

## تحلیل روند تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از آزمون من-کندال و اسپیرمن در مناطق خشک ایران

علی اکبر سبزی پرور<sup>۱\*</sup> - مجتبی شادمانی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۸۹/۶/۶

تاریخ پذیرش: ۹۰/۳/۲۴

### چکیده

در این تحقیق روند تغییرات زمانی پارامتر تبخیر و تعرق مرجع در مناطق خشک ایران مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور از داده‌های هواشناسی ۱۱ ایستگاه هواشناسی کشور با دوره آماری ۴۱ ساله (۱۹۶۵-۲۰۰۵) استفاده گردید و با بکارگیری دو آزمون غیرپارامتری من-کندال و اسپیرمن، وجود روند معنی‌دار برای سری‌های زمانی ماهانه، سالانه و فصلی در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین جهت کاهش اثر وجود همبستگی ترتیبی بر نتایج آزمون‌ها، از روش TFPW استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که روند تغییرات زمانی تبخیر و تعرق مرجع، برای برخی شهرها افزایشی و برای برخی نیز کاهش یافته است. بیشترین موارد معنی‌داری روند تبخیر و تعرق مرجع ماهانه در ایستگاه بیرجند اتفاق افتاده ولی در ایستگاه‌های بندرعباس، سبزواری و سمنان در مقیاس ماهانه روند معنی‌داری مشاهده نگردید. در سری زمانی با مقیاس سالانه، ایستگاه مشهد بیشترین مقدار روند افزایشی تبخیر تعرق مرجع را با شیب ۷/۵۰ میلی‌متر در سال از خود نشان داد. از طرف دیگر، ایستگاه اصفهان با شیب کاهش ۶/۳۸ میلی‌متر در سال روند نزولی از خود نشان داد. مقایسه عملکرد و توان دو آزمون در سطح معنی‌داری نشان داد که در بیشتر موارد تطابق قابل توجهی در آشکار سازی روند تبخیر و تعرق مرجع توسط دو آزمون وجود داشته است.

**واژه‌های کلیدی:** روند، تبخیر و تعرق مرجع، آزمون من-کندال، آزمون اسپیرمن

### مقدمه

پارامتری نسبت به آزمون‌های غیرپارامتری توان بیشتری در تشخیص روند دارا هستند و هنگام استفاده از آن‌ها بایستی داده‌ها تصادفی (مستقل) و دارای توزیع نرمال باشند. از طرف دیگر آزمون‌های غیرپارامتری در صورت تصادفی بودن داده‌ها قابل استفاده اند و به نرمال بودن داده‌ها حساس نیستند (۱۰، ۱۷، ۳۹). آزمون‌های من-کندال<sup>۳</sup> و اسپیرمن<sup>۴</sup> نمونه‌هایی از آزمون‌های غیرپارامتری هستند که در تحقیقات بررسی روند متغیرهای آب و هواشناسی از آن‌ها استفاده می‌شود. در این رابطه می‌توان به تحقیقات جلنز (۱۶)، کاهیا و کالایسی (۲۰)، گادگیل و دورده (۱۴)، لی و همکاران (۲۵) و یانینگ و همکاران (۳۷) اشاره نمود. مقایسه توان دو آزمون من-کندال و اسپیرمن جهت تشخیص روندها، توسط محققانی مانند دانیل (۱۲) و یو همکاران (۳۸) انجام گرفته و نتایج حاکی از توان مشابه دو آزمون مذکور بوده است.

مطالعات اخیر تغییر اقلیم، غالباً بر تغییرپذیری دما و بارندگی

امروزه، گرمایش جهانی در نتیجه افزایش گازهای گلخانه‌ای و اثر آن بر تغییر اقلیم، واقعیتی علمی است که مورد توافق محققان بسیاری قرار گرفته است (۱۹). تقریباً همه فرایندها در بیوسفر تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار گرفته و نگرانی عمده در خصوص اثر این پدیده بر محیط و منابع آب است (۴). جهت آمادگی در برابر اثرات نامطلوب پدیده تغییر اقلیم و کاهش خسارت‌های ناشی از آن بررسی روندها و تغییرات معمول در متغیرهای آب و هواشناسی در هر منطقه اقدامی ضروری است تا اینکه سیاست‌ها و برنامه‌های مناسبی برای توسعه و مدیریت منابع آب اتخاذ گردد (۴، ۱۰ و ۲۶).

جهت تشخیص روند در سری‌های زمانی متغیرهای آب و هواشناسی از آزمون‌ها مختلفی استفاده می‌گردد که این آزمون‌ها به دو دسته پارامتری و غیر پارامتری قابل تفکیک می‌باشند. آزمون‌های

۱-۲ دانشیار و دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی،

دانشگاه بوعلی سینا همدان

(Email: swsabzi@basu.ac.ir)

\*- نویسنده مسئول:

کاهش  $ET_0$  در مقیاس سالانه و فصلی گزارش شده است (۱). در تحقیق دیگری طبری و همکاران (۳۰) روند تبخیر و تعرق گیاه مرجع برای ۲۰ ایستگاه سینوپتیک واقع در غرب کشور را بررسی نمودند. نتایج آنها نشان داد که تبخیر و تعرق مرجع از روندهای افزایشی و کاهشی برخوردار بوده که در ۷۰ درصد ایستگاه‌ها روند  $ET_0$  در مقیاس سالانه افزایشی بوده و همچنین روندهای افزایشی بیشتر در فصول زمستان و تابستان اتفاق افتاده است. همچنین بررسی روند تبخیر و تعرق مرجع توسط گل کار حمزی یزد (۳) برای ۳۳ ایستگاه سینوپتیک کشور در دو دوره آماری بلندمدت (۴۰ ساله) و کوتاه مدت (۲۰ ساله) صورت گرفته است. نتایج حاکی از آن است که در دوره آماری ۴۰ ساله، به طور میانگین ۳۸ درصد از ایستگاه‌ها دارای روند مثبت و ۶۲ درصد دارای روند منفی و در دوره آماری ۲۰ ساله، ۶۲/۵ درصد ایستگاه دارای روند مثبت و ۳۷/۵ درصد دارای روند منفی بوده‌اند که با کاهش طول دوره آماری از سطوح دارای روند منفی کاسته شده و به سطوح دارای روند مثبت افزوده شده است.

با توجه به اهمیت بالای تبخیر و تعرق مرجع، هدف از این تحقیق بررسی تغییرات زمانی این متغیر، در ایستگاه‌های مهم مناطق خشک ایران، با بکارگیری آزمون‌های من-کندال و اسپیرمن بوده است. مقادیر شیب روندهای معنی‌دار نیز با استفاده از روش سن و سیل<sup>۴</sup> (۲۹ و ۳۱) تعیین گردیده است. همچنین توان دو آزمون مذکور در تشخیص وجود روند در سری‌های زمانی تبخیر و تعرق مرجع مورد ارزیابی قرار گرفته است. از برتری‌های دیگر این تحقیق آن است که برخلاف تحقیقات گذشته در کشور، در سری‌های زمانی وجود همبستگی ترتیبی در سطح اطمینان ۹۵ درصد نیز بررسی شده و در موارد معنی‌دار بودن همبستگی ترتیبی برای کاهش اثر آن در نتایج آزمون‌ها، از روش  $T_{FPW}$ <sup>۵</sup> استفاده گردیده است.

## مواد و روش‌ها

**منطقه مورد مطالعه:** برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق گیاه مرجع در مناطق نیمه خشک ایران، از آمار ماهانه بلند مدت ۴۱ ساله (۱۹۶۵ تا ۲۰۰۵ میلادی) ۱۱ ایستگاه هواشناسی منتخب استفاده شد (شکل ۱). ایستگاه‌های مذکور بر اساس شاخص خشکی<sup>۶</sup> (AI) جزو مناطق خشک ایران محسوب می‌شوند ( $0/۰۵ < AI < ۰/۲۰$ ). مشخصات جغرافیایی و شاخص خشکی این ایستگاه‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. رابطه شاخص خشکی بصورت زیر است (۳۲ و ۳۳):

$$AI = \frac{P}{ETp} \quad (1)$$

متمرکز شده است. تبخیر و تعرق گیاه مرجع ( $ET_0$ ) بعنوان یکی از پارامترهای مهم اقلیمی که نقش اساسی در کنترل موازنه جرم<sup>۲</sup> و انرژی بین اکوسیستم‌های زمینی و اتمسفر ایفا می‌کند، از توجه کمتری برخوردار بوده است (۱۱).

بندی‌پودهایی و همکاران (۶) در بررسی روند تبخیر و تعرق گیاه مرجع در کشور هند، با استفاده از آزمون من-کندال و آمار ۱۳۳ ایستگاه در دوره آماری ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۲، وجود روند کاهشی در منطقه مورد مطالعه را تعیین کردند. آنها دلیل این کاهش را افزایش معنی‌دار رطوبت نسبی و همچنین کاهش سرعت باد بیان داشتند. روند تبخیر و عوامل تأثیرگذار بر آن در کانادا نشان دهنده روند کاهشی تبخیر در فصل گرم (ماه‌های اکتبر، اوت، ژوئن و ژوئیه) و روند کاهشی سرعت باد بود (۸). در تحقیق دیگری گاریچت و همکاران (۱۵) در کشور آمریکا روند بارندگی، جریان سیلابی و تبخیر و تعرق را بررسی نمودند. آن‌ها نشان دادند که در دو دهه اخیر در قرن بیستم، افزایش بارندگی اثر قابل توجهی بر افزایش میزان جریان سیلابی داشته و همچنین باعث افزایش کمتر میزان تبخیر تعرق شده است.

بررسی‌ها در مناطق کم ارتفاع مرکز اروپا حاکی از روند افزایشی تبخیر و تعرق پتانسیل به مقدار ۹۸ میلی‌متر و از طرفی روند کاهشی رطوبت نسبی به مقدار ۵/۹ درصد در دوره ۱۹۹۵-۱۹۰۰ بوده است (۴۱). در مطالعه دنسنگ و همکاران (۱۳) به روش‌های خطی و من-کندال در شمال شرق چین، روند افزایشی سالانه بارندگی (۱/۷ میلی‌متر در سال)، دما (۰/۰۴ درجه سانتیگراد در سال)، شاخص رطوبت (۰/۲۲ در سال) و تبخیر و تعرق پتانسیل (۰/۷۴ میلی‌متر در سال) در طول دوره ۲۰۰۴-۱۹۶۱ اتفاق افتاده است. در تحقیق دیگری که توسط سو و همکاران (۳۵) در حوضه چانگ‌جیانگ در کشور چین انجام گرفت، روند کاهشی سالانه تبخیر و تعرق گیاه مرجع و تبخیر از تشت گزارش گردیده که دلایل اصلی این روند مربوط به روند کاهشی متغیرهای تابش خالص خورشیدی و سرعت باد بوده است.

شیر غلامی و همکاران (۲) به منظور بررسی روند تبخیر و تعرق گیاه مرجع در ایران، تبخیر و تعرق گیاه مرجع را به روش پنمن-مانتیت فائو<sup>۳</sup> در ۳۴ ایستگاه سینوپتیک از بدو تاسیس ایستگاه تا سال ۱۹۹۸ محاسبه و روند تغییرات طولانی مدت آن را به روش کمترین مربعات خطا مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که ایستگاه‌های سینوپتیک مشهد، سبزوار، تربت حیدریه و بیرجند از هیچ گونه روند معنی داری برخوردار نبوده‌اند. همچنین در بررسی دیگر تغییر اقلیم در شمال شرق ایران در دوره آماری ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۵ (با استفاده از آزمون من-کندال و حداقل مربعات خطا)، افزایش و

4- Sen-Thiel  
5- Trend Free Pre-Whitening  
6- Aridity Index

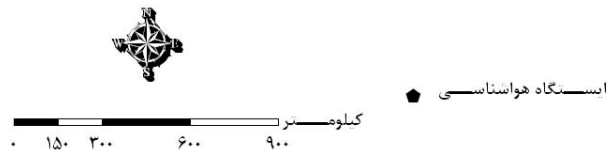
1- Reference Crop Evapotranspiration  
2- Mass exchange  
3- Penman Monteith FAO 56: PMF-56

$$ET_0 = \frac{0.480\Delta(R_n - G) + \gamma[900/(T + 273)]U_2(e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (2)$$

که در این رابطه،  $R_n$  مقدار تابش خالص (مگاژول بر مترمربع در روز)،  $T$  متوسط دمای هوا (درجه سانتی گراد)،  $U_2$  سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (متر بر ثانیه)،  $\Delta$  شیب منحنی فشار بخار (کیلو پاسکال بر درجه سانتی گراد)،  $G$  چگالی شار حرارتی خاک و  $\gamma$  ضریب سایکرومتری (کیلو پاسکال بر درجه سانتی گراد) است.

که در رابطه فوق  $AI$  شاخص خشکی،  $P$  مقدار میانگین بارندگی،  $ET_p$  مقدار میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل می باشد.

**مدل پنمن-مانتیت فائو ۵۶ (PMF-56):** در این تحقیق به منظور برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع از روش استاندارد پنمن-مانتیت فائو ۵۶ که توسط آلن و همکاران (۵) ارائه گردیده، استفاده گردید:



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی و شاخص خشکی ایستگاه‌های مورد استفاده

ردیف	نام ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	عرض جغرافیایی (شمالی)	طول جغرافیایی (شرقی)	میانگین بارندگی سالانه (mm)	شاخص خشکی ( $P/ET_0$ )
۱	اهواز	۲۲/۵	۳۱°۲۰'	۴۸°۴۰'	۲۴۲	۰/۱۱
۲	بندرعباس	۹/۸	۲۷°۱۳'	۵۶°۲۲'	۱۸۱	۰/۱۰
۳	بیرجند	۱۴۹۱/۰	۳۲°۵۲'	۵۹°۱۲'	۱۶۹	۰/۰۹
۴	بوشهر	۱۹/۶	۲۸°۵۹'	۵۰°۵۰'	۲۶۷	۰/۱۴
۵	اصفهان	۱۵۵۰/۴	۳۲°۳۷'	۵۱°۴۰'	۱۲۳	۰/۰۸
۶	کاشان	۹۸۲/۳	۳۳°۵۹'	۵۱°۲۷'	۱۳۸	۰/۱۲
۷	کرمان	۱۷۵۴/۸	۳۰°۱۵'	۵۶°۵۸'	۱۴۲	۰/۰۷
۸	مشهد	۹۹۹/۲	۳۶°۱۶'	۵۹°۳۸'	۲۵۹	۰/۱۸
۹	سبزوار	۹۷۷/۶	۳۶°۱۲'	۵۷°۴۳'	۱۹۷	۰/۱۰
۱۰	سمنان	۱۱۳۰/۸	۳۵°۳۵'	۵۳°۳۳'	۱۴۰	۰/۱۰
۱۱	شیراز	۱۴۸۴/۰	۲۹°۳۲'	۵۲°۳۶'	۳۳۶	۰/۱۸

این آزمون فرض صفر ( $H_0$ )، یکنواختی توزیع و مستقل بودن داده‌ها در سری زمانی است و فرض مقابل ( $H_1$ )، روند افزایشی یا کاهش‌ی داده‌ها در سری زمانی است (۳۸). جهت تعیین مقدار آماره اسپیرمن از روابط زیر استفاده می‌گردد:

$$D = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (R(X_i) - i)^2}{n(n^2 - 1)} \quad (7)$$

$$Z_S = D \sqrt{\frac{n-2}{1-D^2}} \quad (8)$$

که در این روابط  $R(X_i)$  رتبه  $i$  امین داده مشاهده‌ای  $X_i$ ،  $n$  تعداد داده‌های آموزشی (طول دوره آماری)،  $Z_S$  مقدار آماره اسپیرمن می‌باشد. مقدار  $Z_S$  با مقدار بحرانی توزیع  $t$  (۲/۰۲) که با لحاظ نمودن درجه آزادی  $n-2$  (۳۹) و سطح معنی‌داری ۹۵ درصد، بدست آمده مقایسه می‌گردد. عبارت دیگر اگر  $|Z_S| > 2.02$  باشد، فرض صفر رد شده و روند در سری داده‌ها معنی‌دار و در غیر این صورت معنی‌دار نمی‌باشد. در این تحقیق برای تعیین آماره اسپیرمن از نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

در این تحقیق با توجه به غیرپارامتری بودن دو آزمون من-کندال و اسپیرمن، از روش سن و سیل (۲۹ و ۳۱) جهت تعیین مقدار شیب روندها استفاده گردید. در این روش مقادیر پرت<sup>۱</sup> موجود در سری داده‌ها، اثر کمی در تعیین شیب روند دارند که مزیت و برتری اصلی آن نسبت به روش رگرسیون خطی می‌باشد (۳۸).

$$\beta = \text{Median} \left[ \frac{X_j - X_i}{j - i} \right] \quad j > i \quad \text{برای هر } i \quad (9)$$

در این رابطه  $X_i$  و  $X_j$  به ترتیب  $i$  امین و  $j$  امین داده مشاهده‌ای و  $\beta$  مقدار شیب می‌باشد که مقدار  $\beta$  بعنوان میانه دنباله مقادیر داخل گروه، معرفی شده است.

شرط لازم برای استفاده از آزمون‌های غیرپارامتری تصادفی بودن داده‌ها در سری زمانی می‌باشد. بر اساس مطالعات انجام شده وجود همبستگی ترتیبی<sup>۲</sup>، احتمال تشخیص روند معنی‌دار توسط آزمون را افزایش می‌دهد. به عبارت دیگر ممکن است آزمون حتی در صورت نبودن روند، به اشتباه فرض صفر را رد کند و روند را معنی‌دار تشخیص دهد. بنابراین قبل از استفاده از آزمون، بایستی اثر همبستگی ترتیبی محدود (کمتر) گردد (۳۴ و ۳۹). بدین منظور روش‌های مختلفی ارائه شده است که می‌توان به  $PW$  (۲۲)،  $VC$  (۱۷) و  $TFPW$  (۳۹) اشاره نمود. روش  $TFPW$  از دو روش مذکور

همچنین  $e_a - e_h$  کمبود فشار بخار (کیلو پاسکال) است که تابعی از متوسط رطوبت نسبی برحسب درصد و متوسط دمای هوا (درجه سانتی‌گراد) می‌باشد. در موارد عدم وجود داده مورد نظر، با استفاده از ایستگاه‌های مجاور و ایجاد همبستگی مناسب اقدام به برآورد داده ثبت نشده گردید. تغییرات در متغیر تبخیر و تعرق مرجع برای هر سال، هر فصل و هر ماه به طور جداگانه محاسبه و تعیین شد که بدین منظور از نرم‌افزار REF-ET استفاده گردید.

**آزمون‌های آماری بکار رفته:** به منظور تعیین روند تغییرات در هر سری زمانی از دو آزمون من-کندال و اسپیرمن استفاده شد. آزمون من-کندال آزمونی غیر پارامتری رتبه‌ای است که توسط من (۲۷) و کندال (۲۱) ارائه شده است و برای تعیین معنی‌داری روندهای خطی و غیر خطی مناسب می‌باشد (۱۸ و ۲۵). در این آزمون فرض صفر ( $H_0$ ) و فرض مقابل ( $H_1$ ) به ترتیب معادل بدون روند و وجود روند در سری زمانی داده‌های مشاهده‌ای است. روابط مربوطه جهت تعیین مقادیر آماره من-کندال بصورت زیر است:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (3)$$

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & \text{اگر } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{اگر } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{اگر } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (4)$$

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

$$Z_M = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{اگر } S > 0 \\ 0 & \text{اگر } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{اگر } S < 0 \end{cases} \quad (6)$$

که در روابط فوق  $n$  تعداد داده مشاهده‌ای (طول دوره آماری)،  $X_i$  و  $X_j$  به ترتیب  $i$  امین و  $j$  امین داده مشاهده‌ای، و  $q$  تعداد گروه‌های ایجاد شده (با داده‌های برابر و بیشتر از دو عضو)،  $t_p$  تعداد داده‌های برابر در  $p$  امین گروه و  $Z_M$  مقدار آماره من-کندال می‌باشد. مقدار منفی  $Z_M$  بیانگر روند کاهش و مقدار مثبت آن نشان دهنده روند افزایشی در سری داده‌ها می‌باشد. با توجه به سطح معنی‌دار ۹۵ درصد اگر  $|Z_M| > 1.96$  باشد، فرض صفر رد شده و سری زمانی پارامتر مورد مطالعه دارای روند معنی‌دار و در غیر این صورت فاقد روند ارزیابی می‌شود. در این تحقیق جهت تعیین آماره من-کندال، نرم‌افزار Excel بکار گرفته شد.

آزمون اسپیرمن مشابه من-کندال آزمون غیر پارامتری است. در

- 1- Outlier
- 2- Serial correlation
- 3- Pre-Whitening
- 4- Variance Correlation

کرمان نیز در ماه‌های ژوئن تا اکتبر روند کاهش (معنی‌دار) وجود داشته است. در ایستگاه مشهد نیز در ماه‌های ژانویه، ژوئیه، اکتبر و نوامبر به میزان تبخیر و تعرق مرجع در دوره مورد مطالعه افزوده شده است. در دیگر ایستگاه‌های مورد مطالعه، در ماه‌های محدودی از سال روند های معنی‌دار اتفاق افتاده است (جدول ۲ و ۳).

همانطور که در قسمت مواد و روشها ذکر شد مقادیر شیب روندها (در ماه‌های سال) با استفاده از روش سن و سیل محاسبه گردید که در جدول ۴ ارائه شده است. با توجه به نتایج بدست آمده از میزان مقادیر روندهای معنی‌دار (جدول ۴) می‌توان بیان نمود که روندهای معنی‌دار اتفاق افتاده در ایستگاه‌های اصفهان، بیرجند، کرمان و مشهد در مقایسه با سایر ایستگاه‌ها، دارای شیب قابل توجهی بوده‌اند. بیشترین مقدار روند افزایشی تبخیر و تعرق مرجع ماهانه ۱/۰۰ میلیمتر در ماه در ایستگاه مشهد و ماه ژوئیه بوده و همچنین بیشترین مقدار کاهش در آن در ایستگاه اصفهان و در ماه اوت به میزان ۱/۵۴ میلیمتر در ماه بوده است (شکل ۲). با بررسی‌های به عمل آمده مشخص گردید که روند افزایشی در ایستگاه مشهد (ماه ژوئیه) به دلیل معنی‌داری روند صعودی دما و سرعت باد بوده و دلیل وجود روند کاهش (ET<sub>0</sub>) در اصفهان (ماه اوت) نیز مربوط به معنی‌دار بودن روند نزولی سرعت باد بوده است. این نتایج مشابه نتایج طبری و همکاران (۳۰) و گل کار حمزی یزد (۳) می‌باشد که در آن هر دو روند افزایشی و کاهش تبخیر و تعرق ماهیانه گزارش شده است. نتایج جداول ۲ و ۳ نشان می‌دهد که در بررسی‌های ماهیانه، روندهای معنی‌دار (افزایشی و کاهش) در ماه‌های سپتامبر، اکتبر و نوامبر (فصل پاییز) بیشتر از بقیه ماه‌ها بوده است.

نتایج بهتری در حذف اثر همبستگی ترتیبی ارائه داده است (۴۰ و ۴۲) و محققان زیادی (۴، ۷، ۹، ۲۳، ۲۴، ۲۸ و ۳۶) از آن استفاده کرده‌اند. در این تحقیق برای بررسی روند سری‌های زمانی که در آن‌ها همبستگی ترتیبی در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بود، از روش TFPW استفاده گردید. مراحل مربوط به این روش بصورت زیر است:

۱. حذف روند موجود در سری زمانی داده‌ها که از روش سن-سیل بدست آمده است.

۲. محاسبه خودهمبستگی با یک تاخیر زمانی برای سری زمانی مرحله یک و سپس حذف آن

۳. افزودن دوباره روند به سری زمانی مرحله دو

در این تحقیق پس از بررسی وجود همبستگی ترتیبی در سری‌های زمانی مختلف (با استفاده از نرم افزار SPSS)، مراحل روش TFPW در محیط نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

## نتایج و بحث

### سری زمانی ماهانه: نتایج بدست آمده از بکارگیری آزمون-

های من-کندال و اسپیرمن برای تعیین روند تبخیر و تعرق مرجع ماهانه مشابه هم بوده و در جداول ۲ و ۳ ارائه گردیده است. همانطور که در این جداول ملاحظه می‌گردد تبخیر و تعرق مرجع در ماه‌های مختلف دارای روند افزایشی یا کاهش بوده است. در ایستگاه‌های بندرعباس، سبزوار و سمنان در ماه‌های مختلف سال، روند معنی‌داری وجود نداشته است. روندهای معنی‌دار ماهانه در ایستگاه بیرجند در ماه‌های ژانویه، مارس و مه و همچنین ماه‌های اوت تا دسامبر نیز از نوع کاهش بوده است (جدول ۲ و ۳). ایستگاه اصفهان در ماه‌های ژوئن تا اکتبر و دسامبر با روند کاهش مواجه بوده و در ایستگاه

جدول ۲- مقادیر آماره من-کندال (Z<sub>M</sub>) برای سری زمانی تبخیر و تعرق مرجع در مقیاس ماهیانه

ایستگاه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
اهواز	۰/۰۹ <sup>b</sup>	۲/۵۱ <sup>a</sup>	-۰/۸۲ <sup>b</sup>	۰/۰۶	-۰/۰۴	۰/۶۶	۱/۸۵	۱/۶۴ <sup>b</sup>	-۰/۰۱ <sup>b</sup>	-۱/۱۴ <sup>b</sup>	۱/۱۴	-۰/۱۶ <sup>b</sup>
بندر عباس	-۱/۰۰ <sup>b</sup>	۰/۵۶	-۱/۱۶ <sup>b</sup>	۰/۴۹ <sup>b</sup>	-۰/۰۳ <sup>b</sup>	۱/۱۵ <sup>b</sup>	۰/۳۸ <sup>b</sup>	-۰/۲۸ <sup>b</sup>	-۰/۹۸ <sup>b</sup>	-۰/۳۴ <sup>b</sup>	-۰/۴۶ <sup>b</sup>	-۰/۹۳ <sup>b</sup>
بیرجند	-۲/۲۶ <sup>a</sup>	۰/۷۳ <sup>b</sup>	-۲/۳۴ <sup>a</sup>	-۱/۶۵ <sup>b</sup>	-۲/۳۸ <sup>ab</sup>	-۱/۸۰ <sup>b</sup>	-۱/۶۰ <sup>b</sup>	-۲/۴۵ <sup>ab</sup>	-۲/۸۴ <sup>ab</sup>	-۴/۳۷ <sup>ab</sup>	-۲/۷۴ <sup>ab</sup>	-۲/۳۶ <sup>ab</sup>
بوشهر	-۲/۱۸ <sup>a</sup>	-۰/۳۴ <sup>b</sup>	-۲/۱۸ <sup>a</sup>	-۰/۱۰ <sup>b</sup>	۰/۴۹	۰/۰۶ <sup>b</sup>	-۱/۸۹ <sup>b</sup>	-۰/۷۱	-۰/۷۲	-۲/۰۹ <sup>a</sup>	-۱/۵۲	-۳/۶۸ <sup>ab</sup>
اصفهان	-۰/۱۸	۱/۱۱ <sup>b</sup>	-۱/۸۱ <sup>b</sup>	-۱/۰۷	-۱/۷۱ <sup>b</sup>	-۴/۷۳ <sup>ab</sup>	-۴/۳۶ <sup>ab</sup>	-۴/۸۱ <sup>ab</sup>	-۲/۷۴ <sup>ab</sup>	-۲/۰۳ <sup>ab</sup>	-۱/۶۲	-۲/۹۲ <sup>ab</sup>
کاشان	۱/۱۵ <sup>b</sup>	۰/۷۳ <sup>b</sup>	-۰/۵۲	-۰/۶۹ <sup>b</sup>	۰/۳۷ <sup>b</sup>	۰/۱۰ <sup>b</sup>	۰/۰۳ <sup>b</sup>	۰/۲۰ <sup>b</sup>	۱/۷۱ <sup>b</sup>	۱/۱۸	۲/۰۶ <sup>a</sup>	-۰/۶۷
کرمان	۰/۴۸ <sup>b</sup>	۱/۸۹ <sup>b</sup>	-۰/۴۰ <sup>b</sup>	-۰/۷۵ <sup>b</sup>	-۱/۶۴ <sup>b</sup>	-۲/۰۳ <sup>ab</sup>	-۲/۳۰ <sup>ab</sup>	-۲/۸۰ <sup>ab</sup>	-۳/۲۰ <sup>ab</sup>	-۲/۶۹ <sup>ab</sup>	-۱/۱۲ <sup>b</sup>	-۱/۹۳ <sup>b</sup>
مشهد	۲/۰۸ <sup>ab</sup>	۱/۸۹ <sup>b</sup>	۱/۱۷ <sup>b</sup>	۱/۱۱ <sup>b</sup>	۰/۸۸ <sup>b</sup>	۱/۷۳ <sup>b</sup>	۳/۳۸ <sup>ab</sup>	۱/۷۹ <sup>b</sup>	۱/۸۲ <sup>b</sup>	۲/۰۸ <sup>ab</sup>	۲/۱۵ <sup>ab</sup>	۱/۸۲ <sup>b</sup>
سبزوار	۰/۸۴ <sup>b</sup>	۱/۲۵	-۰/۱۳ <sup>b</sup>	۰/۱۶	۰/۴۹ <sup>b</sup>	۰/۸۷ <sup>b</sup>	-۰/۰۸ <sup>b</sup>	-۰/۰۴ <sup>b</sup>	۱/۸۸ <sup>b</sup>	۱/۰۷ <sup>b</sup>	-۱/۶۵ <sup>b</sup>	-۰/۷۶
سمنان	۰/۳۷ <sup>b</sup>	۰/۴۴ <sup>b</sup>	۰/۵۱ <sup>b</sup>	۰/۷۱ <sup>b</sup>	۱/۰۵ <sup>b</sup>	۱/۶۳ <sup>b</sup>	۱/۷۵ <sup>b</sup>	۱/۶۶ <sup>b</sup>	۰/۶۴ <sup>b</sup>	۰/۰۱ <sup>b</sup>	۰/۵۱ <sup>b</sup>	۱/۴۷ <sup>b</sup>
شیراز	۰/۲۹	۰/۶۷	-۰/۷۵ <sup>b</sup>	۱/۰۱ <sup>b</sup>	۰/۹۰ <sup>b</sup>	-۰/۷۱	۰/۹۴ <sup>b</sup>	-۱/۳۹ <sup>b</sup>	-۲/۰۳ <sup>ab</sup>	-۲/۱۱ <sup>ab</sup>	-۱/۵۱	-۱/۶۴ <sup>b</sup>

a معنی‌داری روند با سطح معنی‌داری ۹۵ درصد و b سری زمانی بعد از استفاده از روش TFPW

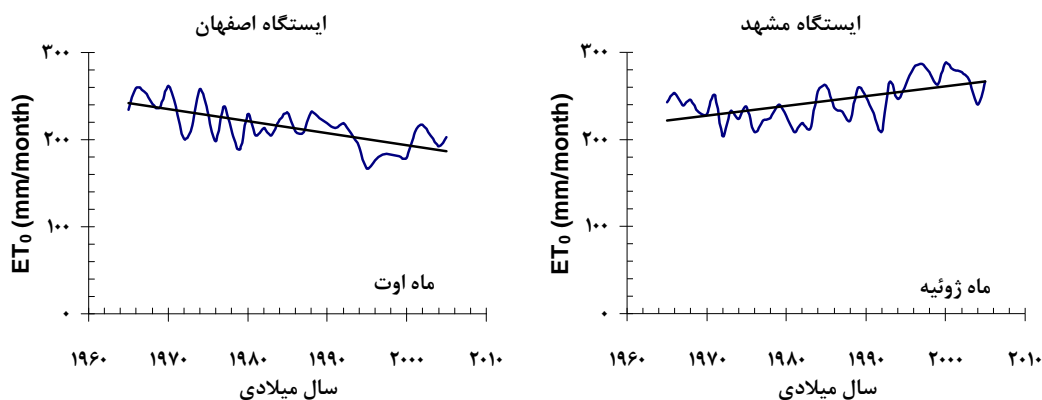
جدول ۳- مقادیر آماره اسپیرمن ( $Z_S$ ) برای سری زمانی تبخیر و تعرق مرجع در مقیاس ماهیانه

ایستگاه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
اهواز	۰/۱۳ <sup>b</sup>	۲/۵۹ <sup>a</sup>	-۰/۹۸ <sup>b</sup>	-۰/۰۵	-۰/۰۴	۰/۳۶	۱/۹۷	۱/۶۳ <sup>b</sup>	۰/۰۵ <sup>b</sup>	-۱/۲۹ <sup>b</sup>	۱/۰۱	-۰/۳۷ <sup>b</sup>
بندر عباس	-۱/۱۹ <sup>b</sup>	۰/۶۶	-۱/۲۳ <sup>b</sup>	۰/۳۹ <sup>b</sup>	-۰/۰۸ <sup>b</sup>	۱/۰۸ <sup>b</sup>	۰/۲۸ <sup>b</sup>	-۰/۱۹ <sup>b</sup>	-۱/۰۸ <sup>b</sup>	-۰/۴۹ <sup>b</sup>	-۰/۳۹ <sup>b</sup>	-۰/۸۳ <sup>b</sup>
بیرجند	-۲/۱۷ <sup>a</sup>	۰/۶۸ <sup>b</sup>	-۲/۴۸ <sup>a</sup>	-۱/۷۵ <sup>b</sup>	-۲/۶۴ <sup>ab</sup>	-۱/۹۵ <sup>b</sup>	-۱/۶۳ <sup>b</sup>	-۲/۴۰ <sup>ab</sup>	-۲/۱۸ <sup>ab</sup>	-۵/۷۳ <sup>ab</sup>	-۲/۹۳ <sup>ab</sup>	-۲/۶۵ <sup>ab</sup>
بوشهر	-۲/۲۴ <sup>a</sup>	-۰/۴۱ <sup>b</sup>	-۲/۵۶ <sup>a</sup>	-۰/۲۱ <sup>b</sup>	۰/۵۸	۰/۱۵ <sup>b</sup>	-۱/۸۷ <sup>b</sup>	-۰/۸۳	-۰/۶۹	-۲/۲۳ <sup>a</sup>	-۱/۴۵	-۴/۲۷ <sup>ab</sup>
اصفهان	-۰/۳۳	۱/۳۳ <sup>b</sup>	-۱/۸۹ <sup>b</sup>	-۱/۰۸	-۱/۵۹ <sup>b</sup>	-۵/۵۲ <sup>ab</sup>	-۵/۵۶ <sup>ab</sup>	-۶/۲۸ <sup>ab</sup>	-۲/۸۷ <sup>ab</sup>	-۱/۹۶ <sup>b</sup>	-۱/۶۸	-۳/۱۹ <sup>ab</sup>
کاشان	۰/۲۶ <sup>b</sup>	۰/۷۳ <sup>b</sup>	-۰/۴۸	-۰/۶۷ <sup>b</sup>	۰/۳۷ <sup>b</sup>	-۰/۰۴ <sup>b</sup>	-۰/۱۹ <sup>b</sup>	-۰/۱۵ <sup>b</sup>	۱/۵۳ <sup>b</sup>	۱/۰۴	۲/۱۰ <sup>a</sup>	-۰/۸۰
کرمان	۰/۴۹ <sup>b</sup>	۱/۸۵ <sup>b</sup>	-۰/۴۷ <sup>b</sup>	-۱/۰۱ <sup>b</sup>	-۱/۵۳ <sup>b</sup>	-۲/۰۷ <sup>ab</sup>	-۲/۴۳ <sup>ab</sup>	-۲/۹۱ <sup>ab</sup>	-۳/۵۸ <sup>ab</sup>	-۳/۰۱ <sup>ab</sup>	-۱/۱۵ <sup>b</sup>	-۱/۸۶ <sup>b</sup>
مشهد	۱/۹۸ <sup>b</sup>	۱/۷۳ <sup>b</sup>	۱/۰۱ <sup>b</sup>	۱/۱۴ <sup>b</sup>	۰/۸۱ <sup>b</sup>	۱/۶۳ <sup>b</sup>	۲/۵۶ <sup>ab</sup>	۲/۰۰ <sup>b</sup>	۱/۸۴ <sup>b</sup>	۲/۰۳ <sup>ab</sup>	۲/۱۳ <sup>ab</sup>	۱/۷۲ <sup>b</sup>
سبزوار	۰/۴۹ <sup>b</sup>	۱/۰۳	-۰/۴۳ <sup>b</sup>	۰/۱۷	۰/۴۹ <sup>b</sup>	۰/۵۵ <sup>b</sup>	-۰/۱۰ <sup>b</sup>	-۰/۱۳ <sup>b</sup>	۱/۵۷ <sup>b</sup>	۰/۷۱ <sup>b</sup>	-۰/۸۱ <sup>b</sup>	-۰/۸۰
سمنان	۰/۴۳ <sup>b</sup>	-۰/۵۳ <sup>b</sup>	-۰/۴۳ <sup>b</sup>	-۰/۵۹ <sup>b</sup>	۰/۹۹ <sup>b</sup>	۱/۴۹ <sup>b</sup>	۱/۶۲ <sup>b</sup>	۱/۷۲ <sup>b</sup>	۰/۵۱ <sup>b</sup>	-۱/۰ <sup>b</sup>	۰/۵۵ <sup>b</sup>	۱/۳۹ <sup>b</sup>
شیراز	۰/۳۶	۰/۸۳	-۰/۷۹ <sup>b</sup>	۰/۹۸ <sup>b</sup>	۰/۸۳ <sup>b</sup>	-۰/۷۸	-۱/۱۲ <sup>b</sup>	-۱/۵۱ <sup>b</sup>	-۲/۰۸ <sup>ab</sup>	-۲/۳۷ <sup>ab</sup>	-۱/۵۶	-۱/۷۳ <sup>b</sup>

a معنی داری روند با سطح معنی داری ۹۵ درصد و b سری زمانی بعد از استفاده از روش TFPW

جدول ۴- میزان شیب روندهای تبخیر و تعرق مرجع در ماه‌های سال (میلیمتر در ماه)

ایستگاه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
اهواز	۰/۰۲	۰/۳۸	-۰/۲۲	۰/۰۲	-۰/۰۷	۰/۳۹	۱/۰۸	۱/۰۳	۰/۱۰	-۰/۴۱	۰/۲۷	-۰/۰۳
بندر عباس	-۰/۱۴	-۰/۱۰	-۰/۴۴	۰/۱۴	-۰/۱۰	۰/۲۵	۰/۱۸	-۰/۱۰	-۰/۲۱	-۰/۰۵	-۰/۰۱	-۰/۱۵
بیرجند	-۰/۲۷	-۰/۰۲	-۰/۴۷	-۰/۳۶	-۰/۴۳	-۰/۵۴	-۰/۴۸	-۰/۸۴	-۰/۷۲	-۰/۹۱	-۰/۴۰	-۰/۳۱
بوشهر	-۰/۲۵	-۰/۱۰	-۰/۵۶	-۰/۰۷	۰/۱۶	۰/۲۰	-۰/۲۰	-۰/۱۱	-۰/۱۳	-۰/۲۶	-۰/۲۵	-۰/۴۴
اصفهان	-۰/۰۲	۰/۱۲	-۰/۵۱	-۰/۳۲	-۰/۵۵	-۱/۱۷	-۱/۴۸	-۱/۵۴	-۰/۶۹	-۰/۴۴	-۰/۱۸	-۰/۲۶
کاشان	۰/۰۳	-۰/۱۰	-۰/۱۳	-۰/۱۹	-۰/۰۹	۰/۰۵	-۰/۰۴	-۰/۰۷	۰/۳۸	۰/۱۶	۰/۱۲	-۰/۰۲
کرمان	۰/۱۰	-۰/۱۹	-۰/۰۱	-۰/۱۳	-۰/۳۹	-۰/۷۰	-۰/۹۳	-۰/۸۷	-۰/۸۵	-۰/۵۲	-۰/۱۸	-۰/۴۲
مشهد	۰/۲۵	۰/۳۷	-۰/۴۴	۰/۴۵	۰/۴۱	۰/۹۰	۱/۰۰	۰/۹۵	۰/۷۵	۰/۷۸	۰/۳۶	۰/۲۹
سبزوار	۰/۱۱	۰/۳۱	-۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۳۶	۰/۳۵	۰/۰۰	-۰/۱۵	۰/۷۱	۰/۲۸	-۰/۱۵	-۰/۱۰
سمنان	۰/۰۶	-۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۷	۰/۳۴	۰/۸۰	۰/۲۴	۰/۰۴	۰/۲۷	۰/۰۳	۰/۰۷
شیراز	۰/۰۲	-۰/۰۵	-۰/۱۵	۰/۴۵	۰/۳۳	-۰/۲۰	-۰/۱۳	-۰/۲۴	-۰/۴۰	-۰/۴۰	-۰/۳۰	-۰/۲۳



شکل ۲- روند تغییرات تبخیر و تعرق مرجع ماهانه در ایستگاه‌های با بیشترین شیب روند

طرف دیگر آزمون اسپیرمن از بین موارد جدول ۱۸/۱۸ درصد روند کاهشی، ۳/۷۹ درصد روند افزایشی و ۷۸/۰۳ درصد فاقد روند تشخیص داده است.

در تحلیل معنی داری روندهای ماهیانه مشخص شد که با استفاده آزمون من-کندال از بین موارد جدول، ۱۸/۹۴ درصد روند نزولی، ۴/۵۵ درصد روند صعودی و در ۷۶/۵۱ درصد فاقد روند بوده‌اند. از

مشاهده گردید. در ایستگاه مشهد در سری زمانی سالانه و فصول پاییز و تابستان و در ایستگاه سبزوار در سری زمانی سالانه روندها معنی‌دار بوده است (جدول ۵ و ۶).

نتایج بررسی‌های فصلی (جدول ۵ و ۶) نشان می‌دهد که در تایید نتایج ماهیانه، تعداد و درصد موارد معنی‌دار روندهای کاهشی و افزایشی، در فصل پاییز بیشتر از بقیه فصول بوده است یعنی فصل پاییز به تغییر روندهای  $ET_0$  حساسیت بیشتری در مقایسه با سایر فصول نشان داده است.

در جدول ۷ مقادیر شیب روندهای فصلی و سالانه مربوط به ایستگاه‌های مورد مطالعه ارائه شده است. همانطور که در جدول ۷ ملاحظه می‌گردد، در بین کلیه ایستگاه‌ها، ایستگاه مشهد دارای بیشترین مقدار روند افزایشی تبخیر و تعرق مرجع در مقیاس سالانه بوده که مقدار این افزایش  $7/50$  میلی‌متر در سال بدست آمده است.

### سری زمانی فصلی و سالانه: بررسی‌های فصلی و سالانه

نشان داد که در سری‌های زمانی سالانه و فصلی روندهای مشخص شده با دو آزمون، مشابه یکدیگر بوده که این روندها افزایشی و یا کاهشی بوده‌اند (جدول ۵ و ۶). در ایستگاه‌های بیرجند و اصفهان روند تبخیر و تعرق مرجع سالانه و در تمام فصول سال به استثنای فصل زمستان بصورت کاهشی بوده است. از بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، ایستگاه‌های اهواز، بندر عباس، کاشان و سمنان در تحلیل‌های فصلی و سالانه از روند معنی‌داری برخوردار نبوده‌اند. در ایستگاه کرمان نیز از میزان تبخیر و تعرق مرجع در فصول تابستان و پاییز کاسته شده و در ایستگاه بوشهر در سری زمانی سالانه و فصول پاییز و زمستان، روند معنی‌دار کاهشی اتفاق افتاده است. همچنین ایستگاه شیراز از روند کاهشی تبخیر و تعرق مرجع در فصل پاییز برخوردار بوده است. تنها روندهای افزایشی در ایستگاه‌های مشهد و سبزوار

جدول ۵- مقادیر آماره من-کندال ( $Z_M$ ) برای سری زمانی تبخیر و تعرق مرجع در مقیاس‌های فصلی و سالانه

ایستگاه	زمستان (ژانویه تا مارس)	بهار (آوریل تا ژوئن)	تابستان (ژوئیه تا سپتامبر)	پاییز (اکتبر تا دسامبر)	سالانه
اهواز	-۰/۳۶ <sup>b</sup>	۰/۷۵ <sup>b</sup>	۱/۸۱ <sup>b</sup>	-۰/۲۱ <sup>b</sup>	۱/۷۰ <sup>b</sup>
بندرعباس	-۰/۹۱ <sup>b</sup>	۰/۷۸ <sup>b</sup>	-۰/۰۷ <sup>b</sup>	-۰/۷۳ <sup>b</sup>	-۰/۲۴ <sup>b</sup>
بیرجند	-۱/۸۳ <sup>b</sup>	-۲/۲۱ <sup>ab</sup>	-۳/۰۲ <sup>ab</sup>	-۳/۹۰ <sup>ab</sup>	-۳/۰۹ <sup>ab</sup>
بوشهر	-۲/۱۷ <sup>a</sup>	۰/۵۴ <sup>b</sup>	-۱/۸۱ <sup>b</sup>	-۳/۲۷ <sup>ab</sup>	-۲/۶۳ <sup>ab</sup>
اصفهان	-۱/۱۶ <sup>b</sup>	-۲/۵۰ <sup>ab</sup>	-۴/۹۸ <sup>ab</sup>	-۲/۸۹ <sup>ab</sup>	-۳/۷۲ <sup>ab</sup>
کاشان	-۰/۲۲ <sup>b</sup>	-۰/۰۹ <sup>b</sup>	۰/۳۰ <sup>b</sup>	۰/۶۹ <sup>b</sup>	-۰/۰۸ <sup>b</sup>
کرمان	-۰/۰۸ <sup>b</sup>	-۱/۷۱ <sup>b</sup>	-۳/۰۲ <sup>ab</sup>	-۲/۳۸ <sup>ab</sup>	-۱/۹۰ <sup>b</sup>
مشهد	۱/۹۱ <sup>b</sup>	۱/۸۰ <sup>b</sup>	۲/۲۷ <sup>ab</sup>	۲/۱۷ <sup>ab</sup>	۲/۴۴ <sup>ab</sup>
سبزوار	۰/۵۷ <sup>b</sup>	۱/۰۰ <sup>b</sup>	۱/۴۴ <sup>b</sup>	۰/۶۹ <sup>b</sup>	۲/۰۸ <sup>ab</sup>
سمنان	۱/۰۲ <sup>b</sup>	۱/۳۷ <sup>b</sup>	۱/۵۷ <sup>b</sup>	۰/۰۲ <sup>b</sup>	۱/۴۵ <sup>b</sup>
شیراز	-۰/۲۸	۰/۱۲ <sup>b</sup>	-۱/۷۶ <sup>b</sup>	-۲/۴۵ <sup>ab</sup>	-۱/۱۸ <sup>b</sup>

a معنی‌داری روند با سطح معنی‌داری ۹۵ درصد و b سری زمانی بعد از استفاده از روش TFPW

جدول ۶- مقادیر آماره اسپیرمن ( $Z_S$ ) برای سری زمانی تبخیر و تعرق مرجع فصلی و سالانه

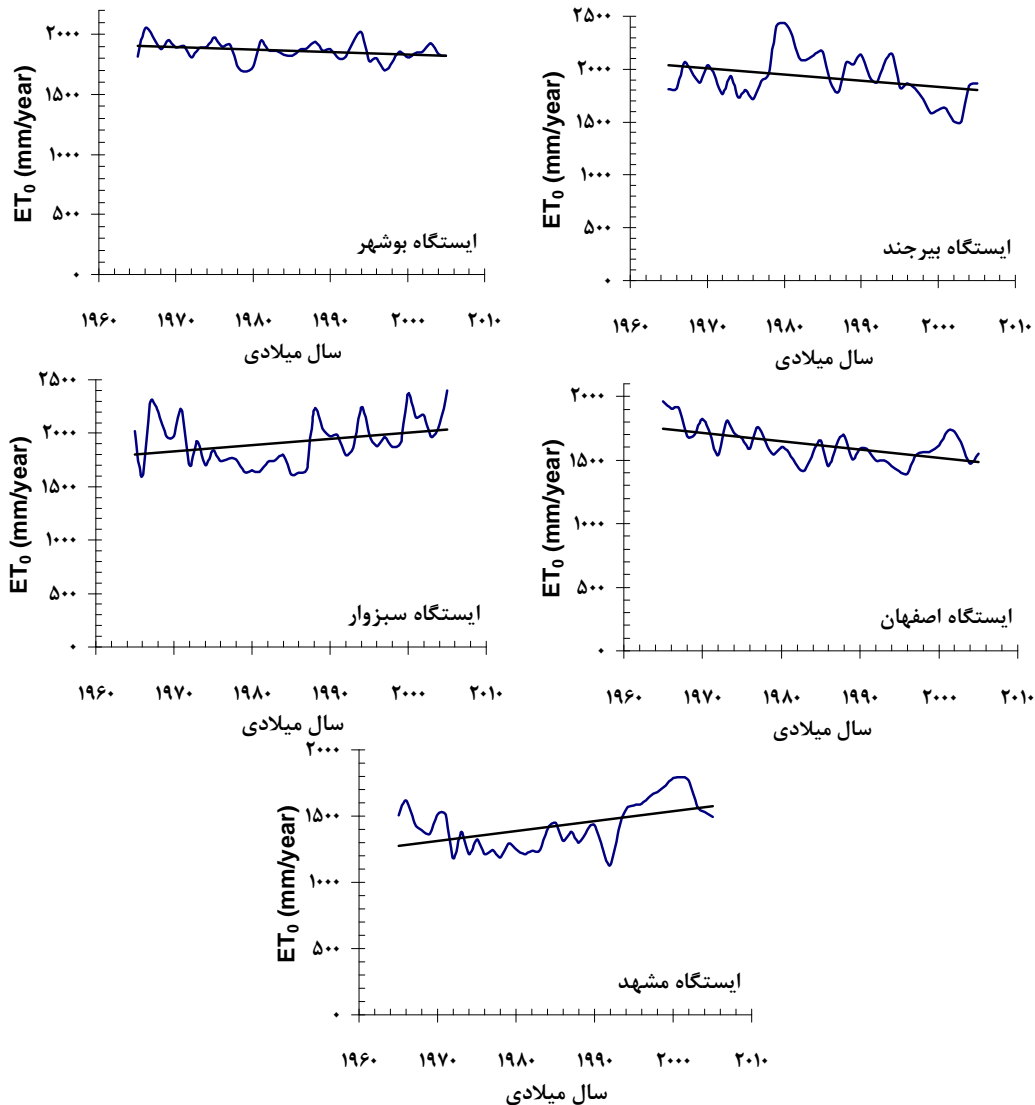
ایستگاه	زمستان (ژانویه تا مارس)	بهار (آوریل تا ژوئن)	تابستان (ژوئیه تا سپتامبر)	پاییز (اکتبر تا دسامبر)	سالانه
اهواز	-۰/۲۳ <sup>b</sup>	۰/۵۲ <sup>b</sup>	۱/۹۵ <sup>b</sup>	۰/۰۷ <sup>b</sup>	۱/۷۸ <sup>b</sup>
بندرعباس	-۱/۱۳ <sup>b</sup>	۰/۷۱ <sup>b</sup>	-۰/۰۱ <sup>b</sup>	-۰/۸۴ <sup>b</sup>	-۰/۳۳ <sup>b</sup>
بیرجند	-۱/۷۶	-۲/۲۴ <sup>a</sup>	-۳/۲۰ <sup>a</sup>	-۴/۶۴ <sup>a</sup>	-۳/۳۹ <sup>a</sup>
بوشهر	-۲/۴۴ <sup>a</sup>	۰/۵۵ <sup>b</sup>	-۱/۸۵ <sup>b</sup>	-۳/۷۳ <sup>ab</sup>	-۲/۸۱ <sup>ab</sup>
اصفهان	-۱/۱۸ <sup>b</sup>	-۲/۷۶ <sup>ab</sup>	-۶/۵۸ <sup>ab</sup>	-۳/۱۱ <sup>ab</sup>	-۴/۳۵ <sup>ab</sup>
کاشان	-۰/۳۴ <sup>b</sup>	-۰/۱۴ <sup>b</sup>	۰/۱۰ <sup>b</sup>	۰/۶۳ <sup>b</sup>	-۰/۱۶ <sup>b</sup>
کرمان	-۰/۰۵ <sup>b</sup>	-۱/۷۳ <sup>b</sup>	-۳/۲۹ <sup>ab</sup>	-۲/۴۶ <sup>ab</sup>	-۱/۹۵ <sup>b</sup>
مشهد	۱/۶۷ <sup>b</sup>	۱/۵۸ <sup>b</sup>	۲/۳۹ <sup>ab</sup>	۲/۳۰ <sup>ab</sup>	۲/۳۷ <sup>ab</sup>
سبزوار	۰/۲۳ <sup>b</sup>	۰/۷۷ <sup>b</sup>	۱/۲۴ <sup>b</sup>	۰/۵۵ <sup>b</sup>	۱/۹۸ <sup>b</sup>
سمنان	-۰/۸۹ <sup>b</sup>	۱/۳۲ <sup>b</sup>	۱/۳۵ <sup>b</sup>	۰/۱۱ <sup>b</sup>	۱/۲۴ <sup>b</sup>
شیراز	-۰/۲۳	۰/۲۰ <sup>b</sup>	-۱/۹۵ <sup>b</sup>	-۲/۴۸ <sup>ab</sup>	-۱/۱۵ <sup>b</sup>

a معنی‌داری روند با سطح معنی‌داری ۹۵ درصد و b سری زمانی بعد از استفاده از روش TFPW

همچنین روند کاهشی (در ایستگاه بیرجند، بوشهر و اصفهان) به دلیل روند کاهشی سرعت باد بوده است.

همانطور که در جداول ۲، ۳، ۵ و ۶ ملاحظه می‌گردد، در بیشتر سری‌های زمانی مورد آزمون، همبستگی ترتیبی در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بوده که لزوم استفاده از روش TFPW در بررسی‌های روند در تحقیقات را مشخص می‌سازد.

از طرف دیگر ایستگاه اصفهان با شیب کاهشی ۶/۳۸ میلیمتر در سال روند نزولی داشته است (جدول ۷). میزان تغییرات تبخیر و تعرق مرجع سالانه در ایستگاه‌های دارای روند (معنی‌دار) برای کل دوره آماری، در شکل ۳ نشان داده شده است. با تحلیل روند پارامترهای موثر بر تبخیر و تعرق مشخص شد که دلایل اصلی روند افزایشی  $ET_0$  سالانه (در ایستگاه مشهد و سبزوار) روند افزایشی دما و سرعت باد در ایستگاه مشهد و روند افزایشی دما در ایستگاه سبزوار بوده و



شکل ۳- تغییرات سالیانه تبخیر و تعرق مرجع در ایستگاه‌های دارای روند معنی‌دار برای کل دوره آماری (۱۹۶۵-۲۰۰۵)



جدول ۷- میزان شیب روندهای تبخیر و تعرق مرجع فصلی و سالانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	زمستان*	بهار*	تابستان*	پاییز*	سالانه (mm.year <sup>-1</sup> )
اهواز	۰/۱۶	۰/۹۰	۲/۰۲	۰/۱۱	۳/۹۸
بندرعباس	-۰/۵۴	۰/۵۱	۰/۱۹	-۰/۵۵	-۰/۶۴
بیرجند	-۰/۷۳	-۱/۲۷	-۲/۶۶	-۲/۰۰	-۵/۸۲
بوشهر	-۰/۹۲	۰/۴۷	-۰/۴۵	-۱/۲۰	-۲/۰۷
اصفهان	-۰/۴۲	-۱/۶۹	-۳/۶۵	-۰/۸۱	-۶/۳۸
کاشان	-۰/۰۱	-۰/۱۵	۰/۳۷	۰/۰۹	-۰/۳۴
کرمان	-۰/۱۸	-۱/۴۹	-۲/۸۳	-۱/۲۰	-۴/۲۵
مشهد	۱/۱۸	۱/۹۲	۲/۹۰	۱/۳۳	۷/۵۰
سبزوار	۴/۷۶	۰/۴۸	۱/۰۳	۱/۴۸	-۰/۰۶
سمنان	-۰/۴۱	۰/۶۸	۰/۴۴	۰/۴۱	-۰/۷۹
شیراز	-۰/۰۸	۰/۲۶	-۰/۸۱	-۱/۱۹	-۱/۱۳

\*مقادیر روندهای فصلی بر حسب میلیمتر در سال مربوطه می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از آزمون‌های من-کندال و اسپیرمن روند تغییرات زمانی تبخیر و تعرق مرجع برای ۱۱ ایستگاه سینوپتیک کشور که دارای اقلیم خشک بودند، مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که رفتار روند در هر شهری متفاوت می‌باشد، بطوری که برای تبخیر و تعرق مرجع در مقیاس ماهانه در بعضی از ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه، روندهای افزایشی و در برخی ایستگاه‌ها روند کاهش‌ی وجود داشته است. نتایج حاکی از این واقعیت است که نوع روند، درصد معنی‌داری یا عدم معنی‌داری و شیب روندهای استخراج شده به مقیاس زمانی مورد مطالعه بستگی دارد. در مقیاس سالانه، در ایستگاه‌های بیرجند، بوشهر، اصفهان، مشهد و سبزوار در سطح معنی-داری ۹۵ درصد، تبخیر و تعرق مرجع سالانه معنی‌دار بوده است. در مقیاس فصلی، حدوداً ۵ درصد از ایستگاه‌ها دارای روند صعودی، ۲۵ درصد روند نزولی و ۷۰ درصد آن فاقد روند بوده‌اند. نتایج بدست آمده از بکارگیری دو آزمون، حاکی از تطابق عملکرد دو آزمون در تشخیص روند  $ET_0$  بوده است. در مواردی که تشخیص معنی‌داری دو آزمون متفاوت بوده، مقادیر سطح احتمال پذیرش وجود روند از اختلاف کمی برخوردار بوده‌اند. با توجه به نتایج متفاوت نقطه ای که برای هر شهر بدست آمده است، استخراج یک روند مشخص در مقیاس منطقه ای برای تبخیر و تعرق مرجع امکان پذیر نمی‌باشد. با توجه به حساسیت روند های بدست آمده به مقیاس زمانی مورد بررسی و شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه، تحلیل دقیق روند فرآیند های غیرخطی و پیچیده‌ای نظیر پدیده تبخیر و تعرق به مطالعات جامع تری در آینده نیازمند است.

در بررسی اثرات تغییر اقلیم در کشور هند، روند کاهش تبخیر و تعرق تایید شده (۶) و در حوضه چانگ‌جیانگ در کشور چین نیز تبخیر و تعرق گیاه مرجع از روند کاهش برخوردار بوده است (۳۵). از طرف دیگر در مناطق کم ارتفاع مرکز اروپا روند افزایشی تبخیر و تعرق پتانسیل گزارش گردیده است (۴۱) و همچنین تبخیر و تعرق مرجع سالانه در شمال شرق چین، روند افزایشی از خود داشته است (۱۳). در تمامی این تحقیقات غالبیت روند معنی‌دار، ذکر شده و در ایستگاه‌های مورد مطالعه آنها هم روند افزایش و هم روند کاهش وجود داشته است. در تحقیقات داخل کشور نیز (۱، ۲، ۳ و ۳۰) نتایج مشابه این تحقیق که حاکی از روندهای متفاوت افزایشی و کاهش  $ET_0$  بدست آمده است، گزارش شده است. ضمناً در مطالعات انجام شده در خارج از کشور مانند کشور چین (۱۳ و ۳۵) روندهای متفاوتی در هر یک از ایستگاه‌ها بدست آمده است که خود نیز تاییدی بر نتایج بدست آمده در تحقیق حاضر می‌باشد.

### مقایسه آزمون‌های من-کندال و اسپیرمن در

**تشخیص وجود روندها:** نتایج بدست آمده از بکارگیری دو آزمون، نشان می‌دهد که مقادیر توان آزمون‌های من-کندال و اسپیرمن (نسبت تعداد موارد معنی‌دار به تعداد کل موارد مورد آزمون)، در بررسی روند تبخیر و تعرق مرجع به ترتیب ۲۵/۶۶ و ۲۵/۱۳ درصد بوده‌اند. همچنین حدوداً در ۹۴ درصد موارد نتایج آزمون‌ها یکسان بوده است. بنابراین در بیشتر موارد دو آزمون برای بررسی روند در سطح معنی‌دار ۹۵ درصد عملکرد یکسانی داشته‌اند. در مواردی که تشخیص معنی‌داری دو آزمون متفاوت بوده، مقادیر سطح احتمال پذیرش وجود روند از اختلاف کمی دارا بوده‌اند. این نتایج مشابه تحقیق یو و همکاران (۳۸) می‌باشد که در آن بر عملکرد مشابه دو آزمون در بررسی روند، تاکید شده است.

## منابع

- ۱- بنایان م.، محمدیان آ. و عزیزاده ا. ۱۳۸۹. بررسی نوسان پذیری اقلیمی در شمال شرق ایران. جلد ۲۴. شماره ۱. صفحات ۱۳۱-۱۱۸.
- ۲- شیر غلامی ه.، و قهرمان ب. ۱۳۸۴. بررسی روند تغییرات دمای متوسط سالانه در ایران. مجله علمی-پژوهشی علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. سال نهم. شماره اول. صفحات ۲۳-۹.
- ۳- گل کار حمزیه یزد ح.، کاوه ف.، قهرمان ب. و صدقی ح. ۱۳۸۶. بررسی روند تغییرات سری زمانی تبخیر- تعرق ماهیانه گیاه مرجع با استفاده از روش پیشنهادی فائو پنمن- مانتیس. مجله علمی-پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی تهران (واحد علوم و تحقیقات). جلد ۱۳. شماره ۲. صفحات ۴۱۷-۴۳۳.
- 4- Abdul Aziz O.I., and Burn D.H. 2006. Trends and variability in the hydrological regime of the Mackenzie River Basin, *Journal of Hydrology*, 319:282-294.
- 5- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith M. 1998. *Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO, Rome, Italy, 300 p.
- 6- Bandyopadhyay A., Bhadra A., Raghuvanshi N.S, and Singh R. 2009. Temporal trends in estimates of reference evapotranspiration over India, *Journal of Hydrologic Engineering*, 14(5):508-515.
- 7- Birsan M.V., Molnar P., Burlando P., and Pfaundler M. 2005. Streamflow trends in Switzerland. *Journal of Hydrology*, 314:312-329.
- 8- Burn D.H., and Hesch N.M. 2007. Trends in evaporation for the Canadian Prairies, *Journal of Hydrology*, 336:61-73.
- 9- Burn D.H., Cunderlik D.H., and Pietroniro A. 2004. Hydrological trends and variability in the Liard River Basin, *Hydrological Sciences*, 49(1):53-67.
- 10- Chen H., Guo S, Xu C.Y., and Singh V.P. 2007. Historical temporal trends of hydro-climatic variables and runoff response to climate variability and their relevance in water resource management in the Hanjiang basin, *Journal of Hydrology*, 344:171-184.
- 11- Chen S., Liu Y., and Axel T. 2006. Climatic change on the Tibetan plateau: potential evapotranspiration trends from 1961-2000, *Climatic Change*, 76:291-319.
- 12- Daniel W.W. 1978. *Applied Nonparametric Statistics*, Boston, USA.
- 13- Dongsheng Z., Zheng D., Shaohong W., and Zhengfang W. 2007. Climate changes in northeastern china during last four decades, *Chinese Geographical Sciences*, 17:317-324.
- 14- Gadgil A., and Dhorde A. 2005. Temperature trends in twentieth century at Puna, India. *Atmospheric Envi*, 39:6550-6556.
- 15- Garbrecht J., Van Liew M., and et al. 2004. Trends in precipitation, streamflow, and evapotranspiration in the Great Plains of the United States, *Journal of Hydrological Engineering*, 9 (5):360-367.
- 16- Gellens D. 2000. Trend and Correlation Analysis of k-Day Extreme Precipitation over Belgium. *Theoretical and Applied Climatology*, 66:117-129.
- 17- Hamed K.H., and Rao A.R. 1998. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data, *Journal of Hydrol*, 204, 182-196.
- 18- Hisdal H, Stahl K, Tallaksen L.M, and Demuth S. 2001. Have streamflow droughts in Europe become more severe or frequent, *Int. J. Climatol*, 21:317-333.
- 19- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2001. In: Houghton, J.T. et al. (Eds.), *The Third Assessment Report of Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, Cambridge Univ. Press, New York. 881 pp.
- 20- Kahya E., and Kalayci S. 2004. Trend analysis of streamflow in Turkey, *Journal of Hydrol*, 289:128-144.
- 21- Kendall M.G. 1975. *Rank Correlation Methods*. Griffin, London, UK.
- 22- Kulkarni A, and Von Storch H. 1995. Monte Carlo experiments on the effect of serial correlation on the Mann-Kendall test of trend. *Meteorologische Zeitschrift*, 4(2): 82-85.
- 23- Kumar S., Merwade V., Kam J., and Thurner K. 2009. Streamflow trends in Indiana: Effects of long term persistence, precipitation and subsurface drains. *Journal of Hydrol*, 374:171-183.
- 24- Leclerc M., and Ouarda T.B.M.J. 2007. Non-stationary regional flood frequency analysis at ungauged sites, *Journal of Hydrol*, 343:254-265.
- 25- Li, Z.L, Xu, Z.X., Li, J.Y and Li, Z.J. 2008. Shift trend and step changes for runoff time series in the Shiyang River basin, northwest China. *Hydrological Processes* 22: 4639-4646.
- 26- Liu Q., Yang Z., and Cui B. 2008. Spatial and temporal variability of annual precipitation during 1961-2006 in Yellow River Basin China, *Journal of Hydrol*, 361:330-338.
- 27- Mann H.B. 1945. Nonparametric tests against trend, *Econometrica*. 13:245-259.
- 28- Novotny E.V., and Stefan H.G. 2007. Stream flow in Minnesota: Indicator of climate change, *Journal of Hydrol*, 334:319-333.

- 29- Sen P.K. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau, *Journal of the American Statistical Association*, 63:1379-1389.
- 30- Tabari H., Marofi S., Aeini A., Hosseinzadeh Talaeae P., and Mohammadi K. 2011. Trend analysis of reference evapotranspiration in the western half of Iran, *Agr. Forest Meteorol*, 151 (2): 128-136.
- 31- Theil H. 1950. A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis, I. *Nederlands Akad, Wetensch. Proc.* 53:386-392.
- 32- UNEP. United Nation Environmental Program. 1993. *World Atlas of Desertification*. United Nations Environment Programme (UNEP), London.
- 33- UNESCO. 1977. *World Map of Desertification*. United Nations Conference on Desertification, A/Conf. 74/2.
- 34- Von Storch H. 1995. Misuses of statistical analysis in climate research. In *Analysis of Climate Variability: Applications of Statistical Techniques*, von Storch H, Navarra A (eds). Springer-Verlag: Berlin. 11-26.
- 35- Xu, C., Gong, L., Jiang, T., Chen, D. and Singh, V.P. 2006. Analysis of spatial distribution and temporal trend of reference evapotranspiration and pan evaporation in Changjiang (Yangtze River) catchment, *J. Hydrol.* 327: 81–93.
- 36- Xu J., Yang D., Yi Y., Lei Z., Chen J., and Yang W. 2008. Spatial and temporal variation of runoff in the Yangtze River basin during the past 40 years, *Journal of Quaternary Int*, 186:32-42.
- 37- Yaning C., Changchun X., Xingming H., Weihong L., Yapeng C., Chenggang Z., and Zhaoxia Y. 2009. Fifty-year climate change and its effect on annual runoff in the Tarim River Basin, China. *Quaternary Int.* (in press)
- 38- Yue S., Pilon P., and Cavadias G. 2002a. Power of the Mann-Kendall and Spearman's tests for detecting monotonic trends in hydrological series, *Journal of hydrol*, 259:254-271.
- 39- Yue S., Pilon P., Phinney B., and Cavadias G., 2002b. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series, *Hydrological Processes*, 16:1807-1829.
- 40- Yue S., Pilon P., and Phinney B. 2003. Canadian streamflow trend detection: impacts of serial and cross correlation, *Hydrol. Sci*,48(1):51-63.
- 41- Zaninovi K., and Gaji-Capka M. 2000. Changes in Components of the Water Balance in the Croatian Lowlands, *Theoretical and Applied Climatol.* 65: 111–117.
- 42- Zhang S., and Lu X.X. 2009. Hydrological responses to precipitation variation and diverse human activities in a mountainous tributary of the lower Xijiang, China. *Catena*, 77:130-142.



## Trends Analysis of Reference Evapotranspiration Rates by Using the Mann-Kendall and Spearman Tests in Arid Regions of Iran

A.A. Sabziparvar<sup>1\*</sup> - M. Shadmani<sup>2</sup>

Received:28-8-2010

Accepted:14-6-2011

### Abstract

In this research, temporal trends of reference evapotranspiration ( $ET_0$ ) values were investigated in arid regions of Iran. For this purpose, the meteorological observations collected from 11 high quality meteorological sites for a 41-year period (1965-2005) were used and statistically significant  $ET_0$  trends in the monthly, seasonal and annual time basis were detected by the non-parametric Mann-Kendall and Spearman tests at confidence level of 95 %. For eliminating the effect of serial correlation on test results, the Trend Free Pre-Whitening (TFPW) approach was applied. The results indicated that the  $ET_0$  trends for some sites were increasing (positive) but for some sites showed decreasing (negative) trends. The most significant  $ET_0$  trends on the monthly time scale occurred at Birjand but no significant trend was observed for Bandarabbas, Sabzevar and Semnan sites. On the annual time scale, Mashhad revealed the highest positive  $ET_0$  trend (7.5 mm per year). On the contrary, Esfahan showed the highest decreasing (negative)  $ET_0$  trend of about -6.38 mm per year. In general, the performances and capabilities of Mann-Kendall and Spearman tests were consistence at the verified confidence level.

**Keywords:** Trend, Reference evapotranspiration, Mann-Kendall test, Spearman test

---

1,2- Associate Professor and MSc Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan  
(\*-Corresponding Author Email: swsabzi@basu.ac.ir)