) نقشه موقعیت (b) نقشه ژئومورفولوژیکی ۶۵

شکل۴-۲- عکس های هوایی از ایستگاههای دبی سنجی حوضه آبریز شاخه جنوبی رودخانه ایل..... ۶۷

شکل ۴-۳- الف- سری زمانی تبخیرتعرق ماهانه..... ۷۰

شکل ۴-۳-ب- سری زمانی دمای متوسط ماهانه..... ۷۰

فصل پنجم

شکل ۵-۱- الف- نتایج واسنجی مدل های مختلف برای رویداد مورخهٔ ۲۸ نوامبر ۲۰۱۱ در خروجی ۱..... ۷۶

شکل ۵-۱- ب- نتایج واسنجی مدل های مختلف برای رویداد مورخهٔ ۲۸ نوامبر ۲۰۱۱ در خروجی ۲..... ۷۶

شکل ۵-۲- الف- نتایج واسنجی مدل های مختلف برای رویداد مورخهٔ ۱۱ آوریل ۲۰۱۰ در خروجی ۱..... ۷۷

شکل ۵-۲- ب- نتایج واسنجی مدل های مختلف برای رویداد مورخهٔ ۱۱ آوریل ۲۰۱۰ در خروجی ۲..... ۷۷

شکل ۵-۳- الف- نتایج صحت سنجی مدل های مختلف برای رویداد مورخهٔ ۲۳ فوریه ۲۰۰۸ در خروجی ۱..... ۷۸

شکل ۵-۳- ب- نتایج صحت سنجی مدل های مختلف برای رویداد مورخهٔ ۲۳ فوریه ۲۰۰۸ در خروجی ۲..... ۷۸

شکل ۵-۴- الف- نتایج صحت سنجی مدل های مختلف برای رویداد مورخهٔ ۱۲ آوریل ۲۰۱۲ در خروجی ۱..... ۷۹

شکل ۵-۴- ب- نتایج صحت سنجی مدل های مختلف برای رویداد مورخهٔ ۱۲ آوریل ۲۰۱۲ در خروجی ۲..... ۷۹

شکل ۵-۵ - جبههٔ پارتو و بهترین جواب متوازن-(الف) رویداد ۲۸ نوامبر ۲۰۰۳ –(ب) رویداد ۴ می ۲۰۰۹..... ۸۰

شکل ۵-۶- مقادیر پارامترها برای مدل تصحیح شده GUHN..... ۸۲

شکل ۵-۷- مقادیر پارامترها برای مدل UECR ۸۳

شکل ۵-۸- نتایج واسنجی..... ۸۴

شکل ۵-۹- نتایج صحت سنجی..... ۸۵

شکل ۵-۱۰- نمودار *Box-plot* برای ۸ پارامتر محاسبه شده..... ۹۰

شکل ۵-۱۱- سری زمانی ماهانهٔ پارامتر k برای(الف)زیر حوضه۱ (ب) زیر حوضه ۲

(ج) زیر حوضه ۳ (د) زیر حوضه ۴..... ۹۱

شکل ۵-۱۲- سری زمانی ماهانهٔ پارامتر T برای(الف)زیر حوضه۱ (ب) زیر حوضه ۲

(ج) زیر حوضه ۳ (د) زیر حوضه ۴ ..... ۹۳

شکل ۵-۱۳- نتایج مدل ساده ANN برای سری زمانی پارامتر k در زیر حوضه۱

(الف)- سری زمانی مشاهداتی و محاسباتی (ب)- منحنی پراکنش برای مرحله صحت سنجی ۴..... ۹۸

شکل ۵-۱۴- زیر سری های تجزیه شده مربوط به بهترین جواب بدست آمده از جدول ۵-۷..... ۱۰۲

شکل ۵-۱۵- نتایج مدل *WANN* برای سری زمانی پارامتر *k* در زیر حوضه ۱

(الف)- مقایسه سری های زمانی (ب)- منحنی پراکنش برای مرحله صحت سنجی ۱۰۴

فصل اول: مقدمه

۱-۱- آشنایی با مفاهیم و کلیات و اهمیت موضوع

رشد سریع جمعیت، شهرسازی و صنعتی شدن نیاز به آب را افزایش داده و موجب دگرگونی حوضه‌های آبریز و سیستم‌های رودخانه‌ای گشته و افزایش تلفات جانی و مالی ناشی از سیلاب را به دنبال دارد. از طرفی تغییرات اقلیمی و کمبود آب، اهمیت حیاتی برنـامه‌ریـزی، طـراحی و مدیریت سیسـتم‌های منابع آب با دقـت بالا و هوشمندانه و بر اساس روش های پیشرفته را به طور چشمگیری بالا برده است. ایران جزو مناطق خشک و نیمه خشک است و براین اساس نیاز به شناخت فرآیندهای چرخش، استحصال و استفاده بهینه از آب امری اجتناب ناپذیر است که این در گرو شناخت فرآیندهای هیدرولوژیکی است. تغییرات زیاد، تصادفی بودن و عدم قطعیت از مشخصه‌های یک پدیده هیدرولوژیکی است. به علت طبیعت تصادفی فرآیندهای هیدرولوژیکی در تحلیل و توصیف این پدیده‌ها ناگزیر از به کارگیری مدل‌ها با توانایی بالا هستیم. مدل نمایش سادهٔ یک سیستم پیچیده است که فقط تعدادی از مشخصه‌های سیستم و نه همهٔ آنها را شبیه‌سازی می‌کند. درجهٔ سادگی و پیچیدگی مدل به هدف و خواستهٔ آن وابسته است. به طور کلی دو هدف عمده از مدل‌سازی هیدرولوژیکی وجود داردکه عبارتند از آزمون نظریات ارائه شده در مورد فرآیندها و سیستم‌ها و پیش‌بینی رفتار سیستم‌ها. مدل‌های پیش‌بینی کننده اغلب به عنوان ابزار کاربردی برای کمک به وظایفی نظیر پیش‌بینی سیل، برنامه‌ریزی آبیاری و غیره بکار می‌روند. برای مدیریت بحران وقایع ناشی از فرآیندهای هیدرولوژیکی به خصوص فرآیند بارش ـ رواناب، پیش‌بینی آنها ضروری است و لازمه آن در اختیار داشتن مدل‌های مناسب پیش‌بینی کننده است. در این زمینه محققان همواره در تلاش برای یافتن روش‌ها و تکنیک‌های پیشرفته جهت افزایش دقت مدل‌ها هستند چرا که به دلیل تغییرات گسترده زمانی و مکانی، سیستم‌ها و فرآیندهای هیدرولوژیکی از پیچیدگی خاصی برخوردارند و نیازمند تلاش بسیاری در این زمینه هستند.

مدل‌های هیدرولوژیکی مختلفی تا کنون جهت مدل‌سازی بین عوامل موثر در تعیین دبی خروجی یک حوضه آبریز و نیز ارتباط تغییرات دبی با مشخصات مورفولوژیکی و آب و هوایی حوضه آبریز ارائه شده‌اند ولی با توجه به ماهیت غیرخطی فرآیند بارش ـ رواناب این مساله همواره از پیچیدگی ویژه‌ای برخوردار است. در ارتباط با پیچیدگی فرآیند بارش ـ رواناب، مولیگان[1] (۲۰۰۴) اذعان می‌دارد که: «موارد بسیاری در هیدرولوژی وجود دارند که دانش ما در ارتباط با آنها اندک و مقدماتی می‌باشد ولی نیازی به تدوین و ارئه مدل‌های پیشرفته‌تر در این موارد وجود ندارد، اما هنوز مواردی نیز هستند که یا فرآیندهای هیدرولوژیکی مربوطه بسیار پیچیده بوده و یا اطلاعات ما درباره آنها بسیار اندک است و هنوز جا برای

[1] Mulligan

گسترش مدل‌های مربوطه وجود دارد که فرآیند بارش ـ رواناب یکی از این موارد پیچیده می‌باشد» . از آنجا که در اکثر پروژه ها وطرح های مهندسی داشتن یک تخمین ازکمیت وکیفیت رواناب حاصله از بارش ضروری است، هدف نهایی از مدلسازی بارش- رواناب نیز یافتن راه حلی تا حد امکان دقیق برای برآورد رواناب حاصل از بارش در یک حوضه آبریز و بررسی ارتباط تغییرات آن با مولفه های موثر در تولید رواناب می باشد. اما فرآیند بارش ـ رواناب یک فرآیند پیچیده و غیرخطی است و دارای تغییرات زمانی و مکانی وسیعی بوده و به سادگی قابل مدل‌سازی نمی‌باشد. به این دلیل مدل‌های پیش‌بینی کننده مختلفی با دیدگاه‌های متفاوت برای توسعه و بهبود مدل‌سازی این فرآیند ارائه شده است. در حالت کلی سه نگرش تئوریکی ، مفهومی[1] و سیستمی (یا مدل جعبه سیاه) در مدلسازی فرآیند بارش ـ رواناب وجود دارد. مدلهای تئوریکی شامل مجموعه‌ای از اصول تئوری و مهمترین قوانین حاکم بر پدیده‌اند و ممکن است حاوی اجزای تجربی نیز باشند. یک مدل تئورتیکال ساختار منطقی مشابهی با سیستم دنیای واقعی دارد و ممکن است در صورت تغییر شرایط باز هم سودمند باشد. مدل‌های تئوریکی به درک یک فرآیند کمک می‌کنند و عموماً اطلاعات را با جزئیات بیشتری در بعد زمان و مکان تولید می‌کنند و دارای پارامترهایی هستند که در اصل از اهمیت فیزیکی برخوردارند و می‌توان آنها را با اندازه‌گیری‌های مستقل برآورد کرد. مدلهای سیستمی بر مبنای قوانین فیزیکی نیستند، بندرت واقعیت‌ها را نشان می‌دهند و فقط معرف داده‌ها می‌باشند. اگر شرایط تغییر کند توانایی پیش‌بینی را ندارند. بنابراین در تمام مدل‌های سیستمی احتمال تصادفی بودن وجود دارد و اصولاً نباید در خارج از محدودهٔ داده‌هایی که با استفاده از آن‌ها مدل تهیه شده است استفاده شود. مدل‌های سیستمی به درک فیزیکی مسائل کمک نمی‌کنند و ممکن است دارای پارامترهایی باشند که اهمیت فیزیکی مستقیمی ندارند و فقط با استفاده از اندازه‌گیری‌های همزمان روی ورودی و خروجی قابل برآورد باشند. در بسیاری از حالات ممکن است مدل‌های سیستمی نتایج دقیقی داشته باشند و در تصمیم‌گیری‌ها مفید واقع شوند. در مدل‌های مفهومی از قوانین فیزیکی در شکل بسیار ساده شدهٔ آن استفاده می‌شود. ساختار مدل مفهومی براساس استنباط هیدرولوژیست از مهمترین اجزای فرآیند، از قبل مشخص می‌شود. این مدل‌ها پارامترهایی دارند که ممکن است اهمیت فیزیکی مستقیمی داشته باشند و بتوان آنها را از داده‌های همزمان ورودی و خروجی برآورد کرد. عموماً تعداد پارامترهای مدل‌های مفهومی کمتر از مدل‌های فیزیکی است. دو نوع زیر طبقه‌بندی مدل نیز در بررسی مدلسازی فرآیند بارش ـ رواناب رایج است که عبارتند از مدل‌های خطی، غیرخطی و مدلهای گرده‌ای[2]، توزیعی[3]. مدل‌ها از دیدگاه تئوری سیستم‌ها

[1] Conceptual
[2] Lumped
[3] Distributed

می‌توانند خطی یا غیرخطی باشند. از دید تئوری سیستم‌ها سیستمی خطی است که دو اصل تناسب‌پذیری و جمع پذیری در آن صادق باشد در غیر این صورت سیستم غیرخطی است. اکثر سیستم‌های هیدرولوژی غیرخطی هستند و برای سهولت خطی فرض می‌شوند. البته رفتار بعضی از سیستمهای هیدرولوژیکی در محدودهٔ مشخصی از عمل آن ممکن است خطی باشد. مدل‌های هیدرولوژیکی از دیدگاه تغییرات مکانی می توانند گرده ای یا توزیعی باشند. در مدل گرده‌ای، ورودی‌ها، خروجی‌ها یا پارامترها تابعی از مکان نیستند یا بعبارت دیگر تغییرات مکانی بطور صریح در این مدل لحاظ نمی‌شود (مدل همگن) در حالیکه در مدل توزیعی، متغیرها و پارامترهای مدل تابعی از مکان هستند و لذا تغییرات مکانی در نظرگرفته می‌شود (مدل غیرهمگن). مدل‌های گرده‌ای بوسیله معادلات دیفرانسیل معمولی و مدل‌های توزیعی با معادلات دیفرانسیل جزئی توصیف می‌شوند. مدل‌های نیمه توزیعی(یا نیمه گرده‌ای) توسعه یافتهٔ مدل‌های گرده‌ای و خلاصه شدهٔ مدل‌های توزیعی هستند. مدلهای نیمه توزیعی پارامترهایی دارند که به خصوصیات فیزیکی حوضه ارتباط دارد بنابراین آنها نیازمند انجام کار بیشتری بر روی کالیبراسیون در مقایسه با مدلهای گرده‌ای هستند. اما از طرف دیگر به داده‌های میدانی بسیار کمتری از مدلهای توزیعی نیاز دارند.

پیرو مطالب فوق، در این تحقیق ترکیبی از دو نگرش مفهومی نیمه توزیعی و سیستمی (جعبه سیاه) در بررسی مدلسازی فرآیند بارش ـ رواناب مورد توجه قرار گرفته و در محاسبه و پیش بینی تغییرات آتی پارامتر هیدرولوژیکی معرف مشخصات حوضه آبریز مورد استفاده قرار گرفته است. دیدگاه مفهومی کاربرد وسیعی در پیش بینی فرآیند های هیدرولوژیکی داشته و پرکاربردترین مدل پایه در این نگرش مدل مخزن خطی است که به صورت ترکیبی از مخازن خطی سری یا موازی مورد استفاده قرار می گیرد. فرم نیمه توزیعی این نگرش با در نظر گرفتن پارامترهای هیدرولوژیکی از نقاط داخل حوضه آبریز امکان لحاظ نمودن بررسی تغییرات مکانی آنها را فراهم می نماید. درنگرش سیستمی هدف از مدلسازی ایجاد یک نگاشت بین داده های ورودی و خروجی بدون در نظر گرفتن قوانین فیزیکی حاکم بر فرآیند پدیده می باشد. نگرش سیستمی در زمینه مدلسازی فرآیندهای پیچیده بر بسیاری از مشکلات و پیچیدگی های نگرش تئوریکی و محدودیت ناشی از عدم وجود داده های فیزیکی مناسب غلبه نموده و می تواند روشی موثر برای مدلسازی محسوب شود. از مشهورترین مدل ها در این نگرش مدل سری زمانی است که برای پیش بینی فرآیندهای هیدرولوژیکی به کار گرفته شده است. مدل های سری زمانی کلاسیک خطی بوده و در پیش بینی فرآیندهای غیرخطی با مشکل مواجه می شوند. برای غلبه

بر این محدودیت، امروزه گروه دیگری از مدل های جعبه سیاه بر اساس دانش هوش محاسباتی[1] مورد توجه قرار گرفته است که کارایی بالایی را در مدلسازی پدیده های غیرخطی از خود نشان داده اند. اما تحقیقات انجام گرفته با این روش مشابه با سایر روشهای مبتنی بر نگرش سیستمی اغلب بر اساس داده های زمانی بوده و توجه چندانی به لحاظ نمودن تغییرات مکانی پارامترها در ساختار این گونه مدلسازی ها صورت نپذیرفته است. بنابر این ارائه شیوه ای از مدلسازی هیدرولوژیکی که در کنار لحاظ نمودن تغییرات زمانی در مدلسازی در برگیرنده ویژگی های تغییرات مکانی نیز بوده و قابل اعمال در هر مطالعه موردی باشد بسیار مطلوب به نظر می آید.

پیرو نکات فوق توجه اصلی در این پژوهش طراحی مدل مناسبی است که بتواند پاسخگوی خواسته های یاد شده باشد. از این منظر نخست به بررسی مدل های مفهومی بر مبنای مدل مخزن خطی و هیدروگراف واحد لحظه ای IUH[2] پرداخته شده است. در صورتی که این مدل برای کل حوضه آبریز بکار گرفته شود آن وقت مدلی گرده‌ای یا همگن حاصل می‌شود که در آن سیستم خطی بر حوضه حاکم بوده ولی تغییرات مکانی به صورت صریح در آن لحاظ نمیشود. برای رعایت غیر همگن بودن مدل و در عین حال خطی بودن آن، فرض می‌شود با تقسیم حوضه آبریز به زیر حوضه‌ها و اعمال مدل مخزن خطی به آنها مجموعه‌ای از مدل‌های همگن خطی به دست می‌آید که میزان بارش بر روی هر یک از آنها می‌تواند متفاوت باشد ولی بر هر یک به طور یکنواخت توزیع شده است. در واقع با این عمل یک مدل مفهومی نیمه توزیعی بدست می آید. بر این اساس دو مدل ژئومورفولوژیکی به نام های مدل تصحیح یافته مدل GUHN[3] و مدل آبشار مخازن نا مساوی UECR[4] ارائه می شود.

در مدلسازی های متداول انجام یافته بر مبنای مخزن خطی پارامتر k مخزن خطی (که همان ضریب ذخیره است) ثابت فرض می‌شود در حالیکه در عمل پارامتر k نسبت به زمان متغیر است چراکه این پارامتر انعکاس‌دهندهٔ اثر زبری، میزان رطوبت خاک و ... است که آن هم با توجه به وضعیت پوشش گیاهی، کاربری زمین و میزان شهرسازی و ... می‌تواند در هر ماه یا فصل تغییر نموده و دارای تغییرات دراز مدت باشد. علاوه بر پارامتر k پارامتر دیگری نیز برای دخالت دادن اثر جابجایی توده آب در مسیر کانال اصلی، به نام پارامتر انتقال یا زمان تاخیرکانال خطی T در مدلسازی درنظرگرفته می شود. برای کالیبراسیون پارامترها دو استراتژی متفاوت در این پژوهش به کار برده می شود. در استراتژی کالیبراسیون اولی

[1] Computational intelligence
[2] Instantaneous Unit Hydrograph
[3] Geomorphological Unit Hydrograph based on Nash's model
[4] Unequal Cascade of Reservoirs

تمام k و T های مربوط به هر زیر حوضه به طور مستقیم به عنوان پارامترهای کالیبراسیون درنظر گرفته می شود و در دومی با لحاظ نمودن خصوصیات ژئوموفولوژیکی مرتبط با k و T تعداد پارامترهای کالیبراسیون کاهش داده می شود. استراتژی اول استراتژی نیمه توزیعی و استراتژی دوم استراتژی نیمه گرده ای می باشد.

در گام بعد برای لحاظ نمودن تأثیر داده های دبی مشاهداتی سایر ایستگاه های داخل حوضه آبریز در مدلسازی از روش بهینه سازی[1] NSGA-II استفاده شده است. کاربرد استراتژی های کالیبراسیون نامبرده شده در بالا و نیز روش بهینه سازی NSGA-II در زمینه مدلسازی هیدرولوژیکی رویداد- پایه[2] از نو آوری های این پژوهش می باشد. بر این اساس پارامترهای کالیبراسیون دو مدل UECR و مدل تصحیح یافته مدل GUHN با استفاده از روش NSGA-II بر مبنای هر دو سناریوی نیمه توزیعی ونیمه گرده ای تخمین زده می شود. در گام نهایی روشی جدید برای شناسایی، کمی سازی و پیش بینی تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی حوضه آبریز بر مبنای بررسی تغییرات سری زمانی پارامترهای k مدل UECR ارائه شده است. بر این اساس برای پیش‌بینی تغییرات زمانی این پارامترها، دو مدل شبکه عصبی مصنوعی - پایه شامل مدل شبکه عصبی مصنوعی ساده و مدل ترکیبی شبکه عصبی - موجکی به عنوان پردازشگر غیرخطی بکار گرفته شده است. لذا بر این اساس غیرخطی بودن فرآیند بارش- رواناب به نوعی در اینجا لحاظ می‌شود. بنابراین در کل می توان گفت مدل ارائه شده یک مدل مفهومی نیمه توزیعی متغیر در زمان با استفاده از ابزارهای هوش محاسباتی است.

لازم به ذکر است که به دلیل وجود عدم قطعیت ها و عوامل نامعین در بررسی های مربوط به فرآیندهای هیدرولوژیکی هیچگاه نمی توان به ماهیت واقعی و دقیق آنها دست یافت و لذا همواره می توان پژوهش هایی را برای توسعه و بهبود روش ها، مدل ها و ابزارهای موجود انجام داد.

۱-۲- ساختار رساله

این رساله در شش فصل تنظیم شده است. بعد از فصل اول یا مقدمه که فصل حاضر است، مروری بر تحقیقات گذشته و نوآوری های پژوهش حاضر در ادامه در فصل دوم آورده شده است. در فصل سوم که حاوی مواد وروش های انجام پژوهش می باشد به معرفی روش های مدلسازی مفهومی بر مبنای IUH، مدلهای ژئومورفولوژی پیشنهادی، استراتژی های کالیبراسیون، بهینه سازی چند ایستگاهه، و روش ها و ابزارهای مورد نیاز در دانش هوش محاسباتی شامل مدل‌سازی

[1] Elitist Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm
[2] Event-based

پارامتری شبکه عصبی- پایه بر مبنای دو مدل شبکه عصبی ساده و مدل ترکیبی شبکه عصبی- موجکی WANN[1] و در انتها معیارهای سنجش و ارزیابی مدل‌ها پرداخته شده است. در فصل چهارم حوضه مطالعاتی و داده های مورد استفاده آورده شده است و در فصل پنجم نتایج هر یک از مدل ها مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. نتیجه گیری کلی از رساله همراه با پیشنهادات برای تحقیقات آینده نیز در فصل آخر ارائه شده است.

[1] Wavelet-Artificial Neural Network

فصل دوم: پیشینه پژوهش و نو آوری