

ارزیابی میزان سهم انسان و اقلیم در بروز تغییر رژیم هیدرولوژیکی به صورت قطعی و فازی: مطالعه موردی حوضه آبریز گرگانروود متنه‌ی به ایستگاه هیدرومتری تمر

محمدمسعود محمدپور خوئی^۱، محسن ناصری^{۲*} و سیدمحمدعلی بنی‌هاشمی^۲

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۲. دانسیار، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

(دریافت: ۱۴۰۰/۶/۶، پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۱۱/۳۰)

چکیده

انسان همواره به منظور ارتقا رفاه اجتماعی و اقتصادی مداخلات جدی و قابل ملاحظه‌ای در طبیعت انجام داده که مسبب بروز دگرگونی‌هایی در طبیعت شده است. چرخه هیدرولوژی یکی از مهم‌ترین سیستم‌هایی است که تاکنون مورد مورد دلالت‌های بسیاری قرار گرفته و به موجب آن، جنبه‌های مختلف رفتار هیدرولوژیک تغییر کرده است. یکی از این متغیرهای هیدرولوژیکی، جریان رودخانه است که متغیر مهمی در بیلان آب به شمار می‌رود. فعالیت‌هایی همچون انتشار گازهای گلخانه‌ای که سبب تغییر اقلیم و در نهایت تغییر در رژیم رودخانه می‌شوند، به عنوان عامل غیرمستقیم و فعالیت‌هایی همچون احداث سدها، صرف آب برای فعالیت‌های کشاورزی و تغییر کاربری اراضی که مستقیماً از سوی انسان اعمال می‌شوند، به عنوان عامل مستقیم دلالت انسانی شناخته می‌شوند. در این تحقیق تسهیم مشارکت فعالیت‌های مستقیم و غیرمستقیم انسانی در بروز تغییر در نظام طبیعی رفتار رودخانه تمر با استفاده از ریاضیات فازی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. به این منظور پس از تعیین نقطه شکست زمانی جریان رودخانه، از مدل‌سازی هیدرولوژیکی با مدل‌های SWAT و شبکه عصبی مصنوعی، به منظور شناخت رابطه بین اقلیم و هیدرولوژی استفاده شد. به دلیل وجود عدم قطعیت در رفتار هیدرولوژیک و اثرگذاری آن در این تسهیم، روشی مبتنی بر محاسبات فازی به منظور تعیین سهم اثرات مستقیم و غیرمستقیم انسانی توسعه داده و نتیجه با روش‌های قطعی موجود مقایسه شد. نتایج که گویای انطباق روش پیشنهادی با سایر رویکردهای مورد استفاده است، نشان داد تغییرات کاربری اراضی به صورت چشم‌گیری در تغییرات نظام جریان رودخانه مؤثر است. نتایج این تحقیق می‌تواند برای مدیران حوزه کشاورزی و منابع آب مفید باشد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، تغییر کاربری اراضی، گرگانروود، ارزیابی عدم قطعیت، ریاضیات فازی.

۱. مقدمه

تغییر اقلیم هستند. جریان رودخانه یکی از پارامترهای مهم در بیلان آب است که برای مدیران به دلایلی همچون توسعه کشاورزی، اقتصادی و گردشگری حائز اهمیت است و از این‌رو شناخت اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه موجب دغدغه بسیاری از محققان قرار گرفته است (ایسنر و همکاران، ۲۰۱۷؛ گیواتی و همکاران، ۲۰۱۹؛ سونده و همکاران، ۲۰۱۷؛ بین و همکاران، ۲۰۱۸). پاسخ رژیم جریان یک رودخانه به بالارفتن دما در نقاط مختلف کره زمین یکسان نبوده و در عین حال که برخی از محققان تغییر اقلیم را مسبب افزایش مقدار جریان رودخانه گزارش کرده‌اند (گیزاو و همکاران، ۲۰۱۷

اقلیم یکی از عوامل تأثیرگذار در پاسخ‌های هیدرولوژیکی یک حوضه است. آنچه که امروزه با عنوان تغییر اقلیم در متون علمی مشاهده می‌شود در واقع با افزایش دما شناخته شده که منجر به تغییر رفتار طیف گسترده‌ای از متغیرهای هیدرولوژیکی شده است و همین پدیده توجه محققان بسیاری را به خود جلب کرده است (قاریبا و همکاران، ۲۰۱۸؛ گریلاکیس، ۲۰۱۹؛ کیم و همکاران، ۲۰۲۰؛ لی و همکاران، ۲۰۲۰؛ ژنگ و همکاران، ۲۰۲۰؛ کلیفتون و همکاران، ۲۰۱۸). تبخیر-تعرق پتانسیل، رطوبت خاک، جریان رودخانه، کیفیت آب، فرسایش خاک و... همگی از متغیرهای تأثیرپذیر از

به بررسی همزمان اثرات فعالیت‌های مستقیم و غیرمستقیم انسانی در حوضه‌های مختلف پرداخته‌اند که در ادامه به آنها پرداخته می‌شود. به عنوان مثال ژنگ و لو (۲۰۰۹) در پی تشخیص سهام مشارکت فعالیت‌های انسانی و تغییر اقلیم در تغییر جریان، پس از تشخیص تغییر ناگهانی در جریان رودخانه و تشخیص دوره‌ای که در آن اثر فعالیت‌های انسانی ناچیز است، از یک مدل برآشش خطی ساده استفاده کرده و سهم هر عامل را مشخص کردند. روش‌های مختلفی برای محاسبه مقادیر مشارکت فعالیت‌های انسانی و اقلیمی وجود دارد که شامل روش تفاضلی ساده (ژنگ و لو، ۲۰۰۹؛ باو و همکاران، ۲۰۱۲؛ هوآنگ و همکاران، ۲۰۲۰؛ ژنگ و همکاران، ۲۰۱۹)، روش الاستیستیه اقلیمی (دی و میشر، ۲۰۱۷؛ لی و همکاران، ۲۰۱۸؛ لو و همکاران، ۲۰۱۷؛ پاترسون و همکاران، ۲۰۱۳؛ تان و گان، ۲۰۱۵؛ ژین و همکاران، ۲۰۱۹). و روش تثبیت-تغییر (نیلاوار و ویکر، ۲۰۱۹؛ ونگ و همکاران، ۲۰۰۹؛ یان و هکاران، ۲۰۱۳) هستند. نکته حائز اهمیت در محاسبه و ارزیابی این سهام آن است که به دلیل خطاها موجود در اندازه‌گیری و دیگر منابع خطأ، تعیین این سهامی عجین با عدم قطعیت بوده و از این‌رو ارزیابی عدم قطعیت در این تحقیقات مستلزم بررسی است. همچنین فارسی و مهجوری (۲۰۱۹) یک نسخه غیرقطعی از روش تثبیت-تغییر را در حوضه رودخانه زاینده‌رود توسعه دادند. نتایج تحقیق آنها نشان داد روش توسعه داده شده به خوبی قابلیت استفاده در حوضه مذکور را داشته و سهم تغییر اقلیم در تغییر جریان بیشتر از سهم انسان است.

حوضه آبریز گرانزه‌رود که در شمال کشور واقع است، تحت تأثیر هر دو عامل تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی بوده است. تاکنون گزارش‌هایی در متون علمی آمده است که مبنی بر بروز تغییر در جریان رودخانه به دلیل تغییر اقلیم و کاربری اراضی در حوضه گرانزه‌رود هستند. به عنوان مثال، مرادی و میکائیلی (۲۰۲۰) از تصاویر سنجنده لندست (Landsat) در بازه سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۶

نیلاوار و ویکر، (۲۰۱۹)، اما برخی دیگر کاهش مقدار جریان در رودخانه را به آن نسبت داده‌اند (لویسل و همکاران، ۲۰۲۰؛ تیان و همکاران، ۲۰۲۰). آنچه به صورت عمده موجب بروز و تشدید افزایش دما و به تبع آن بروز اختلال در متغیر هیدرولوژیکی جریان رودخانه شده، اثرات تغییر اقلیم است که توسط انسان در طول دوره‌های مختلف اتفاق افتاده و لذا می‌توان انتشار گازهای گلخانه‌ای را به عنوان فعالیت غیرمستقیم انسان که در تغییر نظام جریان رودخانه مؤثر است، نام برد. اقلیم تنها عامل مؤثر در تعیین رفتار هیدرولوژیکی یک حوضه نبوده و پارامترهایی همچون کاربری اراضی، احداث سد در مسیر رودخانه‌ها، توسعه شهرنشینی و مصرف آب از جمله عواملی است که چگونگی رفتار هیدرولوژیکی حوضه را کنترل می‌کند. از جمله مهم‌ترین این عوامل، تغییر کاربری اراضی است که به صورت مستقیم بر جریان رودخانه‌ها اثرگذار است. این عامل که معمولاً به دلیل توسعه کشاورزی، شهرنشینی و یا استخراج چوب از جنگل‌ها (جنگل‌زدایی) انجام می‌شود، مورد توجه محققین در حوضه آب قرار گرفته است. به عنوان مثال HEC-غلامی (۲۰۱۳) با استفاده از مدل هیدرولوژیکی-HMS در حوضه کسیلیان گزارش کردند که جریان و فرسایش رودخانه به دلیل بروز تغییر در کاربری اراضی رو به افزایش بوده و مسبب بروز تغییر در رژیم سیلابی نیز شده است.

بررسی هر کدام از عوامل اقلیمی (به عنوان عامل غیرمستقیم انسانی) و انسانی به صورت منفرد در حوضه‌هایی که اثر هم‌زمان هردو عامل در آنها اثرگذار بوده، مستلزم دانستن دوره‌ایست که در آن محقق اطمینان داشته باشد که تنها عامل مؤثر در تغییر جریان، همان عامل مورد نظر است. مطالعه همزمان این دو عامل، موجب می‌شود تا تصمیم‌سازان و تصمیم‌گیران درک بهتری از فعالیت‌های صورت گرفته داشته باشند و بتوانند سیاست‌های مناسبی برای مقابله با مشکلات احتمالی در آینده برنامه‌ریزی کنند. به همین جهت محققین متعددی

شبکه‌های عصبی مصنوعی و مدل هیدرولوژی SWAT (Soil and Water Assessment Tool) نیز استفاده شده و از روش‌های قطعی موجود نیز بهمنظور مقایسه و سنجش تسهیم انجام شده، استفاده شده است.

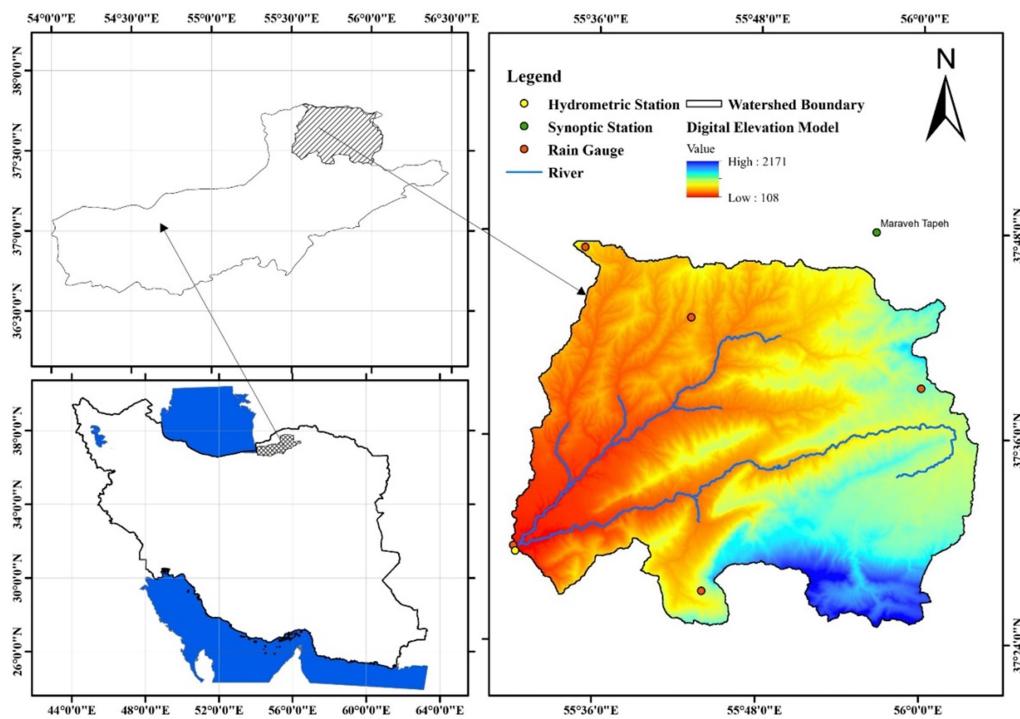
۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

حوضه گرگانرود یکی از حوضه‌های درجه دو در شمال کشور است که بهصورت عمده در استان گلستان قرار گرفته است. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده، حوزه مطالعاتی در بین طول‌های $۵۶^{\circ} ۵۶' - ۵۴^{\circ} ۰۰'$ و بین عرض‌های $۳۷^{\circ} ۴۷' - ۳۵^{\circ} ۳۶'$ قرار گرفته است. حوزه مورد بررسی در حوضه آبریز گرگانرود، قسمت‌هایی از حوضه است که زیر‌حوضه‌های منتهی به ایستگاه تم را زهکشی می‌کند. این قسمت از سمت شمال با حوضه آبخیز اترک و از جنوب با حوضه آبخیز مادرسو همسایه است. قسمت شرقی این حوضه در قسمت شرقی در ارتفاعات کوه‌های آلا DAG و بینالود قرار گرفته است. بر اساس اطلاعات ثبت شده در ایستگاه هواشناسی موجود در حوضه (ایستگاه مراوه‌تپه)، برخی از ویژگی‌ها هواشناسی حوضه در دوره شیوه‌سازی در جدول ۱ نمایش داده شده است. بر اساس شکل ۱، ارتفاع نقاط در حوضه بین ۱۰۸ الی ۲۱۷۱ متر با میانگین $۷۴۸/۷$ و انحراف معیار $۴۰۱/۲$ متر نوسان می‌کند. ۵ ایستگاه باران‌سنجدی و یک ایستگاه هواشناسی برای ساخت مدل و از ایستگاه هیدرومتری تم نیز برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل استفاده شد که موقعیت آنها در شکل ۱ نشان داده شده‌اند.

استفاده کرده و جریان رودخانه گرگانرود را مورد تحلیل و بررسی قرار دادند. در نتایج این تحقیق بیان شده است که بیشترین مقدار تغییر کاربری اراضی در قسمت شمال شرقی حوضه گرگانرود اتفاق افتاده که مربوط به کاهش اراضی جنگلی است و منجر به افزایش مقدار جریان رودخانه شده است. روحانی و جعفرزاده (۲۰۱۸) با استفاده از ترکیب سناریوهای مختلف اقلیمی و استفاده از مدل بارش-رواناب، دریافتند که تغییر اقلیم کاهش بارش و تبخر-تعرق را سبب شده و در اکثر سناریوهای اقلیمی، رواناب در مقیاس فصلی رو به کاهش خواهد بود. از این‌رو، بدلیل اینکه در سابقه مطالعات، اثرات تغییر اقلیم و کاربری اراضی بر جریان بخشی از حوضه گرگانرود مورد بررسی و تحقیق قرار گرفته‌اند. اگرچه تاکنون اثر هر کدام از عوامل تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی بر جریان رودخانه گرگانرود مورد بررسی قرار گرفته است اما اندرکنش این دو عامل و محاسبه سهم هر کدام از این عوامل در تغییرات جریان این رودخانه از موضوعات مهمی است که تاکنون بررسی نشده است.

در پژوهش حاضر به مطالعه همزمان به بررسی اثرات تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی و همچنین تعیین درصدهای مشارکت هر کدام از عوامل مستقیم و غیر مستقیم انسانی در تغییر الگو و رژیم رواناب پرداخته شده است. همچنین به عنوان نوآوری بهمنظور لحاظ اثر عدم قطعیت‌های موجود در محاسبه ضرایب مشارکت، یک روش غیرقطعی مبتنی بر محاسبات فازی توسعه داده شد. بهمنظور پیاده‌سازی این روش، از



شکل ۱. موقعیت حوزه مطالعاتی و ایستگاه‌های استفاده شده در تحقیق.

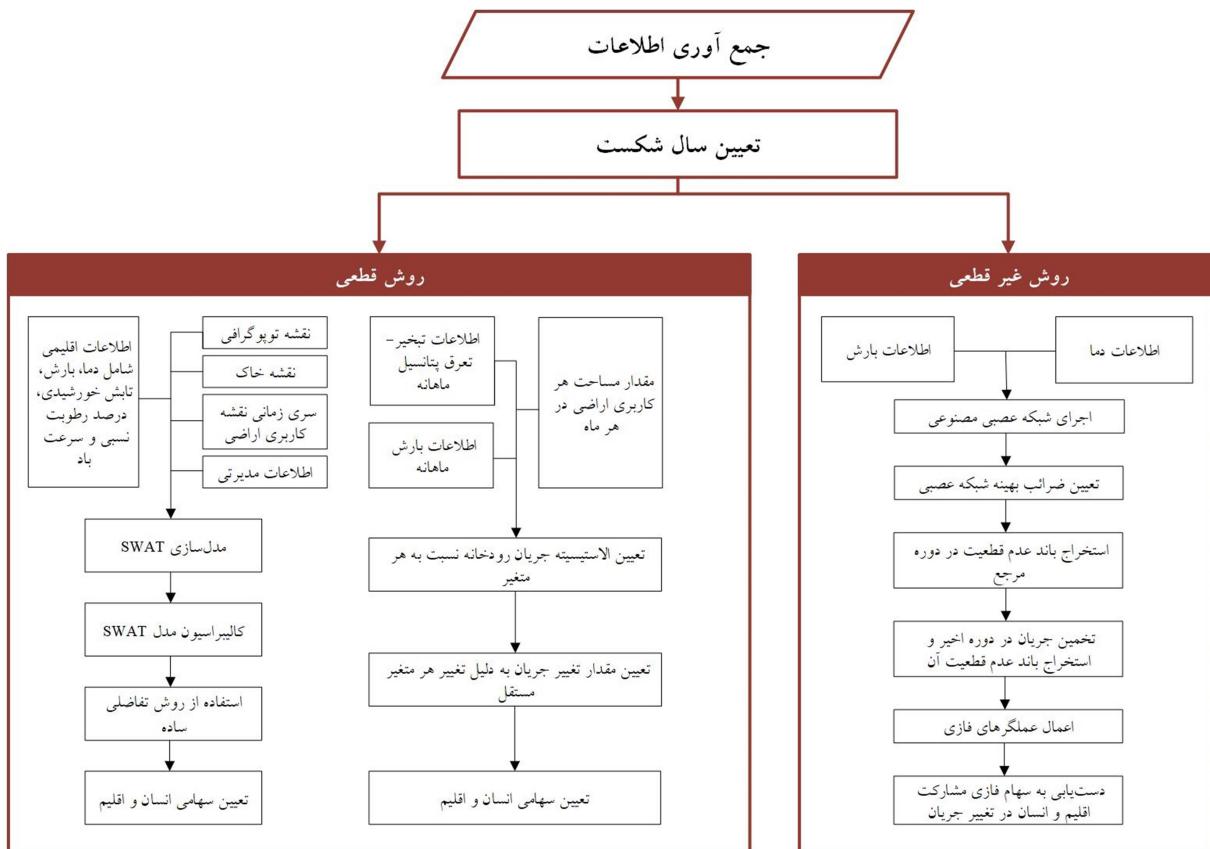
جدول ۱. مشخصات آماری مربوط به ایستگاه هواشناسی مراوه‌تپه.

نام متغیر اقلیمی	درصد	واحد	کمینه	پیشینه	انحراف معیار	میانگین
بیشینه دمای روزانه	-۷/۲	درجه سانتی گراد	۴۵/۸	۹/۹۳	۲۳/۶۶	
کمینه دمای روزانه	-۱۴/۲	درجه سانتی گراد	۳۴/۸	۸/۰۱	۱۳/۶۳	
تابش خورشیدی	۰/۰۳	مکارژول بر متر مربع	۵۰/۴۱	۶/۷۶	۱۴/۰۵	
سرعت باد	۰	متر بر ثانیه	۱۶/۶۲	۱/۹۷	۲/۸۶	
رطوبت نسبی	۱۰/۵	درصد	۱۰۰	۱۸/۹۱	۵۸/۵۵	

بر آن است که انسان در دوره مرجع هیچ گونه دخالتی در دوره مرجع نداشته و یا اثر فعالیت‌های انسانی بر متغیر هیدرولوژیکی مورد بررسی در این دوره ناچیز است. در ادامه از دو ابزار مختلف برای مدل‌سازی جریان در حوزه مطالعاتی استفاده شد تا روابط بین متغیرهای اقلیمی و جریان بررسی شود. تاکنون، روش‌های گوناگونی به منظور دست‌یابی به درصد مشارکت عوامل مختلف در تغییر یک متغیر هیدرولوژیکی ارائه شده‌اند که در این مطالعه دو مورد از آنها استفاده شدند. در ادامه به بررسی جامع‌تر هر کدام از این روش‌ها پرداخته شده‌است. شکل ۲ مراحل انجام این تحقیق نمایش داده شده است.

۲-۲. روش‌شناسی پژوهش

در این پژوهش، ابتدا از یک روش تعیین نقطه شکست استفاده شد تا زمان بروز اثر فعالیت‌های انسانی در سری زمانی جریان ثبت شده در حوزه مطالعاتی به دست آید. نقطه شکست در یک سری زمانی، نقطه‌ایست که در آن ویژگی‌های آماری آن سری زمانی به صورت ناگهانی تغییر قابل توجهی می‌کنند. پس از این، دوره مشاهداتی، به دو بخش شکسته شد به طوری که بخش ابتدایی که با نام دوره مرجع شناخته می‌شود، قبل از نقطه شکست بوده و دوره بعدی که دوره آتی نام‌گذاری می‌شود، دوره پس از سال شکست جریان رودخانه است. فرض اساسی در این نوع مطالعات



شکل ۲. نمودار جریانی مراحل اجرای پژوهش.

(آکوکو و همکاران، ۲۰۲۱؛ جا و همکاران، ۲۰۰۴؛ محمودی و همکاران، ۲۰۲۰؛ مکاینرنسی و همکاران، ۲۰۱۸؛ شی و همکاران، ۲۰۲۰؛ رجیب و همکاران، ۲۰۱۸؛ رن و همکاران، ۲۰۱۹؛ ژنگ و همکاران، ۲۰۲۰b). درنظر گرفتن اقدامات مدیریتی بسیار زیاد و متنوع از ویژگی‌های برجسته این مدل است که آن را از بقیه مدل‌های هیدرولوژیکی تمایز کرده است. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های این مدل، بروزرسانی کاربری اراضی است که در این تحقیق بسیار مورد توجه قرار گرفته است. این ابزار قادر است در مقیاس روزانه کاربری‌های اراضی دیگری را علاوه‌بر کاربری پایه وارد شده به مدل معرفی کند تا شبیه‌سازی به صورت هرچه بیشتر به واقعیت نزدیک شود.

۲-۳-۲. شبکه عصبی مصنوعی
شبکه‌های عصبی مصنوعی نوعی مدل جعبه سیاه برای شبیه‌سازی متغیرهای وابسته و مستقل هستند که در

۲-۳. مدل‌سازی هیدرولوژیک

به منظور شبیه‌سازی روابط بین اقلیم و هیدرولوژی، از دو ابزار SWAT و شبکه‌های عصبی مصنوعی ANN (Artificial Neural Network) استفاده شد. این دو ابزار قادر هستند روابط بین عناصر مختلف در اقلیم و جریان رودخانه را به صورت مناسبی شبیه‌سازی کنند. در ادامه به بررسی هر کدام از این ابزارها پرداخته خواهد شد.

۲-۳-۱. مدل هیدرولوژیکی SWAT

مدل SWAT یک مدل هیدرولوژی است که توسط سازمان کشاورزی ایالات متحده به منظور بررسی اثر اقدامات مختلف مدیریتی بر آب و خاک توسعه یافته است. این مدل که یک مدل مفهومی نیمه توزیعی است، توانایی شبیه‌سازی بسیاری از متغیرهای هیدرولوژیکی را داشته و به صورت رایگان در اختیار محققین قرار دارد. به همین سبب بسیاری از محققان از این مدل با اهداف گوناگون از این مدل استفاده کرده‌اند

هیدرولوژیکی حوضه، اقلیم است. پس از محاسبه سال شکست، یک معادله خطی بین رواناب و بارندگی در دوره مرجع برآش داده شد. این رابطه خطی در واقع رابطه بین اقلیم و جریان رودخانه را در حالتی که جریان رودخانه نظم طبیعی خود را دارد به دست می‌آورد. از این رو محقق می‌تواند بررسی کند که در یک سناریو در دوره اخیر (بعد از سال شکست) و در صورت ثبات نظم طبیعی جریان رودخانه، وضعیت جریان چگونه بوده است. بدین ترتیب، تفاوت آنچه در سناریوی ذکر شده و در واقعیت وجود دارد، مقدار تغییری است که به وسیله انسان در جریان اعمال شده است. روابط ۱ و ۲ میزان تغییرات اعمال شده از سوی انسان و اقلیم را در جریان رودخانه نشان می‌دهد.

$$\Delta_{Human} = mean(Q_{sim,2}) - mean(Q_{obs,2}) \quad (1)$$

$$\Delta_{Climate} = mean(Q_{sim,2}) - mean(Q_{sim,1}) \quad (2)$$

که در آن، Δ_{Human} و $\Delta_{Climate}$ به ترتیب میان مقدار تغییرات رواناب بهدلیل دخالت انسان و اقلیم هستند. همچنین منظور از $mean(Q_{sim,2})$ میانگین رواناب محاسبه شده به وسیله رابطه برآش شده در دوره مرجع و بارندگی دوره اخیر، $mean(Q_{obs,2})$ میانگین رواناب مشاهداتی دوره اخیر و منظور از $mean(Q_{sim,1})$ میانگین رواناب محاسباتی از برآش دوره مرجع و بارندگی دوره مرجع است. محقق می‌تواند پس از تعیین این مقادیر، سهمای هر کدام از عوامل را با تقسیم میزان تغییر اعمال شده در جریان بر کل تغییرات ایجاد شده به دست آورد. این روش پس از تحقیق ذکر شده در بسیاری از مطالعات دیگر نیز مورد توجه قرار گرفت (باو و همکاران، ۲۰۱۲؛ هوآنگ و همکاران، ۲۰۲۰؛ ژنگ و همکاران، ۲۰۱۹).

۲-۴-۲. روش الاستیسیته اقلیمی

مفهوم کشسانی اقلیمی اولین بار توسط شاکی در سال ۱۹۹۰ به عنوان یک شاخص برای تعیین الاستیسیته جریان

عرصه‌های مختلفی استفاده شده‌اند. این مدل‌ها که الهام گرفته از شبکه‌های عصبی زیستی هستند، توانایی شبیه‌سازی سیستم‌ها بسیار ساده تا بسیار پیچیده را دارند. ساختار شبکه‌های عصبی یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های آنهاست که می‌بایستی در یک پروسه واسنجی و صحت‌سنجی بهترین ساختار به دست آورده شود. هر شبکه عصبی از یک لایه ورودی، لایه‌های میانی و یک لایه خروجی تشکیل شده که در هر لایه اطلاعات از طریق نورون‌ها مورد پردازش قرار گرفته و جابه‌جا می‌شوند. شبکه‌های عصبی مصنوعی در هیدرولوژی مورد توجه بسیاری از محققان قرار داشته‌اند (اسدی و همکاران، ۲۰۱۸؛ غلامی و همکاران، ۲۰۱۸؛ مهدی‌زاده و همکاران، ۲۰۱۸؛ نورانی، ۲۰۱۷؛ نورانی و همکاران، ۲۰۰۹؛ ژیانگ و همکاران، ۲۰۱۸).

۴-۲. روش‌های سهم‌دهی

دو روش تفاضلی ساده و الاستیسیته اقلیمی برای تعیین سهم هر کدام از فعالیت‌های مستقیم و غیرمستقیم انسانی در تغییر جریان حوزه مورد مطالعه استفاده شدند. این روش‌ها که در ادبیات مربوطه بسیار استفاده شده‌اند در ادامه به صورت مفصل توضیح داده شده‌اند.

۴-۱. روش تفاضلی ساده

ژنگ و لو (۲۰۰۹) روش تفاضلی ساده را برای اولین بار و به منظور تعیین سهم اقلیم و انسان در تغییرات به وجود آمده در جریان رودخانه در منطقه شیزیانگ (Xijiang) چین ارائه کردند. در این روش، در ابتدا سال شکست در رواناب مشاهده شده به دست آمد. ذکر این نکته لازم است که در تمامی روش‌هایی که در آن محقق به دنبال تعیین درصد مشارکت فعالیت‌های اقلیمی و انسانی در تغییرات یک متغیر هیدرولوژیکی است، تعیین نقطه شکست امری ضروری است. نقطه شکست در این تحقیقات سالی را نشان می‌دهد که پیش از آن سیستم هیدرولوژی حالت طبیعی خود را داشته و به عبارتی عامل اصلی پاسخ

معمولی فاصله گرفته و به زبان گفتار نزدیک می‌شوند. در این سیستم ارزیابی، هر عدد دارای یه تابع باشد α الی ۱ هست که درجه اشتراک هر عضو را مشخص می‌کند. هر برشی در برد تابع عضویت یک عدد فازی را برش آلفا (Alpha-Cut) می‌گویند که آلفا عددی بین ۰ تا ۱ بوده و نشان‌دهنده درجه عضویت است؛ بنابراین مقادیر متناظر با هر برش آلفا نشان‌دهنده مقادیری هستند که در آن عدد فازی دارای مقدار عضویت آلفا هستند.

بر اساس مطالعه زاده (۱۹۷۵) تمام عملگرهای اصلی ریاضیات کلاسیک را می‌توان برای سیستم فازی به کار برد اما عملگرهای ریاضی موجود در ریاضیات معمولی دیگر توانایی اعمال در این سیستم را نخواهد داشت. از این‌رو، سیستم ریاضیات فازی (*Fuzzy Mathematics*) مجموعه قواعدی را برای چگونگی اعمال روابط ریاضی که در دنیای اعداد معمولی ریاضی وجود دارند را ارائه می‌دهد. عملگرهای ساده فازی طوری طراحی شده‌اند که مقدار عدم‌قطعیت موجود را به صورت تجمعی افزایش می‌دهند که این موضوع به دور از واقعیت بوده و مسبب تخمین‌های نادرستی می‌شوند. از این‌رو، سیستم ریاضیات فازی اصلاح‌شده نسخه‌ای اصلاح‌شده از سیستم یادشده است که توسط ناصری و همکاران (۲۰۱۴) برای محاسبه واقعی‌تر عدم‌قطعیت ارائه شد. بر طبق این عملگرها اگر A و B دو عدد فازی باشند، آنگاه نماینده هر عدد فازی که با α ($\text{Crisp}(A)_\alpha$) در هر برش آلفا میانگین حدود بالا و پایین در آن برش آلفا هستند و عملگرهای فازی اصلاح‌شده در هر برش آلفا به صورت زیر محاسبه خواهند شد. در روابط ارائه شده در زیر، C_α جواب انتهایی عملگر است.

- عملگر جمع : $(A+B)$

$$C_\alpha^1 = [\text{Crisp}(A)_\alpha + B_\alpha^-, \text{Crisp}(A)_\alpha + B_\alpha^+] \quad (5)$$

$$C_\alpha^2 = [\text{Crisp}(B)_\alpha + A_\alpha^-, \text{Crisp}(B)_\alpha + A_\alpha^+] \quad (6)$$

$$C_\alpha = [\min(C_\alpha^1(1), C_\alpha^2(1)), \max(C_\alpha^1(2), C_\alpha^2(2))] \quad (7)$$

نسبت به تغییر اقلیم ارائه شد. با استفاده از این مفهوم می‌توان مقدار تغییرات در جریان به عنوان یک متغیر وابسته را به دلیل تغییر در هر کدام از متغیرهای مستقل را به دست آورد. لازم به ذکر است این روش برخلاف روش قبلی، نیازی به استفاده از مدل‌های مختلف نیست و تنها داده‌های مشاهداتی بارش، دما و جریان به کار گرفته می‌شوند. در این روش فرض می‌شود متغیر وابسته Q با ضابطه‌ای f وابسته به بارش (P)، پتانسیل تبخیر-تعرق (PET) و فعالیت‌های انسانی (V) است. برای کمی کردن فعالیت‌های انسانی می‌توان مساحت هر کاربری اراضی را در گام‌های زمانی مختلف (همگام با متغیرهای اقلیمی) به رابطه (۳) معرفی کرد.

$$Q = f(P, \text{PET}, V) \quad (3)$$

بنابراین، با استفاده از مفهوم مشتق می‌توان میزان تغییر در جریان رودخانه را به میزان تغییرات در هر متغیر مستقل مرتبط کرد. پس از آن مفهوم الاستیسیته مطابق رابطه (۴) مقدار تغییرات در جریان رودخانه را به دست می‌دهد.

$$\Delta Q = \left(\varepsilon_P \frac{\Delta P}{P} + \varepsilon_{\text{PET}} \frac{\Delta \text{PET}}{\text{PET}} + \varepsilon_V \frac{\Delta V}{V} \right) Q \quad (4)$$

که در آن ε نشانگر الاستیسیته متغیری است که در زیروند آن آمده است. مقدار تغییر جریان به دلیل تغییر اقلیم، مجموع مقادیر تغییر جریان به دلیل تغییر بارش و تبخیر-تعرق پتانسیل است و به شیوه ذکر شده در قسمت قبل می‌توان به درصدهای مشارکت انسان و اقلیم دست یافت. این روش در تحقیقات مختلفی به همین منظور استفاده شده است (دی و میشر، ۲۰۱۷؛ لی و همکاران، ۲۰۱۸؛ لو و همکاران، ۲۰۱۷؛ پاترسون و همکاران، ۲۰۱۳؛ تان و گان، ۲۰۱۵؛ ژین و همکاران، ۲۰۱۹).

۲-۴-۳. سیستم ریاضیات فازی اصلاح‌شده

سیستم فازی فضایی جدید است که توسط زاده (۱۹۷۵) ابداع شد و رویکرد جدیدی برای بررسی عدم‌قطعیت در محاسبات مهندسی است. در این سیستم اعداد از حالت

۷۵- مبین عملکرد بسیار خوب شبیه‌سازی است.

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - Q_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - \bar{Q}_{obs})^2} \right] \quad (17)$$

که در آن، Q^{obs} مقدار مشاهداتی متغیر، Q^{sim} مقدار شبیه‌سازی شده متغیر و \bar{Q}_{obs} میانگین متغیر مشاهداتی است. شاخص همبستگی عددی بین ۱- الی ۱ است که در این تحقیق به کارگرفته شده است. این شاخص شباهت رفتار مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهدات را به خوبی اندازه گیری می کند و هر چه بیشتر به مرزهای محدوده بیان شده نزدیک باشد، نشان می دهد رابطه معنی دارتری بین شبیه‌سازی و مشاهدات وجود دارد به طوریکه اگر این مقدار ۱ باشد یعنی رفتار مقادیر شبیه‌سازی کاملاً شبیه رفتار مشاهدات و در صورتی که ۱- باشد نشان می دهد رفتار مقادیر شبیه‌سازی کاملاً بر عکس رفتار مشاهدات ثبت شده است؛ بنابراین واضح است هرچه مقدار شاخص همبستگی بیشتر باشد، مدل شباهت رفتاری بیشتری به آنچه می خواهیم دارد. این شاخص مطابق رابطه (۱۸) محاسبه می شود.

Correlation Coefficient =

$$\frac{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y - \bar{y})^2}} \quad (18)$$

که در این رابطه، x نشان دهنده مقادیر شبیه‌سازی، \bar{x} نشان دهنده میانگین مقادیر شبیه‌سازی، y نشان دهنده مقادیر مشاهداتی و \bar{y} نشان دهنده میانگین مقادیر مشاهداتی و n تعداد مشاهدات است. شاخص KGE به عنوان یک شاخص شباهت دیگر در این تحقیق استفاده شد. این شاخص سه آماره مختلف را در شبیه‌سازی صورت گرفته بررسی کرده و آنها را تجمعی کرده و همانند شاخص NSE عددی کوچک‌تر از یک را به دست می دهد. هرچه مقدار این شاخص بزرگ‌تر باشد، شبیه‌سازی صورت گرفته دقت بالاتری خواهد داشت. این شاخص مطابق رابطه (۱۹) محاسبه می شود.

$$KGE = 1 - \sqrt{(r - 1)^2 + \left(\frac{\sigma_{sim}}{\sigma_{obs}} - 1 \right)^2 + \left(\frac{\mu_{sim}}{\mu_{obs}} - 1 \right)^2} \quad (19)$$

- عملگر تفریق (A-B)

$$C_\alpha^1 = [Crisp(A)_\alpha - B_\alpha^+, Crisp(A)_\alpha - B_\alpha^-] \quad (8)$$

$$C_\alpha^2 = [A_\alpha^- - Crisp(B)_\alpha, A_\alpha^+ - Crisp(B)_\alpha] \quad (9)$$

$$C_\alpha = [\min(C_\alpha^1(1), C_\alpha^2(1)), \max(C_\alpha^1(2), C_\alpha^2(2))] \quad (10)$$

- عملگر ضرب (A*B)

$$C_\alpha^1 = [Crisp(A)_\alpha * B_\alpha^-, Crisp(A)_\alpha * B_\alpha^+] \quad (11)$$

$$C_\alpha^2 = [Crisp(B)_\alpha * A_\alpha^-, Crisp(B)_\alpha * A_\alpha^+] \quad (12)$$

$$C_\alpha = [\min(C_\alpha^1(1), C_\alpha^2(1)), \max(C_\alpha^1(2), C_\alpha^2(2))] \quad (13)$$

- عملگر تقسیم (A/B)

$$C_\alpha^1 = [Crisp(A)_\alpha / B_\alpha^+, Crisp(A)_\alpha / B_\alpha^-] \quad (14)$$

$$C_\alpha^2 = [A_\alpha^- / Crisp(B)_\alpha, A_\alpha^+ / Crisp(B)_\alpha] \quad (15)$$

$$C_\alpha = [\min(C_\alpha^1(1), C_\alpha^2(1)), \max(C_\alpha^1(2), C_\alpha^2(2))] \quad (16)$$

۲-۵. ارزیابی نتایج

به منظور ارزیابی شبیه‌سازی‌های صورت گرفته از شاخص‌های شباهت و عدم شباهت متعددی استفاده شد. این شاخص‌ها که معمولاً در بازه مشخصی نوسان می‌کنند، دقت و خطای برازش را از جنبه‌های مختلفی بررسی می‌کنند. در این تحقیق از چهار شاخص NSE، RMSE، KGE، همبستگی و مجدور میانگین مربعات خطای (Root Mean Square Error) استفاده شد که به بررسی هر کدام از آنها پرداخته می‌شود. شاخص NSE یکی از شاخص‌های مهم و پرکاربرد است که توسط نش و ساتکلیف (۱۹۷۰) ارائه شد. این شاخص که مطابق رابطه (۱۷) محاسبه می‌شود، عددی کوچک‌تر از ۱ است و هر چه به ۱ نزدیک‌تر باشد، میین دقت بالاتر شبیه‌سازی است. بر اساس موریاسی و همکاران (۲۰۰۷) مقادیر کمتر از ۰/۵ شاخص NSE نشان دهنده عملکرد نامناسب مدل، مقادیر بین ۰/۵ و ۰/۶۴ نشان دهنده عملکرد قابل قبول، مقادیر بین ۰/۶۵ الی ۰/۷۴ مین عملکرد خوب و مقادیر بالاتر از

اخير در گرگانرود بهشدت در حال تغيير بوده و بهعبارةٌ نقش فعالیتهای انسانی در اين سالها بهصورت برجسته‌ای قابل توجه بوده است. از اين‌رو بر اساس ارزیابي مقدار رواناب ثبت شده در ايستگاه‌های هيدرومتری حوضه آبريز گرگانرود به روش آمون پتيت (پتيت، ۱۹۷۹) که تغييرات ناگهانی در ميانگين را تشخيص می‌دهد، سال ۲۰۱۴ بهعنوان سال شکست در نظر گرفته می‌شود. بر اين اساس، قبل از سال ۲۰۱۴ جريان رودخانه حالت طبیعی داشته و بهعنوان دوره مرجع شناخته می‌شود. پس از اين سال، دوره آتی نام‌گذاري شده و با توجه به تغييرات کاربری اراضی قابل توجه فعالیتهای انسانی در جريان رودخانه اثرات قابل توجه دارند.

۲-۳. مدل‌سازی SWAT

از تمامی اطلاعات ثبت شده در ايستگاه‌های مختلف برای مدل‌سازی SWAT استفاده شد. نقشه توپوگرافی ۳۰ متری دريافتی از سازمان زمين‌شناسي ایالات متحده آمريکا، نقشه جهانی خاک سازمان غذا و دارو و محصول کابري اراضی بهمنظور ساخت مدل، به مدل SWAT معرفی شدند. نقشه‌های کاربری اراضی در سال‌های ۲۰۰۷ إلى ۲۰۱۹ موجود بوده و از نقشه سال ۲۰۰۷ بهعنوان نقشه پايه در مدل استفاده شده و مقادير مساحت هر کاربری در سال‌های مختلف از نقشه‌های موجود در سال‌های بعد، بهمنظور توليد فایل بروزرسانی کاربری اراضی استخراج شدند. از آنجايي که قبل از سال ۲۰۰۷ نقشه کاربری اراضی موجود نبود؛ بنابراین سال ۲۰۰۷ بهعنوان سال ابتدائي مدل‌سازی انتخاب شد. در حوزه مورد بررسی شش نوع کاربری اراضی مختلف وجود دارد که نام كامل و اختصاری آنها در جدول ۲ آمده است. تغييرات مكانی کاربری‌های اراضی مختلف در شکل ۳ و تغييرات مكانی هر کدام از آنها در سال‌های شبيه‌سازی در شکل ۴ نمایش داده شده است.

كه در آن، r ضريب همبستگي بين مشاهدات و شبيه‌سازی، σ_{sim} انحراف معيار مقادير شبيه‌سازی، σ_{obs} انحراف معيار مشاهدات، μ_{sim} ميانگين مقادير شبيه‌سازی و μ_{obs} ميانگين مقادير مشاهداتي است. مقدار شاخص KGE بالاتر از 0.75 نشان‌دهنده يك برازش خوب، مقادير بين 0.5 إلى 0.75 نشان‌دهنده يك برازش مناسب، مقادير بين صفر الى 0.5 نشان دهنده يك برازش ضعيف و مقادير زير صفر مبين عملکرد خيلي ضعيف مدل است (تاونر و همکاران، ۲۰۱۹). آخرين شاخص استفاده شده، شاخص مجدور ميانگين مربيعات خطأ است که شاخص عدم شباهت مدل و مشاهدات بهشمار می‌رود. اين شاخص که مطابق رابطه (۲۰) بهدست می‌آيد.

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(y_{sim} - y_{obs})^2}{n}} \quad (20)$$

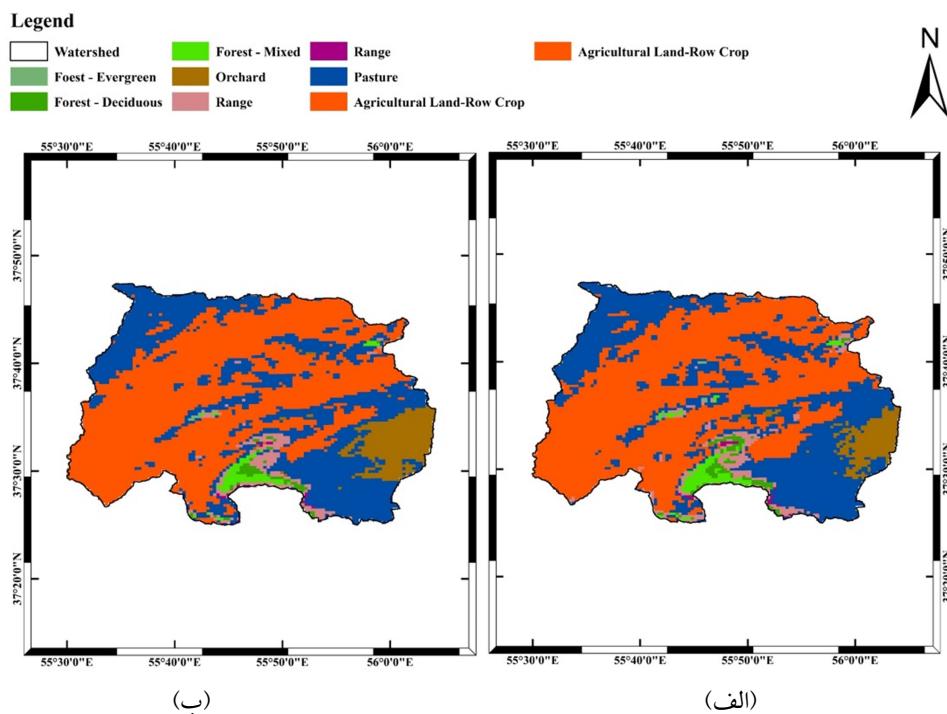
كه در اين رابطه، y_{sim} مقادير شبيه‌سازی شده، y_{obs} مقادير مشاهداتي و n تعداد نمونه‌هاست. از آنجاکه اين رابطه ميانگين خطاهای موجود را نشان می‌دهد، مقادير كمتر اين شاخص مطلوبت بيشتری برای محقق داشته و عملکرد بهتر مدل را نشانگر است. نكته قابل توجه در ارتباط با اين شاخص آن است که بر عکس شاخص‌های پيشين که همگي بدون بعد هستند، اين شاخص هم بعد با مقادير شبيه‌سازی شده است.

۳. نتایج

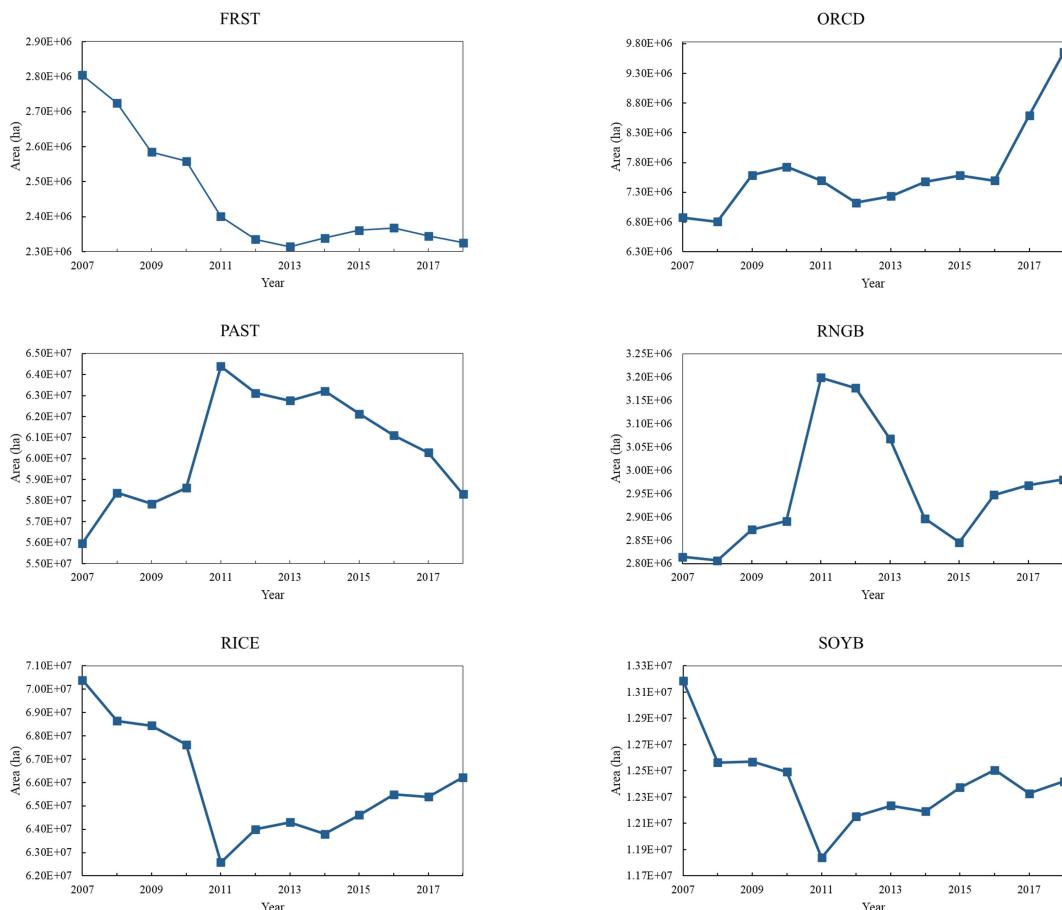
در ادامه سعى شده تا نتایج روش مورد استفاده در اين تحقيق که شکل ۲ آمده به تفصيل توضيح و تshireح شود.

۱-۱. نقطه شکست

همان‌طور که پيش از اين بيان شد، سال شکست سالی است که پيش از آن هيدرولوژي تابعی از اقلیم بوده و بهعبارةٌ اثر فعالیتهای انسانی بهصورت چندانی در آن مشهود نیست. بسياري از کاربری‌های اراضی در سال‌های



شکل ۳. تغییرات مکانی کاربری‌های اراضی مختلف (الف) سال ۲۰۰۷ (ب) سال ۲۰۱۸.



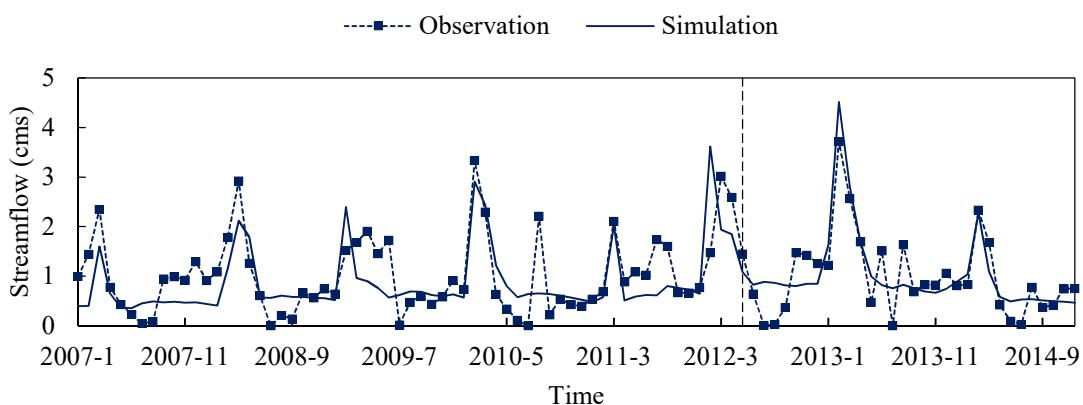
شکل ۴. نمودار تغییرات مساحت کلاس کاربری‌های اراضی مختلف و موجود در منطقه مطالعاتی. (به منظور معرفی اراضی به جدول ۲ مراجعه شود).

جدول ۲. نام اراضی کاربری موجود در حوزه مورد مطالعه.

ردیف	نام اختصاری	نام فارسی
۱	FRST	جنگل
۲	ORCD	باغ
۳	PAST	چراگاه
۴	RNGB	بوتهزار
۵	RICE	برنج
۶	SOYB	سویا

خشک تا حدودی دچار مشکل است. نتایج شاخص‌های شباهت و عدم شباهت برای ارزیابی شبیه‌سازی صورت گرفته در جدول ۳ آمده است. این نتایج نشان می‌دهند مدل SWAT در حوزه مورد بررسی عملکرد مناسبی را دارد است. اگرچه شاخص نش در دوره واسنجی مدل عدد مطلوبی را کسب نکرده اما شاخص KGE در هر دو دوره بیانگر عملکرد مطلوب مدل SWAT است.

مدل ساخته شده با استفاده از نرم‌افزار SWAT-CUP و با بهره‌گیری از روش SUFI-2 در دوره مرجع (۲۰۱۴-۲۰۰۷) واسنجی و اعتبارسنجی شد. شکل ۵ نمودار جریان شبیه‌سازی شده و جریان مشاهداتی را در دو دوره واسنجی و اعتبارسنجی نمایش می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مدل SWAT اگرچه توانسته جریان را در فصول تو به خوبی شبیه‌سازی کند، اما در شبیه‌سازی فصول



شکل ۵. جریان شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در دو دوره واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT

جدول ۳. مقادیر شاخص‌های شباهت و عدم شباهت در شبیه‌سازی جریان به‌وسیله مدل SWAT در دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی.

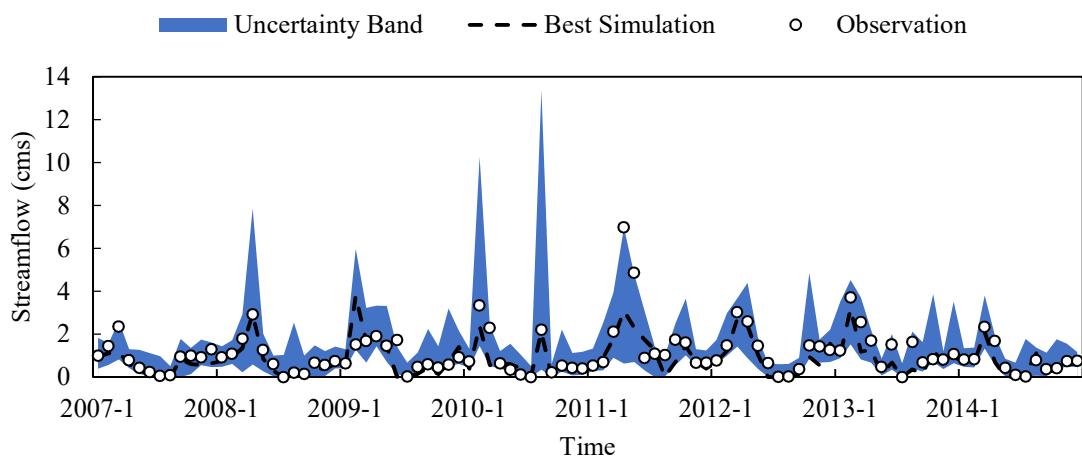
دوره	NSE	Correlation Coefficient	KGE	RMSE
دوره واسنجی	۰/۳۸	۰/۵۹	۰/۷۷	۰/۶۲
دوره اعتبارسنجی	۰/۶۷	۰/۸۳	۰/۸۴	۰/۴۶

گرہ به بهترین پاسخ دست یافت. همچنین باند عدم قطعیت مناسب با ۹۵ درصد اطمینان نیز از بین جواب‌های موجود استخراج شد. شکل ۶ مقادیر مشاهداتی و بهترین شبیه‌سازی جریان را بهمراه باند عدم قطعیت ۹۵ درصد نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۶ مشخص است، شبکه عصبی مصنوعی توانایی بهتری در شبیه‌سازی جریان‌های فصول خشک را دارد. عملکرد مدل شبکه عصبی مصنوعی در جدول ۴ مشاهده می‌شود. همان‌طور که اعداد درج شده در جدول بیان می‌کنند، شبکه عصبی توانسته در دوران واسنجی شاخص NSE بالاتری کسب کند اما مقدار شاخص KGE آن در هر دو دوره واسنجی و اعتبارسنجی به کیفیت نتایج مدل SWAT نیست.

۴-۳. سهم‌دهی فعالیت‌های مستقیم و غیر مستقیم انسان چنان‌که در بخش قبل ذکر شد، از دو روش قطعی و یک روش غیر قطعی برای تعیین سهامی اقلیم (به عنوان فعالیت غیرمستقیم انسانی) و انسان در تغییرات به وجود آمده در جریان رودخانه استفاده شد. در ادامه به بررسی نتایج هر کدام از این روش‌ها پرداخته می‌شود.

۳-۳. شبکه عصبی مصنوعی

داده‌های بارش و دمای موجود در حوضه، جهت ساخت یک شبکه عصبی مصنوعی پیشخور (Feed Forward Neural Network) به کار گرفته شدند. از آنجاکه شبکه عصبی مصنوعی بر خلاف مدل SWAT، یک مدل غیرمفهومی و جعبه سیاه است؛ بنابراین بسیاری از ورودی‌های استفاده شده برای مدل پیش در شبکه عصبی مصنوعی استفاده نشدند. بهمنظور ساخت و بهینه‌سازی شبکه عصبی مصنوعی از نرم‌افزار MATLAB استفاده شد. بهمنظور یافتن بهترین شبکه، درجه‌های آزادی به تعداد لایه‌ها، تعداد نورون‌ها و تعداد دفعات آموزش داده شد. بدین ترتیب تعداد لایه‌ها بین ۱ الی ۳، تعداد نورون‌ها بین ۲ الی ۵۰ و تعداد دفعات آموزش ۱۰ بار در نظر گرفته شد. بنابراین پس از ۱۴۷۰ بار شبیه‌سازی بهترین ساختار شبکه عصبی که منجر به بهترین جواب می‌شود، یافت شد. همچنین ۷۰ درصد مشاهدات به صورت تصادفی بهمنظور واسنجی و ۳۰ درصد باقی‌مانده مشاهدات بهمنظور اعتبارسنجی شبکه عصبی در نظر گرفته شدند. در نهایت بهترین شبکه عصبی با تعداد دو لایه مخفی و چهل و یک



شکل ۶. جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در شبکه عصبی مصنوعی بهمراه باند عدم قطعیت ۹۵ درصد.

جدول ۴. مقادیر شاخص‌های شباهت و عدم شباهت در شبیه‌سازی جریان بهوسیله شبکه عصبی مصنوعی در دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی.

RMSE	KGE	Correlation Coefficient	NSE	دوره
۰/۴۶	۰/۵۲	۰/۸۴	۰/۶۲	دوره واسنجی
۰/۷۴	۰/۲۵	۰/۷۶	۰/۳۱	دوره اعتبارسنجی

درصدهای مشارکت انسان اقلیم را آسان‌تر کند. در ادامه نتایج روش غیرقطعی بررسی و تحلیل خواهند شد.

۳-۴-۳. روش تفاضلی ساده غیر قطعی

به منظور دستیابی به تسهیم غیرقطعی از خروجی‌های شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. لذا، باند عدم قطعیت حاصل شده از اجراهای مختلف شبکه عصبی مصنوعی که پیش از این ذکر شده بود، به کارگیری شده و با استفاده از روش تفاضلی ساده با عملگرهای فازی، سهام غیرقطعی انسان و اقلیم محاسبه شدند. بدین ترتیب، مقادیر متناظر با حداقل و حداکثر باند عدم قطعیت در هر نمونه به عنوان حدود بالا و پایین برای تابع عضویت مثالی شکل در نظر گرفته شده و مقدار متناظر با میانه آن به عنوان مقدار متناظر با حدفاکث عضویت در نظر گرفته شد. شکل ۷ تابع عضویت در نظر گرفته شده برای هر نمونه را نمایش می‌دهد. بدین ترتیب برای محاسبه میانگین در دوره مرجع و اخیر، تمامی توابع عضویت در نظر گرفته شده در این دوره‌ها با استفاده از عملگرهای اصلاح شده فازی، جمع فازی شده و سپس بر تعداد نمونه‌ها تقسیم شده تا مقدار میانگین هر دوره به دست آید. همچنین مطابق روش تفاضلی ساده، برای طی بقیه گام‌ها از همان عملگرهای فازی اصلاح شده استفاده شد. بدین ترتیب توابع عضویت سهم هر کدام از عوامل انسان و اقلیم مطابق شکل ۸ به دست آمدند.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، توابع عضویت به دست آمده مکمل هم هستند و در یک درجه عضویت ثابت، مجموع سهم اقلیم و انسان برابر یک می‌شود. نکته مهم در ارتباط با سهمی فازی به دست آمده آن است که این سهم برای هر کدام از عوامل، دارای همپوشانی نیستند. با استناد به این موضوع می‌توان با اطمینان بیشتر راجع به درصد مشارکت انسان و اقلیم صحبت کرد؛ بنابراین می‌توان گفت بر اساس شکل ۷ سهم انسان در تغییرات جریان بسیار بیشتر از سهم اقلیم است. در ادامه به بررسی سهم مشارکت در دو درجه عضویت مختلف پرداخته می‌شود.

۴-۳. روش تفاضلی ساده قطعی

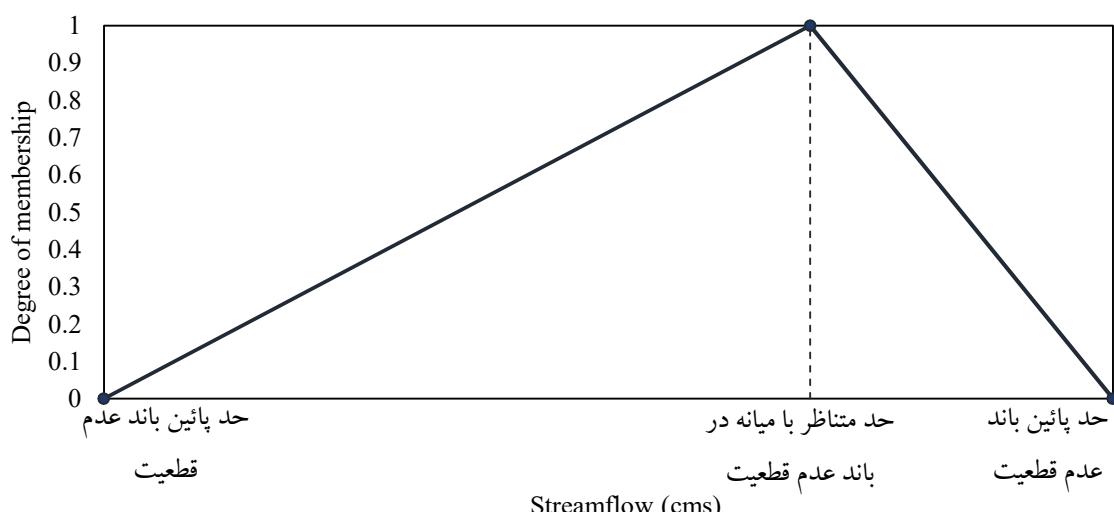
مدل SWAT واسنجی شده در دوره اول جهت اجرای سناریوی گذشته استفاده شد. بدین منظور، وضعیت اقلیمی دوره اخیر (شامل بارش، دما، درصد رطوبت نسبی، تابش و سرعت باد در دوره دوم) در مدل وارد شده و پاسخ مدل به ازای آن بررسی شد. پس از آن مقایسه نتایج مدل و مشاهدات درصدهای مشارکت انسان و اقلیم را در تغییرات جریان به دست آورد. بر اساس نتایج این روش، فعالیت‌های انسانی در زیرحوضه منتهی یه ایستگاه تمر غالب بر فعالیت‌های اقلیمی بوده است، به طوری که ۶۱ درصد از تغییرات جریان به دلیل فعالیت‌های مستقیم انسانی و ۳۹ درصد آن به دلیل فعالیت‌های غیرمستقیم انسانی است. بالابودن سهم فعالیت‌های انسانی در این ایستگاه نشان‌دهنده اهمیت بالاتر تغییرات انسان محور به خصوص کاربری اراضی نسبت به تغییر اقلیم است؛ بنابراین قسمت بزرگی از این تغییرات با توجه به سیاست‌گذاری‌های مدیران قابل جلوگیری بوده است.

۴-۳. روش کشسانی اقلیمی قطعی

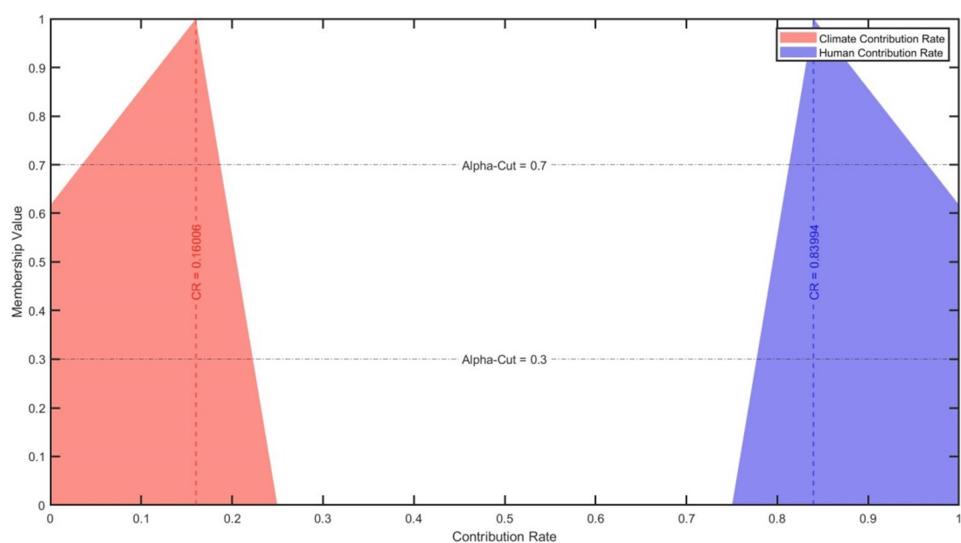
داده‌های بارش، پتانسیل تبخیر-تعرق و مساحت هر کاربری اراضی در هر ماه مورد بررسی و تحلیل قرار گرفتند. نتایج روش کشسانی اقلیمی اما نتایجی متفاوت با روش تفاضلی ساده را بیان می‌کند. در این روش ۳۲/۵ درصد از تغییرات به وسیله فعالیت‌های انسانی و ۶۷/۵ درصد از تغییرات حاصله از سوی اقلیم بوده‌اند. بر طبق نتایج استحصال شده، اگرچه انسان در بروز تغییرات در جریان ایستگاه تمر بدون دخالت نبوده اما سهم کمتری را نسبت به اقلیم داشته است. تفاوت به وجود آمده در روش کشسانی و تفاضلی ساده تا حدودی به دلیل تفاوت در ماهیت روش‌ها قابل توجیه است. تفاوت در مقادیر سهم به دست آمده از روش‌های مختلف در مطالعات پیشین نیز یافت می‌شود (لو و همکاران، ۲۰۱۹؛ زنگ و همکاران، ۱۳۹۴؛ کلباسی و زهرایی، ۲۰۱۵). دست‌یابی به سهم غیرقطعی و تحلیل آنها ممکن است رأی نهایی برای

برای اقلیم در $0/16$ اتفاق افتاده است. سهم اقلیم و انسان در درجه اشتراک صفر که حالت مرزی بین وجود و عدم وجود فازی اثرات اقلیم و انسان است، به ترتیب بین $0/25$ و $0/75$ الی 1 است. بنابراین، در تمامی درجات اشتراک، سهم تغییر اقلیم کتر از 25 درصد و سهم انسان بیشتر از 75 درصد است. این ارقام میان مشارکت چشم‌گیر انسان نسبت به تغییر اقلیم است.

در درجه اشتراک $0/3$ همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقدار درجه اشتراک در تابع عضویت درجه اشتراک تغییر اقلیم بین $0/22$ الی $0/0$ و متعاقباً در تابع عضویت درجه اشتراک انسان بین $0/77$ الی 1 می‌باشد همچنین در درجه عضویت $0/7$ نیز سهم اقلیم بین $0/03$ و $0/19$ و سهم انسان بین $0/81$ و $0/97$ می‌باشد. در درجه اشتراک 1 نیز همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشترین عضویت مشارکت فعالیت‌های مستقیم در مشارکت $0/83$ و



شکل ۷. نحوه در نظر گرفتن تابع عضویت هر نمونه.



شکل ۸. درصدهای مشارکت فازی شده انسان و اقلیم در تغییرات جریان ایستگاه تم ر.

محاسبات اعداد فازی، نسخه‌ای غیرقطعی از درصدهای مشارکت استحصال شد. این نسخه غیرقطعی از درصدهای مشارکت نشان داد در هر درجه عضویت سهم مشارکت انسان بسیار قابل توجه و غالب بر سهم مشارکت اقلیم است. به عبارتی در طول دوره شبیه‌سازی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر جریان بسیار قابل توجه بوده در حالی که تغییر اقلیم نسبتاً اثرات کمتری در تغییرات به وجود آمده در جریان داشته است.

تغییرات به وجود آمده در نظام جریان رودخانه گرگانرود ناشی از فعالیت‌های موجود در سطح حوضه و بهصورت عمده تغییر کاربری اراضی در طی سالیان مختلف و تغییر اقلیم است. از آنجایی که کاربری اراضی منتج از سیاست‌های اجرایی در حوضه است، بنابراین می‌توان انتظار داشت اصلاح مدیریت و اعمال سیاست‌های مناسب در جلوگیری از این تغییرات بتواند بهصورت چشم‌گیری اثرگذار باشد. نتایج این تحقیق می‌تواند برای مدیران و سیاست‌گذاران حوضه آب و کشاورزی بسیار مفید باشد.

مراجع

- آذری، م.، ۱۳۹۲، ارزیابی اثرات تغییر اقلیم و راههای سازگاری با آن در مدیریت منابع آب و خاک، رساله دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، ۱۶۹ ص.
- کلбاسی، ا. و زهرایی، ب.، ۱۳۹۴، کمی‌سازی اثر فعالیت‌های انسانی بر رواناب‌های سطحی با تأکید بر آشکارسازی اثرات تغییر اقلیم، پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- محضری، س.، ۱۳۹۳، شبیه‌سازی هدرروی نیترات توسط رواناب و رسوب در حove گرگانرود استان گلستان. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی علوم خاک-فیزیک و حفاظت خاک، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۱۹۴ ص.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از روش‌های مختلف ریاضی-آماری (بهصورت قطعی و غیرقطعی) و مدل‌های مختلف هیدرولوژیکی سعی شد تا درصد مشارکت انسان و اقلیم در تغییرات به وجود آمده در جریان ثبت شده در ایستگاه تمр به دست آید. در اولین قدم پس از انتخاب نقطه شکست، مدل‌سازی هیدرولوژیکی به‌منظور درک رابطه بین اقلیم و هیدرولوژی صورت گرفت. نتایج آماری و عملکرد مدل‌های هیدرولوژیکی مورد استفاده در این حوضه می‌بین آن بودند که مدل‌های مد نظر توانایی مناسبی در شبیه‌سازی جریان ایستگاه تمر دارند اما در برخی موارد خاص دچار ضعف و نقص هستند. به عنوان مثال، استفاده از مدل SWAT نشان داد مدل جریان‌های فصول خشک را نمی‌تواند به خوبی شبیه‌سازی کند اما در کل عملکرد مناسبی را دارد. نتایج تحقیقات محضری (۱۳۹۳) و آذری (۱۳۹۲) نیز نشان می‌دهد که مقدار شاخص نش-ساتکلیف در شبیه‌سازی جریان در دوره‌های زمانی مختلف، بین ۰/۵ الی ۰/۶ بوده است. برخلاف مدل SWAT، شبکه عصبی مصنوعی جریان در فصول خشک را با دقت بیشتری شبیه‌سازی کرده است اما در شبیه‌سازی جریان در فصول تر عملکرد مناسبی را نداشته است. با توجه به مقدار شاخص KGE، عملکرد مدل شبکه عصبی مصنوعی مناسب‌تر از مدل هیدرولوژیکی SWAT است. از به کارگیری روش‌های قطعی تعیین درصدهای مشارکت، نتایج مختلفی منتج شده است. این تنوع به‌نحوی است که در روش تفاضلی ساده سهم انسان بهصورت قابل توجهی بیشتر از سهم اقلیم بوده و در روش کشسانی اقلیمی سهم اقلیم بهصورت قابل توجهی بیشتر از انسان است. اختلاف موجود در روش‌های مختلف به‌دلیل وجود فرضیات و روابط ارائه شده مختلف است و تجزیه و استفاده از روش‌های غیرقطعی می‌تواند منجر به تجزیه و تحلیل دقیق تر سهامی اشتراک انسان و اقلیم شود. از این‌رو، با استفاده از تئوری فاری و روش حاکم بر

- Akoko, G., Le, T. H., Gomi, T. and Kato, T., 2021, A Review of SWAT Model Application in Africa. *In Water*, 13(9), 1313. <https://doi.org/10.3390/w13091313>.
- Asadi, H., Shahedi, K., Jarihani, B. and Sidle, R. C., 2019, Rainfall-Runoff Modelling Using Hydrological Connectivity Index and Artificial Neural Network Approach. *In Water*, 11(2), 212. <https://doi.org/10.3390/w11020212>.
- Bao, Z., Zhang, J., Wang, G., Fu, G., He, R., Yan, X., Jin, J., Liu, Y. and Zhang, A., 2012, Attribution for decreasing streamflow of the Haihe River basin, northern China: Climate variability or human activities? *Journal of Hydrology*, 460–461, 117–129. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.06.054>.
- Clifton, C. F., Day, K. T., Luce, C. H., Grant, G. E., Safeeq, M., Halofsky, J. E. and Staab, B. P., 2018, Effects of climate change on hydrology and water resources in the Blue Mountains, Oregon, USA. *Climate Services*, 10, 9–19. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cliser.2018.03.001>.
- Dey, P. and Mishra, A., 2017, Separating the impacts of climate change and human activities on streamflow: A review of methodologies and critical assumptions. *Journal of Hydrology*, 548, 278–290. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.03.014>.
- Eisner, S., Flörke, M., Chamorro, A., Daggupati, P., Donnelly, C., Huang, J., Hundecha, Y., Koch, H., Kalugin, A. and Krylenko, I., 2017, An ensemble analysis of climate change impacts on streamflow seasonality across 11 large river basins. *Climatic Change*, 141(3), 401–417.
- Farsi, N. and Mahjouri, N., 2019, Evaluating the contribution of the climate change and human activities to runoff change under uncertainty. *Journal of Hydrology*, 574, 872–891. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.04.028>.
- Gharbia, S. S., Smullen, T., Gill, L., Johnston, P. and Pilla, F., 2018, Spatially distributed potential evapotranspiration modeling and climate projections. *Science of The Total Environment*, 633, 571–592. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.208>.
- Gholami, V., 2013, The influence of deforestation on runoff generation and soil erosion (Case study: Kasilian Watershed). *Journal of Forest Science*, 59(7), 272–278.
- Gholami, V., Booij, M. J., Nikzad Tehrani, E. and Hadian, M. A., 2018, Spatial soil erosion estimation using an artificial neural network (ANN) and field plot data. *CATENA*, 163, 210–218. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.12.027>.
- Givati, A., Thirel, G., Rosenfeld, D. and Paz, D., 2019, Climate change impacts on streamflow at the upper Jordan River based on an ensemble of regional climate models. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 21, 92–109. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2018.12.004>.
- Gizaw, M. S., Biftu, G. F., Gan, T. Y., Moges, S. A. and Koivusalo, H., 2017, Potential impact of climate change on streamflow of major Ethiopian rivers. *Climatic Change*, 143(3), 371–383.
- Grillakis, M. G., 2019, Increase in severe and extreme soil moisture droughts for Europe under climate change. *Science of The Total Environment*, 660, 1245–1255. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.001>.
- Huang, S., Zheng, X., Ma, L., Wang, H., Huang, Q., Leng, G., Meng, E. and Guo, Y., 2020, Quantitative contribution of climate change and human activities to vegetation cover variations based on GA-SVM model. *Journal of Hydrology*, 584, 124687. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124687>.
- Jha, M., Pan, Z., Takle, E. S. and Gu, R., 2004, Impacts of climate change on streamflow in the Upper Mississippi River Basin: A regional climate model perspective. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 109(D9). <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2003JD003686>.
- Kim, D.-H., Jang, T. and Hwang, S., 2020, Evaluating impacts of climate change on hydrology and total nitrogen loads using coupled APEX-paddy and SWAT models. *Paddy and Water Environment*, 18(3), 515–529. <https://doi.org/10.1007/s10333-020-00798-4>.
- Li, C., Wang, L., Wanrui, W., Qi, J., Linshan, Y., Zhang, Y., Lei, W., Cui, X. and Wang, P., 2018, An analytical approach to separate climate and human contributions to basin streamflow variability. *Journal of Hydrology*, 559, 30–42. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.02.019>.
- Li, M., Wu, P. and Ma, Z., 2020, A comprehensive evaluation of soil moisture and soil temperature from third-generation atmospheric and land reanalysis data sets. *International Journal of Climatology*, 40(13), 5744–5766. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/joc.6549>.
- Liu, J., Zhou, Z., Yan, Z., Gong, J., Jia, Y., Xu, C. Y. and Wang, H., 2019, A new approach to separating the impacts of climate change and multiple human activities on water cycle processes based on a distributed hydrological

- model. *Journal of Hydrology*, 578, 124096.
- Liu, J., Zhang, Q., Singh, V. P. and Shi, P., 2017, Contribution of multiple climatic variables and human activities to streamflow changes across China. *Journal of Hydrology*, 545, 145–162.
- Loiselle, D., Du, X., Alessi, D. S., Bladon, K. D. and Faramarzi, M., 2020, Projecting impacts of wildfire and climate change on streamflow, sediment, and organic carbon yields in a forested watershed. *Journal of Hydrology*, 590, 125403. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125403>.
- Mahmoodi, N., Kiesel, J., Wagner, P. D. and Fohrer, N., 2020, Integrating water use systems and soil and water conservation measures into a hydrological model of an Iranian Wadi system. *Journal of Arid Land*, 12(4), 545–560. <https://doi.org/10.1007/s40333-020-0125-3>.
- McInerney, D., Thyer, M., Kavetski, D., Githui, F., Thayalakumaran, T., Liu, M. and Kuczera, G., 2018, The Importance of Spatiotemporal Variability in Irrigation Inputs for Hydrological Modeling of Irrigated Catchments. *Water Resources Research*, 54(9), 6792–6821. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2017WR022049>.
- Mehdizadeh, S., Behmanesh, J. and Khalili, K., 2018, New Approaches for Estimation of Monthly Rainfall Based on GEP-ARCH and ANN-ARCH Hybrid Models. *Water Resources Management*, 32(2), 527–545. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1825-0>.
- Moradi, Z. and Mikaeili T., A. R., 2020, Relationship between Land Use Change and Water Yield in Gorgan-rood Watershed. *Journal of Watershed Management Research*, 11(21), 269–280.
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D. and Veith, T. L., 2007, Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885–900.
- Nash, J. E. and Sutcliffe, J. V., 1970, River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10(3), 282–290. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6).
- Nasseri, M., Ansari, A. and Zahraie, B., 2014, Uncertainty assessment of hydrological models with fuzzy extension principle: Evaluation of a new arithmetic operator. *Water Resources Research*, 50(2), 1095–1111.
- Nilawar, A. P. and Waikar, M. L., 2019, Impacts of climate change on streamflow and sediment concentration under RCP 4.5 and 8.5: A case study in Purna river basin, India. *Science of The Total Environment*, 650, 2685–2696. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.334>.
- Nourani, V., 2017, An Emotional ANN (EANN) approach to modeling rainfall-runoff process. *Journal of Hydrology*, 544, 267–277. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.11.033>.
- Nourani, V., Komasi, M. and Mano, A., 2009, A Multivariate ANN-Wavelet Approach for Rainfall–Runoff Modeling. *Water Resources Management*, 23(14), 2877. <https://doi.org/10.1007/s11269-009-9414-5>.
- Patterson, L. A., Lutz, B. and Doyle, M. W., 2013, Climate and direct human contributions to changes in mean annual streamflow in the South Atlantic, USA. *Water Resources Research*, 49(11), 7278–7291. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/2013WR014618>.
- Pettitt, A. N., 1979, A non-parametric approach to the change-point problem. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, 28, 126–135.
- Qi, J., Zhang, X., Yang, Q., Srinivasan, R., Arnold, J. G., Li, J., Waldhoff, S. T. and Cole, J., 2020, SWAT ungauged: Water quality modeling in the Upper Mississippi River Basin. *Journal of Hydrology*, 584, 124601. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124601>.
- Rajib, A., Merwade, V. and Yu, Z., 2018, Rationale and Efficacy of Assimilating Remotely Sensed Potential Evapotranspiration for Reduced Uncertainty of Hydrologic Models. *Water Resources Research*, 54(7), 4615–4637. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2017WR021147>.
- Ran, L., Yuan, Y., Cooter, E., Benson, V., Yang, D., Pleim, J., Wang, R. and Williams, J., 2019, An Integrated Agriculture, Atmosphere, and Hydrology Modeling System for Ecosystem Assessments. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 11(12), 4645–4668. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2019MS001708>.
- Rouhani, H. and Jafarzadeh, M. S., 2018, Assessing the climate change impact on hydrological response in the Gorganrood river basin, Iran. *Journal of Water and Climate Change*, 9(3), 421–433.
- Schaake, J. C., 1990, From climate to flow. *Climate Change and US Water Resources*, 177–206.
- Sunde, M. G., He, H. S., Hubbart, J. A. and Urban, M. A., 2017, Integrating downscaled CMIP5 data with a physically based hydrologic model to estimate potential climate change impacts on streamflow processes in a mixed-use watershed. *Hydrological Processes*, 31(9), 1790–1803. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/hyp.11150>.
- Tan, X. and Gan, T. Y., 2015, Contribution of human

- and climate change impacts to changes in streamflow of Canada. *Scientific Reports*, 5(1), 17767. <https://doi.org/10.1038/srep17767>.
- Tian, P., Lu, H., Feng, W., Guan, Y. and Xue, Y., 2020, Large decrease in streamflow and sediment load of Qinghai–Tibetan Plateau driven by future climate change: A case study in Lhasa River Basin. *CATENA*, 187, 104340. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104340>.
- Wang, G., Xia, J. and Chen, J., 2009, Quantification of effects of climate variations and human activities on runoff by a monthly water balance model: A case study of the Chaobai River basin in northern China. *Water Resources Research*, 45(7). <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2007WR006768>.
- Xiang, Y., Gou, L., He, L., Xia, S. and Wang, W., 2018, A SVR–ANN combined model based on ensemble EMD for rainfall prediction. *Applied Soft Computing*, 73, 874–883. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.09.018>.
- Xin, Z., Li, Y., Zhang, L., Ding, W., Ye, L., Wu, J. and Zhang, C., 2019, Quantifying the relative contribution of climate and human impacts on seasonal streamflow. *Journal of Hydrology*, 574, 936–945. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.04.095>.
- Yan, B., Fang, N. F., Zhang, P. C. and Shi, Z. H., 2013, Impacts of land use change on watershed streamflow and sediment yield: An assessment using hydrologic modelling and partial least squares regression. *Journal of Hydrology*, 484, 26–37. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.01.008>.
- Yin, J., Yuan, Z., Yan, D., Yang, Z. and Wang, Y., 2018, Addressing Climate Change Impacts on Streamflow in the Jinsha River Basin Based on CMIP5 Climate Models. In *Water* 10(7). <https://doi.org/10.3390/w10070910>.
- Zadeh, L. A., 1975, The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—I. *Information Sciences*, 8(3), 199–249.
- Zeng, S., Zhan, C., Sun, F., Du, H. and Wang, F., 2015, Effects of climate change and human activities on surface runoff in the Luan River Basin. *Advances in Meteorology*, 2015.
- Zhang, C., Wang, X., Li, J. and Hua, T., 2020a, Identifying the effect of climate change on desertification in northern China via trend analysis of potential evapotranspiration and precipitation. *Ecological Indicators*, 112, 106141. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106141>.
- Zhang, H., Wang, B., Liu, D. L., Zhang, M., Leslie, L. M. and Yu, Q., 2020b, Using an improved SWAT model to simulate hydrological responses to land use change: A case study of a catchment in tropical Australia. *Journal of Hydrology*, 585, 124822. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124822>.
- Zhang, S. and Lu, X. X., 2009, Hydrological responses to precipitation variation and diverse human activities in a mountainous tributary of the lower Xijiang, China. *Catena*, 77(2), 130–142.
- Zheng, K., Wei, J.-Z., Pei, J.-Y., Cheng, H., Zhang, X.-L., Huang, F.-Q., Li, F.-M. and Ye, J.-S., 2019, Impacts of climate change and human activities on grassland vegetation variation in the Chinese Loess Plateau. *Science of The Total Environment*, 660, 236–244. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.022>.

Deterministic and Fuzzy Evaluation of Human and Climate Contributions in Changing Hydrologic Regime: A Case Study of the Gorganrood Watershed at Tamar River Hydrometric Station

Mohammadpour Khoie, M. M.¹, Nasseri, M.^{2*} and Banihashemi, S. M. A.²

1. M.Sc. Student, School of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran
2. Associate Professor, School of Civil Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

(Received: 28 Aug 2021, Accepted: 19 April 2022)

Summary

Human and climate are two major scio-hydrologic drivers that determine hydrological regimes and patterns. In this regards, Land Use and Land Cover (LULC) changes, agricultural development, etc., on global and regional scales, hydro-climatological components have influenced these regimes. The effects of each driver on the variation of hydrological components have been assessed in different studies, but these approaches are not accurate enough at watershed-scales that experience the simultaneous impacts of climate dynamics and LULC changes. Different studies have considered both climate and human alterations in the hydrological cycle, and quantified their contributions in such basin. Results of these researches can help decision makers in water management of the pros and cons of water and land use policies. The Gorganrood watershed is an important basin in the northern part of Iran, especially from the agricultural point of view, which has considerably experienced hydrological and extreme events changes. While the consequence of each climate change and LULC changes have been assessed in the watershed, there is no study, which considers the complicated interactions of these drivers. In this paper, the authors firstly evaluated the contributions of LULC and climate change on the variation of streamflow. Secondly, the modified fuzzy arithmetic method has been used to achieve their fuzzy contributions. To this purpose, the computational period was firstly divided into two different temporal spans known as the reference and affected periods. The reference period is the first temporal span in which climate controls the hydrological responses. Then, the statistical behavior of the time-series changes due to human activities, and the affected periods. Two hydrological models, Soil and Water Assessment Tool (SWAT) and a black box Artificial Neural Networks (ANNs), were used to simulate the streamflow in the watershed. However, the results of the hydrological models showed their general acceptable performance to simulate the recorded streamflow at Tamar hydrometric station, but the results of the conceptual model (SWAT) showed that the performance of the model in the dry season is not as good as in the wet season. In the next step, the contributions of human and climate activities were assessed via two different methods. The first method is simple differential method, which compares the projection of the calibrated model in the second period with observations in both periods. The second set of contribution rates was calculated using the climate elasticity method via recorded monthly data and implemented derivation rules. In the first method, the contribution rate of human activities is significantly higher than the rate of climate change, and the result of the second method is a reverse. Because of differences in the methods' concepts, the calculated contributions rates are different. To assess the uncertainty grouped with the estimations, a novel approach was developed using fuzzy mathematics. The uncertain version of the contribution rates showed that in each α -cut (fuzzy uncertainty level), the contribution of human alteration (LULC change) as the most important human interventions is more significant than climate direvers. In other words, during the simulation period, the effect of LULC change on the flow was very noteworthy, while climate change had relatively less effect on the behavioral change of the flow.

Keywords: Climate change, Land Use and Land Cover (LULC) changes, Gorganrood watershed, Uncertainty assessment, Fuzzy system.

* Corresponding author:

mnasseri@ut.ac.ir