

دو فصلنامه آب و هواشناسی کاربردی، سال دوم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۳۹۴، شماره پیاپی ۲

A. Nasrabadi, PhD

اسماعیل نصرآبادی، دکترای اقلیم شناسی، دانشگاه فرهنگیان، دانشکده علامه طباطبایی سبزوار، ایران

Email: esmailnasrabaadi@gmail.com

وصول: ۱۳۹۴/۶/۱۵ پذیرش: ۱۳۹۵/۳/۲۹

صص: ۳۷-۵۲

واکاوی روند تغییرات ماهانه و سالانه فراسنج‌های اقلیمی در سبزوار

چکیده

در این مطالعه، تحلیل روند آماری فراسنج‌های اقلیمی مجموع بارش، تعداد روزهای بارانی، میانگین رطوبت نسبی، میانگین دما، میانگین کمینه و بیشینه دما در دو مقیاس ماهانه و سالانه بر روی داده‌های پیمونگاه (ایستگاه) همدید سبزوار انجام گرفت. برای این منظور، از آماره‌های آزمون من-کندال برای تعیین چگونگی روند و از برآورد کننده شیب خط سن برای تعیین شیب یا بزرگی روند داده‌های اقلیمی سبزوار در بازه‌ی زمانی ۱۳۴۱ تا ۱۳۹۰ استفاده شد. در بین سری‌های زمانی، سری زمانی مجموع بارش سبزوار روند منفی را در ماه‌های فروردین، اردیبهشت، خرداد، مهر و دی ماه نشان می‌دهد این روند منفی بارش اگرچه از جهت آماری معنی‌دار نیست اما به جهت اقلیم خشک منطقه، وقوع روند منفی در ماه‌های اوج نیاز گیاه به آب و روند افزایشی فراسنج‌های دما همین‌روند کاهش‌یافته اهمیت زیادی دارد. بر اساس آماره‌های آزمون من-کندال نمودار گرافیکی من-کندال در میان سری‌های زمانی دما، میانگین کمینه دما از روند افزایشی مشهودتری نسبت به دیگر سری‌های زمانی دما برخوردار است. نتایج این پژوهش، با یافته‌های برخی از تحقیقات در مورد برخی نقاط ایران که افزایش دما و کاهش بارندگی را تایید کرده‌اند تقریباً هم‌خوانی دارد. از نکات قابل توجه دیگر، روند افزایشی قابل توجه در دما به خصوص میانگین کمینه دما می‌باشد. در مقیاس سالانه میانگین دما، میانگین کمینه و میانگین بیشینه دما روند افزایشی در فاصله اطمینان ۹۹/۹۹٪ را نشان می‌دهند. نمودار گرافیکی من-کندال که برای سری‌های زمانی سالانه رسم شده است یک روند منفی ضعیف در مجموع بارش سالانه و میانگین رطوبت نسبی به خصوص در دهه‌های اخیر را نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: روند، من-کندال، روش برآورد شیب سن، پارامترهای اقلیمی، سبزوار.

مقدمه

موضوع تغییر اقلیم به جهت تأثیر بر ابعاد مختلف زندگی بشر و وابستگی فعالیت‌های بشر به آن به یکی از دغدغه‌های اصلی دانشمندان مرتبط با علوم جوی تبدیل شده است؛ و بسیاری از پژوهش‌گران، سعی در شناخت ابعاد مختلف این پدیده مهم دارند؛ تغییر در عناصر اقلیمی به ویژه دما و بارش از مهم‌ترین مظاهر و نشانه‌های این پدیده به شمار می‌آید؛ در تغییر اقلیم لزوماً نه انتظار روند یک‌سو از دما و بارش در سراسر جهان؛ و نه تغییر توأمان بارش و دما را داریم بلکه با موزائیکی از شرایط متنوع در مورد عوامل اقلیمی در مناطق مختلف روبرو هستیم. بنابراین، برای آگاهی از این تنوع زمانی و مکانی عناصر، نیازمند مطالعه‌ی موضوع در مقیاس‌های گوناگون هستیم تا از کم و کیف و روند تغییرات آگاهی پیدا کنیم. از طرفی، اثبات وجود روند معنی‌دار در یک سری زمانی بارندگی به تنهایی نمی‌تواند دلیل قاطعی بر وقوع تغییر

اقلیم در یک منطقه باشد بلکه فرض رخداد آن را تقویت می‌کند (سیرانو^۱ و همکاران، ۱۹۹۹: ۸۶). همه این عوامل موجب شده مطالعات گسترده‌ای در این زمینه صورت بگیرد؛ در برخی از این مطالعات روند یک یا چند عنصر محدود و در برخی دیگر روند چندین عنصر از جهت مکانی و زمانی و یا هردوی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. زانگ و همکاران^۲ به کمک داده‌های شش‌عنصر کمینه، بیشینه، میانگین دما، دامنه دمای روزانه، مجموع بارش و نسبت برف به مجموع بارش ۲۱۰ پیمونگاکانادا روند بارش و دما در قرن ۲۰ را تحلیل کردند آن‌ها افزایش در دما به خصوص دمای کمینه و بارش سالانه را تأیید کردند (زانگ و همکاران، ۲۰۰۰: ۳۹۵). ژ. و همکاران روند بلند مدت سری‌های زمانی بارش و دما در ژاپن را با روش‌های پارامتری و ناپارامتری برای تشخیص جهش و روند یک‌نواخت مورد مطالعه قرار داده‌اند؛ هرچند دمای سالانه یک روند یک‌نواخت افزایشی را نشان می‌دهد اما در داده‌های بارش شواهدی دال بر معنی‌داری روند یک‌نواخت وجود ندارد (ژ. و همکاران، ۲۰۰۲: ۱۱). روند بلند مدت و تغییرات ناگهانی متغیرهای اصلی اقلیم در حوزه بالا دست رود زرد با استفاده از داده‌های ۲۳ پیمونگه در دوره ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۱ تفاوت نتایج به دست آمده از روش‌های مختلف را نشان می‌دهد اما بدون تردید همه روش‌ها وقوع یک جهش در متغیرهای چهار دهه اخیر را تأیید می‌کند (فانگ فانگ^۳ و همکاران، ۲۰۰۷: ۲۰۴). کارمش^۴ با اجرای آزمون من- کندال^۵ روند داده‌های دما و بارش سالانه دوره ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۱ در ۹ ایالت شمال شرق آمریکا را در راستای ارزیابی تغییر اقلیم مورد مطالعه قرار داده نتایج این مطالعه روند معنی‌داری افزایشی دما را در همه ایالت‌ها (به غیر از دو ایالت) و روند افزایشی بارش در ۷ ایالت را نشان می‌دهد (کارمش، ۲۰۱۲: ۲۳). کجاین و کامار^۶ به مرور مطالعات صورت گرفته در مورد باران، روزهای بارانی و دما در مقیاس‌های مختلف با روش من کندال و برآورد کننده شیب سن^۸ در کشور هند پرداختند یافته‌های آن‌ها نشان می‌دهد در مطالعات مختلف نتایج متفاوت است و یک تصویر روشن و یکسان‌بند مورد روند باران در هند وجود ندارد. در این مقاله، بر نیاز به وجود یک شبکه مترکم از پیمونگه‌ها در نقاط دور دست تأکید شده است (کجاین و کامار، ۲۰۱۲: ۳۷). از مطالعات با این موضوع هم‌چنین می‌توان از مطالعه‌ی روند بارش و دمای شمال غرب اقیانوس آرام در قرن ۲۰ (موت^۹، ۲۰۰۳: ۲۷۱)، واکاوی (آنالیز)^{۱۰} روند جریان در بزرگترین حوضه آبریز ترکیه با استفاده از آزمون من- کندال و برآورد شیب سن (یونگن و همکاران^{۱۱}، ۲۰۰۸)؛ واکاوی روند سری‌های زمانی باران سالانه و فصلی در حوزه مدیترانه با داده‌های ۲۱۱ پیمونگه در دوره‌ی ۱۹۱۸ تا ۱۹۹۹ با استفاده از آزمون‌های t استیودنت و من- کندال (لونگ باردی و ویلان^{۱۲}، ۲۰۰۹)، واکاوی بارش، دما و تبخیر و تعرق ناحیه‌ی مدیترانه‌ای فرانسه برای دوره ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۶ با یک

1-Serrano

2- Zhanget al

3-Xu

4-Fangfang

5-Karmeshu

6 -Mann-Kendall

7-K. Jainand Kumar

8-Sen's estimator of slope

9 - Mote

10-Analyse

11-Yenigunet al

12-Longobardi and Villan

افزایش در متوسط دما و تبخیر و تعرق سالانه و عدم وجود روند در بارش سالانه (چایوچ و همکاران^۱، ۲۰۱۰:۲۳۴)؛ واکاوی روند داده‌های بارش ناحیه پیریا^۲ در یونان با استفاده از داده‌های ۷ پیمونگه در دوره ۱۹۷۴ تا ۲۰۰۷ با روش من-کندال، من-کندال دنباله‌ای و برآورد شیب سن (کارپوزوس و همکاران^۳، ۲۰۱۰:۳۳) روند در بارش پرتغال با واکاوی سری‌های زمانی بلند مدت ماهانه و سالانه ۱۰ پیمونگه کشور پرتغال با روش من-کندال و برآورد شیب سن (دلیما^۴ و همکاران، ۲۰۱۰)، تغییرات سری‌های زمانی رواناب ناحیه تورینگیا^۵ در آلمان با آزمون من کندال بر داده-های بارش روزانه و آمار پذیرش روند افزایشی در بارش زمستان و کاهش در بارش تابستان (دانبرگ^۶، ۲۰۱۲:۵۴) نام برد.

مسعودیان در دو مطالعه جداگانه به بررسی روند دما و بارش کشور بر روی یاخته‌هایی به ابعاد ۱۵×۱۵ کیلومتر در نیم سده اخیر پرداخته است نتایج این دو مطالعه، نشان می‌دهد دمای شبانه، روزانه و شبانه‌روزی ایران به ترتیب با آهنگ حدود سه، یک و دو درجه در هر صد سال افزایش داشته (مسعودیان، ۱۳۸۳:۸۹) و بارش ماهانه در بیش تر نقاط کشور روندی را نشان نمی‌دهد اما در یک نگاه کلی می‌توان نیم میلی‌متر بارش طی نیم سدهی اخیر را برای کشور پذیرفت (مسعودیان، ۱۳۸۳:۶۳). بررسی تغییرات دما و بارش پیمونگه مهرآباد تهران در دوره ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۵ به کمک روش‌های آماری - گرافیکی نشان می‌دهد بیش تر تغییرات دما از نوع نوسانات کوتاه مدت اقلیمی می‌باشد که در اوایل دهه ۲۰۰۰ بیش تر مشهود است اما سری‌های مربوط به بارش نوسانات پی‌در پی داشته است (حجازی‌زاده و پروین، ۱۳۸۸:۴۳). بررسی مشابهی بر روی داده‌های بارندگی و دمای ۳۰ ساله پیمونگه‌های حوزه کرخه در فاصله اطمینان ۹۵٪ افزایش میانگین سالانه دما و کاهش مقدار بارش سالانه را تأیید می‌کند (جهانبخش و همکاران، ۱۳۸۹:۱). مطالعه تغییرات دمایی زاهدان بین سال‌های ۱۹۵۷ تا ۲۰۰۶ افزایش دمای ماهانه را که بیش تر حاصل افزایش میانگین‌های کمینه است اثبات می‌کند (طاوسی و همکاران، ۱۳۸۹:۱). تحلیل روند آماری عوامل اقلیمی بارش، دما و خشک‌سالی در دو مقیاس فصلی و سالانه در ۱۵ پیمونگه منطقه همدان صورت گرفت، نتایج آزمون من-کندال کاهش بارش سالانه در ۶۰ درصد پیمونگه‌ها، افزایش دمای سالانه در ۵۰ درصد پیمونگه‌ها و افزایش خشک‌سالی در ۳۳ درصد پیمونگه‌ها را در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ معنی‌داری نشان می‌دهد (زارع ابیانه و همکاران، ۱۳۹۰:۴۷). علاوه بر مطالعات بالا در ادبیات اقلیم‌شناسی ایران در خصوص بررسی تغییر اقلیم و روند به روش‌های پارامتری و ناپارامتری، می‌توان به مطالعات تشخیص نقاط تغییر سری‌های کمینه، بیشینه و متوسط جریان رودخانه کارون در پیمونگه اندازه‌گیری اهواز در دوره ۱۹۵۴ تا ۲۰۰۵ با آزمون پتیت و آزمون من-کندال و شیب خط روند با روش سن (سالاریجازی و همکاران، ۲۰۱۲:۴۵۴۴)؛ محاسبه روند و شبیه‌سازی بزرگی به کمک آزمون من کندال و برآورد شیب سن با داده‌های سری‌های زمانی بارندگی و دمای سالانه در تعدادی از پیمونگه‌های استان گلستان و پیمونگه گرگان (پیرنیا و همکاران، ۱۳۸۸:۱)؛ واکاوی روند بارش در کویر مرکزی طی دوره‌ی ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۸ در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه (موحدی، ۲۰۱۲:۶۰)؛ واکاوی مکانی فضایی باران در حوضه آبریز دریای خزر با استفاده از داده‌های پایگاه آفرودیتو تأیید روند سالانه، تابستان و پاییز افزایشی و روند بهار

1- Chaoucheet al
2-Pieria
3 - Mondal et al
4-De Lima
5- Thuringia
6-Danneberg

و زمستان کاهشی (موحدی، ۲۰۱۲: ۶۰)؛ مطالعه روند تغییرات بارندگی های فصلی و سالانه ی ۴۸ پیمونگاه منتخب ایران مرکزی با استفاده از روش من- کندالبرآوردشیب سن، و عدم قبول روند خاص در بارندگی های فصلی و سالانه منطقه (حجم و همکاران، ۱۳۸۷: ۱۵۷)؛ استفاده از آزمون من- کندالبر داده های کمینه و بیشینه ی دما، بارش، رطوبت و ابرناکی سواحل جنوبی دریای خزر در یک دوره ۴۰ ساله و پذیرش بیش تر بودن درصد تغییر در فصل زمستان و تابستان نسبت به بهار و پاییز (عزیزی و روشنی، ۱۳۸۷: ۱۳)؛ تحلیل روند بارش با روش من کندال و سن در یاخته هایی به ابعاد ۱۴×۱۴ کیلومتر و عدم تأیید روند افزایشی کاهشی معنی داری در سطوح ۹۹٪ و ۹۵٪ (محمدی، ۱۳۹۰: ۱۰۵) اشاره کرد. سبزی پرور و همکاران در ارزیابی روند تغییرات احتمالی دمای شبانه روزی اقلیم های خشک کشور از داده های ۱۹۵۶ تا ۲۰۰۵ پیمونگاه سبزوار در کنار ۱۰ پیمونگاه دیگر استفاده کرده اند؛ نتایج این مطالعه معنی داری روند کاهشی دمای شبانه روزی را در همه ی سری های زمانی ماهانه و سالانه سبزوار در فاصله اطمینان ۹۵٪ با جهش در سال ۱۹۷۲ نشان می دهد (سبزی پرور و همکاران، ۱۳۹۰: ۳۲). بنایان و همکاران برای بررسی نوسان پذیری اقلیمی شمال شرق ایران به کمک آزمون من- کندال و کمینه مربعات خطا ۲۱ فراسنج^۱ اقلیمی را در پیمونگاه های مشهد، تربت حیدریه، بیرجند و سبزوار مورد ارزیابی قرار دادند نتایج مطالعه روند افزایشی تعداد روزهای دارای آسمان صاف و روند کاهشی تعداد روزهای ابری را در سبزوار نشان می دهد (بنایان و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۱۸).

داده ها و روش کار

شهر سبزوار به عنوان دومین شهر بزرگ خراسان رضوی در فاصله ۲۴۰ کیلومتری غرب شهر مشهد قرار دارد؛ پیمونگاه همدید سبزوار در موقعیت ۳۶ درجه و ۱۲ دقیقه عرض جغرافیایی و ۵۷ درجه و ۴۳ دقیقه طول جغرافیایی در ارتفاع ۹۷۸ متری از سطح دریا قرار دارد. این شهر بر اساس روش طبقه بندی یونسکو که روشی سازگار برای فعالیت های کشاورزی است در اقلیم خشک قرار دارد (سبزی پرور و همکاران، ۱۳۹۰: ۳۱؛ بنایان و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۲۱). در این پژوهش، از داده های ماهانه مجموع بارش، تعداد روزهای بارشی، میانگین رطوبت نسبی میانگین کمینه دما، میانگین بیشینه دما و میانگین دما در ۵۰ ساله منتهی به سال ۱۳۹۰ خورشیدی پیمونگاه همدید سبزوار استفاده شد. نخست میانگین برخی عوامل اقلیمی این پیمونگاه محاسبه شده است؛ سپس آماره یا آزمون ناپارامتری من- کندال در فاصله های اطمینان ۹۹/۹۹٪، ۹۹٪ و ۹۵٪ و کمینه و بیشینه ثابت شیب خط سن برای سری های زمانی فراسنج های مختلف اقلیمی در فاصله اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪ به تفکیک محاسبه شد. در پایان نمودار گرافیکی من- کندال فراسنج ها رسم شد. آزمون من- کندال از آزمون های ناپارامتری است که به صورت گسترده ای برای تشخیص روند در سری های زمانی آب- شناختی و اقلیم شناسی استفاده شده و به وسیله سازمان جهانی هواشناسی برای ارزیابی روند در سری های زمانی داده های محیطی پیشنهاد شده است (یونگن و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۹۰). در این آزمون فرض بهنجار بودن نیاز نیست و برای داده های نابهنجار از آزمون های پارامتری مناسب تر است؛ از این آزمون برای نمایان ساختن روند یک نواخت و نه لزوماً خطی استفاده می شود (چایوچ، ۲۰۱۰: ۲۳۷؛ کارپوزوس و همکاران، ۲۰۱۰: ۳۳). در این روش فرض می شود که سری زمانی مورد

استفاده ایستا، مستقل و تصادفی با توزیع احتمال برابر می‌باشد. این آزمون در داده‌های غیر همبسته به کار می‌رود زیرا بر اساس برخی گزارش‌ها، اگر در داده‌ها هم‌بستگی متوالی وجود داشته باشد فرض صفر به اشتباه رد می‌شود (سارکار و همکاران^۱، ۲۰۱۲: ۴). این آزمون معنی‌داری جهت روند را نشان می‌دهد ولی بزرگی روند را نشان نمی‌دهد (موحدی، ۲۰۱۲: ۶۳). آزمون من- کندال در مواردی به کار می‌رود که فرض می‌شود که، مقادیر داده x_i سری‌های زمانی از مدل رابطه ۱ پیروی می‌کنند. در این رابطه $f(t)$ تابع یک‌نواخت در حال افزایش یا کاهش در زمان ε_i باقی‌مانده‌های از همان توزیع با میانگین صفر هستند. از این رو فرض می‌شود که پراش (واریانس) توزیع در طی زمان ثابت است (سالمی و همکاران^۲، ۲۰۰۲: ۱۰). در این آزمون فرضیه صفر نبود روند را، یعنی مشاهدات به طور تصادفی در زمان مرتب شده‌اند را آزمون کرده و برعکس در فرض مقابل یک روند افزایشی و یا کاهشی در داده‌ها وجود دارد (دراپلا و دراپلوا، ۲۰۱۱: ۱۳۶).

$$x_i = f(t_i) + \varepsilon_i \quad (1)$$

اگر یک سری زمانی با n نقطه داده (n طول سری زمانی داده‌ها) را در نظر بگیریم که x_k و x_j دو داده متوالی k ام و j ام و $k < j$ و $k, j \leq n$ به گونه‌ای که $k \neq j$ باشد.

(۲)

$$s = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \operatorname{sgn}(x_j + x_k)$$

که با قبول فرض H_0 توزیع S در حد توزیع $\infty \rightarrow n$ بهنجار است. sgn تابع علامت است که از رابطه زیر مشخص می‌شود.

$$\operatorname{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

آزمون آماره‌های S میانگین صفر دارد؛ و واریانس آن نیز از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\operatorname{Var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum t(t-1)(2t+5)}{18} \quad (4)$$

در رابطه بالا t اندازه یک بازه زمانی در سری داده‌ها است و $\sum t$ مجموع بازه‌ها (سری زمانی داده‌ها) است برای مواردی که مدت سری زمانی داده‌ها بیش‌تر از ۱۰ باشد ($n > 10$)؛ مقادیر s و $\operatorname{Var}(s)$ برای محاسبه آماره Z با رابطه زیر صورت می‌گیرد.

$$z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } s > 0 \\ 0 & \text{if } s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } s < 0 \end{cases} \quad (5)$$

وجود معنی داری آماری روند با ارزیابی مقدار Z انجام می شود مقدار مثبت (منفی) Z یک روند روبه بالا (روبه پایین) را مشخص می کند آماره Z توزیع بهنجار دارد. برای آزمون وجود روند یک نواخت روبه بالا یا روبه پایین (آزمون دو طرفه) در سطح معنی داری α ، فرضیه صفر اگر قدر مطلق Z بیش تر از $Z_{1-\alpha/2}$ باشد رد می شود جایی که $Z_{1-\alpha/2}$ از جداول توزیع تجمعی بهنجار استاندارد به دست می آید (سالمی و همکاران، ۲۰۰۲: ۱۰)؛ به سخنی دیگر، در آزمون دو طرفه روند، اگر رابطه $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$ در فاصله اطمینان ۹۵٪ برقرار باشد باید فرضیه صفر H_0 (قبول تصادفی بودن سری داده ها) را پذیرفت و در غیر این صورت باید فرضیه H_1 (وجود روند) را قبول کرد اگر معنی داری در سطح $\alpha = 0.01$ (فاصله اطمینان ۹۹٪) آزمون شد فرضیه H_0 صفر در صورتی رد می شود که $Z_{0.995} = 2.575$ باشد برقرار باشد مقادیر مثبت Z روند صعودی و مقادیر منفی Z روند نزولی سری را نشان می دهد.

اگر روند در سری داده ها مشاهده شد، شیب واقعی (میزان تغییر در واحد زمان) را می توان با استفاده از روش ناپارامتری ساده ی سن برآورد نمود؛ این شیوه در جایی به کار می رود که فرض خطی بودن روند پذیرفته شود این به معنی آن است که $f(t)$ رابطه (۲) برابر است با:

$$f(t) = Q_t + B \quad (6)$$

در رابطه بالا Q شیب و B ثابت خط است. برای این کار نخست شیب هر جفت داده متوالی سری را از رابطه زیر به دست می آوریم:

$$Q_i = \frac{(x_j - x_k)}{j - k} \text{ for } i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

که در رابطه x_j و x_k به ترتیب مقادیر داده ها در واحد زمان k و j است که با هم یک واحد زمانی اختلاف دارند. Q_i مقادیر میانه n برآورد شده شیب نمودار سن است. اگر n فرد باشد برآورد کننده شیب سن این گونه محاسبه خواهد شد:

$$Q_{med} = Q_{(n+2)/2} \quad (8)$$

و اگر n زوج باشد برآورد کننده شیب سن از این رابطه به دست می آید:

$$Q_{med} = (Q_{(n)/2} + Q_{(n+2)/2})/2 \quad (9)$$

اگر مقدار Q_{med} با آزمون دو طرفه در فاصله اطمینان $100(1 - \alpha)\%$ بررسی شود شیب واقعی نمودار روند را می‌توان به دست آورد. اگر عدد صفر در دامنه بین دو شیب استخراج شده قرار بگیرد فرض صفر تأیید شده و در نتیجه بر سری زمانی مورد آزمون نمی‌توان هیچ روندی را در فاصله اطمینان مورد نظر نسبت داد. در غیر این صورت فرض صفر رد شده و می‌توان پذیرفت که سری زمانی دارای روند معنی‌داری در فاصله اطمینان مورد آزمون است (محمدی، ۱۳۹۰: ۱۰۲).

هر گاه روند در سطح معنی‌داری انتخاب شده قابل قبول باشد می‌توان با کمک آزمون نموداری من-کندال نقطه تغییر را پیدا کرد. روابط زیر روش محاسبه این آزمون نموداری را نشان می‌دهد این روش مقادیر T در زمان t را محاسبه می‌کند. در این آزمون به هر سال یک شماره ردیف ($n_i = 1, 2, 3, \dots$) تعلق می‌گیرد. برای هر فراسنج یک مرتبه- i (m) در نظر گرفته می‌شود که تعداد رتبه‌های کوچک‌تر از ردیف n_i است که قبل از آن قرار می‌گیرد.

$$E_i = n_i(n_i - 1)/4 \quad (10)$$

$$V_i = \frac{n(n_i - 1)(2n_i + 5)}{72} \quad (11)$$

$$T_i = T_{i-1} + m_i \quad (12)$$

$$U_i = \frac{(T_i - E_i)}{\sqrt{V_i}} \quad (13)$$

در روابط بالا E_i امید ریاضی، V_i پراش، T_i آماره، m_i مرتبه‌ی مربوط به هر ردیف n_i است که در نهایت دنباله‌ی U از آن استخراج می‌شود. اگر دنباله‌ی U و T بر اساس t (زمان) به صورت نموداری رسم شود، در حالت معناداری روند، دو نمودار در نقطه شروع پدیده در خارج از محدوده ± 1.96 ، یک‌دیگر را قطع کرده و در خلاف جهت یک‌دیگر حرکت خواهند کرد. به این نقطه برخورد، جهش گفته می‌شود. در حالی که اگر روند وجود نداشته باشد، دو دنباله‌ی U و T تقریباً به صورت موازی حرکت خواهند کرد و یا با چند بار برخورد به طوری که به تغییر جهت منجر نشود، عمل خواهند کرد (سبزی‌پور و همکاران، ۱۳۹۰: ۳۱). نمودار U نسبت به سال رسم شده و برای این که معنی‌داری روند و نقطه جهش آن به دست آید، دنباله‌ی U مانند U محاسبه می‌شود با این تفاوت که سال‌ها به ترتیب نزولی قرار می‌گیرند. در حالتی که $-1.96 < U < +1.96$ باشد نمی‌توان روند خاصی را برای سری متصور شد و سری تصادفی است. در حالت $-1.96 < U$ روند مثبت و $U < +1.96$ حکایت از روند منفی در داده‌های سری دارد.

بحث و نتایج

نخست برای آشنایی اجمالی با شرایط اقلیمی منطقه، میانگین بلند مدت فراسنج‌های اقلیمی مورد مطالعه در جدول ۱ قرار داده شد. معنی‌داری آماره‌های آزمون من-کندال در سطح $\alpha = 0.001$ ، $\alpha = 0.01$ و $\alpha = 0.05$ به ترتیب برابر با فاصله اطمینان ۹۹/۹۹٪، ۹۹٪ و ۹۵٪ و کمینه، بیشینه و مقدار ثابت شیب خط سن در فاصله اطمینان ۹۹٪ و ۹۵٪ برای سری‌های زمانی تعداد روزهای بارشی، مجموع بارش، میانگین دما، میانگین کمینه و بیشینه دما در پیمونگاه سبزوار در ماه‌های بارشی و سالانه محاسبه شده و در جدول ۲ تا ۷ قرار گرفت؛ در این جداول علامت *** روند معنی‌داری در سطح $\alpha = 0.001$ ، ** روند معنی‌داری در سطح $\alpha = 0.01$ ، * روند معنی‌داری در سطح $\alpha = 0.05$ و + روند معنی-

داری در سطح $\alpha = 0.1$ را نشان می‌دهند. در جدول ۲ آماره آزمون من-کندال مجموع بارش روند معنی‌دار آماری را در هیچ یک از سطوح نشان نمی‌دهد؛ اگرچه روند منفی آماره من-کندال در ماه‌های فروردین، اردیبهشت، خرداد، مهر و دی از جهت آماری معنی‌دار نیست ولی با توجه به اقلیم نیمه خشک منطقه و مشاهده کاهش در ماه‌هایی که نیاز آبی گیاه برای تکمیل دوره رشد زیاد است این کاهش بارش اهمیت زیادی دارد. در میان سری‌های زمانی مورد مطالعه، سری زمانی مجموع بارش، بیشینه شیب برآورد خط سن به میزان 0.09 میلی‌متر در سال را به خود اختصاص داده است.

جدول ۱- میانگین بلندمدت فراسنج‌های اقلیمی سبزوار

| فراسنج اقلیمی زمان | تعداد روزهای بارشی | مجموع بارش | رطوبت نسبی میانگین | میانگین دما کمینه | میانگین دما بیشینه | میانگین دما |
|-----------------------|-----------------------|------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------|----------------|
| فروردین | ۸ | ۳۲/۲۱ | ۴۵ | ۹ | ۲۲/۱ | ۱۵/۵ |
| اردیبهشت | ۶ | ۱۹/۸۲ | ۳۷ | ۱۴/۷ | ۲۸/۸ | ۲۱/۸ |
| خرداد | ۲ | ۴/۷۲ | ۲۷ | ۱۹/۸ | ۳۴/۶ | ۲۷/۲ |
| تیر | ۱ | ۱/۲ | ۲۴ | ۲۳/۳ | ۳۷/۷ | ۳۰/۵ |
| مرداد | ۰ | ۰/۶۵ | ۲۳ | ۲۲/۱ | ۳۷ | ۲۹/۶ |
| شهریور | ۰ | ۰/۷ | ۲۴ | ۱۸/۲ | ۳۳/۹ | ۲۶/۱ |
| مهر | ۱ | ۳/۲۷ | ۳۲ | ۱۲/۵ | ۲۷/۹ | ۲۰/۲ |
| آبان | ۴ | ۱۲/۶۹ | ۴۴ | ۶/۸ | ۲۰/۶ | ۱۳/۷ |
| آذر | ۶ | ۲۰/۸۱ | ۵۷ | ۱/۶ | ۱۳/۳ | ۷/۵ |
| دی | ۶ | ۲۴/۷۶ | ۶۴ | -۱/۳ | ۹ | ۳/۹ |
| بهمن | ۸ | ۳۴/۴۹ | ۶۲ | -۰/۶ | ۱۰/۱ | ۴/۸ |
| اسفند | ۷ | ۳۲/۴۷ | ۵۲ | ۳/۴ | ۱۵/۶ | ۹/۵ |
| سالانه | ۴۹ | ۱۸۷/۸۳ | ۴۱ | ۱۰/۸ | ۲۴/۲ | ۱۷/۵ |

جدول ۲- آماره‌های آزمون من-کندال و برآورد شیبسن (به میلی‌متر) در تحلیل روند مجموع بارش پیمونگاه سبزوار

| آماره زمان | آماره آزمون | برآورد شیب سن | کمینه شیب (فاصله) اطمینان (۹۹٪) | بیشینه شیب (فاصله) اطمینان (۹۹٪) | کمینه شیب (فاصله) اطمینان (۹۵٪) | بیشینه شیب (فاصله) اطمینان (۹۵٪) | ثابت شیب خط | کمینه ثابت شیب خط (فاصله) اطمینان (۹۹٪) | بیشینه ثابت شیب خط (فاصله) اطمینان (۹۹٪) | کمینه ثابت شیب خط (فاصله) اطمینان (۹۵٪) | بیشینه ثابت شیب خط (فاصله) اطمینان (۹۵٪) |
|---------------|-------------|---------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------|---|--|---|--|
| فروردین | -۰/۳۶ | -۰/۰۹ | -۰/۰۷ | ۰/۵ | -۰/۵۵ | ۰/۳۳ | ۲۸/۶۶ | ۴۷/۰۳ | ۱۲/۳۱ | ۴۳/۳۶ | ۱۶/۱۶ |
| اردیبهشت | -۱/۰۷ | ۰/۱۳- | ۰/۵۴- | ۰/۲۱ | ۰/۴۲- | ۰/۱۳ | ۱۶/۴۲ | ۲۸/۷۶ | ۹/۱۵ | ۲۴/۵۸ | ۱۰/۸۶ |
| خرداد | -۰/۱۷ | ۰/۰۰ | ۰/۰۸- | ۰/۰۶ | ۰/۰۵- | ۰/۰۳ | ۱/۸۰ | ۴/۱۵ | ۰/۶۷ | ۳/۶۸ | ۱/۰۱ |
| مهر | -۰/۳۵ | ۰/۰۰ | ۰/۰۳- | ۰/۰۱ | ۰/۰۲- | ۰/۰۰ | ۰/۵۰ | ۱/۷ | ۰/۰۵ | ۰/۹۶ | ۰/۳۰ |
| آبان | ۰/۳۷ | ۰/۰۳ | ۰/۱۹- | ۰/۳۱ | ۰/۱۳- | ۰/۲۴ | ۶/۴۹ | ۱۳/۲۱ | ۳/۱۶ | ۱۱/۷۱ | ۴/۰۲ |
| آذر | ۱/۰۸ | ۰/۱۶ | ۰/۲۵- | ۰/۶۵ | -۰/۱۱ | ۰/۵۳ | ۱۵/۷۶ | ۲۴/۵۸ | ۶/۲۳ | ۲۲/۰۴ | ۸/۴ |
| دی | -۰/۳۳ | -۰/۰۶ | ۰/۴۹- | ۰/۴۲ | ۰/۳۵- | ۰/۳۳ | ۲۵/۶۹ | ۳۵/۵۸ | ۱۵/۰۳ | ۳۳/۱۸ | ۱۷/۱۲ |
| بهمن | ۱/۲۷ | ۰/۰۲ | ۰/۳۰- | ۰/۷۲ | ۰/۱۶- | ۰/۵۸ | ۲۴/۳۵ | ۳۷/۶۵ | ۱۴/۱۹ | ۳۲/۲۵ | ۱۶/۴۳ |
| اسفند | ۰/۳۵ | ۰/۰۸ | ۰/۵۱- | ۰/۷۰ | ۰/۳۴- | ۰/۵۳ | ۳۰/۹۲ | ۴۸/۱۵ | ۱۲/۸۹ | ۴۳/۴۳ | ۱۷/۰۹ |
| سالانه | ۰/۱۹ | ۰/۰۹ | ۶۲/۱- | ۲/۰۲ | ۱/۲۴- | ۱/۵۷ | ۱۸۷/۶۶ | ۲۲۵/۴۰ | ۱۴۸/۵۳ | ۲۱۸/۴۵ | ۱۵۴/۲۵ |

جدول ۳- آماره‌های آزمون من- کندال و برآورد شیب سن در تحلیل روند تعداد روزهای بارش در سبزوار

| آماره / زمان | آماره آزمون | معنی داری | برآورد شیب سن | اطمینان ۹۹٪ (فاصله کمینه شیب) | اطمینان ۹۹٪ (فاصله بیشینه شیب) | اطمینان ۹۵٪ (فاصله کمینه شیب) | اطمینان ۹۵٪ (فاصله بیشینه شیب) | ثابت شیب خط | اطمینان ۹۹٪ (فاصله کمینه ثابت شیب خط) | اطمینان ۹۹٪ (فاصله بیشینه ثابت شیب خط) | اطمینان ۹۵٪ (فاصله کمینه ثابت شیب خط) | اطمینان ۹۵٪ (فاصله بیشینه ثابت شیب خط) |
|--------------|-------------|-----------|---------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------|---------------------------------------|--|---------------------------------------|--|
| فروردین | ۰/۱۹ | | ۰ | -۰/۰۷ | ۰/۱۲ | -۰/۰۶ | ۰/۰۹ | ۷ | ۹/۳۹ | ۴/۲۱ | ۸/۸۳ | ۵/۲۴ |
| اردیبهشت | ۱/۲۸ | | ۰/۰۳ | -۰/۰۴ | ۰/۱۲ | ۰ | ۰/۱ | ۴/۵۸ | ۶/۴۶ | ۲/۷۱ | ۵ | ۲/۹۵ |
| خرداد | ۰/۹۸ | | ۰ | ۰ | ۰/۰۸ | ۰ | ۰/۰۶ | ۲ | ۲ | ۰/۳۸ | ۲ | ۰/۶ |
| مهر | -۰/۶۳ | | ۰ | -۰/۰۳ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ | ۱/۶۲ | ۱ | ۱ | ۱ |
| آبان | ۱/۷۳ | + | ۰/۰۳ | ۰ | ۰/۱ | ۰ | ۰/۰۸ | ۲/۴۸ | ۳/۵ | ۰/۷ | ۳/۵ | ۱/۲۱ |
| آذر | ۲/۷۵ | ** | ۰/۰۹ | ۰ | ۰/۱۷ | ۰ | ۰/۱۴ | ۳/۶۵ | ۵/۵۰ | ۱/۶۷ | ۵/۵ | ۲/۴۳ |
| دی | ۰/۶۲ | | ۰ | -۰/۰۷ | ۰/۱ | -۰/۰۴ | ۰/۰۷ | ۶ | ۸/۰۷ | ۳/۷۶ | ۷/۳۴ | ۴/۴۲ |
| بهمن | ۳/۰۷ | ** | ۰/۰۸ | ۰ | ۰/۱۵ | ۰/۰۳ | ۰/۱۴ | ۵/۷۹ | ۸ | ۴/۵ | ۶/۸۹ | ۴/۷۲ |
| اسفند | ۰/۵۸ | | ۰ | -۰/۰۹ | ۰/۱۲ | -۰/۰۶ | ۰/۱ | ۷ | ۹/۷۸ | ۳/۸۴ | ۹ | ۴/۱۶ |
| سالانه | ۲/۷۳ | ** | ۰/۳۰ | ۰ | ۰/۶۴ | ۰/۰۷ | ۰/۵۳ | ۴۲/۴۵ | ۵۰ | ۳۳/۹۵ | ۴۸/۲۰ | ۳۶/۷۸ |

جدول ۴- مقادیر آماره‌های آزمون من- کندال و برآورد شیب سن در تحلیل روند میانگین رطوبت نسبی در سبزوار

| آماره / زمان | آماره آزمون | برآورد شیب سن | اطمینان ۹۹٪ (فاصله کمینه شیب) | اطمینان ۹۹٪ (فاصله بیشینه شیب) | اطمینان ۹۵٪ (فاصله کمینه شیب) | اطمینان ۹۵٪ (فاصله بیشینه شیب) | ثابت شیب خط | اطمینان ۹۹٪ (فاصله کمینه ثابت شیب خط) | اطمینان ۹۹٪ (فاصله بیشینه ثابت شیب خط) | اطمینان ۹۵٪ (فاصله کمینه ثابت شیب خط) | اطمینان ۹۵٪ (فاصله بیشینه ثابت شیب خط) |
|--------------|-------------|---------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------|---------------------------------------|--|---------------------------------------|--|
| فروردین | ۱/۰۴ | ۰/۰۷ | -۰/۱۲ | ۰/۲۶ | -۰/۰۵ | ۰/۲۲ | ۴۳/۰۴ | ۴۶/۹۵ | ۳۷/۷۱ | ۴۵/۴۷ | ۳۹ |
| اردیبهشت | ۱/۴۲ | ۰/۱۰ | -۰/۰۸ | ۰/۲۷ | -۰/۰۲ | ۰/۲۴ | ۳۳/۷۸ | ۳۸/۹۲ | ۳۰/۴۵ | ۳۷/۴۲ | ۳۱/۰۵ |
| خرداد | ۱/۴۰ | ۰/۰۷ | -۰/۰۶ | ۰/۲۲ | -۰/۰۳ | ۰/۱۹ | ۲۴/۹۲ | ۲۷/۷۸ | ۲۱/۴۸ | ۲۷/۰۱ | ۲۲/۱۶ |
| مهر | ۰/۴۵ | ۰/۰۰ | -۰/۰۹ | ۰/۱۴ | -۰/۰۷ | ۰/۱۰ | ۳۳ | ۳۴/۴۸ | ۲۹/۰۶ | ۳۴/۰۷ | ۳۰/۱۴ |
| آبان | ۱/۰۱ | ۰/۰۹ | -۰/۱۴ | ۰/۲۸ | -۰/۰۸ | ۰/۲۴ | ۴۱/۳۶ | ۴۷/۱۸ | ۳۶/۹۹ | ۴۵/۹۵ | ۳۸/۲۳ |
| آذر | ۲/۳۵ | ۰/۲۰ | ۰/۰۰ | ۰/۳۸ | ۰/۰۳ | ۰/۳۳ | ۵۳/۵۰ | ۵۷ | ۴۸/۴۰ | ۵۵/۹۸ | ۵۰/۱۷ |
| دی | -۰/۹۰ | -۰/۰۷ | -۰/۳۰ | ۰/۱۷ | -۰/۲۴ | ۰/۱۰ | ۶۶/۱۹ | ۷۲/۱۲ | ۶۱/۴۲ | ۷۰/۶۰ | ۶۲/۰۲ |
| بهمن | -۰/۳۹ | -۰/۰۳ | -۰/۲۲ | ۰/۱۷ | -۰/۱۸ | ۰/۱۲ | ۶۳/۱۸ | ۶۸/۷۴ | ۵۹/۰۳ | ۶۷/۷۶ | ۶۰/۰۶ |
| اسفند | ۰/۵۶ | ۰/۰۵ | -۰/۲۰ | ۰/۳۰ | -۰/۱۳ | ۰/۲۵ | ۵۱/۴۵ | ۵۸/۸۰ | ۴۴/۶۸ | ۵۶/۷۰ | ۴۵/۳۸ |
| سالانه | ۱/۳۱ | ۰/۰۴ | -۰/۰۴ | ۰/۱۴ | -۰/۰۲ | ۰/۱۲ | ۴۰/۲۰ | ۴۲/۴۰ | ۳۸/۱۷ | ۴۱/۷۳ | ۳۸/۵۸ |

در آماره من- کندال سری‌های زمانی میانگین دمای سبزوار، به غیر از آذر ماه و اسفند ماه که روند در فاصله اطمینان ۹۰٪ و بیش‌تر از آن معنی‌دار نیست در سایر سری‌های زمانی، روند افزایشی وجود دارد این روند افزایشی در سری زمانی اردیبهشتو سالانه در فاصله اطمینان ۹۹/۹۹٪ هم قابل تأیید است. در تمام سری‌های زمانی میانگین کمینه دما، روند افزایشی در میانگین کمینه‌ها مشاهده می‌شود در سری زمانی اسفند در فاصله اطمینان ۹۰٪، در فروردین در سطح ۹۵٪، در آذر

و بهمن در سطح ۹۹٪ و در سایر سری‌های زمانی در فاصله اطمینان ۹۹/۹۹٪ درصد آماره آزمون من- کندال روند افزایشی میانگین کمینه دما را تصدیق می‌کند. میزان شیب برآورد خط سن هم مقادیر بالای ۰/۰۹ درجه سلسیوس را در برخی سری‌ها مانند دی ماه نشان می‌دهد. در جدول ۷ که آماره‌های آزمون را برای میانگین بیشینه دما نشان می‌دهد در سری‌های زمانی خرداد، آبان، آذر و اسفند روند معنی‌داری وجود ندارد؛ در ماه‌های فروردین، دی و بهمن در فاصله اطمینان ۹۰٪ روند مثبت، مهر در فاصله اطمینان ۹۵٪، اردیبهشت در فاصله اطمینان ۹۹٪ و میانگین بیشینه دمای سالانه در فاصله اطمینان ۹۹/۹۹٪ دارای روند مثبت می‌باشد. در جداول ۵، ۶ و ۷ واحد آماره‌های آزمون سن به درجه سلسیوس است.

جدول ۵- مقادیر آماره‌های آزمون من- کندال و برآورد شیب سن در تحلیل روند میانگین دمای سیزوار

| آماره زمان | آماره | معنی داری | برآورد شیب سن | اطمینان (۹۹٪) | کمینه شیب (فاصله) | بیشینه شیب (فاصله) | اطمینان (۹۵٪) | کمینه شیب (فاصله) | ثابت شیب خط | خط (فاصله) | کمینه ثابت شیب (فاصله) | بیشینه ثابت شیب (فاصله) | خط (فاصله) | بیشینه ثابت شیب (فاصله) |
|---------------|-------|-----------|---------------|---------------|-------------------|--------------------|---------------|-------------------|-------------|------------|------------------------|-------------------------|------------|-------------------------|
| فروردین | ۲/۱۸ | * | ۰/۰۴ | -۰/۰۱ | ۰/۰۹ | ۰ | ۰/۰۷ | ۰/۰۷ | ۱۴/۵۲ | ۱۵/۹۱ | ۱۳/۴ | ۱۵/۴۳ | ۱۳/۶۹ | |
| اردیبهشت | ۳/۴۸ | *** | ۰/۰۶ | ۰/۰۲ | ۰/۱۱ | ۰/۰۳ | ۰/۱ | ۰/۱۳ | ۲۰/۱۷ | ۲۱/۳۱ | ۱۹/۱۵ | ۲۱/۰۵ | ۱۹/۴۵ | |
| خرداد | ۲/۴۲ | * | ۰/۰۳ | ۰ | ۰/۰۷ | ۰ | ۰/۰۶ | ۰/۰۶ | ۲۶/۴۷ | ۲۷/۲ | ۲۵/۵۶ | ۲۷/۰۵ | ۲۵/۸۱ | |
| مهر | ۲/۸۵ | ** | ۰/۰۶ | ۰ | ۰/۱ | ۰/۰۲ | ۰/۰۹ | ۰/۰۹ | ۱۸/۹۲ | ۲۰/۰۹ | ۱۷/۶۸ | ۱۹/۷ | ۱۷/۹۵ | |
| آبان | ۲/۶۶ | ** | ۰/۰۵ | ۰ | ۰/۰۹ | ۰/۰۱ | ۰/۰۸ | ۰/۰۸ | ۱۲/۷۸ | ۱۳/۹۵ | ۱۱/۵۱ | ۱۳/۶ | ۱۱/۹۳ | |
| آذر | ۱/۳۱ | | ۰/۰۲ | -۰/۰۲ | ۰/۰۸ | ۰ | ۰/۰۷ | ۰/۰۷ | ۶/۹۸ | ۷/۷۹ | ۵/۷۵ | ۷/۴۴ | ۶/۰۱ | |
| دی | ۲/۶۴ | ** | ۰/۰۷ | ۰ | ۰/۱۴ | ۰/۰۲ | ۰/۱۳ | ۰/۱۳ | ۲/۳۳ | ۴/۱۲ | ۰/۵۸ | ۳/۵۵ | ۰/۹ | |
| بهمن | ۲/۲۸ | * | ۰/۰۷ | ۰ | ۰/۱۴ | ۰/۰۱ | ۰/۱۲ | ۰/۱۲ | ۳/۵ | ۵/۲۵ | ۱/۰۹ | ۴/۸۵ | ۱/۷۱ | |
| اسفند | ۱/۳۲ | | ۰/۰۳ | -۰/۰۳ | ۰/۱ | ۰/۰۲ | ۰/۰۸ | ۰/۰۸ | ۸/۶۷ | ۱۰/۴ | ۷ | ۹/۸۴ | ۷/۶ | |
| سالانه | ۵/۳۴ | *** | ۰/۰۵ | ۰/۰۳ | ۰/۰۷ | ۰/۰۴ | ۰/۰۶ | ۰/۰۶ | ۱۶/۳۲ | ۱۶/۷۹ | ۱۵/۸۵ | ۱۶/۶۷ | ۱۵/۹۷ | |

در جدول ۳ تعداد روزهای همراه با بارش در آبان در فاصله اطمینان ۹۰٪ و در آذر، بهمن و سالانه در فاصله اطمینان ۹۹٪ درصد روند مثبتی را از سر گذرانده‌اند. افزایش تعداد روزهای بارشی در صورتی که در مناطق با بارش زیاد و یا با افزایش در مجموع بارش همراه می‌بود نوید دهنده بهبود در شرایط توزیع بارش بود اما افزایش تعداد این روزها در شرایطی که مجموع بارش روند مثبتی را نشان نمی‌دهد به معنی کاهش بارش‌های مؤثر در منطقه می‌باشد. در جدول ۴، سری زمانی میانگین رطوبت نسبی در آذر ماه روند مثبت را در فاصله اطمینان ۹۵٪ نشان می‌دهد و در ماه‌های دی و بهمن روند کاهشی در میانگین رطوبت نسبی دیده می‌شود اگرچه این روند، از لحاظ آماری در سطوح اطمینان مورد نظر در این مطالعه معنی‌دار نیست. در دیگر ماه‌های سالروندی وجود ندارد.

جدول ۶- آماره‌های آزمون من- کندال و برآورد شیب سندر تحلیل روند میانگین کمینه دمای سبزوار

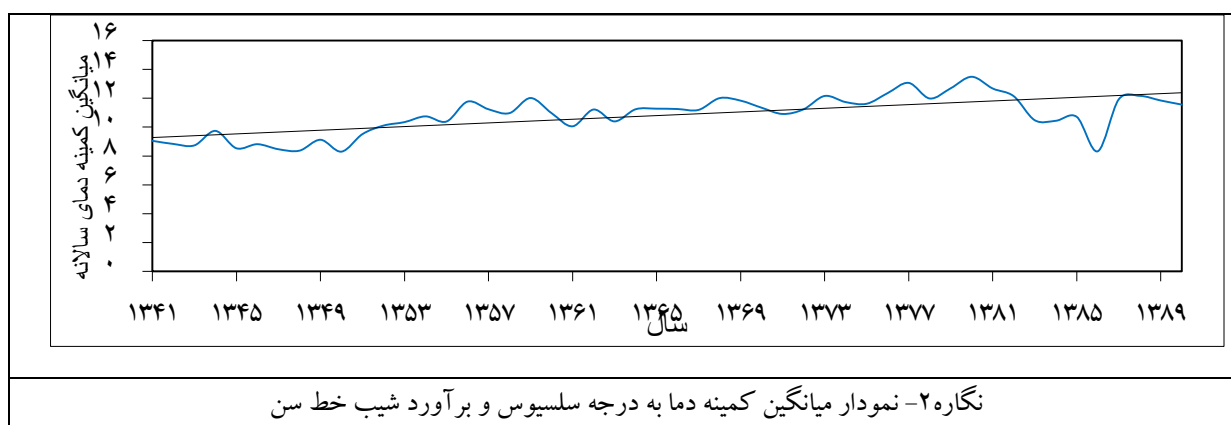
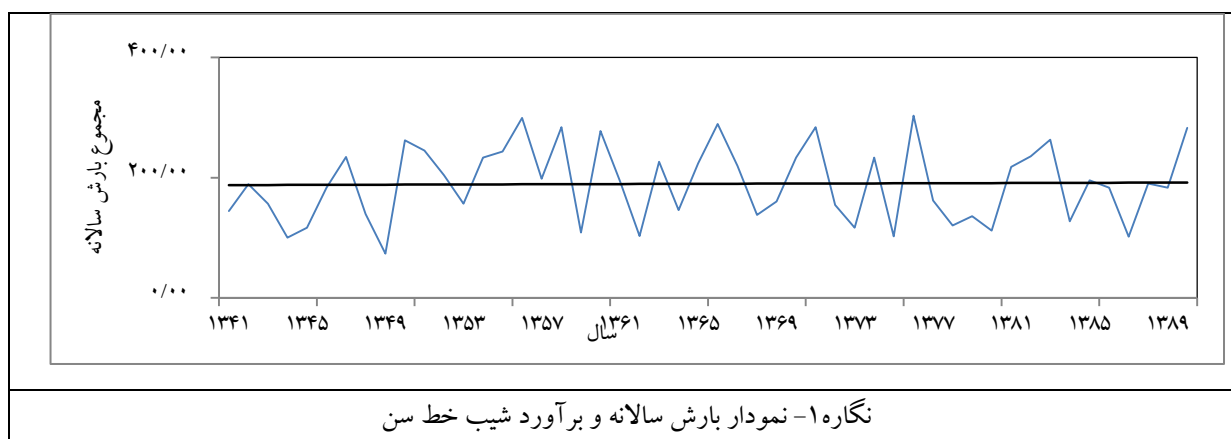
| آماره / زمان | آماره آزمون | معنی داری | برآورد شیب سن | کمینه شیب (فاصله) اطمینان (٪۹۹) | بیشینه شیب (فاصله) اطمینان (٪۹۹) | کمینه شیب (فاصله) اطمینان (٪۹۵) | بیشینه شیب (فاصله) اطمینان (٪۹۵) | ثابت شیب خط | خط (فاصله) کمینه ثابت شیب | خط (فاصله) بیشینه ثابت شیب |
|--------------|-------------|-----------|---------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-------------|---------------------------|----------------------------|
| فروردین | ۲/۴۲ | * | ۰/۰۴ | ۰ | ۰/۰۹ | ۰ | ۰/۰۸ | ۷/۷۱ | ۸/۹۹ | ۶/۸۴ |
| اردیبهشت | ۳/۵۵ | *** | ۰/۰۵ | ۰/۰۱ | ۰/۱۰ | ۰/۰۲ | ۰/۰۹ | ۱۳/۳۴ | ۱۴/۳۴ | ۱۲/۵۵ |
| خرداد | ۳/۳۲ | *** | ۰/۰۵ | ۰/۰۱ | ۰/۰۸ | ۰/۰۲ | ۰/۰۸ | ۱۸/۶۰ | ۱۹/۷۶ | ۱۷/۸۲ |
| مهر | ۳/۹۱ | *** | ۰/۰۷ | ۰/۰۳ | ۰/۱۲ | ۰/۰۴ | ۰/۱۱ | ۱۰/۸۴ | ۱۱/۹۰ | ۹/۳۴ |
| آبان | ۴/۲۴ | *** | ۰/۰۸ | ۰/۰۳ | ۰/۱۲ | ۰/۰۴ | ۰/۱۱ | ۵/۱۱ | ۶/۱۰ | ۴/۲۵ |
| آذر | ۳/۲۷ | ** | ۰/۰۷ | ۰/۰۱ | ۰/۱۳ | ۰/۰۳ | ۰/۱۱ | -۰/۰۳ | ۱/۴۸ | -۱/۴۴ |
| دی | ۳/۵۱ | *** | ۰/۰۹ | ۰/۰۳ | ۰/۱۶ | ۰/۰۵ | ۰/۱۴ | -۳/۱۱ | -۱/۹۰ | -۴/۷۳ |
| بهمن | ۳/۰۹ | ** | ۰/۰۸ | ۰/۰۱ | ۰/۱۵ | ۰/۰۳ | ۰/۱۳ | ۲۸/-۲ | -۰/۶۱ | -۴/۱۸ |
| اسفند | ۱/۷۴ | + | ۰/۰۴ | ۰/۰۱- | ۰/۰۹ | ۰ | ۰/۰۸ | ۲/۲۴ | ۳/۹۱ | ۰/۹۲ |
| سالانه | ۵/۲۹ | *** | ۰/۰۷ | ۰/۰۴ | ۰/۰۹ | ۰/۰۵ | ۰/۰۹ | ۹/۳۰ | ۱۰/۰۲ | ۸/۶ |

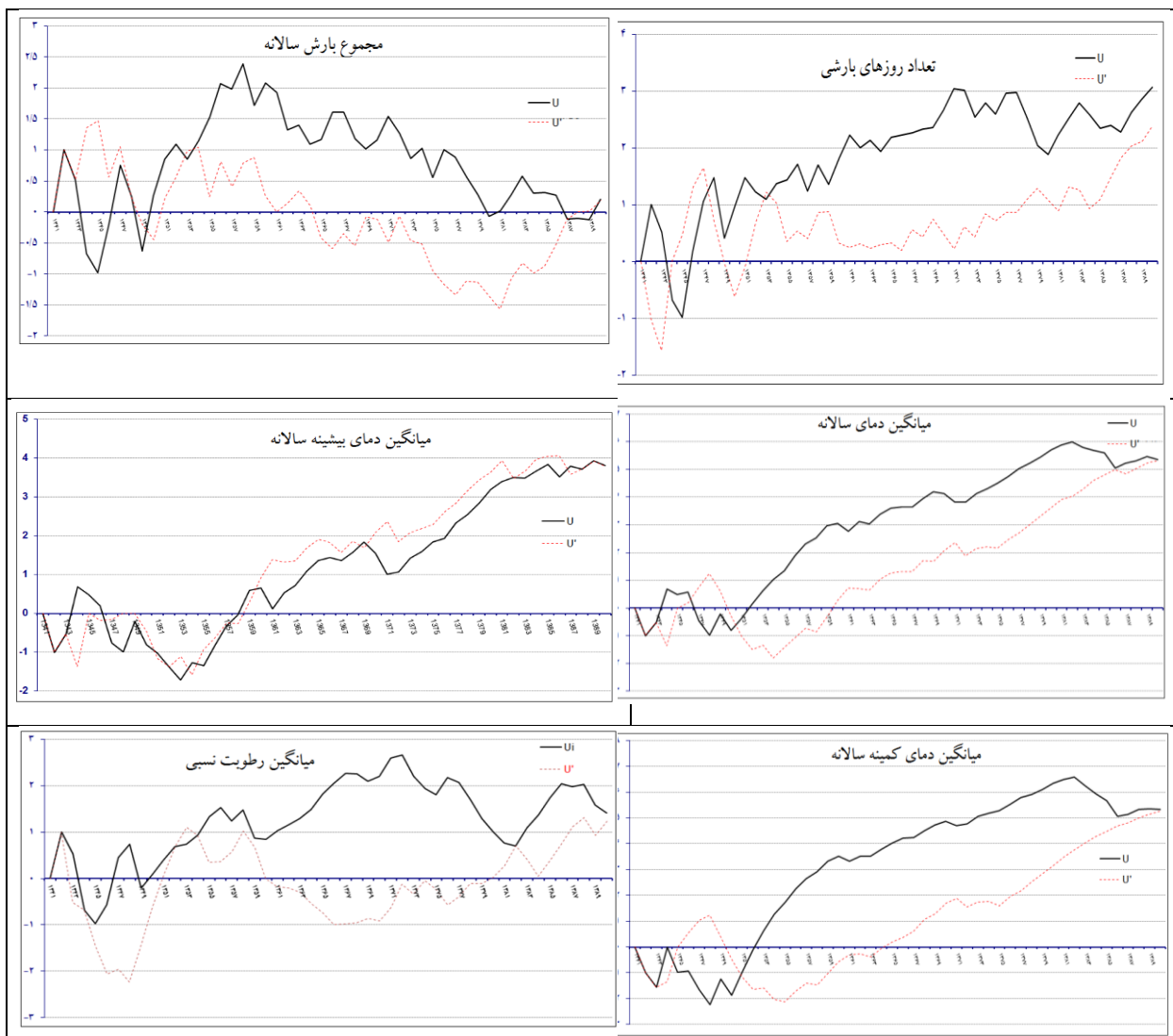
جدول ۷- آماره‌های آزمون من- کندال و برآورد شیب سن در تحلیل روند میانگین بیشینه دمای سبزوار

| آماره / زمان | آماره آزمون | معنی داری | برآورد شیب سن | کمینه شیب (فاصله) اطمینان (٪۹۹) | بیشینه شیب (فاصله) اطمینان (٪۹۹) | کمینه شیب (فاصله) اطمینان (٪۹۵) | بیشینه شیب (فاصله) اطمینان (٪۹۵) | ثابت شیب خط | خط (فاصله) کمینه ثابت شیب | خط (فاصله) بیشینه ثابت شیب |
|--------------|-------------|-----------|---------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-------------|---------------------------|----------------------------|
| فروردین | ۱/۸۳ | + | ۰/۰۴ | -۰/۰۲ | ۰/۰۹ | ۰ | ۰/۰۸ | ۲۱/۱۸ | ۲۲/۵۷ | ۱۹/۹۴ |
| اردیبهشت | ۲/۸۵ | ** | ۰/۰۶ | ۰ | ۰/۱۲ | ۰/۰۲ | ۰/۱۱ | ۲۷/۰۶ | ۲۸/۶۶ | ۲۶/۱۷ |
| خرداد | ۱/۳۰ | | ۰/۰۲ | -۰/۰۲ | ۰/۰۶ | -۰/۰۱ | ۰/۰۵ | ۳۴/۱۶ | ۳۵/۳۵ | ۳۳/۰۲ |
| مهر | ۲/۰۸ | * | ۰/۰۴ | -۰/۰۱ | ۰/۰۹ | ۰ | ۰/۰۸ | ۲۶/۷۷ | ۲۸/۰۶ | ۲۵/۵۶ |
| آبان | ۱/۰۰ | | ۰/۰۲ | -۰/۰۴ | ۰/۰۸ | -۰/۰۲ | ۰/۰۷ | ۲۰/۶۱ | ۲۱/۸۹ | ۱۸/۷۳ |
| آذر | -۰/۸۷ | | -۰/۰۲ | -۰/۰۸ | ۰/۰۴ | -۰/۰۶ | ۰/۰۲ | ۱۳/۹۵ | ۱۵/۵۰ | ۱۲/۴۴ |
| دی | ۱/۹۲ | + | ۰/۰۶ | -۰/۰۳ | ۰/۱۴ | ۰ | ۰/۱۲ | ۷/۷۱ | ۹/۸۷ | ۵/۴۹ |
| بهمن | ۱/۶۷ | + | ۰/۰۶ | -۰/۰۴ | ۰/۱۴ | -۰/۰۱ | ۰/۱۲ | ۸/۶۵ | ۱۱/۱۷ | ۶/۰۸ |
| اسفند | ۰/۶۵ | | ۰/۰۲ | ۰/۰۶- | ۰/۱۱ | -۰/۰۴ | ۰/۰۸ | ۱۵/۱۴ | ۱۷/۱۲ | ۱۲/۹۷ |
| سالانه | ۳/۷۹ | *** | ۰/۰۳ | ۰/۰۱ | ۰/۰۵ | ۰/۰۲ | ۰/۰۵ | ۲۳/۳۶ | ۲۳/۸۲ | ۲۲/۸۴ |

برای ایجاد یک تصویر از سری‌های زمانی و برآورد شیب خط سن، نمودار مجموع بارش سالانه و نمودار میانگین کمینه دما به عنوان نمونه در نگاره ۱ و ۲ رسم شده است این نمودار روند کاهشی ضعیف در بارش را نشان می‌دهد. در نگاره ۳ نمودار گرافیکی من- کندال برای فراسنج‌های اقلیمی مورد مطالعه رسم شده است ممکن است برای یک فراسنج اقلیمی

در آزمون آماری روندی مشاهده نشود ولی آزمون گرافیکی من- کندال روندی را نشان دهد. دلیل آن این است که عبور از حالت کاهشی و یا افزایشی گذرا بوده و در سال‌های متوالی رخ نداده است و آزمون نموداری من- کندال آن را نشان می‌دهد در حالی که آزمون آماره من- کندال آن را در نظر نمی‌گیرد. بر اساس نمودارهای این نگاره در سری زمانی مجموع بارش سالانه روند کاهشی قابل مشاهده است اما چون در خارج از محدوده‌ی معنی‌داری نیست روند در فاصله اطمینان ۹۵٪ و بیش‌تر از لحاظ آماری تأیید نشده است. در سری‌های زمانی دیگر روند افزایشی حاکم است. این روند افزایشی در فراسنج‌های دما در سال‌های اخیر از جهت آماری قابل تأیید است.





نگاره ۳- آزمون نموداری من- کندال در تعیین وجود روند و سال رخداد جهش در عوامل اقلیمی

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، تحلیل تغییرات روند فراسنج‌های اقلیمی مجموع بارش، تعداد روزهای بارشی، میانگین رطوبت نسبی، میانگین دما، میانگین کمینه و میانگین بیشینه دما در مقیاس‌های زمانی ماهانه (در فصول بارشی) و سالانه در پیمونگاه همدید سبزوار با استفاده از آزمون من- کندال و برآورد شیب خط سن انجام گرفت. در میان سری‌های زمانی فراسنج-های اقلیمی روند کاهشی در مجموع بارش ماه‌های بهار با روند افزایشی دما در فاصله اطمینان مورد نظر این مطالعه نوید دهنده‌ی شرایط مطلوبی نمی‌باشد چرا که با افزایش دما بر نیاز به آب در بخش‌های مختلف افزوده می‌شود؛ و این تغییرات به ظاهر جزئی در عوامل و عناصر اقلیمی برای منطقه‌ای مانند سبزوار با دمای نسبتاً بالا، تابستان طولانی و اقلیم نیمه خشک که به طور طبیعی هم با محدودیت منابع آب در دسترس روبرو می‌باشد از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. بنابراین در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب بایستی به این تغییرات توجه جدی نموده و متناسب با آن به تدوین استراتژی، راهبرد و تکنیک در بخش‌های مختلف پرداخت.

نتایج این مطالعه، با یافته‌های پژوهشی تعدادی از دانشمندان در مورد تغییر اقلیم در مقیاس ملی و جهانی که حکایت از کاهش بارندگی همراه با افزایش دما دارد تقریباً هم‌خوانی دارد. از نکات مهم این مطالعه هم چنین روند افزایشی قابل توجه در دما به خصوص میانگین کمینه دما می‌باشد. در مقیاس سالانه میانگین دما، میانگین کمینه و میانگین بیشینه دما روند افزایشی در فاصله اطمینان ۹۹/۹۹٪ را نشان می‌دهند. نمودار گرافیکی من - کندال که برای سری‌های زمانی سالانه رسم شده یک روند منفی ضعیف در مجموع بارش سالانه و میانگین رطوبت نسبی به خصوص در دهه‌های اخیر را نشان می‌دهد. در دیگر نمودارها که مربوط به سری‌های زمانی سالانه روزهای بارشی و دما است روند مثبت قابل ملاحظه‌ای در دما مشهود است.

منابع

- ۱- بنایان اول، محمد؛ محمدیان، آزاده؛ عزیززاده، امین. (۱۳۸۹). بررسی نوسان‌پذیری اقلیمی در شمال شرق ایران، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۴، شماره ۱، صص ۱۱۸-۱۳۱.
- ۲- پیرنیا، عبدالله؛ اسحاق تیموری، محمد علی؛ امیدوار، ابراهیم؛ آب‌کار، علیجان؛ حبیب نژاد روشن، محمود؛ سلیمانی، کریم. (۱۳۸۸). بررسی رابطه کلی تغییرات دما و بارندگی در استان مازندران و مقایسه آن با تغییرات اقلیم در مقیاس نیم کره شمالی و جهانی، پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران (مدیریت پایدار بالای طبیعی) دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- ۳- جهانبخش، سعید؛ رحیمی بندرآبادی، سیما؛ حسینی، عباس؛ رضایی، سمیه؛ خوش‌زمان، تورج. (۱۳۸۹). بررسی تغییرات بارندگی و دما در حوزه کرخه، چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام، ۲۷-۲۵ فروردین.
- ۴- حجازی‌زاده، زهرا؛ پروین، نادر، (۱۳۸۸)، بررسی تغییرات دما و بارش تهران طی نیم قرن اخیر، جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای، پیش شماره پاییز و زمستان، صص ۴۳-۵۶.
- ۵- حجام، سهراب؛ خوش‌خو، یونس؛ شمس‌الدین وندی، رضا. (۱۳۸۷). تحلیل روند بارندگی‌های فصلی و سالانه در چند پیمونگاه منتخب در حوزه ایران مرکزی با استفاده از روش‌های ناپارامتری، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۶، صص ۱۶۸-۱۵۷.
- ۶- زارع ابیانه، حمید؛ بیات ورکشی، مریم؛ یزدانی، وحید. (۱۳۹۰). تحلیل روند تغییرات سالانه و فصلی دما، بارش و خشک‌سالی‌های استان همدان، فصل‌نامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال اول، شماره ۳.
- ۷- سبزی‌پرور، علی‌اکبر؛ میرگلویات، راضیه؛ قیامی شمامی، فرشته. (۱۳۹۰). ارزیابی روند احتمالی تغییرات اختلاف دمای شبانه‌روزی در برخی اقلیم‌های خشک کشور طی پنج دهه‌ی گذشته، مجله‌ی پژوهش فیزیک ایران، جلد ۱۱، شماره ۱، صص ۲۷-۳۷.
- ۸- طاوسی، تقی؛ ثریا، محمد؛ راحتی، زیبا. (۱۳۸۹). بررسی روند دمای شهر زاهدان، چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام، ۲۷-۲۵ فروردین.

- ۹- عزیزی، قاسم؛ روشنی، محمود. (۱۳۸۷). مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من- کندال، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۴، صص ۲۸-۱۳.
- ۱۰- محمدی، بختیار. (۱۳۹۰). تحلیل روند بارش سالانه ایران، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۲، شماره پیاپی ۴۳، شماره ۳.
- ۱۱- مسعودیان، سید ابوالفضل. (۱۳۸۳). بررسی روند دمای ایران در نیم سده گذشته، مجله جغرافیا و توسعه، بهار و تابستان، شماره ۲، صص ۱۰۶-۸۹.
- ۱۲- مسعودیان، سید ابوالفضل. (۱۳۸۳). روند بارش در نیم سده گذشته، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره ۲، صص ۷۲-۶۳.
- 13- Chaouche, K., Neppel, L., Dieulin, C., Pujol, N., Ladouche, B., artin, E., Salas, D., and Y., Caballero. 2010. Analyses of precipitation, temperature and evapotranspiration in a French Mediterranean region in the context of climate change. *C. R. Geoscience* 342: 234-243.
- 14- Danneberg, J. 2012. Changes in runoff time series in Thuringia, Germany Mann-Kendall trend test and extreme value analysis. *Adv. Geosci.*, 31: 49-56.
- 15- De Lima, M. I. P., Carvalho S. C. P., de Lima, J. L. M. P., and M. F. E. S., Coelho. 2010. Trends in precipitation: analysis of long annual and monthly time series from mainland Portugal. *Adv. Geosci.*, 25: 155-160.
- 16- Drápela, K., and I., Drápelová. 2011. Application of Mann-Kendall test and the Sen's slope estimates for trend detection in deposition data from Bílý Kříž (Beskydy Mts., the Czech Republic) 1997-2010. *Beskydy*, 4 (2): 133-146.
- 17- Fangfang, Z., Zongxue, X., and H., Junxiong. 2007. Long-term trend and abrupt change for major climate variables in the upper Yellow river basin. *Acta Meteorologica Sinica*, Vol. 21: 204-214.
- 18- K. Jain, S., and V., Kumar. 2012. Trend analysis of rainfall and temperature data for India. *Current Science*, Vol. 102, No. 1, 10 January.
- 19- Karmeshu, N. 2012. Trend detection in annual temperature and precipitation using the Mann Kendall test - a case study to assess climate change on select states in the northeastern United States, Master's thesis, Department of Earth and Environmental Science, University of Pennsylvania.
- 20- Karpouse, D. K., Kavalieratou, S., and C., Babajimplos. 2010. Trend analysis of precipitation data in Pieria region (GREECE), *European water* 30: 31-40.
- 21- Longobardi, A., and P., Villani. 2009. Trend analysis of annual and seasonal rainfall time series in the Mediterranean area. *Int. J. Climatol.*, DOI: 10.1002/joc.
- 22- Mondal, A., Kunda, S., and A., Mukhopadhyay. 2012. Rainfall trend analysis by Mann-Kendall test: a case study of north-eastern part of Cuttack district, ORISSA, *International journal of geology*, vol. 2: 70-78.
- 23- Mote, W. P., 2003. Trends in Temperature and Precipitation in the Pacific Northwest during the Twentieth Century. *Northwest Science*, Vol. 77. No., 1: 271-282.
- 24- Movahedy, S., 2012. Analysis of precipitation trends in the central Kavir basin of Iran during 1951-2008, *American Journal of Scientific Research*, Issue 71: 60-73.

- 25- Movahedy, S., 2012. Spatio-temporal analysis of rainfall (case study: Caspian sea basin, Iran). *American Journal of Scientific Research*, Issue 75: 16-28.
- 26- Onoz, B., and M. Bayazit. 2003. The power of statistical tests for trend detection. *Turkish j. Eng. Env. Sci.*, 27: 247-25.
- 27- Salarijazi, M., Akhond-Ali, A., M., Adiband, A. and A., R. Daneshkhah. 2012. Trend and change-point detection for the annual stream-flow series of the Karun River at the Ahvaz hydrometric station. *African Journal of Agricultural Research* Vol. 7(32):4540-4552.
- 28- Serrano, A., Mateos, V.L., and J.A. Garcia. 1999. Trend analysis of monthly precipitation over the Iberian Peninsula for the period 1921-1995. *Phys. Chem. Earth (B)*, 24: 85-90.
- 29- Xu, Z.X., Tkeuchi, K., and H., Ishidaria. 2003. Monotonic trend and step changes in Japanese Precipitation. *J. Hydrology*, 279: 144-150.
- 30- Stafford, J. M., Wendler, G. and J. Curtis. 2000. Temperature and precipitation of Alaska: 50 year trend analysis. *Theor. Appl. Climatol.* 67: 33-44.
- 31- Yenigun, K., V. Gumus, V. and V. Bulut. 2008. Trends in stream flow of the Euphrates basin, Turkey, *Water Management* 161:189-198.
- 32- Yue, S and P., Pilon. 2004. A comparison of the power of the t test, Mann-Kendall and bootstrap tests for trend detection. *Hydrological Sciences—Journal—des Sciences Hydrologiques*, 49(1):21-37.
- 33- Zhang, X., Lucie, A., Vincent, L., A., Hogg, W.D., and, A. Niitso. 2000. Temperature and Precipitation Trends in Canada during the 20th Century, *Atmosphere-Ocean* 38(3):395–429.