

تحلیل روند تغییرات بارندگی و خشکسالی با استفاده از آزمون‌های من-کندال و سن در استان تهران

حسین ملکی نژاد^{1*}، مهدی سلیمانی مطلق²، اعظم جایدری³، سمیه شاطرآبشوری³

1- دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد

2- دانشجوی دکترای علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه کاشان

3- دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه یزد

چکیده

بررسی روند عوامل اقلیمی بویژه بارش در سری‌های زمانی مختلف می‌تواند نشان‌دهنده سیر وضعیت اقلیمی هر منطقه باشد از طرفی دیگر چنانچه مقایسه نتایج روند با نتایج یکی از شاخص‌های خشکسالی همراه باشد بهتر می‌توان شرایط اقلیمی را تحلیل نمود. در این تحقیق به منظور مطالعه روند بارش در استان تهران، بارش چهار ایستگاه سینوپتیک شاخص (آبعلی، دوشان تپه، کرج و مهرآباد)، طی سال‌های 1985-2007 مورد بررسی قرار گرفت و مقادیر آزمون‌های ناپارامتری من-کندال و سن در سری‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه در این دوره آماری محاسبه و نتایج آن مقایسه شد. هم‌چنین برای تحلیل ترسیمی روند از مقادیر آماره کندال نیز استفاده شد. برای تحلیل بهتر نتایج و تعیین روند خشکسالی در منطقه مورد مطالعه، شاخص استاندارد بارش در سری زمانی سالانه محاسبه گردید. نتایج مقادیر روند با استفاده از دو آزمون من-کندال و سن نشان داد که روند خاصی در سری زمانی فصلی مشاهده نمی‌شود، اما در سری سالانه با استفاده از آزمون سن در ایستگاه‌های آبعلی و کرج در سطح اعتماد 99 درصد روند صعودی وجود دارد. دلیل آن را می‌توان به ارتفاع بالاتر این دو ایستگاه از سطح دریا نسبت به ایستگاه‌های دیگر و دقت بیشتر آزمون سن در تعیین روند سری‌های زمانی بر اساس داده‌های غیرصفر نسبت داد. روند بارش در داده‌های ماهانه با استفاده از آزمون من-کندال در اکثر ایستگاه‌ها صعودی بدست آمد. تحلیل نمودارها نیز نشان‌دهنده روند افزایشی بارش ماهانه در منطقه است. مقایسه روند بارش و روند خشکسالی در مقیاس سالانه نشان داد که آزمون سن نسبت به آزمون من-کندال میزان روند را در منطقه مورد بررسی بهتر نمایش می‌دهد.

کلمات کلیدی: آزمون سن، آزمون من-کندال، خشکسالی، استان تهران.

مقدمه

یکی از روش‌های متداول جهت تحلیل سری‌های زمانی هیدرومتئورولوژیکی، بررسی وجود یا عدم وجود روند در آنها با استفاده از آزمون‌های آماری می‌باشد. تاکنون روش‌های آماری متعددی جهت تحلیل روند سری‌های زمانی ارائه شده است که این روش‌ها در دو دسته کلی پارامتری و ناپارامتری قابل تقسیم‌بندی می‌باشند. روش‌های ناپارامتری از کاربرد نسبتاً وسیع‌تر و چشمگیرتری نسبت به روش‌های پارامتری برخوردار هستند (تاکاشی و ایشیداری، 2003). روش‌های پارامتری که جهت تحلیل روند سری‌های زمانی بکار گرفته می‌شوند عمدتاً براساس رابطه رگرسیونی بین سری داده‌ها با زمان استوار می‌باشند که آزمون تی-استیودنت (t-student test) از جمله متداول‌ترین این روش‌ها است. یکی از پیش‌فرض‌های لازم جهت استفاده از روش‌های پارامتری این است که سری زمانی مورد نظر جهت تحلیل روند بایستی تابع یک توزیع خاص آماری باشد. لذا در مورد سری‌هایی که توزیع آماری خاصی بر آنها قابل برآزش نیست روش‌های پارامتری با نوعی محدودیت مواجه می‌باشند. اما در روش‌های ناپارامتری اساس کار بر تفاوت بین داده‌های مشاهداتی است به گونه‌ای که این روش‌ها مستقل از توزیع آماری سری زمانی بوده و خصوصاً برای سری‌هایی که چولگی یا کشیدگی زیادی دارند مناسب‌تر از روش‌های پارامتری می‌باشند (بی‌هارت و همکاران، 2003).

هر چند دو آزمون من-کندال و تخمین‌گر سن جزو متداول‌ترین روش‌های ناپارامتری تحلیل روند سری‌های زمانی هیدرومتئولوژیکی به شمار می‌روند، ولی چنانچه تحلیل روند این نوع آزمون‌ها با تحلیل روند خطی همراه باشد، نتایج بهتری می‌توان کسب نمود. بطور مثال بررسی روند بارندگی با استفاده از دو آزمون فوق و مقایسه با روند خطی آن و هم‌چنین تحلیل مقایسه‌ای آن با روند نمودار حاصل از شاخص استاندارد بارش به تصمیم‌گیری اساسی و قابل اطمینان در جهت عدم یا وجود خشکسالی کمک دوچندانی می‌نماید. این روش به جهت استفاده آن از مقیاس زمانی برای پایش دوره‌های خشک به عنوان شاخص مناسب

و با کارایی بالا مد نظر قرار گرفته است (ثنایی نژاد و همکاران، 1382). این روش در تحلیل منطقه‌ای خشکسالی و مطالعات تطبیقی و مقایسه‌ای بین مناطق مختلف متداول‌تر است زیرا این شاخص استاندارد بوده و می‌توان از آن در مطالعات منطقه‌ای و ایجاد ارتباط زمانی بین رخدادهای خشکسالی، در بخش‌های مختلف یک پهنه، استفاده کرد (لشنی‌زند، 1383). ویژگی دیگر این شاخص این است که امکان مقایسه آن با شاخص‌های اقلیمی آسان‌تر می‌باشد (فاتحی مرج و همکاران، 1385). این روش به علت سادگی محاسبات، استفاده از داده‌های قابل دسترس بارندگی، قابلیت محاسبه برای هر مقیاس زمانی دلخواه و قابلیت بسیار زیاد در مقایسه مکانی نتایج، به عنوان مناسب‌ترین شاخص برای تحلیل خشکسالی به ویژه تحلیل‌های مکانی شناخته می‌شود (رضیعی و همکاران، 1386).

در رابطه با تحلیل روند سری‌های زمانی بارندگی با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری و هم‌چنین استفاده از شاخص استاندارد بارش برای تعیین روند خشکسالی، تحقیقات زیادی صورت گرفته که به برخی از مطالعات صورت گرفته در این خصوص اشاره می‌گردد.

رستمیان (1377)، به بررسی تغییرات اقلیمی سواحل دریای خزر پرداخت. در این تحقیق یک دوره 45 ساله بین سالهای 1951 تا 1995 به وسیله آزمون من-کندال مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج این آزمون روند معنی-داری را در شمال کشور نشان نداد. به نقل از خشنودی (1378)، تورکیش و همکارانش با استفاده از آزمون من-کندال روندهای سالانه بارندگی 17 ایستگاه را مورد بررسی قرار دادند و روند قابل ملاحظه‌ای را به صورت کاهش در میزان بارندگی مشاهده نمودند. روشنی (1382)، به بررسی چند پارامتر اقلیمی مناطق ساحلی دریای خزر در دوره 1994-1995 با استفاده از روش ناپارامتری من-کندال پرداخت و نشان داد که زمان شروع بیشتر تغییرات بصورت ناگهانی بوده و این تغییرات به دو صورت روند نوسان ظاهر می‌گردند. کاویانی و همکاران (1382)، تحلیل روند بارش در ایستگاه اصفهان را در یک دوره آماری 103 ساله با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری به

و در نهایت نمایه استاندارد بارش را به عنوان روش مناسب مورد استفاده در منطقه جهت بررسی خشکسالی پیشنهاد دادند. مسعودیان (1385)، در تحقیقی با عنوان تحلیل روند خشکسالی اقلیمی حوضه‌های آبی ایران در نیم سده گذشته جهت ارزیابی خشکسالی‌های اقلیمی حوضه‌های آبی کشور از روش استاندارد بارش و جهت تحلیل روند از دو روش پارامتری رگرسیون خطی و روش ناپارامتری من-کندال استفاده کرده است. در این پژوهش در 145 زیر حوضه آبی کشور وجود روند نمایه استاندارد بارش مورد بررسی قرار گرفت. مرادی و همکاران (1386)، خصوصیات مکانی خشکسالی و روند آن را در استان فارس بر اساس نمایه استاندارد بارش مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش برای مطالعه تغییرات مکانی خشکسالی در سطح استان فارس از روش میان‌یابی کریجینگ استفاده گردید و وجود روند با استفاده از روش‌های رگرسیون خطی و آزمون من-کندال مورد بحث و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که شدت خشکسالی‌ها در نواحی مرکزی استان فارس نسبت به سایر نواحی بیشتر است. همچنین وجود روند در کلیه ایستگاه‌های مورد مطالعه آشکار گردید. کامپاتا و همکاران (2008)، به بررسی تحلیل داده‌های بلند مدت بارش پنج ایستگاه باران-سنجی واقع در حوضه آبریز زامیزی در زامبیا به منظور تعیین اینکه سری‌های زمانی، رژیم مشابه و یا روند معنی-داری دارند، از آزمون من-کندال استفاده کردند. نتایج نشان داد هر پنج ایستگاه روند کاهشی داشته، لیکن این روند ها، معنی‌دار نبود.

کریشناکومار و همکاران (2009)، در مطالعه تحلیل روند بارندگی در منطقه کراالا در کشور هند روند بارندگی-های موسمی و غیر موسمی را با استفاده از آزمون من-کندال مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق روند بارندگی در ماه‌های ژوئن تا ژولای کاهشی و در ماه‌های اگوست و سپتامبر (ماه‌های بین موسمی)، سیر روند صعودی داشته است. گاتمن (1999)، با این نتیجه رسید که استاندارد بارش نسبت به سایر شاخص‌ها بهتر قادر است که تفاوت خشکسالی‌ها را در یک ناحیه خاص نسبت به سایر نواحی

انجام رسانند؛ نتایج حاصله وجود هیچ‌گونه روندی را توسط هیچ‌کدام از روش‌های بکار گرفته شده به تأیید نرسانید. خلیلی و بذرافشان (1383)، روند تغییرات بارندگی‌های سالانه، فصلی و ماهانه پنج ایستگاه قدیمی ایران در طی دوره آماری 1893-2001 را با استفاده از روش پارامتری t-استیودنت و روش ناپارامتری من-کندال مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصله وجود هیچ‌نوع روند معنی‌داری را در سری‌های بارش سالانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه تأیید نکرد اما در سری‌های بارش فصلی، هم روند افزایشی و هم روند کاهشی قابل مشاهده بود. کتیرایی بروجردی و همکاران (1384)، به بررسی روند تغییرات روزانه بارندگی 38 ایستگاه ایران در طی دوره آماری 1960-2001 پرداختند. در این بررسی از روش پارامتری حداقل مربعات خطا و روش ناپارامتری من-کندال جهت تحلیل روند بارش کل سالانه و تعداد روزهای بارانی و شدت بارش روزانه استفاده شد؛ نتایج حاصله نشان‌دهنده وقوع برخی روندهای افزایشی و کاهشی در بارش کل سالانه در ایستگاه‌های مختلف بود. بارش فصل بهار در اغلب ایستگاه‌های مورد مطالعه روند کاهشی داشت و روند تعداد روزهای بارانی سالانه و فصلی (به استثنای فصل بهار) در اکثر ایستگاه‌ها افزایشی و معنی‌دار و روند شدت بارش روزانه و فصلی (به ویژه فصل بهار) در اکثر ایستگاه‌ها کاهشی تشخیص داده شد. حجاج و همکاران (1387)، به بررسی روند تغییرات بارندگی فصلی و سالانه چند ایستگاه منتخب در حوضه مرکزی ایران با استفاده از دو روش ناپارامتری من-کندال و تخمین‌گر سن در دوره آماری 1350 تا 1379 پرداختند. نتایج آنها نشان داد که کارآیی دو روش فوق در تحلیل روند بارندگی فصلی و سالانه در اکثر موارد شبیه هم است و کارآیی روش سن در تحلیل مشاهداتی که در آنها تعداد داده‌های صفر زیاد است، بهتر از آزمون من-کندال می‌باشد. مقدم و همکاران (1380)، سه نمایه استاندارد شده بارش، دهک‌ها و درصد نرمال و ارتباط آنها را برای تعیین نمایه خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان مورد ارزیابی و محاسبه قرار داده

نتایج حاصله از این دو روش با هم مقایسه شده است. از طرف دیگر روند این دو آزمون با روند خطی خشکسالی حاصل از محاسبه شاخص بارش استاندارد در ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای داده‌های بلندمدت بارش در استان تهران، مورد بررسی قرار گرفته است.

این پژوهش از داده‌های دراز مدت ایستگاه‌های آبدلی، دوشان تپه، کرج و مهرآباد استفاده شد. شکل (1) موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها و منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد و هم‌چنین در جدول (1) مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در منطقه درج گردیده است.

نشان دهد. مکی و همکاران (1995)، شاخص بارش استاندارد را برای پایش خشکسالی‌ها معرفی کردند.

در تحقیق حاضر، جهت بررسی روند سری داده‌های بارندگی در مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه، دو آزمون ناپارامتری من-کندال و تخمین‌گر سن استفاده گردیده و

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه

استان تهران بین $35^{\circ}14'$ تا $36^{\circ}17'$ عرض شمالی و $50^{\circ}14'$ تا $53^{\circ}6'$ طول شرقی قرار گرفته است. این استان از شمال به رشته کوه‌های البرز، از جنوب به استان قم، از شرق به استان سمنان و از غرب به استان قزوین محدود می‌شود. در



شکل شماره (1) پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه

جدول شماره (2) مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در استان تهران

ارتفاع متوسط (متر)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	میانگین دمای سالانه (درجه سلسیوس)	میانگین بارش سالانه (میلی‌متر)	ایستگاه
2465/2	$51^{\circ}53'$	$35^{\circ}45'$	8/4	549	آبدلی
1209/2	$51^{\circ}20'$	$35^{\circ}42'$	18/2	263/3	دوشان تپه
1190/8	$51^{\circ}19'$	$35^{\circ}41'$	18	246/7	مهرآباد
1312/5	$50^{\circ}54'$	$35^{\circ}55'$	15	257/5	کرج

روش‌ها شامل آزمون‌های متداول ناپارامتری من-کندال و سن به علت مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند و هم‌چنین استفاده

روش‌ها

روش‌های مختلفی جهت تحلیل روند بارندگی و روند خشکسالی وجود دارد. در این پژوهش از مهمترین این

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

چنانچه مقدار Z بزرگتر از $+1/96$ و یا کوچکتر از $-1/96$ باشد، داده‌ها دارای روند می‌باشند و فرض صفر رد می‌شود در غیر این صورت داده‌ها بدون روند هستند (علیزاده، 1385).

روش گرافیکی آزمون من-کندال

این آزمون در سطح اطمینان پنج درصد است و تمامی تحلیل‌ها و تفاسیر در این روش با توجه به نمودارهای حاصل از مقادیر آماره $U(ti)$ و $U'(ti)$ انجام می‌شود. در نقطه شروع دو نمودار $U(ti)$ و $U'(ti)$ یکدیگر را قطع خواهند نمود. زمانی که قدر مطلق U از $1/96$ بزرگتر شود سری زمانی معنی‌دار است، بعبارت دیگر اگر نمودار $U(ti)$ از دو خط $Y=1/96$ و $Y=-1/96$ عبور کند، می‌توان روند موجود در سری‌ها را معنی‌دار دانست. در صورتی که $U > 0$ باشد یا نمودار $U(ti)$ در مجموع سیر صعودی داشته باشد، روند افزایشی معنی‌دار در نظر گرفته می‌شود. اگر $U < 0$ باشد روند معنی‌دار و از نوع کاهشی است. در صورتی که نمودارهای $U(ti)$ و $U'(ti)$ در محدوده $-1/96$ و $1/96$ با هم تلاقی کنند، نشان از تغییر ناگهانی در میانگین دارد. در این بررسی از آزمون من-کندال دنباله‌ای بر اساس نظر سنیرس (1990)، بهره گرفته شد که در آن مقادیر آماره $U(ti)$ و $U'(ti)$ به شرح زیر محاسبه شده‌اند.

ابتدا داده‌ها بر اساس سال با رتبه (y_i) مرتب شد. در مرحله بعد رتبه کوچکتری (t_i) محاسبه گردید، رتبه کوچکتری هر داده، عبارت است از تعداد آن داده‌ها (n_i) قبل از داده مورد نظر (y_i) که از آن کوچکتر هستند (بارش سالانه آنها از بارش سالانه داده مورد نظر کوچکتر است).

$$t_i = \sum_{k=1}^i n_k \quad (6)$$

$$E(t_i) = \frac{i(i-1)}{4} \quad (7)$$

$$\text{Var}(t_i) = \frac{[i(i-1)(2i+5)]}{72} \quad (8)$$

$$U(t_i) = \frac{[t_i - E(t_i)]}{\sqrt{\text{Var}(t_i)}} \quad (9)$$

در هنگام وجود داده‌های گمشده، به منظور تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی هم‌چون روند بارش در طی دوره آماری مورد مطالعه استفاده گردید.

آزمون من-کندال

آزمون من-کندال ابتدا توسط من (1945) ارائه و سپس توسط کندال (1975)، بسط و توسعه یافت (سرانو و همکاران، 1999). این روش به طور متداول و گسترده‌ای در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی بکار گرفته می‌شود (لتن‌مایر و همکاران، 1994). وابسته نبودن به توزیع آماری خاصی و اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی از مزایای استفاده از این روش است (تورگی و ارکن، 2005). فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد. آزمون من-کندال به دو صورت روش محاسباتی و روش گرافیکی تجزیه و تحلیل می‌گردد.

روش محاسباتی آزمون من-کندال

محاسبه این آزمون به کمک نرم افزار *Minitab* و *Makesen* انجام شد. آماره S در آزمون من-کندال به شکل زیر تعریف می‌شود (سالمی و همکاران، 2002):

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (1)$$

که در آن x_i و x_j میزان مرتب شده و n اندازه نمونه است. تابع علامت به شرح زیر قابل محاسبه است.

$$\text{Sgn}(X) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_i - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_i - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_i - x_k) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

میانگین و انحراف معیار بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$E(S) = 0 \quad (3)$$

$$(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n t_i i(i-1)(2i+5)}{18} \quad (4)$$

میزان نمره استاندارد شده Z از رابطه زیر قابل محاسبه است.

که در آن Z آماره توزیع نرمال استاندارد می‌باشد و در یک آزمون دو دامنه بسته به سطوح اطمینان در نظر گرفته شده می‌تواند مقادیر مختلفی به خود بگیرد. این آماره (C_α) برای سطوح اطمینان 95 و 99 درصد به ترتیب برابر با $Z=1/96$ و $Z=2/58$ می‌باشد (سالمی و همکاران، 2002).
 ج) محاسبه حدود اعتماد بالا و پایین (M_1 و M_2) به کمک روابط زیر:

$$\begin{cases} M_1 = \frac{N'+C_\alpha}{2} \\ M_2 = \frac{N'-C_\alpha}{2} \end{cases} \quad (12)$$

که N' تعداد شیب‌های محاسبه شده در بند الف می‌باشد.

د) برای بررسی حدود اطمینان، از بین شیب‌های محاسبه شده توسط رابطه $M_1, (5)$ امین و (M_2+1) امین شیب‌ها استخراج می‌گردند. در صورتی که عدد صفر در دامنه بین دو شیب استخراج شده فوق قرار گیرد، فرض صفر پذیرفته شده و سری زمانی بدون روند است.

در این پژوهش از آمار 23 ساله بارندگی چهار ایستگاه اصلی سینوپتیک استان تهران در طی دوره آماری 2007-1985 استفاده گردید. به منظور اطمینان از همگنی داده‌ها، آزمون *Run Test* با استفاده از نرم افزار *Minitab* صورت گرفت. برای همه ایستگاه‌های مورد مطالعه سری‌های ماهانه، فصلی و سالانه بارندگی استخراج و در نهایت 68 سری زمانی ایجاد گردید. هم‌چنین علاوه بر آزمون‌های یاد شده، برای تجزیه و تحلیل بهتر نتایج و تعیین روند خشکسالی در منطقه از شاخص استاندارد بارش استفاده شد که روش آن به اختصار بیان می‌گردد.

شاخص بارش استاندارد

شاخص بارندگی استاندارد یکی از مناسب‌ترین و کاربردی‌ترین شاخص‌های پیشنهاد شده برای مطالعه خشکسالی و ترسالی است که امروزه در سطح گسترده‌ای در سطح جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد و مورد پذیرش بسیاری از جوامع علمی قرار گرفته است. انعطاف‌پذیری این شاخص در مطالعه انواع مختلف خشکسالی از مهم‌ترین

که $E(t_i)$ و $Var(t_i)$ به ترتیب مقادیر متوسط و واریانس t_i می‌باشند. $U'(t_i)$ دقیقاً به روش $U(t_i)$ محاسبه می‌شود. یعنی می‌توان فرض کرد انتهای سری، ابتدای آن باشد. داده‌های $U(t_i)$ و $U'(t_i)$ براساس سال وقوع مرتب و رتبه-بندی می‌شوند با این تفاوت که سال وقوع در $U(t_i)$ با سیر صعودی، اما در $U'(t_i)$ با سیر نزولی مرتب می‌شوند.

آزمون سن

سن با توسعه یک سری مطالعات آماری که تیل (1950)، به انجام رسانده بود یک روش ناپارامتری را جهت تحلیل سری‌های زمانی ارائه نمود. این روش نیز همانند روش من-کندال از تحلیل تفاوت بین مشاهدات یک سری زمانی بهره می‌گیرد. نقاط قوتی که در روش من-کندال ذکر گردید، در این روش نیز وجود دارد. هم‌چنین این آزمون در هنگام وجود داده‌های گم‌شده، به راحتی قابل استفاده می‌باشد (سرانو و همکاران، 1999). اساس این روش بر محاسبه یک شیب میانه برای سری زمانی و قضاوت نمودن در مورد معنی‌داری شیب بدست آمده در سطوح اعتماد مختلف می‌باشد. مراحل کلی انجام این آزمون به شرح زیر می‌باشد:

الف) محاسبه شیب بین هر جفت داده مشاهده‌ای با استفاده از رابطه زیر:

$$Q = \frac{x_t - x_s}{t - s} \quad (10)$$

که x_t و x_s به ترتیب داده‌های مشاهده‌ای در زمان‌های t و s بوده و t یک واحد زمانی بعد از زمان s می‌باشد. با اعمال این رابطه برای هر دو جفت داده مشاهده‌ای، یک سری زمانی از شیب‌های محاسبه شده بدست می‌آید که از محاسبه میانه این سری زمانی شیب خط روند (Q_{med}) حاصل می‌آید. مقدار مثبت Q_{med} حاکی از صعودی بودن روند و مقدار منفی آن نشان‌دهنده نزولی بودن روند می‌باشد.

ب) محاسبه پارامتر C_α در سطوح اطمینان مورد آزمون به کمک رابطه زیر:

$$C_\alpha = Z_{1-\alpha/2} \times \sqrt{\text{Var}(s)} \quad (11)$$

شاخص بارندگی استاندارد بر اساس نتایج مکی و همکاران (1995)، در جدول (2) ارائه شده است. بر اساس این جدول هرگاه شاخص بارندگی استاندارد به طور مداوم منفی باشد و مقدار آن به 1- یا کمتر برسد معرف وقوع خشکسالی است و مقادیر مثبت آن نشان‌دهنده خاتمه خشکسالی است.

ویژگیهای این شاخص است. شاخص بارندگی استاندارد به صورت رابطه زیر نوشته می‌شود:

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{\sigma} \quad (13)$$

که در این رابطه P_i مقدار بارندگی در زمان t_i متوسط بارندگی در دوره زمانی مورد مطالعه σ انحراف استاندارد بارندگی در دوره زمانی موردنظر است. طبقات مختلف

جدول شماره (2) طبقه بندی شدت خشکسالی بر اساس شاخص بارندگی استاندارد (مکی، 1995)

مقادیر SPI	طبقه خشکسالی
2 و بیشتر	ترسالی بسیار شدید
1/5 تا 1/99	خیلی مرطوب
1 تا 1/49	ترسالی متوسط
0/99 تا -0/99	خشکسالی ملایم
-1/49 تا -1	خشکسالی متوسط
-1/99 تا -1/5	خشکسالی شدید
-2 و کمتر	خشکسالی بسیار شدید

که آزمون سن، روند صعودی در سطح اطمینان 99 درصد را در ایستگاه‌های آبعلی و کرج نشان می‌دهد و در سایر ایستگاه‌ها با استفاده از این آزمون روند خاصی مشاهده نمی‌گردد. دلیل آن را می‌توان به ارتفاع بالای دو ایستگاه آبعلی و کرج از سطح دریا و محاسبه دقیق روند با استفاده از آزمون سن بر اساس داده‌های غیر صفر دانست.

نتایج و بحث

روند تغییرات فصلی و سالانه

نتایج محاسبه آزمون من-کندال و سن برای سری‌های فصلی در سطح اطمینان 95 و 99 درصد نشان می‌دهد که در اکثر ایستگاه‌های استان تهران روند فصلی با استفاده از دو روش فوق وجود ندارد. بررسی روند سالانه در هر یک از ایستگاه‌های موجود نشان می‌دهد که روند خاصی با استفاده از محاسبه آزمون من-کندال مشاهده نگردیده در صورتی

جدول شماره (2) نتایج حاصله از آزمون من-کندال و تخمین گر سن در سطوح اعتماد 95 و 99 درصد

(Z آماره من-کندال و Q_{med} شیب خط روند تخمین گر سن) برای داده‌های فصلی و سالانه

سالانه		زمستان		پاییز		تابستان		بهار		ایستگاه
Q_{med}	Z	Q_{med}	Z	Q_{med}	Z	Q_{med}	Z	Q_{med}	Z	
3/62**	0/79	0/96	0/32	2/05*	0/79	0/57	1/16	0/63	0/05	آبعلی
0/84	0/42	0/64	0/42	0/38	0/53	0/13	1/85	1/14	0/79	دوشان‌تپه
3/74**	1/27	-0/38	-0/08	1/62	1/11	0/15	1/90	1/6	0/85	کرج
1/88	1/43	0/51	0/63	0/74	0/85	0/06	1/16	1/29	1/16	مهرآباد

* وجود روند در سطح 95 درصد، ** وجود روند در سطح 99 درصد

روند تغییرات ماهانه

نتایج تحلیل روند تغییرات ماهانه بارندگی نشان می‌دهد که روند خاصی با استفاده از محاسبه هر دو آزمون در ماه‌های نوامبر دسامبر، ژانویه، فوریه، مارس، آوریل و می در تمام ایستگاه‌ها مشاهده نمی‌گردد. داده‌های بدست آمده از هر دو آزمون علی‌رغم عدم وجود روند در این ماه‌ها، بسیار شبیه به هم می‌باشند. از ماه ژوئن به بعد نتایج دو آزمون بسیار متفاوت بوده بگونه‌ای که در اکثر مواقع نتایج آزمون سن، صفر یا به صفر نزدیک بوده است. اما آزمون من-کندال روند داده‌های بارندگی را در این ماه‌ها و در اکثر ایستگاه‌ها صعودی نشان داده است. بر اساس نتایج جدول (3) و بر مبنای آزمون من-کندال، در ماه سپتامبر بجز ایستگاه آبعلی، در بقیه ایستگاه‌ها روند صعودی معنی‌دار در

سطح اعتماد 99 درصد کاملاً مشهود است. در ماه ژولای ایستگاه دوشان‌تپه با 99 درصد اطمینان و ایستگاه‌های کرج و مهرآباد با 95 درصد اطمینان روند را صعودی معنی‌دار نشان می‌دهند. در ماه اگوست فقط در ایستگاه کرج با سطح اطمینان 95 درصد روند صعودی معنی‌دار مشاهده می‌شود. یکی از دلایل اصلی بروز عدم تشابه محاسبات دو آزمون در ماه‌های ذکر شده می‌تواند به علت حساسیت آزمون‌ها به مقدار بارندگی باشد؛ بطوری که در ماه‌های پرباران، نتایج روش سن و روش من-کندال شبیه به هم بوده و در خصوص ماه‌های با بارندگی کم (سپتامبر و ژولای) روش من-کندال معمولاً وجود روند را صعودی نشان داده که احتمال خطا در برآورد آن وجود دارد.

جدول شماره (3) نتایج حاصله از آزمون من-کندال و تخمین گر سن در سطوح اعتماد 95 و 99 درصد (Z آماره من-کندال و Q_{med} شیب خط روند تخمین گر سن) برای داده‌های ماهانه

ایستگاه	آبعلی		دوشان‌تپه		کرج		مهرآباد	
	Q_{med}	Z	Q_{med}	Z	Q_{med}	Z	Q_{med}	Z
ژانویه	1/15	0/79	0/78	1/27	0/6	0/71	0/90	0/95
فوریه	-0/30	-0/21	0/26	0/32	-0/07	-0/11	0/12	0/05
مارس	-0/12	-0/05	-0/37	-0/21	0/11	0/16	-0/18	-0/32
آوریل	1/20	0/63	0/49	0/63	1/76	1/64	0/91	0/69
می	-0/34	-0/48	-0/38	-0/42	0/02	0/05	0/04	0/16
ژوئن	-0/13	-0/90	0/00	1/8	0/00	0/13	0/00	0/79
ژولای	0/06	0/63	0/00	2/80**	0/01	2/32*	0/01	2/27*
اگوست	0/05	0/79	0/00	1/82	0/00	2/48*	0/00	0/74
سپتامبر	0/09	1/53	0/00	2/80**	0/00	2/96**	0/00	4/01**
اکتبر	0/37	0/58	0/00	0/11	0/15	0/85	0/06	0/37
نوامبر	1/03	0/58	0/61	0/55	0/91	0/98	0/56	0/95
دسامبر	0/64	0/48	0/41	0/42	0/95	1/00	0/28	0/32

* وجود روند در سطح 95 درصد، ** وجود روند در سطح 99 درصد

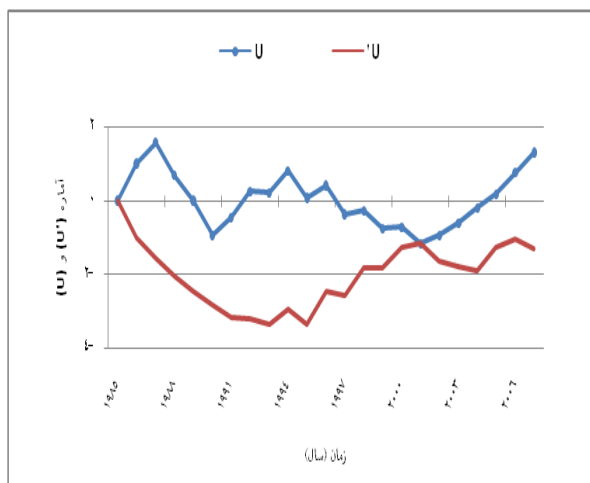
تحلیل نمودار

محاسبه آماره‌های آزمون من-کندال و ترسیم نمودارهای مربوط به هر یک از آنها در مقیاس زمانی ماهانه، فصلی و سالانه برای هر یک از ایستگاه‌ها انجام شد و هم-چنین شیب روند تغییرات بارندگی در سری‌های زمانی فوق ترسیم گردید. بر اساس تجزیه و تحلیل‌های انجام شده و

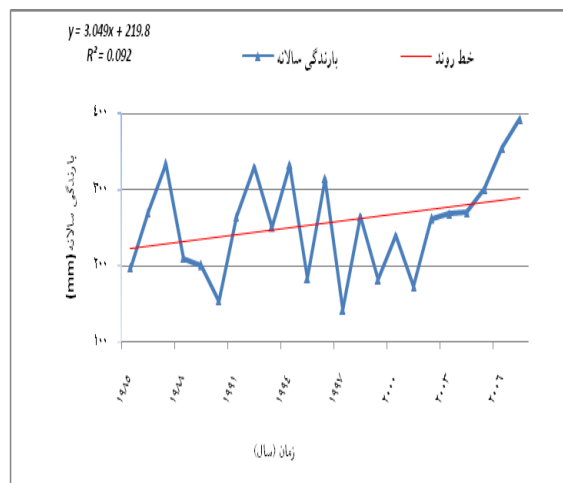
هم‌چنین با توجه به نمودارهای $U(t_i)$ و $U'(t_i)$ و ترسیم بارندگی سالانه، فصلی و ماهانه در ایستگاه کرج مشاهده می‌گردد که هر چند روند خطی افزایشی در بارندگی سالانه وجود دارد اما روند افزایشی یا کاهشی در مورد آماره $U(t_i)$ در سری سالانه با استفاده از آزمون من-کندال وجود ندارد و شرط $U(t_i) > 1/96$ یا $U(t_i) < -1/96$ برقرار

این فصل است. اما وجود روند در اکثر ماه‌های کم‌باران مشهود است و نتایج تجزیه و تحلیل نمودارهای حاصل از آماره‌های ماه آگوست نشان‌دهنده وجود روند معنی‌دار افزایشی است. نتایج تحلیل نمودارهای ایستگاه کرج در شکل‌های (2) تا (7) آورده شده است. هم‌چنین نمودارهای شاخص بارندگی استاندارد در ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل‌های (8) تا (11) دیده می‌شود.

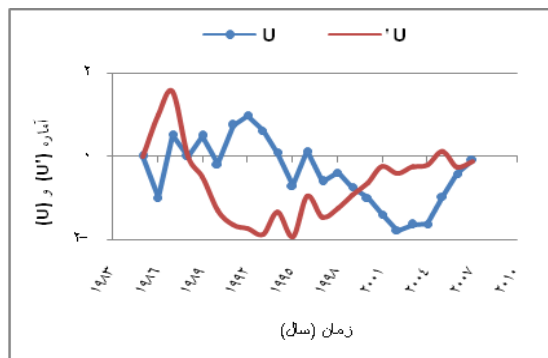
نیست و در واقع سری حالت ایستا دارد. از سوی دیگر نمودارهای حاصل از شاخص بارندگی استاندارد در تمام ایستگاه‌ها روند خطی افزایشی را نشان داده که با روند خطی داده‌های بارش و هم‌چنین نتایج روند صعودی بارندگی در مقیاس سالانه با سطح اعتماد 99 درصد در آزمون سن در بعضی از ایستگاه‌ها تطابق داشته است. در بررسی سری فصلی، بطور نمونه نتایج نمودار فصل زمستان در ایستگاه کرج نیز حاکی از عدم وجود روند در داده‌های بارندگی



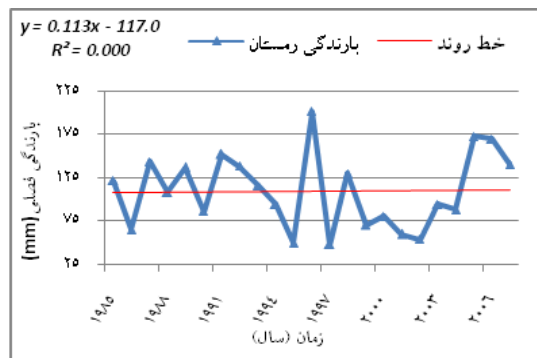
شکل شماره (3) آماره‌های (U) و (U') در سری سالانه در ایستگاه کرج



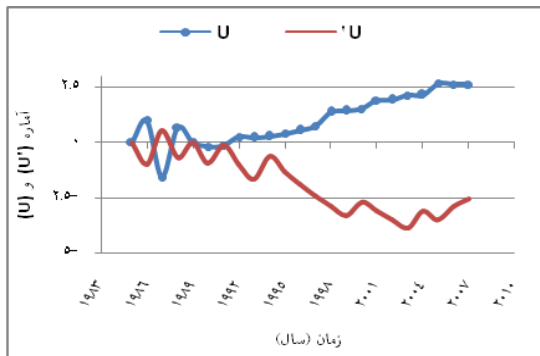
شکل شماره (2) تغییرات روند بارندگی در سری سالانه در ایستگاه کرج



شکل شماره (5) آماره‌های (U) و (U') در سری فصل زمستان در ایستگاه کرج

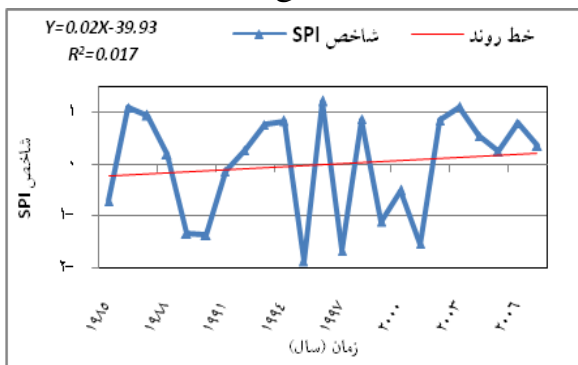


شکل شماره (4) تغییرات روند بارندگی در سری فصل زمستان در ایستگاه کرج

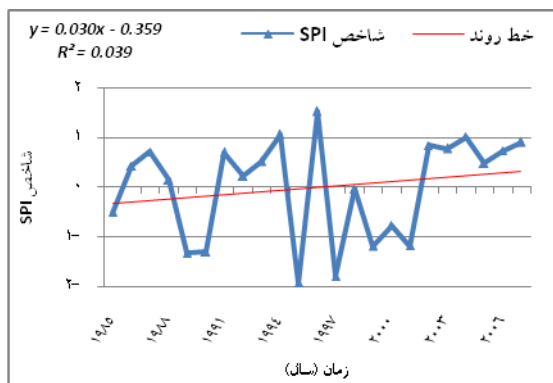


شکل شماره (7) آماره‌های (U) و (U') در سری ماه آگوست در ایستگاه

کرج

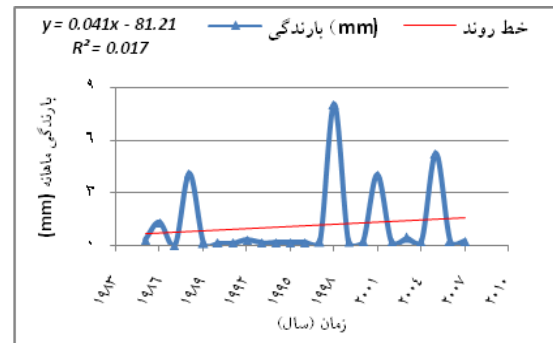


شکل شماره (9) شاخص SPI و خط روند آن در ایستگاه دوشان تپه



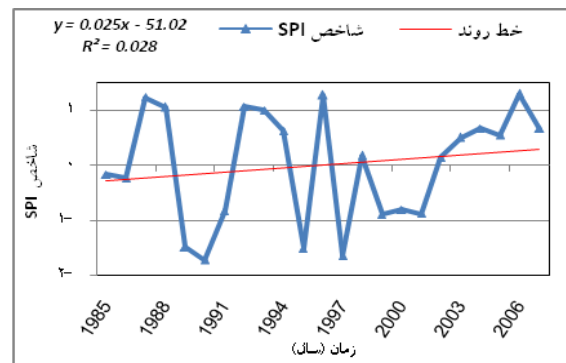
شکل شماره (11) شاخص SPI و خط روند آن در ایستگاه مهرآباد

اقلیمی کم شده و در نهایت تمایل به ترسالی دارد؛ یعنی روند خطی آن گرایش افزایشی دارد. تحلیل نمودار شاخص SPI در ایستگاه کرج نیز همانند نمودار شاخص بارش استاندارد ایستگاه آبعلی است، ولی در این ایستگاه شدیدترین خشکسالی در سال 1996 بوقوع پیوسته است. روند دو نمودار بارش استاندارد در ایستگاه‌های دوشان تپه و مهرآباد نیز همانند دو ایستگاه قبلی، صعودی می‌باشد؛ عبارت دیگر بهبود در وضعیت بارش مشاهده می‌شود. شدیدترین خشکسالی‌ها نیز در این دو ایستگاه در 1995

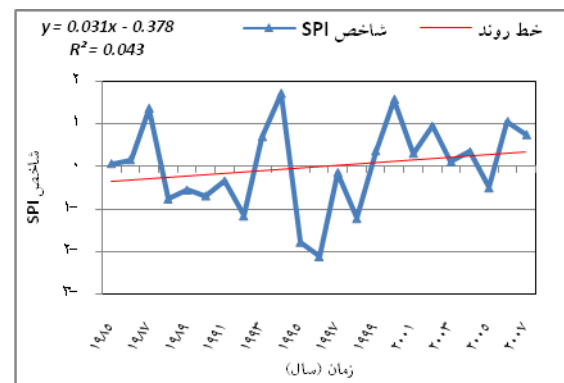


شکل شماره (6) تغییرات روند بارندگی در سری ماه آگوست در ایستگاه

کرج



شکل شماره (8) شاخص SPI و خط روند آن در ایستگاه آبعلی



شکل شماره (10) شاخص SPI و خط روند آن در ایستگاه کرج

همان‌گونه که بررسی‌های قبلی نشان داده‌اند، صعودی بودن نمودار شاخص SPI به منزله بهبود وضعیت مقدار بارش و پشت سر گذاشتن یک دوره بحرانی و خشکسالی است. بر این اساس می‌توان تجزیه و تحلیل روند خشکسالی را مورد بحث قرار داد. نمودار شاخص SPI در ایستگاه آبعلی نشان می‌دهد که شدیدترین خشکسالی در سال 1990 بوقوع پیوسته است و در بعد از آن جهش ترسالی مشاهده می‌شود. نمودار فوق در سال‌های میانی دوره آماری، فراز و نشیب‌های متوالی را داشته است اما در سال‌های اخیر نوسانات

بوقوع پیوسته است. در کل شرایط ترسالی در منطقه حاکم بوده و روند خشکسالی منفی است.

نتیجه گیری

نتایج محاسبه آزمون من-کندال و سن در سری های زمانی فصلی در ایستگاه های مورد بررسی با نتایج محاسبه این دو آزمون در تحقیق بررسی شده توسط حجام (1387) تا حدودی هم خوانی دارد؛ بطوری که کارآیی دو روش فوق در تحلیل روند بارندگی فصلی در اکثر موارد شبیه هم و بدون روند است ولی عملکرد روش من-کندال در تحلیل مشاهدات سری های ماهانه با روش سن متفاوت است و وجود روند را با خطا برآورد می نماید، دلیل آن ازدیاد داده های صفر در ماه های با بارش کم است که مورد تأیید پژوهشگران قبلی (خلیلی و همکاران 1383، حجام و همکاران 1387) قرار گرفته است. نتایج این پژوهش نشان داد که روند خطی تغییرات بارندگی در سری ماهانه، فصلی و سالانه صعودی بوده که طبق پژوهش های قبلی از دلایل عمده این رویداد می تواند افزایش هسته های میعان ابری حاصل از آلودگی های ذره ای ناشی از توسعه صنعت و افزایش جمعیت در استان تهران باشد (صادقی حسینی و راحلی سلیمی، 1381). علی رغم آنکه افزایش بارندگی، افزایش سیل را در بر خواهد داشت، بمراتب تأثیر خود را در کاهش خشکسالی نشان داده است.

در کل با توجه به داده های جداول و نمودارهای ترسیمی و هم چنین نتایج پژوهش های دیگر می توان به این نتیجه دست یافت که آزمون سن برای منطقه مورد نظر نسبت به آزمون من-کندال میزان روند را بهتر نشان می دهد و در نیمی از ایستگاه ها روند سالانه را در سطح اعتماد 99 درصد، صعودی محاسبه نموده است. مقایسه روند خطی بارش و روند خشکسالی نشان می دهد که هر چند بارش ها روند افزایشی داشته، ولی از طرف دیگر احتمال رخداد سیلاب در منطقه با افزایش بارش در بازه های زمانی کوتاه تر تشدید شده است. این موضوع توجه هر چه بیشتر کارشناسان و برنامه ریزان را به مدیریت و بهره برداری منابع آب و هم-

چنین مطالعات هیدرولوژی در حوضه های آبخیز کوهستانی، دشت ها و هیدرولوژی شهری طلب می نماید.

منابع

- 1- ثنائی نژاد، سیدحسین و انصاری، حسین و داوری، کامران و مرید، سعید (1382). پایش و ارزیابی شدت دوره های خشک مشهد در مقیاس های زمانی متفاوت، با استفاده از شاخص استاندارد شده بارش. مجله علوم خاک و آب، جلد 17، شماره 2.
- 2- حجام، سهراب، خوشخو، یونس. و شمس الدین وندی، رضا (1387). تحلیل روند تغییرات بارندگی های فصلی و سالانه چند ایستگاه منتخب در حوزه مرکزی ایران با استفاده از روش های ناپارامتری. پژوهش های جغرافیایی، جلد 40، شماره 64، صفحات 157-168.
- 3- خلیلی، علی. و بذرافشان، جواد (1383) تحلیل روند تغییرات بارندگی های سالانه، فصلی و ماهانه 5 ایستگاه قدیمی ایران در یکصد و شانزده سال گذشته. مجله بیابان، جلد نهم، شماره 1، ص 25-33.
- 4- خشنودی، احمد (1378). بررسی تغییرات اقلیمی در جنوب ایران. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران.
- 5- رستمیان، حمید (1377). بررسی تغییرات اقلیمی سواحل جنوبی دریای خزر. پایان نامه کارشناسی ارشد.
- 6- رضی، طیب، دانش کارآراسته، پیمان و ثقفیان، بهرام (1386). بررسی الگوی زمانی و مکانی خشکسالی- های هواشناسی در استان سیستان و بلوچستان. مجله علمی کشاورزی، جلد 30، شماره 1.
- 7- روشنی، محمود (1382). بررسی تغییرات اقلیمی سواحل جنوبی دریای خزر. پایان نامه کارشناسی ارشد جغرافیا، دانشگاه تهران.
- 8- صادقی حسینی، سیدعلیرضا. و راحلی سلیمی، جواد (1381). تأثیر توسعه شهرنشینی بر روی فرایند بارش در تهران. طرح پژوهشی مؤسسه ژئو فیزیک دانشگاه تهران.

- 9- عزیزاده، امین (1385). اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه امام رضا(ع)، چاپ بیستم، ویرایش هشتم، 807 ص.
- 10- فاتحی‌مرج، احمد، برهانی‌داریان، علیرضا و مهدیان، محمدحسین (1385). پیش‌بینی بارش فصلی با استفاده از پیوند دور، مطالعه موردی حوضه آبخیز دریاچه ارومیه. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال دهم، شماره سوم(الف).
- 11- کاویانی، محمدرضا و عساکره، حسین (1382). بررسی آماری روند بلند مدت بارش سالانه اصفهان. سومین کنفرانس منطقه ای تغییر اقلیم. اصفهان.
- 12- کتیرایی بروجردی، پیام، حجام، سهراب و ایران نژاد، پریسا (1384). بررسی روند تغییرات بارندگی در ایران طی دوره 1960 الی 2001. رساله دکتری هواشناسی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات.
- 13- لشنی‌زند، مهران (1383). بررسی شدت و فراوانی خشکسالی‌های اقلیمی در شش حوضه واقع در غرب و شمال غرب کشور. مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان(علوم انسانی)، جلد 16، شماره 1.
- 14- مرادی، حمیدرضا، رجبی، منصور و فرج‌زاده، منوچهر (1386). تحلیل روند و خصوصیات مکانی شدت خشکسالی‌های استان فارس. فصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد 14، شماره 1، ص 97 تا 109. 1386.
- 15- مسعودیان، سیدابوالفضل و منتظری، مجید (1385). تحلیل روند خشکسالی اقلیمی حوضه‌های آبی ایران در نیم سده گذشته. معاونت پژوهش و مطالعات پایه شرکت سهامی مدیریت منابع آب، معاونت پژوهشی دانشگاه اصفهان.
- 16- مقدم، حسین، بداق جمالی، جواد، جوانمرد، سهیلا و مهدویان، عبدالرضا (1380). پایش خشکسالی بر اساس نمایه SPI دهک‌ها و نرمال در استان سیستان و بلوچستان. مجموعه مقالات اولین کنفرانس بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب زابل، جلد سوم، ص 69-80.
- 17- Bihrat, O. & Mehmetcik, B (2003). The Power of Statistical Tests for Trend Detection, Turkish J. Eng. Env. Sci, 27: 247-251.
- 18- Guttmn, B, N (1999). Comparing the Drought Index and the Standardized Precipitation Index. J Of American Water Resources Association: 34(1): 113-121.
- 19-Kampata, J.M., Parida, B.P. & Moalafhi, D.B (2008). "Trend analysis of rainfall in the headstreams of the Zambezi River Basin in Zambia". Physics and Chemistry of the Earth, Vol. 33: PP. 621-625.
- 20- Krishnakumar. K.N., Prasada Rao. G.S.L.H.V. & Gopakumar. C.S (2009). Rainfall trends in twentieth century over Kerala, India. Atmospheric Environment. 43: 1940-1944.
- 21- Lettenmaier, D. P., Wood, E. F. & Wallis J. R (1994). Hydro-climatological Trends in the Continental United States, 1948-88. J. Climate, 7: 586-607.
- 22- Mckee, T.B., Doesken, N. J. & Kleist, J (1995). Drought monitoring with multiple time scales. Ninth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Jan 15-20, 1995, Dallas TX, pp. 233-236.
- 23- Salmi, T., Määttä, A., Anttila, P. & Ruoho, T, Amnell, T (2002). Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates -the Excel template application MAKESENS. Publications on Air Quality No. 31: Report code FMI-AQ-31.
- 24- Sen, P.K (1968). Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's tau. Journal of the American Statistical Association. Vol 63:1379-1389.
- 25- Serrano, A., Mateos, V.L & Garcia, JA (1999). Trend Analysis of Monthly Precipitation over the Iberian Peninsula for the Period 1921-1995. Physics Chem. Earth (B), VOL.24, NO. 1-2: 85-90.
- 26- Sneyers, R (1990). On the statistical analysis of series of observation. World Meteorological Organization (WMO). Technical Note. No. 143: Geneva: 192 pp.
- 27- Takeuchi, K. & H. Ishidaira (2003). Monitoring Trend Step Changes Japanese in Precipitation. Journal of hydrology. 279: 144-150.
- 28- Thiel, H (1950). A Rank-invariant Method of Linear and Polynomial Regression Analysis, Part 3. Proceedings of Koninalijke Nederlandse Academic van Weinenschatpen A. 53:1397-1412.
- 29- Turgay, P. & Ercan K (2005). Trend Analysis in Turkish Precipitation data. Hydrological processes published online in Wiley Interscience (www.Interscience.wiley.com).

