فصلنامه علمی پژوهشی زمین شناسی محیط زیست
سال نهم، شماره ۳۱، تابستان ۱۳۹٤

ارزیابی اثرات نوسانات اقلیمی بر دبی حوضه آبخیز دره رود با استفاده از آزمون من-کندال

ابراهیم فتائی[۱]

۱ – گروه محیط زیست، واحداردبیل، دانشگاه آزاد اسلامی، اردبیل، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۲۷ تاریخ تصویب: ۹۳/۱۲/۲٤

چکیده

شواهد نشان می‌دهد آب‌وهوای جهان در حال تغییر می‌باشد. تغییر اقلیم واقعتی است انکارناپذیر که دیگر کمتر کسی به وقوع آن ابراز تردید می‌نماید. در سال‌های اخیر نوسانات اقلیمی به‌ویژه تأثیر آن بر روی منابع آبی کره زمین بسیار مورد توجه قرار گرفته است. زیر حوضه دره رود یکی از زیر حوضه‌های آبریز رودخانه ارس است رودخانه دره رود نقش مهمی در تأمین آب مورد نیاز حوزه آبخیز مورد مطالعه دارد. متأسفانه در سال‌های اخیر میزان منابع آب در این حوزه به شدت دچار نوسان شده است بررسی روند زمانی در متغیرهایی اقلیمی و هیدرولوژیکی می‌تواند به تشخیص تغییرات و نوسانات اقلیمی احتمالی مذکور یاری رساند. آزمون من -کندال جزء متداول‌ترین و پرکاربردترین روش‌های ناپارامتریک تحلیل روند سری‌های زمانی هیدرومتئولوژیکی به شمار می‌روند. این تحقیق به دنبال بررسی وجود نوسانات و روندهای احتمالی در دبی رودخانه مذکور تحت تأثیر نوسانات اقلیمی احتمالی در دما و بارش با استفاده از آزمون من-کندال در یک بازه زمانی ۲۰ ساله (۱۹۹٤-۲۰۱۳) می‌باشد. بدین منظور داده‌های اقلیمی چهار ایستگاه اهر، مشیران، مشگین شهر و پارس‌آباد در کنار داده‌های آب‌سنجی ۷ ایستگاه کاسین، اورنگ و اشدلق مربوط به رودخانه اهر چای، اربابکندی و دوستبیلو مربوط به حوضه رودخانه قره‌سو و بران و مشیران نیز مربوط به حوضه رودخانه دره رود مورد استفاده قرار گرفت. یافته‌های این تحقیق نشان داد که دبی سالانه در همه ایستگاه دارای روند کاهشی در طول دوره مورد مطالعه بوده است و در اغلب ایستگاه‌ها روند معنی‌داری توسط آزمون من- کندال در داده‌های دبی سالانه تائید شده است. به‌طور کلی نتایج این تحقیق، حاکی از عدم ارتباط مشخص بین نوسانات اقلیمی بر اساس میانگین سالانه و دبی سالانه رودخانه در طول دوره مورد مطالعه می‌باشد.

واژگان کلیدی: نوسانات اقلیمی، من-کندال، دبی، دره رود

مقدمه

امروز مساله تغییر اقلیم موجب بهم خوردن تعادل هیدرولوژیک و استراتژیهای مدیریتی شده است. محققین و مدیران منابع آب انتظار چنین تاثیر شدید تغییر تغییر اقلیم بر پارامترهای هیدرولوژی را تصور نمی کردند(جانی و همکاران،۱۳۹۲). تغییرات و نوسانات اقلیمی دما می تواند هشداری جدی باشد جرا که با بررسی روند تغییرات می توان مشاهده نمود که گرمترین سال در حال جابجایی است و در جدیدترین گزارش این تاریخ از ۲۰۱۰ به سال ۲۰۱٤ تغییر یافته است (Gavin et al., 2015). شواهد نشان می‌دهد آب‌وهوای جهان در حال تغییر می‌باشد. هر روز شواهد جدید و بیشتری به دست می‌آید که اقلیم کره زمین در حال تغییر و دگرگونی است. اگرچه تغییر اقلیم در مقیاس جهانی رخ می‌دهد، لیکن اثرات آن اغلب از منطقه ای به منطقه دیگر متفاوت می‌باشد (Sueyers,1999). تغییر اقلیم در حال حاضر یکی از مهم‌ترین چالش‌های محیطی در جهان امروز است که افزایش درجه حرارت، ذوب شدن یخ‌های قطبی، بالا آمدن سطح آب‌های آزاد جهان و تغییر در آستانه‌های آب‌وهوایی از پیامدهای آن

می‌باشد. در این رابطه دهه ۱۹۹۰ به عنوان گرم‌ترین دهه در یک صد سال گذشته ثبت و نیز بر اساس آخرین گزارش منتشر شده توسط سازمان هواشناسی جهانی، سال ۲۰۱۰ گرم‌ترین سال در دوره تاریخی اخیر اعلام شد(حسن لی،۱۳۹۰).

همچنین دهه ۱۹۹۰ گرمترین دهه گزارش گردید (مساحی یوانی،۱۳۸۵). در سال‌های اخیر نوسانات اقلیمی به‌ویژه تأثیر آن بر روی منابع آبی کره زمین بسیار مورد توجه قرار گرفته است. تغییرات ترکیبی در الگوی بارش و مقدار آن به همراه افزایش درجه حرارت باعث کاهش اطمینان از دسترسی به منابع آب و کیفیت آن خواهند شد(Bates,2008). تأثیر آب بر بخش‌های مختلف زندگی بشر از قبیل کشاورزی، انرژی، محیط‌زیست، درآمد، جهانگردی، سلامت، صنعت، تفریح، حیات‌وحش و جنگل انکارناپذیر است. یکی از مسائل کشورهای در حال توسعه که تحت تأثیر تغییر اقلیم می‌باشد، کمیت و کیفیت آب‌های سطحی و زیرسطحی است(Yu et al.,2002). این تاثیرات در مناطق تحقیقات نشان می‌دهد که تا سال ۲۰۲۵ مناطق تحت تأثیر تنش‌های آبی شدید گسترش یافته و به ۳۶/٤ تا ۳۸/٦ میلیون کیلومترمربع خواهد رسید. بررسی اثرات نوسانات اقلیمی بر منابع آب خاورمیانه نشان می‌دهد که این نوسانات اقلیمی در حدود ۱۲ درصد در کاهش منابع آب تأثیر خواهد گذاشت. لذا چالش آینده خاورمیانه منابع آب خواهد بود به‌خصوص وقتی منابع آب مشترک دچار محدودیت شود مناقشات منطقه را افزایش خواهد داد (خسروی و همکاران، ۱۳۸۹).

کشور ایران نیز از این قاعده مستثنی نبوده و متحمل تغییرات و نوسانات اقلیمی و بالطبع اثرات آن‌ها به‌ویژه در حوزه منابع آب خواهد شد، لذا بررسی وضعیت حال و فراهم نمودن زمینه برای برخورد و مقابله اصولی با این نوسانات اجتناب‌ناپذیر می‌نماید.تحلیل روند از جمله مهم‌ترین روش‌های آماری است که به‌طور گسترده برای ارزیابی اثرات بالقوه تغییر اقلیم و نوسانات اقلیمی بر روی سری‌های زمانی هیدرولوژیکی مانند سری‌های مشاهداتی دما، بارش و جریان رودخانه در نقاط مختلف جهان استفاده شده است (مدرسی و همکاران،۱۳۸۹). لذا بررسی روند زمانی در چنین متغیرهایی می‌تواند به تشخیص تغییرات اقلیمی موجود در مناطق مورد مطالعه یاری رساند. تاکنون روش‌های آماری متعددی جهت تحلیل روند سری‌های زمانی ارائه گردیده‌اند. به‌طور کلی وجود یا عدم وجود روند در تحلیل سری‌های زمانی در دو دسته روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک تقسیم‌بندی می‌شوند. روش‌های ناپارامتریک از کاربرد نسبتاً وسیع‌تر و چشمگیرتری نسبت به روش‌های پارامتریک برخوردارند. روش‌های پارامتریک عمدتاً بر اساس رابطه رگرسیونی بین سری داده‌ها با زمان استوار می‌باشند. آزمون t استیودنت از جمله متداول‌ترین روش‌های ناپارامتریک به شمار می‌رود (حجام و همکاران،۱۳۸۷). برای سری‌هایی که توزیع آماری خاصی بر آن‌ها قابل برازش نیست و چولگی یا کشیدگی زیادی دارند استفاده از روش‌های ناپارامتریک مناسب‌تر است(پروین،۱۳۸۹). آزمون من -کندال جزء متداول‌ترین و پرکاربردترین روش‌های ناپارامتریک تحلیل روند سری‌های زمانی هیدرومتئولوژیکی به شمار می‌روند(مدرسی و همکاران،۱۳۸۹). از این رو و با توجه به توانمندی‌هایی که این آزمون در آشکارسازی تغییرات رخداده در سری‌های زمانی متغیرهای اقلیمی دارا می‌باشد، بسیار مورد توجه محققین حوزه‌های مطالعاتی تغییر اقلیم بوده است. همچنین مطالعات مختلف انجام شده با استفاده این روش حاکی از اهمیت و کاربرد فراوان آن در تحلیل روند سری‌های زمانی می‌باشد(فولاد و همکاران،۱۳۸۸).

زیر حوضه دره رود به عنوان منطقه مورد مطالعه در این پژوهش یکی از زیر حوضه‌های آبریز رودخانه ارس است این رودخانه نقش مهمی در تأمین آب مورد نیاز حوزه آبخیز مورد مطالعه دارد. متأسفانه در سال‌های اخیر میزان منابع آب در این حوزه به شدت دچار نوسان شده است که هرچند برای آن می‌توان دلایل متعددی را برشمرد لیکن

آگاهی از وجود و عدم وجود این نوسانات با نوسانات اقلیمی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. چرا که دست‌یابی به توسعه پایدار نیازمند برنامه‌ریزی و دید بلندمدت می‌باشد(اکبری،۱۳۸٦) که یکی از گام‌های رسیدن به این هدف در رابطه با حوضه مربوطه را می‌توان در شناسایی نوسانات اقلیمی و اثرات آن بر منابع آبی جستجو کرد. لذا بررسی اثرات نوسان اقلیمی بر این منبع آبی جهت جلوگیری از مخاطرات زیست‌محیطی امری ضروری می‌باشد.

این تحقیق به دنبال بررسی وجود نوسانات و روندهای احتمالی در دبی رودخانه مذکور تحت تأثیر نوسانات اقلیمی احتمالی در دما و بارش با استفاده از آزمون من‌کندال در یک بازه زمانی ۲۰ ساله (۱۹۹٤-۲۰۱۳) می‌باشد. بنابراین با تجزیه و تحلیل عناصر اقلیمی و دبی رودخانه دره رود سعی خواهد شد تا ارتباط بین تغییرات دبی با بارش و دما در مقیاس زمانی سالانه بررسی شود و روند تغییرات مورد بررسی قرار گیرد. از نتایج به دست آمده از این تحقیق می‌توان در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب منطقه استفاده نمود. به‌طوری که مصارف آب در حوضه آبخیز مورد مطالعه را بر اساس اثرات نوسانات اقلیمی در منابع آب منطقه و وضعیت تغییرات منابع در آینده تنظیم نمود.

در زمینه بررسی اثرات تغییر و نوسانات اقلیمی بر روی منابع آبی با استفاده از آزمون من-کندال مطالعات فراوانی اعم از داخلی و خارجی صورت گرفته است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره شده است.

فولاد و همکاران (۱۳۸۸) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب حوزه آبریز رودخانه و سد کرج پرداختند. در این تحقیق پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی حوضه آبریز رودخانه کرج و سد کرج (امیرکبیر) با استفاده از دو روش من-کندال و رگرسیون خطی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان از افزایش درجه حرارت، افزایش بارندگی، افزایش دبی رودخانه کرج و کاهش حجم آب دریاچه سد کرج در دهه‌های گذشته داشت(فولاد و همکاران،۱۳۸۸).

اذعانی و همکاران (۱۳۸۹) در بررسی اثر تغییر اقلیم بر منابع آبی استان مازندران از آزمون‌های ناپارامتری من کندال و آزمون سن، جهت تعیین روند پارامترهای اقلیمی و آثار ناشی از تغییر اقلیم بر روی منابع آبی سه ایستگاه سینوپتیک بابلسر، نوشهر و رامسر تحت سناریوی اقلیمی A2 و مدل گردش عمومی CGCM3 برای دوره آماری ۲۰۲۰-۲۰۰۲ استفاده نمودند. نتایج کوچک مقیاس سازی به ترتیب برای درصد تغییر دمای متوسط و بارش سالانه در ۹۲ سال آینده برای ایستگاه‌های بابلسر، نوشهر و رامسر به ترتیب ۸/۸، ٦/۳ و ۵/۳ درصد و ۰۱-، ۰/۰٦-، و ۱/۰۲+ درصد محاسبه شد(اذعانی و همکاران،۱۳۸۹).

امیریان و سلطانی (۱۳۹۰) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر حوضه جراحی با استفاده از آزمون ناپارامتری من کندال و پارامتری تحلیلی رگرسیون اقدام نمود. بدین منظور از داده‌های دبی پنج ایستگاه آب‌سنجی شامل ایدنک، بهبهان، گرگر، مشراگه و شادگان طی دوره ۱۳۸۷-۱۳٦۸ استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که دبی سالانه در همه ایستگاه‌ها دارای روند نزولی در دو دهه اخیر بوده است(امیریان و سلطانی ۱۳۹۰).

در پژوهشی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب جنوب تایوان توسط Yuو همکاران (۲۰۰۲) مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق از خروجی مدل‌های تولید داده برای تولید متغیرهای اقلیمی در آینده استفاده شد. در پژوهش مذکور چگونگی روند در داده‌های روزانه دمای میانگین، میانگین بارندگی در روزهای تر، تعداد روزهای تر در ماه و رخداد بارندگی روزانه با استفاده از آزمون من-کندال مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که روندی افزایشی در دما، میزان بارندگی در ماه‌های ژانویه تا می وجود دارد(Yang et al., 2012).

Zongxue و همکاران (۲۰۱۰) از آزمون ناپارامتریک من کندال به منظور تشخیص روند متغیرهای عمده

هیدرولوژیکی در حوضه رودخانه تاریم (بزرگ‌ترین حوضه رودخانه داخلی در چین) برای دوره ۱۹۶۰-۲۰۰۷ استفاده نمودند.

نتایج نشان داد که متوسط درجه حرارت سالانه هوا و بارش، روند رو به رشدی را تجربه می‌کنند. درحالی‌که رواناب‌ها و جریان‌های سطحی سالانه روندی هم کاهشی و افزایشی داشته‌اند (Zarghami et al.,2011).

Yang و همکاران (۲۰۱۲) بر اساس متوسط درجه حرارت ماهانه و داده‌های بارش در طول ۵۳ سال (۱۹۵۷ تا ۲۰۰۹) که در حوضه رودخانه Zhangweinan چین و پنج ایستگاه اصلی هواشناسی اطراف آن ثبت شده بود به تجزیه و تحلیل روند بلندمدت عناصر کلیدی هواشناسی (دمای متوسط سالانه، حداکثر دما، حداقل دما و بارش) با استفاده از روش آزمون غیر پارامتری من کندال و روش ناهنجاری تجمعی پرداختند. محققین مذکور شاخص هرست مربوطه را محاسبه نمودند

و روند تغییرات در آینده برای عناصر مختلف هواشناسی را پیش‌بینی کردند. با توجه به محاسبات شاخص هرست اعلام نمودند که بین دمای متوسط سالانه و بارش پیوستگی قوی در حوضه رودخانه Zhangweinan وجود دارد که این روند در آینده نیز قوی‌تر از گذشته خواهد بود(Gocic &Trajkovic, 2013) روند سالانه و فصلی هفت متغیر هواشناسی را در ۱۲ ایستگاه آب‌وهوایی در صربستان از سال ۱۹۸۰-۲۰۱۰ مورد بررسی قراردادند. در این تحقیق روش ناپارامتری من کندال و سن برای تعیین وجود روند معنی‌دار مثبت یا منفی در داده‌های اقلیمی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج تحقیق وقوع تغییرات ناگهانی و روند افزایش در هر دو حداقل سالانه و فصلی و سری حداکثر دمای هوا نشان داد(Yang et al.,2012).

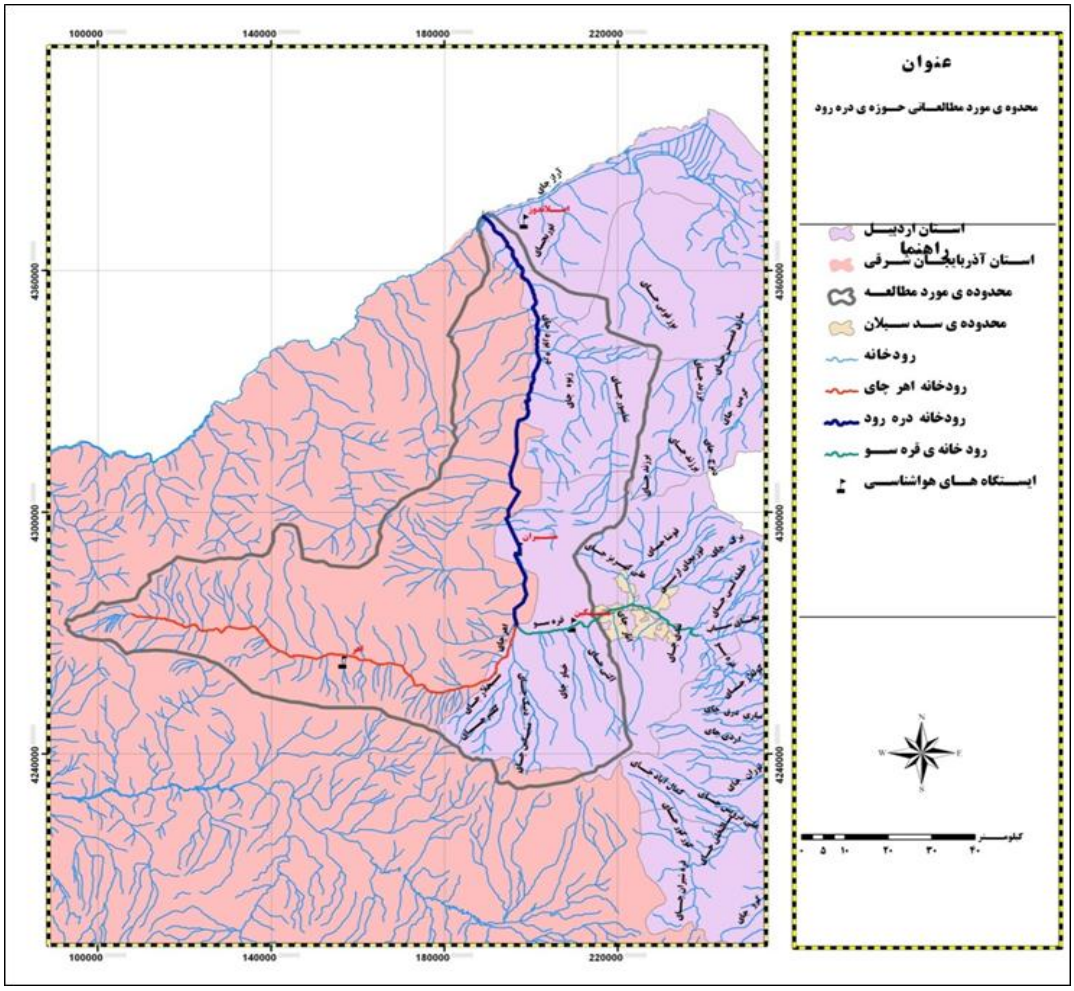
مواد و روش‌ها

زیر حوضه دره رود به عنوان منطقه مورد مطالعه در این پژوهش یکی از زیر حوضه‌های آبریز رودخانه ارس است که در قسمت شرقی این حوضه و در محدوده استان اردبیل و جنوب شرقی استان آذربایجان شرقی واقع شده است. این رودخانه یکی از سرشاخه‌های مهم رودخانه ارس می‌باشد که بعد از به هم پیوستن رودخانه‌های اهر چای و قره‌سو تحت، به این نام خوانده می‌شود که نقش مهمی در تأمین آب مورد نیاز حوزه آبخیز مورد مطالعه دارد. رودخانه دره رود از جنوب به شمال در جریان بوده و در شمالی‌ترین قسمت شهرستان مشگین شهر از به هم پیوستن دو رودخانه قره‌سو از استان اردبیل که زهکش شهرستان‌های اردبیل و مشگین شهر می‌باشد و همچنین رودخانه اهر که یکی از رودخانه‌های استان آذربایجان شرقی در محدوده شهرستان اهر می‌باشد پدید می‌آید. دره رود در نهایت پس از طی مسیری با عبور از محدوده شهرستان مشگین شهر و اصلاندوز به رودخانه مرزی ارس می‌ریزد. حوضه آبریز رودخانه فوق (شکل ۱) در مختصات جغرافیایی ′۱۵ °۴۶ تا ′۴۵ °۴۸ طول شرقی و ′۴۵ °۳۷ تا ′۳۰ °۳۹ عرض شمالی واقع گردیده است.

روش تحقیق

پردازش و تحلیل داده‌ها در این پژوهش با توجه به پارامترهای اصلی دبی رودخانه، دما و بارش به همراه روزهای یخبندان و رطوبت نسبی جهت تحلیل درست‌تر صورت گرفته است. در این راستا در وهله نخست داده‌های اقلیمی مورد نیاز شامل دما، بارش، رطوبت و دبی رودخانه از شرکت آب منطقه‌ای و سازمان هواشناسی استان اردبیل و استان آذربایجان شرقی تهیه شد و سپس آماده‌سازی گردید. بدین منظور داده‌های اقلیمی چهار ایستگاه اهر، مشیران، مشگین شهر و پارس‌آباد (جدول ۱) در کنار داده‌های آب‌سنجی ۷ ایستگاه کاسین، اورنگ و اشدلق مربوط به رودخانه اهر چای، اربابکندی و دوستبیلو مربوط به حوضه رودخانه قره‌سو و بران و مشیران نیز مربوط به حوضه رودخانه دره رود مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به آمار ایستگاه‌های هیدرومتری و ایستگاه‌های سینوپتیک، یک پایه زمانی مشترک بین دبی رودخانه و پارامترهای

بارش و دما انتخاب شد. جهت بررسی دما، رطوبت، بارندی و دبی، به صورت سالانه از یک دوره آماریه ۲۰ ساله آماری(۱۹۹٤-۲۰۱۳) استفاده شد. در مرحله بعد به منظور مقایسه داده ها، داده های پرت از زنجیره داده ها حذف گردید. در ادامه همگنی داده ها بازبینی شد که بدین منظور از آزمون جرم مضاعف استفاده شد.



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه در استان‌های اردبیل و آذربایجان شرقی

جدول ۱- مختصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

ردیف	نام ایستگاه	طول (درجه-دقیقه شرقی)	عرض (درجه-دقیقه شمالی)	ارتفاع (متر)
۱	مشیران	٤٧ ٣٢	٣٨ ٤٠	٧٠٥
۲	پارس‌آباد	٤٧ ٥٥	٣٩ ٣٩	٣٢
۳	مشگین شهر	٤٧ ٤١	٣٨ ٢٣	١٣٧٣
٤	اهر	٤٧ ٤	٣٨ ٢٦	١٣٩٠

بازسازی نواقص آماری با استفاده از روش ایستگاه‌های معرفی که دارای آمارهای همگن می‌باشند در محیط نرم‌افزار Excel انجام پذیرفت. در گام بعدی، به منظور بررسی نوسانات اقلیمی و تعیین روند تغییرات از آزمون من کندال در محیط نرم‌افزار SPSS بهره برده شد.

روند پارامترهای اقلیمی و دبی رودخانه جداگانه بررسی و در مرحله نهایی نوسانات و روندهای بین پارامترهای اقلیمی و دبی رودخانه مورد مقایسه و تحلیل قرار گرفته و نتیجه‌گیری شد.

مروری بر آزمون من- کندال

آزمون من – کندال یکی از روش‌های متداول جهت تحلیل سری‌های زمانی اقلیمی و بررسی وجود یا عدم وجود روند در آن‌ها می‌باشد(Gavin et al.,۲۰۱۴).

اثبات وجود روند معنی‌دار در یک سری زمانی اقلیمی به تنهایی نمی‌تواند دلیلی قاطع بر وقوع تغییر اقلیم در یک منطقه باشد بلکه فرض رخداد آن را تقویت می‌نماید.

این ویژگی ناشی از متعدد بودن عوامل کنترل کننده سامانه اقلیم می‌باشد؛ بنابراین وجود روند در سری‌های زمانی اقلیمی ممکن است ناشی از تغییرات تدریجی طبیعی، تغییر اقلیم و یا اثر فعالیت‌های انسانی باشد.

آزمون من – کندال از متداول‌ترین روش‌های ناپارامتری تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی به شمار می‌رود. مطالعات مختلف انجام شده با استفاده این روش حاکی از اهمیت و کاربرد فراوان آن در تحلیل روند سری‌های زمانی می‌باشد(فولاد و همکاران،۱۳۸۸).

آزمون ناپارامتری من- کندال در سال ۱۹٤۵ توسط «من» ارائه و توسط «کندال» در سال ۱۹٤۸ بر پایه رتبه داده‌ها در یک سری زمانی بسط و توسعه یافت.

این روش به‌طور متداول و گسترده‌ای در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی بکار گرفته می‌شود. کاربرد این روش توسط سازمان جهانی هواشناسی نیز توصیه شده است. از نقاط قوت روش من -کندال، کاربرد آن برای سری‌های زمانی‌ای که از توزیع خاصی پیروی نمی‌کنند، می‌باشد. اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردند نیز از دیگر مزایای استفاده از این روش است (فولاد و همکاران،۱۳۸۸). همچنین مزیت دیگری که می‌توان برای این آزمون برشمرد این است که این آزمون نسبت به سایر آزمون‌های تعیین روند، از رتبه داده‌ها در سری زمانی بدون در نظر داشتن مقدار متغیرها استفاده می‌کند. به دلیل وجود چنین خاصیتی می‌توان از این آزمون برای داده‌های دارای چولگی نیز استفاده کرد و داده‌ها نباید در قالب توزیع خاصی درآیند(مدرسی و همکاران، ۱۳۸۹). در ادامه به تشریح مدل مورد استفاده پرداخته شده است.

پیاده‌سازی مدل

برای تعیین جهت روند، نوع و زمان تغییر نیاز به آزمون گرافیکی کندال می‌باشد. بدین منظور معمولاً از جداول ویژه‌ای استفاده می‌شود. در جدول مذکور، ابتدا داده‌های آماری به ترتیب سال (ستون اول) وارد شده و در ستون دوم داده‌ها شماره ردیف می‌گیرند. سپس در ستون سوم مقادیر پارامتر مورد نظر نوشته می‌شود در ستون چهارم مقادیر عددی ستون سوم به ترتیب صعودی تنظیم می‌گردد. جهت تکمیل جدول مورد نظر نیاز به محاسبه ضریب t آزمون کندال می‌باشد که از رابطه زیر به دست می‌آید(Gocic & Trajkovic, 2013).

$$T = \frac{4P}{N(N-1)} - 1 \qquad (۱)$$

که در آن T آماره من-کندال، N تعداد کل سال‌های آماری مورد استفاده و P مجموع تعداد رتبه‌های بزرگ‌تر از ردیف n_i که بعد از آن قرار می‌گیرند می‌باشد. مقدار P از رابطه ۲ به دست می‌آید:

$$P = \sum_{i=1}^{n} n_i \qquad (۲)$$

در این رابطه N برابر با تعداد کل سال‌های آماری مورد استفاده یا $\sum xi$ها است. بعد از این گام در مرحله بعد آزمون معناداری آماره صورت می‌گیرد. از آنجایی که این آماره برای مقادیر بزرگ‌تر از ۱۰ (N>10) به توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس $\frac{4N+10}{9(N-1)}$ شبیه است؛ بنابراین آزمون معنی‌داری آن به صورت رابطه ۳ قابل محاسبه است (عزیزی و روشنی، ۱۳۷۸).

$$(T)_t = \pm tg\sqrt{\frac{4N+10}{9N(N-1)}} \qquad (۳)$$

در این رابطه N تعداد کل سال‌های آماری، tg سطح احتمال معنادار بودن آزمون و $(T)_t$ آماره من- کندال است.

همان طور که ذکر شد tg برابر با مقدار بحرانی توزیع نرمال استاندارد (Z) می‌باشد. با توجه به مقدار بحرانی به دست آمده برای t(T)، حالات مختلف بدین شرح خواهد بود:

اگر $T > (T)_t$ باشد روند مثبت در سری زمانی غالب خواهد بود، اگر $T < (T)_t$ باشد نشان دهنده روند منفی و در صورتی که t (T)- < T < t (T)+ باشد هیچ‌گونه روند مهمی در سری‌ها مشاهده نمی‌شود و سری‌ها تصادفی هستند.جهت شناسایی روندهای جزئی و کوتاه مدت، نقاط جهش و نقاط شروع روند سری زمانی از نمودار سری زمانی برحسب مقادیر U(t) و U'(t) استفاده می‌گردد. برای ترسیم نمودار سری زمانی مقادیر متوالی، آمارهای U(t) و U'(t) با استفاده از آزمون من- کندال محاسبه می‌شود. در این روش ضریب t آزمون من- کندال از رابطه زیر به دست می‌آید

$$t_i = \sum_{i=1}^{n} n_i \qquad (٤)$$

که تابع توزیع آن در شرایطی که فرض صفر حاکم باشد از لحاظ مجانبی با میانگین و واریانس برابر است.

$$E(t) = \frac{n(n-1)}{4} \qquad (٥)$$

واریانس آن برابر است با:

$$Var(t) = \frac{[n(n-1)(2n+5)]}{72} \qquad (٦)$$

در صورت وجود روند در جهت مشخص این آزمون فقط در شکل دو طرفه آن دقیق است. از این رو فرض صفر برای مقادیر بالای | U(t) | رد می‌گردد. برای به دست آوردن U(t) از معادله زیر استفاده می‌شود.

$$U(t) = \frac{[t_i - E(t_i)]}{\sqrt{\mathrm{var}(t_i)}} \qquad (٧)$$

وقتی مقدار U(t) معنی‌دار است که روند افزایشی یا کاهشی در آن مشاهده شود و در نتیجه U(t) > 0یا U(t) < 0 حاصل گردد.

برای تعیین زمان وقوع تغییر لازم است علاوه بر U(t)، مؤلفه U'(t) نیز محاسبه می‌شود که ابتدا باید امید ریاضی معکوس و واریانس معکوس را از روابط زیر به دست آورد:

$$E'_i = \frac{[N-(n_i-1)](N-n_i)}{4} \qquad (٨)$$

$$V'_i = \frac{[N-(n_i-1)](N-n_i)[2(N-(n_i-1))]+5}{72} \qquad (٩)$$

$$U'_i = \frac{-(\sum t'_i - E'_i)}{\sqrt{V'_i}} \qquad (١٠)$$

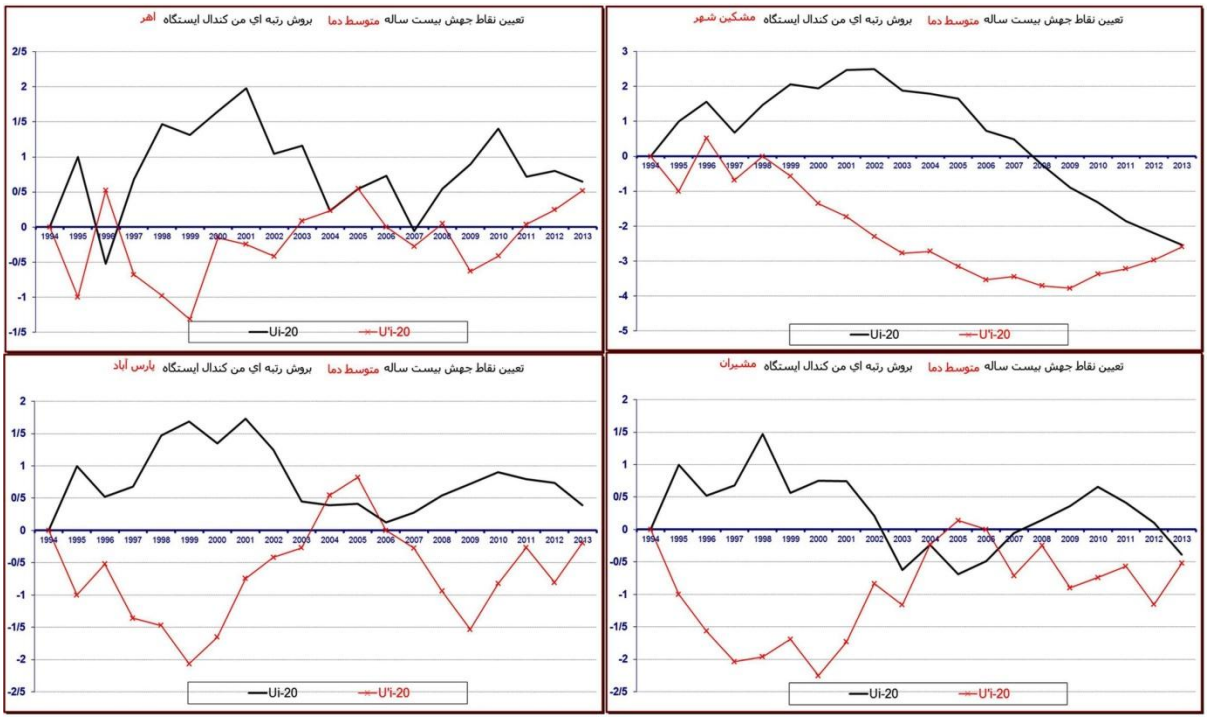
مقدار ti برابر با مجموع ni و t'i برابر با مجموع n'i می‌باشد.

در این روش، مقادیر متوالی از مقدار Ui و U'i حاصله از آزمون من- کندل به صورت گرافیکی نمایش داده می‌شود که اگر مقادیر Uiو U'i از منحنی‌ها چندین بار روی همدیگر قرار بگیرند روند یا تغییری وجود نخواهد داشت و Uiو U'i به صورت موازی عمل خواهند کرد. ولی در جایی که منحنی‌ها همدیگر را قطع می‌کنند منحنی‌ها مح شروع روند یا تغییرات را به صورت تقریبی به نمایش

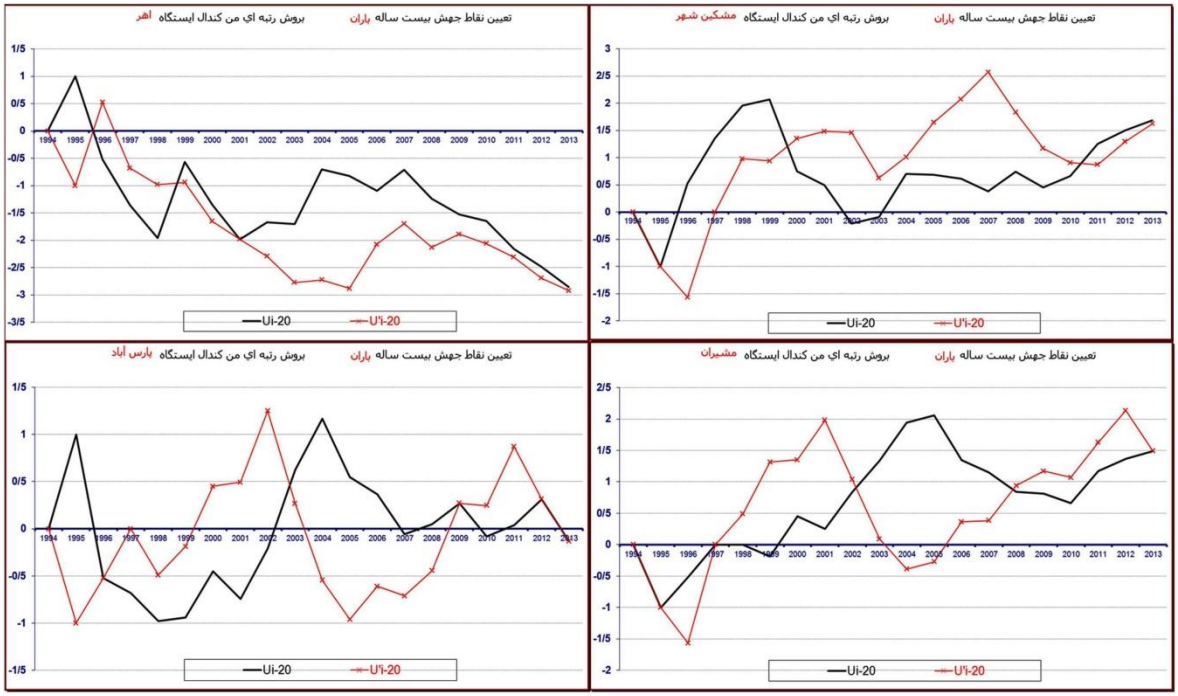
می‌گذارد. اگر منحنی‌ها همدیگر را در داخل محدوده قطع کنند نشانه زمان آغاز تغییر ناگهانی و در صورتی که خارج از محدوده بحرانی همدیگر را قطع کنند بیانگر وجود روند در سری‌های زمانی است.پارامترهای این تحقیق شامل پارامترهای اقلیمی دما، بارندگی و دبی رودخانه‌ها می‌باشد. در کنار دما و بارش از پارامترهای رطوبت و روزهای یخبندان که خود به نوعی وابسته به دو متغیر دما و بارش می‌باشند نیز برای تحلیل و نتیجه‌گیری بهتر استفاده شده است.

به‌علاوه تغییرهای دیگری نیز چون ساعات آفتابی نیز مدنظر قرار داشت که به دلیل عدم نوسانات قابل ذکر در آن‌ها، از ذکر آن‌ها در این تحقیق خودداری شده است. بررسی پارامتر میانگین دمای سالانه (شکل ۲) در ایستگاه‌های چهارگانه مورد مطالعه نشان می‌دهد که به‌طور کلی گرایش شیب دمایی در داده‌های سری زمانی در بازه مورد مطالعه (۱۹۹٤-۲۰۱۳) به سمت کاهش دماست. هرچند که این امر در نمودار مربوط به ایستگاه پارس‌آباد به خوبی نمایان نیست ولی در ایستگاه مشگین شهر این روند کاهش دمایی به خوبی مشهود بوده بطوریکه از سال ۲۰۱۰روند کاهش دمای آن معنادار شده است.

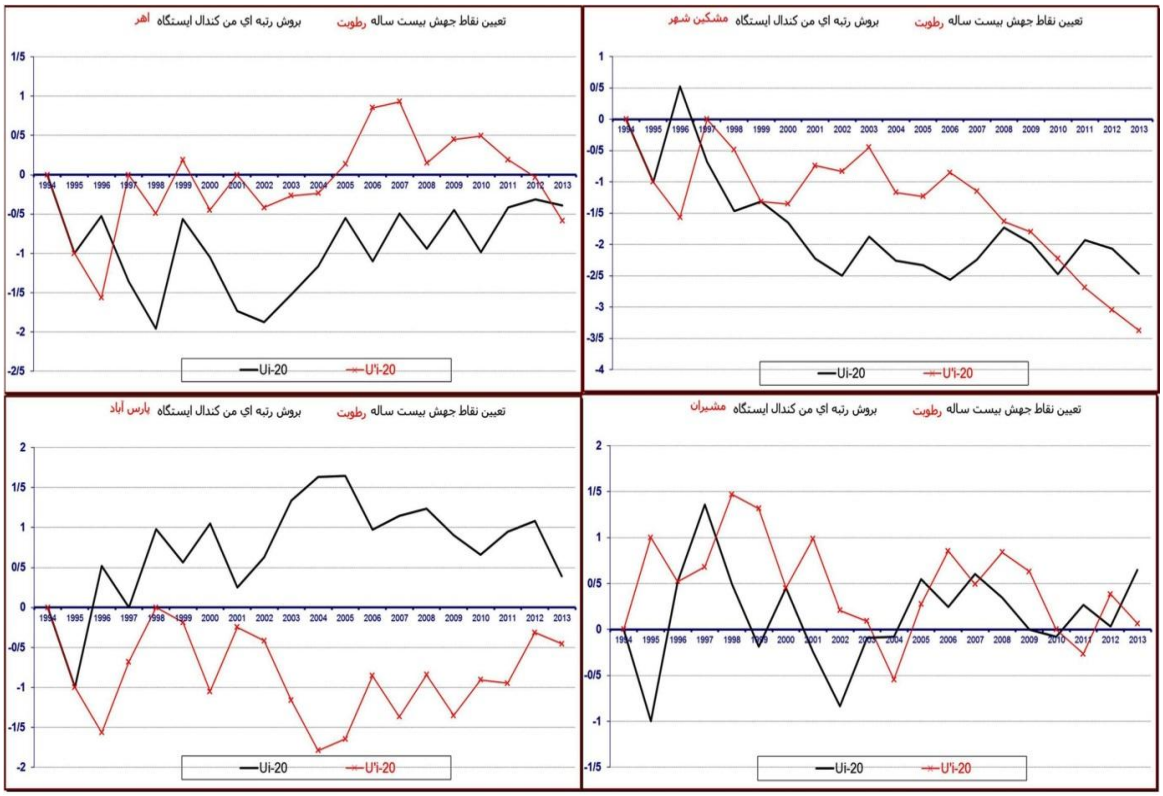
ایستگاه مشیران نیز شیب تغییرات کاهشی را تا حدودی از خود بروز می‌دهد. بررسی و استفاده از مدل من کندال در مورد داده‌های سری زمانی بارش (شکل ۳) در طول بازه زمانی برخلاف میانگین سالانه دما، تغییرات آشکارتری را نشان می‌دهد. ایستگاه اهر شیب روند کاهشی را به خوبی نشان می‌دهد بطوریکه این شیب از سال ۲۰۰۹ به بعد روند معناداری از خود بروز می‌دهد. این واقعیت نشان دهنده کاهش بارش در این ایستگاه می‌باشد که به دنبال آن کاهش دبی رودخانه اهر چای و بالطبع رود دره رود را نیز می‌تواند به همراه داشته باشد. در ایستگاه‌های باقی مانده به جز ایستگاه پارس‌آباد که نوسانان بارشی آن منتج به استنباطی نمی‌شود، میانگین بارش در ایستگاه‌های مشگین شهر و مشیران به‌طور کلی شیب تغییرات افزایشی را از خود نشان می‌دهند. برخلاف ایستگاه اهر، از این نمودار داده‌های بارشی این دو ایستگاه می‌توان استنباط نمود که پتانسیل دبی رودخانه دره رود بایستی به تبعیت از این آمار رفتاری افزایشی داشته باشد.



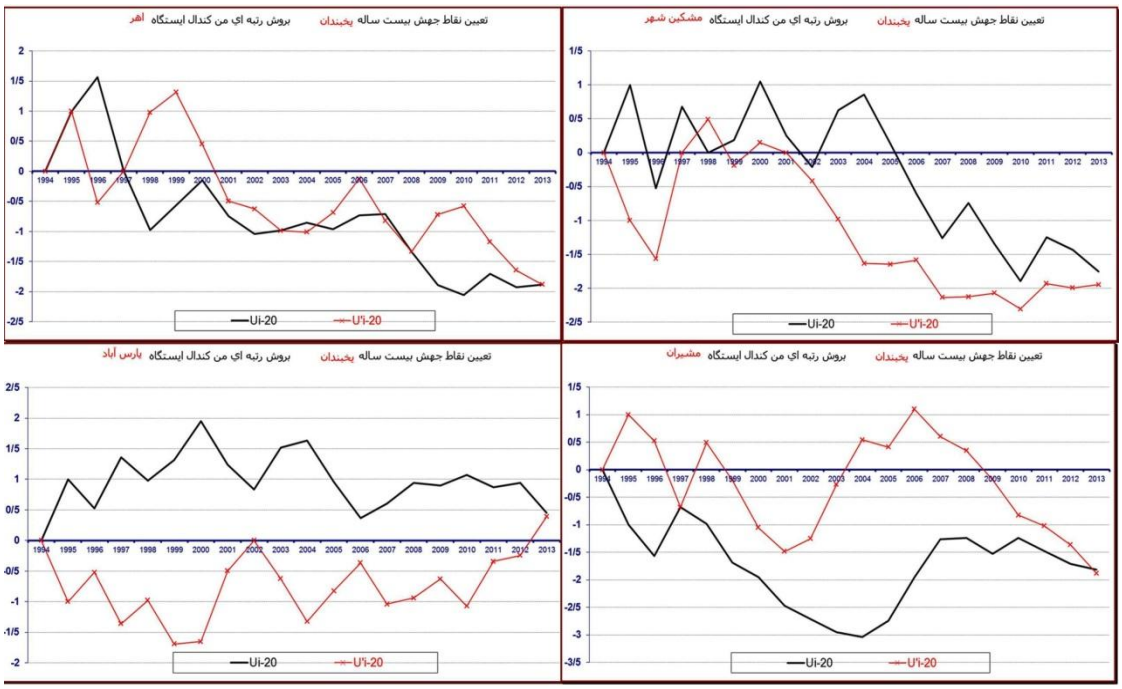
شکل ۲- تغییرات در میانگین دمای ایستگاه‌های مورد مطالعه به روش آزمون من-کندال



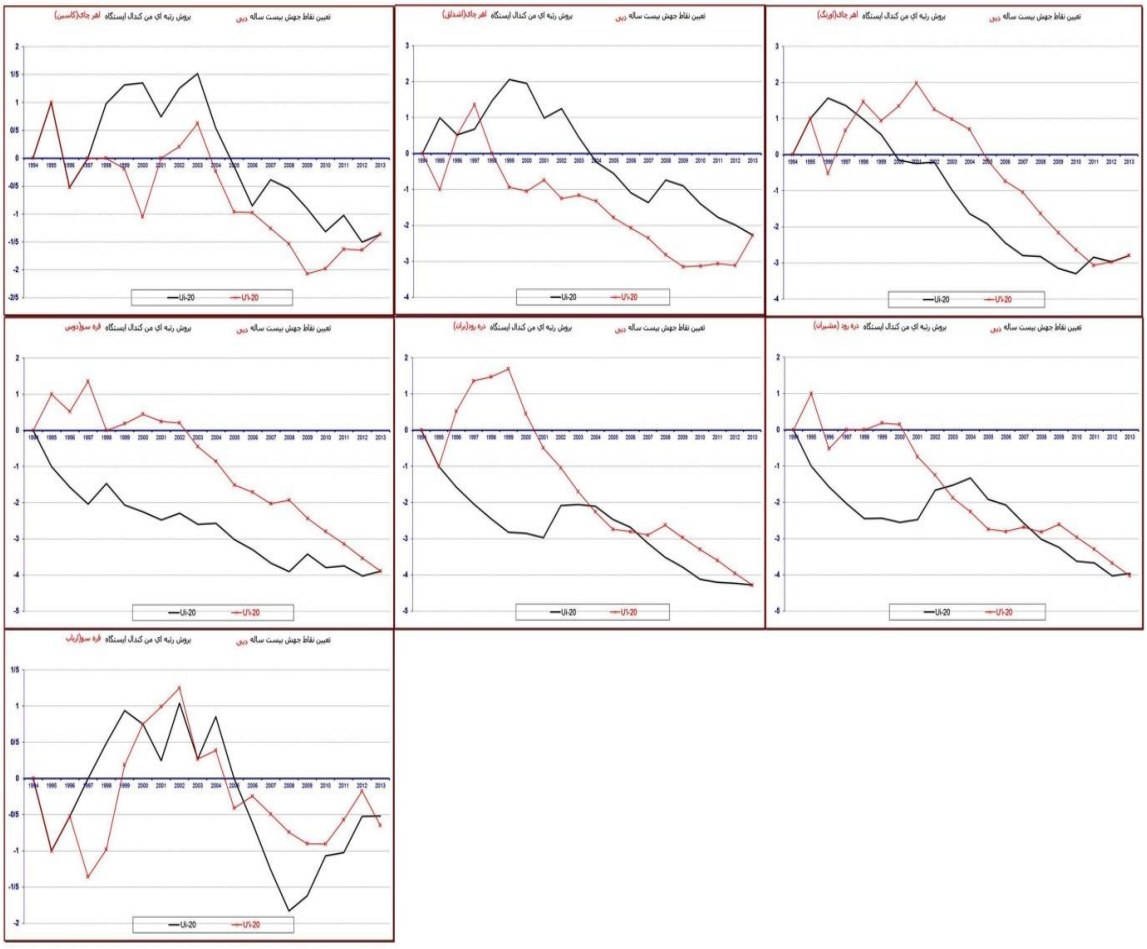
شکل ۳- تغییرات در میانگین بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه به روش آزمون من-کندال



شکل ٤- تغییرات در میانگین رطوبت ایستگاه‌های مورد مطالعه به روش آزمون من-کندال



شکل ۵- تغییرات در میانگین روزهای یخبندان ایستگاه‌های مورد مطالعه به روش آزمون من-کندال



شکل ٦- تغییرات در میانگین روزهای یخبندان ایستگاه‌های مورد مطالعه به روش آزمون من-کندال

در خصوص سری داده‌های روزهای یخبندان در ایستگاه‌های مورد مطالعه (شکل ۵) این واقعیت جاری است که به جز ایستگاه پارس‌آباد که نمودار آن فاقد استنباط درست می‌باشد، در سه ایستگاه باقی مانده کاهش روزهای یخبندان به خوبی مشهود است. شیب تغییرات در ایستگاه اهر در سال ۲۰۰۹ تبدیل به روند معنادار منفی شده و کماکان ادامه دارد. در ایستگاه مشگین شهر انتظار می‌رود که در سال‌های نه چندان دور این روند معنادار شود. در ایستگاه مشیران نیز هرچند روند معناداری در مقطعی از زمان (۲۰۰۵-۲۰۱۱) در دچار وقفه شده ولی سیر کاهشی آن مجدداً آن را از سال ۲۰۱۱ در وضعیت معناداری قرار داده است و بر پایه این اطلاعات که روند کاهش روزهای یخبندان در این ایستگاه نیز پیش‌بینی می‌شود. در خصوص ایستگاه پارس‌آباد می‌توان اشاره کرد که به دلیل اقلیم گرم‌تر این ایستگاه نسبت به ایستگاه‌های دیگر که از روزهای یخبندان کمتری برخوردار می‌باشد، نوسانات آن به مانند سایر ایستگاه‌ها ملموس نیست.

دبی رودخانه

دبی رودخانه که در این تحقیق با استفاده از داده‌های سری زمانی ۷ ایستگاه کاسین، اورنگ و اشدلق مربوط به رودخانه اهر چای، اربابکندی و دوستبیلو مربوط به حوضه رودخانه قره‌سو و بران و مشیران نیز مربوط به حوضه رودخانه دره رود مورد بررسی قرار گرفت (شکل ٦). نتایج همه ایستگاه‌ها تا حدود زیادی مشابه بوده و از کاهش دبی رودخانه‌های اهر چای و قره‌سو و بالطبع دره رود دارد. کاهش دبی در داده‌های مربوط به دبی رودخانه‌های مذکور در اغلب موارد معنادار و کاهشی است.بر اساس آزمون من-کندال نوسانات اقلیمی در دما و بارش هرچند در این تحقیق روندهای مشخصی را از خود نشان نمی‌دهند ولی نوساناتی چند در شرف وقوع است که می‌تواند آینده اقلیم این حوضه رو دگرگون سازد. کاهش روزهای یخبندان در حوضه مورد مطالعه را می‌توان دلیلی برای ادعا دانست. در این تحقیق بررسی پارامتر میانگین دمای سالانه در ایستگاه‌های چهارگانه مورد مطالعه نشان می‌دهد که به‌طور کلی گرایش شیب دمایی در داده‌های سری زمانی در بازه مورد مطالعه (۱۹۹٤-۲۰۱۳) به سمت کاهش دماست. بررسی داده‌های سری زمانی بارش در طول بازه زمانی برخلاف میانگین سالانه دما، تغییرات آشکارتری را نشان می‌دهد. ایستگاه اهر شیب روند کاهشی را به خوبی نشان می‌دهد و در ایستگاه‌های باقی مانده به جز ایستگاه پارس‌آباد که نوسانان بارشی آن منتج به استنباطی نمی‌شود، میانگین بارش در ایستگاه‌های مشگین شهر و مشیران به‌طور کلی روند افزایشی را از خود نشان می‌دهند. نوسانات رطوبت سالانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه حاکی از کاهش رطوبت در ایستگاه‌های اهر، مشگین و مشیران و افزایش آن در ایستگاه پارس می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر نوسانات اقلیمی بر منابع آب حوضه رودخانه دره رود از طریق تعیین روندهای سالانه در داده‌های اقلیمی (دما، بارش، درصد رطوبت و روزهای یخبندان) و دبی رودخانه‌های دره رود به عنوان حوضه اصلی و رودخانه اهر چای و قره‌سو نیز به عنوان شعب این رودخانه از سال ۱۹۹٤ تا ۲۰۱۳ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت .بدین منظور داده‌های اقلیمی چهار ایستگاه اهر، مشیران، مشگین شهر و پارس‌آباد در کنار داده‌های آب‌سنجی ۷ ایستگاه کاسین، اورنگ و اشدلق مربوط به رودخانه اهر چای، اربابکندی و دوستبیلو مربوط به حوضه رودخانه قره‌سو و بران و مشیران نیز مربوط به حوضه رودخانه دره رود مورد استفاده قرار گرفت. روند تغییرات و نوسانات داده‌های مزبور با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال بررسی و محاسبه و نمودارهای تغییرات مؤلفه‌های u و $u`$ مربوطه ترسیم گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که دبی سالانه در همه ایستگاه دارای روند کاهشی در طول دوره مورد مطالعه بوده است و در اغلب

ایستگاه‌ها روند معنی‌داری توسط آزمون من- کندال در داده‌های دبی سالانه تائید شده است. به‌طور کلی نتایج این تحقیق، حاکی از عدم ارتباط مشخص بین نوسانات اقلیمی بر اساس میانگین سالانه و دبی سالانه رودخانه در طول دوره مورد مطالعه می‌باشد. هرچند نوسانات اقلیمی صورت گرفته در حوضه مورد مطالعه ایجاد ارتباط بین نوسانات اقلیمی و دبی رودخانه در این حوضه و بر اساس بازه زمانی و میانگین داده‌ها را مشکل می‌سازد، لیکن کاهش دبی رودخانه کاملاً مشهود بود و در اغلب موارد روند آن معنادار و منفی است. در این تحقیق نتایج همه ایستگاه‌ها تا حدود زیادی مشابه بوده و از کاهش دبی رودخانه‌های اهر چای و قره‌سو و بالطبع دره رود دارد.نتیجه این تحقیق با استفاده از آزمون ناپارامتری من‌کندال نشان دهنده روند معنی‌دار و منفی در دبی حوضه مورد مطالعه است. مقایسه نتایج پارامترهای اقلیمی با نتایج مربوط به دبی رودخانه نشان دهنده عدم ارتباط واضح و محکم در بین نوسانات اقلیمی و دبی رودخانه در طول بازه مورد مطالعه می‌باشد. هرچند با نتایج به دست آمده در طول دوره مطالعاتی این تحقیق نوسانات پارامترهای اقلیمی را نمی‌توان دلیل محکم کاهش دبی دانست و ارتباط صددرصدی بین این دو قائل شد لیکن این امر را نیز نمی‌توان به‌کلی نادیده گرفت.نتیجه این تحقیق بر این واقعیت تأکید دارد که کاهش دبی رودخانه‌های مورد بررسی به‌ویژه رودخانه دره رود را بایستی در عوامل دیگر دید. از مهم‌ترین این عوامل می‌توان برداشت‌های بی‌رویه از آب‌های سطحی و زیرزمینی در این حوضه را حدس زد که به دلیل حاصلخیز بودن منطقه دور از واقع نیست و موجب کاهش دبی رودخانه‌ها به‌واسطه برداشت سطحی و نفوذ به آب‌های زیرزمینی برای جبران بیلان آبی سفره‌های زیرزمینی می‌شود.

منابع

اذعانی، آ.. عراقی نژاد، ش.. شیفته صومعه، ب.(۱۳۸۹)." بررسی اثر تغییر اقلیم بر منابع آبی استان مازندران". اولین همایش ملی مدیریت منابع آب اراضی ساحلی.

اکبری, م. (۱۳۸٦). "تأثیر نوسانات اقلیمی بر کیفیت منابع آب (مطالعه موردی: حوضه آبریز جاجرود و دشت ورامین)". پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده جغرافیا. دانشگاه تهران.

امیریان، ع. سلطانی، ف. (۱۳۹۰). "بررسی اثرات تغییر اقلیم بر حوضه جراحی با استفاده از آزمون ناپارامتری من کندال و پارامتری تحلیلی رگرسیون". یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر

پروین، ن. (۱۳۸۹). "مطالعه تغییر اقلیم نیم‌قرن اخیر با تأکید بر منطقه شمال غرب ایران". چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام (ICIWG 2010).

جانی،ر.، قربانی، م.ع. و شمسائی، ا. (۱۳۹۲)." بررسی ماهیت آشوبناکی بارش ماهانه شهر تبریز در شرایط تغییر اقلیم"، فصلنامه زمین شناسی و محیط زیست، سال هفتم شماره ۲۳، صفحات ۱ الی ۱۳.

حجام، س.، خوشخو، ی.، شمس‌الدین وندی، ر. (۱۳۸۷). "تحلیل روند تغییرات بارندگی‌های فصلی و سالانه چند ایستگاه منتخب در حوزه مرکزی ایران با استفاده از روش‌های ناپارامتری". مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ٦٤، صفحات ۱٥۷-۱٦۸.

حسن لی، ع. م. (۱۳۹۰)." تغییرات اقلیمی و پیامدهای آن بر منابع آب و محیط‌زیست (راهبردهای سازگاری و کاهشاثر)". مشهد. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. چاپ اول.

خسروی، م.، اسمعیل نژاد، م.. نظری پور، ح. (۱۳۸۹). "تغییر اقلیم و تأثیر آن بر منابع آب خاورمیانه. چهارمین گنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام (ICIWG2010).

عزیزی، ق. و روشنی، م. (۱۳۷۸)." مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من کندال". پژوهش‌های جغرافیایی- شماره ٦٤ صفحه ۱۳- ۲۸

فولاد، ف.، مطیعی، ه.و شریفان، ر. ا. (۱۳۸۸). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب حوزه آبریز رودخانه کرج و سد کرج.

مدرسی، ف.، عراقی نژاد، ش.، ابراهیمی، ک.، خلقی، م. (۱۳۸۹). "بررسی منطقه‌ای پدیده تغییر اقلیم با استفاده از آزمون‌های آماری مطالعه موردی: حوضه آبریز گرگانرود-قره‌سو". نشریه آب‌وخاک. جلد ٢٤، شماره ۳، مرداد - شهریور ۱۳۸۹،ص .٤٨٩ -٤٧٦

مساح بوانی، ع. (۱۳۸۵). "ارزیابی ریسک تغییر اقلیم و تأثیر آن بر منابع آب (مطالعه موردی: حوضه زاینده‌رود اصفهان)". رساله دکتری. گروه مهندسی سازه‌های آبی، دانشگاه تربیت مدرس

Alcamo, J., Henrichs, T., Rosch, T., (2000)."global modeling and scenario analysis for the World Commission on Water for 21st century". Report A0002, Center for Environmental System Research, University of Kassel, Germany

Bates, B,& Palutikof, J. (2008)." Climate change and water". Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

Gocic, M. and Trajkovic, S.(2013)." Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia". Global and Planetary Change, Volume 100, January 2013, Pages 172–182.

Sueyer, R. (1990), "On the Statistical Analysis of Series of Observations", WMO, NO 415.

Trajkovic, S., Kolakovic, S., (2009)." Wind-adjusted Turc equation for estimating reference evapotranspiration at humid European locations". Hydrology Research 40 (1), 45–52.

Yang, X.L., L.R. Xu, K.K. Liu, C.H. Li, J.Hu, X.H. Xia. (2012)." Trends in Temperature and Precipitation in the Zhangweinan River Basin during the last 53 Years". Procedia Environmental Sciences, Volume 13, 2012, Pages 1966–1974

Yu, P.S., Yang, T.C, and Wu, C.K, (2002), "Impact of climate change on water resources in southern Taiwan. Journal of Hydrology", 260: 161-175.

Zarghami, M., Abdi, A., Babaeian, I., Hassanzadeh, Y., & Kanani, R. (2011). "Impacts of climate change on runoffs in East Azerbaijan, Iran". Global and Planetary Change, 78(3), 137-146.

هشتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه بهمن‌ماه ۱۳۸۸، اهواز، دانشگاه شهید چمران

Zongxue X., Zhaofei L., Guobin F., Yaning Ch. (2010). "Trends of major hydroclimatic variables in the Tarim River basin during the past 50 years". Journal of Arid Environments, Volume 74, Issue 2, February 2010, Pages 256–267.

Effects assessment of the climate Change on water resources of Dararood Basin

Ebrahim Fataei

Abstract

The global climate is changing, and impacts of climate change are being observed across the world. In recent years, particularly the effects of climate changes on the Earth's water resources are very considerable. Dararood Basin is one of the subbasin of Aras river catchment. Considering Water supply, Dararood river plays an important role in the study area. Unfortunately, in recent years the amount of water in this area has decreased. Investigating trend in climate and hydrological variables can help to identify the possible climatic changes and fluctuations. In order to identify trend in hydro-meteorological time series data among the nonparametric test, Mann-Kendall was used wildly. The purpose of this study is investigating fluctuations and trends in river flow under potential impact of climate fluctuations using the Mann-Kendall test, during 20 years (1994-2013). For this purpose climate data of four stations including Ahar, Moshiran, Meshginshahr and Parsabad along with 7 hydrometric station data (Cassin, Orang, Oshdalaq, Arbabkandi, Dostbyloo, Boran and mashiran) were used. The results showed that the annual flow of all stations have decreasing trend during the study period. Also the results of this study showed no significant correlation between climatic fluctuations and annual river flow based on the annual average during the study period.

Keywords: climate fluctuations, Mann-Kendall, flow, Dararood