



## بررسی تغییرات تبخیر-تعرق و بارش، در دشتهای شهرکرد و بروجن طی دوره آماری بلندمدت

سپیده نصوحیان<sup>۱\*</sup>، مهدی قبادی نیا<sup>۲</sup>، سید حسن طباطبایی<sup>۳</sup>، حسن خالقی<sup>۴</sup>، مهدی رادفر<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهرکرد

*Email: s.nosouhian@gmail.com*

<sup>۲</sup> استادیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

*Email: mahdi.ghobadi@gmail.com*

<sup>۳</sup> دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد *Email: stabaei@agr.sku.ac.ir*

<sup>۴</sup> استادیار گروه هواشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

<sup>۵</sup> استادیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

### چکیده

امروزه در مدیریت منابع آب، تغییر اقلیم به عنوان یکی از چالش‌های اصلی مورد توجه می‌باشد. به منظور مدیریت منابع آب و کشاورزی، بررسی تغییرات پارامترهای اقلیمی به ویژه دما و بارش می‌تواند در جهت آشکارسازی تغییرات اقلیمی و شناخت دوره‌های تر و خشک موثر باشد. در این پژوهش روند تغییرات تبخیر - تعرق مرجع و بارش، در طول سال زراعی در ایستگاه‌های سینوپتیک شهرکرد و بروجن واقع در استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از روش‌های ناپارامتری مورد بررسی قرار گرفت. از میان داده‌های ورودی برای تبخیر - تعرق دماهای کمینه، بیشینه و متوسط در مقیاس فصلی و سالانه با استفاده از دو آزمون من - کندال و Sen's Estimator که جزو متداول‌ترین روش‌های ناپارامتری تحلیل روند سری‌های زمانی به شمار می‌روند مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه نتایج حاصل از این دو روش که در بیشتر موارد پاسخ یکسانی می‌دهند نشان می‌دهد که در ایستگاه شهرکرد کمینه و میانگین سالانه دما با احتمال ۹۹٪ دارای روند کاهشی معنادار می‌باشد. در مقیاس فصلی در ایستگاه شهرکرد در تابستان و بهار روند کاهشی دما وجود داشته، و در بروجن روند افزایش دما را طی دوره آماری می‌توان مشاهده کرد. نتایج همچنین بیانگر اینست که بارش و تبخیر - تعرق در هیچ یک از ایستگاه‌ها نه در مقیاس سالانه و نه در مقیاس فصلی روند معناداری نداشته‌اند.

## مقدمه

امروزه تغییر اقلیم به عنوان یکی از بزرگترین چالش‌های اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی شناخته می‌شود که کره زمین با آن مواجه است. به منظور پیش‌بینی اقلیم آینده، نیاز به دانستن تغییرات متغیرهای اقلیمی در گذشته می‌باشد و اقلیم‌شناسان به واسطه روش تحقیق خاص، اغلب به صورت آماری با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده ایستگاه‌های هواشناسی، نقشه‌های سطح زمین و سطوح فوقانی جو، الگوهای رفتاری متغیرهای اقلیمی را مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهند (عزیزی و همکاران، ۱۳۸۷). در مطالعات مختلف به آسیب‌پذیر بودن بخش کشاورزی نسبت به پدیده تغییر اقلیم اشاره شده و نظر به اینکه در کشور ما این بخش عمده‌ترین مصرف‌کننده آب است لذا مطالعه و ارزیابی آن می‌تواند در جهت شناخت بهتر پدیده و ارائه راهکارهای مقابله و تطبیق با آن بسیار موثر و حائز اهمیت باشد. از آنجا که تبخیر-تعرق بعد از بارش اصلی‌ترین جزء چرخه هیدرولوژیکی است که نیاز آبی گیاه را مشخص می‌کند و عامی اصلی مصرف آب در بخش کشاورزی است، برآورد این پارامتر در مطالعات تغییر اقلیم جایگاه ویژه‌ای دارد. فاکتورهای اصلی که بر نیاز آبی گیاهان (یا تبخیر-تعرق) مؤثرند وابسته به چندین پارامتر اقلیمی نظیر دما، بارش، ساعات آفتابی و در کل نیاز تبخیری جو می‌باشند. هرگونه تغییر در این پارامترهای اقلیمی در اثر تغییر اقلیم، بر تبخیر-تعرق گیاه نیز تأثیرگذار خواهند بود. در واقع گرمایش جهانی شرایط خشکی را در نواحی خشک جهان با افزایش پتانسیل تبخیر-تعرق و افزایش بیابان‌زایی تشدید خواهد کرد. تعیین مقدار صحیح تبخیر-تعرق برای انجام مطالعات توازن هیدرولوژیکی آب، طراحی و مدیریت سیستم‌های آبیاری، شبیه‌سازی میزان محصول و طراحی و مدیریت منابع آب از اهمیت زیادی برخوردار است (یزدان خواه و میرلطیفی، ۱۳۸۹).

یکی از روش‌های متداول جهت تحلیل سری‌های زمانی هیدرومتئورولوژیکی، بررسی وجود یا عدم وجود روند در آن‌ها با استفاده از آزمون‌های آماری می‌باشد. روند<sup>۱</sup> عبارت است از تغییرات درازمدت در میانگین سری‌های زمانی که می‌تواند سیر صعودی یا نزولی داشته باشد (بزرگ‌نیا و نیرومند، ۱۳۸۳). اصولاً وجود روند در سری‌های زمانی هیدرومتئورولوژیکی ممکن است ناشی از تغییرات تدریجی طبیعی و تغییر اقلیم یا اثر فعالیت‌های انسانی باشد (بروک و کارتز، ۱۹۵۳) که در مورد عناصر اقلیمی وجود تغییرات فصلی یعنی تغییراتی که در دوره تناوبی کوتاه و منظم پیش می‌آید کاملاً مورد انتظار است. روش‌های آماری تحلیل روند سری‌های زمانی در دو دسته کلی روش‌های پارامتری و ناپارامتری قابل تقسیم‌بندی می‌باشد (تاکپوچی و ایشیداری، ۲۰۰۳). عمده تفاوت روش‌های پارامتری و ناپارامتری تحلیل روند این است که در روش‌های پارامتری، سری‌های زمانی ایجاد شده، عمدتاً بر اساس رابطه رگرسیونی بین سری داده‌ها با زمان استوار می‌باشند و 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 چون اساس کار بر تفاوت بین داده‌های مشاهداتی است به همین دلیل از کاربرد نسبتاً وسیع‌تری برخوردارند. این روش‌ها به خصوص برای سری‌هایی که چولگی یا کشیدگی زیادی دارند مناسب‌تر از روش‌های پارامتری می‌باشند (بیهرات و مهمتیک، ۲۰۰۳). دو آزمون من-کندال<sup>۲</sup> و Sen's Estimator جزو متداول‌ترین روش‌های ناپارامتری

<sup>1</sup>Trend

<sup>2</sup>Mann-Kendall

تحلیل روند سری‌های زمانی هیدرومتئولوژیکی به شمار می‌روند. مطالعات مختلف انجام شده با استفاده از این دو روش حاکی از اهمیت و کاربرد فراوان آن‌ها در تحلیل روند سری‌های زمانی می‌باشد.

برن و حق‌النور (۲۰۰۲) روندهای موجود در ۱۸ متغیر هیدرولوژیکی را که منعکس‌کننده بخش‌های مختلف چرخه هیدرولوژیکی بودند در یک شبکه ۲۴۸ حوضه‌ای در کانادا، با استفاده از آزمون ناپارامتریک من-کندال بررسی کردند و نتیجه گرفتند که روندهای مهمی در متغیرها در برخی مناطق وجود دارد که نشان‌دهنده یکنواخت نبودن اثرات از لحاظ شرایط منطقه‌ای می‌باشد. نتایج تحقیق سو و همکاران (۲۰۰۶) در مقادیر حدی دما و بارش حوضه رودخانه یانگ‌تسه نشان داد که روند افزایشی در دمای حداکثر و حداقل سالانه و فصلی به خصوص در حداقل دمای فصل زمستان وجود دارد و در حالی که حداکثر بارش روند معنی‌داری ندارد، تعداد روزهای طوفانی از روند افزایشی معنی‌داری برخوردار است. در نیویورک آمریکا نیز برنز و همکاران (۲۰۰۷) روندهای اقلیمی و اثرات آنها را بر منابع آب در حوضه کوهستان کاتس‌کیل مورد بررسی قرار دادند. مدرس و سیلوا (۲۰۰۷) تحقیقی روی روندهای بارش در مناطق خشک و نیمه خشک ۲۰ ایستگاه ایران انجام دادند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که فقط برای دو ایستگاه سبزوآر و زاهدان این روندها از لحاظ آماری به وسیله آزمون من-کندال با احتمال ۹۵٪ و ۹۹٪ تأیید شدند. همچنین، دریافتند که از لحاظ بارش سالانه، در بخش شمالی محدوده مطالعاتی، روند افزایشی و در بخش جنوبی، روند کاهشی وجود دارد و در بارش ماهانه، روندهای مشاهده شده در طول فصول زمستان و بهار ارزشمند بوده و یک حرکت فصلی از تمرکز بارش را نشان می‌دهند. از مطالعات دیگر انجام شده در کشور می‌توان به تحقیق خلیلی و بذرافشان (۱۳۸۲) بررسی روند بارندگی‌های سالانه، فصلی و ماهانه پنج ایستگاه قدیمی ایران در ۱۱۶ سال گذشته، کاویانی و عساکره (۱۳۸۲) تحلیل روند بارش در ایستگاه اصفهان در یک دوره آماری ۱۰۳ ساله، کتیرایی بروجردی و همکاران (۱۳۸۴) تحلیل روند تغییرات روزانه بارندگی ۳۸ ایستگاه ایران در طی دوره آماری ۲۰۰۱-۱۹۶۰، عزیزی و روشنی (۱۳۸۷) بررسی چند پارامتر اقلیمی مناطق ساحلی دریای خزر در دوره ۱۹۹۴-۱۹۵۵، حجام و همکاران (۱۳۸۷) بررسی روند تغییرات بارندگی‌های فصلی و سالانه ۴۸ ایستگاه باران‌سنجی واقع در حوضه مرکزی ایران به کمک روش‌های ناپارامتری اشاره کرد. در زمینه برآورد نیاز آبی در گذشته و آینده نیز مطالعات مختلفی در نقاط مختلف دنیا انجام شده که به عنوان نمونه که سنتریتو (۲۰۰۴) در ایتالیا اثرات متقابل تغییر اقلیم و تنش آبی برای کاربرد در مناطق با محدودیت آب بررسی کرد. رودریگز دیاز و همکاران (۲۰۰۷) در حوضه رودخانه گوادل کویویر در اسپانیا به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر نیاز آبی پرداخته و نتایج ارائه شده توسط ایشان نشان از ۳ درجه افزایش در دما و ۸٪ افزایش در تبخیر و تعرق تا سال ۲۰۵۰ می‌باشد. هاورکورت و ورهاگن (۲۰۰۸)، طی تحقیقی تغییر اقلیم و اثرات آن بر زنجیره تأمین سیب زمینی در اروپا را مورد مطالعه قرار دادند. در ایران نیز مطالعات گوناگونی در زمینه اثرات پدیده تغییر اقلیم در برآورد نیاز آبی و تبخیر-تعرق پتانسیل صورت پذیرفته که از آن جمله می‌توان به پژوهش سلطانی و قلی‌پور (۱۳۸۵)، سلیمانی ننادگانی (۱۳۸۹)، شاه‌نقی (۱۳۸۹) و علیزاده و همکاران (۱۳۸۹) اشاره کرد.

هدف از این تحقیق بررسی روند تغییرات بارش، تبخیر-تعرق پتانسیل، در مقیاس فصلی و سالانه و نیز سال زراعی در ۲ ایستگاه سینوپتیک شهرکرد و بروجرد در استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از روش‌های ناپارامتری است.

## مواد و روش‌ها

### ۱) مشخصات منطقه مورد مطالعه

استان چهارمحال و بختیاری با مساحت ۱۶۵۳۲ کیلومتر مربع بین ۳۱ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی با متوسط ارتفاع ۲۵۰۰ متر از دریا در بخش مرکزی کوه‌های زاگرس بین استان‌های اصفهان (شمال و شرق)، استان خوزستان (غرب) و کهگیلویه و بویراحمد (جنوب) قرار دارد. وجود ارتفاعات، منابع رطوبتی مختلف و پوشش گیاهی متنوع موجب شده که اقلیم‌های گوناگون از جمله اقلیم مرطوب و معتدل بسیار سرد تا نیمه مرطوب بسیار گرم در این استان وجود داشته باشد. استان چهارمحال و بختیاری به علت ماهیت کوهستانی مرتفع، که در مسیر بادهای مرطوب سیستم‌های مدیترانه‌ای قرار داشته و موجب صعود و تخلیه بار این سامانه‌ها می‌گردد دارای بارش نسبتاً مناسب بوده و

وجود ارتفاعات پوشیده از برف یکی از ویژگی‌های اقلیمی این استان است. ارتفاعات این استان سرچشمه دو رودخانه بزرگ زاینده-رود و کارون می‌باشد و متوسط بارش سالانه استان در حدود ۵۶۰ میلیمتر می‌باشد (سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۱).



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

از آنجا که در استفاده از کلیه مدل‌های بررسی روند ایده‌آل آن است که محاسبات در ایستگاه‌هایی انجام شود که دارای حداقل ۳۰ سال آمار (در شرایط اقلیم پایدار آماری) هستند، در مورد ایستگاه بروجن از آمار بدو تاسیس (۲۰۱۲-۱۹۸۸) استفاده شد و ایستگاه شهرکرد (قدیمی‌ترین ایستگاه استان) طولانی‌ترین بازه را دارد. مشخصات و موقعیت ایستگاه‌ها در جدول ۱ آورده شده است.

جدول (۱) مشخصات و موقعیت ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	بازه زمانی مورد مطالعه	متوسط دما (سانتیگراد)	متوسط بارش (میلیمتر) سالانه
شهرکرد	سینوپتیک	۵۱ ۵۰	۳۲ ۱۷	۲۰۴۹	۱۹۶۶-۲۰۱۲	۱۱/۵	۳۳۰
بروجن	سینوپتیک	۵۱ ۱۸	۳۱ ۵۷	۲۱۹۷	۱۹۸۸-۲۰۱۲	۱۰/۵	۲۵۳

## (۲) آزمون من-کندال

این آزمون در سال ۱۹۴۵ توسط من<sup>۳</sup> ارائه و در سال ۱۹۷۵ توسط کندال<sup>۴</sup> توسعه یافت (زانگ و همکاران، ۲۰۰۰). مطابق با کلیه روش‌های آماری مبنای این روش نیز دارای دو فرضیه صفر (داده‌ها به صورت تصادفی توزیع شده‌اند (روند ندارد)) و یک (داده‌ها دارای روند هستند) و آزمون نمودن آن‌ها بر اساس روش‌هایی خاص و در نهایت پذیرش یکی از دو فرضیه فوق می‌باشد. این آزمون یک آزمون دو طرفه است. در صورتی  $|Z| \leq Za/2$  باشد، در سطح اطمینان  $\alpha$  فرض صفر پذیرفته می‌شود و در غیر این صورت، فرض صفر رد خواهد شد و روند وجود دارد.

## (۳) آزمون Sen's Estimator

<sup>۳</sup> Mann  
<sup>۴</sup> Kendall

تیل<sup>۵</sup> در سال ۱۹۵۰ نتایج مطالعات پیشین سن<sup>۶</sup> را به انجام رساند و آزمون تخمین گر سن را ارائه نمود. در این روش ابتدا شیب بین هر دو جفت داده مشاهداتی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$Q = \frac{x_j - x_k}{j - k} \quad (1)$$

که در آن  $x_j$  و  $x_k$  به ترتیب مقادیر داده‌های مشاهداتی در زمان  $j$  و  $k$  ( $j > k$ ) می‌باشد. با اعمال رابطه فوق برای هر جفت داده یک سری زمانی از شیب‌های محاسبه شده به دست می‌آید. به ازای  $n$  تعداد  $x_j$  تعداد  $N$  تعداد  $Q_i$  وجود خواهد داشت و آزمون سن در واقع از محاسبه میانه  $N$  تعداد  $Q_i$  حاصل می‌گردد. اگر تعداد شیب‌های محاسبه شده ( $N$ ) فرد باشد آنگاه  $Q$  از رابطه ۲ و در صورتی که زوج باشد از رابطه ۳ قابل محاسبه است. مقدار مثبت  $Q$  صعودی بودن و مقدار منفی آن نزولی بودن روند را نشان می‌دهد.

$$Q = Q_{[(N+1)/2]} \quad (2)$$

$$Q = \frac{1}{2} (Q_{[N/2]} + Q_{[(N+2)/2]}) \quad (3)$$

در مرحله بعد باید پارامتر  $C_\alpha$  در سطح اطمینان مورد نظر توسط رابطه زیر محاسبه گردد.

$$C_\alpha = Z_{1-\alpha/2} \sqrt{\text{VAR}(S)} \quad (4)$$

که در رابطه فوق،  $\text{VAR}(S)$  از رابطه ۵ محاسبه می‌گردد.

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} \left[ n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right] \quad (5)$$

که در آن  $n$  تعداد داده‌های مشاهداتی،  $g$  تعداد گره ها و  $tp$  تعداد داده‌ها در  $p$  امین گره می‌باشد. منظور از گره این است که اگر از یک مقدار داده، بیشتر از یکی وجود داشته باشد، این مقادیر مساوی تشکیل یک گره را می‌دهند و  $tp$  تعداد این داده‌های مشابه در گره  $p$  می‌باشد. همچنین  $Z_{1-\alpha/2}$  از توزیع نرمال استاندارد و در یک آزمون دو دامنه بسته به سطح اطمینان مورد آزمون به دست می‌آید. این آماره در سطح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪ به ترتیب برابر با ۱/۹۶ و ۲/۵۸ می‌باشد. سپس حدود اعتماد بالا و پایین  $MI$  و  $M2$  به وسیله روابط زیر محاسبه می‌گردد:

$$M_1 = \frac{N' + C_\alpha}{2} \quad (6)$$

$$M_2 = \frac{N' - C_\alpha}{2} \quad (7)$$

شیب‌های متناظر با  $MI$  و  $M2+1$  به ترتیب حدهای بالا و پایین اطمینان هستند. اگر مقادیر  $MI$  امین و  $M2+1$  امین شیب به گونه‌ای باشد که عدد صفر بین آن‌ها قرار گیرد، به عبارت دیگر یکی مثبت و دیگری منفی باشد، فرض صفر پذیرفته شده و سری زمانی هیچ گونه روندی نخواهد داشت. در غیر این صورت فرض صفر رد و سری زمانی در سطح اطمینان مورد آزمون دارای روند معنادار است. به منظور انجام آزمون‌های روندیابی تشریح شده در بالا، در این تحقیق از ماکرو *MAKESENS 1.0* استفاده شده است که توسط سالمی و همکاران (۲۰۰۲) به منظور کشف و برآورد روند در سری‌های زمانی بارینگی و آلودگی اتمسفر در موسسه هواشناسی فنلاند توسعه یافته است. روش کار بدین صورت است که داده‌های ماهانه ایستگاه‌های سینوپتیک شهرکرد و بروجن

استخراج و از آنجا که در میان پارامترهای تبخیر-تعرق، دما تغییر پذیرترین پارامتر بوده و نسبت به ساعات آفتابی و رطوبت نسبی گستره تغییر وسیع تری دارد دما به عنوان موثرترین پارامتر در معادلات تبخیر-تعرق مورد بررسی قرار گرفت. در مرحله بعد برای هر ایستگاه سری فصلی و سالانه بارش و دما (حداقل، حداکثر و میانگین دما) تهیه گردید و برای هر کدام از سری‌های زمانی ابتدا آماره‌های دو آزمون من-کندال و *Sen's Estimator* محاسبه گردیدند سپس معنی‌داری این آماره‌ها در سطوح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪ مورد آزمون قرار گرفت. پس از تعیین روند دما و بارش در دوره آماری، میزان تغییرات پارامترهای دارای روند برای هر ایستگاه با در نظر گرفتن میانگین متحرک ۵ساله به دست آمد و تغییرات آن مورد مقایسه قرار گرفت. در ادامه از آنجا که برای تعیین نیاز آبی گیاهان نمی‌توان تمام عوامل را یکجا در نظر گرفت و روش‌های بسیار متنوع و گوناگونی وجود دارد که به دلیل متفاوت بودن پارامترهای اصلی هر کدام، نتایج متفاوتی می‌دهند در این مطالعه از نسخه استاندارد شده معادله پنمن-مانتیث-فائو (*FAO56-PM*) که توسط فائو به عنوان روش استاندارد محاسبه  $ET_0$  پذیرفته شده است استفاده گردید. بدین منظور دمای کمینه، دمای بیشینه، متوسط رطوبت نسبی، سرعت باد و مجموع ساعات آفتابی به صورت ماهانه برای ایستگاه‌های مورد نظر استخراج و تبخیر-تعرق پتانسیل ماهانه در دوره گذشته تعیین گردید. در نهایت بارش، دما و تبخیر-تعرق پتانسیل مورد تحلیل قرار گرفت. لازم به ذکر است که اثبات وجود روند در یک سری زمانی به تنهایی نمی‌تواند دلیلی بر وقوع تغییر اقلیم در آینده باشد بلکه احتمال رخداد آن را تقویت می‌نماید (سیرانو و همکاران، ۱۹۹۹).

## نتایج و بحث

آشکارسازی تغییر اقلیم در گذشته به کمک دو آزمون ناپارامتری من-کندال و *Sen's Estimator* در مقیاس فصلی و سالانه برای ۲ ایستگاه سینوپتیک شهرکرد و بروجن صورت گرفت. برای بررسی روند تبخیر-تعرق ابتدا دما به عنوان موثرترین پارامتر در مطالعات اقلیمی مورد بررسی قرار گرفت.

### الف) میانگین کمینه دما

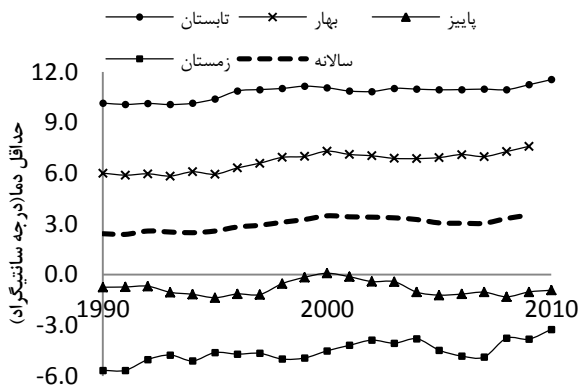
نتایج آزمون‌های روندیابی کمینه دما در ایستگاه شهرکرد نشان می‌دهد که طی سال‌های ۲۰۱۲-۱۹۶۶ این پارامتر در بهار، تابستان، پاییز و نیز در مقیاس سالانه با احتمال ۹۹ درصد روند نزولی معنادار داشته‌است و در مورد ایستگاه سینوپتیک بروجن در سال‌های ۲۰۱۲-۱۹۸۸ متوسط دمای حداقل بهار و تابستانه با احتمال ۹۹ درصد روند صعودی داشته‌است (جدول ۲).

جدول (۲) نتایج آزمون من-کندال و *Sen's Estimator* در سطوح اعتماد ۹۵ و ۹۹ درصد،

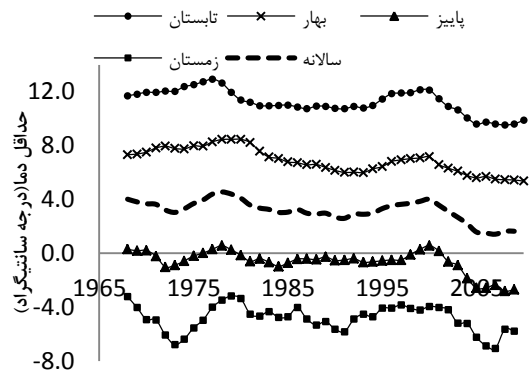
ایستگاه	پارامتر	کمینه دما		بیشینه دما		بارش	
		<i>Sen's Estimator</i>	<i>Mann-kendall</i>	<i>Sen's Estimator</i>	<i>Mann-kendall</i>	<i>Sen's Estimator</i>	<i>Mann-kendall</i>
		<i>Q</i>	<i>Test Z</i>	<i>Q</i>	<i>Test Z</i>	<i>Q</i>	<i>Test Z</i>
شهرکرد	بهار	-۰/۰۵۶**	-۴/۸۲**	-۰/۰۰۸ <sup>ns</sup>	-۰/۵۵ <sup>ns</sup>	-۰/۰۹۲ <sup>ns</sup>	-۰/۶۴ <sup>ns</sup>
	تابستان	-۰/۰۴۴**	-۳/۳۹**	-۰/۰۳۳**	-۲/۹۳**	۰/۰۰۰**	۱/۰۹ <sup>ns</sup>
	پاییز	-۰/۰۵۰**	-۲/۸۲**	-۰/۰۲۷ <sup>ns</sup>	-۱/۳۶ <sup>ns</sup>	۰/۱۰۴ <sup>ns</sup>	۰/۳۸ <sup>ns</sup>
	زمستان	-۰/۰۲۰ <sup>ns</sup>	-۱/۳۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۳۲ <sup>ns</sup>	۱/۲۶ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۸ <sup>ns</sup>	۰/۰۹ <sup>ns</sup>
	سالانه	-۰/۰۳۶**	-۳/۹۷**	-۰/۰۱۱ <sup>ns</sup>	-۱/۲۴ <sup>ns</sup>	-۰/۲۹۶ <sup>ns</sup>	-۰/۲۱ <sup>ns</sup>
بروجن	بهار	۰/۰۷۹**	۳/۲۳**	۰/۰۵۳ <sup>ns</sup>	۱/۵۴ <sup>ns</sup>	۰/۱۰۳ <sup>ns</sup>	۰/۵۷ <sup>ns</sup>
	تابستان	۰/۰۶۲**	۳/۵۳**	۰/۰۲۵ <sup>ns</sup>	۱/۲۲ <sup>ns</sup>	۰/۱۰۳ <sup>ns</sup>	۱/۲۲ <sup>ns</sup>
	پاییز	-۰/۰۱۳ <sup>ns</sup>	-۰/۵۸ <sup>ns</sup>	-۰/۰۰۹ <sup>ns</sup>	-۰/۲۵ <sup>ns</sup>	۰/۲۸۶ <sup>ns</sup>	۰/۳۲ <sup>ns</sup>
	زمستان	۰/۰۷۲ <sup>ns</sup>	۱/۸۵ <sup>ns</sup>	۰/۱۵۰ <sup>ns</sup>	۲/۶۴**	-۰/۲۵۶ <sup>ns</sup>	-۰/۰۷ <sup>ns</sup>
	سالانه	۰/۰۱۷ <sup>ns</sup>	۰/۳۰ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۵ <sup>ns</sup>	۰/۵۵ <sup>ns</sup>	-۶/۷۰۰ <sup>ns</sup>	-۰/۸۹ <sup>ns</sup>

\*در سطح ۹۵٪ معنی دار است. \*\*در سطح ۹۹٪ معنی دار است. <sup>ns</sup> بدون روند معنادار است.

با توجه به اینکه در زمستان روند کاهشی معنادار مشاهده نمی‌شود پس در مورد برخی از محصولات اصلی استان مانند بادام مرحله جوانه‌زنی به علت برآورده شدن نیاز گرمایی گیاه در این مرحله، آغاز خواهد شد و این مساله با در نظر گرفتن روند کاهش دمای بهار در این ناحیه خطر سرمازدگی بهار را افزایش می‌دهد. با در نظر گرفتن کاهش دمای پاییزه و تابستانه می‌توان به افزایش ذخایر آبی در این منطقه امید داشت (شکل ۲). افزایش دمای حداقل در بهار و تابستان در بروجن افزایش نیاز آب در بخش کشاورزی را بیش از پیش آشکار می‌کند (شکل ۳).



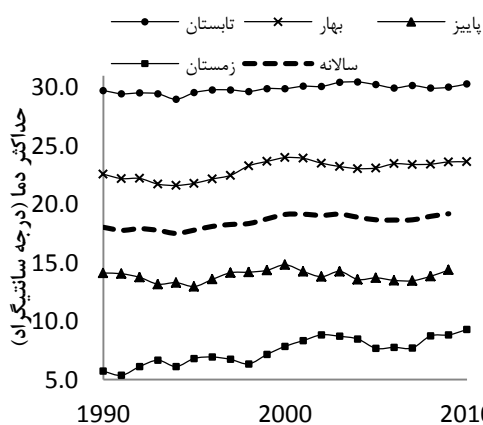
شکل (۳) تغییرات میانگین متحرک ۵ساله، متوسط حداقل دما، بروجن



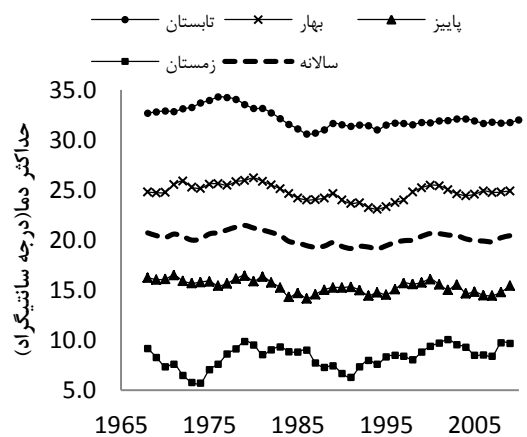
شکل (۲) تغییرات میانگین متحرک ۵ساله متوسط حداقل دما، شهرکرد

### ب) میانگین بیشینه دما

مطابق جدول ۲، تغییرات معنادار دمایی حداکثر دما کمتر از حداقل دما بوده و در شهرکرد تنها در تابستان با احتمال ۹۹ درصد روند نزولی معنادار داشته و در بروجن فقط در زمستان با احتمال ۹۹ درصد روند صعودی معنادار دارد و به نظر می‌رسد این میزان افزایش دمای حداکثر، روند ذوب برف را سرعت بخشیده و خطر وقوع سیلاب در منطقه را افزایش خواهد داد. ملاحظه می‌شود در سایر فصول روند معناداری مشاهده نشد (شکل ۵).



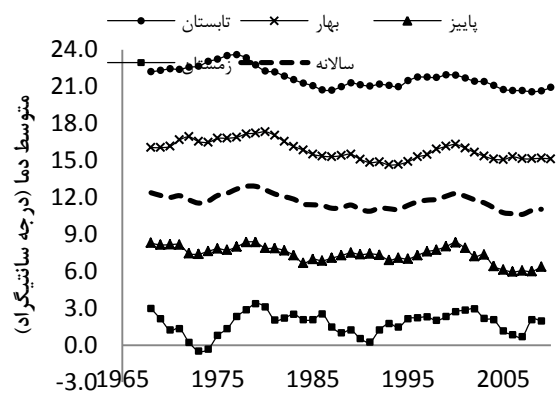
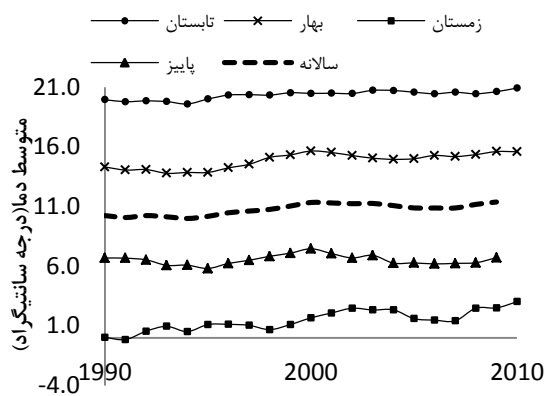
شکل (۵) تغییرات میانگین متحرک ۵ساله متوسط بیشینه دما، بروجن



شکل (۴) تغییرات میانگین متحرک ۵ساله متوسط بیشینه دما، شهرکرد

### ج) میانگین دما

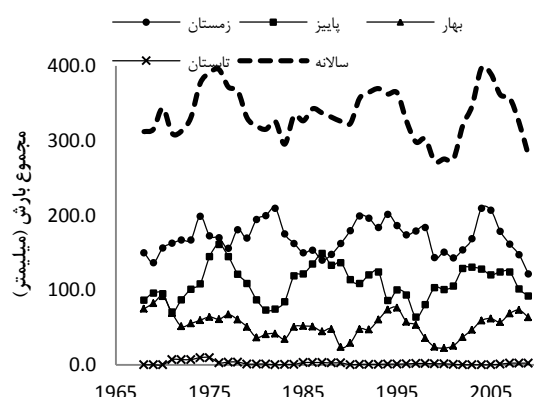
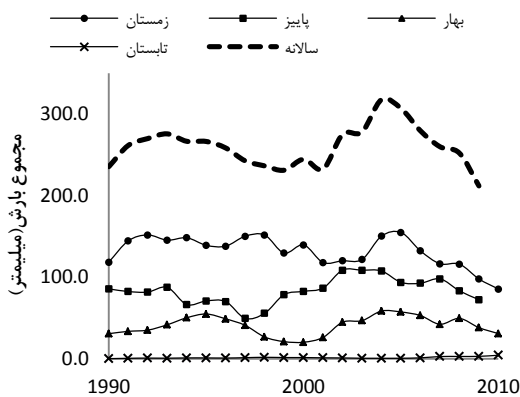
همانگونه که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، متوسط دما در شهرکرد به جز در زمستان در بقیه فصول و نیز در مقیاس سالانه روند معنادار نزولی داشته و در بروجن متوسط دمای بهاره، تابستانه و زمستانه دارای روند صعودی معنادار می‌باشد (شکل ۷).



شکل (۶) تغییرات میانگین متحرک ۵ساله متوسط دما، شهرکرد      شکل (۷) تغییرات میانگین متحرک ۵ساله متوسط دما، بروجن

#### (د) بارش

بررسی روند بارش در شهرکرد و بروجن نشان می‌دهد بارش در مقیاس فصلی و سالانه در هر دو ایستگاه بدون روند بوده و عدم وجود روند معنادار برای بارش در ایستگاه شهرکرد در شکل ۸ قابل مشاهده است. اگرچه طی دوره آماری گذشته وجود روند معنادار دیده نشد اما کاهش بارش به خصوص طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰ مشهود است (شکل ۹).



شکل (۸) تغییرات میانگین متحرک ۵ساله مجموع بارش، ایستگاه بروجن      شکل (۹) تغییرات میانگین متحرک ۵ساله مجموع بارش، ایستگاه شهرکرد

جدول ۵ میزان تغییرات دما برای ایستگاه‌هایی که دارای روند معنی‌دار بودند را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود ایستگاه شهرکرد دارای روند کاهشی و ایستگاه بروجن دارای روند افزایشی می‌باشد.

جدول (۳) میزان تغییرات پارامترهای دارای روند در ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	متوسط دما						حداقل دما				
	بهاره	تابستانه	پاییزه	سالانه	بهاره	تابستانه	پاییزه	سالانه	بهاره	تابستانه	زمستانه
شهرکرد	-۲	-۲	-۱/۵	-۲	۰	-۱	-۳	-۳	-۲	-۲	۰
بروجن	+۲	+۱/۵	۰	+۳	۰	+۱/۵	۰	۰	+۲	۰	+۴

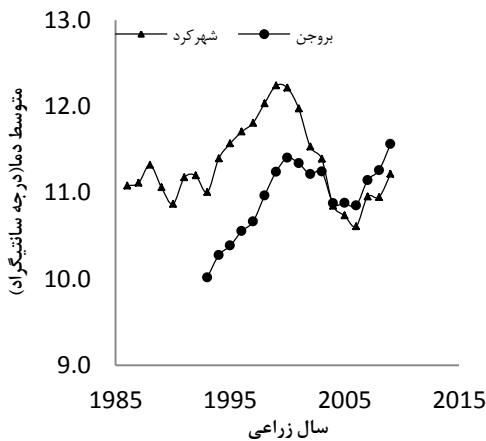


- کاهش دما ، + :افزایش دما O: بدون تغییر

### ۵) تبخیر-تعرق مرجع

پس از تعیین مقادیر تبخیر-تعرق مرجع به منظور تکمیل یافته‌ها، روند تغییرات بارش، میانگین دما و  $ET_0$  در سال زراعی برای ایستگاه‌های شهرکرد، و بروجن مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۴). لازم به ذکر است در ایستگاه شهرکرد به دلیل وجود آمار ناقص در سال‌های پیش از ۱۹۸۳ میلادی، دوره آماری در این قسمت ۲۰۱۲-۱۹۸۳ در نظر گرفته شد. ملاحظه شد که میانگین دما در سال زراعی برای ایستگاه‌های سینوپتیک بروجن به ترتیب با احتمال ۹۹ درصد افزایش و در شهرکرد با احتمال ۹۹ درصد کاهش داشته است. میزان افزایش دما در بروجن و نیز کاهش دما در شهرکرد حدود ۱/۵ درجه سانتی‌گراد به دست آمد (شکل ۱۰). گرچه بارش در هیچ یک از ایستگاه‌ها روند معنادار ندارد اما بررسی داده‌ها، کاهش بارش را طی سال‌های اخیر به خصوص از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۲ نشان می‌دهد.

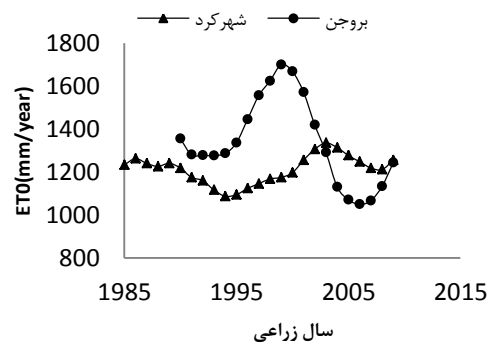
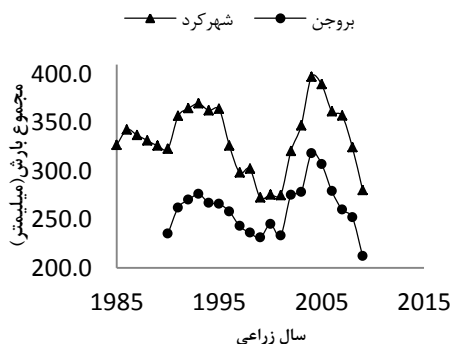
جدول (۴) نتایج آزمون من-کندال و Sen's Estimator در سطوح اعتماد ۹۵ و ۹۹ درصد، سال زراعی



ایستگاه	پارامتر	Mann-kendall Test Z	Sen's Estimator Q
شهرکرد	متوسط دما	-۲/۷۳**	-۰/۰۴۷**
	بارش	-۰/۱۵ <sup>ns</sup>	۰/۱۰۹ <sup>ns</sup>
	$ET_0$	-۰/۳۴ <sup>ns</sup>	۱۰۰/۰ <sup>ns</sup>
بروجن	متوسط دما	۳/۰۴**	۰/۰۶۵**
	بارش	۰/۰۰۷ <sup>ns</sup>	۰/۲۸ <sup>ns</sup>
	$ET_0$	-۰/۸۹ <sup>ns</sup>	۰/۲۷۴ <sup>ns</sup>

شکل (۱۰) روند تغییرات میانگین متحرک ۵ ساله متوسط دما

در حالی که متوسط بارش سالانه در شهرکرد طی دوره ۲۰۱۱-۱۹۸۳ برابر ۳۳۳ میلیمتر می‌باشد متوسط  $ET_0$  در این دوره ۱۱۸۰ میلیمتر (تقریباً ۴ برابر) بوده و در بروجن طی دوره ۲۰۱۱-۱۹۸۸ بارش و تبخیر-تعرق مرجع به ترتیب ۲۵۳ و ۱۳۴۱ میلیمتر در سال زراعی است (شکل‌های ۱۱ و ۱۲). همانطور که مشاهده می‌شود مجموع بارش سالانه در دشت بروجن کمتر از دشت شهرکرد بوده و این در حالی است که متوسط  $ET_0$  در بروجن بیش از شهرکرد است. از سوی دیگر روند افزایش دما در تابستان و بهار در بروجن نیز خطر کمبود منابع آب کافی جهت تامین نیاز آبی محصولات کشاورزی را در این منطقه افزایش می‌دهد.



شکل (۱۱) مقایسه میانگین متحرک ۵ ساله ETO در شهرکرد و بروجن شکل (۱۲) مقایسه میانگین متحرک ۵ ساله بارش در شهرکرد و بروجن

قطره‌سامانی به منظور آشکارسازی تغییرات دما و بارش نسبت به میانگین طی سال‌های ۱۹۶۰-۲۰۰۰ (به ۴ دهه تقسیم شده- است) به این نتیجه رسید که در ایستگاه شهرکرد میانگین حداکثر دما در هر دهه نسبت به دهه قبل کاهش یافته است و در دهه آخر کمتر از میانگین دوره می‌باشد. بر اساس نتایج این تحقیق میانگین حداقل دما در ایستگاه‌های واقع در شمال استان که در دشت قرار دارند مانند شهرکرد کاهش و در بقیه ایستگاه‌ها افزایش دما وجود خواهد داشت که با یافته‌های مطالعه حاضر همخوانی دارد. وی همچنین بیان داشت که تغییرات بارش طی این مدت در کلیه ایستگاه‌ها نوسان زیادی نداشته ولی تغییرات آن نسبت به میانگین در شمال استان کاهش و در جنوب افزایش یافته است و در دهه چهارم نسبت به میانگین دهه سوم در برخی ایستگاه‌ها کاهش و در برخی افزایش داشته است ولی کاهش میزان بارش در سال‌های آخر دهه چهارم تا ۳۰ درصد نیز مشاهده می‌شود. در مطالعه‌ای دیگر رادفر (۱۳۸۴) با بررسی بارش و تبخیر ایستگاه هواشناسی شهرکرد طی سالی ۱۹۸۵-۲۰۰۴ بیان داشت، در حالی که روند عمومی بارش سالانه در منطقه ۰/۰۱٪ در حال کاهش است، میزان تبخیر سالانه حداقل سه برابر بارش سالانه بوده و مشکل جدی برای بخش کشاورزی ایجاد خواهد نمود. همچنین براساس مطالعه‌ای که عزیزی و همکاران (۱۳۸۷) در بازایی تغییر اقلیم در نیمه غربی کشور در دوره آماری ۲۰۰۰-۱۹۵۱ انجام دادند در ایستگاه شهرکرد روند نزولی معنادار برای حداکثر مطلق دمای ماهانه به دست آمد اما متغیر بارش دارای روند معنی‌دار نمی‌باشد.

## نتیجه‌گیری

مساله افزایش دما و کاهش بارش طی سال‌های اخیر در استان چهارمحال و بختیاری کاملاً مشهود بوده و بر اساس نتایج این تحقیق ملاحظه شد که میانگین دما در سال زراعی برای ایستگاه‌های سینوپتیک بروجن با احتمال ۹۹ درصد افزایش و در شهرکرد با همین احتمال کاهش داشته است. میزان افزایش دما در بروجن و نیز کاهش دما در شهرکرد حدود ۱/۵ درجه سانتی‌گراد به دست آمد. به علت روند کاهشی دمای بهاره خطر سرمازدگی بهاره در مورد بادام در دشت شهرکرد افزایش می‌یابد. از سوی دیگر با وجود عدم روند معنادار برای بارش، کاهش میزان بارندگی طی ده سال اخیر در شهرکرد و بروجن مشاهده می‌شود. از آنجا که روند افزایش دما و کاهش بارش به خصوص در دشت بروجن کاملاً مشهود است پس نیاز آبیاری اراضی در این بخش در حال افزایش بوده و لازم به نظر می‌رسد متخصصان امر کشاورزی با ارائه راهکارهای مناسب زمینه افزایش بهره‌وری آب را در منطقه ایجاد نمایند. این‌گونه مطالعات و بررسی تغییرات مقادیر نیاز آبی در شرایط اقلیم آینده جهان، امکان اتخاذ تصمیمات مدیریتی، تعدیل اثرات سوء احتمالی و به کارگیری روش‌های جدید جهت تطبیق (adaption) با شرایط اقلیمی متفاوت را فراهم می‌کند. راهکارهای تطبیقی می‌تواند شامل مواردی از جمله تغییر در برنامه‌ریزی کاشت، تغییر الگوی کشت در مناطقی که در نتیجه گرم‌تر شدن هوا با افزایش نیاز آبی روبه‌رو هستند و یا استفاده از واریته‌های مقاوم‌تر باشد. در این قسمت خاطر نشان می‌شود که با وجود مساحت کم استان به دلیل وجود شرایط خاص جغرافیایی، اقلیم‌های متنوعی در چهارمحال و بختیاری وجود دارد. این مساله از آن جهت حائز اهمیت است که تغییرات به دست آمده پارامترهای اقلیمی فقط مختص همان ایستگاه می‌باشد و قابل تعمیم به تغییرات اقلیم کل استان نیست اما در جهت برنامه‌ریزی‌های آینده به منظور بهره‌روی بهتر در بخش کشاورزی راهگشا خواهد بود.

## منابع

۱. بزرگ‌نیا، ابوالقاسم، نیرومند، حسینعلی (۱۳۸۳)؛ سری‌های زمانی، تهران: انتشارات دانشگاه پیام نور.
۲. حجام، سهراب، خشخو، یونس، شمس‌الدین وندی، رضا (۱۳۸۷)؛ «تحلیل روند بارندگی‌های فصلی و سالانه چند ایستگاه منتخب در: حوضه مرکزی ایران با استفاده از روش‌های ناپارامتری»، فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی، ۶۳: ۱۶۸-۱۵۷
۳. خلیلی‌علی، بذرافشان جواد (۱۳۸۳)؛ تحلیل روند تغییرات بارندگی‌های سالانه، فصلی و ماهانه پنج ایستگاه قدیمی ایران در یکصد و شانزده سال گذشته، نشریه جغرافیا «بیابان»، شماره ۱، جلد ۹: ۳۳-۲۵
۴. رادفر، مهدی (۱۳۸۹)؛ «بررسی تغییرات طولانی مدت بارش و تبخیر و پیامدهای آنها بر وضعیت کشاورزی دشت شهرکرد»، اولین کنفرانس بین‌المللی مدل‌سازی گیاه، آب، خاک و هوا، کرمان

۵. سلطانی، افشین، قلی‌پور، منوچهر (۱۳۸۵)؛ «شبیه سازی اثر تغییر اقلیم بر رشد، عملکرد و مصرف آب نخود»، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۲
۶. سلیمانی ننادگانی، مجید (۱۳۸۹)؛ «بررسی اثر تغییر اقلیم بر نیاز خالص آبیاری گندم مطالعه موردی بهشهر»، پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری زهکشی، عراقی نژاد شهاب، پارسی نژاد مسعود، مساح بوانی غیرضا، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران
۷. شاه‌نقی، نغمه (۱۳۸۹)؛ «ارزیابی اثرات پدیده تغییر اقلیم در برآورد نیاز آبی پتانسیل (مطالعه موردی: دشت گیلان و مشهد)» پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران
۸. عزیزی، قاسم، روشنی، محمود (۱۳۸۷)؛ «مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من-کندال»، فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۴: ۲۸-۱۳
۹. عزیزی، قاسم، شمسی‌پور، علی‌اکبر، یاراحمدی، داریوش (۱۳۸۷)؛ «بازیابی تغییر اقلیم در نیمه غربی کشور با استفاده از تحلیل‌های آماری چند متغیره» فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۶: ۳۵-۱۹
۱۰. علیزاده، امین، سیاری، نسرین، حسامی کرمانی، مسعود رضا، بنایان اول، محمد و فریدحسینی، علی (۱۳۸۹)؛ «بررسی پتانسیل اثرات تغییر اقلیمی بر منابع و مصارف آب کشاورزی (مطالعه موردی: حوضه آبریز رودخانه کشف‌رود)»، نشریه آب و خاک جلد ۲۴: ۸۳۵-۸۱۵
۱۱. قطره سامانی، سعید (۱۳۸۲)؛ «آشکار سازی تغییرات دما و بارش نسبت به میانگین در استان چهارمحال و بختیاری»، سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم
۱۲. کاویانی، محمدرضا، عساکره، حسین (۱۳۸۲)؛ بررسی آماری روند بلند مدت بارش سالانه اصفهان، سومین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم، اصفهان
۱۳. کتیرایی، پری سیما، حجام، سهراب، ایران نژاد، پرویز (۱۳۸۴)؛ بررسی روند تغییرات بارندگی در ایران طی دوره ۱۹۶۰ الی ۲۰۰۱، رساله دکتری هواشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات.
۱۴. یزدان‌خواه، سعید، میرلطیفی، سید مجید (۱۳۸۹)؛ «اهمیت نسبی متغیرهای هواشناسی در برآورد تبخیر-تعرق مرجع در اقلیم‌های مختلف»، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۳۲۹: ۳۱۹-۳۲۹
15. Bihrat Onoz, Mehmetcik Bayazit (2003) "The Power of Statistical Tests for Trend Detection" *Turkish J. Eng. Env.Sci.* 27:251-247
16. Brooks, CE.P. and Carrthers, N (1953) "Handbook of Statistical Methods in Meteorology". London, H.M.S.O. pp: 412
17. Burn, D. H., and Hag Elnur, M. A(2002) "Detection of hydraulic trends and variability." *J. Hydrology.* 255:107-122
18. Burns, D. A., Klaus, J., and McHale, M. R. (2007). "Recent climate trends and implications for water resources in the Catskill Mountain region, New York, USA." *J. Hydrology.*, 336: 155-170.
19. Centritto, M., (2004). "Interactive effects of climate change and water stress: implications for water limited environments.
20. Haverkort, A. J., and Verhagen A.,( 2008). "Climate Change and Its, Repercussions for the Potato Supply Chain". *J. of Potato Research.*vol.51:223-237.
21. Kendall M.G. (1975), *Rank Correlation Methods*, Charles Griffin, London
22. Mann H.B. (1945), *Nonparametric Tests Against Trend*, *Econometrica* 13: 245-259
23. Modarres, R, and Silva, V. P. R( 2007) "Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran." *J. Arid. Enviroments.* 70: 344-355
24. Rodriguez Diaz, J. A., Weatherhead, E. K., Knox, J. W., and Camacho I, E. ( 2007) "Climate change impacts on irrigation water requirements in the Guadalquivir river basin in Spain". *Reg. Journal of Environ Change.*vol.7: 149-159.
25. Sen, P.K. (1968) "Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's tau". *Journal of the American Statistical Association.* 63:1379-1389
26. Serrano, A., Mateos, V.L., and Garcia, J.A(1999) "Trend Analysis of Monthly Precipitation Over the Iberian Peninsula for the Period 1921-1995." *Phys. Chem. EARTH(B).* VOL.24, NO. 1-2:85-90
27. Su, B. D., Jiang, T., and Jin, W. B(2006) "Recent trends in observed temperature and precipitation extremes in the Yangtze River basin, China" *J. Theoretical and Applied Climatology.*: 129-151
28. Thiel, H(1950).A Rank-invariant Method of Linear and Polynomial Regression Analysis, Part 3. *Proceedings of Koninallijke Nederlandse Akademie van Weinenschatpen A.* 53:1397- 1412.
29. Z.X.Xu, K.Takeuchi, H.Ishidaira(2003) "Monitoring Trend Step Changes in Precipitation in Japanese Precipitation". *Journal of hydrology.* 279: 144-150.
30. Zhang, X., Vincent, L. A., Hogg, W.D., and Niitsoo, A. (2000). "Temperature and rainfall trends in Canada during the 20th century." *Atmospheric Ocean.*, 38: 395- 429.