نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۸، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۳، ص. ۳۰۶-۲۹۶

Journal of Water and Soil
Vol. 28, No. 2, May.-Jun. 2014, p. 296-306

روندیابی تغییرات نیاز آبی گیاه مرجع و متغیرهای هواشناختی مرتبط با آن در آذربایجان شرقی

سعید جهانبخش[۱]- علی محمد خورشید دوست[۲]- حمید میرهاشمی[۳*]- هابیل خرمی[٤] - معصومه تدینی[٥]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۲/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۲۸

چکیده

در این مطالعه به منظور بررسی روند تغییر در نیاز آبی گیاه به مثابه جلوه‌ای از تغییر آب و هوای استان آذربایجان شرقی، با اتخاذ تبخیر ـ تعرق گیاه مرجع به روش فائو ـ پنمن ـ مونتیس و ۱۵ متغیر مرتبط با آن، این مهم با استفاده از روش‌های ناپارامتری اسپیرمن، من ـ کندال و تخمین‌گر شیب سن در ۱۲ سری ماهانه و یک سری سالانه مورد کنکاش قرار گرفت. نتایج حاصل از آماره‌های این دو آزمون حاکی از آن است که از لحاظ معناداری روند پدیده ذیربط، ایستگاه‌های مورد بررسی در دو خوشه جداگانه قرار می‌گیرند. به طوری که خوشه اول شامل ایستگاه‌های تبریز و مراغه بوده که در تمامی سری‌های زمانی آنها، به جزء سری زمانی آوریل تبریز، مابقی سری‌ها دارای روند معنادار افزایشی در سطوح ۹۵٪ و ۹۹٪ اطمینان هستند. خوشه دوم شامل ایستگاه‌های اهر، سراب، میانه و جلفا است که پدیده مذکور به طور مشترک فقط در سری زمانی مارس دارای روند معنادار از نوع افزایشی در همان سطوح اعتماد است. از سویی، نتایج ناشی از آزمون سایر متغیرها، مبین آن است که به‌رغم آنکه در برخی از سری‌های زمانی هیچ یک از متغیرهای هواشناختی روند معناداری نداشتند، اما تبخیر ـ تعرق گیاه مرجع به دلیل متأثر شدن از ترکیب و اثر متقابل آنها، دارای روند معناداری بوده است. در نهایت باید اذعان نمود که جهت بررسی تغییر در آب و هوای هر منطقه تنها نباید به متغیرهای اصلی جو اتکاء کرد چه بسا علی‌رغم معنادار نبودن آنها، ممکن است متغیرهای منبعث از آنها روند معناداری را بیان دارند.

واژه‌های کلیدی: آذربایجان شرقی، تبخیر و تعرق گیاه مرجع، تخمین‌گر شیب سن، من ـ کندال

مقدمه

ایران سرزمینی است که بخش اعظمی از آن از لحاظ خصوصیات آب و هوای، به جز باریکه ساحلی شمال، جزء مناطق خشک و نیمه خشک جهان قرار دارد. در این صورت و به‌رغم دارا بودن میانگین بارشی در حدود یک سوم بارش جهانی، در حدود ۷۲ درصد آبی که به صورت نزولات جوی بر روی کشور فرو می‌ریزد مستقیماً تبخیر می‌گردد (۸). از این رو ساکنان این سرزمین از دیرباز جهت تأمین آب مورد نیاز مصارف کشاورزی با مشکلات عدیده‌ای رو به رو بوده‌اند. لذا جهت استحصال آب از منابع سطحی و زیرزمینی به استفاده از روش‌های گوناگونی چون احداث بند، سدهای مخزنی و انحرافی و ذخیره آب باران در گودال‌ها و دایر کردن قنات، چاه‌های عمیق و نیمه عمیق مبادرت ورزیده‌اند. با این وجود، امروزه، به علت پدیده گرمایش جهانی، رشد روزافزون جمعیت، توسعه مناطق زیر کشت و برداشت‌های غیر اصولی و فراتر از پتانسیل منابع آبی، بسیاری از منابع آبی زیرزمینی و بعضاً سطحی را با بحران روبه رو نموده‌اند (۱۵) و احتمال آن می‌رود که نیاز آبی گیاه در برخی از مناطق افزایش یافته است (۲ و ۹).

از آنجایی که پدیده تبخیر کلی یکی از مهمترین پدیده‌های چرخه آب در طبعیت بوده و شناسه نیاز آبی گیاه محسوب می‌شود؛ مشخص نمودن این پدیده نقش کلیدی در بیلان آبی و برنامه‌ریزی‌های مربوط به نوع کشت، آبیاری و حفظ و مدیریت منابع آب و خاک دارد (۷، ۱۱و ۲۷).

از سوی دیگر، برآوردهای دقیق تبخیر ـ تعرق در مطالعاتی از قبیل تغییر آب و هوای جهانی، تکامل محیطی و کنترل منابع آب نقش ارزنده‌ای ایفا می‌کند (۲۳).

تبخیر ـ تعرق یک پوشش گیاهی متراکم روی یک خاک کاملاً غنی از آب، بستگی کامل به عوامل هواشناسی داشته و خیلی کم با جنس خاک و یا واریته گیاه تغییر می‌کند (۶)، بدین جهت، تبخیر ـ تعرق گیاه مرجع نمودی از ترکیب و اثرات تعاملی۱۰ الی ۲۰ متغیر

۱، ۲، ۳ و ۴ – به ترتیب استادان، دانشجوی دکتری و دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
(*- نویسنده مسئول: (Email: climate90@yahoo.com
۳- استادیار آب و هواشناسی، دانشگاه آزاد سمنان

هواشناختی از قبیل: تابش خالص خورشید، دمای هوا، سرعت باد، میزان رطوبت هوا و...، است (۱۶) که هرگونه تغییر در آن به طور مستقیم مبین تغییر در نیاز آبی گیاه و گویای تغییر در سایر متغیرهای هواشناختی است.

بنابراین به طور اجمالی می‌توان اذعان نمود که تغییر در پدیده تبخیر ـ تعرق نشانگر جلوه‌ای از تغییر آب و هواست. در نتیجهٔ این فرایند، ممکن است در منطقه‌ای، دما، رطوبت، فشار و سرعت باد (به عنوان شاخص‌ترین متغیرهای معرف تغییر آب و هوا) از نظر آماری دارای روند معنادار نباشند اما ترکیب و رابطه تعاملی آنها با هم و تعیین پدیده‌ای متأثر از آنها می‌تواند روند معناداری را ایجاد نماید. از طرفی، با توجه به این که تبخیر و تعرق یکی از مهمترین پارامترهای است که دانستن آن جهت آب مصرفی گیاه و طراحی سیستم‌های آبیاری ضروری است (۱۳ و ۱۷) در نتیجه با تشخیص وجود تغییر این پدیده در هر منطقه باید نوع گیاه یا کشت، شبکه آبیاری، آبرسانی و طرح‌های آبی متناسب با آن جایگزین سیستم قبلی، در صورت عدم تناسب آن با شرایط آب و هوای نوین گردد.

با این حال تغییر در آب و هوا بحثی است که اندیشمندان علوم محیطی و سایر پژوهشگران مرتبط با آب و هوا در مورد آن اتفاق نظر ندارند. در این خصوص، بیشتر پژوهشگران با آزمون قرار دادن چندین متغیر یا با اتکاء به روش‌های آزمایشگاهی آب و هوای دیرینه در جهت رد یا تائید آن گام‌های مؤثری برداشته‌اند از قبیل: جاجاریا و همکاران (۱۸) که جهت روندیابی تبخیر ـ تعرق مرجع در نواحی مرطوب شمال شرق هند با حذف سری‌های دارای خود همبستگی معنادار، از روش من ـ کندال اصلاح شده استفاده نمودند. نتایج ایشان حاکی از وجود روند معنادار کاهشی در سری‌های زمانی فصلی و سالانه است. ایشان کاهش در تبخیر و تعرق را منسوب به کاهش در سرعت باد و تابش خالص دانستند و اظهار داشتند که کاهش مداوم این دو پارامتر نه تنها تأثیر افزایش دما را در تبخیر ـ تعرق متعادل نموده است بلکه به طور واقعی سبب کاهش در تبخیر ـ تعرق مرجع در نواحی مرطوب شمال شرق هند شده است. اکسو و همکاران (۲۹)، با کاربرد آزمون ناپارامتری من ـ کندال بر روی دمای هوا، بارندگی و دبی جریان در مقیاس زمانی ماهانه، فصلی و سالانه طی دوره آماری ۱۹۶۰–۲۰۰۷ در حوضه تاریم در چین به این نتیجه رسیدند که دمای سالانه ۸۰ درصد ایستگاه‌ها و بارندگی ۱۲ درصد ایستگاه‌ها دارای روند مثبت معنادار است. در خصوص دبی سالانه نیز در مناطق مختلف حوضه، روند مثبت و منفی به صورت توأم وجود دارد. کومار و همکاران (۲۰)، جهت شناسایی روند جریان در ایالت ایندیانای آمریکا، آزمون ناپارامتری من ـ کندال را با ۴ روش مختلف بر روی آمار کمینه، میانگین و بیشینه دبی جریان، در مقیاس زمانی فصلی و سالانه، مربوط به ۳۱ ایستگاه آب سنجی که دارای آمار ۵۰ سال یا بیشتر به صورت پیوسته بودند انجام دادند. یافته‌های ایشان حاکی از آن است که روند مثبت و معناداری در کمینه و میانگین جریان وجود دارد. در نهایت نتیجه‌گیری شده است که حذف اثر خود همبستگی‌ها، تعداد ایستگاه‌های دارای روند معنادار را در قیاس با آزمون بدون حذف اثر خود همبستگی کاهش می‌دهد. پالتریج و همکاران (۲۵) در بررسی روند رطوبت سطوح میانی و بالای تروپوسپهر، با استفاده از داده‌های باز تحلیل شده $NCEP$ طی دوره ۱۹۷۳ –۲۰۰۷ به این نتیجه رسیدند که روند تغییرات میانگین رطوبت ویژه در تمام ارتفاعات بالای ۸۵۰ هکتوپاسکال در نواحی حاره‌ای و عرض‌های میانه نیمکره جنوبی و در ارتفاعات بالای ۶۰۰ هکتوپاسکال در عرض‌های میانه نیمکره شمال کاهشی است. کایا و کالایسی (۱۹)، به منظور شناسایی وجود روند در جریانات رودخانه‌ی ترکیه، ۴ آزمون ناپارامتری تخمین‌گر شیب سن، اسپیرمن، من ـ کندال و من ـ کندال گرافیکی را در یک دوره ۳۱ ساله در مقیاس ماهانه، بر روی ۲۶ حوضه آبخیز ترکیه اعمال نمودند. نتایج ایشان حاکی از آن است که حوضه‌های غربی و جنوبی شرقی دارای روند کاهشی معنادار در سطح ۹۵٪ اطمینان هستند. در حالی که حوضه‌های شرقی فاقد روند می‌باشند. دین‌پژوه (۵) با بررسی روند تغییرات تبخیر ـ تعرق گیاه مرجع در ایستگاه همدان نوژه به این نتیجه رسید که در ماه‌های گرم سال، سرعت باد و دمای بیشینه مؤثرترین متغیر در تبخیر ـ تعرق گیاه مرجع هستند. حجام و همکاران (۴)، با بهره‌گیری از دو روش ناپارامتری من ـ کندال و تخمین‌گر شیب سنس روند تغییرات بارندگی‌های فصلی و سالانه ۴۸ ایستگاه باران‌سنجی واقع در حوضه‌ی مرکزی ایران را مورد بررسی و کنکاش قرار دادند. نتایج مطالعه ایشان بیانگر آن است که با توجه به ناکافی بودن تعداد سری‌های دارای روند معنادار نسبت به سری‌های فاقد روند نمی‌توان روند خاصی را برای بارندگی‌های فصلی و سالانه منطقه مذکور ارائه نمود. کتیرایی و همکاران (۱۰)، به منظور آشکارسازی سهم تغییرات فراوانی و شدت بارش روزانه در روند بارش ایران، از آزمون من ـ کندال جهت تشخیص روند و از روش خطی حداقل مربعات جهت برآورد اندازه روند استفاده کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که روند کاهشی در بارش‌های خفیف به طرف روند افزایشی بارش‌های سنگین وجود دارد که با روند افزایشی و غالباً معنادار بارش سالانه یا فصلی تطابق دارد. در برخی از ایستگاه‌ها نیز سیر نزولی از روند بارش‌های خفیف به طرف روند کاهشی در بارش‌های سنگین مشخص گردید که با روند کاهشی و غالباً معنادار بارش کل سالانه یا فصلی تطابق دارد. جهانبخش و ترابی (۳) در مطالعه‌ای به بررسی و پیش‌بینی دما و بارش در ایران پرداختند. ایشان با کاربرد روش‌های آماری و استفاده از داده‌های آماری ۴۱ ایستگاه سینوپتیک واقع در سطح کشور دریافتند که تغییرات اقلیمی در دوره ۱۹۶۶ تا ۱۹۹۵ در ایران یکسان نیست.

همانگونه که از مطالعات فوق آشکار است اغلب این پژوهش‌ها با

تمرکز بر روی یک یا چند متغیر هیدرواقلیمی، در راه بررسی تغییر در آب و هوای منطقه مورد مطالعه‌ی خود از منظر آماری گام برداشته و به نتایج نایکسان و منطقه‌ای دست یافته‌اند. یعنی اینکه برحسب مکان، زمان و نوع متغیر، روند تغییر چه از لحاظ معناداری و چه از منظر جهت روند، متفاوت بوده است. از این رو نمی‌توان به طور دقیق به مسئله چگونگی تغییر در آب و هوا در هر منطقه پاسخ قانع کننده‌ای داد. با این وجود در مطالعه حاضر بدان جهت که در رابطه با نیاز آبی گیاه پارامترهای موثر زیادی از متغیرهای هواشناختی دخالت دارند، برآنیم تا با روندیابی تبخیر ـ تعرق گیاه مرجع به مثابه شناسه نیاز آبی گیاه مرجع، میزان و نوع تغییر آن را شناسائی نموده و در این صورت علت این تغییر را با آزمون قرار دادن ۱۵ متغیر مرتبط و مؤثر در آن در استان آذربایجان شرقی روشن نمائیم.

مواد و روش‌ها

چون رهیافت این مطالعه مبتنی بر بررسی تغییر در آب و هوای استان آذربجان شرقی است و بدان جهت که متغیرهای بسیاری در چگونگی رخداد تبخیر ـ تعرق گیاه مرجع مؤثر هستند و در واقع تبخیر ـ تعرق گیاه مرجع به منزله نیاز آبی گیاه و نمودی از اثرات متقابل متغیرهای هواشناختی بسیاری است. بنابراین در این مطالعه پدیده ذی‌ربط به همراه متغیرهای مؤثر بر آن، به عنوان شاخصی هر چند غیر دقیق، جهت بررسی تغییر در آب و هوای استان آذربایجان شرقی در نظر گرفته شد.

متخصصان علوم جوی در بررسی روند پدیده‌ی خاص بایستی از داده‌های بیشترین تعداد ایستگاه‌ها با طولانی‌ترین آمار متغیرهای هواشناختی استفاده کنند، اما تغییرات این دو عامل در جهت عکس همدیگر می‌باشد. بدین ترتیب که هر چه طول دوره آماری بلندتر باشد تعداد ایستگاه‌های مورد نظر کمتر و هر چه تعداد ایستگاه‌ها بیشتر شود دوره آماری مناسب برای بررسی کمتر می‌شود (۱۰). لذا در این مطالعه با رعایت مفروضات فوق، ایستگاه‌های تبریز، مراغه، اهر، میانه، جلفا و سراب جهت انجام پژوهش انتخاب گردیدند. بدین منظور نخست داده‌های، بیشینه، کمینه و میانگین دما، رطوبت، فشار، سرعت باد و ساعت آفتابی در بازه‌های زمانی روزانه از بدو تأسیس هر ایستگاه تا سال ۲۰۱۱ میلادی از اداره هواشناسی استان آذربایجان شرقی اخذ شد.

تبخیر ـ تعرق گیاه مرجع با استفاده از روش فائو ـ پنمن ـ مونتیس (رابطه ۱) به گونه‌ی تعبیه یافته است که برخی از متغیرهای آن در ایستگاه‌های هواشناسی سنجیده می‌شوند و برخی دیگر را نیز می‌توان با کاربرد فرمول‌های تجربی، از متغیرهای معمول اندازه‌گیری شده، برآورد نمود. لذا به علت معایب موجود در اندازه‌گیری‌های مستقیم و یا عدم داده، با استفاده از چندین رابطه تجربی که چگونگی آنها در پی ارائه خواهند شد و براساس متغیرهای اخذ شده از اداره هواشناسی، متغیرهای دیگری چون: میزان فشار بخار اشباع (رابطه ۲)، فشار بخار (رابطه ۳)، تابش خالص در بیرون از جو، تابش خالص دریافتی (رابطه ۴)، تابش خورشید در آسمان ابری (رابطه ۵)، مقدار تابش خورشید در آسمان صاف (رابطه ۶)، مقدار تابش دریافتی موج کوتاه در سطح زمین (رابطه ۷)، تابش خالص بازتابی موج بلند از سطح زمین (رابطه ۸)، منحنی شیب فشار بخار اشباع (رابطه ۹) و ضریب رطوبت (رابطه ۱۰) به صورت روزانه برای هر ایستگاه محاسبه شد.

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (۱)$$

در رابطه فوق ET_0 تبخیر و تعرق گیاه مرجع $\left[mm\ day^{-1}\right]$، R_n تابش خالص خورشید در سطح پوشش گیاهی $\left[MJ\ m^{-2}\ day^{-1}\right]$، است که از اختلاف بین مقدار تابش خالص در سطح زمین R_{ns} و تابش خالص بازتابی موج بلند در سطح زمین R_{ni} براساس رابطه۲ محاسبه می‌گردد. G چگالی شار گرما به داخل خاک $\left[MJ\ m^{-2}\ day^{-1}\right]$ ، γ ضریب رطوبتی $\left[kPa\ ^{\circ}C^{-1}\right]$ است که با استفاده از رابطه ۳ تخمین زده می‌شود. u_2 سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین $\left[m\ s^{-1}\right]$، عبارت $(e_s - e_d)$ کمبود فشار بخار اشباع $\left[kPa\right]$ و Δ شیب منحنی فشار بخار اشباع $\left[kPa\ ^{\circ}C^{-1}\right]$ است که با بهره گیری از روابط ۳ و۴ محاسبه می‌شوند.

$$e_s(T) = 0.6108 \exp\left[\frac{17.27\ T}{T + 237.3}\right] \quad (۲)$$

در رابطه فوق e_s فشار بخار اشباع در دمای (T) برحسب $\left[kPa\right]$ و T دمای هوا $\left[^{\circ}C\right]$

$$e_d = \frac{e_s \times HM}{100} \quad (۳)$$

در رابطه فوق، e_d فشار واقعی بخار آب $\left[kPa\right]$ و HM رطوبت نسبی بر حسب $\left[\%\right]$.

$$R_n = R_{ns} - R_{ni} \quad (۴)$$

$$R_s = \left(a_s + b_s \frac{n}{N}\right) R_a \quad (۵)$$

در رابطه فوق R_s تابش موج کوتاه خورشید $\left[MJ\ m^{-2}\ day^{-1}\right]$، n ساعت آفتابی واقعی $\left[hour\right]$ و N

حداکثر ساعت آفتابی $[hour]$، R_a تابش بیرون از جو $\left[MJ\ m^{-2}\ day^{-1}\right]$، و a_s+b_s کسری از تابش بیرون از جو رسیده به زمین در آسمان صاف می‌باشد.

$$R_{so}=\left(a_s+b_s\right)R_a \qquad (۶)$$

در رابطه فوق R_{so} تابش خورشید در آسمان صاف $\left[MJ\ m^{-2}\ day^{-1}\right]$ است.

$$R_{ns}=\left(1-\alpha\right)R_s \qquad (۷)$$

R_{ns} تابش دریافتی موج کوتاه در سطح $\left[MJ\ m^{-2}\ day^{-1}\right]$ و α آلبیدو یا ضریب انعکاس پوشش گیاهی است که به طور فرضی برای گیاه مرجع، آن را ۰/۲۳ در نظر می‌گیرند.

$$R_{nI}=\sigma\left[\frac{T_{max,K^4}+T_{min,K^4}}{2}\right]\left(0.34-0.14\sqrt{e_a}\right)\left(1.35\frac{R_s}{R_{so}}-0.34\right) \qquad (۸)$$

در رابطه فوق R_{nI} تابش خالص موج بلند از زمین $\left[MJ\ m^{-2}\ day^{-1}\right]$، σ ثابت استفان بولتزمن: $\left[4.90310^{-9}\ MJ\ K^{-4}\ m^{-2}\ day^{-1}\right]$ و T_{max,K^4} و T_{min,K^4} به ترتیب حداکثر و حداقل مطلق دما ۲۴ ساعته $[K]$ است. عبارت $0.34-0.14\sqrt{e_a}$ تصحیحی برای رطوبت هوا است که با افزایش رطوبت عبارت مذکور کاهش می‌یابد. جمله $\left(1.35\frac{R_s}{R_{so}}-0.34\right)$ تأثیر ابرناکی است.

$$\Delta=\frac{4098\left[0.6108\exp\left(\frac{17.27\ T}{T+237.3}\right)\right]}{\left(T+237.3\right)^2} \qquad (۹)$$

در رابطه فوق Δ شیب منحنی فشار بخار اشباع، $\left[kPa\ ℃^{-1}\right]$ است.

$$\gamma=\frac{c_p\ P}{\varepsilon\lambda}=0.665\times10^{-3}\ P \qquad (۱۰)$$

در رابطه فوق γ ثابت رطوبت $\left[kPa\ ℃^{-1}\right]$ و P فشار هوا $[kPa]$ است.

شایان ذکر است که این روش از سوی فائو در قیاس با سایر روش‌های موجود، چه برای شرایط آب و هوایی خشک و چه برای شرایط آب و هوای مرطوب به عنوان معتبرترین روش جهت محاسبه تبخیر ـ تعرق گیاه مرجع پیشنهاد شده است (۸). این روش برای گیاه مرجع با ارتفاع فرضی ۰/۱۲ متر، با مقاومت سطحی ۷۰ متر در ثانیه و ضریب انعکاس ۲۳ درصد در نظر گرفته شده است (۱۶). در گام آخر چون هدف از انجام پژوهش حاضر، دستیابی به وجود تغییر یا عدم تغییر در نیاز آبی گیاه مرجع و بازشکافی علت و چگونگی این تغییر می‌باشد، به علت وابسته نبودن توزیع احتمال سنجه‌ی آزمون‌های ناپارامتری به شکل توزیع دیدبانی‌ها، یعنی به علت عدم تأثیرپذیری از مقادیر غیر معمول و دورافتاده داده‌ها و در نتیجه مقاوم بودن نسبت به خطاهای احتمالی (۲۱) و نیز به سبب آنکه این آزمون‌ها نیاز به مفروضات متعدد نداشته (۱۲) و فهم آنها نسبت به آزمون‌های پارامتری (۱) آسان‌تر است با کاربرد سه روش ناپارامتری اسپیرمن[1]، من ـ کندال[2] و تخمین‌گر شیب سن[3] در سطوح اعتماد ۹۵٪ و ۹۹٪ روند تغییرات تبخیر ـ تعرق گیاه مرجع و ۱۵ متغیر دیگر که به نوعی در میزان این پدیده مؤثر بوده، یا به عبارتی مقدار احراز شده این پدیده در اثر عملکرد ترکیبی این متغیرهاست، در دوازده سری زمانی ماهانه و یک سری زمانی سالانه مورد آزمون قرار می‌گیرد.

آزمون من ـ کندال ابتدا توسط من (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال (۱۹۷۵) بسط و توسعه یافت (۲۶) کاربرد آن توسط سازمان جهانی هواشناسی توصیه گردید (۲۴). از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند اشاره نمود. از دیگر مزیت‌های این روش می‌توان به اثرپذیری ناچیز آن از مقادیر فرین که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردند اشاره نمود (۲۸) فرض صفر این آزمون مبین تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری و پذیرش فرض یک دال بر وجود روند در سری داده‌هاست. مراحل محاسبه آماره این آزمون به شرح زیر است:

نخست محاسبه اختلاف بین تک تک مشاهدات با همدیگر و اعمال تابع علامت و استخراج پارامتر S به شرح زیر:

$$S=\sum_{k=1}^{n-1}\sum_{j=k+1}^{n}\operatorname{sgn}\left(X_j-X_k\right) \qquad (۱۱)$$

در رابطه فوق: n تعداد مشاهدات سری، X_j و X_k به ترتیب داده‌های j اُم و k اُم. sgn تابع علامت است که به طریق زیر محاسبه می شود.

$$\operatorname{sgn}\left(X\right)=\begin{cases}+1 & if\ \left(X_j-X_k\right)>0\\ 0 & if\ \left(X_j-X_k\right)=0\\ -1 & if\ \left(X_j-X_k\right)<0\end{cases} \qquad (۱۲)$$

1-spearman
2- Man- kendal
3- Sen's Estimator Slop

به علت اینکه تمام ایستگاه‌ها دارای آمار بیش از ۱۰ سال هستند، برای محاسبه واریانس از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$Var(S)=\frac{n(n-1)(2n+5)-\sum_{i-1}^{m}t(t-1)(2t+5)}{18} \quad (۱۳)$$

در رابطه فوق m مبین تعداد سری‌هایی است که در آنها حداقل یک داده تکراری وجود دارد و t بیانگر فراوانی داده‌هایی با ارزش برابر است. در نهایت آماره Z با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$Z=\begin{cases}\dfrac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & if \quad S>0\\ 0 & if \quad S=0\\ \dfrac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & if \quad S<0\end{cases} \quad (۱۴)$$

در یک آزمون دو دامنه جهت روندیابی سری داده‌ها فرض صفر پذیرفته می‌شود اگر: $|Z|\le Z_{\alpha/2}$ که سطح معناداری و Z_{α} آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معناداری α است. با توجه به دو دامنه بودن آزمون از $\alpha/2$ استفاده شده است. در بررسی حاضر آزمون برای سطوح اعتماد ۹۹٪ و ۹۵٪ بکار گرفته شد. در صورت مثبت بودن آماره Z روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن روند نزولی است.

روش تخمین‌گر شیب سن مانند روش من ـ کندال براساس مفهوم تفاوت بین مشاهدات یک سری زمانی بنا نهاده شده است. در این روش شیب بین هر جفت داده در سری زمانی محاسبه شده و میانه سری شیب‌های بدست آمده استخراج می‌گردد، سپس به یاری روابطی که در پی می‌آیند در مورد معناداری شیب نهایی داوری می‌شود.

نخست محاسبه شیب بین هر جفت داده با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود. با اعمال رابطه ۱۵ برای هر جفت داده یک سری زمانی از شیب‌های محاسبه شده حاصل می‌گردد که با محاسبه میانه این سری زمانی شیب خط روند Q_{med} بدست می‌آید. مقدار مثبت این آماره حاکی از روند صعودی و مقدار منفی آن روند نزولی سری داده‌ها را بیان می‌دارد

$$Q=\frac{X_t-X_s}{t-s} \quad (۱۵)$$

در رابطه فوق X_t و X_s به ترتیب داده‌های مشاهده‌ای در زمان‌های t و s بوده و t یک واحد زمانی بعد از زمان s است. در مرحله بعد پارامتر C_a در سطوح اعتماد مورد آزمون با استفاده از رابطه محاسبه می‌شود:

$$C_a=Z_1-\frac{\alpha}{2}\times\sqrt{Var(S)} \quad (۱۶)$$

در رابطه ۱۶ پارامتر Z_1 آماره نرمال استاندارد و $\frac{\alpha}{2}$ سطح معناداری برای سطوح مختلف اعتماد است. در گام سوم حدود اعتماد بالا و پایین شیب بدست آمده از طریق عبارت‌های زیر محاسبه می‌شوند.

$$\begin{cases}M_1=\dfrac{N-C_a}{2}\\ M_2=\dfrac{N+C_a}{2}\end{cases} \quad (۱۷)$$

در روابط فوق N تعداد شیب‌های محاسبه شده توسط است، M_1 و M_2 به ترتیب حد پایین و بالای حدود اطمینان هستند. در مرحله آخر M_1 اُمین و M_2+1 اُمین شیب‌ها از بین شیب‌های محاسبه شده توسط رابطه ۱۵ استخراج می‌گردند. در صورتی که عدد صفر در دامنه بین دو شیب استخراج شده مذکور قرار گیرد فرض صفر پذیرفته شده و عدم وجود روند در سری داده‌ها تأئید می‌گردد. در غیر این صورت فرض صفر رد و وجود روند در سطح اطمینان مورد آزمون تأئید می‌گردد.

نتایج و بحث

آماره‌های حاصل از آزمون تبخیر ـ تعرق گیاه مرجع (جدول‌های ۱ و ۲) نشان می‌دهد که ایستگاه‌ها از لحاظ معناداری روند پدیده ذی‌ربط در دو خوشه جداگانه جای می‌گیرند. خوشه اول شامل ایستگاه‌های تبریز و مراغه است که در تمامی سری‌های زمانی (به جز آوریل تبریز که معنادار نیست) میزان تبخیر ـ تعرق گیاه مرجع دارای روند معنادار افزایشی است و خوشه دوم مربوط به سایر ایستگاه‌هاست، که این ایستگاه‌ها همگی به طور مشترک در سری مارس دارای روند معنادار افزایشی هستند. بعضاً ایستگاه اهر در سری‌های زمانی اوت و سالانه، ایستگاه جلفا در سری سالانه، ایستگاه سراب در سری اوت و ایستگاه میانه در سری سپتامبر نیز دارای روند معنادار در جهت افزایشی هستند. با این وجود، ایستگاه‌های خوشه دوم در مابقی سری‌های زمانی دارای روند افزایشی یا کاهشی هستند، ولی این روندها معنادار نیستند.

در این میان، مقایسه شدت روند براساس آماره تخمین‌گر شیب سن، در سری‌های زمانی مشترک معنادار تمامی ایستگاه‌ها بیانگر آن است که ایستگاه اهر در ماه مارس با شیب ۰/۰۴۶ میلی‌متر در روز و ایستگاه میانه با شیب ۰/۰۲۹ میلی‌متر در روز به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار تغییر را در قیاس با سایر ایستگاه‌ها به خود اختصاص می‌دهند. در سری‌های ژانویه، فوریه و مه، ایستگاه تبریز دارای بیشترین مقدار تغییر و در سایر سری‌ها ایستگاه مراغه دارای بیشترین

مقدار تغییر در بین ایستگاه‌های استان آذربایجان شرقی است.

مقایسه سری‌های زمانی ماهانه ایستگاه‌های تبریز و مراغه به طور جداگانه نشان می‌دهد که این دو ایستگاه در سری ژانویه به ترتیب با مقدار شیب ۰/۰۱۱۹ و ۰/۰۰۸۶۷ میلی‌متر در روز دارای کمترین روند تغییر در بین سایر سری‌های زمانی معنادار هستند. همچنین ایستگاه مراغه در سری اوت با شیب ۰/۰۹۰۸ میلی‌متر در روز و ایستگاه تبریز در سری ژوئن با شیب ۰/۰۵۱۱ میلی‌متر در روز دارای شدیدترین مقدار تغییر در تبخیر ـ تعرق گیاه مرجع در قیاس با سایر سری‌های زمانی هستند. لازم به ذکر است چون ارائه آماره‌های تمام متغیرهای مورد در قیاس با سایر سری‌های زمانی هستند. لازم به ذکر است چون ارائه آماره‌های تمام متغیرهای مورد آزمون به علت کثرت آنها به صورت جدول در قالب این نوشتار نمی‌گنجد تنها نتایج حاصل از آزمون معناداری تبخیر ـ تعرق گیاه مرجع تمام ایستگاه‌ها در کل سری‌های زمانی ارائه گردید. اینک جهت روشن‌تر شدن چگونگی ایفای نقش سایر متغیرها در سری‌های زمانیی که روند تبخیر ـ تعرق گیاه مرجع در هر ایستگاه معنادار است، شرح و چگونگی تغییر این متغیرها در ذیل به تفکیک هر ایستگاه بیان می‌گردد:

همانگونه که ذکر شد چون تبخیر ـ تعرق گیاه مرجع در ایستگاه سراب تنها در ماه مارس و اوت دارای روند معنادار است، بنابراین تنها متغیرهای این ماه‌ها در مورد ایستگاه تشریح می‌شوند. در سری زمانی مارس ایستگاه سراب، دمای بیشینه، سرعت باد، تابش بازتابی موج بلند و ضریب رطوبت، دارای روند معنادار افزایشی می‌باشند. حال آنکه در سری اوت هیچ کدام از متغیرها دارای روند معنادار نیستند. در سری مارس ایستگاه جلفا، بیشینه، کمینه و دمیانگین دما، فشار بخار اشباع، اختلاف فشار، شیب منحنی فشار بخار اشباع، دارای روند معنادار افزایشی و در سری سالانه علی‌رغم روند معنادار تبخیر ـ تعرق گیاه مرجع، هیچ یک از متغیرهای دیگر روند معناداری را نشان نمی‌دهند.

در سری مارس ایستگاه اهر بیشینه و میانگین دما، سرعت باد، فشار بخار اشباع، اختلاف فشار بخار، شیب منحنی فشار بخار اشباع و ضریب رطوبتی و در سری سالانه دمای کمینه، ساعت آفتابی، تابش بازتابی موج بلند، تابش دریافتی موج کوتاه و ضریب رطوبتی روند معنادار افزایشی را نمایش می‌دهند، ولی در سری اوت همین ایستگاه با وجود معناداری تبخیر ـ تعرق گیاه مرجع، مانند سری سالانه ایستگاه جلفا هیچ کدام از متغیرهای دیگر روند معناداری ندارند. در سری مارس ایستگاه میانه: تنها دمای کمینه و بیشینه روند معنادار از نوع افزایشی را نشان می‌دهد.

نظر به اینکه روند تبخیر ـ تعرق گیاه مرجع در تمام سری‌های زمانی ایستگاه مراغه دارای روند معنادار است، بنابراین تمامی متغیرهای این سری‌ها تشریح می‌گردند.

جدول۱- نتایج آماره‌های آزمون من ـ کندال و تخمین‌گر شیب سن بر روی تبخیر و تعرق گیاه مرجع

	تبریز		مراغه		اهر		میانه		جلفا		سراب	
	Q	Z	Q	Z	Q	Z	Q	Z	Q	Z	Q	Z
ژانویه	۰/۰۱**	۳/۸**	۰/۰۱**	۳/۱**	۰/۰۱	۰/۷۱	۰/۰۰	۰/۵۸	۰/۰۰	۱/۱۵	۰/۰۱	۱/۳۳
فوریه	۰/۰۲**	۳/۸۲**	۰/۰۲**	۳/۳**	۰/۰۲	۱/۶۳	۰/۰۱	۱/۸۹	۰/۰۱	۱/۶۳	۰/۰۱	۱/۸۹
مارس	۰/۰۴**	۳/۱**	۰/۰۴**	۴/۲۱**	۰/۰۵**	۳/۱**	۰/۰۳**	۳/۱۱**	۰/۰۳**	۳/۳۴**	۰/۰۳*	۲/۲۷*
آوریل	۰/۰۱	۱/۶۱	۰/۰۲**	۲/۷۵**	−۰/۰۱	−۰/۴	۰/۰۰	−۰/۳	−۰/۰۱	−۰/۷۵	۰/۰۱	۰/۶۸
مه	۰/۰۴**	۲/۹۳**	۰/۰۴**	۲/۹۴**	۰/۰۰	−۰/۴	−۰/۰۲	−۱/۱۹	۰/۰۰	−۰/۰۴	−۰/۰۱	−۰/۶۳
ژوئن	۰/۰۵**	۲/۹۳**	۰/۰۷**	۴/۴۸**	۰/۰۱	۰/۶۶	−۰/۰۱	−۰/۴۹	۰/۰۲	۰/۹۲	۰/۰۰	۰/۲۱
ژوئیه	۰/۰۵**	۲/۸۹**	۰/۰۷**	۳/۳۸**	۰/۰۳	۱/۵۴	۰/۰۰	−۰/۳	۰/۰۳	۱/۵۸	۰/۰۲	۱/۰۵
اوت	۰/۰۵**	۳/۷۵**	۰/۰۹**	۴**	۰/۰۳**	۲/۳**	۰/۰۱	۰/۶۳	۰/۰۲	۱/۲۱	۰/۰۲*	۱/۹۹*
سپتامبر	۰/۰۵**	۳/۸۵**	۰/۰۷**	۲/۸۶**	۰/۰۰	۰/۱۸	۰/۰۲*	۱/۹۶*	۰/۰۲	۱/۵۸	۰/۰۱	۰/۹۱
اکتبر	۰/۰۴**	۴/۵**	۰/۰۵**	۳/۹۳**	۰/۰۲	۱/۵	۰/۰۱	۰/۹۱	۰/۰۰	۰/۵	۰/۰۲	۱/۷۵
نوامبر	۰/۰۲*	۲/۵۷*	۰/۰۲**	۴/۱**	−۰/۰۱	−۰/۳۱	۰/۰۰	−۰/۵۴	۰/۰۰	۰/۷۵	−۰/۰۱	−۰/۷۷
دسامبر	۰/۰۱**	۳/۷۸**	۰/۰۲**	۴/۵۶**	۰/۰۱	۰/۷۹	۰/۰۰	−۱/۸۹	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۴۹
سالانه	۰/۰۳**	۴/۴۲**	۰/۰۵**	۴/۷۲**	۰/۰۱*	۲/۴*	۰/۰۰	۰/۲۶	۰/۰۰	۲/۱۶	۰/۰۱	۱/۵۲

در سطوح اعتماد ۹۵٪ و ۹۹٪ Q = شیب میانه، Z = آماره من ـ کندال،*معناداری در سطح ۹۵٪ ،**معناداری در سطح ۹۹٪ اطمینان

جدول۲- نتایج آماره آزمون رو اسپیرمن بر روی تبخیر و تعرق گیاه مرجع در سطوح

	تبریز	مراغه	اهر	میانه	جلفا	سراب
ژانویه	۰/۵۵۲**	۰/۵۶**	۰/۱۲۸	۰/۱۲٤	۰/۱۶۶	۰/۲۵
فوریه	۰/۷۰۸**	۰/۶۰۴**	۰/۳۵۹	۰/۳۹۲	۰/۳۰۳	۰/۳۹۲
مارس	۰/۷۷۱**	۰/۷۷**	۰/۵۸۹**	۰/۵۸۸**	۰/۶۵**	۰/۴۸*
آوریل	۰/۳۰۶	۰/۴۹۸**	-۰/۱	-۰/۱۱۶	-۰/۱۶۸	۰/۱۲۶
مه	۰/۵۴۳**	۰/۵۳۸**	-۰/۱۰۱	-۰/۲۳۵	۰/۰۰۹	-۰/۱۳۳
ژوئن	۰/۵۹۳**	۰/۸۰۲**	۰/۱۳۶	-۰/۰۸۸	۰/۱۹۲	۰/۱۲۶
ژوئیه	۰/۵۳۲**	۰/۶۴**	۰/۳	-۰/۰۹۲	۰/۳۲۴	۰/۰۸۲
اوت	۰/۶۹۸**	۰/۷۴۲**	۰/۴۲۲*	۰/۱۱٦	۰/۲۶۹	۰/۴۴۱*
سپتامبر	۰/۷۰۷**	۰/۵۷۷**	۰/۰۹۱	۰/۴۳۹*	۰/۳۱۷	۰/۰۴۶
اکتبر	۰/۷۷۹**	۰/۷۳۱**	۰/۳۴۴	۰/۲۳۷	۰/۱۱۱	۰/۲۷۸
نوامبر	۰/۴۵۴*	۰/۷۴۱**	-۰/۰۸۹	-۰/۱۳۵	۰/۱	-۰/۱۳
دسامبر	۰/۷۱۱**	۰/۸۲۵**	۰/۱۷۷	-۰/۳۹۲	۰/۰۳۳	۰/۰۳۴
سالانه	۰/۷۸۴**	۰/۸۱۱**	۰/۴۵*	۰/۱۴۲	۰/۵۱۴**	۰/۲۲۱

در سری‌های ژانویه، مه، ژوئیه و نوامبر تنها سرعت باد دارای روند معنادار افزایشی است، مابقی پارامترها اعتماد ۹۵ ٪ و ۹۹٪، *معناداری در سطح ۹۵٪ **معناداری در سطح ۹۹٪ اطمینان فاقد روند معنادار هستند.

در سری‌های زمانی ژانویه آوریل و نوامبر، سرعت باد، فشار هوا، و ضریب رطوبت دارای روند معنادار در جهت افزایشی بوده و سایر متغیرها فاقد روند معنادار هستند. در سری فوریه، تمام متغیرها به جزء دمای کمینه و اختلاف فشار بخار اشباع که فاقد روند معنادار هستند مابقی پارامترها روند معنادار افزایشی را نشان می‌دهند. در سری مارس، تمام متغیرها و در سری مه کمینه و بیشینه دما، سرعت باد، فشار هوا و ضریب رطوبت روند معناداری از نوع افزایشی دارا هستند.

در سری زمانی ژوئن، میانگین، بیشینه و کمینه دما، سرعت باد، فشار بخار اشباع، فشار هوا، شیب منحنی فشار بخار اشباع و ضریب رطوبتی و در سری ژوئیه، میانگین دما، سرعت باد، فشار بخار اشباع، شیب منحنی فشار بخار اشباع، فشار هوا و ضریب رطوبتی روند معنادار افزیشی را بیان می‌دارند.

در سری اوت و اکتبر، میانگین، بیشینه و کمینه دما، سرعت باد، فشار بخار اشباع، شیب منحنی فشار بخار اشباع، اختلاف فشار بخار، فشار هوا و ضریب رطوبتی دارای روند معنادار افزایشی بوده و در سری سپتامبر، میانگین و کمینه دما، سرعت باد، فشار بخار اشباع، فشار بخار، شیب منحنی فشار بخار شباع، فشار هوا و ضریب رطوبت دارای روند معنادار افزایشی هستند.

در سری زمانی دسامبر دمای بیشینه، سرعت باد، فشار هوا، ساعت آفتابی، ضریب رطوبتی، تابش موج کوتاه دریافتی، تابش کل دریافتی، تابش بازتابی موج بلند، روند معنادار افزایشی را نشان می‌دهند، در صورتی که تابش خالص دریافتی دارای روند معنادار کاهشی است. در آخر، در سری سالانه ایستگاه مذکور، تمام پارامترها به جزء تابش خالص که فاقد معناداری است، مابقی دارای روند معنادار از نوع افزایشی می‌باشند.

از آنجایی که در ایستگاه تبریز، تبخیر ـ تعرق گیاه مرجع فقط در سری آوریل روند معناداری را نشان نمی‌دهد، بنابراین متغیرهای معنادار تمامی سری‌ها به جزء سری آوریل تشریح می‌گردند. در سری فوریه میانگین، بیشینه و کمینه دما، سرعت باد، فشار بخار اشباع، شیب منحنی فشار بخار اشباع، اختلاف فشار بخار، تابش بازتابی موج بلند و در سری‌های زمانی مارس و سالانه، میانگین، بیشینه و کمینه دما، سرعت باد، فشار بخار اشباع، شیب منحنی فشار بخار اشباع، اختلاف فشار بخار، ضریب رطوبت و تابش بازتابی موج بلند دارای روند معنادار هستند. در سری ژوئن، میانگین، بیشینه و کمینه دما، سرعت باد، فشار بخار اشباع، منحنی شیب فشار بخار اشباع، اختلاف فشار، دارای روند معنادار افزایشی می‌باشند. در سری‌های اوت و اکتبر، میانگین، بیشینه و کمینه دما، سرعت باد، فشار بخار اشباع، منحنی شیب فشار بخار اشباع، اختلاف فشار و ضریب رطوبت و در سری سپتامبر، میانگین و کمینه دما، سرعت باد، فشار بخار اشباع، منحنی شیب فشار بخار اشباع و فشار بخار دارای روند معنادار در جهت افزایشی هستند. در دسامبر، بیشینه دما، سرعت باد، اختلاف فشار، ساعت آفتابی، ضریب رطوبت تابش موج کوتاه دریافتی و تابش موج بلند بازتابی بلند دارای روند معنادار افزایشی، در حالی که تابش خالص روند کاهشی معناداری را می‌پیماید.

نکته حائز اهمیت در مورد دماهای ایستگاه‌های سراب و میانه آن است که علی‌رغم این که، دمای کمینه و بیشینه مطلق این ایستگاه‌ها

در برخی سری‌های زمانی مانند ژوئن، ژوئیه، اوت، سالانه، سپتامبر و...، سیر افزایشی دارند، اما سیر میانگین دما کاهشی است.

به طور کلی، فشار بخار در سری سپتامبر تمام ایستگاه‌ها دارای روند معنادار افزایشی است. ساعت آفتابی، تابش موج بلند بازتابی از سطح زمین، تابش موج کوتاه دریافتی و تابش کل دریافتی، سری دسامبر همه‌ی ایستگاه‌ها به جرء ایستگاه جلفا روند معنادار افزایشی داشته‌اند. همچنین تابش خالص دریافتی ایستگاه‌های مراغه، تبریز و اهر نیز در همین سری زمانی دارای روند معنادار، البته کاهشی است. روند متغیر اخیر سایر ایستگاه‌ها در همین سری نیز کاهشی ولی غیرمعنادار است. سرعت باد، فشار هوا، ضریب رطوبتی در تمامی سری‌های زمانی ایستگاه مراغه دارای روند معنادار از نوع افزایشی هستند. در حالی که در ایستگاه تبریز تنها سرعت باد در تمامی سری‌ها دارای روند معنادار است و سایر متغیرها از جمله دمای هوا در برخی از سری‌ها دارای روند معنادار هستند. همچنین برخی دیگر از متغیرها در بعضی از سری‌ها زمانی دو ایستگاه فوق دارای روند معنادار خواه افزایشی یا خواه کاهشی می‌باشند.

از سویی هیچ یک از متغیرهای سایر ایستگاه‌ها در تمامی سری‌ها دارای روند معنادار نبوده و تنها در برخی از سری‌های زمانی دارای روند معنادار هستند.

نهایتاً، باز شکافی آماره‌ها نشان می‌دهد که در برخی از سری‌های زمانی علی‌رغم آنکه میزان تابش دریافتی موج کوتاه روند افزایشی را طی می‌نماید ولی میزان تابش خالص در برخی از سری‌ها روند کاهشی (مانند دسامبر تمامی ایستگاه‌ها) داشته است. لذا بررسی متغیرهای دخیل در این پدیده آشکار می‌نماید که با وجود روند افزایشی تابش دریافتی موج کوتاه، میزان فشار بخار دارای روند کاهشی بوده و این یعنی نبود بخار آب کافی در طی زمان جهت جذب امواج بلند بارتابی از زمین، از این رو متغیر اخیر نیز روند افزایشی داشته است. لذا با وجود آنکه دو متغیر تابش دریافتی موج کوتاه و تابش بازتابی موج بلند، وزن یکسانی را در جهت تعیین تابش خالص ایفا می‌کنند ولی مقایسه شدت تغییر در آنها نشان می‌دهد که شدت تغییر در تابش بازتابی موج بلند به مراتب بیش از شدت تابش دریافتی موج کوتاه است. بنابراین، در نتیجه همین عملکرد متفاوت، روند کاهشی در میزان تابش خالص دریافتی ایجاد شده است. به طور مشابه در برخی از سری‌ها (آوریل تمامی ایستگاه‌ها به جزء مراغه) مشاهده می‌شود که این روند کاهشی در تابش خالص دریافتی بدان علت است که هر دو تابش، روند کاهشی داشته‌اند ولی شدت کاهش تابش طول موج کوتاه بیش از تابش طول موج بلند بوده است، در نتیجه، تابش کمتری نسبت به تابش خروجی دریافت شده است. به طور مشابه در برخی از سری‌های زمانی تابش خالص دارای روند افزایشی است (مانند سپتامبر ایستگاه‌های اهر و سراب)، در صورتی که دو تابش ذی‌ربط دارای روند کاهشی هستند. در این خصوص مشاهده می‌شود که شدت کاهش تابش طول موج بلند بیشتر از شدت کاهش تابش طول موج کوتاه دریافتی بوده است، بنابراین تابش خالص دریافتی در طی زمان افزایش یافته است.

بررسی آماره‌های سایر متغیرهای نیز نشان می‌دهد که میزان تغییر در این متغیرها بستگی به وزن، جهت و شدت تغییر در متغیرهای دخیل در آنها دارد مثلاً در برخی سری‌های زمانی میزان اختلاف فشار بخار یا کسری بخار آب جهت اشباع هوا، دارای روند افزایشی است (مانند سری فوریه تمام ایستگاه‌ها) در این صورت گمان می‌رود که رطوبت هوا روند کاهشی دارد. در صورتی که ملاحظه فشار بخار و فشار بخار اشباع، حاکی از آن است که این متغیرها دارای روند افزایشی هستند. در این راستا، بررسی آماره‌های این متغیرها به همراه دما و رطوبت نشان می‌دهد که دما و رطوبت هر دو افزایش داشته‌اند ولی افزایش دما نسبت به رطوبت بیشتر بوده، یعنی رطوبت به اندازه دما افزایش نیافته است. لذا جو با کاهش رطوبت جهت اشباع شدن در طی زمان روبه رو شده است. در نتیجه اختلاف فشار بخار جهت اشباع در طی زمان روند افزایشی پیدا نموده است.

در برخی دیگر از ایستگاه‌ها تبخیر ـ تعرق گیاه مرجع دارای روند معنادار است در حالی که هیچ‌کدام از متغیرهای مؤثر در این پدیده دارای روند معنادار نیستند (مانند سری سالانه جلفا، سری‌های زمانی، مه، ژوئیه و نوامبر ایستگاه تبریز).

نتیجه‌گیری

بررسی روند تغییرات تبخیر و تعرق گیاه مرجع و ۱۵ متغیر دخیل در آن در استان آذربایجان شرقی با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری من ـ کندال، اسپیرمن و تخمین‌گر شیب سن در ۱۲ سری زمانی ماهانه و یک سری زمانی سالانه نشان داد که تبخیر و تعرق گیاه مرجع در ایستگاه‌های تبریز و مراغه در تمام سری های زمانی (به جزء سری زمانی آوریل تبریز) و در ایستگاه‌های اهر، میانه، جلفا و سراب به طور مشترک در سری زمانی مارس دارای روند معنادار افزایشی بوده است.

از سویی نتایج نشان داد رغم آنکه متغیرهای اصلی جو مانند دما، رطوبت، فشار و سرعت باد در برخی از ایستگاه‌ها از نظر آماری تغییر معناداری را نشان نمی‌دهند. اما ترکیب آنها در صورت هم جهت بودن یا وزین بودن تغییر در یک جهت، می‌تواند باعث تغییر پدیده‌ی منتج از ترکیب آنها شود که در نهایت آن پدیده در درازمدت قادر است بر تغییرات متغیرهای اولیه تأثیر قابل توجهی بگذارد. در این راستا بررسی جهت و شدت شیب روند متغیرهای دخیل در تبخیر و تعرق گیاه مرجع نشان داد که علی‌رغم معنادار نبودن آماره‌های آنها در برخی از این سری‌های زمانی، یا جهت تغییر متغیرها یکسان است، یا اینکه شدت تغییر و تعداد متغیرها در یک جهت به مراتب بیش از

جهت مقابل است. لذا ترکیب و هم اثرگذاری مقدار تغییر آنها با همدیگر باعث رخداد تغییر بیشتری در تبخیر و تعرق گیاه مرجع که نمود آنهاست شده است. در واقع شدت روند تبخیر ـ تعرق گیاه مرجع ناشی از تغییرات این متغیرها، متناسب با وزنی است که آنها در تعیین آن ایفا می‌نمایند که این می‌تواند بدان علت باشد که چندین متغیر به سبب اثر متقابل یا تعاملی که با هم دارند تأثیر متفاوتی از جمع تأثیر تک تک آنها بر روی متغیر مورد نظر بگذارند. بنابراین در بررسی تغییر آب و هوا اصولاً نباید تنها به معناداری روند تغییرات برخی متغیرهای اصلی استناد نمود بلکه باید ترکیب و اثرات متقابل و تعاملی ناشی از تغییر آنها را نیز در نظر گرفت. تا شاید در برنامه‌ریزهای متناسب با شرایط اخیر راه‌گشا باشند.

سرانجام در برخی از سری‌های زمانی ایستگاه‌های سراب و میانه مشاهده شد که با وجود روند افزایشی دمای کمینه و بیشینه مطلق، ولی روند میانگین دما کاهشی بود. در این راستا چون دمای میانگین، حاصل ۸ نوبت ثبت دما در ایستگاه‌های هواشناسی است در نتیجه می‌توان دریافت که به‌رغم افزایش دماهای کمینه و بیشینه، اما دماهای بین این دو بازه زمانی اغلب دارای سیر کاهشی هستند. حال با فرض آن که معمولاً دمای کمینه مطلق قبل از طلوع خورشید و دمای بیشینه مطلق در بعدازظهر اتفاق می‌افتند، پرسشی بدین صورت مطرح می‌گردد که کاهش دما در دیگر ساعات شبانه‌روز از لحاظ آب و هواشناسی چه بار معنایی به همراه دارد، یا به عبارتی آیا این کاهش دماها نمی‌تواند بستری دیگر برای بررسی چگونگی تغییر دما و روشن شدن چگونگی تأثیرگذاری آن در سایر پدیده‌های هواشناختی، بگشاید؟

منابع

۱- اسپرنت پ.، و اسمیتون ن س. ۱۳۸۶. روش‌های آماری ناپارامتری کاربردی. برگردان حسینعلی نیرومند. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

۲- بلوک آذری س.، مساح بوذانی ع.، و زبردست س. ۱۳۹۰. بررسی عدم قطعیت تاثیر تغییر اقلیم بر نیاز آبی گیاهان زراعی دشت هشتگرد، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران.

۳- جهانبخش س.، و ترابی س. ۱۳۸۳. بررسی و پیش بینی تغییرات دما و بارش در ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. شماره ۳. صص ۱۲۵-۱۰۴.

۴- حجام س.، خوشخو ی.، و شمس الدین‌وندی ر. ۱۳۸۷. تحلیل روند تغییرات بارندگی‌های فصلی و سالانه چند ایستگاه منتخب در حوضه مرکزی ایران با استفاده از روش‌های ناپارامتری. پژوهش‌های جغرافیایی شماره ۶۴ صص ۱۵۷ – ۱۶۸.

۵- دین‌پژوه ی. ۱۳۹۰. تجزیه و تحلیل تغییرات زمانی تبخیر ـ تعرق پتانسیل گیاه مرجع (مطالعه موردی: ایستگاه همدان). فصلنامه‌ی فضای جغرافیای اهر. شماره ۳۴. صص ۲۸۶-۲۶۰.

۶- رمنیراس ژ. ۱۳۶۳. اصول هیدرولوژی مهندسی جلد اول، برگردان حسین صدقی، انتشارات مرکز نشر و ترجمه امور آب وزارت نیرو ـ تهران، چاپ سوم.

۷- سبزی‌پرور ا. و شادمانی ع. ۱۳۹۱. مقایسه ضرایب تشت برآورد شده با استفاده از روش های تجربی، شبکه عصبی مصنوعی و عصبی ـ فازی در برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع، مجلهٔ فیزیک زمین و فضا، شماره ۱. صص ۲۲۹-۲۴۰.

۸- علیزاده ا. ۱۳۸۶. اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات آستان قدس رضوی. چاپ بیست و سوم.

۹- قطره سامانی س.، پارسا ش.، میر عباسی م.ع.، و اسماعیلی دهکردی م. ۱۳۸۹. تغییر اقلیم تاثیر ان بر نیاز آبی بادام مطالعه موردی حاشیه زاینده رود در منطقه سامان. اولین همایش ملی مدیریت منابع آب اراضی ساحلی.

۱۰- کتیرایی پ.، حجام س.، و ایران نژاد پ. ۱۳۸۶. سهم تغییرات فراوانی و شدت بارش روزانه در روند بارش در ایران طی دوره ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۱، مجلهٔ فیزیک زمین و فضا، ش۱. صص۸۳- ۶۷.

۱۱- معروفی ص.، و طبری ح. ۱۳۹۰. آشکارسازی روند تغییرات دبی رودخانه مارون با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۲. صص ۱۴۶-۱۲۵.

۱۲- منصورفر ک. ۱۳۸۷. روش‌های پیشرفته آماری. جلد ۲. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ دوم.

۱۳- موسوی بایگی م.، عرفانیان م. و سرمد م. ۱۳۸۸. استفاده از حداقل داده‌های هواشنا ـ سی برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و ارائه ضرایب اصلاحی (مطالعه موردی :استان خراسان رضوی)، مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). شماره ۱. صص ۹۱-۹۹.

۱۴- مهدوی م. ۱۳۸۶. هیدرولوژی کاربردی، جلد اول. انتشارات دانشگاه تهران.

۱۵- میرعباسی نجف آبادی ر.، و دین پژوه ی. ۱۳۸۸. تحلیل روند تغییرات آبدهی رودخانه های شمال غرب ایران در سه دهه اخیر. نشریه آب و خاک، جلد ۲۴ شماره ۴ ، ص ۷۶۸-۷۵۷.

16- 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, 56, Rome, Italy, 300 p.
17- Amatya D.M., Skaggs R.W. and Gregory J.D. 1995. Comparision of metods for estimating REF- ET. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 121(6)pp: 427-435.
18- Jhajaharia D., Dinpashoh Y., Kahya E., Sing. V. and Fakheri- Fard A. 2012. Trends in reference evapotranspiration in the humid region of northeast India. J Hydro. Process, 26:421-435.
19- Kahya E. and Kalayci S. 2004. Trend analysis of streamflow in Turkey. Journal of Hydrology, 289: 128-144.
20- Kumar S., Merwad V., Kam J. and Thurner K. 2009. Stream flow trends in Indiana: Effects of long term persistence, precipitation and subsurface drains. Jurnal of hydrology, 374: 171-183.
21- Lanzent J.R. 1996. Resistant, roubust and nonparametric techniques for the analysis of climate data: theory and examoels incloding applications to historical radiosond station data. Int. J. climatol, 16: 1197-1226.
22- Lindzen R.S. 1990. Some coolness concerning global warming. Bull Am Meteorol Soc, 71:288–299.
23- Liu S., Bai J., Jia Z., Jia L., Zhou H. and Lu L. 2010. EStimation of evapotranspiration in the Mu Us Sandland of China. Hydro. Earth Syst. Sci., 14: 573-584.
24- Mitchell J.M., Dzerdzeevskii B., Flohn H., Hoftneyr W.L., Lamb H.H., Rao K.N., and Wallen C.C. 1966. Climat Cheng, Wmo Technical Not No 79, World Meteorological Organization, pp 79.
25- Paltridg G., Arking A., Pook M. 2008.Trends in middle – and upper – level tropospheric humidity from NCEP reanalysis data. Thero Appl Climatol, 98:351-359.
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- Snyder R.L., Orang M., Maty S. and Grismer M.E. 2005. Simplified estimation of reference evapotranspiration fram pan evaporation data in California. J Irrigation Drain Engineering 131(3)pp 249-253.
28- Turgay P., and Ercan K. 2005. Trend Analysis in Turkish Precipitation processes published online in wiley Interscienc.
29- Xu Z., Liu Z. and Chen Y. 2010. Trends of major hydroclimatic variables in the Tarim River basin during the past 50 years. Arid Environments, 356-267.

Journal of Water and Soil
Vol. 28, No. 2, May.-Jun. 2014, p. 296-306

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۸، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۳، ص. ۳۰۶-۲۹۶

Trending Changes of the Reference Crop Water Requirement and its Associated Meteorological Variables in East Azerbaijan

S. Jahanbakhsh[1]- A.M. Khorshiddoust[2]- H. Mirhashemi[3*]- H. Khorrami[4] - M. Tadayoni[5]

Received:16-05-2013
Accepted:17-02-2014

Abstract

In this study, in order to analyze the changes trend of the crop water requirement as the aspect of climate change in East Azerbaijan, we have adopted FAO Penman- Monteith reference crop evapotranspiration and 15 variables associated with it. By using nonparametric methods of Spearman, Man- Kendall and Sen's Estimator in twelve monthly and annual series for each station, the trends have been explored. The results of these two test statistics indicate that the significance of the respective phenomenon is being studied in two separate clusters. The first cluster consists of Tabriz and Maragheh stations the entire time series, the time series exceptions of April in Tabriz, the rest of the series with the significant increase in confidence levels are 95% and 99%. The second cluster consists of Ahar, Sarab, Mianeh and Julfa stations that mentioned phenomenon of jointly in the time series in March with a significant increase in the same levels of trust. Also the test results from other variables show that despite a series of meteorological variables, no significant trends were, but due to the influence of the reference crop evapotranspiration and the significant impact it has on the superposition. Finally, we should acknowledge that the study of climate change in the region, is not just dependent on the climate variables and could be caused by other variables too.

Keywords: Azerbaijan East, Evapotranspiration, Man- Kendall, Sen's Estimator

1,2,3,4- Professors, Ph.D Student and MSc Student, Department of Water Engineering, University of Tabriz, Respectively
(*- Corresponding Author Email: climate90@yahoo.com)
3 - Assistant Professor of Climatology, Azad University of Semnan