

تحلیل روند تغییرات تبخیر تعرق گیاهی در شهرستان اصفهان (مطالعه موردی گندم)

شمیم لاریجانی¹، محمد سالاریان^{2*}، امین عزیزاده³، کامران داوری⁴

تاریخ دریافت: 1394/12/18 تاریخ پذیرش: 1395/7/28

چکیده

تغییرات اقلیمی یکی از مشکلات امروزه بشر است و تهدیدی برای کره خاکی به حساب می‌آید که شناسایی و پیش‌بینی عناصر آن در جهت مدیریت شرایط بحرانی اهمیت بسیاری دارد. در این تحقیق روند تغییرات زمانی پارامتر تبخیر و تعرق برای محصول گندم همراه با بررسی روند تغییرات زمانی پارامتر دما در شهرستان اصفهان مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور از داده‌های هواشناسی ایستگاه هواشناسی سینوپتیک اصفهان با دوره آماری 47 ساله (1964-2010) استفاده گردید و با بکارگیری آزمون‌های پارامتری تحلیل رگرسیون و غیرپارامتری من-کندال، وجود روند معنی‌دار برای سری‌های زمانی ماهانه و سالانه در سطوح معنی‌داری 95 و 99 درصد مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که روند تغییرات زمانی تبخیر و تعرق گندم، کاهش یافته است. بیش‌ترین موارد معنی‌داری روند تبخیر و تعرق ماهانه در ماه‌های تیر و خرداد مشاهده شد ولی در مورد افزایش دما روند معنی‌داری مشاهده نگردید. در سری زمانی با مقیاس سالانه، تبخیر و تعرق با شیب حدود 29 درصد روند نزولی معنی‌داری در سطح 99 درصد نشان داد، ولی روند افزایش دما معنی‌دار نبود. مقایسه نتایج حاصل از بررسی روند تغییرات تبخیر و تعرق و دما توسط هر دو آزمون مبین این موضوع است که پدیده تناقض تبخیر در شهرستان اصفهان وجود داشته است.

واژه‌های کلیدی: تناقض تبخیر، رگرسیون، سینوپتیک، من-کندال

مقدمه

تغییرات اقلیم یکی از مشکلات امروزه بشر است و تهدیدی برای کره خاکی به حساب می‌آید که شناسایی و پیش‌بینی عناصر آن در جهت مدیریت شرایط بحرانی اهمیت بسیاری دارد. مطالعات صورت گرفته در زمینه تغییر اقلیم در جهان حاکی از این واقعیت است که تغییر هرچند 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 پارامترهای هواشناسی، مشکل است (Balling, 1990). پدیده تبخیر و تعرق باعث تلفات آب و رطوبت از سطوح آبی، خاک و پوشش گیاهی شده و محاسبه آن از طریق روشی مناسب با

توجه به میزان اندک نزولات جوی و محدودیت منابع آب در ایران از اهمیت زیادی برخوردار است. استفاده از روش‌های مختلف تعیین ET_0 در برآورد تبخیر و تعرق گیاهی در بسیاری از کشورها متداول است و به این جهت، اطلاع از روند تغییرات زمانی این کمیت حایز اهمیت است. نیاز تبخیری جو طی چند دهه گذشته در بسیاری از نقاط نیم-کره شمالی و نیز در مناطقی از نیم‌کره جنوبی در استرالیا کاهش یافته است (Roderick and Farquhar, 2004). این در حالی است که بر پایه اکثر مطالعات در ایران و جهان، روند افزایشی دما به تایید 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 (Stanhill, 2001). بدین جهت لازم است تا روند تغییرات زمانی تبخیر و تعرق و متغیرهای جوی مهم تاثیرگذار بر آن بررسی گردد (Lawrimore and Peterson, 2002). در این راستا مطالعاتی در کشورهای مختلف صورت گرفته است. تونکاز و همکاران در سال 2007 فشار بخار آب و رطوبت نسبی را در منطقه نیمه‌خشک ترکیه مورد بررسی قرار دادند، نتایج نشان داد که فشار بخار آب در طول دوره مطالعه (1995-2000) دارای روند افزایشی بوده و روند تغییرات

1- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران

2- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آب، آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

3- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

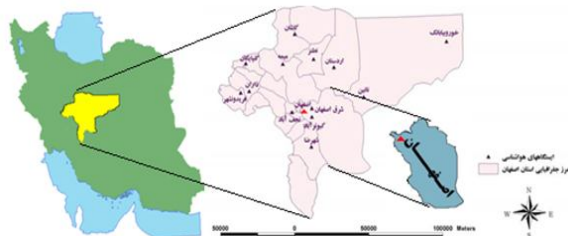
4- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

* - نویسنده مسئول : Email: mohammad.salarian@mail.um.ac.ir

رطوبت نسبی رو به کاهش بوده است (Tonkaz et al., 2007). قهرمان و قره‌خانی در سال 1390، روند تغییرات سرعت باد در گستره اقلیمی ایران را مورد بررسی قرار دادند و بیان داشتند سرعت باد در اکثر مناطق مطالعاتی دارای روند افزایشی می‌باشد. توماس در سال 2000، در طول یک سری زمانی 1954-1993 تبخیر و تعرق پتانسیل را بررسی کرده است که مقادیر تبخیر و تعرق در شمال و جنوب کشور چین روند نزولی داشته است (Thomas., 2000). چاتوپاندهای و هولم در سال 1997، تبخیر و تعرق پتانسیل را در هند تحت شرایط تغییر اقلیمی اخیر و آینده بررسی کردند. آنالیزها نشان دادند که تبخیر و تعرق پتانسیل در دوره سال‌های اخیر در هند، روند کاهشی داشته است (Chattopadhyaya and hulme., 1997). اوهمورا و ویلد در سال 2002، روند کاهشی در مقدار تابش خورشید و پتانسیل تبخیر را بر پایه داده‌های مشاهداتی بیان کرده‌اند، همچنین افزایش در مقدار ابر و ذرات معلق در هوا علت این پدیده اعلام شد (Ohmura and wild., 2002). ژازاریا و همکاران در سال 2009، به بررسی روندیابی تبخیر از تشت با استفاده از روش‌های پارامتری (شیب خط رگرسیون) و ناپارامتری (من-کندال) در شمال هند پرداختند که نتایج بدست آمده کاهش روند تبخیر از تشت را در اکثر فصول موسمی نشان داد (Jhajharia et al., 2009). مطالعات اخیر تغییرات آب‌وهوا در ایران به طور عمده در تغییر طولانی مدت دما و بارش متمرکز شده است. در حالی که تبخیر و تعرق به عنوان سومین عامل مهم کنترل آب و هوایی انرژی و تبادل جرم بین اکوسیستم‌های زمینی و جو در ایران توجه کمتری شده است. از سوی دیگر ایران سالانه در حدود 413 میلیارد مترمکعب بارش دریافت می‌کند، در حالی که بیش از 72 درصد از آن بصورت تبخیر و تبخیر و تعرق از دست داده می‌شود. طبری و همکاران در سال 2010، به بررسی روند تغییرات تبخیر و تعرق گیاه مرجع و عوامل تاثیرگذار بر آن در بیست ایستگاه سینوپتیک ایران در بازه 1966-2005 پرداختند و بیان داشتند که روند تغییرات تبخیر و تعرق گیاه مرجع به سبب افزایش دما افزایش یافته است (Tabari et al, 2010). قره‌خانی و همکاران در سال 2012، به بررسی روند تغییرات تبخیر از تشت در مقیاس زمانی سالانه و فصلی در 14 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 تبخیر در ایران نیز اتفاق افتاده است (Gharehkhani et al, 2012). میزان و پراکنش بارش و تغییرات دمای هوا از جمله دو عامل بسیار مهم آب‌وهوایی هستند که از طریق تحت تاثیر قرار دادن میزان رطوبت و دمای خاک می‌توانند در تولید عملکرد و اجزای عملکرد گندم بسیار موثر واقع شوند (Tavakoli et al., 2010). این دو عامل به غیر از تحت تاثیر قرار دادن اندام‌های رویشی و زایشی گندم، بر رشد و نمو ریشه این گیاه و میزان جذب آب و مواد غذایی نیز موثر می‌باشند (Croissant

مواد و روش‌ها

آمار و داده‌های مورد نیاز جهت پیش‌برد اهداف پژوهش از سازمان مربوطه ایستگاه سینوپتیک اصفهان جمع‌آوری شد و در نهایت یک دوره آماری 47 ساله (1964-2010) به عنوان دوره آماری مشترک انتخاب گردید. در این ایستگاه، میانگین بارش سالیانه طی دوره حدود 123/1 میلی‌متر بوده است. از این مقدار حدود 90 درصد بین ماه‌های آذر تا تیر (ماه‌های مورد بررسی) دریافت می‌شود. پرباران‌ترین ماه‌های این دوره به لحاظ میانگین با اختلاف کمی ماه‌های آذر و اسفند هستند که به ترتیب مجموع بارش آن‌ها 20/7 و 22/3 میلی‌متر است. متوسط بارش حداکثر ماه‌های مورد بررسی بین 9 تا 87/9 میلی‌متر نوسان دارد. این مقدار بارش می‌تواند بازده مناسبی در امر کشاورزی داشته باشد. شکل 1 موقعیت و مشخصات ایستگاه مورد مطالعه را در میان ایستگاه‌های هواشناسی استان اصفهان نشان می‌دهد.



شکل 1- موقعیت و مشخصات ایستگاه مورد بررسی

که در آن: R_n : تابش خالص در سطح پوشش گیاهی
 T : متوسط دمای هوا در ارتفاع 2 متری از سطح زمین
 $(MJm^{-2}d^{-1})$ ؛ U_2 : سرعت باد در ارتفاع 2 متری از سطح زمین
 (ms^{-1}) ؛ $(e_a - e_d)$: کمبود فشار بخار در ارتفاع 2 متری
 $(KPa^{\circ}C^{-1})$ ؛ Δ : شیب منحنی فشار بخار
 $(KPa^{\circ}C^{-1})$ ؛ γ : ضریب رطوبتی
 $(KPa^{\circ}C^{-1})$ ؛ G : شار گرما به داخل خاک
 $(MJm^{-2}d^{-1})$ می‌باشند. با استفاده از روش پنمن-مانتیت ابتدا تبخیر تعرق پتانسیل گیاه مرجع محاسبه گردیده و سپس با احتساب ضریب گیاه گندم در دوره‌ی رشد، مقدار تبخیر و تعرق گیاه مذکور تعدیل گشته است (جدول 1).

در نشریه فائو 56 ضرایب دوره رشد گیاهی، دوره ابتدایی-میانی و انتهایی رشد گیاه داده شده است. با توجه به شرایط آب‌وهوایی منطقه، مقادیر ضرایب رشد گیاهی تصحیح شد و در آخر با توجه به طول مدت دوره‌های چهارگانه رشد گیاه، تاریخ کاشت و برداشت گیاه ضرایب گیاهی مربوطه، به صورت ماهانه تبدیل شد.

جدول 1- ضریب K_c گندم در مراحل مختلف رشد (FAO56)

زمان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر
مرحله رشد	اولیه	اولیه	توسعه	توسعه	توسعه	توسعه	میانی	انتهاپی
ضریب K_c	0/45	0/60	0/68	0/85	1/04	1/16	1/16	0/45

که در آن S مربوط به علامت‌های تفاوت مقادیر با یکدیگر و $Var(S)$ پراش S است که به صورت معادله 3 و 4 محاسبه می‌شوند:

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

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

که در آن n تعداد مشاهدات سری، x_j, x_k به ترتیب داده‌های k ام و j ام سری و sgn تابع علامت و عاملی مربوط به تصحیح پراش در صورتی که داده‌های تکراری در اطلاعات وجود داشته باشد، و به صورت روابط 5 و 6 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 7 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. در مطالعه حاضر این آزمون برای سطح اعتماد 95 درصد

(International Commission on Irrigation & Drainage) سازمان خواروبار جهانی (FAO Food and Agriculture Organization) روش پنمن-مانتیت را به عنوان یک روش استاندارد برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل و همچنین برای ارزیابی سایر روش‌های برآورد تبخیر تعرق پیشنهاد نموده است (Allen., 1991). بنابراین 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 نسبی، مقدار ET_0 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 می‌گویند. و معادله آن به صورت معادله 1 می‌باشد:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \left[\frac{890}{(T+273)} \right] U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

برای بررسی روند داده‌های محاسبه شده تبخیر و تعرق از روش من-کندال (غیرپارامتری) و روش تحلیل رگرسیون (پارامتری) استفاده گردید که در ادامه هر یک تشریح می‌شوند.

آزمون من-کندال

این آزمون ابتدا توسط Mann (1945) و سپس توسط Kendall (1975) بسط و توسعه یافت. این روش بطور متداول و گسترده‌ای در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژی و هواشناسی بکار 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 سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند اشاره نمود. اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردند نیز از دیگر مزایای این روش است. این آزمون به عنوان یک روش ناپارامتری در بسیاری از مطالعات به کار گرفته شده است. (Yue et al., 2002, 2009 و Gellens., 2000)

آماره این آزمون به شرح رابطه 2 است:

$$\begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (2)$$

نتایج و بحث

نتایج معنی دار بودن آزمون تحلیل رگرسیون و من‌کندالبا استفاده از نرم افزار SAS در جدول 2 آورده شده است. لازم به ذکر است در این جدول ارقام دارای معنی داری 5 و 1 درصد به ترتیب با یک ستاره و دو ستاره مشخص شده اند.

1) تحلیل در مقیاس سالانه

برای تحلیل بهتر روند تغییرات تبخیر و تعرق گیاهی گندم و دما در سری زمانی سالانه نمودار تغییرات این متغیرها در ایستگاه مطالعاتی سری زمانی ترسیم گردید. برای بررسی روند تغییرات تبخیر و تعرق گندم ابتدا مقدار آماره های دو روش من-کندال و تحلیل رگرسیون محاسبه گردید سپس معنی داری این آماره ها در سطوح اطمینان 95 و 99 درصد مورد آزمون قرار گرفت. شکل 2 روند تغییرات سالانه دما و تبخیر و تعرق را در ایستگاه مورد مطالعه نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود هرچند روند افزایشی میانگین دمایی روزانه طی بازه زمانی 47 ساله معنی دار نشد ولی میزان متوسط تبخیر و تعرق سالانه طی این دوره زمانی روند کاهشی معنی داری را در سطح احتمال 95 درصد نشان داد. این همبستگی و ارتباط منفی در حدود 29 درصد بوده است. جدول 2 نتایج حاصل از بررسی روند سری زمانی سالانه در سطح احتمال 99 درصد در ایستگاه سینوپتیک شهرستان اصفهان را در بازه زمانی 1964-2010 را نشان می دهد. این نتیجه با نتایج قره خانی و همکاران مبنی بر اینکه پدیده تناقض تبخیر در ایران نیز اتفاق افتاده است، مطابقت دارد (Gharekhani et al., 2012).

استفاده شد. در صورتی که آماره Z مثبت باشد روند سری داده ها صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی در نظر گرفته می شود.

تحلیل رگرسیون

این روش، یک آزمون پارامتری است که فرض نرمال بودن داده ها باید برای آن وجود داشته باشد. داده های هواشناسی در تحلیل رگرسیون بوسیله استفاده از روش میانگین متحرک، خطی می شوند. یک رابطه رگرسیون خطی ساده برای به دست آوردن روند دراز مدت داده ها انتخاب می شود (رابطه 8)

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

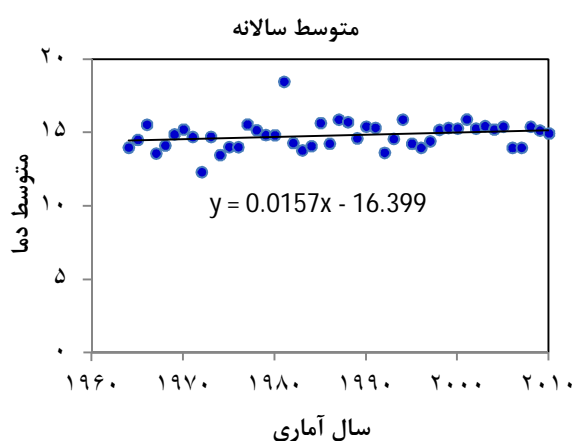
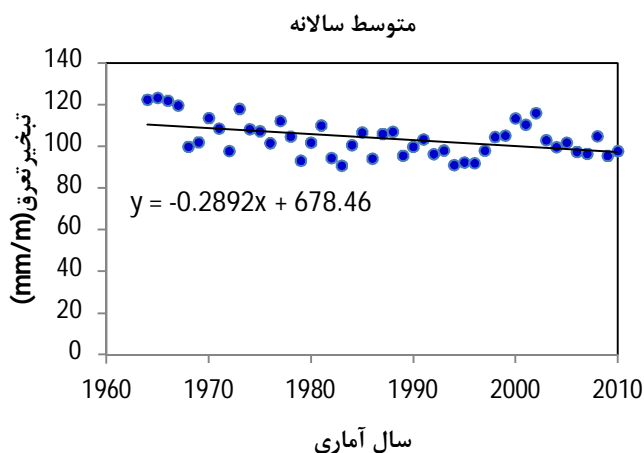
که در این رابطه Y، متغیر جوی، x زمان و a و b ضرایب رگرسیون هستند که با استفاده از روش کمترین مربعات محاسبه می شوند. با به دست آوردن مقدار T با درجه آزادی n-2 با استفاده از رابطه 9 معنی داری شیب رگرسیون آزمون می شود:

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

که در این رابطه MSE میانگین مربعات خطا و S_{xx} از رابطه 10 محاسبه می گردد:

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

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



شکل 2- روند تغییرات تبخیر و تعرق (سمت راست) و دما (سمت چپ) سالانه در ایستگاه اصفهان (1964-2010)

جدول 2- بررسی روند تغییرات متوسط سالانه دما و تبخیر و تعرق پتانسیل در ایستگاه سینوپتیک اصفهان در بازه زمانی 1964 تا 2010

نوع آزمون	دما	تبخیر تعرق
(P value) رگرسیون	0,2073	*0,013
من کندال	1,64	** -2,99
شیب رگرسیون	0,015	-0,289

* معنی داری روند در سطح 95%

** معنی داری روند در سطح 99%

تحلیل در مقیاس ماهانه

برای بررسی روند تغییرات متوسط 47 ساله دما و تبخیر و تعرق گیاهی به تفکیک ماه‌های سال زراعی (ماه‌های مورد بررسی، آذر تا تیر)، در ایستگاه مورد مطالعه مقدار آماره‌های دو روش من-کندال و تحلیل رگرسیون محاسبه گردید و معنی‌داری این آماره‌ها در سطوح احتمال 99 و 95 درصد مورد آزمون قرار گرفت (جدول 3). شکل 3 تا 18 نمودار روند تغییرات متوسط 47 ساله دما و تبخیر و تعرق و نیز نمودار میانگین متحرک ده ساله این دو پارامتر را برای گیاه گندم، به تفکیک ماه‌های مورد بررسی نشان می‌دهند.

آذر ماه

برای ماه آذر نمودار تغییرات تبخیر و تعرق گیاهی و نیز دما (شکل 3) و نمودار متحرک 10 ساله این دو پارامتر (شکل 4) ترسیم گردید و مشخص گردید تغییرات متوسط دما دارای روند افزایشی ولی روند تبخیر و تعرق کاهش یافته است و این روند کاهش تبخیر و تعرق توسط آزمون من کندال در سطح 95 درصد معنی‌دار بوده است.

دی ماه

در نمودار سری زمانی دی ماه نیز که در شکل‌های 5 و 6 مشاهده می‌شود، تغییرات متوسط دما دارای روند افزایشی و روند تبخیر و تعرق کاهش یافته است، ولی روندها معنی‌دار نبوده‌اند.

بهمن ماه

در سری زمانی بهمن ماه که در نمودارهای شکل 7 و 8 مشاهده می‌شود، تغییرات دما و تبخیر و تعرق دارای روندی همسو و افزایشی بودند. هرچند این روند توسط آزمون من کندال و رگرسیونی معنی‌دار نبوده است.

اسفند ماه

در سری زمانی اسفند مطابق نمودارهای شکل 9 و 10، تغییرات متوسط دما دارای روند افزایشی ولی روند تبخیر و تعرق کاهش یافته است؛ هرچند این روند طی دو آزمون معنی‌دار نبوده است.

فروردین ماه

در سری زمانی فروردین مطابق نمودارهای شکل 11 و 12، تغییرات متوسط دما دارای روند افزایشی ولی روند تبخیر و تعرق کاهش یافته است هرچند این روند توسط هیچ یک از آزمون‌ها معنی‌دار نبوده است.

اردیبهشت ماه

در سری زمانی اردیبهشت مطابق نمودارهای شکل 13 و 14، هرچند تغییرات متوسط دما فاقد روندی کاهش یافته و یا افزایشی بوده بلکه تقریباً روندی یکنواخت با شیبی نزدیک به صفر داشت؛ ولی روند تبخیر و تعرق همچنان کاهش یافته است و این روند کاهش تبخیر و تعرق توسط هر دو آزمون من کندال و رگرسیون در سطح احتمال 95 درصد معنی‌دار بوده است.

خرداد ماه

در سری زمانی خرداد ماه که در نمودارهای شکل 15 و 16 مشاهده می‌شود، تغییرات دما و تبخیر و تعرق دارای روندی همسو و کاهش یافته بودند. روند کاهش تبخیر و تعرق توسط هر دو آزمون تحلیل رگرسیون و آزمون من کندال در سطح احتمال 99 درصد معنی‌دار بوده است.

تیر ماه

در سری زمانی تیر مطابق نمودارهای شکل 17 و 18، تغییرات متوسط دما دارای روند افزایشی ولی روند تبخیر و تعرق کاهش یافته است. روند کاهش تبخیر و تعرق توسط هر دو آزمون تحلیل رگرسیون و آزمون من کندال در سطح احتمال 99 درصد معنی‌دار بوده است.

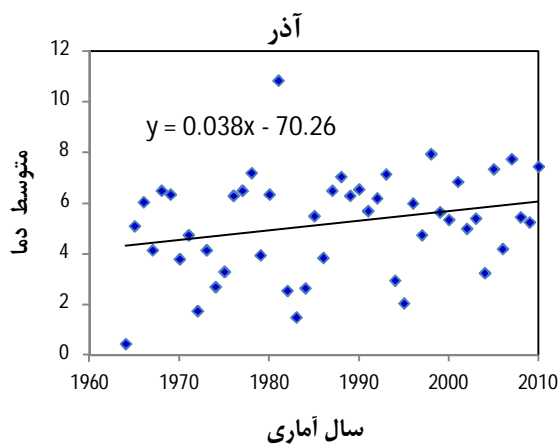
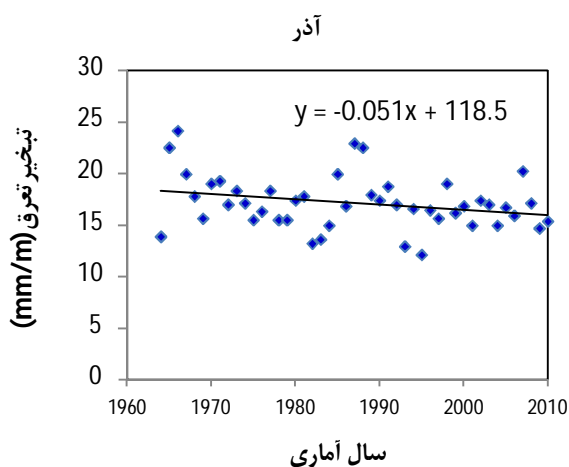
همان‌طور که اشاره شد، نتایج تحلیل عددی روند تغییرات ماهانه دما و تبخیر و تعرق گیاهی گندم در جدول 3 آورده شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود تغییرات متوسط دما بجز خرداد ماه در تمامی ماه‌ها دارای شیب مثبت بوده است که با نتایج قره‌خانی و همکاران مبنی بر افزایش دما در اکثر مناطق ایران مطابقت دارد (Gharekhani et al., 2012). ولی تغییرات تبخیر و تعرق بجز بهمن ماه دارای شیب منفی

بوده است که این با نتایج توماس، مبنی بر کاهش تبخیر و تعرق طی سری زمانی مورد مطالعه شان مطابقت دارد (Thomas., 2000).

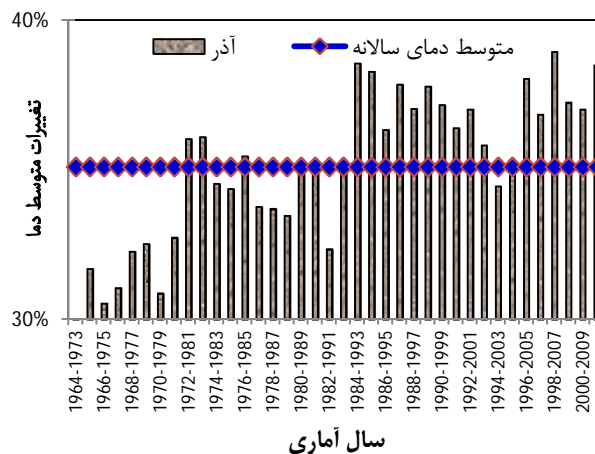
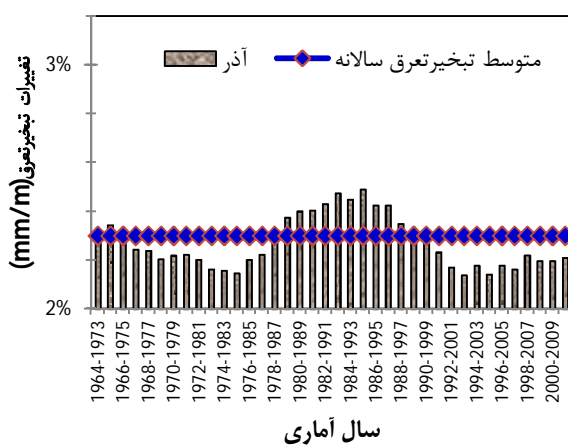
جدول 3- نتایج حاصل از بررسی عددی روند تغییرات متوسط دما و تبخیر و تعرق گیاهی گندم در ایستگاه اصفهان در بازه زمانی 1964-2010

پارامتر	آزمون	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر
تبخیر تعرق	من کندال	-2,02*	0,06	0,31	-1,06	-1,22	*-2,16	** -4,42	** -4,34
	رگرسیون (p-value)	0,067	0,453	0,070	0,571	0,102	*0,035	**0,0001	**0,0001
	شیب رگرسیون	-0,051	-0,032	0,044	-0,254	-0,323	-0,485	-0,798	-0,422
دمای متوسط	من کندال	1,620	1,030	0,580	0,170	1,290	-0,390	-0,060	1,720
	رگرسیون (p-value)	0,075	0,256	0,339	0,874	0,225	0,971	0,720	0,131
	شیب رگرسیون	0,038	0,028	0,019	0,003	0,020	0,000	-0,003	0,019

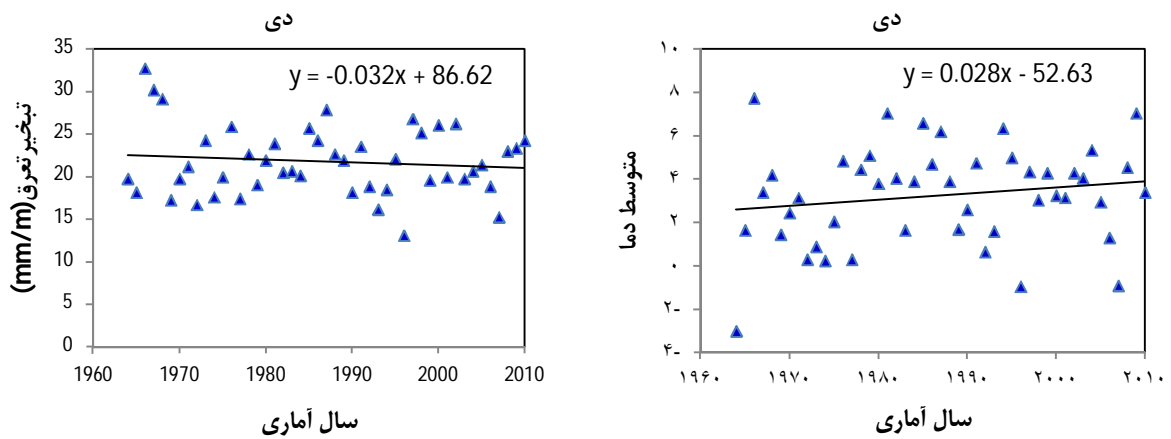
* معنی داری روند در سطح 95% ** معنی داری روند در سطح 99%



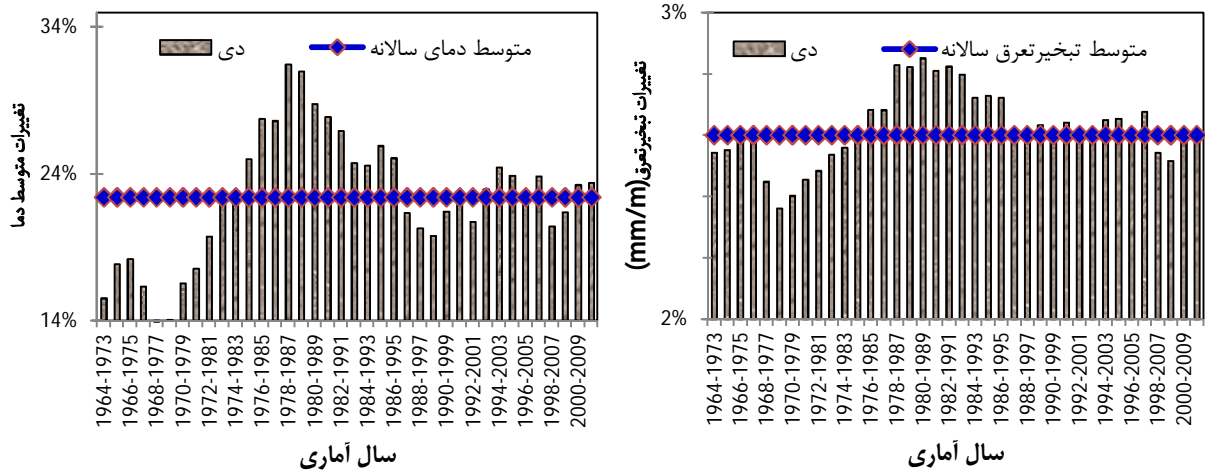
شکل 3- روند تغییرات تبخیر و تعرق (سمت راست) و دما (سمت چپ) در آذرماه در ایستگاه اصفهان (1964-2010)



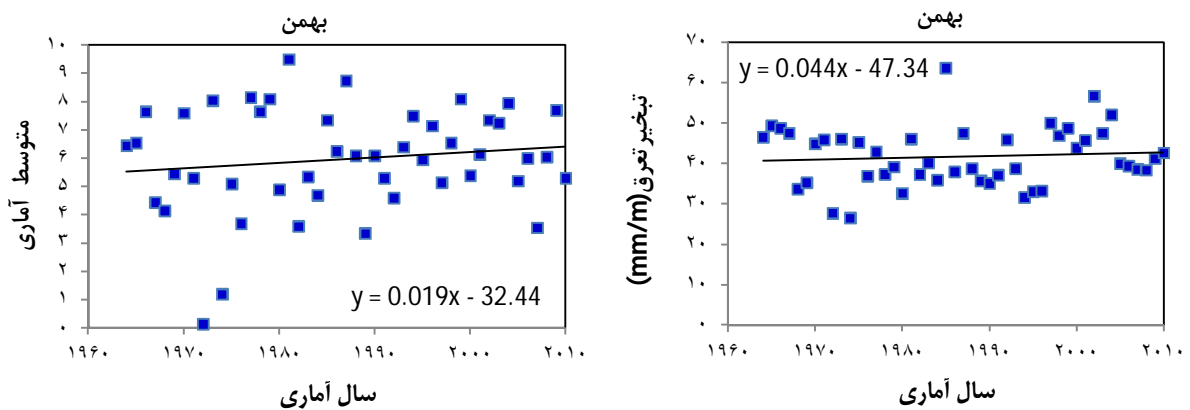
شکل 4- روند تغییرات میانگین متحرک ده ساله تبخیر و تعرق (سمت راست) و دما (سمت چپ) در آذرماه در ایستگاه اصفهان (1964-2010)



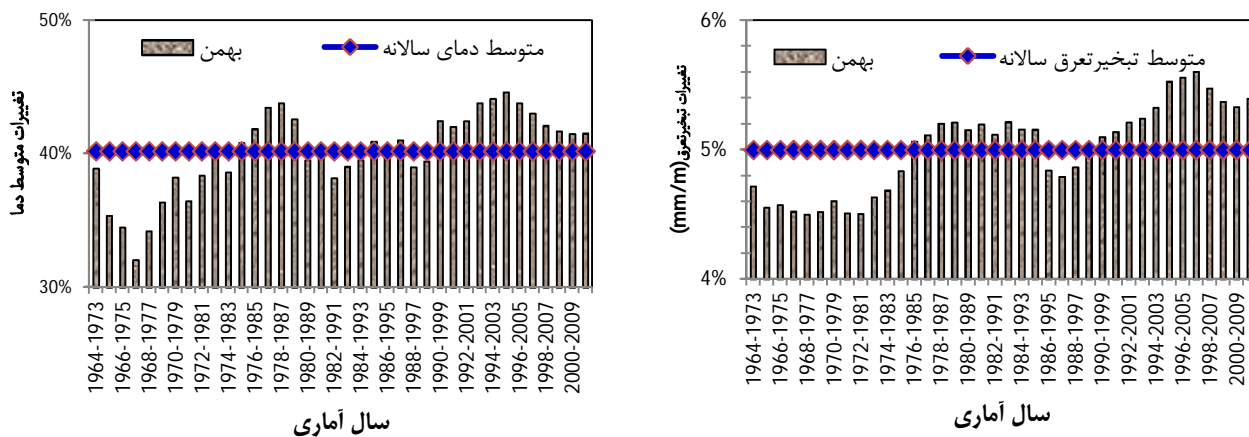
شکل 5- روند تغییرات تبخیر و تعرق (سمت راست) و دما (سمت چپ) در دی ماه در ایستگاه اصفهان (1964-2010)



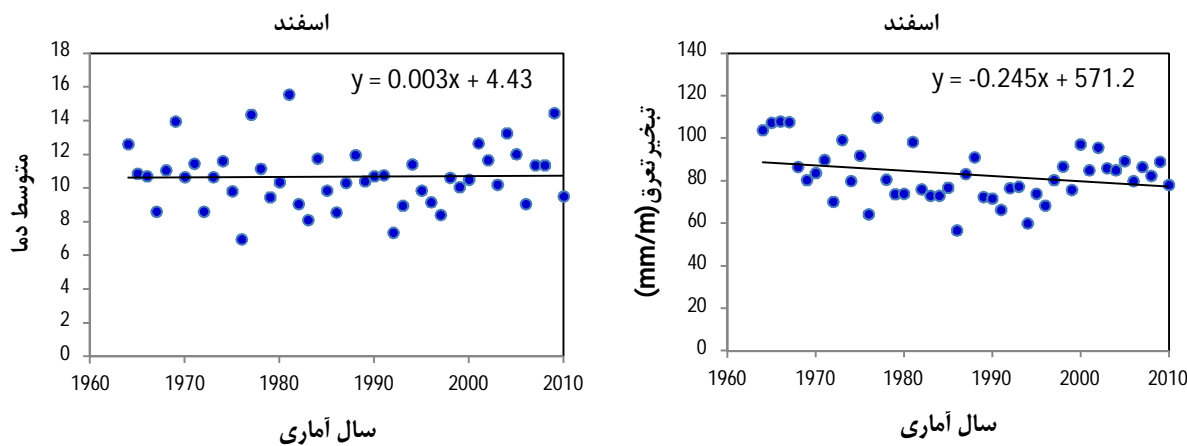
شکل 6- روند تغییرات میانگین متحرک ده ساله تبخیر و تعرق (سمت راست) و دما (سمت چپ) در دی ماه در ایستگاه اصفهان (1964-2010)



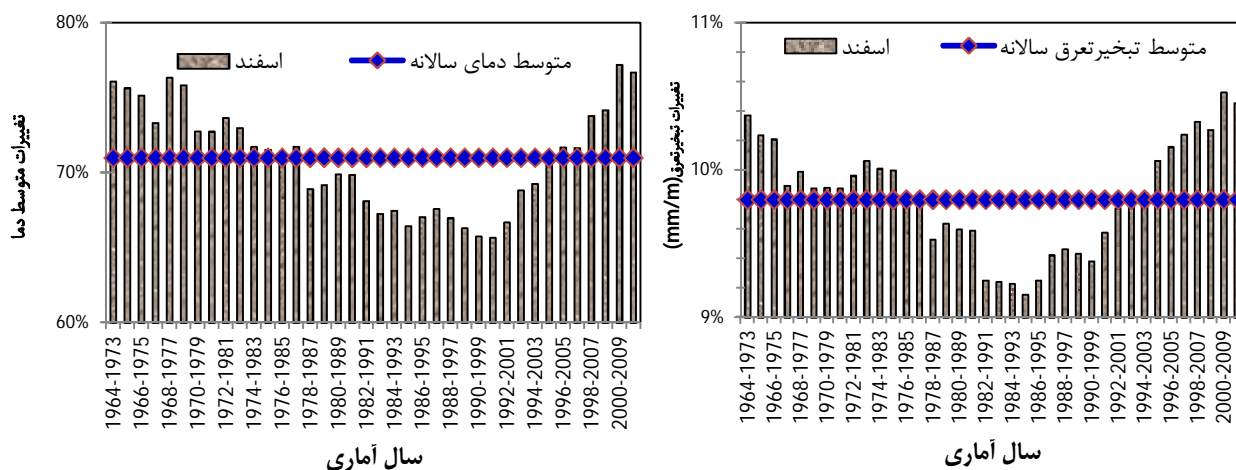
شکل 7- روند تغییرات تبخیر و تعرق (سمت راست) و دما (سمت چپ) در بهمن ماه در ایستگاه اصفهان (1964-2010)



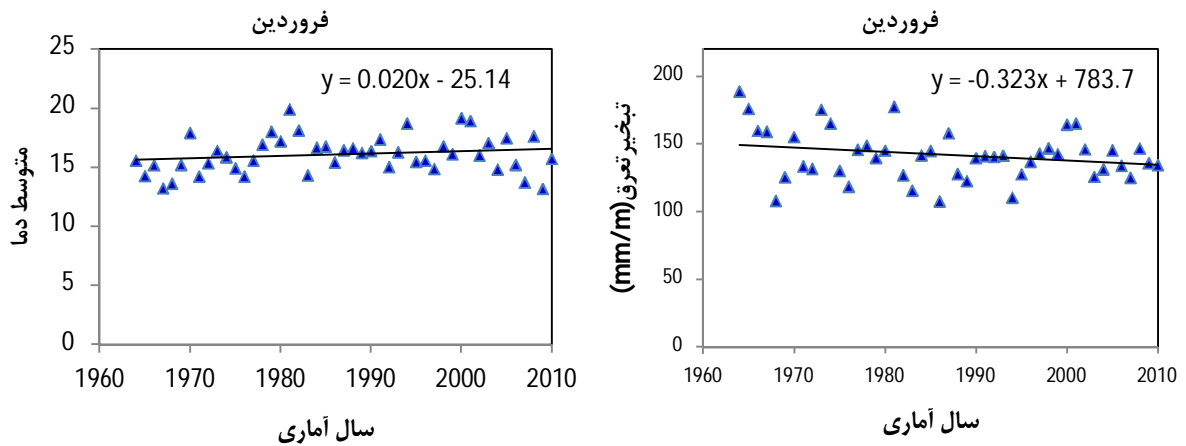
شکل 8- روند تغییرات میانگین متحرک ده ساله تبخیر و تعرق (سمت راست) و دما (سمت چپ) در بهمن ماه در ایستگاه اصفهان (1964-2010)



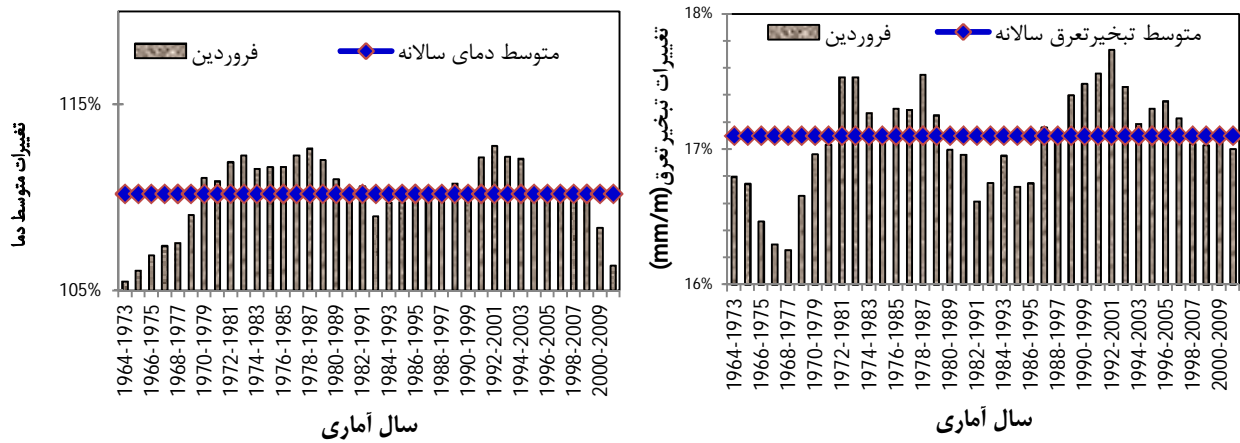
شکل 9- روند تغییرات تبخیر و تعرق (سمت راست) و دما (سمت چپ) در اسفند ماه در ایستگاه اصفهان (1964-2010)



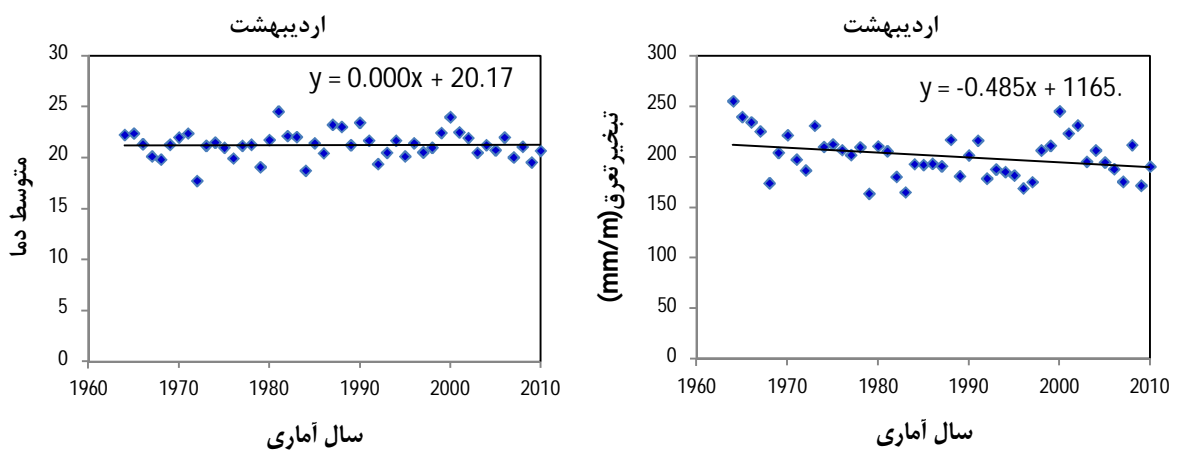
شکل 10- روند تغییرات میانگین متحرک ده ساله تبخیر و تعرق (سمت راست) و دما (سمت چپ) در اسفند ماه در ایستگاه اصفهان (1964-2010)



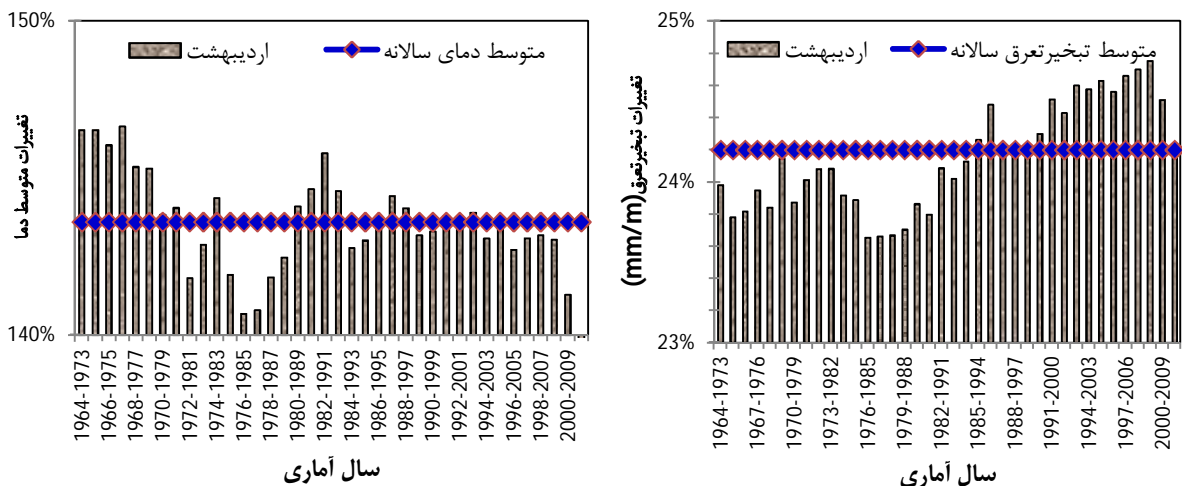
شکل 11- روند تغییرات تبخیر و تعرق (سمت راست) و دما (سمت چپ) در فروردین ماه در ایستگاه اصفهان (1964-2010)



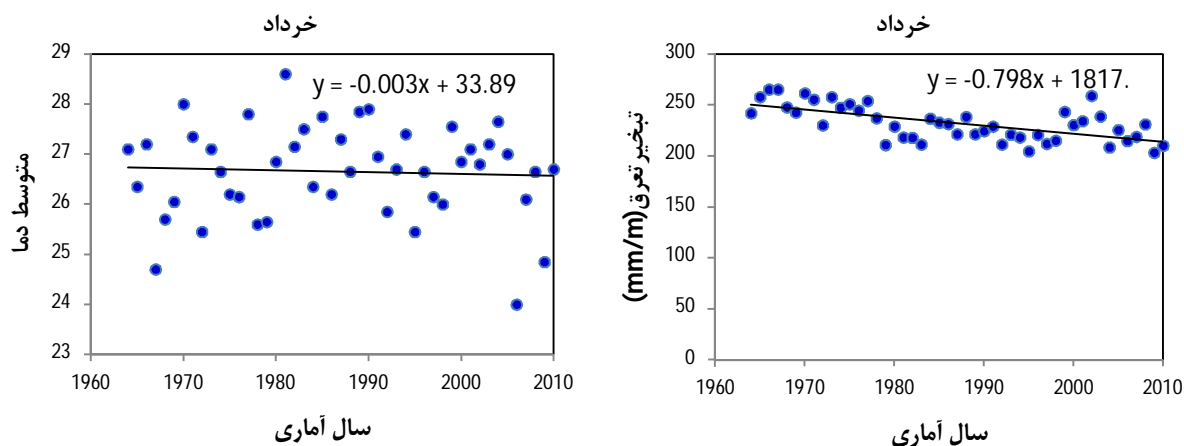
شکل 12- روند تغییرات میانگین متحرک ده ساله تبخیر و تعرق (سمت راست) و دما (سمت چپ) در فروردین ماه در اصفهان (2010-1964)



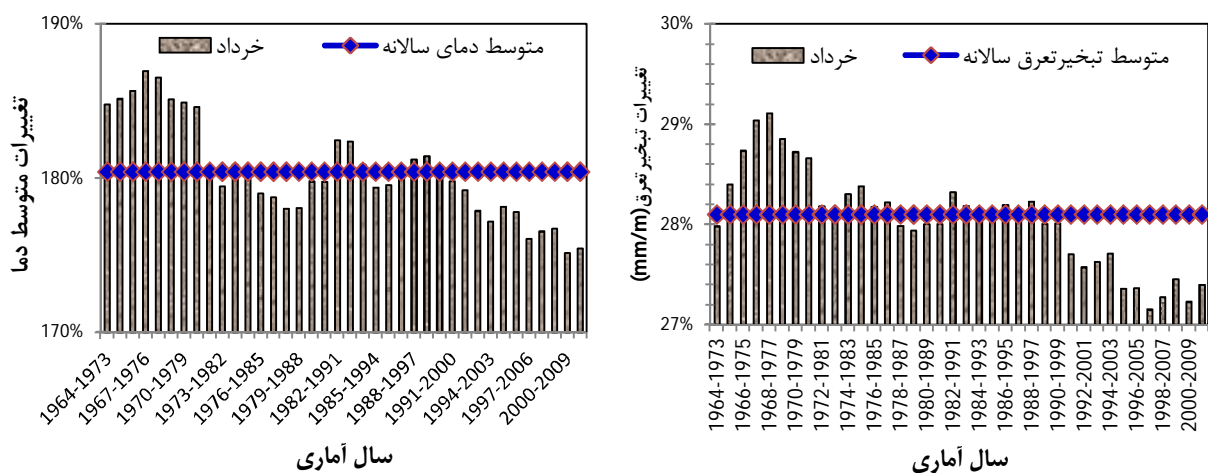
شکل 13- روند تغییرات تبخیر و تعرق (سمت راست) و دما (سمت چپ) در اردیبهشت ماه در ایستگاه اصفهان (2010-1964)



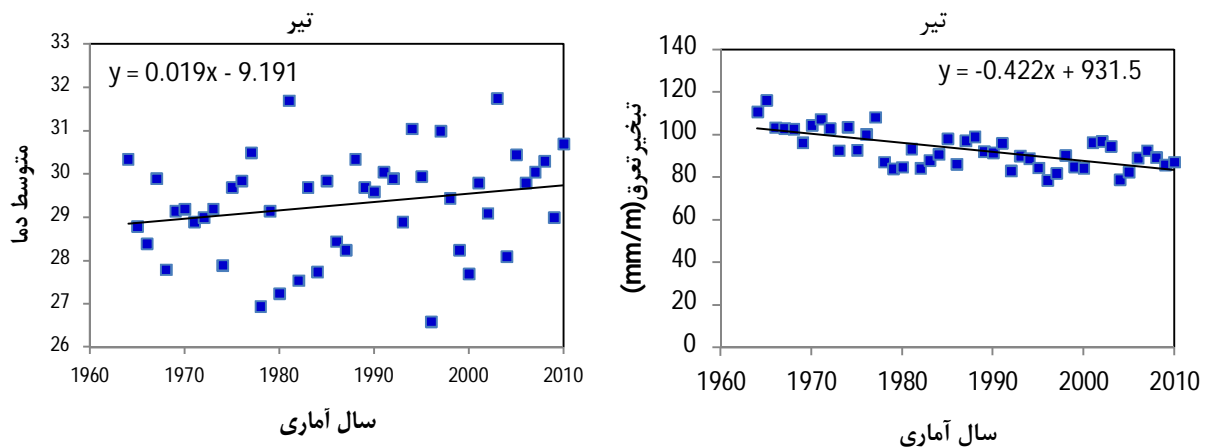
شکل 14- روند تغییرات میانگین متحرک ده ساله تبخیر و تعرق (سمت راست) و دما (سمت چپ) در اردیبهشت ماه در اصفهان (1964-2010)



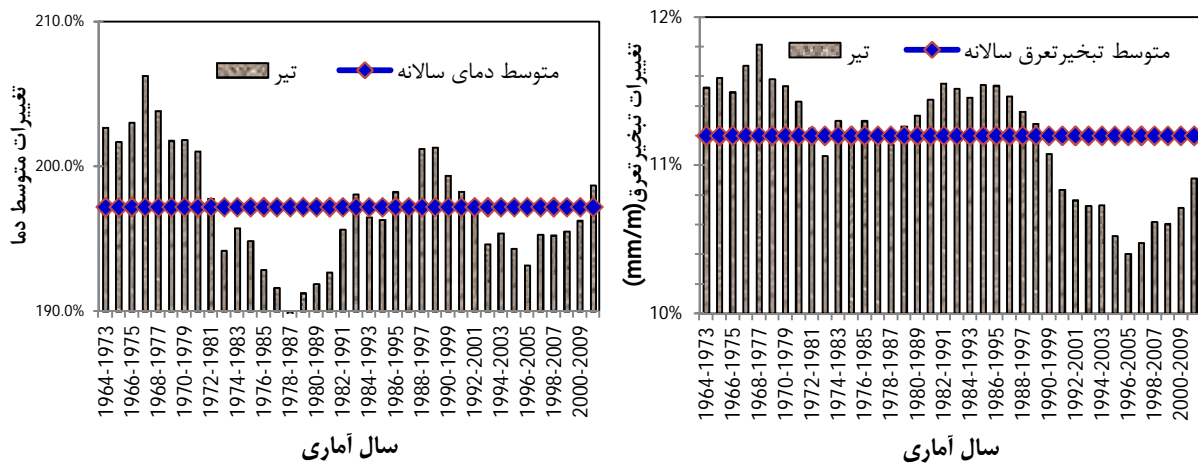
شکل 15- روند تغییرات تبخیر و تعرق (سمت راست) و دما (سمت چپ) در خرداد ماه در ایستگاه اصفهان (1964-2010)



شکل 16- روند تغییرات میانگین متحرک ده ساله تبخیر و تعرق (سمت راست) و دما (سمت چپ) در خرداد ماه در ایستگاه اصفهان (1964-2010)



شکل 17- روند تغییرات تبخیر و تعرق (سمت راست) و دما (سمت چپ) در تیر ماه در ایستگاه اصفهان (1964-2010)



شکل 18- روند تغییرات میانگین متحرک ده ساله تبخیر و تعرق (سمت راست) و دما (سمت چپ) در تیر ماه در ایستگاه اصفهان (1964-2010)

نتیجه گیری

تبخیر و تعرق سازگاری وجود داشت که در بهمن هر دو پارامتر دما و تبخیر و تعرق روند افزایشی و در خرداد هر دو پارامتر دما و تبخیر و تعرق روند کاهشی داشت. در دیگر ماه‌ها این رابطه بصورت معکوس دیده شد. که می‌توان علت را تاثیرگذاری بیش‌تر تغییر اقلیم بر روی ماه‌های گرم سال نسبت به ماه‌های فصل سرد دانست. عوامل ایجاد خطا را می‌توان انتخاب پارامتر متوسط دما به جای دمای حداقل و حداکثر و یا تاثیرگذاری پارامترهای دیگری همچون سرعت باد، میزان رطوبت هوا، علاوه بر دمای متوسط بر میزان تبخیر و تعرق دانست. با این وجود نتایج مطالعه حاضر بیانگر وجود پدیده تناقض تبخیر در شهرستان اصفهان می‌باشد.

منابع

قهرمان، ن.، قره خانی، الف. 1390. تحلیل متوسط سرعت باد در شرایط اقلیمی متفاوت در ایران. مجله آبیاری و زهکشی. 1: 31-43.

نتایج مقایسات روندیابی متوسط دما نشان می‌دهد بجز ماه خرداد که روند کاهشی بوده و اردیبهشت ماه که تغییرات دما در طول سالیان آماری ناچیز است، روندیابی متوسط دما طبق آزمون من‌کنندال و آزمون تحلیل رگرسیون در سایر ماه‌ها روند افزایشی داشته هر چند طبق خروجی نرم افزار SAS، دارای روند کاهشی یا افزایشی معنی‌داری نمی‌باشند. همچنین بررسی تغییرات مقادیر تبخیر و تعرق گیاه گندم نیز نشان داد بجز بهمن ماه که روند تبخیر و تعرق افزایشی بوده، در سایر ماه‌ها روند کاهشی بوده و طبق خروجی نرم افزار SAS، توسط هر دو آزمون من‌کنندال و تحلیل رگرسیونی در ماه‌های تیر و خرداد در سطح 99 درصد دارای روند کاهشی معنی‌دار و در اردیبهشت توسط تحلیل رگرسیون و در ماه‌های آذر و اردیبهشت توسط آزمون من‌کنندال در سطح 95 درصد دارای روند کاهشی معنی‌دار بود. همچنین در ایستگاه مورد مطالعه تنها در ماه بهمن و خرداد بین پارامتر دما و

- International Journal of Climatology, 24, 1077-1090.
- 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.
- Tabari, H., Marofi, S., Aeni, A., Hosseinzadeh, P., Mohammadi, K. 2010. Trend analysis of reference evapotranspiration in the western half of Iran. *Agricultural and Forest Meteorology*. 10:116-125.
- Tonkaz, T., Cetin, M and Tulucu, K. 2007. The impact of water resources development projects on water vapor pressure trends in a semi-arid region, Turkey. *Journal Climatic Change* 82: 195-209.
- Tavakoli, A.R., Oweis, T., Ashrafi, Sh., Asadi, H., Siadat, H., and Liaghat, A. 2010. Improving rainwater productivity with supplemental irrigation in upper Karkheh riverbasin of Iran. *International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA)*. Aleppo. Syria. 123pp.
- Thomas, A. 2000. Spatial and temporal characteristics of potential evapotranspiration trends over China. *International Journal of Climatology*. 20: 381-396.
- Yaning, C., Changchun, X., Xingming, H., Weihong, L., Yapeng, C., Chenggang, Z., Zhaoxia, Y. 2009. Fifty-year climate change and its effect on annual runoff in the Tarim River Basin, China. *Quaternary International*. 208:53-61.
- Yue, S., Pilon, P., Cavadias, G. 2002. Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal Hydrology*. 259:254-271.
- Allen, R.G and Pruitt, W.O. 1991. FAO-24 Reference evapotranspiration factors. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 117.5:758-773.
- Balling, J.R.C., Idso, S.B. 1990. Effects of greenhouse warming on maximum summertemperatures. *Agricultural and Forest Meteorology*., 53, 143-147.
- Chattopadhyay, N and Hulme, M. 1997. Evaporation and potential evapotranspiration in India under conditions of recent and future climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*. 87: 55-73.
- Croissant, R.L., Peterson, G.A and Westfall, D.G. 1998. Dryland Cropping Systems. Colorado State University, Cooperative Extension. Bulletin No. 0.516.
- Gellens, D. 2000. Trend and correlation analysis of k-day extreme precipitation over Belgium. *Theoretical and Applied Climatology*. 66:117-129
- 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.
- 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.
- Lawrimore, J and Peterson, T. 2002. Pan Evaporation trends in dry and humid regions of the United States. *Journal Hydrometeorol.* 14-31.
- Li, Z.L., Xu, Z.X., Li, J.Y., 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.
- Ohmura, A and Wild, M. 2002. Is the hydrological cycle accelerating. *Science*. 298: 1345-1346.
- Roderick, M.L and Farquhar, G.D. 2002. Changes in Australian pan evaporation from 1970 to 2002.

Analyzing the Trend of Crop Evapotranspiration in the Isfahan City, Case Study: Wheat crop

SH. Larijani¹, M. Salarian^{2*}, A. Alizadeh³, K. Davary⁴

Received: Mar.08, 2016

Accepted: Oct.19, 2016

Abstract

Climate change is one of humanity's today problems and is considered as a threat to the planet. So identifying and predicting its elements, is very important for the management of crisis situations. In this study the time variation process of the evapotranspiration parameter for wheat crop, along with the temporal changes of temperature in Isfahan city, was studied. Therefore, data from synoptic weather stations of the 47-year period (1964-2010) were used and with using parametric, Regression Analysis and nonparametric, Mann-Kendall tests, significant for monthly and annual time series of 95 and 99 percent significance levels was evaluated. The results showed that the temporal variations of evapotranspiration of wheat have been declining. The most significant monthly evapotranspiration trend was observed in July and August, although there was no significant trend of increasing temperature. Based on the annual time series, evapotranspiration showed a significant downward trend in the level of 99 percent, with a slope of about 29%, however, the temperature increase was not significant. Comparing the results of both evapotranspiration and temperature changes by both tests indicate that this phenomenon of evaporation paradox existed in Isfahan city.

Key words: Evaporation paradox, Mann-Kendall, Regression, Synoptic

1- Master Student in Water Engineering, Department of Water Sciences and Engineering, Tehran University

2- PhD. Candidate in Water Engineering, Department of Water Sciences and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

3- Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

4- Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

(* - Corresponding Author Email : mohammad.salarian@mail.um.ac.ir)