

## بررسی روند تبخیر - تعرق گیاه مرجع در حوضه آبریز دریاچه ارومیه

امید بابامیری<sup>۱\*</sup>، یعقوب دین‌پژوه<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۰/۰۱ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۱۱

<sup>۱</sup> دانشجوی سابق کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب دانشگاه تبریز

<sup>۲</sup> دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز

\*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: obabamiri@yahoo.com

### چکیده

در این مطالعه مقادیر تبخیر- تعرق مرجع ( $ET_0$ ) با استفاده از روش پنمن-مانتیث برای ۹ ایستگاه واقع در حوضه آبریز دریاچه ارومیه در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۸۶ محاسبه شد. به‌منظور بررسی روند تبخیر- تعرق گیاه مرجع در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه از آزمون ناپارامتری مان-کندال (ویرایش اول و سوم) استفاده گردید. از تخمین‌گر سن برای ارزیابی شیب خط روند بهره گرفته شد. نتایج نشان داد که در بین سری‌های سالانه از بین ۹ سری، ۶ سری (۶۶/۶ درصد) دارای روند مثبت و معنی‌دار هستند و سه سری دارای روند نیستند. تندترین شیب خط روند سالانه مربوط به ایستگاه مراغه معادل ۱۷/۳۴ میلی‌متر در سال بود. در مقیاس فصلی (به‌جز ایستگاه تکاب در فصل بهار) همه سری‌های زمانی  $ET_0$  در تمام ایستگاه‌ها دارای شیب خط روند صعودی بودند. در حالی‌که در مقیاس ماهانه تنها ۶/۵ درصد سری‌ها شیب خط روند منفی داشته‌اند. بیش از ۶۶ درصد ایستگاه‌های واقع در حوضه دریاچه ارومیه روند افزایشی معنی‌داری در سری‌های تبخیر- تعرق سالانه نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: پنمن-مانتیث، تخمین‌گر سن، حوضه دریاچه ارومیه

## Trend Analysis of Reference Crop Evapotranspiration in Urmia Lake Basin

O Babamiri<sup>1\*</sup>, Y Dinpashoh<sup>2</sup>

Received: 22 December 2015

Accepted: 31 December 2016

<sup>1</sup>Former M.Sc. Student of Water Resource Eng., Dept., of Water Eng., University of Tabriz, Iran

<sup>2</sup>Assoc. Prof., Dept., of Water Eng., University of Tabriz, Iran

\*Corresponding Author, E-mail: obabamiri@yahoo.com

### Abstract

In this study, the values of  $ET_0$  were estimated using the Penman-Monteith method for nine stations located in Lake Urmia basin over the 1986-2010 period. In order to detect the trends of reference crop evapotranspiration (in monthly, seasonal and annual time scales) the non-parametric Mann-Kendall (MK) statistical test was used. The Sen's estimator was used to evaluate the trend line slope of time series. The results showed that in the annual time scale six time series (66.6%) had significant ( $p < 0.05$ ) upward trend, whereas three of them showed no trend. The steepest upward trend line slope belonged to Maragheh station, (17.34 mm/year). In the seasonal time scale, all of the  $ET_0$  time series showed positive trend line slope. In the monthly time scale, only 6.5 % of series had a negative trend line slope. More than 66 % of stations located in Lake Urmia basin showed significant increasing trend in annual evapotranspiration series.

**Keywords:** Penman-Monteith, Sen's estimator, Urmia Lake basin

### مقدمه

۱۹۶۴ تا ۱۹۹۸ در بتداگان نشان داد که افزایش ملایم معنی داری در داده‌های تبخیر از تشت فصل‌های خشک و تابستان وجود دارد. روند تغییرات  $ET_0$  با روش پنمن-مانتیث (PM) در حوضه رودخانه یانگ‌تسه توسط زو و همکاران (۲۰۰۶) مورد بررسی قرار گرفت. ژانگ و همکاران (۲۰۰۹) روند تغییرات  $ET_0$  را در ناحیه گیگایی-تایبتان (چین) در دوره آماره ۱۹۷۱-۲۰۰۴ بررسی کردند. جاجاریا و همکاران (۲۰۰۹) روند تغییرات تبخیر را در شمال شرق هند بررسی کردند. ژانگ و همکاران (۲۰۱۱) تغییرات  $ET_0$  را در کشور چین با استفاده از روش PM و آزمون MK مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که  $ET_0$  سالانه و فصلی در شرق، جنوب و شمال غرب چین روند کاهشی نشان می‌دهد. آبتیو و همکاران (۲۰۱۱) روند تغییرات  $ET_0$  و تشت تبخیر را در ۹ ایستگاه فلوریدای جنوبی در ۱۹۹۲-۲۰۰۹ بررسی کردند. دین‌پژوه و همکاران (۲۰۱۱) روند  $ET_0$  را در ایران در دوره آماره

تبخیر-تعرق (ET) یکی از مؤلفه‌های مهم چرخه هیدرولوژی است که تخمین دقیق آن برای مدیریت بهینه منابع آب لازم می‌باشد. برنامه‌ریزی دقیق آبیاری مستلزم داشتن اطلاعات کافی از  $ET_0$  است. جهت تشخیص روند تبخیر-تعرق از آزمون‌های مختلفی می‌توان استفاده کرد. آزمون مان-کندال (MK) از جمله رایج‌ترین روش‌های ناپارامتری به‌شمار می‌رود. در ایران تحقیقات زیادی بر روی روند تغییرات سری‌های مختلف انجام شده است (مانند قزل‌سفلو و همکاران ۱۳۹۱، دین‌پژوه و همکاران الف-۱۳۹۴، و ب-۱۳۹۴). افزون بر این، کارهای علمی فراوانی در خارج از ایران انجام شده است (مانند هرش و همکاران ۱۹۸۴، گان ۱۹۹۸، و جاجاریا و همکاران a,b ۲۰۱۴). توماس (۱۹۹۹) روند تغییرات  $ET_0$  را در چین در دوره ۱۹۹۳-۱۹۵۴ با روش پارامتری بررسی کرد. کوهن و همکاران (۲۰۰۲) بر روی داده‌های تبخیر اندازه‌گیری شده بین سال‌های

هدف این مطالعه، بررسی روند تغییرات  $ET_0$  در حوضه آبریز دریاچه ارومیه با روش MK (با روش اصلاح شده به منظور در نظر گرفتن اثر کلیه ضرایب خودهمبستگی معنی دار) است.

### مواد و روش‌ها

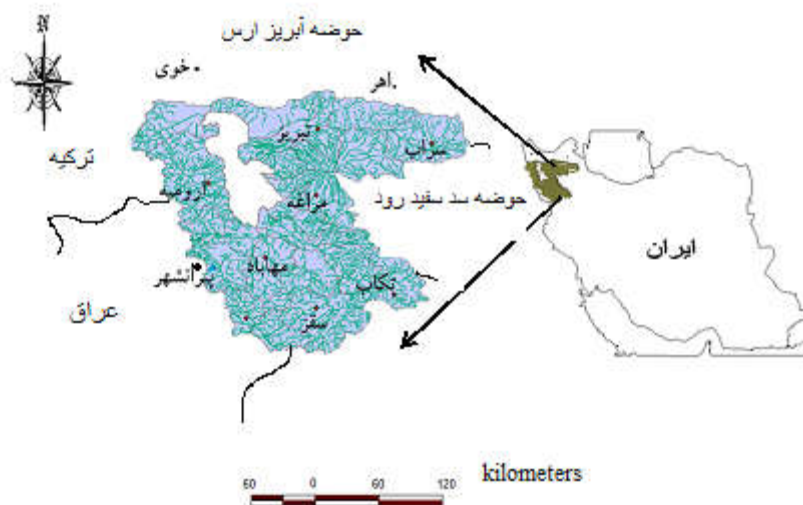
منطقه مورد مطالعه، حوضه آبریز دریاچه ارومیه است. موقعیت حوضه مابین ۴۴ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۹ دقیقه عرض شمالی است. مساحت حوضه حدود ۵۲۷۰۰ کیلومتر مربع است. داده‌های مورد استفاده در این مطالعه از سازمان هواشناسی کشور اخذ شدند. شکل ۱ منطقه مورد مطالعه و جدول ۱ نیز مشخصات ایستگاه‌های منتخب را ارائه می‌دهد. در این مطالعه از روش PM (آلن و همکاران ۱۹۹۸)، به شرح زیر استفاده شد.

[۱]

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

که در آن  $ET_0$ : تبخیر- تعرق گیاه مرجع ( $\text{mm day}^{-1}$ )،  $R_n$ : تابش خالص ( $\text{MJ m}^{-2}\text{day}^{-1}$ )،  $G$ : جریان روزانه گرمای خاک ( $\text{MJ m}^{-2}\text{day}^{-1}$ )،  $T$ : میانگین روزانه دمای هوا ( $^{\circ}\text{C}$ )،  $u_2$ : سرعت باد در ۲ متری ( $\text{ms}^{-1}$ )،  $e_s - e_a$ : کمبود فشار بخار در ۲ متری (KPa)،  $\Delta$ : شیب منحنی فشار بخار اشباع ( $\text{KPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) و  $\gamma$ : ثابت رطوبتی ( $\text{KPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) می‌باشد. در این مطالعه، روند تغییرات سری زمانی  $ET_0$  ماهانه، فصلی و سالانه هر یک از ایستگاه‌های منتخب با آزمون ناپارامتری MK مورد بررسی قرار گرفت.

۲۰۰۵-۱۹۶۵ با استفاده از آمار ۱۶ ایستگاه همدید در مقیاس ماهانه فصلی مورد بررسی قرار دادند. در مقیاس ماهانه تعداد روندهای افزایشی نسبت به تعداد نظیر روند کاهشی بیشتر بوده است. جاجاریا و همکاران (۲۰۱۱) روند تبخیر- تعرق گیاه مرجع را در شمال شرق هندوستان مطالعه کردند. شیرغلامی و همکاران (۱۳۸۳) روند  $ET_0$  را با استفاده از آمار ۳۴ ایستگاه همدید در ایران مورد بررسی قرار دادند. ایشان مقدار  $ET_0$  را با روش PM محاسبه کردند. نتایج این پژوهش نشان داد ۱۲ درصد ایستگاه‌ها دارای روند مثبت معنی دار، ۲۶ درصد منفی معنی دار و بقیه بدون روند بودند. سبزی پرور و همکاران (۱۳۹۰) روند داده‌های  $ET_0$  را با روش PM در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه با روش MK در ۱۳ ایستگاه هواشناسی همدید کشور در اقلیم گرم در دوره آماری ۲۰۰۶-۱۹۵۷ مطالعه کردند. طبری و همکاران (۲۰۱۱) روند تغییرات  $ET_0$  را در ۲۰ ایستگاه هواشناسی (۲۰۰۵-۱۹۶۶) با روش MK بررسی کردند. آنها نشان دادند که در ۷۰ درصد ایستگاه‌ها روند مثبت حاکم است. دین‌پژوه و همکاران (۲۰۱۱) روند  $ET_0$  را در پهنه ایران در دوره ۲۰۰۵-۱۹۶۵ با استفاده از اطلاعات ۱۶ ایستگاه مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که تعداد ایستگاه‌های با روند افزایشی در  $ET_0$  نسبت به تعداد نظیر حاوی روند کاهشی در ایران بیشتر است. در برخی از نقاط جهان نشان داده است که روند تبخیر- تعرق به صورت کاهشی است. به طور نمونه، در آمریکا (هابینز و همکاران ۲۰۰۴)، چین (توماس ۲۰۰۰، لیو و همکاران ۲۰۰۴، وانگ و همکاران ۲۰۰۷) و استرالیا و نیوزلند (رادریک و فارکوهار ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵) اغلب روندها برای تبخیر- تعرق کاهشی گزارش شده است. چاخرولو و همکاران (۱۳۹۰) در یک مطالعه اجمالی روند تغییرات تبخیر- تعرق را با روش پارامتری در حوضه دریاچه ارومیه مطالعه کردند.



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌های انتخاب شده در حوضه دریاچه ارومیه.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه در حوضه آبریز دریاچه ارومیه.

دوره آماری	ارتفاع از سطح دریا (m)	عرض جغرافیایی		طول جغرافیایی	نام ایستگاه
		دقیقه درجه	دقیقه درجه		
۱۹۸۶-۲۰۱۰	۱۳۹۰/۵	۲۸	۲۶	۴۷ ۰۴	اهر*
۱۹۸۶-۲۰۱۰	۱۱۰۳	۲۸	۳۳	۴۴ ۵۸	خوی*
۱۹۸۶-۲۰۱۰	۱۳۸۵	۳۶	۴۶	۴۵ ۴۳	مهاباد
۱۹۸۶-۲۰۱۰	۱۴۷۷/۷	۳۷	۲۴	۴۶ ۱۶	مرآغه
۱۹۸۶-۲۰۱۰	۱۳۱۵/۹	۳۷	۳۲	۴۵ ۰۵	ارومیه
۱۹۸۶-۲۰۱۰	۱۶۸۲	۳۷	۵۶	۴۷ ۳۲	سراب
۱۹۸۶-۲۰۱۰	۱۵۲۲/۸	۳۶	۱۵	۴۶ ۱۶	سقز
۱۹۸۶-۲۰۱۰	۱۷۶۵	۳۶	۲۳	۴۷ ۰۷	تکاب
۱۹۸۶-۲۰۱۰	۱۳۶۱	۳۶	۲۳	۴۶ ۱۷	تبریز

توجه: ایستگاه‌های ستاره‌دار در نزدیکی مرز حوضه دریاچه ارومیه و در بیرون آن قرار دارند.

که در آن  $x_j$ : مقدار داده  $j$ ام،  $n$  تعداد داده‌ها و  $\text{sgn}(\cdot)$ : تابع علامت است. به‌ازای  $n > 8$  آماره  $S$  دارای توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس زیر است:

$$V(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad [۳]$$

که در آن  $t_i$  تعداد داده‌های یکسان در دسته  $i$ ام می‌باشد. آماره آزمون MK به‌شرح زیر محاسبه شد:

علاوه بر روش MK مرسوم (MK1)، از روش MK اصلاح‌شده برای لحاظ کردن کلیه ضرایب خودهمبستگی (ACF) معنی‌دار (MK3) استفاده شد.

### آزمون MK1

در این آزمون ابتدا آماره  $S$  به‌شرح زیر محاسبه شد.

$$s = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad [۲]$$

که در آن ارزش نسبت  $\frac{n}{n^*}$  از رابطه زیر به دست آمد.

$$\frac{n}{n^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^{n-1} (n-i)(n-i-1)(n-i-2)r_i \quad [۶]$$

که در آن  $r_i$  ضریب خودهمبستگی با تاخیر  $i$  بوده و  $V(S)^*$  نیز که از رابطه ۳ به دست می آید با جایگزین می گردید. شیب خط روند با روش تخمین گر سن از رابطه زیر برآورد شد:

$$\beta = \text{Median} \left( \frac{x_j - x_l}{j - l} \right) \quad \forall l < j \quad [۷]$$

که در آن  $\beta$  برآوردگر شیب خط روند و  $x_l$  مقدار مشاهده  $l$  ام می باشد.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad [۴]$$

فرض صفر (عدم وجود روند) به شرط  $-Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \leq Z \leq Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$  پذیرفته می شود و در غیر این صورت، این فرض رد و فرض مخالف (وجود روند در سطح معنی دار  $\alpha$ ) پذیرفته می شود.

### آزمون MK3

در این روش ابتدا واریانس اصلاح شده  $V(S)^*$  به شرح زیر به دست آمد:

$$V(S)^* = V(S) \frac{n}{n^*} \quad [۵]$$

جدول ۲- مقادیر آماره  $Z$  سری مقادیر  $ET_0$  حوضه آبریز دریاچه ارومیه (۲۰۱۰-۱۹۸۶).

ماه/ایستگاه	ارومیه	تکاب	تبریز	سراب	سقز	مراغه	مهاباد	خوی	اهر
ژانویه	1.73	1.61	2.032*	1.01	0.91	1.75	0	1.94*	0.84
فوریه	1.71	2.45**	1.55	1.75	2.36**	3.53**	1.75	1.61	1.68
مارس	3.32*	2.78**	1.72	1.47	1.78	1.79	3.29**	1.89	3.08**
آوریل	2.50**	0.07	1.99*	0.86	1.19	2.13*	1.84	2.49**	0.70
می	1.00	-0.96	2.26*	-0.99	-0.63	2.55**	-0.16	1.94*	-0.47
ژوئن	2.15*	0.35	2.04*	1.52	1.84	2.20*	2.50**	1.96*	1.03
ژوئیه	1.82	-1.19	1.75	1.89	1.47	2.06*	2.36**	2.20*	1.49
اوت	1.59	0.07	1.59	2.64**	1.24	1.97*	2.73**	2.24*	1.6202
سپتامبر	1.41	0.49	3.20*	0.96	1.30	1.48	2.54**	2.05*	0.42
اکتبر	1.87	2.22*	2.04*	1.75	1.61	2.09*	1.52	1.94*	2.10*
نوامبر	2.48*	-0.21	3.16**	0.30	0.44	2.29*	-0.58	3.43*	0.61
دسامبر	2.92*	0.54	3.20*	0.30	0.82	3.90**	0.12	3.15*	0.42
زمستان	1.49	2.90**	1.46	2.55**	1.87	1.94*	3.06**	1.75	2.76**
بهار	1.75	-0.35	2.45*	1.33	0.40	1.83	1.33	3.34*	1.03
پاییز	1.61	0.26	3.01**	3.15**	1.53	2.06*	3.01**	1.87	2.10*
تابستان	1.68	1.38	2.10*	1.66	2.66**	2.22*	0.86	2.08*	1.31
سالانه	1.41	0.16	1.74	2.64**	1.4101	1.99*	2.64**	2.01*	2.90**

توجه: ارقام پررنگ، ارقام با یک ستاره و ارقام با دو ستاره به ترتیب نشان دهنده معنی دار در سطح ۰/۱، ۰/۰۵ و ۰/۰۱ می باشد.

## نتایج و بحث

جدول ۲ مقادیر آماره Z را برای ایستگاه‌های منتخب نشان می‌دهد. ارقام ایتالیک مربوط به آماره Z آن دسته از سری‌های زمانی هستند که دارای ACF معنی‌دار بوده (با روش MK3)، که معادل ۳۲ درصد کل سری‌ها می‌باشد. از ۱۰۸ سری ماهانه ۶۰ سری (که معادل ۵۵ درصد) دارای روند مثبت معنی‌دار بود. از بین ۳۶ سری فصلی تعداد ۲۳ سری (۶۴ درصد) دارای روند مثبت معنی‌دار بوده است. همچنین در سری‌های سالانه از بین ۹ سری ۶ سری (۶۶/۶ درصد) روند مثبت و معنی‌دار نشان دادند. برای نمونه، در ایستگاه اهر از بین ۱۷ سری زمانی  $ET_0$  فقط پنج سری در سطح ۵ درصد و یا کمتر معنی‌دار بودند. در سری‌های ماهانه روند تبخیر- تعرق مارس از همه ماه‌های دیگر بیشتر بوده است ( $\alpha < 0/01$ ).

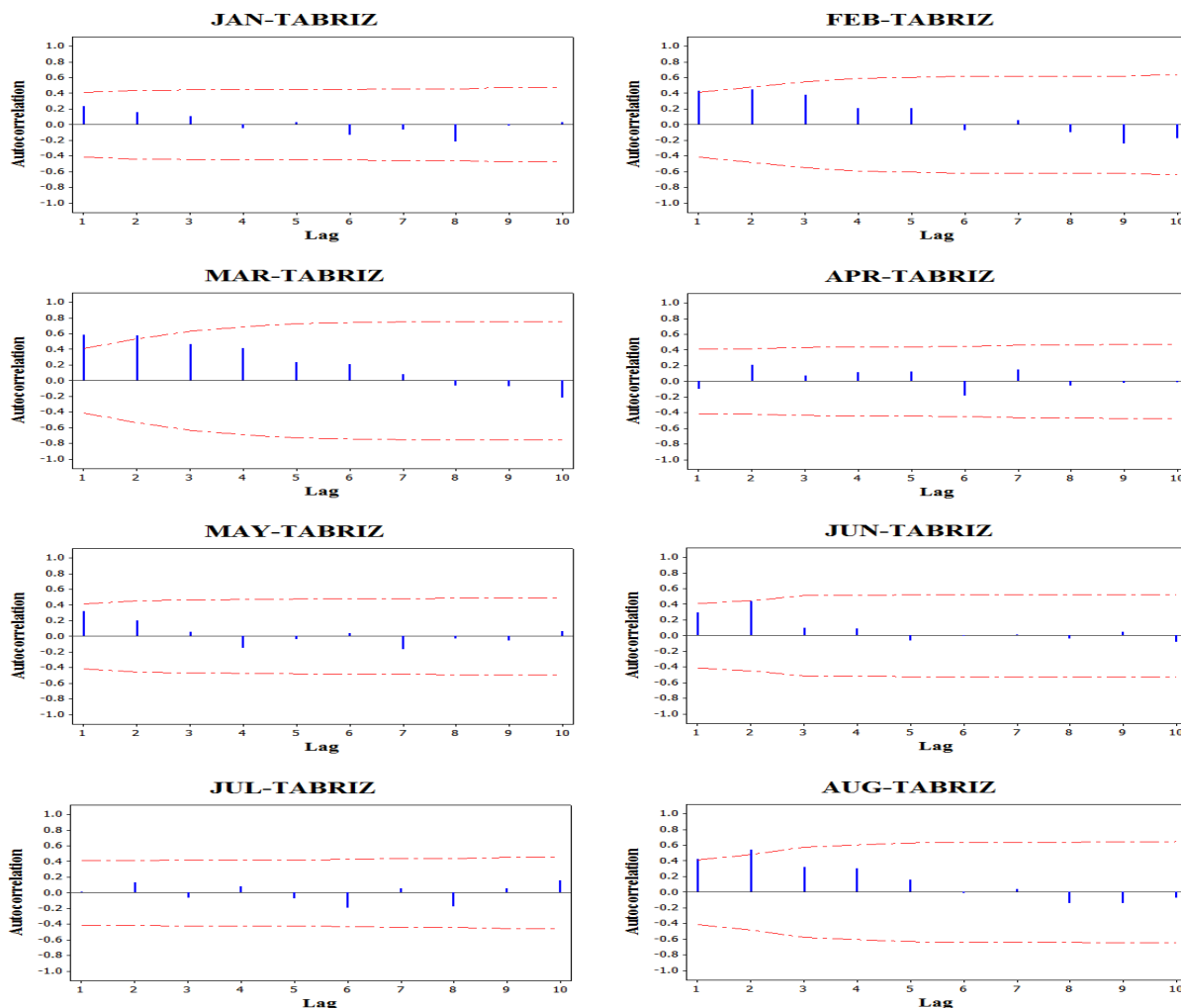
در سری‌های فصلی روند تبخیر- تعرق فصول زمستان و تابستان مثبت و معنی‌دار بود، فصل زمستان با آماره ( $Z=2/17$ ) دارای روند تبخیر تعرق بسیار معنی‌دار بود. در سری سالانه نیز روند افزایشی تبخیر- تعرق برای ایستگاه اهر معنی‌دار ( $\alpha < 0/01$ ) بود. جدول ۳ مقادیر  $\beta$  را در مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه نشان می‌دهد. از بین ۱۰۸ شیب ماهانه ۹۲/۶ درصد سری‌ها دارای روند رو به بالا و تنها ۷/۴ درصد نزولی بودند. در بین شیب‌های خط روند ماهانه بیشترین شیب، متعلق به مراغه در ماه اوت (معادل ۲/۵۱ میلی‌متر در سال) بود. تندترین شیب خط روند نزولی متعلق به تکاب در ماه ژوئیه بوده، که مقدار آن  $-0/53$  میلی‌متر در سال است. شیب خط روند سایر سری‌ها منفی و نزدیک به صفر بود.

جدول ۳ - مقادیر شیب خط روند (میلی‌متر در سال) در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه در ایستگاه‌های منتخب واقع در حوضه آبریز دریاچه ارومیه.

ماه/ایستگاه	ارومیه	تکاب	تبریز	سراب	سقز	مراغه	مهاباد	خوی	اهر
ژانویه	0.16	0.13	0.28	0.06	0.081	0.20	0.00	0.09	0.19
فوریه	0.52	0.27	0.49	0.37	0.49	0.56	0.54	0.33	0.51
مارس	1.02	0.82	1.15	1.04	1.20	1.33	1.18	1.16	1.21
آوریل	0.55	0.02	0.68	0.31	0.41	0.88	0.68	0.62	0.22
می	0.34	-0.42	0.96	-0.18	-0.38	0.99	-0.16	0.79	-0.17
ژوئن	1.02	0.21	1.54	0.71	0.87	2.03	1.22	2.10	0.70
ژوئیه	1.06	-0.53	1.08	0.77	1.30	2.46	0.98	1.84	0.80
اوت	1.45	0.03	1.77	0.82	1.61	2.51	1.13	2.03	1.14
سپتامبر	1.02	0.10	1.48	0.27	1.06	2.10	0.91	1.13	0.39
اکتبر	0.89	0.62	1.38	0.47	1.05	1.68	0.62	0.84	0.55
نوامبر	0.45	-0.09	0.56	0.03	0.08	0.50	0.22	0.38	0.26
دسامبر	0.23	0.06	0.39	0.02	0.06	0.51	0.05	0.23	0.09
زمستان	1.60	1.23	2.04	1.49	1.83	2.32	1.73	1.71	2.08
بهار	2.19	-0.48	3.00	0.96	0.45	4.18	1.98	3.51	0.93
پاییز	3.83	0.15	4.01	1.86	4.04	7.52	3.22	4.53	2.04
تابستان	1.60	0.61	2.24	0.48	1.41	3.04	0.67	1.56	0.75
سالانه	9.10	0.25	11.35	5.77	8.32	17.34	8.25	11.00	5.96

در مقیاس سالانه همه  $\beta$  ها مثبت بوده و بیشترین آنها متعلق به مراغه معادل ۱۷/۳۴ میلی‌متر در سال بود. در شکل ۲ خودهمبستگی‌نگار  $ET_0$  ماهانه تبریز (از ماه ژانویه تا اوت) نشان داده شده است.

در مقیاس فصلی به جز تکاب (در فصل بهار) همه سری‌های زمانی  $ET_0$  در تمام ایستگاه‌ها دارای شیب خط روند صعودی می‌باشند (جدول ۲). بیشترین مقدار شیب خط روند مثبت متعلق به مراغه در تابستان معادل، با ۷/۵۲ میلی‌متر در سال بود.



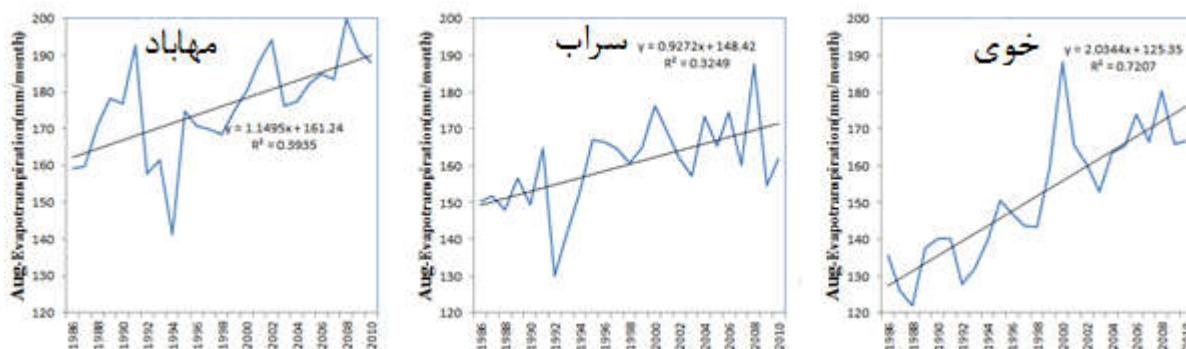
شکل ۲- نمودار خودهمبستگی سری‌های زمانی  $ET_0$  ماهانه (ژانویه تا اوت) ایستگاه تبریز (۲۰۱۰-۱۹۸۶).  
توجه: محور افقی شماره تاخیر و محور قائم ضریب خودهمبستگی (بی بعد) می‌باشد.

در مقیاس ماهانه ضریب خودهمبستگی مرتبه اول و دوم برای سری ماه می در تبریز از باند اطمینان خارج شده است. در ضمن ACF مرتبه دوم در ماه اوت، ACF مرتبه اول و دوم در مقیاس سالانه برای تبریز، ACF مرتبه اول فصل‌های زمستان و پاییز از باند خارج شده‌اند، پس معنی‌دار هستند. در این‌گونه موارد، از MK3 استفاده شد.

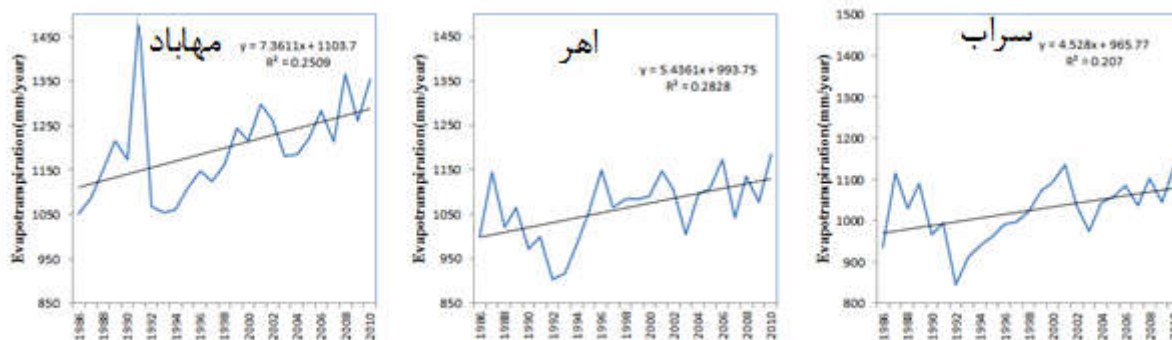
نمودار مشابه برای ماه‌های سپتامبر تا دسامبر از یک طرف و سری‌های  $ET_0$  فصلی و ماهانه نیز برای تبریز رسم شد (نشان داده نشده). از این شکل‌ها می‌توان دریافت، گرچه در خیلی از سری‌ها ضرایب ACF از باند اطمینان ۹۰ درصد خارج نشده‌اند ولی در برخی از سری‌ها یک یا چند مورد استثنا دیده می‌شود. به‌عنوان نمونه،

دارای روند معنی‌دار رو به بالا ( $\alpha < 0.01$ ) بود. برای مقیاس سالانه نیز همه مقادیر  $Z$  در خصوص سری‌های  $ET_0$  سالانه دارای روند رو به بالا بودند. در این میان، آماره مذکور برای اهر، مهاباد و سراب بیشتر از  $2/33$  (بسیار معنی‌دار) بودند. چنانچه مقدار آب قابل دسترس و بارندگی ثابت باشد لزوم صرفه‌جویی در آب و جلوگیری از هدرروی آن در این منطقه کم آب به شدت احساس می‌شود. میرعباسی و دین‌پژوه (۱۳۹۱) نشان دادند که روند جریان آب رودخانه‌های این ناحیه نزولی می‌باشد و همچنین ثانی‌خانی و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از مدل (LRS-WG) در حوضه آبریز آبی‌چای نیز کاهش بارندگی حوضه را پیش‌بینی کردند. شکل ۳ نمودار روند تغییرات  $ET_0$  ماه اوت را برای مهاباد، سراب و خوی نشان می‌دهد.

می‌توان نتیجه گرفت که نه تنها تعداد سری‌های با روند منفی کم است، بلکه این روندها حتی در سطح ۱۰ درصد نیز معنی‌دار نبودند، به عبارت دیگر، اغلب سری‌های زمانی ماهانه روند مثبت داشتند. طوری که برخی از آنها از باند اطمینان ۹۹ درصد نیز خارج شده‌اند. به عنوان نمونه، مراغه در ماه فوریه، ارومیه، تکاب، مهاباد و اهر در ماه مارس و خوی، مراغه و ارومیه در ماه آوریل و غیره دارای روند بسیار معنی‌دار می‌باشند. مقادیر  $ET_0$  فصلی تقریباً در تمام ایستگاه‌ها دارای روند مثبت است. این نتیجه می‌تواند ناشی از مقادیر روند مثبت در مقیاس ماهانه باشد. در فصل بهار  $ET_0$  ایستگاه‌های خوی و تبریز دارای روند مثبت و معنی‌دار ( $\alpha < 0.01$ ) بود. به طور مشابه در تابستان مهاباد، سراب و تبریز دارای روند معنی‌دار ( $\alpha < 0.01$ ) بودند و در پاییز سقز



شکل ۳ - روند تغییرات  $ET_0$  ماه اوت (میلی‌متر در ماه) ایستگاه‌های مهاباد، سراب و خوی (۲۰۱۰-۱۹۸۶).

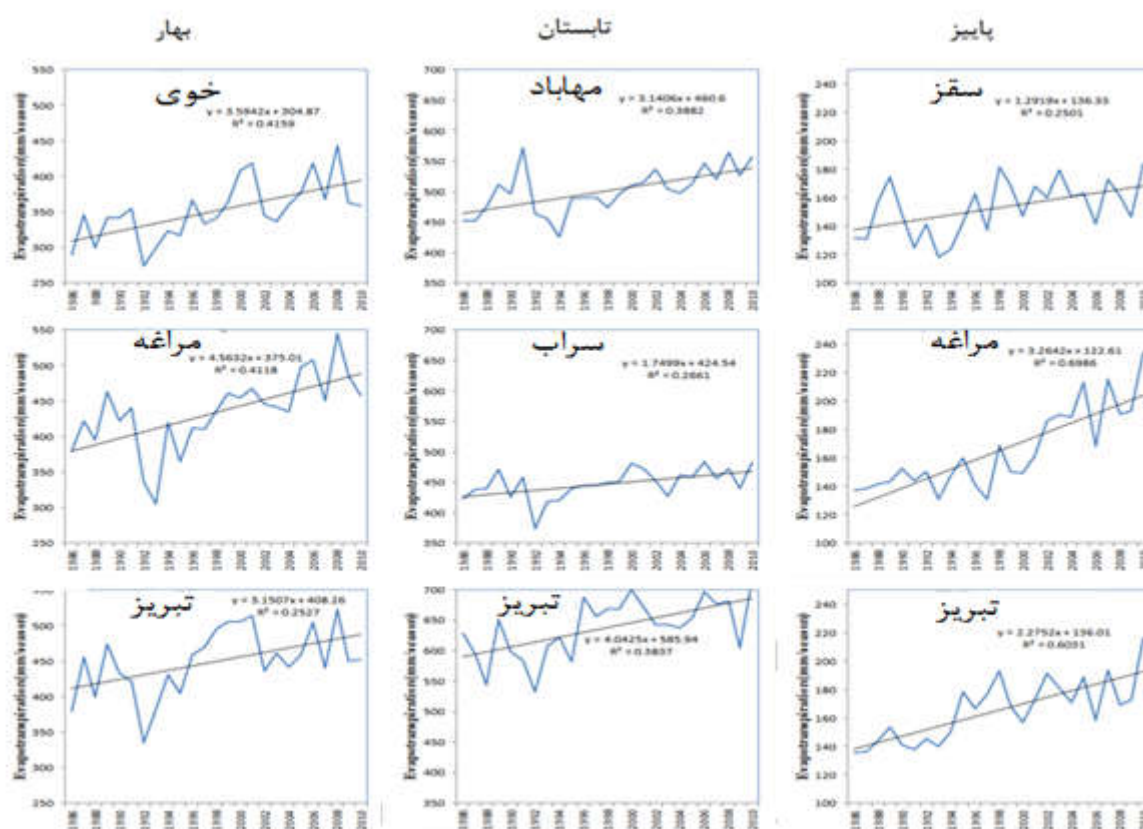


شکل ۴ - روند تغییرات  $ET_0$  سالانه (میلی‌متر در سال) ایستگاه‌های مهاباد، سراب و اهر (۲۰۱۰-۱۹۸۶).

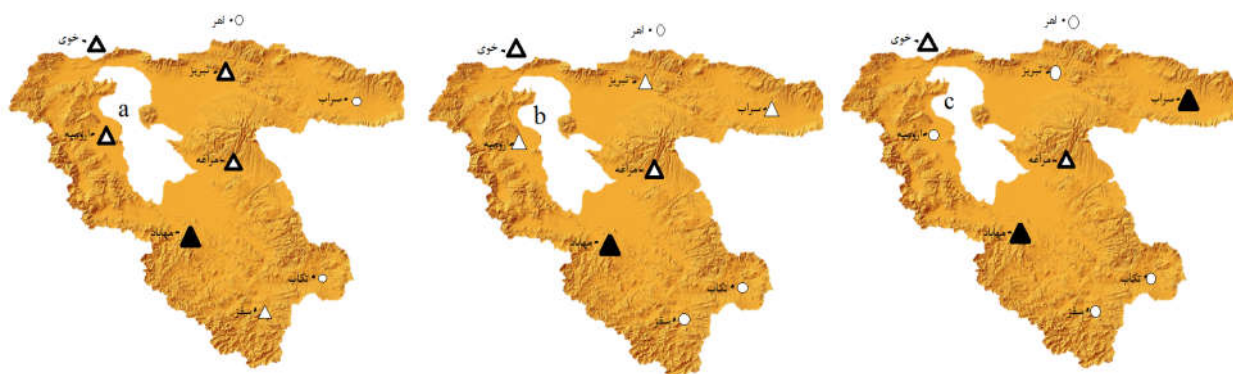


شکل ۶ روند تغییرات مکانی  $ET_0$  ایستگاه‌ها را در سه ماه ژوئن، ژوئیه و اوت نشان می‌دهد. در این سه ماه هیچگونه روند منفی برای  $ET_0$  در ایستگاه‌ها مشاهده نشد. برای مثال، در ماه ژوئن (شکل ۶-ا) روند تغییرات زمانی  $ET_0$  مهاباد در سطح یک درصد و ایستگاه‌های تبریز، ارومیه، مراغه و خوی در سطح پنج درصد مثبت و معنی- دار است در حالی که سری‌های نظیر اهر، سراب، تکاب و سقز فاقد روند معنی‌دار بودند.

روند افزایشی در مقدار  $ET_0$  در این شکل به‌طور محسوس قابل رویت است. شکل ۴ نمودار تغییرات  $ET_0$  سالانه را برای نمونه برای اهر، مهاباد و سراب نشان می‌دهد. به-طوری‌که از این نمودارها می‌توان دریافت، روند تغییرات  $ET_0$  سالانه ایستگاه‌های مذکور صعودی است. شکل ۵ نمودار روند تغییرات  $ET_0$  را در سه فصل بهار، تابستان و پاییز نشان می‌دهد. در این شکل‌ها نیز می‌توان به-آسانی به افزایش مقدار تبخیر- تعرق گیاه مرجع پی برد.

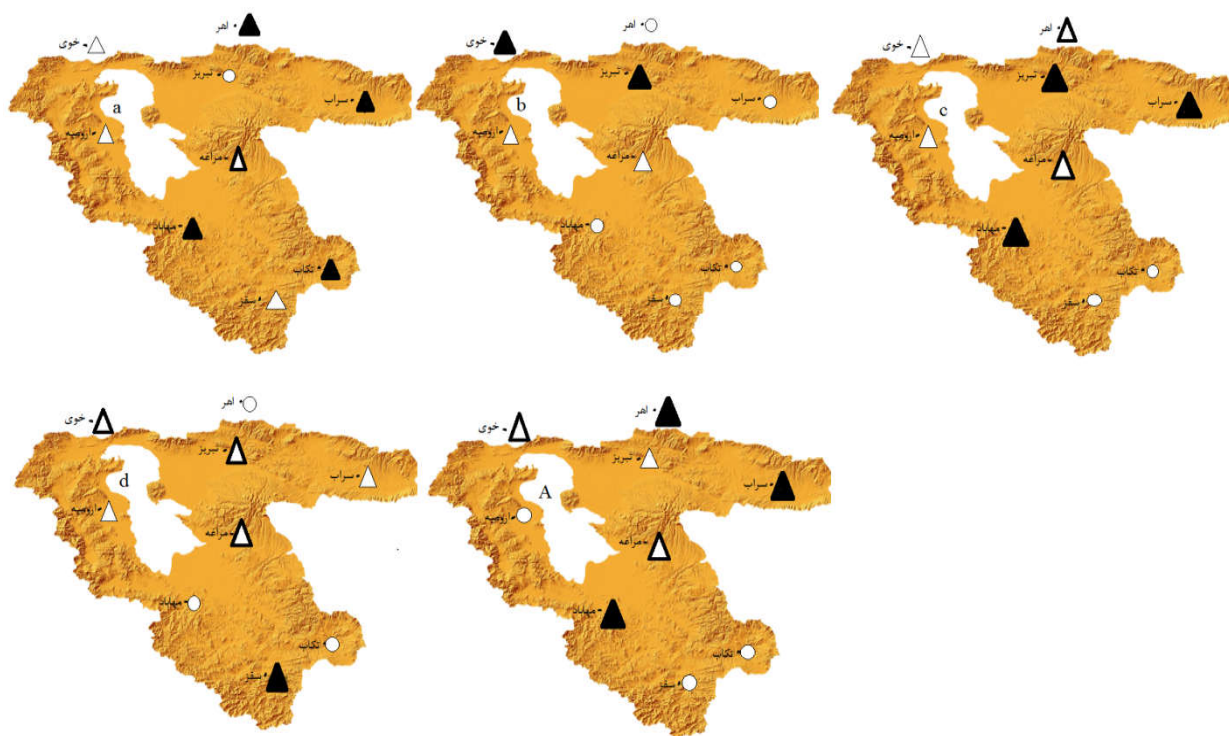


شکل ۵- روند تغییرات  $ET_0$  فصلی (میلی‌متر در فصل) برخی از ایستگاه‌های منتخب (۲۰۱۰-۱۹۸۶).



شکل ۶- روند تغییرات  $ET_0$  ماه ژوئن (a)، ژوئیه (b) و اوت (c) در حوضه آبریز دریاچه ارومیه (۲۰۱۰-۱۹۸۶).

(توجه: مثلث‌های توپر نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۱ درصد، مثلث‌های با حاشیه پررنگ و توخالی نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۵ درصد، مثلث‌های تو خالی نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۱۰ درصد و دایره توخالی نشان‌دهنده عدم معنی‌دار بودن می‌باشند.)



شکل ۷- روند تغییرات فصلی  $ET_0$  (زمستان (a)، بهار (b)، تابستان (c) و پاییز (d)) و سالانه (A) در حوضه دریاچه ارومیه (۲۰۱۰-۱۹۸۶).

(توجه: مثلث‌های توپر نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۱ درصد، مثلث‌های با حاشیه پررنگ و توخالی نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۵ درصد، مثلث‌های تو خالی نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۱۰ درصد و دایره توخالی نشان‌دهنده عدم معنی‌دار بودن می‌باشند.)

برای مثال، در تابستان (شکل ۷-c) بیشترین روند مثبت و معنی‌دار ( $\alpha < 0.01$ ) در تبریز، سراب و مهاباد دیده شد. در مقیاس سالانه (شکل ۷-a) اهر، سراب و مهاباد دارای

شکل ۷ روند تغییرات مکانی  $ET_0$  ایستگاه‌های منتخب را در مقیاس‌های فصلی و سالانه نشان می‌دهد. در اکثر ایستگاه‌ها روند افزایشی معنی‌دار  $ET_0$  مشاهده می‌شود.

در بیشتر ایستگاه‌ها دارای روند مثبت معنی‌دار می‌باشد. در این تحقیق پس از محاسبه  $Z$  برای سری‌های زمانی  $ET_0$  (ماهانه، فصلی و سالانه) در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه، معنی‌داری این آماره در سطوح مختلف آزمایش شد. نتایج نشان داد که در بین سری‌های سالانه از بین ۹ سری ۶ تا (۶۶/۶ درصد) روند مثبت و معنی‌دار داشتند. در مقیاس سالانه همه شیب‌ها مثبت بوده و بیشترین آنها متعلق به مراغه معادل  $17/34$  میلی‌متر در سال بود. یعنی مقدار  $ET_0$  سالانه در هر سال حدود ۱۷ میلی‌متر افزایش می‌یابد. همچنین در فصل‌های مختلف تمام ایستگاه‌ها روند مثبت و معنی‌داری داشتند، در حالی‌که در مقیاس ماهانه فقط ۶/۵ درصد سری‌ها شیب منفی داشته‌اند.

واقعیت این است که منطقه مورد مطالعه در سال‌های اخیر دچار کاهش بارش، کاهش رواناب، افزایش تبخیر و تعرق شده است. از سویی در برخی قسمت‌های حوضه، مانند دشت شبستر، نشست خاک اتفاق افتاده است (دین پژوه و همکاران ۱۳۹۴). روند خشک شدن دریاچه ارومیه زنگ‌های خطر را به صدا درآورده است.

روند مثبت و معنی‌دار برای سری  $ET_0$  سالانه ( $\alpha < 0/01$ )، مراغه و خوی در سطح ۵ درصد (رو به بالا)، تبریز در سطح ۱۰ درصد می‌باشند، در حالی‌که برای ارومیه، تکاب و سقز روند معنی‌دار مشاهده نشد.

سیاه‌چشم (۱۳۹۳) گزارش داد که آماره  $Z$  برای بارش ۱۶ ایستگاه واقع در بخش جنوبی حوضه رودخانه ارس منفی می‌باشد. در گزارش مذکور روند بارندگی ماهانه جلفا، بدون استثنا، در همه ماه‌ها کاهش یافته است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت، نه تنها مقدار آب قابل دسترس از طریق نزولات جوی در منطقه کاهش یافته است بلکه  $ET_0$  سری ماهانه، فصلی و سالانه نیز افزایش یافته است. مدیریت علمی آب در چنین شرایطی اجتناب ناپذیر است.

#### نتیجه‌گیری کلی

بررسی روند تغییرات  $ET_0$  به‌عنوان یکی از اجزای چرخه هیدرولوژی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه نشان داد، که  $ET_0$  در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه

#### منابع مورد استفاده

- ثانی‌خانی ه، دین‌پژوه ی، برومندنسب ی، زمان‌زاد س و صولتی ب، ۱۳۹۲. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه آبریز (مطالعه موردی، حوضه آبریز آجی‌چای در استان آذربایجان شرقی). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۷، شماره ۶، صفحه‌های ۱۲۲۵ تا ۱۲۳۴.
- چاخارلو م، رضایی ح و بشارت س، ۱۳۹۰. بررسی روند تغییرات تبخیر و تبخیر- تعرق در حوضه دریاچه ارومیه. صفحه‌های ۱ تا ۸. یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، هجدهم تا بیستم بهمن، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان.
- دین‌پژوه ی، فاخری‌فرد ا، بهشتی‌وایقان و و حسن‌پوراقدم م، ۱۳۹۴-الف. تحلیل روند تغییرات کیفیت آب زیرزمینی در دشت شبستر- صوفیان. علوم و مهندسی آبیاری (مجله علمی کشاورزی)، جلد ۳۸، شماره ۱، صفحه‌های ۵۵ تا ۷۰.
- دین‌پژوه ی، نیازی ف و مفید ح، ۱۳۹۴-ب. تحلیل روند تغییرات پارامترهای هواشناسی در تبریز. جغرافیا و برنامه‌ریزی، جلد ۱۹، شماره ۵۱، صفحه‌های ۱۴۵ تا ۱۶۹.
- سیاه‌چشم آ، ۱۳۹۳. اثر گرمایش جهانی بر بارش و دمای بخش جنوبی حوضه آبریز ارس. پایان‌نامه کارشناسی ارشد سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه آزاد اسلامی اهر.
- شیرغلامی ه، قهرمان ب، علیزاده ا و بذاق‌جمالی ج، ۱۳۸۳. بررسی روند تبخیر تعرق گیاه مرجع در ایران. پژوهش‌نامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خزر، سال ۲، شماره ۳، صفحه‌های ۱۱ تا ۲۷.

قزل‌سفلو م، دین‌پژوه ی، فاخری‌فرد ا و قربانی م، ۱۳۹۱. تحلیل روند تغییرات زمانی جریان رودخانه‌های استان آذربایجان شرقی. علوم و مهندسی آبیاری (مجله علمی کشاورزی)، جلد ۳۵، شماره ۱، صفحه‌های ۷۱ تا ۸۱.

میرعباسی ر و دین‌پژوه ی، ۱۳۹۱. تحلیل روند تغییرات بارش‌های شمال‌غرب ایران در نیم قرن گذشته. علوم و مهندسی آبیاری (مجله علمی کشاورزی)، جلد ۳۵، شماره ۴، صفحه‌های ۵۹ تا ۶۳.

- Abtew W, Obeyesker J and Iricanin N, 2011. Pan evaporation and potential evapotranspiration trends in South Florida. *Hydrological Processes* 25: 1-11.
- Allen RG, Pereira LS, Raes D and Smith M, 1998. *Crop Evapotranspiration – Guidelines for Computing Crop Water Requirements*, FAO Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, 1998, ISBN 92-5-104219-5.
- Cohen S, Ianetz A and Stanhill G, 2002. Evaporative climate changes at Bet Dagan, Israel, 1964-1998, *Agricultural and Forest Meteorology* 111: 83-91.
- Gan TY, 1998. Hydro-climatic trends and possible climatic warming in the Canadian prairies. *Water Resources Research* 34(11): 3009–3015.
- Hobbins MT, Ramir JA and Brown TC, 2004. Trends in pan evaporation and actual evapotranspiration across the conterminous U.S.: Paradoxical or Complementary? *Geophysical Research Letters* 31(13): 1-5.
- Hirsch RM, Slack JR and Smith A, 1984. Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resources Research* 18(1): 107-121.
- Jhajharia D, Dinpashoh Y, Kahya E, Choudhary R and Singh VP, 2014a. Trends in temperature over Godavari River basin in Southern Peninsular India. *International Journal Climatology* 34: 1369-1384.
- Jhajharia D, Dinpashoh Y, Kahya E and Singh VP, 2011. Trends in reference evapotranspiration in humid region of northeast India. *Hydrological Processes* 26(3): 421-435.
- Jhajharia D, Kumar R, Dabral H, Singh VP, Choudhary R and Dinpashoh Y, 2014b. Reference evapotranspiration under changing climate over the Thar Desert in India. *Meteorological Applications* 22(3): 425- 435.
- Jhajharia D, Shrivastava SK, Sarkar D and Sarkar S, 2009. Temporal characteristics of pan evaporation trends under the humid conditions of northeast India. *Agricultural and Forest Meteorology* 149: 1-8.
- Kendall MG, 1975. *Rank Correlation Methods*, Charles Griffin, London.
- Kumar S, Merwade V, Kam J and Thurner K, 2009. Streamflow trends in Indiana: effects of long term persistence, precipitation and subsurface drains. *Journal of Hydrology* 374(1-2): 171-183.
- Lettenmaier DP, Wood EF and Wallis JR, 1994. Hydro-climatological trends in the Continental United States, 1948-88. *Journal of Climatology* 7: 586-607.
- Liu CM and Zeng Y, 2004. Changes of pan evaporation in the recent 40 years in the Yellow River basin, IWRA. *Water International* 29(4): 510–516.
- Mann HB, 1945. Nonparametric Tests against Trend. *Econometrical* 13: 245-259.
- Roderick M and Farquhar GD, 2004. Changes in Australian pan evaporation from. 1970 to 2002. *International Journal of Climatology* 24(9): 1077–1090.
- Roderick M and Farquhar GD, 2005. Changes in New Zealand pan evaporation since the 1970s. *International Journal of Climatology* 25(15): 2031–2039.
- Sen PK, 1968. Estimates of regression coefficients based on Kendall's tau. *Journal of American Statistical Association* 63: 1379–1389.
- Tabari H, Marofi S, Aeiini A, Talaee PH and Mohammadi K, 2011. Trend analysis of reference evapotranspiration in the western half of Iran. *Agricultural and Forest Meteorology* 151(2): 128-136.
- Thomas A, 1999. Spatial and temporal characteristics of potential evapotranspiration trend over China. *International Journal Climatology* 20: 1-16.
- Thomas A, 2000. Spatial and temporal characteristics of potential evapotranspiration trends over China. *International Journal Climatology* 20: 381-396.
- Wang Y, Jiang T, Bothe O and Fredrich K, 2007. Changes of pan evaporation and reference evapotranspiration in the Yangtze River Basin. *Theoretical and Applied Climatology* 90: 13-23.
- Xu ZX, Takeuchi K and Ishidira H, 2003. Monotonic trend and step changes in Japanese precipitation. *Journal of Hydrology* 279: 144–150.

- Xu Ch, Yu GL, Jiang T, Chen D and Singh VP, 2006. Analysis of spatial distribution and temporal trend of reference evapotranspiration and pan evaporation in Changjiang (Yangtze River) catchment. *Journal of Hydrology* 327: 1-13.
- Zhang X, Hervey KD, Hogg WD and Yuzyk TR, 2001. Trends in Canadian stream flow. *Water Resource Research* 37(4): 987-998.
- Zhang Q, Xu CHY and Xiaohong C, 2011. Reference evapotranspiration changes in China: natural processes or human influences? *Theoretical and Applied Climatology* 103(3-4): 10-20.
- Zhang W, Yan Y, Zheng J, Li L, Dong X and Cai H, 2009. Temporal and spatial variability of annual extreme water level in the Pearl River delta region, China. *Global and Planetary Change* 69: 35-47.
- Zhang X, Ren Y, Yin Z, Lin Z and Zheng D, 2009. Spatial and temporal variation patterns of reference evapotranspiration across Qinghai-Tibetan. *Journal of Geophysical Research* 114: D15105, doi: 10.10292009JD011753: 14 pages.