

مطالعه روند تغییرات تبخیر از تشت در گستره اقلیمی ایران

• ابوذر قره خانی

دانش آموخته هواشناسی کشاورزی، دانشگاه تهران

• نوذر قهرمان (نویسنده مسئول)

استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

• جواد بذرافشان

استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج

تاریخ دریافت: مرداد ماه ۱۳۹۰ تاریخ پذیرش: بهمن ماه ۱۳۹۰

تلفن تماس: ۰۲۶۳۲۲۴۱۱۱۹

Email: nghahreman@ut.ac.ir

چکیده

هدف از انجام این تحقیق، بررسی روند تغییرات تبخیر از تشت در مقیاس زمانی سالانه و فصلی در ۱۴ ایستگاه سینوپتیک ایران با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری می‌باشد. ابتدا داده‌های موجود توسط آزمون کولموگروف اسمیرنوف مورد آنالیز قرار گرفت و مشخص گردید که توزیع داده‌ها نرمال است. سپس دو آزمون من-کندال و ضریب اسپیرمن که جزء روش‌های ناپارامتری به‌شمار می‌روند و دو روش تحلیل رگرسیون و ضریب پیرسون که جزء روش‌های پارامتری می‌باشند جهت تحلیل روند داده‌های تبخیر از تشت به کار گرفته شدند. ۱۴ ایستگاه در بازه زمانی ۲۰۰۵-۱۹۸۵ انتخاب و چهار آزمون فوق‌بر روی آنها اعمال گردید. نتایج روند یابی با آزمون من-کندال نشان می‌دهد که در سری سالانه ۲۱/۵ درصد، در سری بهار و تابستان هفت درصد از ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی بودند همچنین در فصل تابستان ۵۰ درصد، بهار ۴۳ درصد، پاییز ۱۴ درصد و سالانه ۲۱/۵ درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای روند کاهشی بودند. بر اساس روش ضریب همبستگی پیرسون در سری سالانه ۲۸/۵ درصد، در فصول بهار و تابستان هفت درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای روند افزایشی بودند همچنین در سری سالانه ۲۱/۵ درصد، بهار ۴۳ درصد، تابستان ۵۰ درصد و پاییز ۱۴ درصد از ایستگاه‌ها دارای روند کاهشی بودند. در این تحقیق مشخص گردید در سری زمانی تابستان ۵۷ درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس روش من-کندال، روش اسپیرمن و روش پیرسون دارای روند بوده‌اند. در مجموع روند کاهشی تبخیر از تشت بیشتر از روند افزایشی تبخیر از تشت می‌باشد. نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد علیرغم افزایش دما در اکثر مناطق، کاهش تبخیر از تشت یا پدیده تناقض تبخیر در ایران نیز اتفاق افتاده است. این کاهش تبخیر از تشت با توجه به اقلیم خشک و نیمه خشک ایران در مطالعات منابع آب و هواشناسی حایز اهمیت است.

کلمات کلیدی: روند، تبخیر از تشت، تحلیل رگرسیون، ضریب پیرسون، من-کندال، ضریب اسپیرمن

Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi) No 98 pp: 85-97

Trend analysis of pan evaporation in different climates of Iran

By: A. Gharekhani, Former M.Sc. Student of Agrometeorology, University of Tehran, N. Ghahreman, (Corresponding Author; Tel: +9802632241119), Asst. Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University-College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Iran, J. Bazrafshan, Asst. Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University-College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Iran.

Received: August 2011

Accepted: February 2012

The purpose of this study was to assess changes in pan evaporation over the period 1985-2005 in a network consisting of 14 synoptic stations of Iran using parametric and non-parametric methods. All seasonal and annual series have been checked for normality with the Kolmogorov-Smirnov test. Time trends of this variable were analyzed using parametric and non-parametric techniques (Pearson correlation coefficient, least square linear regression, Mann-Kendall and rho-Spearman correlation coefficient). The results showed that based on the Mann-Kendall test, 21.5 % of annual series, 7% of Summer and Spring series had an increasing trend. Besides, 50% of Summer series, 43% of Spring series, 14% of autumn series and 21.5 % of annual series showed a decreasing trend. Based on Pearson correlation coefficient, 28.5 % of annual series, 7% of Summer and Spring series had an increasing trend. Similarly, in 21.5% of annual series, 43% of Spring series, 50% of Summer series and 14 % of annual series a decreasing trend was observed. The study indicated, 57% of summer series have significant series using Mann-Kendall, rho-Spearman correlation coefficient and Pearson correlation coefficient. In general, decreasing series were more than increasing ones. Despite of slightly increasing temperature trend previously reported in different regions of the country, results of this study showed that evaporation paradox does exist in different climates of Iran also. These reduced values of pan evaporation, as a key element in arid and semi arid climates of Iran, would have a significant effect in hydro-meteorological studies.

Keywords: Mann-Kendall, Pan evaporation, Pearson correlation coefficient, rho spearman, Trend

مقدمه

های جوی مهم تاثیر گذار بر آن در گستره اقلیمی ایران بررسی گردد. Lawrimore, Peterson (۲۰۰۲) روند تغییرات تبخیر از تشتت کلاس A را در نواحی مرطوب و خشک ایالات متحده، مورد بررسی قرار دادند که نتایج روند نزولی تبخیر را نشان داد. همچنین مشخص گردید که تبخیر از تشتت و تبخیر واقعی میتواند به هم بستگی داشته باشند. Chattopadhyay, Hulme (۱۹۹۷). تبخیر تعرق پتانسیل را در هند تحت شرایط تغییر اقلیمی اخیر و آینده بررسی کردند. آنالیزها نشان دادند که هر دو تبخیر از تشتت و تبخیر تعرق پتانسیل در دوره سال های اخیر در هند، روند کاهشی داشته اند. Xu (۲۰۰۱). رابطه بین روند کاهشی در تبخیر و روند افزایشی بارندگی در چین را تایید کرد. Ohmura, Wild (۲۰۰۲) روند کاهشی در مقدار تابش خورشید و پتانسیل تبخیر را بر پایه داده های مشاهداتی بیان کرده اند همچنین افزایش در مقدار ابر و ذرات معلق در هوا علت این پدیده اعلام شده است Tonkaz و همکاران (۲۰۰۷). فشار بخار آب و رطوبت نسبی را در منطقه ی نیمه خشک ترکیه مورد بررسی قرار داد، نتایج نشان داد که فشار بخار آب در طول دوره مورد مطالعه (۲۰۰۰-۱۹۵۵) دارای روند افزایشی بوده و روند تغییرات رطوبت نسبی رو به کاهش بوده است. Ahmad, Taleb (۲۰۰۷) در مطالعه ی آنالیز آماری تغییرات رطوبت نسبی سالانه و فصلی در اردن در

میزان تبخیر از تشتت (Epan) یکی از عوامل اقلیمی بسیار مهم در برنامه ریزی های منابع آب، کنترل آبیاری و تولیدات زراعی می باشد و در تجزیه و تحلیل های بلند مدت تغییر در عناصر آب و هوایی یک کار اساسی در مطالعات می باشد (Gong و همکاران ۲۰۰۶). استفاده از Epan در برآورد تبخیر و تعرق در بسیاری از کشورها متداول است و به این جهت، اطلاع از روند تغییرات زمانی این کمیت حایز اهمیت است. نیاز تبخیری جو که بوسیله تشتت تبخیر اندازه گیری می شود، طی چند دهه گذشته در بسیاری از نقاط نیمکره شمالی و نیز در مناطقی از نیمکره جنوبی در استرالیا کاهش یافته است (Roderick و Farquhar ۲۰۰۴). این در حالی است که بر پایه اکثر مطالعات در ایران و جهان، روند افزایشی دما به تایید رسیده است که نوعی تناقض محسوب می شود. باور علمی عمومی بر آن است که این تناقض تا حد زیادی بر اساس رخدادهای جوی دیگر قابل توجیه است که عمدتا، کاهش تابش رسیده به سطح زمین به دلیل افزایش غلظت هواویزها (Aerosols) و ابرناکی می باشد. این پدیده اصطلاحاً تیرگی جهانی (Global dimming) نامیده شده است (Stanhill و Cohen ۲۰۰۱).

بدین جهت لازم است تا روند تغییرات زمانی تبخیر از تشتت و متغیر

عینی آمار ایستگاه‌ها نشان داد که در هیچ یک از ایستگاه‌ها در دوره آماری موجود آمار مفقوده وجود ندارد و نیازی به بازسازی آمار نیست. از آنجا که اکثر آزمون‌های آماری و به ویژه آزمون‌های تحلیل روند بر اساس فرض نرمال بودن داده‌ها قرار دارند لازم است فرض مذکور مورد بررسی قرار گرفته تا در صورت لزوم با روش‌های مناسب نسبت به نرمال سازی داده‌ها اقدام نمود. در این مطالعه برای اطمینان از نرمال بودن سری داده‌های موجود از آزمون کولموگروف اسمیرنوف استفاده گردید و مشخص گردید که داده‌های موجود نرمال می‌باشند.

ویژگی‌های آماری اطلاعات ایستگاه‌های مورد مطالعه

بررسی‌های آماری نشان می‌دهد در شبکه ایستگاه‌های مطالعاتی، ایستگاه اهواز با ۳۴۴۸ میلی‌متر در سال بیشترین و ایستگاه رشت با ۷۳۳ میلی‌متر در سال کمترین میانگین تبخیر از تشت را در دوره آماری داشته‌اند. همچنین ایستگاه اهواز با ۲۰۸۳ میلی‌متر بیشترین و ایستگاه رشت با ۴۹۱ میلی‌متر کمترین دامنه تغییرات تبخیر از تشت را دارد. نتایج مربوط به سایر ایستگاه‌ها در جدول ۱ آمده است.

روش‌های تحلیل روند

در این تحقیق برای بررسی روند تغییرات تبخیر از تشت از دو روش غیر پارامتری (من-کندال و ضریب اسپیرمن) و دو روش پارامتری (تحلیل رگرسیون و ضریب همبستگی پیرسون) استفاده گردید که در ادامه تشریح می‌شوند.

۱. آزمون من-کندال: این آزمون ابتدا توسط Mann (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط Kendall (۱۹۷۵) بسط و توسعه یافت. این روش بطور متداول و گسترده‌ای در تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی بکار گرفته می‌شود و یکی از روش‌های مهم برای آزمون روند سری‌های زمانی محسوب می‌شود (Wallis و Lettenmaier ۱۹۹۴). از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند اشاره نمود. اثر پذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردند نیز از دیگر مزایای این روش است.

آماره‌ی این آزمون به شرح زیر است:

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

که در آن S مربوط به علامت‌های تفاوت مقادیر با یکدیگر (رابطه‌ی ۲) و Var(s) پراش (رابطه‌ی ۳) است:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (2)$$

$$\text{var}(S) = \frac{n - (n-1)(2n+5) - \beta}{18} \quad (3)$$

دوره مطالعاتی (۲۰۰۰-۱۹۴۵) به این نتیجه رسیدند که تغییرات رطوبت نسبی دارای روند افزایشی بوده است. Jhajharia و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی روند یابی تبخیر از تشت با استفاده از روش‌های پارامتری (شیب خط رگرسیون) و ناپارامتری (من-کندال) در شمال هند پرداختند. نتایج بدست آمده کاهش روند تبخیر از تشت را در اکثر فصول موسومی نشان می‌دهد. Asanuma, Kamimera (۲۰۰۳) در بررسی روند تبخیر از تشت در یک دوره سی ساله (۱۹۶۵-۱۹۹۵) در چهارده ایستگاه ژاپن نتیجه گرفتند که روند کاهش تبخیر از تشت در اغلب مناطق ژاپن وجود دارد که این روند کاهش همراه با افزایش دمای هوا و کاهش فشار بخار بود. Farquhar و Roderick (۲۰۰۲) در مطالعه‌ی ۱۹ منطقه نیوزلند، وجود روندی کاهش تبخیر از تشت به میزان دو میلی‌متر در سال (۶۰ میلی‌متر در ۳۰ سال) را گزارش کردند همچنین نشان دادند که کاهش تابش خورشیدی دریافتی در سطح زمین سبب کاهش تبخیر از تشت می‌گردد و بیان کردند که روند تبخیر از تشت و تغییر سیکل هیدرولوژی جهانی با یکدیگر رابطه نزدیکی دارد.

مطالعات اخیر تغییرات آب و هوا در ایران به طور عمده در تغییر طولانی مدت دما و بارش متمرکز شده است. در حالی که تبخیر و تبخیر-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 ۴۱۳ میلیارد متر مکعب بارش دریافت می‌کند، در حالی که بیش از ۷۲ درصد از آن بصورت تبخیر و تبخیر-تعرق از دست داده می‌شود. Tabari و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی روند تغییرات تبخیر تعرق گیاه مرجع و عوامل تاثیر گذار بر آن در بیست ایستگاه سینوپتیک ایران در بازه زمانی ۲۰۰۵-۱۹۶۶ پرداختند و بیان داشتند که روند تغییرات تبخیر تعرق گیاه مرجع به سبب افزایش دما افزایش یافته است. قهرمان و قره‌خانی (۱۳۸۹) 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. کوثری و همکاران (۱۳۸۷) به بررسی روند تغییرات دما و رطوبت نسبی در ۲۶ ایستگاه سینوپتیک ایران پرداختند، نتایج حاصل از این مطالعه بیانگر افزایش دما در قسمت مرکزی و شرقی می‌باشد. قره‌خانی و قهرمان (۱۳۸۹) روند تغییرات رطوبت نسبی و دمای نقطه شبنم را در دوره‌ی ۳۰ ساله در گستره اقلیمی ایران مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که روند کاهش متغیرهای مورد بررسی بیشتر از روند افزایشی آنها بوده است، هر چند قانونمندی خاصی برای اقلیم مختلف مشاهده نشد.

هدف این مطالعه بررسی روند تغییرات تبخیر از تشت در گستره اقلیمی ایران در مقیاس زمانی سالانه و فصلی در یک شبکه منتخب مطالعاتی بوده است.

مواد و روش‌ها

بررسی‌های مقدماتی

به منظور انجام این تحقیق ابتدا شناسنامه اطلاعات آب و هوایی ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک مورد مطالعه از سازمان هواشناسی کشور تهیه گردید. و تعداد ۱۴ ایستگاه سینوپتیک که دارای آمار نسبتاً طولانی بودند در دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۸۶ انتخاب گردید. بررسی‌های

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 زیر معنی داری شیب رگرسیون آزمون می شود:

$$t = \frac{b}{\sqrt{\frac{MSE}{S_{xx}}}} \quad (10)$$

که در این رابطه MSE میانگین مربعات خطا و S_{XX} به صورت زیر محاسبه می گردد:

$$S_{XX} = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (11)$$

در این رابطه X_i متغیر مورد نظر و \bar{X} میانگین متغیر مورد نظر می باشد.

اگر $t_{\alpha/2, n-2} < |T| < t_{1-\alpha/2, n-2}$ شود شیب رگرسیون بی معنی تلقی می شود (فرض H_0 : شیب b برابر صفر می باشد) و شیب b : به طور معنی داری مخالف صفر، نشان دهنده وجود روند است.

۴. ضریب همبستگی پیرسون: از ضرایب مهم برای تعیین همبستگی بین دو متغیر با مقیاس های فاصله ای و نسبتی است که دارای توزیع نرمال نیز باشند. این ضریب با علامت r نمایش داده می شود و بین $+1$ و -1 تغییر می کند و علامت آن بیانگر جهت این رابطه است. برای محاسبه ی ضریب همبستگی پیرسون از فرمول زیر استفاده می شود.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (12)$$

که در این رابطه، Y متغیر جوی، \bar{Y} میانگین متغیر جوی، X زمان، \bar{X} میانگین زمان و n تعداد سری های زمانی می باشد. با مشخص شدن مقدار r با استفاده از جدول ضریب همبستگی پیرسون معنی داری آن در سطح اطمینان مورد نظر بررسی می شود.

نتایج

الف) تحلیل در مقیاس سالانه

برای درک بهتر روند تغییرات تبخیر از تشت در سری زمانی سالانه نمودار تغییرات شبکه ایستگاه های مطالعاتی ترسیم گردید. برای نمونه، نمودار تغییرات تبخیر از تشت دو ایستگاه تبریز و ارومیه در شکل ۱ آمده است. برای بررسی روند تغییرات تبخیر از تشت ابتدا مقدار آماره های چهار روش من-کندال، ضریب همبستگی اسپیرمن، تحلیل رگرسیون و ضریب همبستگی پیرسون محاسبه گردید سپس معنی داری این آماره ها در سطوح اطمینان ۹۵ درصد مورد آزمون قرار گرفت. بر اساس آزمون من-کندال، در هفت ایستگاه روند معنی دار گردید که ۵۰ درصد از ایستگاه ها را شامل می شود که ۲۸/۵ درصد از ایستگاه ها دارای روند افزایشی و ۲۱/۵ درصد از ایستگاه ها دارای روند کاهشی بودند. داده های تبخیر از تشت شبکه ایستگاه های مطالعاتی بر اساس روش ناپارامتری اسپیرمن مورد آنالیز قرار گرفت و مشخص گردید که روند تغییرات در

که در آن n تعداد مشاهدات سری، x_j و x_k به ترتیب داده های k ام سری (مرتب شده به ترتیب وقوع)، $\text{sgn}(\cdot)$ تابع علامت (رابطه ی ۴) و عاملی مربوط به تصحیح پراش در صورتی که داده های تکراری در اطلاعات وجود داشته باشد (رابطه ی ۵) می باشد.

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

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

که در آن t تعداد داده های مشاهده ای و m معرف تعداد سری هائی است که در آن ها حداقل یک داده ی تکراری وجود دارد. در یک آزمون دو دامنه ای برای روند یابی سری داده ها، فرض صفر در حالتی پذیرفته می شود که رابطه زیر برقرار باشد:

$$|Z| \leq Z_{\alpha/2} \quad (6)$$

که α سطح معنی داری است که برای آزمون در نظر گرفته می شود و Z_{α} آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی داری α می باشد که با توجه به دو دامنه بودن آزمون، از

$\alpha/2$ استفاده شده است. در مطالعه حاضر این آزمون برای سطح اعتماد ۹۵ درصد 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.

۲. ضریب همبستگی اسپیرمن: این ضریب در اوایل دهه ۱۹۰۰ توسط چارلز اسپیرمن ابداع گردید. ضریب همبستگی اسپیرمن که آن را با ρ نمایش می دهند همواره بین $+1$ و -1 در نوسان است و از لحاظ سطح سنجش نیز ترتیبی و از نوع متقارن می باشد.

$$\rho = 1 - \frac{6(\sum d_i^2)}{n(n^2 - 1)} \quad (7)$$

که در این رابطه، ρ ضریب همبستگی اسپیرمن، n تعداد مشاهده ها و $\sum d_i^2$ مجموع مجذور تفاوت دو رتبه می باشد.

برای آزمون ضریب همبستگی اسپیرمن از رابطه زیر آماره t محاسبه می شود که بعد از مقایسه آن با t جدول با درجه آزادی $n-2$ تصمیم گیری انجام می شود.

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

۳. 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، به صورت:

$$Y = a + bx \quad (9)$$

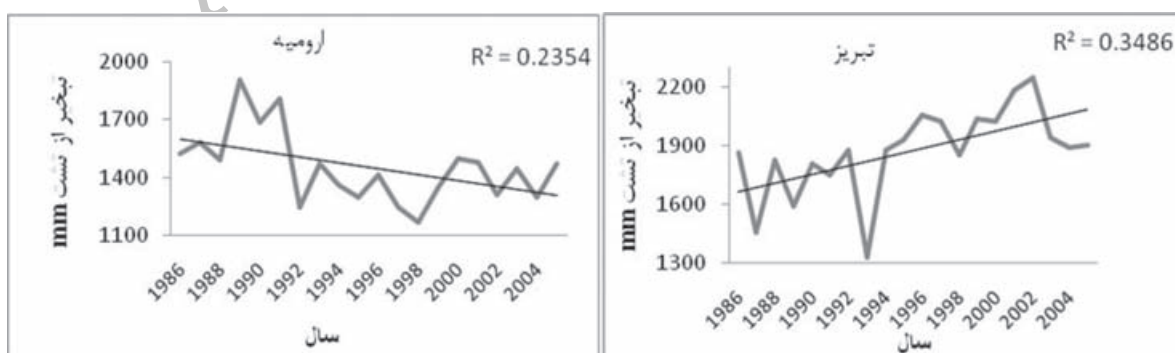
که در این رابطه، Y متغیر جوی، x زمان و a و b ضرایب رگرسیونی

اهواز با ۳۳۳ میلیمتر در دهه مشاهده گردید و بیشترین تغییرات افزایشی در ایستگاه کرمانشاه با ۲۵۵ میلیمتر در دهه مشاهده گردید. نتایج حاصل از بررسی روند و تغییرات تبخیر از تشت در دهه در مقیاس زمانی سالانه بر اساس روش‌های مورد مطالعه در سطح احتمال ۹۵ درصد در شبکه ایستگاه مطالعاتی در بازه زمانی ۲۰۰۵-۱۹۸۶ در جدول ۲ آمده است. همانطور که در شکل ۲ مشخص است پراکنش مکانی روندها در گستره اقلیمی ایران از الگوی خاصی پیروی نمی‌کنند. موقعیت ایستگاه‌های دارای روند تغییرات در سری زمانی سالانه در شکل ۲ آمده است.

۲۱/۵ درصد از شبکه ایستگاه‌های مطالعاتی مثبت و در ۱۴ درصد از شبکه ایستگاه‌های مطالعاتی منفی می‌باشد. آنالیز به روش پارامتری پیرسون نتایجی همانند روش من‌کندال نشان داد. آزمون تحلیل رگرسیون روند تغییرات را در ۸۵/۷ درصد از ایستگاه‌ها نشان داد که ۳۵/۷ درصد مثبت و ۵۰ درصد منفی می‌باشد. بررسی تغییرات تبخیر از تشت در دهه بر حسب میلیمتر در مقیاس سالانه نشان داد که تغییرات در ۵۰ درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه کاهشی و ۵۰ درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه افزایشی می‌باشند. بیشترین تغییرات کاهشی تبخیر از تشت در ایستگاه

جدول ۱- ویژگی‌های آماری سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در بازه آماری موجود

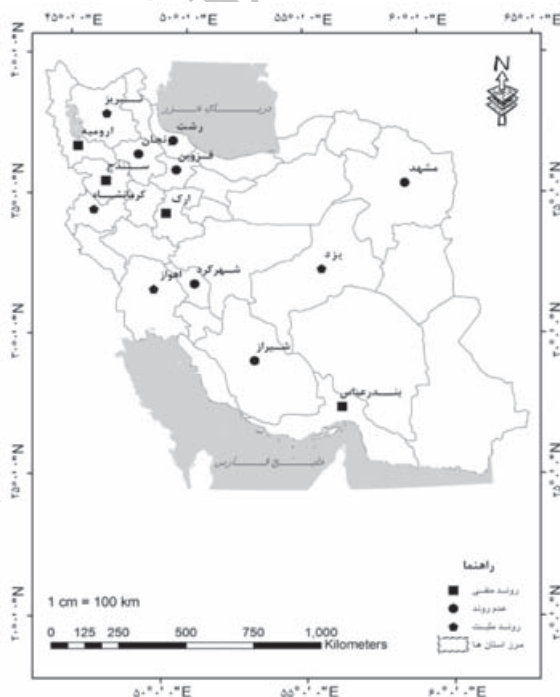
ایستگاه	دامنه تغییرات (میلیمتر)	میانگین (میلیمتر)	ایستگاه	دامنه تغییرات (میلیمتر)	میانگین (میلیمتر)
اراک	۹۴۰	۲۰۷۳	شیراز	۱۴۰۸	۲۶۵۲
ارومیه	۷۳۱	۱۴۵۲	رشت	۴۹۱	۷۳۳
اهواز	۲۰۸۳	۳۴۴۸	زنجان	۶۸۴	۱۵۸۰
بندرعباس	۱۴۳۳	۲۶۰۵	قزوین	۵۳۶	۱۵۴۵
تبریز	۹۱۲	۱۸۷۲	کرمانشاه	۱۰۰۶	۱۸۶۵
سنندج	۸۷۸	۱۸۸۹	مشهد	۸۴۱	۱۸۱۱
شهرکرد	۸۸۱	۱۸۹۰	یزد	۱۰۱۳	۳۰۷۰



شکل ۱- روند تغییرات تبخیر از تشت در سری زمانی سالانه در دو ایستگاه تبریز و ارومیه در دوره مشترک (۲۰۰۵-۱۹۸۶).

جدول ۲- نتایج حاصل از بررسی روند در سری زمانی سالانه در سطح احتمال ۹۵ درصد در شبکه ایستگاه های مطالعاتی در بازه زمانی ۲۰۰۵-۱۹۸۶.

تغییرات تبخیر از تشت**	روش					ایستگاه	تغییرات تبخیر از تشت**	روش					ایستگاه
	ضریب اسپیرمن	آماره T	شیب خط	ضریب پیرسون	من-کندال			ضریب اسپیرمن	آماره T	شیب خط	ضریب پیرسون	من- کندال	
-۸۷	-۰/۰۴	-۲/۲۶°	-۸/۷	-۰/۰۹	۰/۱۶	شیراز	-۲۶۴	-۰/۲۴	-۳/۱۴۷°	-۲۶/۴	-۰/۳۴	-۱/۵۲	اراک
۲۲	۰/۰۸	۱/۷۹	۲/۲	۰/۰۵	۰/۰۳	رشت	-۱۵۳	-۲/۵۱°	-۴/۳°	-۱۵/۳	-۲/۵۹°	-۱/۹۸°	ارومیه
-۱۰۵	-۰/۲۸	-۲/۱۵°	-۱۰/۵	-۰/۱۹	-۱/۷۸	زنجان	-۳۳۳	۲/۶۹°	-۵/۳۹°	-۳۳/۳	۲/۴۱°	۳/۱°	اهواز
۹۰	۰/۲۹	۲/۱۳°	۹	۰/۳۳	۱/۴۵	قزوین	-۳۲۷	-۲/۶۵°	-۵/۵۶°	-۳۲/۷	-۲/۷۱°	-۳/۰۱°	بندرعباس
۲۵۵	۲/۵۴°	۴/۲°	۲۵/۵	۲/۵۷°	۲/۳°	کرمانشاه	۲۱۸	۲/۴°	۲/۹۸°	۲۱/۸	۲/۳۵°	۲/۳۴°	تبریز
۵۱	۰/۳۶	۱/۸۹	۵/۱	۰/۴۷	۰/۷۴	مشهد	۱۸۸	-۱/۷۶	-۴/۶°	-۱۸/۸	-۲/۷۵°	-۲/۵۶°	سنندج
۱۴۲	۱/۸۵	۵/۳۶°	۱۴/۲	۲/۴۸°	۲/۹۶°	یزد	۱۴۳	۰/۳۷	۳/۹۵°	۱۴/۳	۰/۳۲	۱/۹۱	شهرکرد



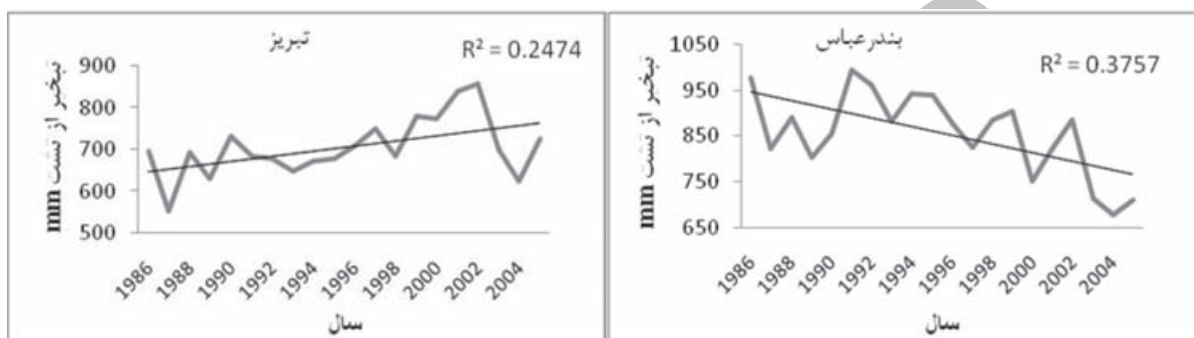
شکل ۲- موقعیت ایستگاه های دارای روند تغییرات تبخیر از تشت در سری سالانه.

ایستگاه‌های مورد مطالعه) روند معنی دار گردید که ۵۰ درصد دارای روند منفی و ۲۸/۵ درصد دارای روند افزایشی بودند. بررسی تغییرات تبخیر از تشت در دهه نشان داد که ۵۷ درصد از ایستگاه‌ها دارای تغییرات کاهش تبخیر می‌باشند که ایستگاه اهواز با ۱۴۲ میلیمتر در دهه بیشترین تغییرات کاهش تبخیر را داشت و ۴۳ درصد از ایستگاه‌ها دارای تغییرات افزایشی تبخیر می‌باشند و ایستگاه سنندج با ۸۳ میلیمتر در دهه بیشترین تغییرات افزایشی را داشت. نتایج بررسی روند و تغییرات تبخیر از تشت در دهه در مقیاس زمانی بهار بر اساس روش‌های مورد مطالعه در سطح احتمال ۹۵ درصد در شبکه ایستگاه‌های مطالعاتی در بازه زمانی ۱۹۸۶-۲۰۰۵ در جدول ۳ آمده است. موقعیت ایستگاه‌های دارای روند تغییرات در سری زمانی بهار شکل ۴ آمده است.

ب) تحلیل در مقیاس فصلی

فصل بهار

نمودار تغییرات درازمدت تبخیر از تشت در فصل بهار برای تمامی ایستگاه‌های مطالعاتی ترسیم گردید و دو نمونه از آن در شکل ۳ آمده است. نتایج بررسی روند تغییرات تبخیر از تشت به روش‌های من-کندال، اسپیرمن و پیرسون نشان دادند که در فصل بهار هفت ایستگاه (۵۰ درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه)، در سطح اطمینان ۹۵ درصد روند معنی دار گردید که هفت درصد از ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی و ۴۳ درصد از ایستگاه‌ها دارای روند کاهش تبخیر بودند. داده‌های تبخیر از تشت شبکه ایستگاه‌ها مطالعاتی به روش تحلیل رگرسیون آنالیز و مشخص گردید که در ۱۱ ایستگاه (۷۸/۵ درصد از



شکل ۳. روند تغییرات تبخیر از تشت در سری زمانی بهار در دو ایستگاه بندرعباس و مشهد در دوره مشترک (۱۹۸۶-۲۰۰۵).

جدول ۳- نتایج حاصل از بررسی روند در سری زمانی بهار در سطح احتمال ۹۵ درصد در شبکه ایستگاه‌های مطالعاتی در بازه زمانی ۱۹۸۶-۲۰۰۵

ایستگاه	روش					تغییرات تبخیر از تشت**	ایستگاه	روش					
	من-کندال	ضریب پیرسون	شیب خط	آماره T	ضریب اسپیرمن			من-کندال	ضریب پیرسون	شیب خط	آماره T	ضریب اسپیرمن	
اراک	-۱/۱۳	-۰/۲۳	-۸/۱	-۲/۳۸°	-۰/۲۷	-۸۱	شیراز	-۲/۲۴°	-۲/۴۲°	-۱۱/۱	-۳/۴°	-۳/۴°	-۱۱۱
ارومیه	-۲/۱۷°	-۲/۶۴°	-۷	-۲/۱۹°	-۲/۶۷°	-۷۰	رشت	-۲/۸۱°	-۲/۴۸°	-۵/۲	-۲/۸°	-۲/۶°	-۵۲
اهواز	-۲/۴۹°	-۲/۴۵°	-۱۴/۲	-۳/۰۵°	-۲/۴۷°	-۱۴۲	زنجان	-۰/۲۳	-۰/۱۶	-۸/۲	-۲/۴°	-۰/۲۵	-۸۲
بندرعباس	-۲/۷°	-۲/۵۸°	-۹/۴	-۳/۱۷°	-۲/۵۳°	-۹۴	قزوین	۰/۰۲	-۰/۳۵	۴	۲/۷°	۰/۰۱	۴۰
تبریز	۲/۳۵°	۲/۴۸°	۵/۹	۲/۰۴°	۲/۹۸°	۵۹	کرمانشاه	۰/۵۵	۰/۰۵	۳/۵	۱/۵۳	۰/۰۳	۳۴
سنندج	-۲/۴۱°	-۲/۶۳°	۸/۳	۳/۱°	-۲/۶۸°	۸۳	مشهد	-۰/۷۵	-۰/۰۳	-۲/۶	-۱/۰۶	۰/۱۸	-۲۶
شهرکرد	۱/۲۶	۰/۴۱۶	۵/۶	۲/۷۶°	۰/۳۲۶	۵۶	یزد	۱/۰۴	۰/۳۷	۰/۹	۰/۷۳	۰/۳۴	۹

** m.m.dec -۱. * معنی داری در سطح ۹۵ درصد



شکل ۴- موقعیت ایستگاه‌های دارای روند تغییرات تبخیر از تشت در سری زمانی بهار

فصل تابستان

برای سری زمانی فصل تابستان نیز نمودار تغییرات تبخیر از تشت ترسیم گردید و دو نمونه از آن در شکل ۵ آورده شده است. داده‌های تبخیر از تشت شبکه ایستگاه‌های مطالعاتی در سری زمانی فصل تابستان به روش من-کندال مورد مطالعه قرار گرفت و مشخص گردید روند تغییرات در هشت ایستگاه (۵۷ درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه) در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی دار گردید که هفت درصد از ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی و ۵۰ درصد دارای روند کاهش می‌باشند. نتایج حاصل از آنالیز روش پیرسون و اسپیرمن نتایجی همانند آزمون من کندال نشان داد. نتایج آزمون تحلیل رگرسیون نشان داد که در ۵۷ درصد از ایستگاه‌ها روند تغییرات تبخیر از تشت معنی دار می‌باشد که ۴۳ درصد دارای روند کاهش و ۱۴ درصد دارای روند افزایشی بودند. بررسی تغییرات تبخیر از تشت در دهه بر حسب میلیمتر در مقیاس زمانی تابستان نشان داد که تغییرات تبخیر در ۶۴ درصد از ایستگاه‌ها کاهش است و ۳۶ درصد از ایستگاه‌ها افزایشی می‌باشند. بیشترین تغییرات کاهش تبخیر در ایستگاه بندرعباس با ۱۶۳ میلیمتر در دهه مشاهده گردید و بیشترین تغییرات افزایشی در ایستگاه تبریز با ۸۴ میلیمتر در دهه مشاهده گردید. نتایج حاصل از بررسی روند و تغییرات تبخیر در دهه در مقیاس زمانی تابستان بر اساس روش‌های مورد مطالعه در سطح احتمال ۹۵٪ در شبکه ایستگاه‌های مطالعاتی در بازه زمانی ۱۹۸۶-۲۰۰۵ در جدول ۴ آمده است. موقعیت ایستگاه‌های

دارای روند تغییرات در سری زمانی تابستان در شکل ۶ آمده است.

پاییز

تعداد ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه که در فصل پاییز دارای آمار پیوسته بودند تنها سه ایستگاه می‌باشند که نمودار تغییرات آنها ترسیم گردید که در پیوست الف آورده شده است. بر اساس روش‌های روش من-کندال، پیرسون و اسپیرمن روند تغییرات در دو ایستگاه معنی دار گردید که روند کاهش مشاهده گردید روش تحلیل رگرسیون روند کاهش را در سه ایستگاه نشان داد. نتایج حاصل از بررسی روند و تغییرات تبخیر در دهه در مقیاس زمانی پاییز بر اساس روش‌های مورد مطالعه در سطح احتمال ۹۵ درصد در شبکه ایستگاه‌های مطالعاتی در بازه زمانی ۱۹۸۶-۲۰۰۵ در جدول ۵ آمده است.

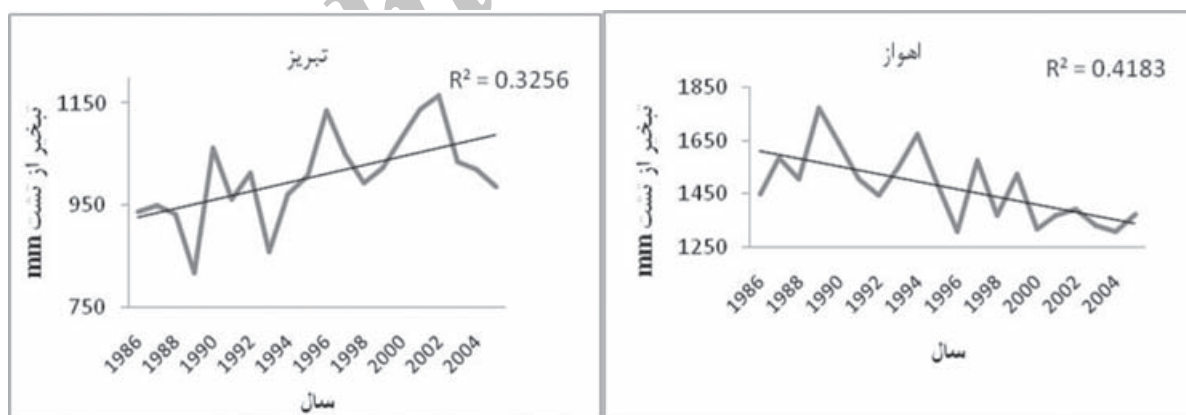
زمستان

شبکه ایستگاه‌های مطالعاتی در سری زمانی زمستان دارای آمار پیوسته نبودند و روند یابی تغییرات تبخیر از تشت صورت نگرفت. درصد ایستگاه‌های دارای روند معنی دار نسبت به کل ایستگاه‌ها به تفکیک آزمون مورد بررسی در جدول ۶ آمده است. درصد وجود روند معنی دار افزایشی و کاهش در جداول ۷ و ۸ آمده است.

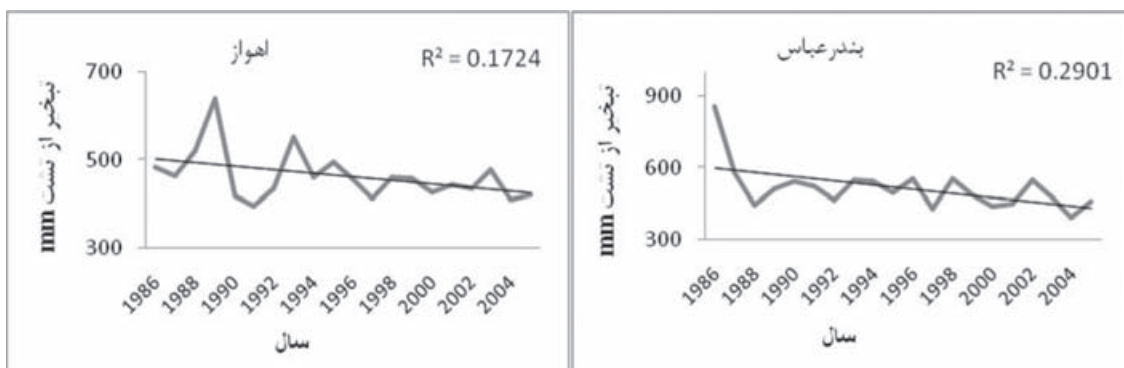
جدول ۴- نتایج حاصل از بررسی روند در فصل تابستان در سطح احتمال ۹۵ درصد در شبکه ایستگاه‌های مطالعاتی در بازه زمانی ۲۰۰۵-۱۹۸۶.

تغییرات تبخیر از تشت**	روش					ایستگاه	تغییرات تبخیر از تشت**	روش					ایستگاه
	ضریب اسپیرمن	آماره T	شیب خط	ضریب پیرسون	من-کندال			ضریب اسپیرمن	آماره T	شیب خط	ضریب پیرسون	من- کندال	
-۹۰	-۲/۵۲°	-۲/۵°	-۹	-۲/۶۴°	-۲/۲۳°	شیراز	-۸	-۲/۵۱°	-۱/۱	-۰/۸	-۲/۴۷°	-۲/۷۱°	اراک
-۱۸	۰/۴۶	-۰/۵۱	-۱/۸	-۰/۶۲	۰/۶۸	رشت	-۱۰۰	-۲/۷۸°	-۳/۹۳°	-۱۰	-۲/۷۳°	-۲/۴۹°	ارومیه
-۵۷	-۲/۶۹°	-۲/۴°	-۵/۷	-۲/۴۵°	-۲/۹۵°	زنجان	-۱۴۴	-۲/۶۶°	-۳/۰۶°	-۱۴/۴	-۲/۶۷°	-۲/۶۳°	اهواز
۱۶	۰/۰۱	۰/۷۳	۱/۶	-۰/۰۱	۱/۰۳	قزوین	-۱۶۳	-۳/۷°	-۳/۱۹°	-۱۶/۳	-۳/۷۹°	-۳/۹۲°	بندرعباس
۴۴	۰/۲۶	۲/۵°	۴/۴	۰/۲۶	۰/۶۳	کرمانشاه	۸۴	۳/۴۱°	۲/۴۷°	۸/۴	۳/۵۹°	۲/۴۸°	تبریز
۱۳	۰/۲	۰/۵۲	۱/۳	۰/۱۴	۰/۵۸	مشهد	-۸۹	-۲/۵۲°	-۲/۱۳°	-۸/۹	-۲/۶۸°	-۲/۴۹°	سنندج
-۱۹	۰/۰۱	-۰/۷۴	-۱/۹	۰/۰۸	۱/۶۲	یزد	۳۵	۰/۰۴	۱۰/۳	۳/۵	۰/۰۱	۱/۳۶	شهرکرد

** m.dec-۱. * معنی داری در سطح ۹۵ درصد



شکل ۵- روند تغییرات تبخیر از تشت در سری زمانی تابستان در دو ایستگاه اهواز و تبریز در دوره مشترک (۱۹۸۶-۲۰۰۵).



شکل ۷- روند تغییرات تبخیر از تشت در سری زمانی پاییز در دو ایستگاه بندر عباس و اهواز در دوره مشترک (۱۹۸۶-۲۰۰۵).

جدول ۶- درصد ایستگاه‌های دارای روند معنی دار تغییرات تبخیر از تشت نسبت به کل ایستگاه‌های مطالعاتی (۱۹۸۶-۲۰۰۵).

تحلیل رگرسیون	ضریب پیرسون	ضریب اسپیرمن	من-کندال	روش تحلیل دوره زمانی
٪۸۵/۷	٪۵۰	٪۳۵/۵	٪۵۰	سالانه
٪۷۸/۵	٪۵۰	٪۵۰	٪۵۰	بهار
٪۵۷	٪۵۷	٪۵۷	٪۵۷	تابستان
٪۲۱/۵	٪۱۴	٪۱۴	٪۱۴	پاییز

جدول ۷- درصد وجود روند افزایشی تغییرات تبخیر از تشت در شبکه ایستگاه‌های مطالعاتی (۱۹۸۶-۲۰۰۵).

تحلیل رگرسیون	ضریب پیرسون	ضریب اسپیرمن	من-کندال	روش تحلیل دوره زمانی
٪۳۵/۷	٪۲۸/۵	۲۱/۵	٪۲۸/۵	سالانه
٪۲۸/۵	٪۷	٪۷	٪۷	بهار
۱۴	٪۷	٪۷	٪۷	تابستان
۰	۰	۰	۰	پاییز

جدول ۸- درصد وجود روند کاهشی تغییرات تبخیر از تشت در شبکه ایستگاه‌های مطالعاتی (۱۹۸۶-۲۰۰۵).

تحلیل رگرسیون	ضریب پیرسون	ضریب اسپیرمن	من-کندال	روش تحلیل دوره زمانی
٪۵۰	۵/۲۱	٪۱۴	۵/۲۱	سالانه
٪۵۰	٪۴۳	٪۴۳	٪۴۳	بهار
٪۴۳	٪۵۰	٪۵۰	٪۵۰	تابستان
۵/۲۱	٪۱۴	٪۱۴	٪۱۴	پاییز

پاورقی

1- www.irimo.ir

منابع مورد استفاده

- 1- Ahmad, A and Taleb, A. (2007) Statistical analysis of recent changes in relative humidity in Jordan. *American Journal of Environmental Sciences* 3(2): 75-77.
- 2- Asanuma, J and Kamimera, H. (2003) Long-term trends of the pan evaporation as an Index of the Global Hydrological Change. *J Coastal Res.* 19:364-375.
- 3- Chattopadhyay, N. and Hulme, M. (1997) Evaporation and potential evapotranspiration in India under conditions of recent and future climate change. *Agric. For Meteorol.* 87: 55-73.
- 4- Gong C, Xu C, Chen D, Halldin S, Chen YD (2006) Sensitivity of Penman Monteith reference evapotranspiration to key climatic variables in the Changjiang (Yangtze River) basin. *Journal of Hydrology* 329, 620-629.
- 5- Gharekhani, A and Ghahreman, N. (2010) Seasonal and annual trend of relative humidity and dew point temperature in several climatic regions of Iran. *Water and Soil* 24(3): 636-646. (In Farsi)
- 6- Ghahreman, N and Gharekhani, A. (2010) Trend analysis of mean wind speed in different climatic regions of Iran. *Iranian Journal of Irrigation and drainage* 1(4): 31-43. (In Farsi)
- 7- Hutchinson, M., Sharples, J., Kesteven, J. (2005) *Spatio-temporal trends in pan evaporation over Australia 1970-2003* Pan evaporation: An example of the detection and attribution of trends in climate variables. Proceedings of a workshop held at the Shine Dome, Australian Academy of Science, Canberra, 22-23 November 2004.
- 8- Kosari, M. Ekhtesasi, M.R. Tazeh, M. Saremi Naeeni, M. (2009) Survey of precipitation, temperature and relative humidity trend in 26 synoptic weather stations of Iran. *Pajouhesh & Sazandegi* (Special Issue) pp: 196 – 207 (In Farsi)
- 9- Jhajharia, D. Shrivastava, S.K. Sarka, D and Sarkar, S. (2009) Temporal characteristics of pan evaporation trends under the humid conditions of northeast India. *Agric For Meteorol.* 149: 763-770.
- 10- Lawrimore, J and Peterson, T. (2002) Pan Evaporation trends in dry and humid regions of the United States. *Journal Hydrometeor.* 14:18-31.
- 11- Nunez, M. (2005) *Pan and Penman evaporation trends for Australia*. Pan evaporation: An example of the detection and attribution of trends in climate variables. Proceedings of a workshop held at the Shine Dome, Australian Academy of Science, Canberra, 22-23 November 2004.
- 12- Ohmura, A and Wild, M. (2002) Is the hydrological cycle

نتیجه گیری

در این مطالعه تحلیل روند متغیر تبخیر از تشتت با استفاده از روش های ناپارامتری من- کندال و آزمون اسپیرمن و روش پارامتری تحلیل رگرسیون و ضریب همبستگی پیرسون در ۱۴ ایستگاه سینوپتیک بررسی شد. نتایج روند یابی با آزمون من-کندال نشان می دهد که در سری سالانه ۲۱/۵ درصد، در سری بهار و تابستان هفت درصد از ایستگاه ها دارای روند افزایشی بودند همچنین در فصل تابستان ۵۰ درصد، بهار ۴۳ درصد، پاییز ۱۴ درصد و سالانه ۲۱/۵ درصد از ایستگاه های مورد مطالعه دارای روند کاهشی بودند. بر اساس روش ضریب همبستگی پیرسون در سری سالانه ۲۸/۵ درصد، در فصول بهار و تابستان هفت درصد از ایستگاه های مورد مطالعه دارای روند افزایشی بودند همچنین در سری سالانه ۲۱/۵ درصد، بهار ۴۳ درصد، تابستان ۵۰ درصد و پاییز ۱۴ درصد از ایستگاه ها دارای روند کاهشی بودند. در این مطالعه مشخص گردید در سری زمانی تابستان ۵۷ درصد از ایستگاه های مورد مطالعه بر اساس روش من-کندال، روش اسپیرمن و روش پیرسون دارای روند بوده اند. شایان ذکر است که ایستگاه اهواز بیشترین تغییرات کاهشی تبخیر از تشتت و ایستگاه کرمانشاه بیشترین تغییرات افزایشی تبخیر از تشتت در دهه را داشتند. در مجموع روند کاهشی تبخیر از تشتت بیشتر از روند افزایشی تبخیر از تشتت می باشد. با توجه به افزایش دما در دهه های اخیر انتظار می رفت که روند تغییرات تبخیر از تشتت نیز افزایش پیدا کند اما نتایج مطالعه حاضر عکس این موضوع را نشان می دهد و می توان بیان داشت تناقض تبخیر از تشتت در ایران نیز اتفاق افتاده است. در این مطالعه مشخص گردید که تغییرات تبخیر از تشتت در فصل تابستان بیشتر از سایر فصول بوده است. نتایج مشابهی توسط (Lawrimore, Peterson (۲۰۰۲)، و Jhajharia و همکاران (۲۰۰۹)، Asanuma, Kamimera (۲۰۰۳) در مطالعه روند تغییرات تبخیر از تشتت گزارش شده است. متوسط مقادیر تبخیر از تشتت در کشور استرالیا طی چند ده گذشته حدود ۲ تا ۴ میلیمتر در سال کاهش یافته است. کاهش این کمیت در آمریکا، روسیه، چین و نیوزلند هم گزارش شده است. (Nunez, ۲۰۰۵)

Hulme و Chattopadhyay (۲۰۰۴) و Farquhar و Roderick

(۱۹۹۷). بعلاوه در تحقیقی دیگر، (Hutchinson و همکاران ۲۰۰۵) نشان داده شد، که دوره های کاهشی تبخیر در دهه ۱۹۷۰ میلادی غالب بوده است، ولی در دهه ۹۰ روند تغییرات افزایشی بوده است. روند این تغییرات از نظر آماری همبستگی نزدیکی با مقادیر بارندگی سالانه و فشار بخار داشته است. بررسی کاهش تبخیر از تشتت در کنار تاثیر سایر متغیرهای هواشناسی از جمله افزایش دما و روند افزایشی سرعت باد (قهрман و قره خانی، ۱۳۸۹) و روند تغییرات رطوبت نسبی و دمای نقطه شبنم (قره خانی و قهرمان، ۱۳۸۹) حایز اهمیت است. بعلاوه ضرورت دارد بررسیهای تکمیلی با استفاده از شناسنامه ایستگاه های مطالعاتی انجام شود تا تاثیر سایر عوامل نظیر تغییر محل ایستگاه، تغییر یا تعویض ادوات اندازه گیری تبخیر و دما و در مجموع فناوری های اندازه گیری نوین بر روند مشاهده شده تبخیر از تشتت مشخص گردد. با توجه به اقلیم خشک و نیمه خشک ایران که دارای اکوسیستم های شکننده و حساس می باشد و همچنین محدودیت های بسیار زیاد در مدیریت منابع آب، بسیار مطالعات تکمیلی کمک شایانی در برنامه ریزی منابع آب و کشاورزی خواهد نمود.

