مستخرج از پایان نامه

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و شش، شماره سوم، خرداد ماه ۱۴۰۳ (۹۷-۸۵)

تحلیل روند و ناهمگنی متغیرهای هیدرواقلیمی در حوضه آبخیز تجن

سجاد صادقی[۱]

بهرام ثقفیان[۲*]

b.saghafian@srbiau.ac.ir

محسن نجارچی[۱]

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۰/۲۵ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۱۰**

چکیده

زمینه و هدف: در ایران، به خاطر گرم شدن و تغییرات بارندگی شدید به همراه توسعه طی دهه‌های اخیر، می‌بایست برای فهم عوامل اقلیمی بر منابع آبی توجه بیشتری گردد. بنابراین هدف تحقیق، تحلیل روند و ناهمگنی متغیرهای اقلیمی و نیز تاثیر آن‌ها بر فرآیندهای هیدرولوژیکی می‌باشد.

روش بررسی: ایستگاه‌های دارای داده‌های طولانی مدت برای تحلیل روند (آزمون های من‌کندال) و بررسی همگنی (آزمون پتیت) متغیرهای اقلیمی در دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۸۴-۲۰۱۴) مورد بررسی قرار گرفت. اثرات متغیرهای اقلیمی بر رواناب حوضه با استفاده از ابزار ارزیابی آب و خاک (SWAT) برای دو دوره زمانی اقلیمی (۱۹۸۴-۲۰۰۱ و ۲۰۰۱-۲۰۱۴) مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: در بررسی همگنی در ایستگاه‌های مورد بررسی تنها در ایستگاه سلیمان‌تنگه، نقطه تحول در سال ۱۹۹۸ را نشان داد و در دیگر ایستگاه‌ها این مورد مشاهده نگردید. در بررسی دمای ایستگاه قراخیل نقطه تحول در سال ۱۹۹۷ مشخص گردید و روند نیز به صورت افزایشی و معنی‌دار بوده است. نتایج آماره‌های ارزیابی ضریب تبیین (دوره کالیبراسیون: R2=۰/۶ و دوره صحت‌سنجی: R2=۰/۷۹) و نش ساتکلیف (دوره کالیبراسیون: NSE=۰/۵۱ و دوره صحت‌سنجی: NSE=۰/۵۱) حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT مورد تأیید می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری: در کل تغییرات اقلیمی طی سه دهه گذشته سبب کاهش رواناب در حوضه آبخیز شده است که ممکن است تا حدودی به وسیله افزایش تبخیر و تعرق در نتیجه افزایش دما یا کاهش بارش در اکثر ماه‌ها باشد. پژوهش حاضر، لزوم توجه به بحث تغییر متغیرهای اقلیمی و پیامدهای آن را در مدیریت منابع آب حوضه تجن، متذکر می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: حوضه آبخیز تجن، بررسی روند و همگنی، متغیرهای اقلیمی، رواناب، مدل ارزیابی آب و خاک (SWAT).

۱- دکتری دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد واحد اراک، اراک، ایران.

۲- استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران. *(مسوول مکاتبات)

J. Env. Sci. Tech., Vol 26, No. 3, July, 2024

Analysis of trend and heterogeneity of hydroclimatic variables in Tajen watershed

Sajad Sadeghi[1]
Bahram Saghafian[2*]
b.saghafian@srbiau.ac.ir
Mohsen Najarchi [1]

Admission Date:September 1, 2021 Date Received: January 14, 2021

Abstract

Background and Objective: In Iran, due to warming and severe precipitation variation along with development in recent decades, more attention should be paid to comprehend the role of climatic factors in water resources. Therefore, this study aims to analyze the trend and heterogeneity of the climatic variables as well as their impact on hydrological processes.

Material and Methodology The stations with long-term data were analyzed for trend analysis (Mann-Kendall tests) and homogeneity (Pettitt test) of climatic variables in a 30-year statistical period (1984-2014). The impacts of climatic variables on the basin's runoff were investigated using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) for two climatic time periods (1984-2001 and 2001-2014).

Findings: The homogeneity investigation in the stations demonstrated that only in Soleiman Tangeh Station, the year 1998 was determined as the turning point. This case was not observed in other stations. Regarding the investigation of temperature associated with Gharakhil station, the turning point was obtained in 1997 and the trend was increasing and meaningful. The results of the coefficient of determination and Nash-Sutcliffe achieved from the calibration and validation of the SWAT were quite satisfactory.

Discussion and Conclusion: In general, climate change over the past three decades has led to decline in the runoff of the basin, which may be partly due to the increased evapotranspiration as a result of increased temperature or reduced precipitation in most months. The present study attempts to indicate the significance of climate change and its consequences in the water resource management of the Tajan basin.

Keywords: Tajan watershed, trend and homogeneity investigation, climatic variables, runoff, soil and water assessment model (SWAT).

1- PhD. Faculty of Civil Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.
2- Professor, Faculty of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
* (*Corresponding Author*)

مقدمه

در یک اکوسیستم طبیعی، مجموعه عوامل انسانی و عوامل طبیعی نظیر تغییرات اقلیمی، بر پاسخ‌های هیدرولوژی مانند رواناب خروجی تاثیرگذار می‌باشد. از این رو بررسی رفتارهای اقلیمی مانند الگوی زمانی_مکانی بارش و دما، از جمله مولفه‌های اصلی در مطالعات منابع آب بوده و به عنوان عوامل موثر بر کمبود آب و یا سیلاب‌ها در حوضه‌های آبریز مطرح گردیده است.

شناخت چگونگی روند تغییرات اقلیمی به ویژه روند تغییرات بارش و دما، از جمله مواردی است که در سال‌های اخیر مورد توجه محققین علوم جوی و هیدرولوژی قرار گرفته است (۱). تحلیل روند متغیرهای هیدرواقلیمی و تاثیر آن بر تغییرات رواناب برای مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب اهمیت زیادی دارد. به بیانی بیشتر پروژه‌های منابع آب، طرح‌های عمرانی، طراحی‌ها، بهره‌برداری‌ها به الگوی تاریخی مقدار آب موجود، کیفیت و تقاضای آن وابسته است. هم‌چنین بررسی روند تغییرات، مطالعه تغییرات ناگهانی و ناهمگنی متغیرهای هیدرواقلیمی کمک زیادی در تحلیل، شناسایی و دامنه تغییرات متغیرهای یاد شده خواهد کرد. هم‌چنین، تحلیل همگنی متغیرهای هیدرواقلیمی اهمیت زیادی در مدل‌سازی هیدرولوژیکی، مطالعات منابع آب و تغییر اقلیم دارد.

خشکی یا محدودیت آب یکی از مهم‌ترین عوامل اقلیمی در ایران است به طوری که تقریباً ۵۰ درصد از مناطق ایران را می‌توان به مناطق خشک و یا نیمه‌خشک تقسیم‌بندی نمود. توزیع پراکنش میزان بارندگی در طول سال در اغلب مناطق از شرایط مناسبی که برای رشد گیاه مفید باشد، برخوردار نیست. این اکوسیستم‌ها در شرایط فعلی به دلیل فعالیت‌های انسانی و شرایط به وجود آمده بر اثر تغییرات اقلیمی به شدت تحت فشار هستند و بسیاری از اکوسیستم‌های مناطق نیمه‌خشک، هم اکنون علائم اولیه تغییرات اقلیمی را بروز داده‌اند (۲). وجود روند در سری‌های هیدرومتئورولوژی ممکن است ناشی از تغییرات طبیعی، مانند خشکسالی یا فعالیت‌های انسانی باشد. رخداد روند در عوامل اقلیمی هر ناحیه امری عادی بوده اما تداوم آن در سال‌های بعد می‌تواند اثرات بارزتری بر مولفه‌های تولیدی و اقتصادی و هم‌چنین اجتماعی داشته باشد(۳). در ایران، به خاطر گرم شدن و تغییرات بارندگی شدید به همراه توسعه صنعتی و کشاورزی وسیع در طی دهه‌های اخیر توجه بیشتری برای فهم این دو عامل به ویژه متغیرهای اقلیمی بر منابع آبی نیاز است. به طوری که بررسی روند متغیرهای دما، بارش، رطوبت نسبی، سرعت باد و تبخیر و تعرق گیاه مرجع طی روند ۴۰ ساله گذشته در دو اقلیم سرد و گرم ایران به روش من‌کندال نشان داد که بیشترین نوسانات در سری داده‌های بارش و سرعت باد و کمترین نوسانات در سری داده‌های دما وجود دارد (۴). هم‌چنین تغییرات دما و بارندگی در سواحل جنوبی دریای خزر نشان می‌دهد که در ایستگاه‌های مورد بررسی میانگین منطقه‌ای دمای متوسط افزایش و بارندگی کاهش یافته است(۵). از طرف دیگر روند بارش در دوره ۳۰ ساله در استان مازندران نشان داد که در فصول سرد سال، روندهای نزولی و در فصول تابستان، روندهای صعودی را شاهد هستیم، که حاکی از اهمیت تغییر اقلیم در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. هم‌چنین روندهای میانگین بارش سالانه نیز در منطقه در حال کاهش است (۶). بنابراین با توجه به تغییرات اقلیم در منطقه، بررسی پاسخ‌های هیدرولوژیکی حوضه می‌تواند گامی ارزشمند در ارتباط با درک صحیح شرایط هیدرولوژیکی حوضه تحت تاثیر تغییرات تاریخی باشد.

از طرفی درک صحیح از هیدرولوژی حاضر تحت تاثیر تغییرات روند متغیرهای اقلیمی در سه دهه اخیر به منظور مدیریت حوضه، نیازمند مدل‌سازی خاصی است. از جمله مدل‌های توسعه یافته به منظور شبیه‌سازی جامع حوضه آبریز مدل SWAT، به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد آن از جمله شبیه‌سازی هم‌زمان اثرات متقابل متغیرهای هیدرولوژیکی، مدیریت کشاورزی در حوضه‌های پیچیده با خاک و کاربری‌های متفاوت و ارتباط آن با تغییرات اقلیمی می‌باشد. از طرف دیگر عدم وجود تاسیسات و شبکه‌های منسجم اندازه‌گیری مولفه‌های بیلان آبی و فقدان آمار و اطلاعات هر چند به صورت نقطه ای

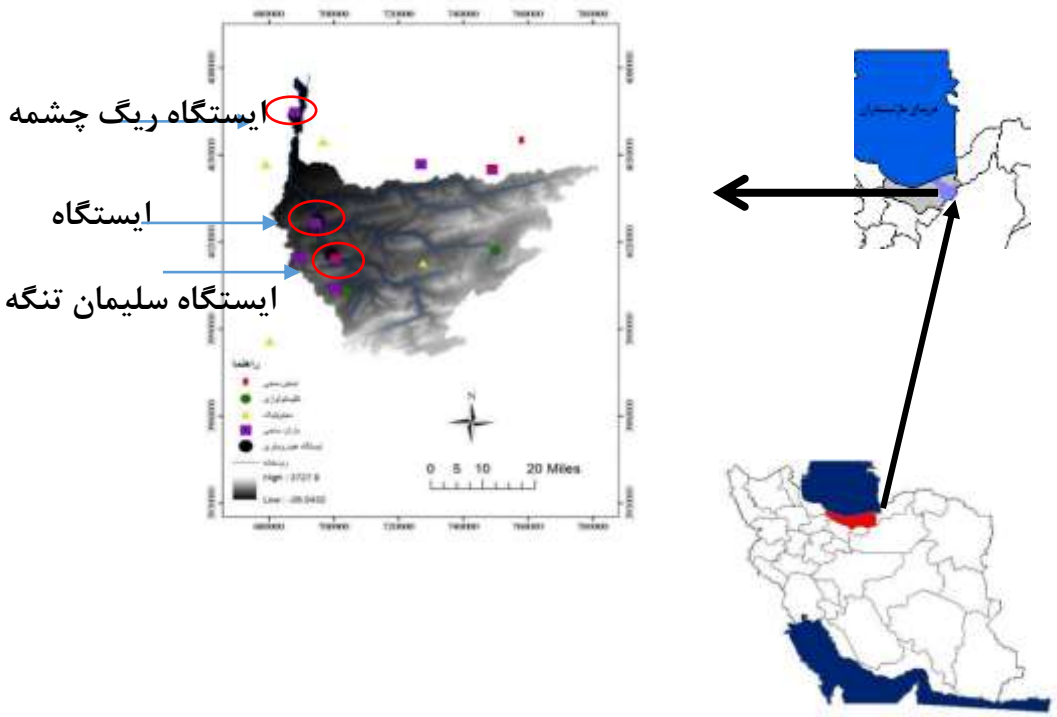
در حوضه‌های آبخیز از یک طرف و نیاز به داشتن اطلاعات مکانی دقیق و به روز جهت مدیریت جامع منابع آب حوضه‌های آبخیز، شناخت این پدیده‌ها را ضروری می‌سازد (۷). به طوری که، مدل ارزیابی آب و خاک (SWAT) در چندین حوضه در بسیاری از کشورها جهت مطالعه فرآیندهای متغیرهای اقلیمی بر روندهای هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار گرفته است (۸، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲). هم‌چنین، بررسی اثرات اقلیمی بر هیدرولوژی حوضه‌های آبریز از جمله موارد مهمی است که در مطالعات بدان توجه ویژه شده است. فتحیان و همکاران (۲۰۱۴) مطالعه‌ای با عنوان "تحلیل روند پارامترهای هیدرواقلیمی در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه" انجام دادند. آنها برای تحلیل روند با روش‌های من‌کندال، شیب خط شن و آزمون اسپیرمن از ۹۵ ایستگاه باران‌سنجی، دماسنجی و آب‌سنجی استفاده کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد هر چند روند تغییرات بارش از الگوی مشخصی پیروی نمی‌کرد، روند دما در سراسر حوضه آبخیز افزایشی معنی‌دار و روند تغییرات جریان رودخانه‌ای دارای کاهشی معنادار بوده است. مقدار تغییرات دما در منطقه ۰/۲- ۱/۴ درجه سانتی‌گراد، بارش (۳۸ -۷۵-) میلی‌متر، دبی (۴-) - ۰/۱- مترمکعب بر ثانیه به ازای هر دهه بوده است (۱۳). در مطالعه‌ای توسط Beguería و همکاران (۲۰۰۳) که به‌منظور ارزیابی اثرات تغییرات اقلیمی بر جریان سطحی در حوضه مرکزی اسپانیا انجام شد، اثر دو عامل اقلیمی دما و بارش مورد بررسی قرار گرفت. بارش ماهانه در طول دوره مطالعاتی ۱۹۴۵ تا ۱۹۹۵، در ماه‌های اکتبر، آوریل و جولای، روندی افزایشی و در ماه مارس، روند کاهشی داشت. البته بارش در کل دوره روندی افزایشی دارد. دمای هوا نیز برای ماه‌های ژانویه و فوریه دارای روند افزایشی و در ماه آوریل، کاهشی بود. با این وجود میزان رواناب خروجی از حوضه در طول ۵۰ سال گذشته به شکل قابل توجهی کاهش یافته است. آن‌ها با بررسی دوره مطالعاتی، آن را به سه دوره کوچک دیگر شامل دوره خشک از سال ۱۹۴۵ تا ۱۹۵۷، دوره مرطوب از سال ۱۹۵۷ تا ۱۹۸۰ و دوره خشک از سال ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۵ تقسیم کردند. در این بررسی آن‌ها دریافتند که تغییرات سالانه بارش و رواناب خروجی از حوضه، در دوره دوم با تغییرات گسترده در کاربری اراضی منطقه مطالعاتی همراه شده است (۱۴). Liu و همکاران (۲۰۱۷) از داده‌های جریان ماهانه از دوره ۱۹۶۰-۲۰۰۰ و داده‌های جریان سالانه از دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۴ و هم‌چنین داده‌های هواشناسی از دوره ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۴ از ۸۱۵ ایستگاه هواشناسی با استفاده از مدل Budyko-based hydrothermal balance برای ارزیابی کمی سهم تغییرات آب و هوا و فعالیت‌های انسانی برای تغییرات رواناب در ده رودخانه استفاده نمودند. عوامل مؤثر بر تغییرات جریان با توجه به درجه حساسیت عبارتند از: بارش> فعالیت‌های انسانی> رطوبت نسبی> تابش خورشیدی> حداکثر درجه حرارت> سرعت باد> حداقل دما (۱۵). Zhang و همکاران (۲۰۱۷) اثرات تغییر کاربری اراضی و متغیرهای آب و هوا را بر تغییرپذیری جریان در رودخانه‌های چین با استفاده از مدل ارزیابی آب و خاک (SWAT) مورد بررسی قرار دادند. پس از واسنجی و اعتبارسنجی مدل، سه سناریو مختلف با نقشه‌های کاربری اراضی، دو کاربری سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۲ و دو دوره اقلیمی ۱۹۷۹-۱۹۹۰ و دوره ۲۰۰۱-۲۰۱۲ به منظور مطالعه اثرات، شبیه‌سازی و مقایسه شدند و با مقایسه نتایج هیدرولوژیکی سناریوها، نشان داد درجه حرارت گرم‌تر و بارندگی کمتر منجر به افت جریان ۳۹/۱٪ شده بود (۱۶). بنابراین هدف از پژوهش حاضر مطالعه ۱- تحلیل روند و تغییرات ناگهانی و همگنی متغیرهای اقلیمی ۲- شبیه سازی اثرات متغیرهای اقلیمی سه دهه گذشته روی فرآیندهای هیدرولوژیکی در حوضه آبخیز تجن با استفاده از مدل SWAT ۳- فراهم نمودن اطلاعاتی برای تصمیم‌گیران جهت مدیریت و توسعه پایدار منابع آب می‌باشد.

روش بررسی

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در تحقیق حاضر، حوضه آبخیز رودخانه تجن (حدود ۳۹۱۰ کیلومتر مربع) است که توسط کوه‌های البرز در جنوب و دریای خزر در شمال احاطه و در استان مازندران واقع شده است. منطقه شامل جنگل‌های هیرکانی دست نخورده است که شامل هشتاد گونه از درختان و درختچه‌ها با تنوع زیستی بالا می‌باشد(۱۷). از لحاظ جغرافیایی منطقه مورد

مطالعه بین طول جغرافیایی ″۵۷ ′۰۴ °۵۳ تا ″۲۶ ′۱۸ °۵۳ و عرض جغرافیایی ″۱۷ ′۰۹ °۳۶ تا ″۴۹۲۹ °۳۶ واقع شده است. رودخانه‌های سفیدرود، چهاردانگه، ظالم‌رود و شاخه اصلی تجن در این حوضه واقع شده‌اند. مرتفع‌ترین نقطه حوضه آبخیز تجن در جنوب شرقی حوضه با ارتفاع ۳۶۷۰ متر و پست‌ترین نقطه در خروجی حوضه با ارتفاع ۲۶- متر از سطح دریا واقع شده است. منطقه مورد مطالعه دارای میانگین سالانه دما حدود ۱۵ درجه سلسیوس با آب و هوای معتدل و مرطوب و میانگین بارش ۸۳۴ میلی متر می باشد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز تجن در کشور

Figure 1. Location of Tajan watershed in the country

معرفی مدل سوات و داده های مورد نیاز

معرفی مدل: SWAT یک مدل فیزیکی، نیمه توزیعی و پیوسته زمانی است که برای شبیه سازی فرایندهای هیدرولوژیکی در مقیاس حوضه ارایه شده است. در این مدل حوضه بر اساس نوع خاک، کاربری اراضی و کلاس‌های شیب به واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی تفکیک می شود که امکان شبیه‌سازی در مقیاس مکانی بالا را ارائه می‌کند. بیلان آبی هر واحد پاسخ هیدرولوژیکی با پنج بخش ذخیره، گیرش گیاهی، برف، پروفیل خاک، آبخوان کم عمق و آبخوان عمیق نشان داده می‌شود. تولید جریان در تمام واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی جمع شده و جریان‌های منتج شده به داخل کانال‌ها، مخازن و سدها تا خروجی حوضه روند می‌شود. بخش‌های مختلف حوضه می‌تواند به ۸ جزء اصلی شامل هیدرولوژی، آب و هوا، رسوبگذاری، دمای خاک، رشد محصول، مواد مغذی، آفتکش‌ها و مدیریت کشاورزی تقسیم شود. بخش هیدرولوژی شامل رواناب سطحی، نفوذ، جریان سطحی جانبی، جریان آب زیرزمینی، تبخیر و تعرق، هدررفت و ذوب برف می‌باشد. در بخش اقلیم، بارندگی، دما، تابش خورشیدی، سرعت باد و رطوبت نسبی لحاظ می‌گردد.

برای استفاده مدل‌ها برای اهداف تحقیقاتی و اجرایی نیازمند تایید دقت، توانایی و قابلیت می‌باشد که در فرآیند ارزیابی مدل مورد بررسی قرار می‌گیرد. واسنجی مدل یکی از بخش‌های ارزیابی مدل می‌باشد که شامل تخمین پارامترها از طریق

مقایسه خروجی‌های مدل برای شرایط مورد نظر با داده‌های مشاهده‌ای برای همان شرایط می‌باشد. انتخاب پارامترها از طریق آنالیز حساسیت انجام می‌شود که فرآیند تعیین مقدار تغییر در خروجی‌های مدل با توجه به تغییرات در پارامترهای ورودی مدل می‌باشد. آنالیز حساسیت با دو روش انجام می‌شود. روش اول روش One-at-a-time می‌باشد که در آن واحد، فقط تغییرات یک پارامتر در خروجی مورد بررسی قرار می‌گیرد و روش دوم روش کلی است که همزمان تمام پارامترها تغییر کرده و تغییرات خروجی‌های مدل مورد تحلیل قرار می‌گیرد و در نهایت پارامترهای حساس رده بندی می‌شود. SWAT-CUP برنامه کامپیوتری توانمندی است و به چهار الگوریتم بهینه سازی شامل SUFI2، GLUE، MCME، ParaSol ارتباط داده شده است که امکان آنالیز حساسیت، واسنجی، اعتبارسنجی و آنالیز عدم قطعیت مدل را می‌دهد. در این مطالعه از الگوریتم SUFI-2 استفاده شد. SUFI2 به دنبال این است که بیش‌تر داده‌های مشاهده‌ای در محدوده بازه عدم قطعیت قرار بگیرد و از طرف دیگر عرض بازه عدم قطعیت هم کم‌ترین اندازه باشد. به‌صورت تئوری مقدار عامل P (P-factor) بین صفر و ۱۰۰ درصد می‌تواند تغییر کند. درحالی‌که عامل R (بین صفر و بینهایت متغیر است. مقدار عامل P برابر یک و عامل R برابر صفر دلالت بر انطباق کامل مقادیر شبیه‌سازی با داده‌های مشاهده‌ای دارد. زمانی‌که مقادیر مناسب برای این دو به‌دست آمد دامنه عدم قطعیت پارامترها و دامنه پارامترها تعیین می‌شود. آنگاه برای بهترین شبیه‌سازی انجام‌شده مقادیر مربوط به ضرایب کارایی مدل تعیین می‌شود؛ اما در حقیقت این فرآیند به دنبال رسیدن به بهترین شبیه‌سازی و تنها یک مقدار برای هر پارامتر نیست بلکه بهترین جواب یک دامنه از پارامترهای مورد واسنجی است. الگوریتم SUFI2 به این صورت است که در گام نخست تابع هدف تعریف می‌شود که مدل هفت تابع هدف مختلف شامل حاصل‌ضرب مربع خطا، مجموع مربع خطا، ضریب تعیین، مربع کای، ضریب نش ساتکلیف و غیره را پیشنهاد می‌دهد. هم‌چنین امکان تعریف تابع هدف به‌صورت تک متغیره یا چند متغیره وجود دارد. با توجه به این‌که مدل یک مدل نیمه توزیعی است می‌توان برای هر واحد پاسخ هیدرولوژیکی پارامترهای منحصربه‌فردی تعریف کرد. بدین‌ترتیب امکان تعریف پارامتر برای زیرحوزه‌های یک آبخیز، گروه هیدرولوژیکی خاک، کاربری و شیب به‌طور خاص در مدل قرار داده شده است. بر اساس خروجی هر شبیه‌سازی مقادیر مربوط به توابع هدف انتخابی و هم‌چنین حدود دامنه پیشنهادی جدید برای پارامترها تعیین می‌شود. این مراحل برای دامنه جدید دنبال می‌شود تا در نهایت مقدار مطلوب تثبیت شود. همچنین، به منظور ارزیابی کارایی عملکرد مدل از دو تابع هدف نش‌ساتکلیف و R2 استفاده شد . (۱۸ و ۱۹)

داده‌های مورد نیاز: به منظور آماده‌سازی، واسنجی و اعتبارسنجی مدل نقشه خاکشناسی فائو در مقیاس ۱/۵۰۰۰۰۰۰ (اطلاعات لایه های خاک، واحد هیدرولوژیکی خاک، بافت خاک، هدایت الکتریکی و .....) و نقشه کاربری تهیه شده از تصاویر ماهواره‌ای لندست مورد استفاده قرار گرفت. تصاویر ماهواره ی لندست و سنجنده های TM ،ETM از سایت فضایی سازمان فضایی ایالات متحده آمریکا (htto://earthexplorer.usgs.gov) قابل اخذ است. تصاویر سال ۲۰۰۱ از ماهواره لندست تهیه و سپس تصحیح هندسی و تصحیح اتمسفریک در نرم‌افزار ایدریسی صورت پذیرفت و طبقه‌بندی نظارت شده الگوریتم حداکثر احتمال (MLA) برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد. منطقه تحقیق با استفاده از مدل رقومی ارتفاع با دقت مکانی ۹۰ متر به زیرحوضه‌ها تفکیک گردید. داده‌های اقلیمی شامل بارندگی و دمای روزانه برای ۵ ایستگاه سینوپتیک از سازمان هواشناسی کشور و شرکت منابع آب ایران تهیه گردید. همچنین دبی ماهانه ۲ ایستگاه هیدرومتری منتخب از شرکت منابع آب ایران اخذ شد. دوره‌های مورد نیاز برای کالیبره کردن و صحت‌سنجی مدل در دو ایستگاه کردخیل و ریگ‌چشمه در جدول شماره ۱ ذکرگردیده است. پس از معرفی نقشه رقومی ارتفاعی، خاک و کاربری اراضی ، داده‌های هواشناسی، نحوه مدیریت زراعی و همچنین پارامترهای موردنیاز در بخش‌های مختلف اعم از مخزن و غیره در مدل اعمال گردید. سپس به منظور اطمینان از خروجی مدل، واسنجی و صحت‌سنجی در یک فرایند چند

مرحله‌ای و با استفاده از داده‌های مشاهداتی در منطقه انجام گردید.

تغییرات ناگهانی و ناهمگنی متغیرهای هیدرواقلیمی

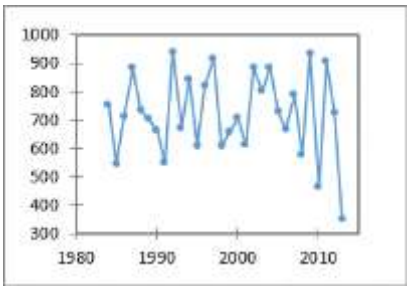
در این تحقیق در مجموع ۴ ایستگاه قراخیل، کردخیل، ریگ چشمه و سلیمان‌تنگه در حوضه آبخیز که دارای داده‌های طولانی‌مدت بودند برای تحلیل روند و بررسی همگنی متغیرهای اقلیمی دوره آماری ۳۰ ساله (۲۰۱۴- ۱۹۸۴) استفاده شده است. دیگر ایستگاه‌های موجود در حوضه دارای داده‌های کوتاه‌مدت و معمولا ده ساله بودند که مناسب بررسی روند نمی‌باشند. در این مطالعه برای تحلیل روند پارامترهای هیدرواقلیمی از آزمون‌های من‌کندال و برای بررسی همگنی از آزمون پتیت استفاده شد.

- آزمون من‌کندال:

این آزمون ابتدا توسط من (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال (۱۹۷۵) تکامل یافت. این روش به طور گسترده در مباحث هیدرولوژیکی و هواشناسی کاربرد دارد. یکی از روش‌های مهم برای تحلیل روند سری‌های زمانی محسوب می‌شود. از مزایای این روش اثرپذیری کم از مقادیر حدی است. فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و نبود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک و رد فرض صفر، دال بر وجود روند در سری داده هاست.

- آزمون همگنی پتیت:

این آزمون یکی از آزمون‌های ناپارامتری است که توسط پتیت (۱۹۷۹) ارائه شده است. این آزمون برای تعیین نقطه جهش (تغییر ناگهانی) در سری زمانی استفاده می‌شود که آن را به دو قسمت تفکیک می‌کند و معنادار بودن آن را بررسی می‌نماید. این آزمون به شرح زیر تعریف می‌شود:



U_k معادل آماره من‌ویتنی است که برای آزمون دو نمونه (X1, X2, X3, ….) از یک جمعیت یکسان به کار می رود. U_k از راه زیر محاسبه می‌شود:

$$U_k = 2\sum_{i-1}^{k} M_i - K(N+1)$$

بعد از آنکه مقادیر $X_1, X_2, \ldots\ldots Xj$ به صورت یک سری صعودی مرتب شد. M_i رتبه داده مشاهده i ام است. نقطه تغییر در سری زمانی در نقطه‌ای روی می‌دهد که U_k به بیشترین مقدار خود می‌رسد.

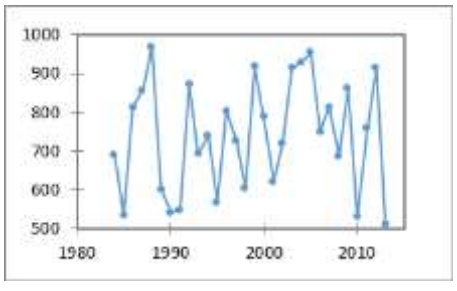
$$1 \le k \le n \; X_E = \max|U_k|$$

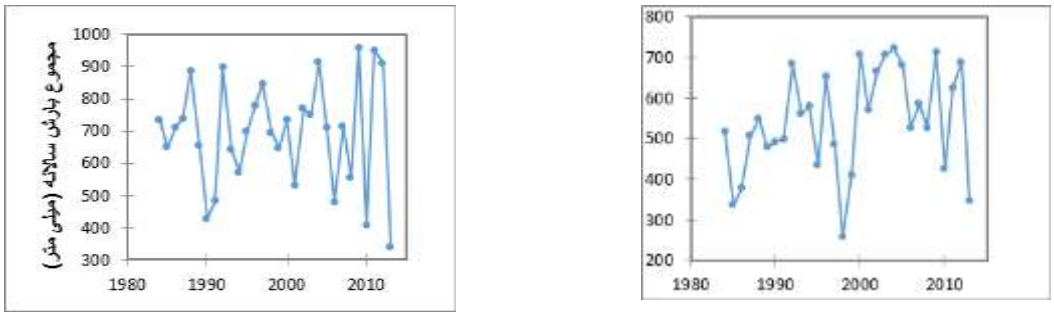
آماده‌سازی و به روز رسانی مدل شبیه‌ساز هیدرولوژیکی

روند داده‌های روزانه دما و بارش در دوره ۱۹۸۴-۲۰۱۳، توضیح داده شده در قبل، بررسی گردید و بعد از مشخص شدن نقطه تحول متغیرهای اقلیمی، دوره مورد مطالعه به دو بخش تقسیم و جهت بررسی تاثیر آن‌ها بر رواناب حوضه، در شبیه سازی استفاده گردید. داده‌های هواشناسی دو دوره اقلیمی ۱۹۸۴-۱۹۹۷ و دوره ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۴ و در فایل‌های با پسوند PCP و TMP در مدل SWAT جایگذاری شد.

یافته‌ها و بحث

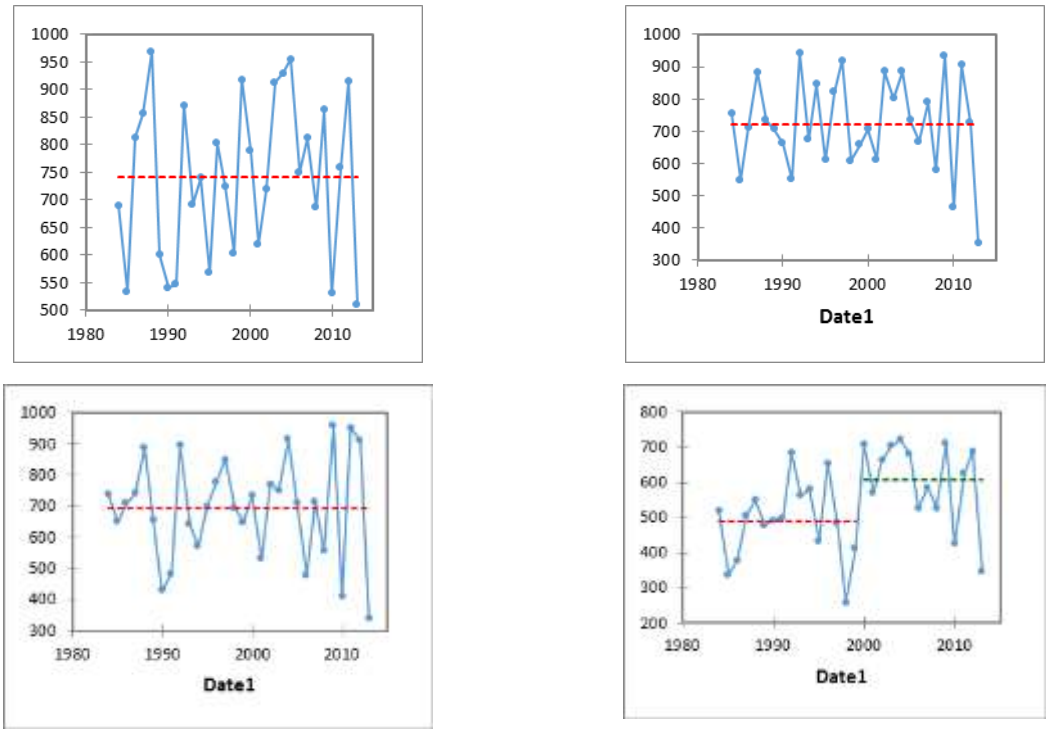
نتایج بررسی مربوط به داده‌های دمای ایستگاه قراخیل نقطه تحول در سال ۱۹۹۷ نشان داد. بررسی روند در این ایستگاه به صورت افزایشی معنادار بوده است (شکل ۲ و ۳). همچنین روند وضعیت بارش با استفاده از آزمون من‌کندال مشخص گردید، در ۳ ایستگاه باران سنجی (کردخیل، ریگ‌چشمه و سلیمان‌تنگه) و ایستگاه سینوپتیک قراخیل، تغییری در روند بارش ایستگاه‌ها مشاهده نگردید. نتایج آزمون همگنی با استفاده از آزمون پتیت، تنها در ایستگاه سلیمان تنگه، نقطه تحول در سال ۱۹۹۸ مشاهده شد (شکل ۴).





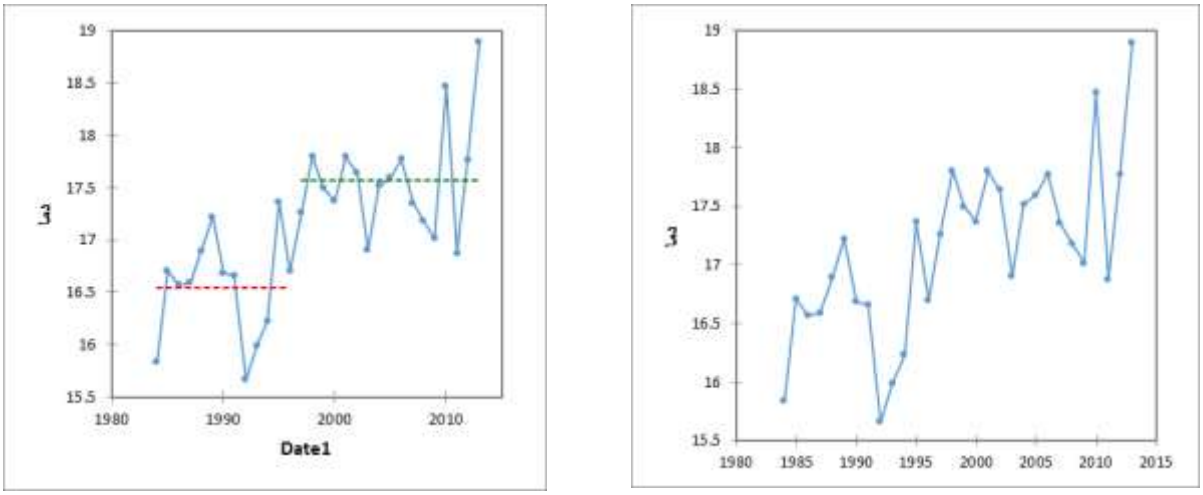
شکل ۲- بررسی روند بارش در ایستگاه قراخیل، ریگ چشمه، سلیمان تنگه و کردخیل از راست به چپ

Figure 2. Investigation of rainfall trend in Qarakhil, Rig Cheshmeh, Soleiman Tangeh and Kordkhel stations from right to left



شکل ۳- بررسی همگنی بارش در ایستگاه قراخیل، ریگ چشمه، سلیمان تنگه و کردخیل

Figure 3. Investigation of rainfall homogeneity in Qarakhil, Rig Cheshmeh, Soleiman Tangeh and Kordkhel station



شکل ۴- بررسی روند و همگنی دما در ایستگاه قراخیل

Figure 4. Investigation of trend and temperature homogeneity in Qarakhil station

همچنین تحقیقات نشان داده است طی نیم قرن گذشته اقلیم جنگل‌های منطقه خزری گرمتر شده است. با افزایش دما و خشک شدن عرصه، محیط برای رشد درختانی که در حاشیه قرار دارند، ممکن است با نامناسب شدن شرایط زیست در اثر تغییر اقلیم از بین بروند. همچنین جنگل‌هایی که در حال حاضر تحت فشار تنش‌های محیطی از قبیل انبوهی، آفات و بیماری‌ها و شرایط جوی می‌باشند، ممکن است توان تحمل تنش‌های اضافی تغییرات اقلیم را نداشته باشند(۲۰). از طرف دیگر، مطالعه Maryanaji و همکاران (۲۰۰۸) نیز معنادار بودن روند افزایشی دما و روند کاهشی بارش و دبی سالانه در حوضه آبریز رودخانه یلفان در ایران را با استفاده از آزمون من‌کندال به اثبات رساندند (۲۱). همچنین پیرنیا و همکاران (۱۳۸۵) تغییرات دما و بارندگی را در سواحل جنوبی دریای خزر بررسی کردند و نشان دادند که در ایستگاه‌های مورد بررسی میانگین منطقه‌ای، دمای متوسط افزایش و بارندگی کاهش یافته است (۲۲). از دیگر مطالعات که با نتایج این تحققی مطابقت دارد می توان به نتایج فتاحیان و همکاران (۲۰۱۴) با عنوان تحلیل روند پارامترهای هیدرواقلیمی در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه مطابق است. نتایج تحقیق آنها نشان داد روند تغییرات بارش از الگوی مشخصی پیروی نمی کرد اما روند دما در سراسر حوزه افزایشی بوده است(۲۳).

در تحلیل روند بیشترین و کمترین دمای سالانه نشان داد هر دو ایستگاه روند افزایشی داشته است. بنابراین افزایش بیشترین و کمنرین دما طی دهه های گذشته می تواند تاثیر زیادی روی تبخیر- تعرق، کاهش رطوبت خاک، وقوع و تشدید خشک سالی های مختلف اعم از هواشناسی، کشاورزی، هیدرولوژیکی و اقتصادی و اجتماعی منطقه داشته باشد. همچنین از مهم ترین پارامترهایی که می تواند دلالت بر تغییر اقلیم منطقه داشته باشد افزایش بیشترین و کمترین دمای منطقه است. افزایش دما در زمستان سبب ذوب برف در مناطق کوهستانی حوضه آبخیز می شود و روشن است که به علت فرصت تماس زیاد برف با خاک، نفوذ آب به خاک از طریق ذوب برف بیشتر از آب باران است در نهایت با کاهش برف در یک منطقه، به کاهش منابع آب زیرزمینی منجر می شود (sen *1986*)(۲۴). برای مدیریت و پیش بینی موثر منابع آب، بینش عمیق جریان آینده در منطقه ضروری است، Li و Fang نیز در مطالعاتی جدید نشان دادند که افزایش حداکثر دما در فصل خشک بیشتر از فصل مرطوب می باشد(۲۵).

نتایج شبیه‌سازی در مدل ابزار ارزیابی آب و خاک (SWAT)

پس از انجام آنالیز حساسیت ۹ پارامتر مندرج در جدول ۱ به عنوان پارامترهایی که مدل نسبت به آن‌ها حساسیت بیشتری دارند، تعیین و مدل با استفاده از این پارامترها و داده‌های

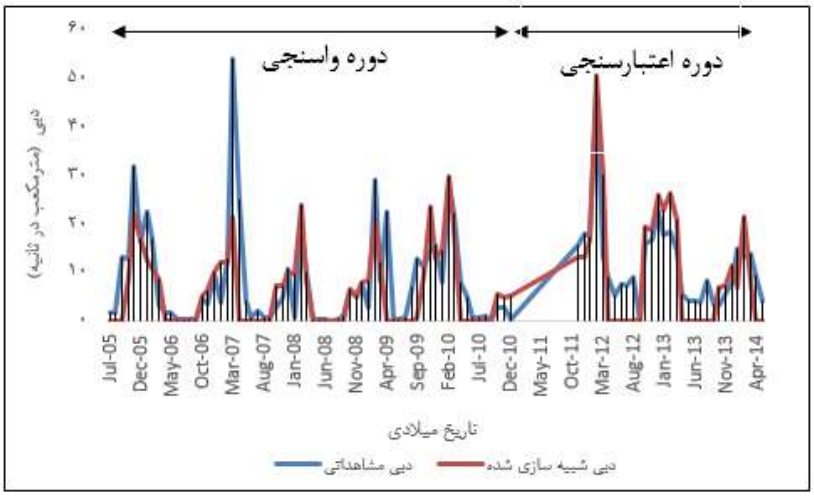
مشاهده‌ای در ایستگاه کردخیل واسنجی گردید. در جدول محدوده اولیه و بهینه هر پارامتر ارائه شده است.

جدول ۱- دامنه اولیه و بهینه پارامترهای منتخب مدلSWAT

Table 1. The initial and optimal range of selected parameters of the SWAT model

پارامتر	محدوده اولیه	محدوده بهینه
SOL_AWC(Available water capacity of the soil layer)	۱-۰	۰/۰-۱/۴
CN2 (SCS runoff curve number for moisture condition)	۹۸-۳۵	۷۵-۶۰
EPCO (Plant uptake compensation factor)	۱-۰	۰/۰-۵/۷
ESCO (Outflow simulation option)	۱-۰	۰/۰-۶/۸
GW_REVAP (Groundwater "revap" coefficient)	۰/۰-۰۲/۲	۰/۰-۰۲/۰۷
GW_DELAY (Groundwater delay)	۵۰۰-۰	۱۷۰-۵۰
GWQMN (Threshold depth of water in the shallow aquifer required for return flow to occur)	۵۰۰۰-۰	۱۵۰-۱۰۰
SMTMP (Snow melt base temperature)	-۲۰-۲۰	-۵-۵
BIOMIX (Biological mixing efficient)	۱-۰	۰/۰-۲/۴

طبق گزارش Moriasi و همکاران (۲۰۰۷) (۲۶)، نتایج آماره‌های ارزیابی ضریب تبیین (دوره کالیبراسیون: R2=۰/۶ و دوره صحت‌سنجی: R2=۰/۷۹) و نش‌ساتکلیف (دوره کالیبراسیون: NSE=۰/۵۱و دوره صحت‌سنجی: NSE=۰/۵۱) حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی مدل مورد تأیید است. این شرایط نشان دهنده توانایی مدل در شبیه‌سازی رواناب در حوضه آبخیز تجن است. توانایی مدل در شبیه‌سازی رواناب در حوضه‌های آبخیز با ابعاد مختلف در مطالعات عظیمی و همکاران (۲۰۱۰) و عباسپور و همکاران (۲۰۰۷) نیز اثبات شده است (۲۷ و ۲۸). این حوضه دارای دخل و تصرفات زیادی بوده است به طوری که وجود کانال‌های انحرافی در بالادست ایستگاه‌های هیدرومتری به ویژه ایستگاه کردخیل برای انتقال آب به زمین‌های کشاورزی اطراف و نبود اطلاعات مکتوبی از کانال‌های انتقال آب به مزارع، هم‌چنین ورود رواناب‌های منازل مسکونی و مناطق صنعتی فراوان در اطراف ایستگاه‌های مورد بررسی از مشکلات واسنجی و اعتبارسنجی بود (شکل ۵).



شکل ۵ -دبی شبیه‌سازی و مشاهداتی برای دوره واسنجی و اعتبارسنجی ایستگاه کردخیل

Figure 5. simulated and Observed runoff during calibration and validation period at Kordkhil station

روند تغییرات رواناب در اثرات تغییر پارامترهای اقلیمی برای دو دوره مشخص شده نشان داد، متغیرهای اقلیمی سبب کاهش رواناب در ایستگاه کردخیل شده است که ممکن است تا حدودی به وسیله افزایش تبخیر و تعرق در نتیجه افزایش دما یا کاهش بارش در اکثر ماه‌ها باشد. رواناب در ایستگاه کردخیل با میزان (۵-)-۰/۳-٪ درصد تغییر می‌نماید. عبقری و همکاران، روند رواناب رودخانه و بارش در غرب ایران را طی یک دوره ۴۰ ساله مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها ارتباطات قوی بین جریان سالانه و بارندگی سالانه و بیشتر ماه‌ها را به جز ژانویه، فوریه، جولای و سپتامبر پیدا کردند (۲۹).

پژوهش حاضر ضمن بیان اهمیت اثرات بالقوه تغییر متغیرهای اقلیمی در وضعیت هیدرولوژی حوضه لزوم توجه به بحث تغییر متغیرهای اقلیمی و پیامدهای آن را در مدیریت منابع آب حوضه تجن را متذکر می‌گردد. تاکنون مدیریت منابع آب و خاک بر این اصل استوار بوده که منابع طبیعی پایه در میان مدت تغییر چندانی نداشته و ثابت می‌باشند. اما تغییر اقلیم اعتبار این نظریه را زیر سوال برده است. به طوری که این نظریه که شاید اقدامات فعلی در مواجهه با تغییر اقلیم کارایی لازم را نداشته باشند بیش از گذشته قوت گرفته است. لذا تغییر اقلیم ممکن است اعتبار سیستم‌های مدیریت منابع آب فعلی را زیر سوال ببرد و کارایی بسیاری از سازه‌های آبی موجود شامل تاسیسات برقابی، سازه‌های کنترل سیلاب، سیستمهای آبیاری و زهکشی و اقدامات مدیریت منابع آب را تحت تاثیر قرار دهد. به همین خاطر با توجه به شدت تاثیرگذاری و اهمیت متغیرهای اقلیمی در مدیریت منابع آب و خاک توجه به تغییر اقلیم و اثرات آن در برنامه‌ها و سیاستگذاری‌های حفاظت آب و خاک از ضروریات می‌باشد.

References

1. D. Pumo, E., Arnone, A., Francipane, D., Caracciolo, L.V., Noto. 2017. a Potential implications of climate change and urbanization on watershed hydrology. *Journal of Hydrology*, Vol. 554 , pp.80–99
2. Mostafa Jafari. 2008. Investigating and analyzing the factors of climate change during the last fifty years in the forests of the Caspian region. *Journal of Iranian Forest and Poplar Research*, 90-100. Vol. 16, No. 2, pp. 314-326
3. Malekian, A., Kazemzadeh, M. 2016. Spatio-Temporal Analysis of Regional Trends and Shift Changes of Autocorrelated Temperature Series in Urmia Lake Basin. Water Resour Manage, (2016)Vol. 30, pp.785–803
4. Tabari1, H., A.A. Sabziparvar and S. Marofi. 2009. Investigating trends of annual meteorological parameters in cold andwarmclimates of Iran. Agricultural researchwater, soil, plant, Vol. 8(1), pp. 161-174.
5. Pirnia, A., M. Habibnejad, R., and Solaimani, K. 2015. Investigation of precipitation and temperature changes in Caspian Sea southern coasts and its comparison with changes in northern hemisphere and global scales. Journal of Watershed Management Research, Vol.6(11), pp.163-171.
6. M. Khoshravesh, M., Mirnaseri, M., and pesarakloo , M., 2017. Change Detection of Precipitation Trend of Northern Part of Iran using Mann-Kandal non-parametric test .Watershed Management Research, Vol.8, pp231-242
7. Rezaei Zaman, M., Morid, S., Delava.r M. 2016 Evaluating climate adaptation strategies on agricultural production in the Siminehrud catchment and inflow into Lake Urmia, Iran using SWAT within an OECD framework . Agricultural Systems, Vol.147 , pp. 98–110

8. Jamil A.A., Edson, C., Wendland. 2018. Land use and climate change impacts on runoff and soil erosion at the hillslope scale in the Brazilian Cerrado. Science of the Total Environment,Vol. 622–623, pp.140–151.
9. Williamson1, D., Majule, A., Delalande, M., Mwakisung, B., .2014. A potential feedback between landuse and climate in the Rungwe tropical highland stresses a critical environmental research challenge. Environmental Sustainability, Vol.6, pp.116–122.
10. Zhang, Y., Xia, Y., Yu, J., Randall, M. 2018. Simulation and assessment of urbanization impacts on runoff metrics: insights from *landuse* changes. *Journal of Hydrology*, Vol. 560, pp 247-258.
11. Shereif, H., Thian, Y. 2018. mpact of anthropogenic *climate* change and human activities on environment and ecosystem services in arid regions Science of The Total Environment, Vol 633, pp. 1329-1344.
12. Li, X., Zhang, Y., Guo, F. 2018. Predicting the effect of land use and *climate* change on stream macroinvertebrates based on the linkage between structural equation modeling and bayesian network. Ecological Indicators, Vol 85, pp 820-831.
13. Fathian, F., Morid, M., Kahya, E. 2014. Identification of trends in hydrological and climatic variables in Urmia Lake basin, Iran. Theor Appl Climatol, Vol. 14 pp.1120-40.
14. Beguería, S., López-Moreno, J. I., Lorente, A., Seeger, M., & García-Ruiz, J. M. 2003. Assessing the effect of climate oscillations and land-use changes on streamflow in the Central Spanish Pyrenees. AMBIO: A Journal of the Human Environment, Vol. 32(4), pp.283-286.
15. Liu, J., Zhang, Q., Singh, V . 2017. Contribution of multiple climatic variables and human activities to streamflow changes across. China *Journal of Hydrology*, Vol. 545 , pp.145–162.
16. Zhang, L., Karthikeyan, R., Zhongke Bai, R., Srinivasan, R. 2017. Analysis of streamflow responses to climate variability and land use change in the Loess Plateau region of China. Catena, Vol.154 , pp. 1–11.
17. Mohammadi, J., Shataee, S., 2010. Possibility investigation of tree diversity mapping using Landsat ETMþ data in the Hyrcanian forests of Iran. Remote Sensing of Environment, vol.114, pp. 1504–1512.
18. Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R.,. 2011. Soil and water assessment tool theoretical document (version 2009), Texas water resource institute technical report.
19. Aparicioa, J., Jimeno- S´aeza, P., L´opez-Ballesteros, A. 2021. Impacts of swat weather generator statistics from high-resolution datasets on monthly streamflow simulation over Peninsular Spain .Journal of Hydrology: Regional Studies, Vol. 35, 100826.
20. Kazemzadeh, MV., Malekian, A., Moghaddamnia, M .2017 .Analysis of sudden changes and heterogeneity of hydroclimatic variables .Journal of Echo Hydrology, Vol.4 (1), pp. 163-175.

21. Maryanaji, Z., S. Marofi and H. Abasi. 2008. Detection rate variation and its relationship with meteorological parameters in the field of hamadan by using Mann-Kendall nonparametric test. The third conference of Iran water resourcesmanagement, Tabriz University, Iran.
22. Pirnia, A., M. Habibnejad Roshan and K. Solaimani. 2015. Investigation of precipitation and temperature changes in Caspian Sea southern coasts and its comparison with changes in northern hemisphere and global scales. *Journal of Watershed Management Research*, Vol. 6(11), pp. 90-100.
23. Fathian F, Morid M, Kahya E. Identification of trends in hydrological and climatic variables in Urmia Lake basin, Iran. Theor Appl Climatol. 2014; 14; 1120-40.
24. Sen P K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*. 1968; 39; 1379 –1389.
25. Li, CH., Fang, H. 2021. Assessment of climate change impacts on the streamflow for the Mun River in the Mekong Basin, Southeast Asia: Using SWAT model, vol 201, pp. 90-100.
26. Moriasi, D N., Arnold, J.G., Van Liew, M W., et al. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Transactions of the ASABE, Vol.50(3), pp. 885–900.
27. Abbaspour, K.C., Yang, J., Maximov, I., Siber, R., Bogner, K., Mieleitner, J., Zobrist, J. and Srinivasan, R. 2007. Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. *Journal of Hydrology*, Vol. 333, pp.413-430.
28. Azimi M, Heshmati G A, Farahpour M, et al. 2013. Modeling the impact of rangeland management on forage production of sagebrush species in arid and semi-arid regions of Iran. Ecological Modelling, Vol. 250, pp.1–14.
29. Abghari, H., Tabari, H., Hosseinzadeh, P. 2013. River flow trends in the west of Iran during the past 40 years: Impact of precipitation variability. Global and Planetary Change, Vol.101. pp. 52–60