

است. حداقل و حداکثر درجه حرارت هوا در مقیاس سالانه در هر دو ایستگاه روند صعودی (در سطح معنی داری یک درصد) داشته است. مقایسه نتایج حاصل از بررسی روند تغییرات تبخیر و تعرق پتانسیل و دما توسط هر دو آزمون بیانگر وجود پدیده تناقض در روند پارامتر تبخیر در اصفهان بوده است.

واژه‌های کلیدی: رگرسیون - سری زمانی - ایستگاه - SAS

مقدمه

تغییرات اقلیم یکی از مشکلات امروزه بشر بوده و تهدیدی برای کره خاکی به حساب می‌آید. 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؛ از این رو شناسایی و پیش‌بینی عناصر آن در راستای مدیریت شرایط بحرانی اهمیت بسیاری دارد [۱۳]. مطالعات صورت گرفته در زمینه تغییر اقلیم در جهان حاکی از این واقعیت است که تغییر هر چند کم در دما موجب تغییر در وقوع پدیده‌های حدی نظیر خشکسالی، بارش‌های سنگین و توفان می‌شود. به دلیل مطلق نبودن مقادیر حدی، ممکن است مقداری که برای یک محل حدی است در محلی دیگر نرمال تلقی شود. بررسی وقایع حدی به دلیل محدودیت آمار دراز مدت متغیرهای هواشناسی، مشکل است. تقریباً همه فرایندها در بیوسفر تحت تأثیر تغییر اقلیم قرار گرفته و نگرانی عمده در خصوص اثر این پدیده بر محیط و منابع آبی است [۱۱]. برای 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 شود [۲۹ و ۱۶]. برای تشخیص روند در سری‌های زمانی متغیرهای آب و هواشناسی از آزمون‌های مختلفی استفاده می‌شود که این آزمون‌ها به دو دسته پارامتری و غیرپارامتری قابل تفکیک می‌باشند. آزمون‌های 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 استفاده‌اند و به نرمال بودن داده‌ها حساس نیستند [۲۴، ۳۶، ۳۷ و ۱۶]. آزمون من-کندال

روند تغییرات تبخیر و تعرق پتانسیل در شهرستان‌های اصفهان و رشت

محمد سالاریان^{۱*}، معصومه نجفی^۲، شمیم لاریجانی^۳ و سید سعید اسلامیان^۴
 تاریخ دریافت: ۹۴/۰۱/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۵/۰۸

چکیده

تبخیر و تعرق یکی از مهم‌ترین اجزاء چرخه هیدرولوژیکی برای برنامه‌ریزی سامانه‌های آبیاری و مدل‌های هیدرولوژیکی بیلان آب است. در این مطالعه تبخیر و تعرق با استفاده از روش فائو پنمن-مانیت (FAO Penman-Monteith) برای ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک شهرستان‌های رشت و اصفهان واقع در بخش‌های مرکزی و شمالی ایران در دوره آماری ۱۳۹۰-۱۳۴۹ و برخی از مهم‌ترین متغیرهای هواشناسی مؤثر بر آن در دو مقیاس فصلی و سالانه محاسبه شد. افزون بر این، روند تغییرات آن‌ها تجزیه و تحلیل و مورد مقایسه قرار گرفت. برای این کار از آزمون ناپارامتری من-کندال و آزمون پارامتری تحلیل رگرسیون استفاده شد. نتایج نشان داد که در مقیاس سالانه تغییرات تبخیر تعرق در شهرستان رشت روند معنی‌دار افزایشی و در شهرستان اصفهان روند معنی‌دار کاهش (در سطح معنی داری ۵ درصد) داشته‌اند. در این ایستگاه‌ها روند تغییرات دما افزایشی و حداقل رطوبت نسبی کاهش و البته شدیدتر از سایر متغیرها بود. در مقیاس فصلی ترکیبی از روندهای مثبت و منفی در ایستگاه‌های مورد بررسی مشاهده شد. در اصفهان روند تغییرات تبخیر و تعرق به‌جز در فصل زمستان در سایر فصول سال منفی (در سطح معنی داری ۵ درصد) بود. در رشت روند تغییرات تبخیر و تعرق به‌جز در فصل بهار در سایر فصول سال مثبت (در سطح معنی داری ۵ درصد) بوده است. در بین متغیرهای مورد بررسی، تعداد ساعات آفتابی در دو مقیاس فصلی و سالانه روندی افزایشی (در سطح معنی داری ۵ درصد) داشته

۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آب- آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، نویسنده مسئول، Email: mohammad.salarian@stu.um.ac.ir

۲- دانش آموخته مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳- دانشجوی مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

۴- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

نمونه‌ای از آزمون‌های غیرپارامتری است که در تحقیقات بررسی روند متغیرهای آب و هواشناسی از آن استفاده می‌شود. در این رابطه می‌توان به تحقیقات جلنز [۲۲]، کاهیا و کالایسی [۲۶]، گادگیل و دورده [۲۰]، لی و همکاران [۲۸] و یانینگ و همکاران [۳۵] اشاره نمود. مطالعات اخیر تغییر اقلیم، غالباً بر تغییرپذیری دما و بارندگی متمرکز شده است. تبخیر و تعرق به‌عنوان یکی از متغیرهای مهم اقلیمی که نقش اساسی در کنترل موازنه جرم و انرژی بین اکوسیستم‌های زمینی و اتمسفر ایفا می‌کند، از توجه کم‌تری برخوردار بوده است [۱۷]. به‌طوری‌که برنامه‌ریزی آبیاری به‌منظور به‌روز کردن بیلان آب خاک بر پایه محاسبه و اندازه‌گیری تبخیر و تعرق بنا شده است [۵]. بندی‌پدهایی و همکاران [۱۴]، 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. بررسی روند تبخیر و عوامل تأثیرگذار بر آن در کانادا نشان‌دهنده روند کاهشی تبخیر در فصل گرم (ماه‌های اکتبر، اوت، ژوئن و ژوئیه) و روند کاهشی سرعت باد بود [۱۵]. در تحقیق دیگری گاربچت و همکاران [۲۱]، 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 و 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. در مطالعه دانشنگ و همکاران [۱۹] 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. شیر غلامی و همکاران [۸] به‌منظور بررسی روند تبخیر و تعرق گیاه مرجع در ایران، تبخیر و تعرق گیاه مرجع را به روش فائو پنمن-مانیت ۳۵۶ در ۳۴ ایستگاه سینوپتیک از بدو تأسیس 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 هیچ‌گونه روند معنی‌داری برخوردار نبوده‌اند. در تحقیق دیگری طبری و همکاران [۳۱] 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 E_T 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 [۱۰] 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. این در حالی است که بر پایه اکثر مطالعات در ایران و جهان، روند افزایشی دما به تأیید رسیده است که این تناقض تا حد زیادی بر اساس رخدادهای جوی دیگر قابل توجیه است که عمدتاً، کاهش تابش رسیده به سطح زمین به دلیل افزایش هواویزه (Aerosols) و ابرناکی می‌باشد. این پدیده اصطلاحاً تیرگی جهانی (Global dimming) نامیده می‌شود [۳۰]. بدین جهت لازم است تا روند تغییرات زمانی تبخیر و تعرق و متغیرهای جوی مهم تأثیرگذار بر آن بررسی شود [۲۷]. قره‌خانی و همکاران [۲۳]، به بررسی روند تغییرات تبخیر از تشت در مقیاس زمانی سالانه و فصلی در ۱۴ ایستگاه سینوپتیک ایران با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری، به این نتیجه رسیدند که علیرغم افزایش دما در اکثر مناطق، کاهش تبخیر از تشت یا پدیده تناقض در پارامتر تبخیر در ایران نیز اتفاق افتاده است. میزان و پراکنش بارش و تغییرات دمای هوا از جمله دو عامل بسیار مهم آب و هوایی هستند که از طریق تحت تأثیر قرار دادن میزان رطوبت و دمای خاک می‌توانند در تولید عملکرد و اجزای عملکرد گندم بسیار مؤثر واقع شوند [۳۲]. این دو عامل به غیر از تحت تأثیر قرار دادن اندام‌های رویشی و زایشی گندم، بر رشد و نمو ریشه این گیاه و میزان جذب آب و مواد غذایی نیز مؤثر می‌باشند [۱۸]. با توجه به اهمیت بالای عامل اقلیمی تبخیر و تعرق، هدف از این تحقیق بررسی تغییرات زمانی این متغیر و شیب روندهای معنی‌دار، در ایستگاه‌های رشت و اصفهان، با به‌کارگیری آزمون‌های من-کندال و تحلیل رگرسیونی بوده است.

مواد و روش‌ها

آمار و داده‌های مورد نیاز جهت پیشبرد اهداف پژوهش از سازمان مربوطه ایستگاه سینوپتیک اصفهان و رشت جمع‌آوری شد که علت انتخاب این دو ایستگاه را می‌توان تفاوت در اقلیم بیان نمود. توانگر و همکاران [۳]، با استفاده از روش تعیین اقلیم تورنت وایت و شاخص بارش موثر، اقلیم اصفهان را نیمه خشک معرفی کردند. هم‌چنین بر اساس تحقیقاتی دیگر، اقلیم رشت را در تقسیمات اقلیمی جهانی کوپن، معتدل مرطوب معرفی کرده‌اند [۷ و ۹]. در نهایت یک دوره آماری ۴۱ ساله از سال ۱۳۴۹ تا ۱۳۹۰ (۲۰۱۱-۱۹۷۰) به‌عنوان دوره آماری مشترک انتخاب شد. متوسط متغیرهای هواشناسی به همراه متوسط تبخیر و تعرق گیاه مرجع در ایستگاه‌های

جدول ۱- متوسط متغیرهای هواشناسی ایستگاه سینوپتیک شهرستان‌های اصفهان و رشت (۱۹۷۰-۲۰۱۱)

ایستگاه	دمای حداقل	دمای حداکثر	رطوبت حداقل (%)	رطوبت حداکثر (%)	ساعات آفتابی	سرعت باد (متر بر ثانیه)	تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی متر در روز)
اصفهان	9.50	23.64	22.21	56.10	9.09	1.74	4.89
رشت	11.64	56.20	66.41	96.06	4.52	1.21	2.78

انتخابی در جدول ۱ آورده شده است. شکل ۱ و جدول ۲ موقعیت و مشخصات ایستگاه مورد مطالعه (اصفهان و رشت) را نشان می‌دهد. کمسیون بین‌المللی آبیاری و زهکشی و سازمان خوار و بار جهانی (FAO) روش پنمن-مانتیت را به‌عنوان یک روش استاندارد برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل و هم‌چنین برای ارزیابی سایر روش‌های برآورد تبخیر و تعرق پیشنهاد نموده است [۱۵]. لذا با استفاده از نرم‌افزار Ref-ET و با استفاده از آمار و اطلاعاتی از قبیل تابش کل خورشیدی، متوسط دمای حداقل، متوسط دمای حداکثر، ساعات آفتابی، سرعت باد و رطوبت حداقل و حداکثر، مقدار ET_۰ به روش فائو پنمن-مانتیت محاسبه شد. در این روش فرض می‌شود که کل سطح پوشش گیاهی یک برگ بزرگ با روزه‌های موجود در آن است، به همین دلیل این روش پنمن-مانتیت را روش برگ بزرگ (Big Leaf) می‌گویند و معادله آن به‌صورت زیر می‌باشد:

که در آن S مربوط به علامت‌های تفاوت مقادیر با یکدیگر و Var(S) پراش S است که به‌صورت زیر محاسبه می‌شوند:

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

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \beta}{18} \quad (4)$$

که در آن n تعداد مشاهدات سری، x_j, x_k به‌ترتیب داده‌های k ام و jام سری و sgn تابع علامت و عاملی مربوط به تصحیح پراش در صورتی که داده‌های تکراری در اطلاعات وجود داشته باشد، و به‌صورت زیر می‌باشد:

$$\begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (5)$$

$$\beta = \sum_{t=1}^m t(t-1)(2t-5) \quad (6)$$

که در آن t تعداد داده‌های مشاهده‌ای و m معرف تعداد سری‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده‌ی تکراری وجود دارد. در یک آزمون دو دامنه‌ای برای روندیابی سری داده‌ها، فرض صفر در حالتی پذیرفته می‌شود که رابطه زیر برقرار باشد:

$$|Z| \leq Z_{\alpha/2} \quad (7)$$

که α سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و Z_{α} آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌داری α می‌باشد که با توجه به دو دامنه بودن آزمون از $\alpha/2$ استفاده شده است. مقدار آماره Z به‌دست آمده از رابطه فوق با Z استاندارد نرمال در سطح معنی‌داری α مقایسه می‌شود. باید توجه داشت که در این آزمون دوطرفه، چنان‌چه قدر مطلق آماره Z از ۱/۹۶ بیش‌تر باشد، نشان‌دهنده این است که روند کاهشی یا افزایشی در سطح ۵ درصد و در صورتی که بیش‌تر از ۲/۳۳ باشد در سطح ۱ درصد، معنی‌دار است. در صورتی که آماره Z مثبت باشد روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی در نظر گرفته می‌شود [۱].

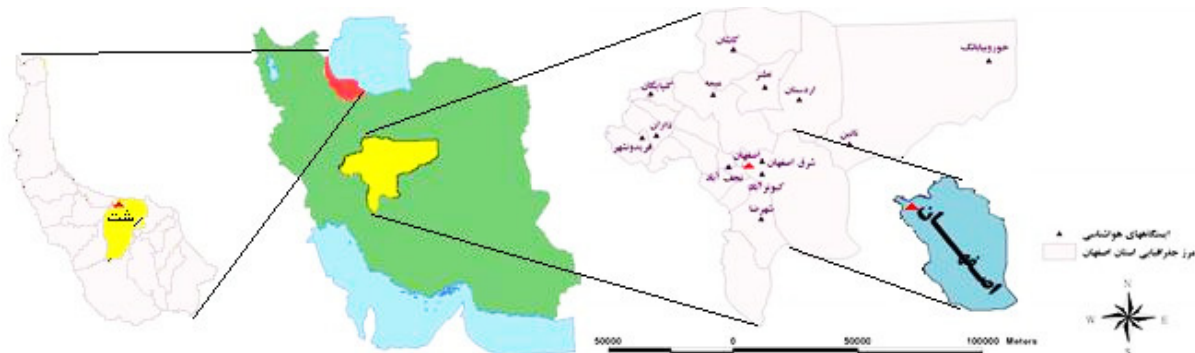
$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \left[\frac{890}{T+273} \right] U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (1)$$

که در آن R_n تابش خالص در سطح پوشش گیاهی ($\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$)؛ T متوسط دمای هوا در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین ($^{\circ}\text{C}$)؛ U_2 سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (ms^{-1})؛ $(e_a - e_d)$ کمبود فشار بخار در ارتفاع ۲ متری (KPa)؛ Δ شیب منحنی فشار بخار ($\text{KPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$)؛ γ ضریب رطوبتی ($\text{KPa}^{\circ}\text{C}^{-1}$)؛ G شار گرما به داخل خاک ($\text{MJm}^{-2}\text{d}^{-1}$) می‌باشند. با استفاده از روش پنمن-مانتیت ابتدا تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع محاسبه شده است. برای بررسی روند داده‌های محاسبه شده تبخیر و تعرق الف- با فرض وجود عدم قطعیت در داده‌ها و غیر نرمال بودن آنها از روش من-کندال (ناپارامتری) و ب- با فرض نرمال بودن داده‌ها از روش تحلیل رگرسیون (پارامتری) استفاده شد که در ادامه هر یک تشریح می‌شوند.

آزمون من-کندال

این آزمون ابتدا توسط من^۱ و سپس توسط کندال^۲ بسط و توسعه یافت. این روش به‌طور متداول و گسترده‌ای در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژی و هواشناسی به‌کار گرفته می‌شود و یکی از روش‌های مهم برای آزمون روند سری‌های زمانی محسوب می‌شود. از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای

1- Mann
2- Kendall



شکل ۱- موقعیت و مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک شهرستان‌های اصفهان و رشت

جدول ۲- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک اصفهان و رشت

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	ارتفاع	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
اصفهان	سینوپتیک	1550.4	51 40 E	32 37 N
رشت	سینوپتیک	-8.6	49 37 E	37 19 N

گرفت. آزمون تحلیل رگرسیون و من-کندال برای بررسی معنی دار بودن با استفاده از نرم افزار SAS انجام شد. در ادامه تبخیر و تعرق پتانسیل و مقادیر آماره Z و متغیرهای مؤثر بر آن محاسبه شد. لازم به ذکر است ارقام معنی داری در سطح ۵ و ۱ درصد به ترتیب با یک و دو ستاره مشخص شده‌اند.

۱) تحلیل در مقیاس فصلی

برای بررسی روند تغییرات متوسط ۴۱ ساله تبخیر و تعرق و کمیت‌های هواشناسی مانند ساعات آفتابی، سرعت باد، رطوبت حداقل و حداکثر، دمای حداقل و حداکثر به تفکیک فصول، در ایستگاه‌های مورد مطالعه مقدار آماره‌های دو روش من-کندال و تحلیل رگرسیون محاسبه شد. معنی داری این آماره‌ها در سطوح اطمینان ۹۹ و ۹۵ درصد مورد آزمون قرار گرفت. نتایج به دست آمده از به کارگیری آزمون‌های من-کندال و تحلیل رگرسیونی برای تعیین روند تبخیر و تعرق در سری زمانی فصلی تقریباً مشابه هم بوده و در جدول‌های ۳ و ۴ ارائه شده است. همان‌طور که در این جداول ملاحظه می‌شود تبخیر و تعرق در فصول مختلف دارای روند افزایشی یا کاهش‌ی بوده است. در هر دو ایستگاه رشت و اصفهان در فصول پاییز و بهار روند معنی داری وجود نداشته است. روندهای معنی دار فصلی در ایستگاه اصفهان در فصل تابستان از نوع کاهش‌ی و در ایستگاه رشت افزایش‌ی بوده است.

۱-۱- فصل پاییز

برای سری زمانی فصل پاییز تغییرات تبخیر و تعرق و کمیت‌های هواشناسی دمای حداکثر، دمای حداقل، رطوبت حداکثر، رطوبت حداقل، سرعت باد و ساعات آفتابی در ایستگاه‌های مطالعاتی اصفهان و رشت طی بازه زمانی ۴۱ ساله مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور

تحلیل رگرسیون

این روش، یک آزمون پارامتری است که فرض نرمال بودن داده‌ها باید برای آن وجود داشته باشد. داده‌های هواشناسی در تحلیل رگرسیون به وسیله استفاده از روش میانگین متحرک، خطی می‌شوند. یک رابطه رگرسیون خطی ساده برای به دست آوردن روند دراز مدت داده‌ها به صورت رابطه ۸ انتخاب می‌شود.

$$Y = a + bx \quad (8)$$

که در این رابطه Y، متغیر جوی، x زمان و a و b ضرایب رگرسیون هستند که با استفاده از روش کمترین مربعات محاسبه می‌شوند. به دست آوردن مقدار T با درجه آزادی n-2 با استفاده از رابطه زیر معنی داری شیب رگرسیون آزمون می‌شود:

$$t = \frac{b}{\sqrt{\frac{MSE}{S_{xx}}}} \quad (9)$$

که در این رابطه MSE میانگین مربعات خطا و S_{xx} به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (10)$$

که در این رابطه X_i متغیر مورد نظر، و $\bar{X}$ میانگین متغیر مورد نظر می‌باشد. اگر $|T| < t_{\frac{\alpha}{2}, n-2}$ شود، شیب رگرسیون بی معنی تلقی می‌شود (فرض صفر: شیب b برابر صفر می‌باشد) و شیب b به طور معنی داری مخالف صفر، نشان دهنده وجود روند است.

نتایج و بحث

نتایج روند تبخیر و تعرق و متغیر دمای محاسبه شده توسط آزمون‌های پارامتری و ناپارامتری در مطالعه حاضر مورد بررسی قرار

۲-۱- فصل زمستان

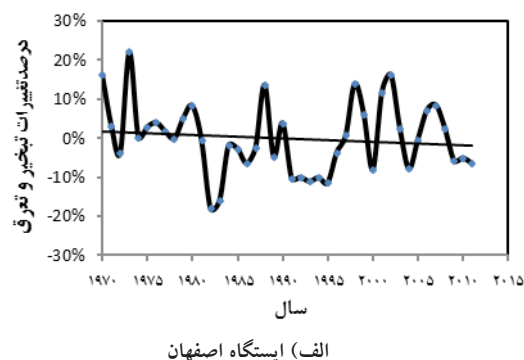
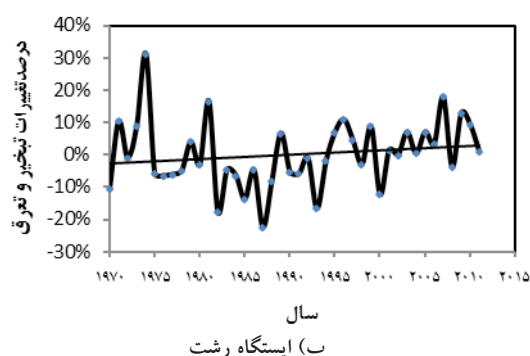
همان‌طور که در جدول شماره ۴ مشاهده می‌شود، در ایستگاه رشت طبق آزمون من-کندال برای پارامتر دمای حداقل در سطح ۱ درصد و برای تبخیر و تعرق در سطح ۵ درصد روند افزایشی معنی‌دار و برای رطوبت حداقل در همین سطح روند کاهشی وجود دارد. ولی برای اصفهان در سطح ۱ درصد برای سرعت باد، رطوبت حداقل و رطوبت حداکثر روند کاهشی؛ و دمای حداکثر در سطح ۵ درصد روند افزایشی معنی‌داری وجود دارد. طبق آزمون رگرسیون برای رشت در سطح ۵ درصد برای ساعات آفتابی و تبخیر و تعرق (افزایشی) و رطوبت حداقل (کاهشی) روند معنی‌دار می‌باشد؛ و برای دمای حداقل در سطح ۱ درصد روند افزایشی وجود دارد. این در حالی است که برای اصفهان برای رطوبت حداقل روند کاهشی در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده و برای سرعت باد و رطوبت حداکثر (کاهشی) و دمای حداکثر (افزایشی) روند در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. در نمودار روند درصد تغییرات تبخیر/تعرق سری زمانی فصل زمستان نیز که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، روند تبخیر/تعرق در هر دو ایستگاه اصفهان و رشت روندی افزایشی داشته است. این افزایش تبخیر/تعرق در هر دو ایستگاه رشت و اصفهان را می‌توان نتیجه افزایش دما و کاهش رطوبت دانست.

که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، در رشت طبق آزمون من کندال برای متغیرهای ساعات آفتابی، رطوبت حداکثر و دمای حداقل در سطح ۱ درصد و برای تبخیر و تعرق در سطح ۵ درصد روند افزایشی معنی‌دار بوده و سرعت باد در همین سطح روند کاهشی داشته است. در ایستگاه اصفهان و در سطح ۱ درصد، سرعت باد روندی کاهشی و دمای حداقل و حداکثر روندی افزایشی داشته‌اند. طبق آزمون رگرسیون برای ایستگاه رشت در سطح ۵ درصد برای ساعات آفتابی (افزایشی) و سرعت باد (کاهشی) روند معنی‌دار می‌باشد؛ برای دمای حداقل و رطوبت حداکثر در سطح ۱ درصد روند افزایشی وجود دارد. ولی برای اصفهان برای سرعت باد (کاهشی) و دمای حداکثر (افزایشی) روند در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده و برای رطوبت حداقل (کاهشی) و دمای حداقل (افزایشی) روند در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. روند درصد تغییرات تبخیر و تعرق در ایستگاه‌های اصفهان و رشت در شکل ۲ مشاهده می‌شود. مشاهده می‌شود طی بازه زمانی ۴۱ ساله تبخیر و تعرق در ایستگاه رشت برخلاف ایستگاه اصفهان مشابه نتایج سبزی‌پرور و شادمانی [۶] روند افزایشی معنی‌داری داشته است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت روند افزایش ET معلول افزایش درجه حرارت هوا، تعداد ساعات آفتابی از یک طرف و کاهش رطوبت نسبی هوا به علت کاهش بارندگی است.

جدول ۳- نتایج حاصل از بررسی روند در سری زمانی پاییز در ایستگاه‌های مطالعاتی در بازه زمانی ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۱

اصفهان			رشت			پارامتر
من-کندال (z)	رگرسیون (p-value)	شیب	من-کندال (z)	رگرسیون (p-value)	شیب	
0.35	0.5352	0.000	2.61**	0.0148*	0.005	ساعات آفتابی
-4.14**	0.0001**	-0.011	-2.14**	0.0271*	-0.006	سرعت باد
-1.18	0.0437*	-0.003	-1.37	0.02390	-0.001	رطوبت حداقل
-1.11	0.4775	-0.0001	2.35**	0.0041**	0.0001	رطوبت حداکثر
2.58**	0.0126*	0.008	4.4**	0.0001**	0.01	دمای حداقل
3.93**	0.0001**	0.004	1.34	0.2767	0.001	دمای حداکثر
-0.89	0.4406	0.000	2.02*	0.2934	0.001	تبخیر/تعرق

* معنی‌داری روند در سطح ۵٪ ** معنی‌داری روند در سطح ۱٪

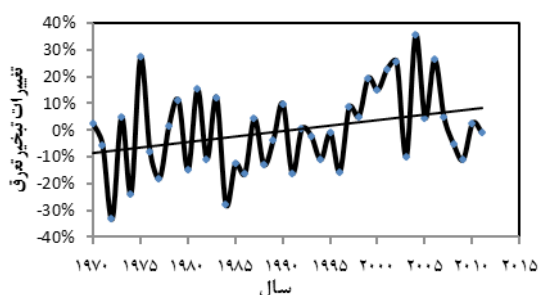


شکل ۲- روند درصد تغییرات تبخیر/تعرق در سری زمانی فصل پاییز در ایستگاه‌های مطالعاتی در دوره مشترک ۱۹۷۰-۲۰۱۱

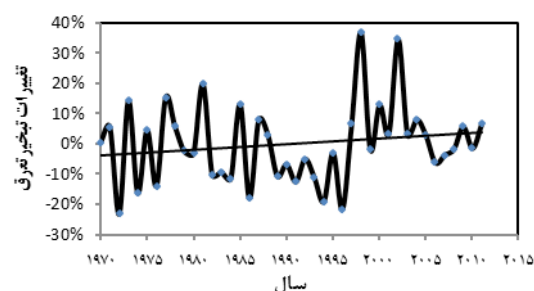
جدول ۴- نتایج حاصل از بررسی روند در سری زمانی زمستان در ایستگاه‌های مطالعاتی در بازه زمانی ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۱

اصفهان			رشت			پارامتر
من-کندال (z)	رگرسیون (p-value)	شیب	من-کندال (z)	رگرسیون (p-value)	شیب	
1.27	0.1682	0.002	1.93	0.0389*	0.008	ساعات آفتابی
-2.4**	0.0176*	-0.005	-1.06	0.1145	-0.005	سرعت باد
-3.98**	0.0001**	-0.009	-2.29*	0.0123*	-0.002	رطوبت
						حداقل
-2.58**	0.0124*	-0.002	0.69	0.2051	0.0001	رطوبت
						حداکثر
-0.44	0.8196	0.009	2.45**	0.0064**	0.017	دمای حداقل
2.14*	0.0253*	0.003	1.29	0.0959	0.003	دمای حداکثر
0.91	0.2877	0.001	1.97*	0.0351*	0.004	تبخیرتعرق

* معنی داری روند در سطح ۵٪ ** معنی داری روند در سطح ۱٪



ب) ایستگاه رشت



الف) ایستگاه اصفهان

شکل ۳- روند درصد تغییرات تبخیرتعرق در سری زمانی زمستان در ایستگاه‌های مطالعاتی در دوره مشترک ۱۹۷۰-۲۰۱۱

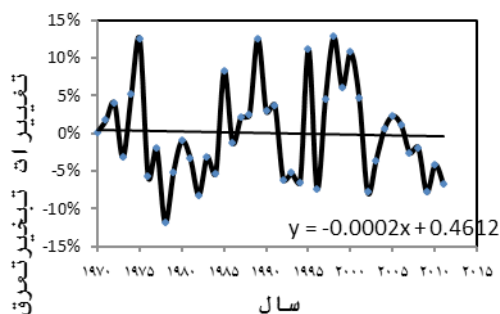
جدول ۵- نتایج حاصل از بررسی روند در سری زمانی بهار در ایستگاه‌های مطالعاتی در دوره مشترک ۱۹۷۰-۲۰۱۱

اصفهان			رشت			پارامتر
من-کندال (z)	رگرسیون (p-value)	شیب	من-کندال (z)	رگرسیون (p-value)	شیب	
1/81*	0/0532	0/001	1/32	0/0935	0/003	ساعات آفتابی
-3/77**	0/0001**	-0/008	-4/14**	0/0001**	-0/015	سرعت باد
-2/28*	0/0034**	-0/007	1/7	0/092	0/001	رطوبت حداقل
-0/71	0/2304	-0/002	2/86*	0/0001**	0/0001	رطوبت حداکثر
-1/66	0/0629	-0/001	0/23	0/0865	0/001	دمای حداقل
1/17	0/3258	0/000	-1/72	0/0777	-0/001	دمای حداکثر
1/81*	0/0532	0/001	1/32	0/0935	0/003	تبخیرتعرق

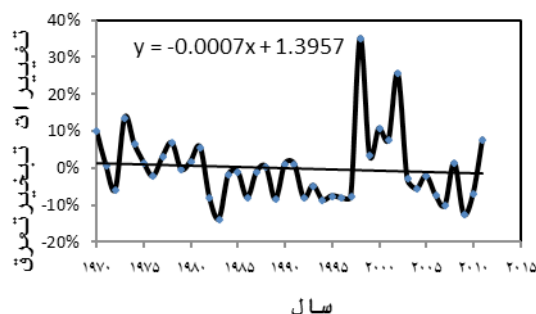
* معنی داری روند در سطح ۵٪ ** معنی داری روند در سطح ۱٪

رطوبت حداقل روند کاهشی و متغیرهای ساعت آفتابی و تبخیرتعرق روند افزایشی معنی دار در سطح ۵ درصد وجود دارد. براساس آزمون رگرسیون برای رشت در سطح ۱ درصد برای رطوبت حداقل و سرعت باد (کاهشی) روند معنی دار می باشد. ولی در اصفهان برای سرعت باد و دمای حداقل روند کاهشی معنی دار در سطح ۱ درصد وجود دارد. در سری زمانی فصل بهار که در نمودارهای شکل ۴

۳-۱- فصل بهار
در سری زمانی فصل بهار که نتایج آن در جدول ۵ مشاهده می شود، در رشت طبق آزمون من-کندال برای پارامتر رطوبت حداکثر در سطح ۵ درصد روند افزایشی معنی دار و برای سرعت باد در سطح ۱ درصد سطح روند کاهشی معنی دار وجود دارد. برای اصفهان در سطح ۱ درصد برای سرعت باد و در سطح ۵ درصد برای



ب) ایستگاه رشت



الف) ایستگاه اصفهان

شکل ۴- روند درصد تغییرات تبخیرتغرق در سری زمانی بهار در ایستگاه‌های مطالعاتی در دوره مشترک ۱۹۷۰-۲۰۱۱

جدول ۶- نتایج حاصل از بررسی روند در سری زمانی تابستان در ایستگاه‌های مطالعاتی در دوره مشترک ۱۹۷۰-۲۰۱۱

اصفهان			رشت			
پارامتر	شیب	رگرسیون (p-value)	من-کندال (Z)	شیب	رگرسیون (p-value)	من-کندال (Z)
ساعات آفتابی	0.005	0.0045*	3.44**	0.001	0.7547	2.9**
سرعت باد	-0.014	0.0012*	-4.28**	-0.013	0.0001**	-4.22**
رطوبت حداقل	-0.0001	0.8942	-0.49	-0.009	0.0001**	-3.89**
رطوبت حداکثر	0.0001	0.037*	1.48	-0.005	0.0007**	-3.77**
دمای حداقل	0.004	0.0001**	5.80**	0.000	0.1655	1.72
دمای حداکثر	0.000	0.312	1.00	0.001	0.0001**	4.68**
تبخیرتغرق	0.002	0.0267*	2.84**	-0.002	0.054	-3.25**

* معنی‌داری روند در سطح ۹۵٪ ** معنی‌داری روند در سطح ۹۹٪

طی نموده به‌طوری‌که این روند در اصفهان افزایشی ولی در رشت کاهش‌ی بوده است؛ هردو روند نیز معنی‌دار بودند. افزایش ساعت آفتابی و دما از یک‌سو و کاهش رطوبت از سوی دیگر از عوامل مؤثر بر افزایش تبخیرتغرق تابستان در ایستگاه رشت بوده است. این درحالی است که در اصفهان سرعت باد نیز کاهش یافته که این می‌تواند عامل کاهش تبخیرتغرق بوده باشد.

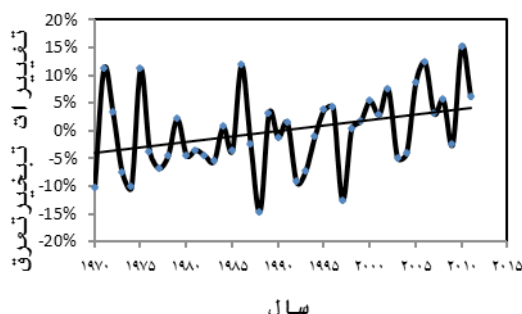
۲) تحلیل در مقیاس سالانه

برای تحلیل بهتر روند تغییرات تبخیر و تغرق و دما در سری زمانی سالانه نمودار تغییرات این متغیرها در ایستگاه مطالعاتی طی سری زمانی ۴۱ ساله ترسیم شد. برای بررسی روند تغییرات تبخیر و تغرق ابتدا مقدار آماره‌های دو روش من-کندال و تحلیل رگرسیون محاسبه شد. سپس معنی‌داری این آماره‌ها در سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد مورد آزمون قرار گرفت. جدول ۷ نتایج حاصل از بررسی سری زمانی سالانه‌ی روند تغییرات تبخیر و تغرق و تغییرات متغیرهای دمای حداکثر، دمای حداقل، رطوبت حداکثر، رطوبت حداقل، سرعت باد و ساعات آفتابی را در ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد نشان می‌دهد. در سری زمانی سالانه در بازه زمانی ۴۱ ساله مورد بررسی قرار

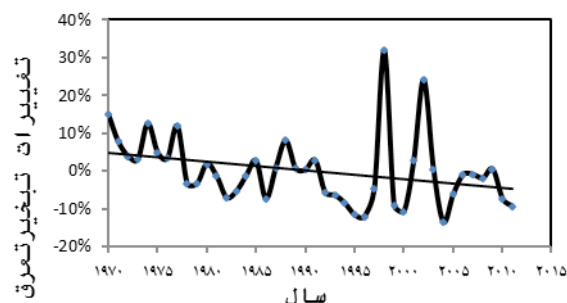
مشاهده می‌شود، درصد تغییرات تبخیرتغرق در هر دو ایستگاه رشت و اصفهان دارای روندی هم‌سو و کاهش‌ی بودند. هرچند این روند توسط آزمون تحلیل رگرسیونی معنی‌دار نبوده است.

۱-۴- فصل تابستان

نتایج حاصل از بررسی سری زمانی فصل پاییز که در جدول ۶ مشاهده می‌شود بیان‌گر این است که در رشت طبق آزمون من-کندال برای متغیرهای ساعات آفتابی، دمای حداقل و تبخیرتغرق در سطح ۱ درصد روند افزایشی معنی‌دار و برای سرعت باد در همین سطح روند کاهش‌ی وجود دارد. ولی برای اصفهان در سطح ۱ درصد برای ساعت آفتابی و دمای حداکثر روند افزایشی و برای سرعت باد، رطوبت حداقل و حداکثر روند کاهش‌ی معنی‌داری وجود دارد. طبق آزمون رگرسیونی نیز برای رشت در سطح ۵ درصد متغیرهای ساعات آفتابی، رطوبت حداکثر و تبخیر و تغرق (افزایشی) و سرعت باد (کاهش‌ی) روند معنی‌دار می‌باشد و برای دمای حداقل در سطح ۱ درصد روند افزایشی معنی‌دار وجود دارد؛ در حالی‌که در اصفهان برای سرعت باد، رطوبت حداقل و حداکثر (کاهش‌ی) و دمای حداکثر (افزایشی) روند در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده است. در سری زمانی فصل تابستان مطابق نمودارهای شکل ۵، درصد تغییرات تبخیر و تغرق روندی کاملاً متفاوت در دو ایستگاه رشت و اصفهان



الف) ایستگاه اصفهان



ب) ایستگاه رشت

شکل ۵- روند درصد تغییرات تبخیر تعرق در سری زمانی تابستان در ایستگاه‌های مطالعاتی در دوره مشترک ۱۹۷۰-۲۰۱۱

جدول ۷- نتایج حاصل از بررسی روند در سری زمانی سالانه در ایستگاه‌های مطالعاتی در دوره مشترک ۱۹۷۰-۲۰۱۱

اصفهان			رشت			پارامتر
من-کندال (z)	رگرسیون (p-value)	شیب	من-کندال (z)	رگرسیون (p-value)	شیب	
1.83	0.0367*	0.001	3.39**	0.0002**	0.005	ساعات آفتابی
-4.41**	0.0001**	-0.009	-3.53**	0.0009**	-0.01	سرعت باد
-4.21**	0.0001**	-0.007	-1.41	0.1811	-0.0001	رطوبت حداقل
-2.83**	0.0058**	-0.002	2.02*	0.0004**	0.0001	رطوبت حداکثر
1.14	0.4775	0.000	4.77**	0.0001**	0.005	دمای حداقل
4.28**	0.0001**	0.002	1.41	0.1784	0.000	دمای حداکثر
-2.15*	0.3718	-0.001	2.12*	0.0286*	0.001	تبخیر تعرق

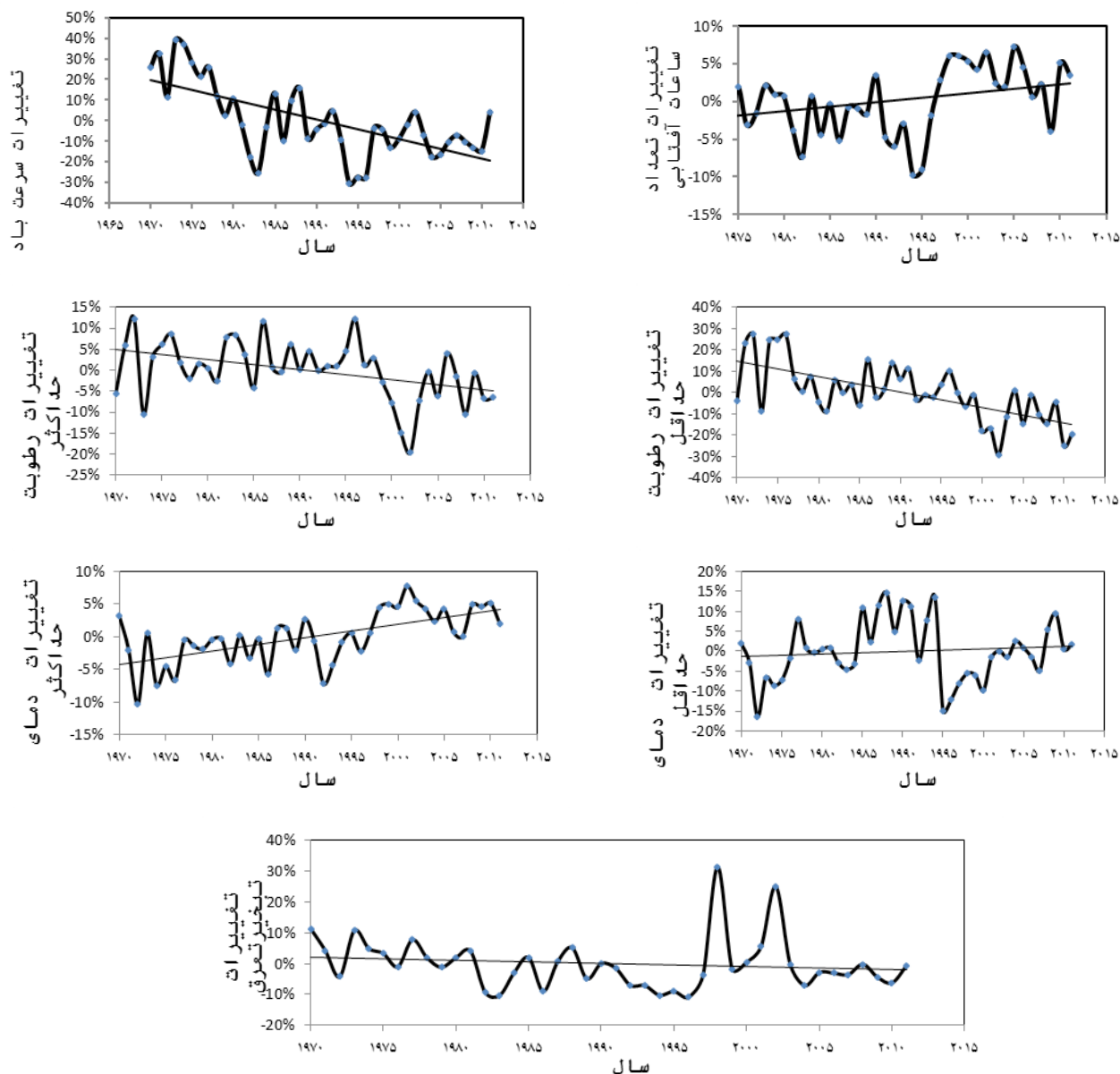
* معنی داری روند در سطح ۵٪ ** معنی داری روند در سطح ۱٪

زمانی مورد مطالعه‌شان مطابقت دارد.

بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت روند افزایش تبخیر و تعرق نیز معلول افزایش درجه حرارت هوا، تعداد ساعات آفتابی و کاهش رطوبت نسبی هوا به علت کاهش بارندگی است. این نتیجه با نتایج قره‌خانی و همکاران [۲۳] مبنی بر این که علی‌رغم افزایش دما در اکثر مناطق، کاهش تبخیر از تشت یا پدیده تناقض در روند پارامتر تبخیر در ایران نیز اتفاق افتاده است، مطابقت دارد.

در بررسی اثرات تغییر اقلیم در کشور هند، روند کاهشی تبخیر و تعرق تایید شده [۱۵] و در حوضه چانگ جیانگ در کشور چین نیز تبخیر و تعرق گیاه مرجع از روند کاهشی برخوردار بوده است [۳۵]. از طرف دیگر در مناطق کم‌ارتفاع مرکز اروپا روند افزایشی تبخیر و تعرق پتانسیل گزارش شده است [۳۸] و هم‌چنین تبخیر و تعرق مرجع سالانه در شمال شرق چین، روند افزایشی از خود داشته است [۱۹]. در تحقیقات داخل کشور نیز [۲، ۴، ۸، ۱۰ و ۳۱] نتایج حاکی از روندهای مختلف کاهشی و افزایشی تبخیر و تعرق به دست آمده، گزارش شده است. هم‌چنین در مطالعات انجام شده در خارج از کشور مانند کشور چین [۱۹ و ۳۰] روندهای متفاوتی در هر یک از ایستگاه‌ها به دست آمده است که خود نیز تاییدی بر نتایج به دست آمده در تحقیق حاضر می‌باشد.

گرفت. همانطور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود، در رشت طبق آزمون من-کندال برای متغیرهای ساعات آفتابی و دمای حداقل در سطح ۱ درصد و برای سرعت باد در همین سطح روند کاهشی معنی‌دار وجود دارد. برای رطوبت حداکثر و تبخیر تعرق نیز در سطح ۵ درصد روند افزایشی معنی‌دار مشاهده شد. ولی برای اصفهان در سطح ۱ درصد برای دمای حداکثر روند افزایشی و برای سرعت باد، رطوبت حداقل و حداکثر روند کاهشی معنی‌دار وجود دارد. طبق آزمون رگرسیون نیز برای رشت در سطح ۵ درصد، تبخیر تعرق روند افزایشی و در سطح ۱ درصد ساعات آفتابی، رطوبت حداکثر و دمای حداقل (افزایشی) و سرعت باد (کاهشی) معنی‌دار می‌باشد. ولی برای اصفهان برای سرعت باد و رطوبت حداقل و حداکثر (کاهشی) و دمای حداکثر (افزایشی) روند در سطح ۱ درصد معنی‌دار بوده و برای ساعت آفتابی روند افزایشی در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. شکل‌های ۶ و ۷ روند درصد تغییرات تبخیر تعرق را همراه با سایر متغیرها نشان می‌دهند. همانطور که مشاهده می‌شود روند کاهش تبخیر تعرق را می‌توان مؤثر از افزایش ساعات آفتابی و دما از یک سو و کاهش رطوبت و سرعت باد از سوی دیگر دانست؛ که با نتایج قره‌خانی و همکاران [۲۳] مبنی بر افزایش دما در اکثر مناطق ایران و نیز با نتایج توماس [۳۳] و ژازاریا و همکاران [۲۵] و سبزی‌پرور و شادمانی [۶]، مبنی بر کاهش تبخیر تعرق طی سری

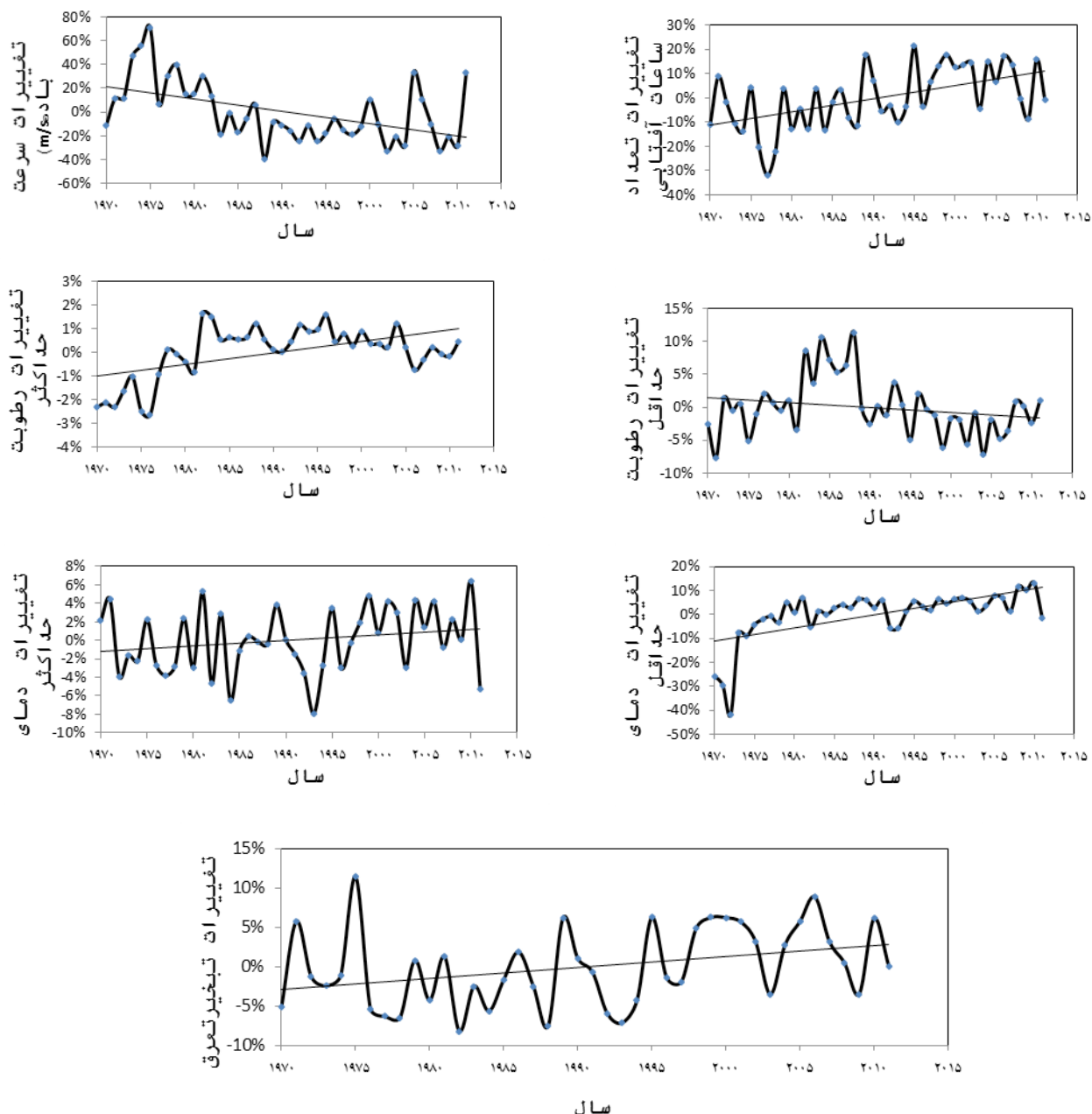


شکل ۶- روند تغییرات تبخیر و تعرق سالانه و سایر کمیت‌های هواشناسی در ایستگاه اصفهان در دوره مشترک ۱۹۷۰-۲۰۱۱

نتیجه‌گیری

افزایش معنی‌دار در مقادیر دما، سرعت باد، ساعات آفتابی و کاهش معنی‌دار در مقادیر حداقل رطوبت نسبی می‌باشد که می‌توان علت را تأثیرگذاری بیش‌تر تغییر اقلیم بر ماه‌های گرم سال نسبت به ماه‌های فصل سرد دانست. از بین متغیرهای اقلیمی که تأثیر تغییرات آن‌ها بر تبخیر و تعرق مورد بررسی قرار گرفت، بیش‌ترین میزان تغییر تبخیر و تعرق مربوط به ساعات آفتابی و دما بود. بیش‌ترین میزان کاهش نیز مربوط به متغیر رطوبت بود. نتایج مطالعه حاضر بیان‌گر وجود پدیده تناقض تبخیر در شهرستان اصفهان می‌باشد. لذا مطالعه دقیق حساسیت هر یک از متغیرهای اقلیمی در ایستگاه‌های مختلف ایران توصیه می‌شود.

بررسی و مقایسه‌ی فصلی و نیز سالانه روند تغییرات تبخیر و تعرق به‌عنوان یکی از اجزای اصلی تشکیل‌دهنده سیکل هیدرولوژی، در دو ایستگاه مطالعاتی رشت و اصفهان که در اقلیم‌های متفاوت واقع شده‌اند نشان‌دهنده تغییرات زمانی و مکانی در این دو حوضه بود. همچنین معنی‌داری روند تغییرات متغیرهای اقلیمی مؤثر با استفاده از روش من-کندال و نیز تحلیل رگرسیونی در این دو حوضه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه ایستگاه اصفهان، تبخیر و تعرق دارای روند معنی‌دار کاهش و ایستگاه رشت روند معنی‌دار و از نوع افزایشی بود که بیش‌تر به‌دلیل



شکل ۷- روند تغییرات تبخیر و تعرق سالانه و سایر کمیت‌های هواشناسی در ایستگاه رشت در دوره مشترک ۱۹۷۰-۲۰۱۱

منابع

1. اسماعیل پور، م.، دین پژوه، ی. ۱۳۹۱. تحلیل روند بلندمدت تبخیر-تعرق پتانسیل در حوضه جنوبی رود ارس، مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال ۲۳، شماره ۳، صفحات ۲۱۰-۱۹۳.
2. بنیان، م.، محمدیان، آ. و علیزاده، ا. ۱۳۸۹. بررسی نوسان پذیری اقلیمی در شمال شرق ایران. جلد ۲۴. شماره ۱. صفحات ۱۱۸-۱۳۱.
3. توانگر، ش.، یوسفی، ص.، میرزایی، س. و اسدلهی، ذ. ۱۳۸۹. پهنه بندی استان اصفهان با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS، اولین کنفرانس ژئوماتیک نوین در خدمت جامعه.
4. دهقان، ه.، عرب سلغار، ع. ا. و کاوه، ف. ۱۳۸۸. بررسی روند تغییرات فراسنج‌های آب و هوایی در اقلیم نیمه‌خشک ایران. فصلنامه علمی-پژوهشی مهندسی منابع آب. جلد ۴. شماره ۱. صفحات ۳۴-۲۳.
5. سالاریان، م.، نجفی، م.، داوری، ک.، اسلامیان، س. و حیدری، م. ۱۳۹۳. مناسب‌ترین روش برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل در شرایط کمبود داده هواشناسی در ماه‌های گرم و سرد سال (مطالعه موردی شهرستان اصفهان). آبیاری و زهکشی ایران، صفحات ۷۳-۶۲.

18. Croissant, R.L., Peterson, G.A., and Westfall, D.G. 1998. Dryland Cropping Systems. Colorado State University, Cooperative Extension. Bulletin No. 0.516.
19. 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.
20. Gadgil, A., Dhorde, A. 2005. Temperature trends in twentieth century at Puna, India. Atmospheric Environment., 39:6550-6556.
21. Garbrecht, J., Van Liew, M. and Brown, G. O. 2004. Trends in precipitation, streamflow, and evapotranspiration in the Great Plains of the United States. Journal of Hydrological Engineering., 9 (5):360-367.
22. Gellens, D. 2000. Trend and Correlation Analysis of k-Day Extreme Precipitation over Belgium. Theoretical and Applied Climatology., 66:117-129.
23. Gharehkhani, A., Ghahreman, N. and Bazrafshan, J. 2012. Trend analysis of pan evaporation in different climates of Iran. Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi) No 98 pp: 85-97.
24. Hamed, K.H. and Rao, A.R. 1998. A modified Mann-Kendall trend test for auto correlated data. Journal of Hydrology., 204, 182-196.
25. Jhajharia, D., Shrivastava, S.K., Sarka, D. and Sarkar, S. 2009. Temporal characteristics of pan evaporation trends under the humid conditions of northeast India. Agricultural and Forest Meteorology., 149: 763-770.
26. Kahya, E., and Kalayci, S. 2004. Trend analysis of streamflow in Turkey. Journal of Hydrology., 289:128-144.
27. Lawrimore, J. and Peterson, T. 2002. Pan Evaporation trends in dry and humid regions of the United States. Journal Hydrometeor., 31-14:18.
28. 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.
29. 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
6. سبزی‌پرور، ع. ا. و شادمانی، م. ۱۳۹۰. تحلیل روند تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از آزمون من-کندال و اسپیرمن در مناطق خشک ایران. نام مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۸۳۴-۸۲۳
7. شاطریان، ر. ۱۳۸۷. اقلیم و معماری ایران. تهران. سیما دانش.
8. 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. ۲۳-۹.
9. کسمایی، م. ۱۳۸۲. اقلیم و معماری. تهران. نشر خاک. چاپ دوم.
10. گل کار حمزبی یزد ح، کاوه ف، قهرمان ب. و صدقی ح. ۱۳۸۶. بررسی روند تغییرات سری زمانی تبخیر و 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 ۴۳۳-۴۱۷.
11. 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.
12. Allen, R.G. and W.O. Pruitt. 1991. FAO-24 Reference evapotranspiration factors. Journal of irrigation and drainage engineering., 117(5):758-773.
13. Balling, Jr., R. C., Idso, S. B., 1990. Effects of greenhouse warming on maximum summer temperatures. Agricultural and Forest Meteorology., 53, 143-147.
14. Bandyopadhyay, A., Bhadra, A., Raghuwanshi, N.S, and Singh, R. 2009. Temporal trends in estimates of reference evapotranspiration over India. Journal of Hydrologic Engineering., 14(5):508-515.
15. Burn, D.H., and Hesch, N.M. 2007. Trends in evaporation for the Canadian Prairies. Journal of Hydrology., 336:61-73.
16. 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.
17. 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.

35. 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)
36. Yue, S., Pilon, P., Cavadias, G. 2003a. Power of the Mann-Kendall and Spearman's tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of hydrology.*, 259:254-271.
37. Yue, S., Pilon, P., Phinney, B., Cavadias, G., 2003b. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. *Hydrological Processes.*, 16:1807-1829.
38. Zaninovi, K. and Gaji-Capka, M. 2000. Changes in Components of the Water Balance in the Croatian Lowlands. *Theoretical and Applied Climatology.*, 65:111-117
39. Hydrology., 361:330-338.
30. Stanhill, G., Cohen, S. 2001. Global Dimming: A review of the evidence for widespread reduction in global radiation with discussion of its probable causes and possible agricultural consequences. *Agricultural and Forest Meteorology.*, 107: 2555-278.
31. Tabari, H., Marofi, S., Aeni, A., Hosseinzadeh Talaeae, P., and Mohammadi, K. 2011. Trend analysis of reference evapotranspiration in the western half of Iran. *Agricultural and Forest Meteorology.*, 151 (2): 128-136.
32. Tavakoli, A.R., Oweis, T., Ashrafi, Sh., Asadi, H., Siadat, H., and Liaghat, A. 2010. Improving rainwater reproductivity with supplemental irrigation in upper Karkheh riverbasin of Iran. *International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA)*, Aleppo, Syria, 123 pp.
33. Thomas, A., 2000. Spatial and temporal characteristics of potential evapotranspiration trends over China. *INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY.* 20, 381-396.
34. 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. *Journal of Hydrology.*, 327: 81-93.

*Abstract***The Potential Evapotranspiration Trends in Isfahan and Rasht Stations**M. Salarian^{*1}, M. Najafi², Sh. Larijani³ and S. S. Eslamian⁴

Received: 2015/6/23 Accepted: 2016/4/21

Evapotranspiration is one of the most important components of the hydrological cycle and hydrological models for planning irrigation system water. In this study, the amount of evapotranspiration using the FAO Penman-Monteith for synoptic weather stations of Isfahan and Rasht that located in parts of central and northern Iran in the period 1970-2011. Some of the most important meteorological variables affecting it in the scales of seasonal and annual was calculated. In addition, changes were also analyzed and compared. For this purpose, non-parametric test of Mann-kendall and parametric test of regression was used. The results showed that the annual scale evapotranspiration changes in Rasht, and Isfahan stations had the significant increasing trend (5% level). At these station, the temperature increased and the minimum relative humidity decreased but of course was greater than other variables. In the seasonal scale both positive and negative trends have been observed. Isfahan Station evapotranspiration trends in other seasons except in winter is negative (5% level). Rasht Station evapotranspiration trends in other seasons except in spring was positive (5% level). Among the studied variables, seasonal and annual of number of sunshine hours was increased (level 5%). Maximum and minimum air temperature trend at both stations in the annual scale was increased (5% level). Comparing the results of the review process, potential evapotranspiration and temperature changes by both tests showed contradictory phenomena in the process of evaporation variables in Isfahan Station.

Keywords: *Regression, Time Series, Station, SAS*

1. P.h.D, student Water, irrigation and drainage science and engineering, Faculty of Agriculture, University of Mashhad, corresponding author:
Email, mohammad.salarian@stu.um.ac.ir

2. M.Sc student of Irrigation and Drainage Engineering, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology

3. M.Sc, student Irrigation and drainage engineering, Faculty of Agriculture, Tehran University

4. Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology