

تحلیل روند تبخیر و تعرق مرجع به روش من-کندال و تحلیل رگرسیون خطی در ایستگاه سینوپتیک رامسر

حسین شریفان، عضو مهدی آشور فارسیانی،

به ترتیب عضو هیئت علمی و دانش آموخته گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

چکیده:

تبخیر- تعرق یکی از اجزای مهم بیلان آب می باشد که اندازه گیری مقدار واقعی آن مشکل است و روش های تعیین آن محدود می باشد. استفاده از مدل های مرسوم در برآورد تبخیر تعرق واقعی به علت نقطه ای بودن اطلاعات هواشناسی و عدم در نظر گرفتن تنش های آبی و محیطی از دقت پایینی برخوردار است. کشور ایران دارای اقلیم خشک و نیمه خشک است که ریزش های کم جوی، رگبارهای شدید، وقوع جریان های سیلابی و تبخیر (تبخیر تعرق) زیاد از ویژگی های آن به شمار می آید. یکی از روش های متداول جهت تحلیل سری های زمانی، بررسی وجود یا عدم وجود روند در آنها با استفاده از آزمون های آماری می باشد. هدف از انجام این تحقیق، بررسی روند تغییرات تبخیر و تعرق بصورت سالانه، فصلی و ماهانه در ۳ ایستگاه شامل: گرگان، رامسر، بندر انزلی به دو روش ناپارامتری من-کندال و پارامتری رگرسیون است. بیشترین موارد معنی داری روند تبخیر و تعرق مرجع ماهانه در ایستگاه گرگان و کمترین آن در ایستگاه انزلی اتفاق افتاده است. در سری زمانی با مقیاس سالانه، ایستگاه گرگان بیشترین مقدار روند افزایشی تبخیر تعرق را با شیب $10/37$ میلیمتر در سال از خود نشان داد.

کلمات کلیدی: آزمون روند، من-کندال، تحلیل رگرسیون

مقدمه

یکی از راه های کاهش بحران آب در کشاورزی به واسطه پایین بودن راندمان مصرف آن و استفاده بیش از حد منابع موجود، مدیریت آب در تأمین نیاز آبی گیاهان زراعی است. در این زمینه تبخیر تعرق، در واقع شاخص تعیین کننده ای در فرایند رشد است که معادل آب مورد نیاز گیاهان زراعی قلمداد می شود. به همین خاطر تخمین دقیق آن با توجه به شرایط آب و هوایی هر منطقه و گیاه صورت می گیرد. لحاظ عوامل جوی و فیز یولوژی گیاه در فرایند تبخیر تعرق سبب پیچیدگی این فرایند و ارائه روش های بسیاری برای تخمین آن شده است (کوچک زاده و بهمن، ۱۳۸۴، ۸۸). امروزه، گرمایش جهانی در نتیجه افزایش گازهای گلخانه ای و اثر آن بر تغییر اقلیم، واقعیتی علمی است که مورد توافق محققان بسیاری قرار گرفته است. (۱۷) 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. (۱۸) جهت آمادگی در برابر اثرات نامطلوب پدیده تغییر اقلیم و کاهش خسارت های ناشی از آن بررسی روندها و تغییرات معمول در متغیرهای آب و هواشناسی در هر منطقه اقدامی ضروری است تا اینکه سیاست ها و برنامه های مناسبی برای توسعه و مدیریت منابع آب اتخاذ گردد (۱۸ و ۱۹ و ۲۰). جهت تشخیص روند در سری های زمانی متغیر های آب و هواشناسی از آزمون ها مختلفی استفاده می گردد که این آزمون ها به دو دسته پارامتری و غیر پارامتری قابل تفکیک میباشند. آزمون های پارامتری نسبت به آزمونهای غیرپارامتری توان بیشتری در تشخیص روند دارا هستند و هنگام استفاده از آن ها بایستی داده ها تصادفی (مستقل) و دارای توزیع نرمال باشند. از طرف دیگر آزمون های غیرپارامتری در صورت تصادفی بودن داده ها قابل استفاده اند و به نرمال بودن دادهها حساس نیستند (۱۹ و ۲۱ و ۲۲). آزمون من- کندال از آزمون های غیرپارامتری هست که در تحقیقات بررسی روند متغیرهای آب و هواشناسی از آن استفاده می شود. مطالعات اخیر تغییر اقلیم، غالباً بر تغییرپذیری دما و بارندگی متمرکز شده است. تبخیر و تعرق گیاه بعنوان یکی از پارامترهای مهم اقلیمی که نقش اساسی در کنترل موازنه جرم و انرژی بین اکوسیستم های زمینی و اتمسفر ایفا می کند، از توجه کمتری برخوردار بوده است (۲۳).

خلیلی و بذرافشان (۱۳۸۳) جمع بارش ماهانه چهار ایستگاه بوشهر، اصفهان، تهران و مشهد که از کهن ترین ایستگاه های ایران هستند را برای دو دهه (۱۸۹۳-۲۰۰۱) بررسی کردند. نتایج آنها نشان میدهد که روند بارش سالانه در ایستگاه اصفهان منفی و در سایر ایستگاه ها مثبت است، اما هیچ کدام معنی دار نیست. سری های بارش فصلی ایستگاههای بالا در ۲۵٪ موارد دارای روند منفی معنی دار، ۸٪ روند مثبت معنی دار است و در بقیه موارد روندها معنی دار نیست. گزارش پژوهشکده هواشناسی (۱۳۸۱) نیز روند بارش سالانه و فصلی ۳۴ ایستگاه با داده های آماری بیش از ۳۰ سال در ایران را مورد بررسی قرار داده است. نتایج نشان داد که در آبادان، بابلسر، شاهرود و سبزوار، روند افزایشی و در انزلی، روند کاهشی معنی دار (سطح اعتماد ۰/۹۵) بود. در سایر ایستگاهها، روند معنی داری وجود نداشت. به طور کلی نتایج این بررسی نشان داد که روند بارش سالانه در اغلب ایستگاههای واقع در غرب رشته کوه زاگرس، منفی ولی در ایستگاه های واقع در مناطق جنوبی و مرکزی مثبت است.

بندیویدهای و همکاران (۷) 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 معنی دار رطوبت نسبی و همچنین کاهش سرعت باد بیان داشتند. روند تبخیر و عوامل تأثیرگذار بر آن در کانادا نشان دهنده روند کاهش تبخیر در فصل گرم (ماههای اکتبر، اوت، ژوئن و ژوئیه) و روند کاهشی سرعت باد بود (۸). در تحقیق دیگری گارپچت و همکاران (۹) 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. در تحقیق دیگری طبری و همکاران (۱۴) 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 روند های افزایشی و کاهشی برخوردار بوده که در ۷۰ درصد ایستگاه ها روند ET₀ در مقیاس سالانه افزایشی بوده و همچنین روند های افزایشی بیشتر در

فصول زمستان و تابستان اتفاق افتاده 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 ۱۹۰۰-۱۹۹۵ بوده است (۱۵). در مطالعه دنسنگ و همکاران (۱۶) به روشهای خطی و من- کندال در شمال شرق چین، روند افزایشی سالانه بارندگی (۱/۷ میلیمتر در سال)، دما (۰.۴ درجه سانتیگراد در سال)، و تبخیر و تعرق پتانسیل (۰/۷۴ میلیمتر در سال)، در طول دوره ۱۹۶۱-۲۰۰۴ اتفاق افتاده است. در تحقیق دیگری که توسط سو و همکاران (۱۷) در حوضه چانگ جیانگ 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.

مواد و روش ها:

ایران با وسعتی حدود ۱۶۴۸۰۰۰ کیلومترمربع و متوسط بارش سالانه ۲۴۱ میلی متر در نیم کره شمالی، در قاره آسیا و در قسمت غربی فلات ایران واقع شده است. این کشور بین دو نصف النهار 44° و 64° شرقی و دو مدار 25° و 40° شمالی قرار گرفته است. حدود ۹۴/۸ درصد از سطح آن، در زمره مناطق خشک و نیمه خشک با ریزش های جوی کم و تبخیر (تبخیر تعرق) زیاد قرار دارد (غفاری و همکاران، ۱۳۸۳، ۳۲). در انجام این پژوهش، مراحل زیر برای انجام شد:

ابتدا آمار هواشناسی ایستگاه های سازمان هواشناسی با طول دوره آماری از بدو تأسیس تا سال ۲۰۰۶ میلادی انتخاب گردید. با توجه به اینکه بسیاری از متغیرهای اقلیمی دارای یک کمینه و بیشینه در طی سال اند؛ یعنی در نیمه اول و دوم سال رفتاری کاملاً متفاوت دارند، بنابراین در بررسی حاضر داده های هواشناسی به ترتیب ماه های سال و سالانه دسته بندی شدند. سپس خلأ آماری هر ایستگاه مشخص گردید و بازسازی آماری آنها با رگرسیون گیری، نسبت به موقعیت ایستگاه همای مجاور، انجام گرفت و ایستگاه نهایی انتخاب شد. پس از بررسی های لازم، ایستگاه هواشناسی رامسر انتخاب گردید، که در تحلیل ها مورد استفاده قرار گرفت. در ادامه، ETO برای ایستگاه انتخابی در شبکه ایستگاه های سازمان هواشناسی کشور طبق روش های عنوان شده، در معادله فائو پنمن مانیتث محاسبه شد. روش محاسبات با توجه به نوع داده های ورودی (دما، رطوبت نسبی، سرعت باد، میزان بارندگی و مختصات جغرافیایی و ارتفاع هر ایستگاه) انجام شد.



شکل ۱. موقعیت ایستگاه رامسر

سپس از آزمون من کندال برای روند سازی این پارامتر استفاده شد. آزمون من- کندال ابتدا توسط Mann (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط Kendall (۱۹۷۵) بسط و توسعه یافت (سیرانو، ۱۹۹۹، ۸۷). این روش بطور متداول و گسترده ای در تحلیل روند سری های هیدرولوژیکی و هواشناسی بکار گرفته میشود (لتن مایر و همکاران ۱۹۹۴، ۲۸۸). از نقاط قوت این روش میتوان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری های زمانی ای که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی کنند اشاره نمود. اثر پذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری های زمانی مشاهده می گردند نیز از دیگر مزایای استفاده از این روش است (تورگی و ارکن ۲۰۰۵، ۴). فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده ها می باشد. آزمون های آماری من- کندال و تحلیل رگرسیون برای تشخیص وجود روند بکار برده شدند.

آزمونهای آماری بکار رفته: به منظور تعیین روند تغییرات در هر سری زمانی از آزمون من-کندال استفاده شد. آزمون من-کندال آزمونی غیر پارامتری رتبههای است که توسط من (۱۰) و کندال (۱۱) ارائه شده است و برای تعیین معنی داری روندهای خطی و غیر خطی مناسب میباشد (۱۲ و ۱۳). 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:

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

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & \text{اگر } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{اگر } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{اگر } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t-1)(2t_p+5)] \quad (3)$$

$$Z_M = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{اگر } s > 0 \\ 0 & \text{اگر } s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{اگر } s < 0 \end{cases}$$

(۴)

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

تحلیل رگرسیون:

داده های هوا شناسی در تحلیل رگرسیون بوسیله استفاده از روش میانگین متحرک، خطی میشوند یک رابطه رگرسیون خطی ساده برای به دست آوردن روند در دراز مدت داده ها انتخاب می شود به صورت زیر است:

$$Y = a + bx$$

که Y متغیر جوی و X زمان است. a و b ضرایب رگرسیون هستند که با استفاده از روش کمترین مربعات محاسبه می شوند. با بدست آوردن مقدار T با درجه آزادی $n-2$ با استفاده از رابطه زیر معنی دار بودن شیب خط رگرسیون آزمون می شود:

$$T = \frac{b}{\sqrt{MSE/S_{xx}}}$$

که در این رابطه MSE خطای مربع میانگین است و S_{xx} به صورت زیر محاسبه می گردد:

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$$

اگر $n-2$ ، $|T| > t_{\alpha/2}$ شود شیب رگرسیون بی معنی تلقی می شود و شیب b به طور معنی داری مخالف صفر، نشان دهنده وجود روند می باشد.

در این بررسی آمار تبخیر و تعرق ایستگاه باران سنجی در حوضه رامسر که در طی دوره آماری ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۶، دارای آمار بود استفاده گردید. برای این ایستگاه سری های سالانه، فصلی، ماهانه، ده روزه و روزانه بارندگی استخراج گردید.

بررسی و بحث

سری زمانی ماهانه : نتایج بدست آمده از بکارگیری آزمون من-کندال برای تعیین روند تبخیر و تعرق در جدول (۱) ارائه گردیده است. همانطور که در این جدول ملاحظه میگردد تبخیر و تعرق در ماه های مختلف دارای روند افزایشی یا کاهشیه بوده است. همانطور که در این جدول ملاحظه میگردد تبخیر و تعرق در ماه های مختلف دارای روند افزایشی یا کاهشیه بوده است . در ایستگاه رامسر در ماه های مختلف سال، روند معنی داری وجود نداشته است . ایستگاه رامسر در ماه های ژانویه تا مارس و ژوئن تا دسامبر با روند افزایشی مواجه بوده. همانطور که در قسمت مواد و روشها ذکر شد مقادیر شیب روندها (در ماه های سال) با استفاده از رگرسیون خطی محاسبه گردید که در جدول (۲) ارائه شده است. با توجه به نتایج بدست آمده از میزان مقادیر روندهای معنی دار (جدول ۲) میتوان بیان نمود که روندهای معنی دار اتفاق افتاده در ایستگاه رامسر دارای شیب قابل توجهی بوده اند. بیشترین مقدار روند افزایشی تبخیر و تعرق ماهانه ۱/۸۷۲ میلیمتر در ماه در ایستگاه گرگان و ماه اوت بوده و همچنین بیشترین مقدار کاهشیه آن در ایستگاه انزلی و در ماه مه به میزان ۰/۱۳۲ میلیمتر در ماه بوده است (شکل ۴).

جدول ۱- مقادیر آزمون من-کندال برای سری زمانی تبخیر و تعرق در مقیاس ماهانه
جدول ۲- میزان شیب روندهای تبخیر و تعرق در ماه های سال (میلیمتر در ماه)

ایستگاه	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
رامسر	۲.۷۵۳۲۹	۲.۷۵۳۲۹	۳.۲۹۸۹۹	۰.۲۷۲۸۵	۱.۶۶۱۹	۲.۸۰۲۹	۲.۲۵۷۲	۲.۶۵۴۰۷	۲.۵۰۵۲۴	۳.۱۹۹۷۷	۳.۷۴۵۴۶	۳.۴۹۷۴۲
ایستگاه	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
رامسر	۰.۳۶	۰.۳۷۸	۰.۴۳۹	۰.۱۰۴	۰.۴۲۶	۰.۹۵۶	۰.۹۲۹	۱.۱۷۱	۰.۵۸۸	۰.۷۳۶	۰.۴۲۷	۰.۳۹۵

در تحلیل معنی داری روندهای ماهیانه مشخص شد که با استفاده آزمون من-کندال از بین موارد جدول، ۳۰/۵۵ درصد روند صعودی و ۶۹/۴۵ درصد فاقد روند بوده اند.

سری زمانی فصلی و سالانه: بررسی های فصلی و سالانه نشان داد که در سری های زمانی سالانه و فصلی روندها افزایشی بوده اند (جدول ۳). در ایستگاه رامسر روند تبخیر و تعرق سالانه و در تمام فصول سال بصورت افزایشی بوده است . در ایستگاه رامسر در سری زمانی سالانه و فصلی روند معنی دارافزایشی اتفاق افتاده است. نتایج بررسی های فصلی (جدول ۳) نشان می دهد که در تایید نتایج ماهیانه، تعداد و درصد موارد معنی دار روند 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 ۴ مقادیر شیب روندهای فصلی و سالانه مربوط به ایستگاه مورد مطالعه ارائه شده است.

جدول ۳- مقادیر آزمون من-کندال برای سری زمانی تبخیر و تعرق در مقیاس فصلی و سالانه

ایستگاه	زمستان (ژانویه تا مارس)	بهار (آوریل تا ژوئن)	تابستان (ژوئیه تا سپتامبر)	پاییز (اکتبر تا دسامبر)	سالانه
رامسر	۲.۹۰۲۱۲	۳.۱۵۰۱۶	۳.۱۰۰۵۵	۳.۳۹۸۲	۳.۳۴۸۵۹

جدول ۴- میزان شیب روندهای تبخیر و تعرق در سری فصلی و سالانه

ایستگاه	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	سالانه (mm/year)
رامسر	۱.۱۰۶	۱.۴۸۷	۲.۶۸۹	۱.۵۵۹	۶.۹۱۴

مقادیر روندهای فصلی بر حسب میلیمتر در سال مربوطه میباشد.

منابع:

- ۱- خلیلی، علی و بذر افشان، جواد (۱۳۸۳). تحلیل روند تغییرات بارندگی های فصلی و ماهانه پنج ایستگاه قدیمی ایران در یکصد و شانزده سال گذشته، مجله بیابان. جلد ۹. شماره ۱.
- ۲- Abdul Aziz O.I., and Burn D.H. ۲۰۰۶. Trends and variability in the hydrological regime of the Mackenzie River Basin, *Journal of Hydrology*, ۳۱۹:۲۸۲-۲۹۴.
- ۳- Burn D.H., and Hesch N.M. ۲۰۰۷. Trends in evaporation for the Canadian Prairies, *Journal of Hydrology*, ۳۳۶:۶۱-۷۳
- ۴- Chen H., Guo S, Xu C.Y., and Singh V.P. ۲۰۰۷. 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*, ۳۴۴:۱۷۱-۱۸۴.
- ۵- Garbrecht J., Van Liew M., and et al. ۲۰۰۴. Trends in precipitation, streamflow, and evapotranspiration in the Great Plains of the United States, *Journal of Hydrological Engineering*, ۹ (۵):۳۶۰-۳۶۷.
- ۶- Ghafari, A., Ghasemi, V. and Depao, V., ۲۰۰۴, Agricultural Climate Zone Classification with UNESCO Method, *Drought and drought*, ۱۲: ۳۰-۳۵.
- ۷- Hisdal H, Stahl K, Tallaksen L.M, and Demuth S. ۲۰۰۱. Have streamflow droughts in Europe become more severe or frequent, *Int. J. Climatol*, ۲۱:۳۱۷-۳۳۳.
- ۸- Kendall M.G. ۱۹۷۵. Rank Correlation Methods. Griffin, London, UK.
- ۹- Lettenmaier, D. P., E. F. Wood, and J. R. Wallis, ۱۹۹۴: Hydro-climatological Trends in the Continental United States, ۱۹۴۸-۸۸. *J. Climate*, ۷: ۵۸۶-۶۰۷
- ۱۰- Li, Z.L, Xu, Z.X., Li, J.Y and Li, Z.J. ۲۰۰۸. Shift trend and step changes for runoff time series in the Shiyang River basin, northwest China. *Hydrological Processes* ۲۲: ۴۶۳۹-۴۶۴۶.
- ۱۱- Tabari H., Marofi S., Aeni A., Hosseinzadeh Talaeaa P., and Mohammadi K. ۲۰۱۱. Trend analysis of reference evapotranspiration in the western half of Iran, *Agr. Forest Meteorol*, ۱۵۱ (۲): ۱۲۸-۱۳۶.

- 12- 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.