

## Assessment of Potential Reference Crop Evapotranspiration Trend in Ghezel Ozan River Basin under Climate Change Conditions

AMIN SADEQI<sup>1\*</sup>, YAGOB DINPASHOH<sup>2</sup>, MAHDI ZARGHAMI<sup>3</sup>

1. M.Sc. Graduate, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.
2. Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
3. Professor, Department of Water and Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

(Received: Dec. 28, 2018- Revised: Jan. 16, 2019- Accepted: Jan. 28, 2019)

### ABSTRACT

Ghezel Ozan River Basin is one of the important basin in Iran, which supply people grains requirements. The amount of potential reference crop evapotranspiration ( $ET_0$ ) was evaluated with RCP4.5 (low emission) and RCP8.5 (high emission) scenarios on the horizons 2030, 2050, and 2070. The output of four GCM models in CMIP5 and the LARS-WG6 statistical downscaling were used. In this study, the daily historical records of six synoptic stations (namely Zanjan, Mianeh, Khalkhal, Zarrineh, Qorveh, and Bijar) from 1989-2016 were used. Differences of mean  $ET_0$  time series in the base and future time periods were tested using the t-test method in three-time scales (i.e. monthly, seasonal, and annual scales) at 5% significance level. Trends of  $ET_0$  in the proposed three-time scales were analyzed in the base and 2021-2080 periods with both RCP scenarios using the Mann-Kendall (MK) method at 5% significance level. The effect of significant autocorrelation coefficients was eliminated in MK method. The slope of trend lines was estimated by Sen's estimator. Results showed in the whole basin, based on the RCP4.5 scenario in the horizons of 2030, 2050, and 2070, the amount of  $ET_0$  will be increased by 1.8%, 3.7%, and 5.7%, respectively. These records were about 1.7, 5.4, and 9.1 percent using the RCP8.5 scenario, respectively. The most increase in  $ET_0$  was observed for July. The annual  $ET_0$  values would be increased in the future in all stations. The mean differences of  $ET_0$  in June, July, August, summer, and annual time series with respect to the base time period were significant for all the stations and for all the future periods (under two RCP scenarios). In the future period, according to the both scenarios at all stations, the annual  $ET_0$  trend was upward.

**Keywords:** Climate Change, Evapotranspiration, Ghezel Ozan, RCP Scenarios.

## ارزیابی روند تبخیر- تعرق پتانسیل گیاه مرجع در حوضه آبریز قزل‌اوزن تحت شرایط تغییر اقلیم

امین صادقی<sup>۱\*</sup>، یعقوب دین‌پژوه<sup>۲</sup>، مهدی ضرغامی<sup>۳</sup>

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲. دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۳. استاد، گروه مهندسی آب و محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۷ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۱۰/۲۶ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۱۱/۸)

## چکیده

حوضه قزل‌اوزن یکی از حوضه‌های مهم ایران در تأمین غلات مورد نیاز مردم می‌باشد. مقدار تبخیر- تعرق پتانسیل گیاه مرجع ( $ET_0$ ) در افق‌های ۲۰۳۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ با دو سناریوی RCP4.5 (انتشار پایین) و RCP8.5 (انتشار بالا) ارزیابی شد. از خروجی چهار مدل GCM موجود در CMIP5 و ریزمقیاس‌نمایی آماری LARS-WG6 استفاده گردید. در این مطالعه، از آمار روزانه ۲۰۱۶-۱۹۸۹ شش ایستگاه همدید (زنجان، میانه، خلخال، زرینه، قره و بیجار) استفاده شد. معنی‌داری اختلاف میانگین‌های  $ET_0$  در دوره پایه با مقادیر نظیر هر یک از افق‌های آبی با آزمون تی استیوننت در سه مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه در سطح ۵ درصد آزمایش شد. روند تغییرات  $ET_0$  در سه مقیاس زمانی مذکور در دو دوره پایه و دوره آبی ۲۰۲۱-۲۰۸۰ (با هر دو سناریوی RCP) با روش مان-کندال (MK) در سطح ۵ درصد تحلیل گردید. اثر ضرایب خودهمبستگی معنی‌دار در روش MK حذف شد. شیب خط روند با روش سن تخمین زده شد. نتایج نشان داد که در کل حوضه، براساس سناریوی RCP4.5 مقدار  $ET_0$  در افق‌های ۲۰۳۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ به ترتیب ۱/۸، ۳/۷ و ۵/۷ درصد افزایش خواهد یافت. این رقم برای سناریوی RCP8.5 به ترتیب ۱/۷، ۵/۴ و ۹/۱ درصد به‌دست آمد. بیشترین افزایش  $ET_0$  در ماه ژوئیه انتظار می‌رود. میزان  $ET_0$  سالانه در همه ایستگاه‌ها در آینده افزایش خواهد یافت. اختلاف میانگین‌های  $ET_0$  در ماه‌های ژوئن، ژوئیه، اوت، فصل تابستان و مقادیر سالانه آن در تمام دوره-سناریوها نسبت به دوره پایه معنی‌دار بودند. در دوره آبی، طبق هر دو سناریو در همه ایستگاه‌ها، روند  $ET_0$  سالانه صعودی بود.

واژه‌های کلیدی: تبخیر- تعرق، تغییر اقلیم، قزل‌اوزن، سناریوهای RCP.

## مقدمه

تغییر اقلیم<sup>۱</sup> یکی از چالش‌های مهم بشر در سال‌های اخیر بوده است. شناخت عوامل ایجاد تغییر اقلیم و اثرات آن و پیش‌بینی اقلیم آینده به‌منظور برنامه‌ریزی، سازگاری و مقابله با پیامدهای منفی آن امری اجتناب‌ناپذیر است. امروزه در جای‌جای جهان، دانشمندان مطالعات گسترده‌ای برای شناخت تغییر اقلیم و سازش با آن انجام می‌دهند. بررسی تغییر اقلیم با مدل‌های مختلف GCM با استفاده از LARS-WG مورد توجه بسیاری از هیدرولوژیست‌ها مانند (Bannayan and Chen et al. (2013)، (Eyshi Rezaei (2014)، (Stevens and Madani (2016)، (Parajuli et al. (2016)، (Sanikhani et al. (2017)، (Gohari et al. (2017)، (Mehan et al. (2017)، (Gao et al. (2018) و (Gunawardhana et al. (2018) قرار گرفته است. در مطالعه (Babaeian and Kouhi (2012) با استفاده از

LARS-WG و دو مدل GCM به این نتیجه رسیدند که در سه ایستگاه مشهد، سبزوار و تربت‌حیدریه  $ET_0$  به ترتیب ۱۳/۴، ۱۴/۲ و ۹/۳ درصد افزایش خواهد یافت. آن‌ها اذعان کردند به دلیل افزایش  $ET_0$ ، تاریخ کاشت به سمت فصل زمستان جابجا خواهد شد. (Khalil (2013) تأثیر تغییر اقلیم بر  $ET_0$  را در حاشیه رود نیل با استفاده از مدل HadCM3 و چهار سناریوی A1، A2، B1 و B2 بررسی نمود. نتایج نشان داد که میانگین  $ET_0$  در ۲۰ ایستگاه در آینده نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. سناریوی A2 در سال ۲۱۰۰ بیشترین مقدار  $ET_0$  و سناریوی B1 در سال ۲۰۴۰، کمترین مقدار  $ET_0$  را نسبت به سایر سناریوها نشان داد. (Saadi et al. (2014) دریافتند  $ET_0$  تا سال ۲۰۵۰ به میزان ۶/۷ درصد در منطقه مدیترانه افزایش خواهد یافت. در تحقیقی مشابه (Tanasijevic et al. (2014) با استفاده از مدل ECHAM5 و سناریوی A1B تا سال ۲۰۶۵ افزایش هشت

به وقوع پدیده تغییر اقلیم و اهمیت  $ET_0$  ارزیابی آن در حوضه به منظور مدیریت صحیح منابع آب ضروری می‌نماید. به طوری که از بررسی پیشینه پژوهش استنباط می‌شود، مطالعات تغییر اقلیم علی‌رغم استفاده در مناطق مختلف، برای حوضه آبریز قزل‌اوزن که یکی از حوضه‌های مهم کشور در تأمین غذای مردم و امنیت غذایی این منطقه می‌باشد، انجام نشده است. بنابراین این مطالعه برای اولین بار برای حوضه مذکور به انجام رسید. در این پژوهش، ارزیابی  $ET_0$  در حوضه آبریز قزل‌اوزن تحت شرایط تغییر اقلیم در دوره‌های آتی و مقایسه آن با دوره پایه با استفاده از آزمون تی استیودنت صورت گرفت. به منظور ارزیابی  $ET_0$  از خروجی چهار مدل GCM از سری مدل‌های جفت شده CMIP5 و سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 (سناریوهای ارائه شده در آخرین گزارش IPCC) استفاده گردید که تاکنون به طور دقیق و جامع برای حوضه قزل‌اوزن انجام نشده است.

بنابراین اهداف اصلی این مطالعه به شرح زیر تعیین شد:

- ۱- بررسی اثر تغییر اقلیم روی مقادیر  $ET_0$  در دوره‌های آتی (شامل الف) ۲۰۴۰-۲۰۲۱ (ب) ۲۰۶۰-۲۰۴۱ و ج) ۲۰۸۰-۲۰۶۱ (در سه مقیاس زمانی ماهانه، فصلی و سالانه) تحت دو سناریوی RCP4.5 (نماینده انتشار پایین گازهای گلخانه‌ای) و RCP8.5 (نماینده انتشار بالای گازهای گلخانه‌ای) و مقایسه آن با مقادیر نظیر در دوره پایه
- ۲- آزمون اختلاف میانگین مقادیر  $ET_0$  در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه با روش تی استیودنت

## روش تحقیق

### منطقه مورد مطالعه

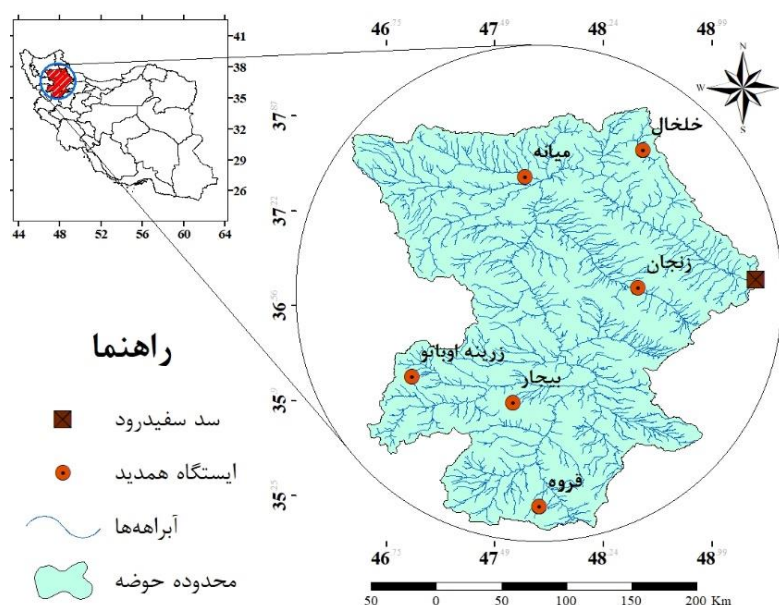
منطقه مورد مطالعه حوضه رودخانه قزل‌اوزن است. این حوضه زیرمجموعه حوضه درجه دو سفیدرود بزرگ است (Anonymous, 2004). شکل ۱ موقعیت حوضه رودخانه قزل‌اوزن را نشان می‌دهد. رودخانه قزل‌اوزن یکی از بزرگ‌ترین و طولانی‌ترین رودخانه‌های دائمی ایران به طول ۸۰۰ کیلومتر است (Dodangeh et al., 2016). حوضه این رودخانه در استان‌های زنجان، آذربایجان شرقی، کردستان، اردبیل، همدان و بخش‌های کوچکی از استان‌های گیلان، قزوین و آذربایجان غربی را می‌پوشاند (Jafari and Bakhtiyari, 2016). حوضه رودخانه قزل‌اوزن در محدوده طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۲۷ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۵۵ دقیقه شمالی بوده و وسعت آن قریب به ۴۹۸۰۰

درصدی  $ET_0$  را به دست آوردند. (Attarod et al. (2015) تخمین حساسیت  $ET_0$  در شمال ایران پرداختند. نتایج نشان داد در طول نیم‌قرن گذشته  $ET_0$  در اثر تغییر اقلیم افزایش یافته است. بر اساس یافته‌های این پژوهش، افزایش ۲۰٪ دمای هوا ( $^{\circ}C$ ) (۳/۳) منجر به افزایش ۱۶٪  $ET_0$  خواهد شد. تغییرات در فشار بخار بیشترین اثر معکوس را بر  $ET_0$  خواهد داشت. با افزایش ۲۰٪ سرعت باد،  $ET_0$  به میزان ۵٪ (در مناطق بسیار مرطوب) افزایش خواهد یافت. نتایج kundu et al. (2016) نشان داد،  $ET_0$  در هندوستان در آینده افزایش خواهد یافت. اوج افزایش  $ET_0$  در آوریل- می و نیز در ماه اکتبر خواهد بود. (Khazaei (2016) استفاده از مدل CGCM3 بر مبنای سناریوهای A1B، A2 و B1 نشان داد،  $ET_0$  در همه ماه‌های سال در جنوب غربی ایران افزایش خواهد یافت. یافته‌های تحقیق Koocheki et al. (2016) بیانگر افزایش  $ET_0$  سالانه بین ۱۸ تا ۳۰ درصد (تا سال ۲۰۵۰) است که این تغییرات از غرب به شرق و از شمال به جنوب کشور شدیدتر خواهد بود. (Baule et al. (2017) با استفاده از سه مدل ترکیبی RCM3+GFDL، CRCM+CGCM3، و MM5I+HadCM3 (برای دوره آتی ۲۰۴۱-۲۰۷۰ تحت سناریوی A2)  $ET_0$  را با روش پرستلی- تیلور (PT) محاسبه نمودند. براساس یافته‌های ایشان در هر سه مدل، خشکی فصل رشد به دلیل بالا رفتن  $ET_0$  ناشی از افزایش دما و تابش‌های خورشیدی افزایش خواهد یافت. (Rahman et al. (2018) به تجزیه و تحلیل روند  $ET_0$  بنگلادش در آینده پرداختند. آن‌ها پس از ریزمقیاس‌نمایی مجموعه داده‌های CMIP5، روند  $ET_0$  را با روش MK تحلیل کردند. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار  $ET_0$  طبق سناریوی RCP8.5 و در دوره ۲۰۹۹-۲۰۶۱ (نسبت به دوره پایه و سایر سناریوها) خواهد بود.

در ادامه چالش‌های مهم تغییرات اقلیمی، یکی از مهم‌ترین بخش‌هایی که بیشترین آب شیرین را در کشور ما مصرف قرار می‌دهد بخش کشاورزی است. با توجه به این که امنیت غذایی کشور به بخش کشاورزی وابسته است، بنابراین اثر تغییر اقلیم در میزان آب مصرفی کشاورزی بسیار ضروری می‌باشد که انگیزه اصلی مطالعه حاضر برای حوضه قزل‌اوزن محسوب می‌شود.

تبخیر- تعرق<sup>۱</sup> یکی از مؤلفه‌های اصلی چرخه هیدرولوژی است. برآورد دقیق  $ET_0$  در جلوگیری از هدر رفت آب، برنامه‌ریزی آبیاری و تخمین بیلان آب در حوضه ضرورت دارد. تغییر اقلیم باعث دگرگونی عناصر هیدرولوژیکی زمین شده است که این خود تبدیل به چالشی بزرگ برای محققین گردیده است. حال با توجه

کیلومتر مربع می‌باشد.



شکل ۱. نقشه شبکه آبراهه‌های حوزه رودخانه قزل‌اوزن و موقعیت ایستگاه‌های منتخب

هواشناسی کشور اخذ شد. اطلاعات شش ایستگاه (زنجان، میانه، خلخال، زرینه، قروه و بیجار) در دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۸۹ استفاده شد. جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

داده‌های مورد استفاده داده‌های مورد استفاده شامل داده‌های روزانه کمینه و بیشینه دمای هوا (°C) و تعداد ساعات آفتابی از سازمان

جدول ۱. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های هم‌دید مورد مطالعه در حوزه قزل‌اوزن

ردیف	نام ایستگاه	کد ایستگاه	نام استان	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	ارتفاع از سطح آب‌های آزاد (متر)
۱	زنجان	۴۰۷۲۹	زنجان	۴۸/۵۲	۳۶/۶۶	۱۶۵۹/۴
۲	میانه	۴۰۷۱۶	آذربایجان شرقی	۴۷/۷	۳۷/۴۵	۱۱۱۰
۳	خلخال	۴۰۷۱۷	اردبیل	۴۸/۵۴	۳۷/۶۱	۱۷۹۷/۴
۴	زرینه اوباتو	۴۰۷۴۹	کردستان	۴۶/۹۲	۳۶/۰۷	۲۱۴۲/۶
۵	قروه	۴۰۷۷۲	کردستان	۴۷/۷۹	۳۵/۱۸	۱۹۰۶
۶	بیجار	۴۰۷۴۸	کردستان	۴۷/۶۲	۳۵/۸۹	۱۸۸۳/۴

می‌شوند و نتایج به دست آمده را با نتایج نظیر نقاط همسایه شبکه تعدیل می‌کنند (IPCC-WG I, 2007).

در این پژوهش، از میانگین خروجی چهار مدل GCM موجود در CMIP5 تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 در سه دوره آتی ۲۰۲۱-۲۰۴۰ (افق ۲۰۳۰)، ۲۰۶۰-۲۰۴۱ (افق ۲۰۵۰) و ۲۰۸۰-۲۰۶۱ (افق ۲۰۷۰) استفاده شد. مشخصات این مدل‌ها در جدول ۲ آمده است.

#### مدل‌های GCM و سناریوهای مورد استفاده

در مدل‌های GCM معادلات دیفرانسیل براساس قوانین اصلی فیزیک، حرکت سیالات و قوانین شیمی بنا نهاده شده‌اند. برای اجرای این مدل‌ها، دانشمندان جو کره زمین را به صورت سه‌بعدی شبکه‌بندی می‌کنند و معادلات فوق‌الذکر را بر روی این شبکه حل می‌نمایند. مدل‌های اتمسفری برای حل معادلات مربوط به سرعت باد، انتقال گرما، تابش، رطوبت نسبی و هیدرولوژی آب‌های سطحی بر روی هر یک از گره‌های شبکه حل

جدول ۲. مشخصات مدل های GCM مورد استفاده

مرکز تحقیقاتی ارائه کننده مدل	کشور/ منطقه	نام مدل	وضوح مکانی
اتحادیه زمین <sup>۱</sup>	اروپا	EC-EARTH	۱/۱۲۵°×۱/۱۲۵°
اداره هواشناسی بریتانیا، مرکز هادلی <sup>۲</sup>	بریتانیا	HadGEM2-ES	۱/۲۵°×۱/۸۷°
دانشگاه توکیو، موسسه ملی مطالعات محیط زیست، آژانس علمی و فناوری زمین- دریا ژاپن <sup>۳</sup>	ژاپن	MIROC5	۱/۳۹°×۱/۴۱°
موسسه هواشناسی ماکس پلانک <sup>۴</sup>	آلمان	MPI-ESM-MR	۱/۸۵°×۱/۸۸°

دمای بیشینه و تعداد ساعات آفتابی واقعی استفاده شده است، بنابراین، لازم است از یکی از روش های تجربی برای تخمین مقادیر  $ET_0$  استفاده شود. بنابراین، از روش PT (یکی از روش های مبتنی بر تابش) برای این منظور استفاده شد. ابزار LARS-WG تعداد ساعات آفتابی واقعی (n) را به طور خودکار با روش پیشنهادی Rietveld (1978) به تابش خورشیدی (برحسب  $MJ m^{-2} day^{-1}$ ) تبدیل می کند. Hadi et al. (2016) تحت شرایط تغییر اقلیم مقادیر  $ET_0$  ماهانه پنج ایستگاه با اقلیم های متفاوت (خشک، نیمه خشک، مدیترانه ای، نیمه مرطوب و خیلی مرطوب) را با استفاده از مدل HadCM3 برای آینده پیش بینی کردند. نتایج آن ها نشان داد روش PT بیشترین تطابق را با روش فائو پنمن مانتیث دارد. (Weiβ and Menzel (2008) در مطالعه ای  $ET_0$  را برای مناطق نیمه خشک در مقیاس جهانی با چهار روش شامل روش مبتنی بر تابش خورشیدی (PT)، روش مبتنی بر دمای هوا (هارگریوز) و دو روش ترکیبی (موسوم به فائو پنمن مانتیث و کیمبرلی پنمن) محاسبه کردند و خروجی روش ها را با نتایج تشت تبخیر مقایسه نمودند. نتایج نشان داد برای مناطق نیمه خشک روش PT بهترین عملکرد را دارد. (Lang et al. (2017) نشان دادند در جنوب غرب چین برای تخمین  $ET_0$ ، روش های مبتنی بر تابش خورشیدی عملکرد بهتری نسبت به روش های مبتنی بر دمای هوا داشتند. یافته های Babamiri and Dinpashoh (2016) نشان داد که در حوضه دریاچه ارومیه (دارای اقلیم نیمه خشک) روش PT با ضریب تعیین ۰/۹۶ یک روش بسیار مناسب برای تخمین  $ET_0$  در مناطق نیمه خشک است. بنا به دلایل فوق الذکر، در این مطالعه نیز از روش PT برای تخمین  $ET_0$  بهره گرفته شده است. برای محاسبه  $ET_0$  از معادله اصلی PT که در رابطه (۳) آمده است، استفاده شد (Priestley and Taylor, 1972)

سناریوهای مورد استفاده در این پژوهش شامل دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 می باشد. اطلاعات بیشتر در مورد این سناریوها در IPCC (2013) آمده است. به منظور ریزمقیاس نمایی داده های GCM از ابزار LARS-WG استفاده شد. LARS-WG یک مولد تصادفی آب و هوا است که با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی حال و آینده اقدام به تولید سری زمانی پارامترهای هواشناسی می کند. این ابزار از توزیع نیمه تجربی (Emp) برای طول سری های روزانه خشک و تر، بارش روزانه و تابش خورشیدی روزانه استفاده می کند.

$$Emp = a_0, a_i, h_i \dots \quad i = 1, 2, 3, \dots, 23 \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این رابطه Emp یک هیستوگرام با تعداد فواصل ۲۳ است (در نسخه ی سوم تعداد فواصل ۱۰ بوده است). که در آن a به شرح زیر تعریف شده است.

$$[a_{i-1}, a_i) \quad a_{i-1} < a_i \quad (\text{رابطه ۲})$$

و h تعداد رخداد های مشاهده شده در i امین فاصله است. چنین توزیعی انعطاف پذیر است و می تواند با تنظیم فواصل، تقریبی از انواع مختلفی از شکل ها باشد. فواصل  $[a_{i-1}, a_i)$  بر اساس خواص مورد انتظار از متغیرهای آب و هوا انتخاب می شوند. برای تابش خورشیدی، این فواصل به طور مساوی بین مقادیر کمینه و بیشینه داده های مشاهداتی ماهانه می باشد. حداقل دما، حداکثر دما و تابش خورشیدی مربوط به میزان پوشش ابر است، بنابراین LARS-WG از توزیع جداگانه ای برای روزهای تر و خشک برای هر یک از این متغیرها استفاده می کند (Semenov, 2008).

#### تبخیر - تعرق پتانسیل گیاه مرجع ( $ET_0$ )

با توجه به این که در این پژوهش از سه پارامتر دمای کمینه،

<sup>۱</sup> EC-Earth consortium

<sup>۲</sup> UK Meteorological Office, Hadley Centre

<sup>۳</sup> University of Tokyo, National Institute for Environmental Studies, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

<sup>۴</sup> Max Planck Institute for Meteorology

(Khalidi et al., 2014; Maidment, 1993).

### نتایج و بحث

شکل ۲ و شکل ۳ درصد تغییرات  $ET_0$  ماهانه حوضه قزل‌اوزن را بر اساس دو سناریوی RCP در سه دوره آتی ۲۰۴۰-۲۰۲۱ (دوره ابتدایی)، ۲۰۶۰-۲۰۴۱ (دوره میانی) و ۲۰۸۰-۲۰۶۱ (دوره انتهایی) نشان می‌دهند. همان‌گونه که از این اشکال مشاهده می‌شود بیشترین افزایش  $ET_0$  در هر دوره- سناریو در ماه ژوئیه روی خواهد داد. همچنین بیشترین میزان کاهش نیز در ماه فوریه خواهد بود. به غیر از دوره ابتدایی که اختلاف چندانی بین دو سناریو وجود ندارد، در دوره‌های بعدی افزایش در سناریوی RCP8.5 بیشتر از RCP4.5 است. به طوری که از شکل مذکور می‌توان فهمید شش نمودار تقریباً مقادیر درصد تغییرات یکسانی را در ماه‌های مختلف نشان می‌دهد. با این حال در ماه‌های گرم سال ایستگاه زنجان نسبت به سایر ایستگاه‌ها بیشترین افزایش را دارد. در حالی که ایستگاه میانه در افق ۲۰۳۰، زرینه در افق ۲۰۵۰ و قروه در افق ۲۰۷۰ به‌طور نسبی کمترین درصد افزایش را دارا می‌باشند. در ماه دسامبر مقادیر درصد تغییرات بین ایستگاه‌ها بیشتر از سایر ماه‌ها است به طوری که در ایستگاه میانه (در دوره ابتدایی)  $ET_0$  در دسامبر ۳/۴ درصد افزایش دارد، در حالی که در زرینه فقط ۰/۶ درصد افزایش در  $ET_0$  مشاهده می‌شود. در مورد دوره آتی دوم الگوی تغییرات تا حدودی مشابه دوره اول است. با این تفاوت که در این دوره به‌جز ماه‌های ژانویه و فوریه که کاهش  $ET_0$  دارند در بقیه ده ماه سال،  $ET_0$  روند افزایشی داشته است. در دوره ابتدایی، ماه‌های ژانویه تا آوریل روند کاهشی داشته است و همچنین در دوره ابتدایی برخی ایستگاه‌ها در ماه‌های اکتبر تا دسامبر نیز افزایش قابل ملاحظه‌ای در  $ET_0$  ندارند. از طرف دیگر حداکثر مقدار افزایش  $ET_0$  در ماه ژوئیه برای دوره میانی حدود ۸/۴ درصد است که تقریباً دو برابر میزان نظیر در دوره آتی اول است. این افزایش در مورد دوره آتی سوم حدود ۱۲/۶ درصد است که تقریباً سه برابر میزان نظیر در دوره ابتدایی است. در مورد دوره پایانی می‌توان نتیجه گرفت که در همه ماه‌های سال  $ET_0$  نسبت به دوره پایه افزایش خواهد داشت، به طوری که مقدار درصد افزایش (نسبت به دوره پایه) به‌طور محسوسی نسبت به دوره‌های ابتدایی و میانی بیشتر است. مثلاً در ماه ژوئیه افزایش  $ET_0$  به مقدار ۱۲/۶ درصد برای زنجان به دست آمده است که بیش از دو برابر مقدار نظیر در دوره ابتدایی و ۱/۵ برابر مقدار افزایش در دوره میانی است. در شکل ۴ میانگین درصد تغییرات  $ET_0$  در مقیاس زمانی

$$ET_0 = \alpha_e \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G) \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در آن  $\alpha_e$  ضریب پریستلی-تیلور،  $\Delta$  گرادیان منحنی فشار بخار اشباع<sup>۱</sup>،  $\gamma$  ثابت سایکرومتریک،  $R_n$  تابش خالص خورشیدی<sup>۲</sup> (بر حسب میلی‌متر بر روز) و  $G$  انرژی گرمای هدایت شده به داخل خاک<sup>۳</sup> (بر حسب میلی‌متر بر روز) است. اگر چنانچه مقدار  $ET_0$  منفی به دست آید، به جای آن صفر قرار داده می‌شود.

### آزمون روند مان-کندال (MK) و تخمین‌گر شیب سن

به‌منظور بررسی روند  $ET_0$  از آزمون ناپارامتری MK برای دوره‌های پایه و دوره (۲۰۲۱-۲۰۸۰) استفاده شد. این کار با دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 انجام شد. آزمون روند MK در مواردی که سری دارای ضرایب خودهمبستگی معنی‌دار بود، با استفاده از روش Hamed and Rao (1998) و در سایر موارد از روش MK مرسوم (Mann, 1945 و Kendall, 1975) انجام شد. بنابراین، قبل از انجام آزمون MK ضرایب خودهمبستگی سری در سطح ۵ درصد مورد بررسی قرار گرفت. سپس شیب خط روند با روش Sen (1968) به‌دست آمد.

### آزمون معنی‌داری اختلاف میانگین‌ها

برای مقایسه دو میانگین از رابطه (۴) استفاده شد (Rezaie, 2013).

$$t_c = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (\text{رابطه ۴})$$

که در آن  $S_p$  از رابطه (۵) به دست آمد.

$$S_p = \left( \frac{\left[ \sum X_{1j}^2 - \frac{(\sum X_{1j})^2}{n_1} \right] + \left[ \sum X_{2j}^2 - \frac{(\sum X_{2j})^2}{n_2} \right]}{n_1 + n_2 - 2} \right)^{0.5} \quad (\text{رابطه ۵})$$

که در آن  $n_1$  و  $n_2$  به ترتیب، تعداد سال‌های دوره اول و دوم می‌باشد و  $X_{1j}$  و  $X_{2j}$  به ترتیب مقدار  $Z$  ام در سری اول و دوم می‌باشد. پس از محاسبه مقادیر فوق،  $t_c$  با  $t$  جدول تی استیودنت با درجه آزادی  $n_1 + n_2 - 2$  و سطح اطمینان  $\alpha$  ۵ درصد مقایسه شد. برای مقادیر  $|t_c| \geq t$  اختلاف بین دو میانگین معنی‌دار تلقی شد.

۲. Outgoing heat conduction into the soil

۱. Gradient of saturated vapor pressure

۲. Net solar radiation



دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ تغییر خواهد کرد. این نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی ناشی از دست‌کاری بشر در ترکیب گازهای اتمسفر به تدریج موجب افزایش نیاز آبی گیاهان در دوره پایانی خواهد شد. در مقیاس ماهانه مشابه فصلی، منحنی نظیر در دوره پایانی بالاتر از همه منحنی‌ها قرار دارد، در حالی که منحنی نظیر در دوره پایه در پایین منحنی‌ها قرار گرفته است. بیشترین مقدار  $ET_0$  ماهانه برای هر چهار منحنی در ماه ژوئیه دیده می‌شود که مقادیر آن بین ۲۳۲ میلی‌متر در ماه در دوره پایه تا ۲۶۰ میلی‌متر در ماه برای دوره پایانی تغییر می‌کند. اختلاف این دو در ماه‌های دیگر به ویژه ماه‌های سرد سال بسیار ناچیز است.

بر اساس نتایج این پژوهش،  $ET_0$  سالانه بر اساس تمام دوره-سناریوها در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه افزایش خواهد یافت. نتایج این تحقیق با نتایج تحقیق Tanasijevic et al. (2014) که گزارش کردند  $ET_0$  تا سال ۲۰۶۵ در منطقه مدیترانه ۸ درصد افزایش خواهد یافت، همخوانی دارد. Saadi et al. (2015) نیز در تحقیقی مشابه نتیجه گرفتند  $ET_0$  در آینده در منطقه مدیترانه افزایش خواهد یافت. Khalil (2013) نیز نشان داد  $ET_0$  در آینده در حاشیه رود نیل افزایش خواهد یافت. نتایج تحقیق Kundu et al. (2016) نیز نشان داد  $ET_0$  در آینده در هند افزایش خواهد یافت. همچنین نتایج تحقیق Behmanesh et al. (2014) نیز نشان داد  $ET_0$  تا سال ۲۰۹۰ در ارومیه افزایش خواهد یافت که این افزایش در ماه‌های گرم سال بیشتر خواهد بود.

مقادیر آماره  $t$  افق ۲۰۳۰ در جدول ۵، افق ۲۰۵۰ در جدول ۶ و افق ۲۰۷۰ در جدول ۷ آمده است. نتایج نشان داد تنها در افق ۲۰۳۰ و آن هم در زنجان و زرینه کاهش  $ET_0$  در فصل زمستان (طبق سناریوی RCP4.5) معنی‌دار بوده است. در ماه ژوئن، ژوئیه، اوت و فصل تابستان در تمام دوره-سناریوها و در همه ایستگاه‌ها افزایش  $ET_0$  معنی‌دار بوده است. همچنین افزایش  $ET_0$  سالانه نسبت به دوره پایه در تمام دوره-سناریوها معنی‌دار است. منحصراً برای افق ۲۰۵۰ در فصل پاییز افزایش  $ET_0$  طبق هر دو سناریو معنی‌دار بوده است. همچنین در افق ۲۰۷۰ در همه فصول افزایش  $ET_0$  (بر اساس نتایج هر دو سناریو) معنی‌دار است. به غیر از دوره ابتدایی که مقادیر آماره  $t$  سناریوی RCP4.5 اندکی بیشتر از سناریوی RCP8.5 است، در بقیه دوره‌ها مقادیر این آماره در سناریوی RCP8.5 بیشتر از سناریوی RCP4.5 است. منحصراً برای افق ۲۰۷۰ (به غیر از سه ماه ژوئن، ژوئیه و اوت که در همه دوره-سناریوها مقادیر  $ET_0$  افزایش معنی‌داری دارد) در ماه‌های می، سپتامبر، اکتبر و نوامبر بر اساس هر دو سناریو، افزایش  $ET_0$  معنی‌دار است.

در جدول ۸ مقادیر شیب خط روند سن برای دوره پایه و

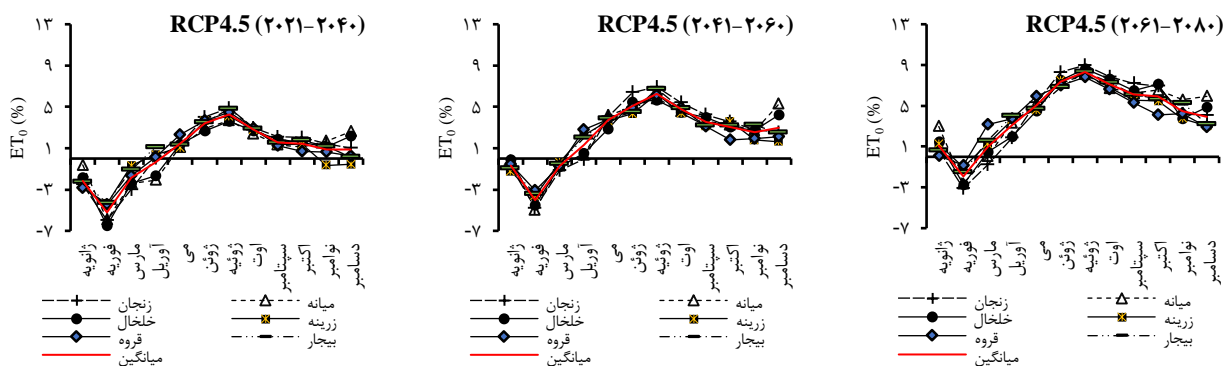
فصلی نسبت به دوره پایه آورده شده است. در این پژوهش، فصل زمستان شامل ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه (DJF)، فصل بهار شامل ماه‌های مارس، آوریل و می (MAM)، فصل تابستان شامل ماه‌های ژوئن، ژوئیه و اوت (JJA) و در نهایت فصل پاییز شامل ماه‌های سپتامبر، اکتبر و نوامبر (SON) در نظر گرفته شده است. در مقیاس فصلی در دوره اول برای فصل بهار هیچ تغییر محسوسی حاصل نشده است (با هر دو سناریو) ولیکن در فصل تابستان مقادیر  $ET_0$  برای RCP4.5 حدود ۳/۵ درصد و برای RCP8.5 حدود ۳/۴ درصد افزایش نشان داد. به همین ترتیب در فصل پاییز  $ET_0$  نسبت به دوره پایه با هر دو سناریو حدود ۱/۴ درصد افزایش نشان داده است، برعکس در فصل زمستان مقادیر  $ET_0$  با هر دو سناریو کاهش نشان داده است. به طوری که با RCP4.5 حدود ۲/۸ درصد و با RCP8.5 حدود ۲/۵ درصد کاهش نشان می‌دهد. این مقادیر کاهش در کشاورزی خیلی اهمیت ندارد، زیرا اکثر فعالیت‌های کشاورزی در حوضه مورد مطالعه در فصل تابستان صورت می‌گیرد. وانگهی در تابستان متوسط  $ET_0$  در مقایسه با زمستان حتی از ۱۰ برابر نیز بیشتر است. بنابراین کاهش  $ET_0$  در زمستان به هیچ عنوان جبران افزایش  $ET_0$  در تابستان را نخواهد کرد. بر اساس هر دو سناریو و در هر سه دوره در فصل تابستان و پاییز  $ET_0$  افزایش یافته است. به غیر از دوره ابتدایی،  $ET_0$  در فصل بهار طبق هر دو سناریو افزایش خواهد یافت که این افزایش کمتر از فصول تابستان و پاییز است.

شکل ۵ مقادیر  $ET_0$  ماهانه و فصلی حوضه قزل‌اوزن را در دوره پایه و سه دوره آتی با سناریوی RCP4.5 نشان می‌دهد. شکل مشابهی نیز برای سناریوی RCP8.5 تهیه شده که در شکل ۶ قابل مشاهده است. در جدول ۳ مقادیر  $ET_0$  بر اساس سناریوی RCP4.5 و در جدول ۴ بر اساس سناریوی RCP8.5 آمده است. طبق نتایج این پژوهش، بیشترین افزایش  $ET_0$  در فصل تابستان در دوره پایانی (طبق سناریوی RCP8.5) در زنجان به میزان ۱۱/۸ درصد خواهد بود. همچنین بیشترین کاهش نیز در فصل زمستان در دوره ابتدایی (طبق سناریوی RCP4.5) در زنجان به میزان ۳/۲ درصد انتظار می‌رود. بیشترین و کمترین افزایش سالانه  $ET_0$  در سناریوی RCP8.5 بوده که به ترتیب، در زنجان به میزان ۹/۵ درصد افزایش در دوره انتهایی و در خلخال به میزان ۱/۴ درصد افزایش در دوره ابتدایی به دست آمد. برای دوره پایانی کمترین افزایش  $ET_0$  مربوط به قروه بود که طبق سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۵/۶ و ۸/۸ درصد افزایش خواهد یافت. به طوری که از شکل ۶ می‌توان نتیجه گرفت در مقیاس فصلی در سناریوی RCP8.5 میزان حداکثر  $ET_0$  در مجموع ۹۳ (در تابستان) از ۶۵۸ میلی‌متر در دوره پایه به ۷۲۹ میلی‌متر در

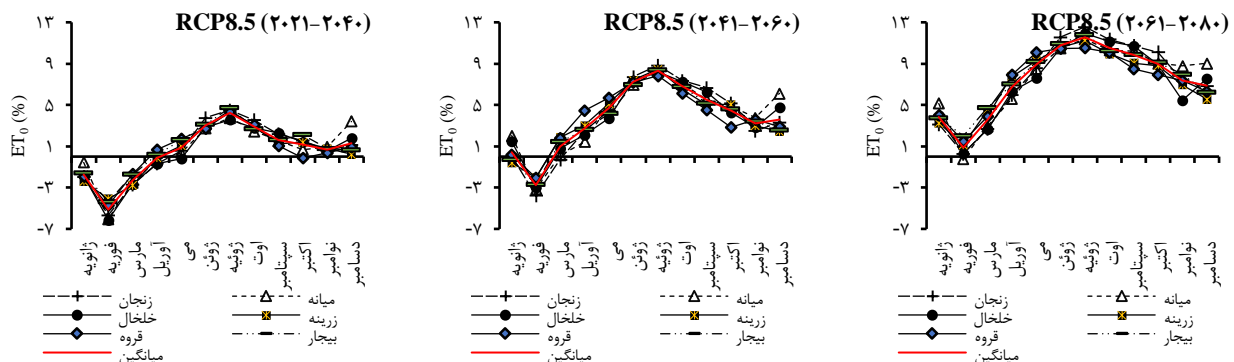
خلخال به مقدار ۲/۰۶۳ به دست آمد. در تمام دوره- سناریوها روند صعودی ماه فوریه و فصل زمستان معنی دار بوده است. همچنین روند افزایشی  $ET_0$  سالانه نیز در تمام دوره- سناریوها (به غیر از ایستگاه زرینه در دوره پایه) معنی دار بوده است. در سناریوی RCP8.5 روند  $ET_0$  در تمام ایستگاهها در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه در سطح ۵ درصد معنی دار بود. همچنین در سناریوی RCP4.5 به غیر از ماه مارس و آوریل که در بعضی ایستگاهها روند  $ET_0$  معنی دار نبوده است در بقیه ماهها و در تمام فصول روند افزایشی  $ET_0$  معنی دار بوده است.

نتایج این تحقیق با نتایج تحقیق (Rahman et al. (2018) که نشان دادند بیشترین افزایش  $ET_0$  در دوره ۲۰۹۹-۲۰۶۱ طبق سناریوی RCP8.5 خواهد بود، کاملاً همخوانی دارد. همچنین آن‌ها گزارش کردند با وجود روند منفی  $ET_0$  در دوره پایه، روند مثبت برای آینده به دست آمد که این موضوع نیز کاملاً با نتایج تحقیق پیشرو منطبق است؛ نتایج تحقیق پیشرو مبنی بر افزایش  $ET_0$  در آینده با یافته‌های (Attarod et al. (2015)، (Stevens and Madani (2016)، (Alizadeh et al. (2010)، (Zareian and Eslamian (2014)، (Koocheki et al. (2016)، (Barzegari and Malekinezhad, Khazaei and Byzedi (2016) (2015)، (Khazaei (2016) و (Goudarzi et al. (2018) همسو می‌باشد.

دوره‌های آتی آمده است. جدول ۹ نیز مقادیر آماره Z مان- کندال را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد در ماه نوامبر در دوره پایه در همه ایستگاهها به غیر از خلخال روند  $ET_0$  منفی است اما معنی دار نبوده است. در واقع در دوره پایه هیچ روند منفی معنی داری وجود ندارد. تندترین شیب سالانه در دوره پایه مربوط به قروه به مقدار ۳/۲ و ملایم‌ترین آن مربوط به زرینه به مقدار ۰/۹۸ می‌باشد. از میان ماهها و فصلها (در دوره پایه) تندترین شیب به ترتیب مربوط به ماه مارس به میزان ۰/۷۸ و فصل بهار به مقدار ۱/۶۹ در قروه مشاهده شد. در دوره آتی با سناریوی RCP4.5 تندترین و ملایم‌ترین شیب به ترتیب در ماه ژوئیه در میانه به مقدار ۰/۲۴۲ و در ماه دسامبر در خلخال به مقدار ۰/۱۲ انتظار می‌رود. همچنین تندترین شیب در فصل تابستان در خلخال به میزان ۰/۶۴۰ به دست آمد. تندترین و ملایم‌ترین شیب خط روند  $ET_0$  سالانه به دست آمده بر اساس سناریوی RCP4.5 به ترتیب در میانه به مقدار ۱/۳۵۲ و در زرینه به مقدار ۱/۰۶۴ به دست آمد. در دوره آتی با سناریوی RCP8.5 تندترین و ملایم‌ترین شیب به ترتیب در ماه ژوئیه در میانه به مقدار ۰/۴۱۶ و در ماه دسامبر در خلخال به مقدار ۰/۰۲۶ به دست آمد. همچنین تندترین شیب در فصل تابستان در میانه به میزان ۱/۱۹۹ و کندترین آن در فصل زمستان در خلخال به میزان ۰/۱۰۱ محاسبه شد. تندترین و ملایم‌ترین شیب خط روند  $ET_0$  سالانه به دست آمده بر اساس سناریوی RCP8.5 به ترتیب در میانه به مقدار ۲/۳۳۸ و در

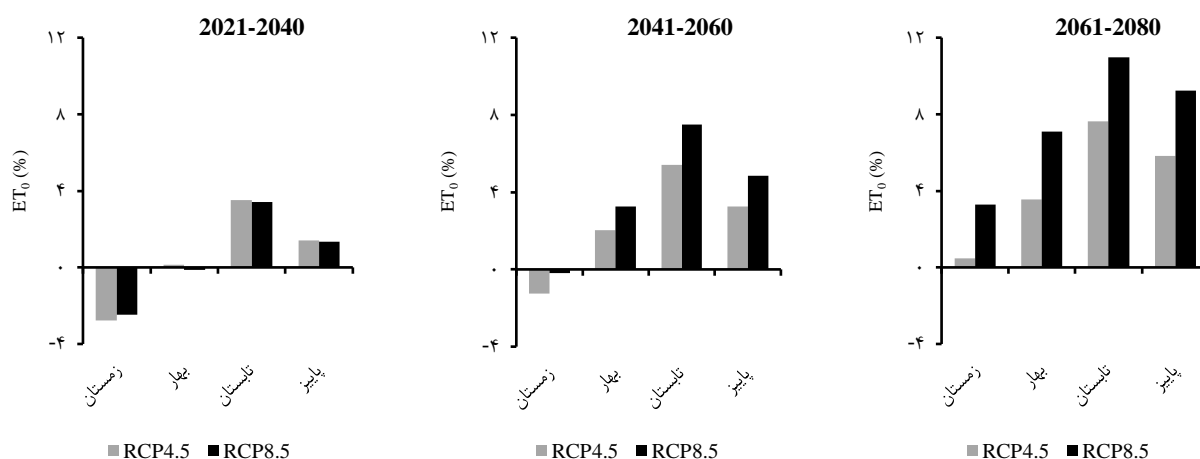


شکل ۲. درصد تغییرات  $ET_0$  ماهانه در شش ایستگاه مورد مطالعه طبق سناریوی RCP4.5

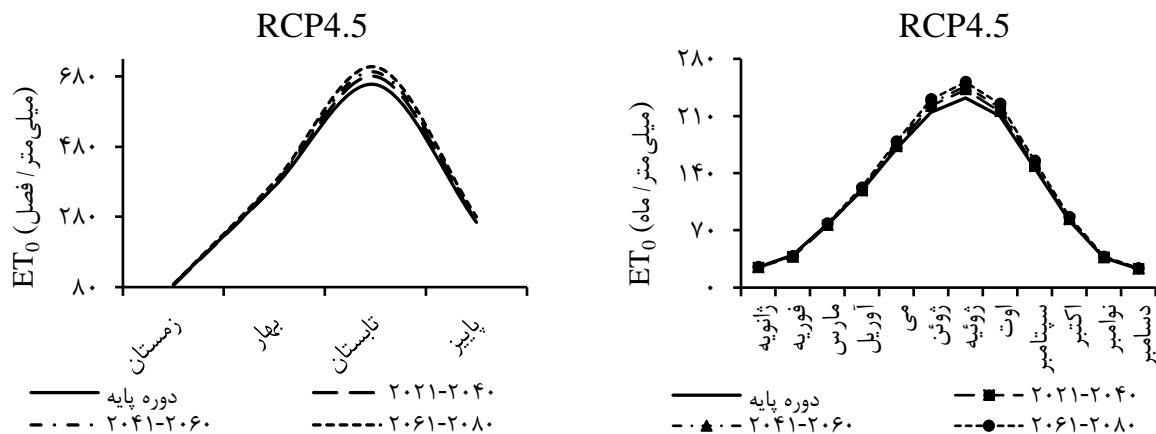


شکل ۳. درصد تغییرات  $ET_0$  ماهانه در شش ایستگاه مورد مطالعه طبق سناریوی RCP8.5

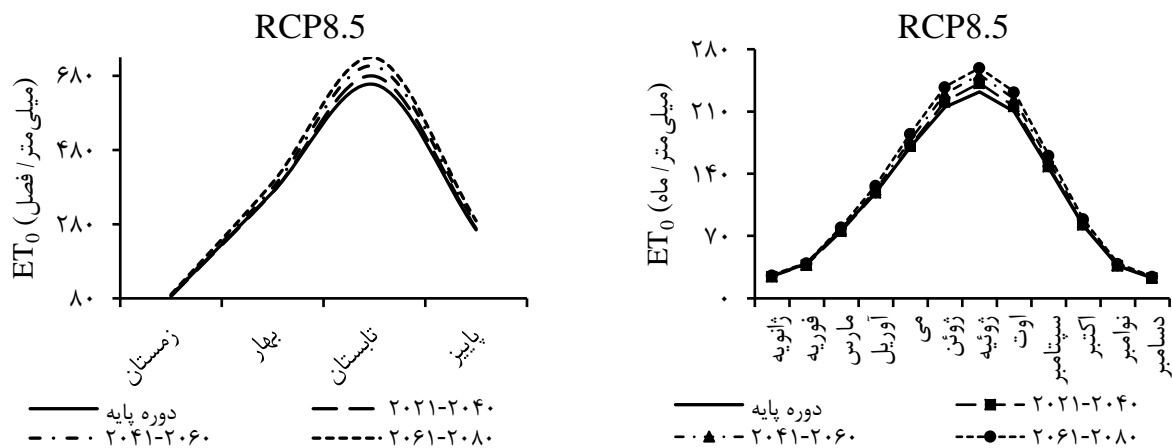




شکل ۴. میانگین درصد تغییرات  $ET_0$  فصلی نسبت به دوره پایه طبق هر دو سناریوی RCP در سه دوره آبی



شکل ۵. مقادیر  $ET_0$  ماهانه و فصلی حوضه قزل اوزن طبق سناریوی RCP4.5 در سه دوره آبی و دوره پایه



شکل ۶. مقادیر  $ET_0$  ماهانه و فصلی حوضه قزل اوزن طبق سناریوی RCP8.5 در سه دوره آبی و دوره پایه

جدول ۳. مقادیر ET<sub>0</sub> ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس سناریوی RCP4.5

ایستگاه دوره	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر زمستان	بهار تابستان	پاییز سالانه
زنجان	پایه	۲۵/۲	۳۹/۵	۷۶/۸	۱۱۸/۵	۱۶۸/۶	۲۱۲/۵	۲۲۸/۸	۲۰۷/۸	۱۴۴/۷	۸۰/۸	۳۵/۹	۲۲/۶	۱۳۶۱/۸
	ابتدایی	۲۴/۵	۳۷/۲	۷۴/۵	۱۱۸/۶	۱۷۰/۸	۲۲۱/۱	۲۴۰/۰	۲۱۴/۰	۱۴۷/۸	۸۲/۸	۳۶/۴	۲۲/۸	۱۳۹۰/۱
	میانمی	۲۵/۰	۳۷/۶	۷۵/۹	۱۱۸/۴	۱۷۵/۵	۲۲۶/۱	۲۴۴/۷	۲۱۹/۱	۱۵۰/۸	۸۳/۷	۳۶/۹	۲۳/۲	۱۴۱۶/۹
میلان	پایه	۲۲/۷	۳۸/۵	۷۸/۹	۱۲۳/۷	۱۷۸/۷	۲۲۸/۶	۲۴۷/۰	۲۲۳/۹	۱۵۴/۷	۸۴/۰	۳۴/۸	۲۰/۶	۱۴۳۶/۰
	ابتدایی	۲۲/۵	۳۶/۲	۷۷/۰	۱۲۱/۱	۱۸۰/۷	۲۳۵/۲	۲۵۶/۱	۲۲۹/۳	۱۵۶/۸	۸۵/۰	۳۵/۴	۲۱/۱	۱۴۵۶/۴
	میانمی	۲۲/۶	۳۶/۶	۷۸/۳	۱۲۴/۱	۱۸۶/۲	۲۴۰/۰	۲۶۱/۴	۲۳۴/۲	۱۶۰/۴	۸۶/۷	۳۵/۷	۲۱/۷	۱۴۸۷/۹
خاکلر	پایه	۲۲/۳	۳۵/۰	۶۸/۹	۱۰۸/۵	۱۵۶/۶	۲۱۲/۸	۲۱۲/۸	۱۹۱/۲	۱۳۰/۳	۷۰/۹	۳۱/۶	۲۰/۶	۱۲۶۱/۰
	ابتدایی	۲۱/۹	۳۲/۷	۶۷/۳	۱۰۶/۶	۱۵۸/۷	۲۰۰/۰	۲۲۰/۵	۱۹۶/۴	۱۳۲/۷	۷۲/۰	۳۱/۹	۲۰/۲	۱۲۶۱/۰
	میانمی	۲۲/۳	۳۳/۴	۶۸/۴	۱۰۹/۰	۱۶۱/۰	۲۰۵/۵	۲۲۴/۹	۱۹۹/۸	۱۳۵/۵	۷۳/۰	۳۲/۴	۲۰/۶	۱۲۸۵/۹
زربنه	پایه	۲۵/۷	۳۸/۷	۷۴/۷	۱۱۴/۸	۱۶۴/۵	۲۰۸/۰	۲۲۶/۶	۲۰۴/۰	۱۴۲/۱	۸۰/۳	۳۶/۶	۲۳/۳	۱۳۳۹/۴
	ابتدایی	۲۵/۰	۳۷/۰	۷۴/۲	۱۱۵/۲	۱۶۶/۲	۲۱۵/۶	۲۳۵/۹	۲۰۹/۶	۱۴۴/۱	۸۱/۴	۳۶/۳	۲۳/۲	۱۳۶۳/۸
	میانمی	۲۵/۴	۳۷/۳	۷۴/۴	۱۱۷/۴	۱۷۰/۵	۲۱۷/۰	۲۴۰/۸	۲۱۲/۹	۱۴۶/۶	۸۳/۲	۳۷/۲	۲۳/۷	۱۳۸۶/۴
وروه	پایه	۲۸/۶	۴۴/۱	۸۴/۳	۱۲۶/۲	۱۷۸/۱	۲۳۳/۷	۲۴۰/۵	۲۱۷/۲	۱۵۴/۸	۸۹/۹	۲۶/۳	۲۰/۶	۱۴۵۴/۵
	ابتدایی	۲۸/۸	۴۲/۲	۸۲/۹	۱۲۶/۳	۱۸۲/۱	۲۳۱/۹	۲۵۱/۳	۲۳۱/۹	۱۵۶/۷	۹۰/۵	۲۶/۴	۲۰/۲	۱۴۸۲/۷
	میانمی	۲۸/۴	۴۲/۸	۸۳/۷	۱۲۹/۸	۱۸۴/۸	۲۳۴/۷	۲۵۵/۳	۲۲۸/۰	۱۵۹/۶	۹۱/۵	۲۶/۸	۲۰/۶	۱۵۰۶/۹
بهبهار	پایه	۲۶/۹	۴۱/۸	۸۰/۹	۱۲۳/۷	۱۷۴/۴	۲۲۱/۱	۲۳۷/۱	۲۱۴/۹	۱۵۱/۱	۸۵/۷	۳۸/۵	۲۴/۴	۱۴۱۹/۷
	ابتدایی	۲۶/۳	۴۰/۰	۸۰/۰	۱۲۴/۱	۱۷۶/۷	۲۲۸/۸	۲۴۸/۶	۲۲۱/۱	۱۵۳/۵	۸۷/۲	۳۸/۹	۲۴/۵	۱۴۴۹/۷
	میانمی	۲۶/۷	۴۰/۴	۸۰/۵	۱۲۵/۲	۱۸۱/۱	۲۳۱/۰	۲۵۳/۱	۲۲۵/۳	۱۵۶/۰	۸۸/۵	۳۹/۷	۲۵/۰	۱۴۷۲/۶

جدول ۴. مقادیر ET<sub>0</sub> ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس سناریوی RCP8.5

ایستگاه دوره	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر زمستان	بهار تابستان	پاییز سالانه
زنجان	پایه	۲۵/۲	۳۹/۵	۷۶/۸	۱۱۸/۵	۱۶۸/۶	۲۱۲/۵	۲۲۸/۸	۲۰۷/۸	۱۴۴/۷	۸۰/۸	۳۵/۹	۲۲/۶	۱۳۶۱/۸
	ابتدایی	۲۴/۷	۳۷/۳	۷۴/۷	۱۱۷/۷	۱۶۹/۶	۲۲۰/۵	۲۳۹/۱	۲۱۵/۸	۱۴۷/۸	۸۲/۸	۳۶/۱	۲۲/۸	۱۳۸۷/۶
	میانمی	۲۵/۲	۳۸/۱	۷۶/۶	۱۲۱/۴	۱۷۶/۱	۲۲۹/۰	۲۴۹/۱	۲۳۹/۱	۱۵۴/۴	۸۵/۰	۳۶/۸	۲۳/۳	۱۴۳۷/۹
میلان	پایه	۲۲/۷	۳۸/۵	۷۸/۹	۱۲۳/۷	۱۷۸/۷	۲۲۸/۶	۲۴۷/۰	۲۲۳/۹	۱۵۴/۷	۸۴/۰	۳۴/۸	۲۰/۶	۱۴۳۶/۰
	ابتدایی	۲۲/۶	۳۶/۱	۷۶/۹	۱۲۳/۲	۱۷۹/۴	۲۳۴/۸	۲۵۶/۳	۲۲۹/۴	۱۵۷/۱	۸۴/۶	۳۵/۱	۲۱/۳	۱۴۵۶/۸
	میانمی	۲۲/۱	۳۷/۳	۷۹/۰	۱۲۵/۴	۱۸۷/۷	۲۴۴/۵	۲۶۷/۴	۲۳۹/۷	۱۶۳/۳	۸۸/۱	۳۶/۱	۲۱/۹	۱۵۱۳/۴
خاکلر	پایه	۲۲/۳	۳۵/۰	۶۸/۹	۱۰۸/۵	۱۵۶/۶	۲۱۲/۸	۲۱۲/۸	۱۹۶/۸	۱۳۰/۳	۷۰/۹	۳۱/۶	۲۰/۶	۱۲۶۱/۰
	ابتدایی	۲۱/۹	۳۲/۹	۶۷/۱	۱۰۷/۷	۱۵۶/۲	۲۰۰/۳	۲۲۰/۴	۱۹۶/۵	۱۳۳/۲	۷۱/۹	۳۱/۷	۲۰/۱	۱۲۶۰/۰
	میانمی	۲۲/۶	۳۴/۰	۶۹/۵	۱۱۰/۷	۱۶۲/۴	۲۰۹/۱	۲۳۰/۳	۲۰۵/۰	۱۳۸/۴	۷۳/۹	۳۲/۵	۲۰/۷	۱۳۰۹/۰
زربنه	پایه	۲۵/۷	۳۸/۷	۷۴/۷	۱۱۴/۸	۱۶۴/۵	۲۰۸/۰	۲۲۶/۶	۲۰۴/۰	۱۴۲/۱	۸۰/۳	۳۶/۶	۲۳/۳	۱۳۳۹/۴
	ابتدایی	۲۵/۱	۳۷/۱	۷۲/۶	۱۱۴/۷	۱۶۶/۲	۲۱۴/۰	۲۳۶/۸	۲۰۹/۸	۱۴۳/۸	۸۱/۵	۳۶/۹	۲۳/۴	۱۳۶۲/۰
	میانمی	۲۵/۶	۳۷/۹	۷۶/۱	۱۱۸/۳	۱۷۲/۹	۲۲۳/۴	۲۴۵/۸	۲۱۷/۲	۱۴۹/۲	۸۴/۴	۳۷/۷	۲۳/۹	۱۴۱۲/۴
وروه	پایه	۲۸/۶	۴۴/۱	۸۴/۳	۱۲۶/۲	۱۷۸/۱	۲۳۳/۷	۲۴۰/۵	۲۱۷/۲	۱۵۴/۸	۸۹/۹	۲۶/۳	۲۰/۶	۱۴۵۴/۵
	ابتدایی	۲۸/۰	۴۲/۰	۸۲/۹	۱۲۷/۰	۱۸۱/۱	۲۲۹/۸	۲۵۰/۸	۲۲۹/۸	۱۵۶/۴	۸۹/۸	۲۶/۵	۲۰/۲	۱۴۷۹/۴
	میانمی	۲۸/۶	۴۳/۲	۸۵/۸	۱۳۱/۹	۱۸۸/۲	۲۳۹/۸	۲۵۹/۳	۲۳۰/۵	۱۶۱/۸	۹۲/۴	۲۷/۱	۲۷/۱	۱۵۳۰/۹
بهبهار	پایه	۲۶/۹	۴۱/۸	۸۰/۹	۱۲۳/۷	۱۷۴/۴	۲۲۱/۱	۲۳۷/۱	۲۱۴/۹	۱۵۱/۱	۸۵/۷	۳۸/۵	۲۴/۴	۱۴۱۹/۷
	ابتدایی	۲۶/۵	۴۰/۰	۸۰/۰	۱۲۴/۱	۱۷۷/۲	۲۲۷/۹	۲۴۸/۴	۲۲۱/۱	۱۵۳/۶	۸۷/۵	۳۸/۸	۲۴/۶	۱۴۴۷/۷
	میانمی	۲۶/۹	۴۰/۷	۸۲/۱	۱۲۵/۹	۱۸۱/۷	۲۳۶/۴	۲۵۶/۹	۲۲۹/۴	۱۵۹/۰	۸۹/۷	۳۹/۸	۲۵/۱	۱۴۹۳/۵

جدول ۵. مقادیر آماره t ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱

ایستگاه	سناریو	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	سالانه
زنجان	RCP4.5	-۱/۳	-۲/۵	-۱/۳	۰/۰	۰/۸	۳/۶	۶/۱	۳/۷	۲/۳	۱/۹	۱/۰	۰/۹	-۲/۱	۰/۰	۶/۷	۲/۵	۲/۹
	RCP8.5	-۱/۰	-۲/۳	-۱/۲	-۰/۴	۰/۳	۳/۴	۵/۵	۴/۵	۲/۴	۱/۴	۰/۴	۱/۰	-۱/۹	-۰/۴	۶/۶	۲/۲	۲/۶
میانه	RCP4.5	-۰/۲	-۲/۱	-۱/۰	-۱/۱	۰/۷	۲/۶	۵/۶	۳/۱	۱/۳	۰/۹	۱/۰	۲/۷	-۱/۳	-۰/۵	۵/۱	۱/۵	۲/۱
	RCP8.5	-۰/۲	-۲/۱	-۱/۱	-۰/۲	۰/۲	۲/۵	۵/۷	۳/۱	۱/۵	۰/۶	۰/۶	۳/۵	-۱/۲	-۰/۳	۵/۱	۱/۳	۲/۱
خلخال	RCP4.5	-۰/۹	-۲/۵	-۱/۰	-۱/۰	۱/۰	۲/۱	۴/۷	۳/۱	۱/۸	۱/۳	۰/۸	۱/۷	-۱/۹	-۰/۳	۴/۸	۲/۱	۲/۲
	RCP8.5	-۱/۰	-۲/۴	-۱/۱	-۰/۴	-۰/۲	۲/۲	۴/۶	۳/۱	۲/۳	۱/۲	۰/۴	۱/۴	-۱/۹	-۰/۷	۴/۹	۲/۲	۲/۱
زرینه	RCP4.5	-۱/۶	-۲/۲	-۰/۳	۰/۲	۰/۷	۳/۴	۵/۰	۳/۶	۱/۶	۱/۲	-۰/۴	-۰/۴	-۲/۳	۰/۳	۶/۴	۱/۴	۲/۹
	RCP8.5	-۱/۴	-۲/۰	-۱/۱	۰/۰	۰/۶	۲/۷	۵/۶	۳/۷	۱/۴	۱/۲	۰/۵	۰/۲	-۱/۹	-۰/۱	۶/۳	۱/۶	۲/۷
قروه	RCP4.5	-۱/۲	-۱/۹	-۰/۶	۰/۱	۱/۳	۳/۴	۴/۸	۳/۱	۱/۴	۰/۶	۰/۴	۰/۲	-۱/۸	۰/۴	۵/۷	۱/۱	۲/۵
	RCP8.5	-۰/۸	-۲/۰	-۰/۶	-۰/۴	۱/۰	۲/۵	۴/۶	۳/۲	۱/۱	-۰/۱	۰/۳	۰/۶	-۱/۶	۰/۴	۵/۲	۰/۷	۲/۲
بیجار	RCP4.5	-۱/۱	-۱/۸	-۰/۵	-۰/۷	۰/۸	۲/۴	۵/۵	۳/۶	۱/۸	۱/۴	۰/۷	۰/۱	-۱/۷	۰/۵	۶/۹	۲/۰	۳/۳
	RCP8.5	-۰/۷	-۱/۸	-۰/۷	-۰/۱	۱/۰	۳/۱	۵/۴	۳/۲	۱/۹	۱/۷	۰/۵	۰/۵	-۱/۵	۰/۳	۶/۶	۲/۲	۳/۱

توجه: برای تفکیک بهتر سناریوها، ردیف مربوط به سناریوی RCP8.5 در هر ایستگاه به رنگ خاکستری متمایز شده است. اعداد درشت در سطح ۵ درصد معنی دار هستند (t بحرانی ۲/۰۱۳ می‌باشد).

جدول ۶. مقادیر آماره t ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره ۲۰۶۰-۲۰۴۱

ایستگاه	سناریو	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	سالانه
زنجان	RCP4.5	-۰/۴	-۲/۰	-۰/۵	۰/۰	۲/۵	۵/۸	۸/۸	۶/۹	۴/۶	۳/۳	۲/۰	۲/۳	-۱/۱	۱/۱	۱۰/۵	۴/۹	۵/۶
	RCP8.5	۰/۰	-۱/۵	-۰/۱	۱/۴	۲/۸	۷/۰	۱۱/۰	۹/۳	۷/۲	۴/۹	۱/۸	۳/۱	-۰/۵	۲/۰	۱۳/۳	۷/۲	۷/۸
میانه	RCP4.5	-۰/۱	-۱/۸	-۰/۳	۰/۲	۲/۶	۴/۵	۸/۸	۵/۹	۳/۵	۲/۶	۱/۶	۵/۴	-۰/۶	۱/۴	۸/۸	۳/۹	۵/۳
	RCP8.5	۰/۸	-۱/۱	۰/۱	۰/۷	۳/۱	۶/۳	۱۲/۴	۸/۹	۵/۳	۳/۹	۲/۲	۶/۴	۰/۳	۲/۰	۱۲/۵	۵/۸	۷/۹
خلخال	RCP4.5	-۰/۱	-۱/۸	-۰/۳	۰/۳	۱/۹	۴/۳	۷/۱	۵/۲	۴/۰	۲/۶	۱/۹	۳/۴	-۰/۷	۱/۰	۸/۲	۴/۴	۵/۱
	RCP8.5	۰/۸	-۱/۲	۰/۳	۱/۲	۲/۶	۵/۹	۱۰/۲	۸/۴	۶/۲	۳/۷	۲/۰	۳/۸	۰/۲	۲/۰	۱۲/۳	۶/۴	۷/۹
زرینه	RCP4.5	-۰/۷	-۱/۸	-۰/۲	۱/۳	۲/۳	۴/۱	۷/۷	۵/۶	۳/۷	۳/۱	۱/۲	۱/۱	-۱/۲	۱/۶	۹/۲	۴/۰	۵/۶
	RCP8.5	-۰/۳	-۱/۰	۰/۷	۱/۷	۳/۳	۷/۰	۱۰/۵	۸/۳	۵/۸	۴/۴	۱/۹	۱/۷	-۰/۳	۲/۶	۱۳/۶	۶/۱	۸/۸
قروه	RCP4.5	-۰/۲	-۱/۳	-۰/۳	۱/۷	۲/۱	۴/۵	۶/۵	۵/۳	۳/۴	۱/۴	۱/۲	۱/۴	-۰/۶	۱/۶	۸/۳	۲/۹	۴/۶
	RCP8.5	۰/۱	-۰/۹	-۰/۶	۲/۷	۳/۳	۶/۶	۸/۴	۶/۵	۴/۹	۲/۳	۲/۳	۱/۹	-۰/۱	۲/۸	۱۰/۸	۴/۴	۶/۷
بیجار	RCP4.5	-۰/۴	-۱/۴	-۰/۲	۱/۳	۲/۳	۴/۴	۷/۸	۶/۰	۳/۷	۲/۵	۲/۰	۲/۰	-۰/۸	۱/۷	۹/۹	۴/۱	۵/۹
	RCP8.5	-۰/۱	-۱/۱	-۰/۶	۱/۷	۲/۵	۶/۸	۹/۶	۸/۳	۵/۹	۳/۷	۲/۱	۲/۰	-۰/۴	۲/۲	۱۳/۵	۶/۰	۸/۲

جدول ۷. مقادیر آماره t ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱

ایستگاه	سناریو	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	سالانه
زنجان	RCP4.5	۰/۳	-۱/۳	-۰/۳	۱/۱	۳/۲	۷/۵	۱۱/۳	۱۰/۰	۷/۸	۶/۵	۳/۰	۳/۷	-۰/۱	۲/۰	۱۴/۱	۸/۵	۸/۴
	RCP8.5	۱/۶	۰/۱	۰/۱	۳/۴	۵/۲	۱۰/۴	۱۵/۷	۱۴/۳	۱۱/۶	۹/۵	۵/۲	۶/۳	۱/۸	۴/۵	۱۹/۷	۱۲/۸	۱۳/۱
میانه	RCP4.5	۱/۲	-۰/۹	-۰/۰	۱/۸	۳/۳	۶/۵	۱۲/۴	۸/۵	۵/۹	۵/۱	۳/۴	۶/۱	۰/۶	۲/۵	۱۲/۵	۶/۹	۸/۵
	RCP8.5	۲/۰	-۰/۱	۱/۳	۲/۹	۵/۳	۹/۳	۱۷/۳	۱۳/۱	۹/۸	۷/۰	۵/۱	۹/۲	۲/۰	۴/۵	۱۸/۱	۱۰/۹	۱۳/۱
خلخال	RCP4.5	۰/۷	-۱/۱	-۰/۲	۱/۲	۲/۱	۵/۹	۱۰/۹	۸/۸	۶/۵	۶/۲	۲/۶	۳/۸	-۰/۳	۲/۲	۱۲/۸	۷/۸	۸/۵
	RCP8.5	۱/۹	۰/۱	۰/۱	۳/۶	۵/۴	۸/۵	۱۵/۰	۱۲/۹	۱۰/۵	۷/۵	۳/۷	۵/۹	۲/۱	۴/۸	۱۸/۰	۱۱/۴	۱۳/۳
زرینه	RCP4.5	۰/۷	-۰/۵	-۰/۵	۲/۱	۲/۹	۷/۰	۱۰/۰	۸/۷	۶/۴	۴/۷	۲/۵	۲/۱	۰/۶	۲/۵	۱۳/۵	۶/۸	۸/۹
	RCP8.5	۱/۹	۰/۶	۰/۶	۴/۵	۵/۸	۱۰/۰	۱۳/۸	۱۲/۸	۱۰/۵	۷/۶	۴/۵	۳/۹	۲/۳	۵/۴	۱۹/۲	۱۱/۳	۱۴/۳
قروه	RCP4.5	۰/۰	-۰/۴	-۰/۴	۱/۱	۲/۲	۳/۴	۶/۴	۸/۲	۷/۰	۵/۸	۳/۳	۲/۸	۱/۹	۲/۹	۱۱/۰	۵/۴	۷/۱
	RCP8.5	۱/۷	۰/۶	۰/۶	۴/۸	۵/۶	۹/۴	۱۱/۱	۱۱/۰	۹/۳	۶/۵	۴/۷	۴/۱	۲/۳	۵/۱	۱۶/۰	۹/۴	۱۱/۲
بیجار	RCP4.5	۰/۳	-۰/۶	-۰/۶	۲/۷	۲/۸	۶/۸	۹/۳	۹/۱	۷/۲	۴/۴	۳/۲	۲/۵	۰/۲	۲/۸	۱۳/۷	۷/۶	۹/۱
	RCP8.5	۱/۸	۰/۸	۰/۸	۴/۵	۵/۵	۱۰/۷	۱۳/۴	۱۲/۷	۱۱/۶	۷/۰	۴/۹	۴/۸	۲/۵	۵/۴	۲۰/۱	۱۲/۰	۱۴/۶

جدول ۸. مقادیر شیب خط روند الف) دوره پایه، ب) دوره آبی با سناریوی RCP4.5 و ج) دوره آبی با سناریوی RCP8.5

ایستگاه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	سالانه
زنجان میانه خلخال زرینه قروه بیجار	۰/۱۰	۰/۳۱	۰/۵۴	۰/۳۷	۰/۲۸	-۰/۰۱	۰/۳۱	۰/۴۰	۰/۱۹	۰/۱۲	-۰/۰۲	-۰/۰۲	۰/۴۴	۱/۱۲	۰/۷۵	۰/۲۷	۲/۴۲
	۰/۱۲	۰/۳۱	۰/۵۱	۰/۲۰	۰/۳۳	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۲۴	۰/۱۷	۰/۰۶	-۰/۰۳	-۰/۰۳	۰/۴۱	۱/۱۵	۰/۴۱	۰/۲۱	۱/۷۹
	۰/۱۲	۰/۲۹	۰/۴۲	۰/۲۶	۰/۳۴	۰/۱۴	۰/۲۳	۰/۳۲	۰/۱۸	۰/۱۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۴۴	۱/۰۱	۰/۶۷	۰/۳۱	۱/۹۸
	۰/۰۸	۰/۲۶	۰/۵۱	۰/۱۸	۰/۰۳	۰/۰۵	-۰/۰۵	-۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۰۳	-۰/۰۴	۰/۳۶	۰/۹۳	-۰/۰۱	۰/۱۷	۰/۹۸
	۰/۱۲	۰/۳۵	۰/۷۸	۰/۴۱	۰/۳۰	۰/۳۵	۰/۲۳	۰/۳۳	۰/۳۵	۰/۲۰	۰/۲۰	-۰/۰۱	۰/۵۳	۱/۶۹	۰/۹۴	۰/۵۳	۳/۲۰
	۰/۱۲	۰/۳۱	۰/۶۲	۰/۲۳	۰/۰۹	۰/۰۸	-۰/۰۵	۰/۲۶	۰/۱۸	۰/۰۷	۰/۰۷	-۰/۰۳	۰/۴۴	۱/۰۷	۰/۳۸	۰/۳۱	۲/۱۳
زنجان میانه خلخال زرینه قروه بیجار	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۱۱	۰/۲۰	۰/۲۱	۰/۲۳	۰/۱۷	۰/۰۹	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۲۱	۰/۶۳	۰/۲۸	۱/۱۹
	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۲۱	۰/۲۴	۰/۲۱	۰/۱۹	۰/۱۱	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۳۴	۰/۶۴	۰/۳۰	۱/۳۵
	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۲۰	۰/۲۴	۰/۲۱	۰/۱۳	۰/۰۹	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۲۴	۰/۶۴	۰/۲۳	۱/۱۶
	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۱۷	۰/۲۰	۰/۱۷	۰/۱۳	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۲۴	۰/۵۲	۰/۲۴	۱/۰۶
	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۱۳	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۳۱	۰/۵۲	۰/۲۳	۱/۱۳
	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۱۳	۰/۱۶	۰/۱۹	۰/۲۲	۰/۱۵	۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۲۷	۰/۵۷	۰/۲۶	۱/۱۲
زنجان میانه خلخال زرینه قروه بیجار	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۱۸	۰/۲۸	۰/۳۶	۰/۴۱	۰/۳۵	۰/۲۷	۰/۱۶	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۱۲	۰/۵۳	۱/۱۰	۰/۴۷	۲/۱۸
	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۱۶	۰/۳۲	۰/۴۰	۰/۴۲	۰/۳۹	۰/۳۰	۰/۱۶	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۱۰	۰/۵۸	۱/۲۰	۰/۵۲	۲/۳۴
	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۱۶	۰/۲۸	۰/۳۴	۰/۴۱	۰/۳۶	۰/۲۳	۰/۱۲	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۱۰	۰/۵۲	۱/۰۹	۰/۳۷	۲/۰۶
	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۱۲	۰/۱۹	۰/۲۹	۰/۳۵	۰/۳۳	۰/۳۱	۰/۲۴	۰/۱۳	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۱۱	۰/۵۹	۰/۹۸	۰/۴۲	۲/۰۸
	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۱۹	۰/۳۴	۰/۳۹	۰/۳۱	۰/۳۲	۰/۲۷	۰/۱۶	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۱۳	۰/۶۴	۱/۰۲	۰/۴۸	۲/۲۵
	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۱۱	۰/۲۰	۰/۲۹	۰/۳۷	۰/۳۶	۰/۳۵	۰/۲۷	۰/۱۳	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۱۲	۰/۵۹	۱/۰۷	۰/۴۶	۲/۲۱

جدول ۹. مقادیر آماره Z مان- کندال الف) دوره پایه، ب) دوره آبی با سناریوی RCP4.5 و ج) دوره آبی با سناریوی RCP8.5

ایستگاه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	سالانه
زنجان میانه خلخال زرینه قروه بیجار	۲/۰	۳/۳	۲/۸	۱/۴	۰/۸	-۰/۰	۱/۴	۱/۷	۱/۵	۱/۴	-۰/۵	۰/۹	۲/۵	۲/۴	۲/۲	۱/۱	۲/۶
	۲/۳	۳/۰	۲/۶	۰/۹	۱/۰	۰/۳	۰/۳	۱/۱	۱/۰	۰/۴	-۰/۳	۰/۱	۲/۷	۲/۱	۱/۰	۱/۰	۱/۸
	۲/۷	۲/۹	۲/۷	۱/۳	۱/۶	۰/۶	۱/۱	۱/۹	۱/۳	۱/۳	۰/۳	-۰/۱	۴/۱	۲/۴	۱/۸	۱/۶	۲/۲
	۱/۶	۲/۷	۲/۷	۰/۷	۰/۳	-۰/۳	-۰/۲	-۰/۲	-۰/۲	-۰/۲	-۰/۲	-۰/۲	۲/۹	۱/۸	-۰/۱	-۰/۱	۱/۳
	۱/۶	۲/۴	۳/۵	۰/۴	۰/۴	۱/۶	۱/۴	۲/۴	۲/۸	۲/۴	۲/۲	۱/۴	۲/۳	۲/۸	۲/۵	۲/۴	۴/۸
	۱/۹	۲/۹	۲/۷	۱/۱	۰/۲	۰/۴	-۰/۱	۱/۲	۱/۸	۱/۸	-۰/۶	-۰/۳	۲/۹	۲/۰	۲/۰	۱/۰	۲/۲
زنجان میانه خلخال زرینه قروه بیجار	۵/۹	۳/۱	۱/۵	۱/۴	۳/۶	۶/۶	۲۱/۷	۶/۹	۱۰/۳	۵/۶	۴/۴	۵/۱	۱۱/۷	۴/۳	۵/۸	۷/۲	۶/۰
	۴/۱	۲/۹	۲/۳	۸/۵	۴/۷	۸/۲	۹/۵	۷/۶	۸/۲	۵/۶	۵/۹	۵/۲	۴/۶	۱۰/۶	۶/۸	۶/۱	۴/۷
	۷/۱	۷/۶	۳/۵	۴/۵	۴/۰	۷/۲	۶/۸	۵/۴	۷/۹	۴/۵	۴/۰	۴/۷	۵/۹	۶/۶	۶/۱	۶/۳	۶/۳
	۵/۳	۷/۹	۱/۹	۳/۵	۳/۵	۳/۱	۶/۳	۶/۴	۷/۱	۷/۱	۴/۸	۵/۷	۵/۴	۵/۴	۴/۱	۷/۳	۴/۱
	۴/۱	۴/۴	۴/۵	۴/۵	۳/۱	۷/۳	۷/۴	۶/۷	۵/۴	۴/۶	۴/۵	۴/۷	۵/۸	۴/۹	۸/۹	۶/۴	۶/۶
	۳/۰	۲/۷	۲/۷	۲/۷	۰/۲	۳/۲	۸/۵	۶/۱	۷/۵	۶/۵	۴/۴	۵/۷	۵/۴	۵/۱	۴/۳	۶/۸	۵/۹
زنجان میانه خلخال زرینه قروه بیجار	۴/۲	۵/۴	۴/۹	۵/۲	۵/۴	۵/۲	۶/۲	۶/۳	۷/۲	۷/۶	۴/۸	۵/۸	۵/۱	۷/۰	۴/۹	۶/۴	۴/۹
	۵/۴	۶/۲	۴/۹	۵/۲	۵/۴	۵/۲	۶/۲	۶/۰	۷/۵	۶/۲	۶/۵	۶/۵	۸/۷	۵/۳	۴/۹	۵/۴	۵/۶
	۵/۹	۷/۷	۴/۱	۸/۶	۸/۸	۶/۷	۸/۸	۸/۸	۱۳/۴	۶/۳	۵/۲	۶/۱	۶/۵	۷/۳	۸/۷	۷/۴	۵/۹
	۵/۹	۷/۸	۶/۵	۶/۰	۵/۹	۵/۱	۸/۵	۶/۴	۵/۵	۷/۵	۶/۷	۶/۴	۸/۵	۷/۲	۵/۶	۵/۳	۵/۳
	۶/۵	۵/۷	۵/۶	۶/۳	۶/۵	۷/۷	۵/۸	۶/۳	۹/۴	۵/۷	۵/۷	۶/۳	۴/۹	۸/۲	۸/۴	۷/۱	۷/۵
	۶/۸	۵/۵	۶/۱	۵/۹	۷/۷	۵/۴	۵/۳	۵/۳	۵/۱	۷/۷	۷/۷	۷/۵	۶/۸	۵/۷	۷/۱	۵/۵	۵/۵

توجه: اعداد داخل سلول‌های خاکستری با روش MK اصلاح شده به دست آمده‌اند. ارقام پررنگ در سطح ۵ درصد معنی‌دار هستند.

### خلاصه و جمع‌بندی

خواهد یافت. مقدار ET<sub>0</sub> در ماه ژوئیه در دوره پایه در زنجان ۲۲۲/۸ میلی‌متر بر ماه محاسبه شده است که انتظار می‌رود طبق سناریوی RCP8.5 این مقدار به ۲۵۷/۶ میلی‌متر بر ماه برسد (۱۲/۶ درصد افزایش نسبت به دوره پایه). با توجه به این که ماه ژوئیه یکی از ماه‌های فصل رشد است، برنامه‌ریزی دقیق به‌منظور مدیریت صحیح منابع آب توسط مدیران مسئول ضروری می‌نماید. با افزایش این مقدار از ET<sub>0</sub> در افق ۲۰۷۰ تنها راه صرفه‌جویی جلوگیری از هدر رفت آب و افزایش راندمان آب خواهد بود. بیشترین افزایش ET<sub>0</sub> در فصل تابستان و سپس در فصل پاییز انتظار می‌رود. در ماه ژوئن، ژوئیه، اوت و فصل تابستان و همچنین مقادیر سالانه ET<sub>0</sub> در تمام دوره- سناریوها و در همه ایستگاه‌ها

با استفاده از خروجی چهار مدل GCM و دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5، کمیت ET<sub>0</sub> برای حوضه قزل‌اوزن ارزیابی شد. نتایج این تحقیق نشان داد که در کل حوضه بر اساس سناریوی RCP4.5 در افق ۲۰۳۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۷۰ به ترتیب، ۱/۸، ۳/۷ و ۵/۷ درصد ET<sub>0</sub> افزایش خواهد یافت. برای سناریوی RCP8.5 میزان افزایش به ترتیب، ۱/۷، ۵/۴ و ۹/۱ درصد به دست آمده است. بیشترین افزایش ET<sub>0</sub> در هر دوره- سناریو و در تمام ایستگاه‌ها در ماه ژوئیه روی خواهد داد. بیشترین افزایش در ماه ژوئیه در افق ۲۰۷۰ و در زنجان خواهد بود که طبق سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب، ۹ و ۱۲/۶ درصد، ET<sub>0</sub> افزایش

## سپاسگزاری

از سازمان هواشناسی کشور به دلیل در اختیار قرار دادن آمار و اطلاعات ایستگاه‌های همدید موجود در حوضه آبریز قزل‌اوزن، تقدیر و تشکر به عمل می‌آید. همچنین از دکتر خلیل ولیزاده کامران، مهندس حسین مجرد و مهندس مهران سیفالهی که در تهیه این مقاله یاری‌گر نویسندگان بودند سپاس‌گزاری می‌شود. ضمناً از داوران این مقاله که در بهبود کیفیت آن نقش ارزنده‌ای ایفا نمودند تشکر و قدردانی می‌شود.

## REFERENCES

- Alizadeh, A., Sayari, N., Hesami Kermani, M., R., Bannayan Aval, M. and Farid Hossaini, A. (2010) Assessment of climate change potential impacts on agricultural water use and water resources of Kashaf Rood basin. *Journal of Water and Soil*, 24(4):815–835 (in Persian).
- Attarod, P., Kheirkhah, F., Khalighi Sigaroodi, S. and Sadeghi, S.M.M. (2015) Sensitivity of reference evapotranspiration to global warming in the Caspian region, north of Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17(4):869–883.
- Babaeian, I. and Kouhi, M. (2010) Agroclimatic indices assessment over some selected weather stations of Khorasan Razavi province under climate change scenarios. *Journal of Water and Soil*, 26(4):953–967 (in Persian).
- Babamiri, O., and Dinpashoh, Y. (2016). Comparison and Evaluation of Twenty Methods for Estimating Reference Evapotranspiration Based on Three General Categories: Air Temperature, Solar Radiation and Mass Transfer in the Basin of Lake Urmia. *Water and Soil Science*, 20(77): 145-161 (in Persian).
- Bannayan, M. and Eyshi Rezaei, E. (2014) Future production of rainfed wheat in Iran (Khorasan province): Climate change scenario analysis. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 19(2):211–227.
- Barzegari, F. and Malekinezhad, F. (2015) Estimating Irrigation Requirements under Climate Change (Case Study: Yazd-Ardakan Plain). *Journal of Irrigation Science and Engineering*, 39(4):85–95 (in Persian).
- Baule, W., Allred, B., Frankenberger, J., Gamble, D., Andresen, J., Gunn, KM. and Brown, L. (2017) Northwest Ohio crop yield benefits of water capture and subirrigation based on future climate change projections. *Agricultural Water Management*, 189:87–97.
- Behmanesh, J., Azad Talatappeh, N., Montaseri, M., Rezayi, H. and Khalili, K. (2014) Climate Change Impact on Reference Evapotranspiration, Precipitation Deficit and Vapor Pressure Deficit in Urmia. *Water and Soil Science*, 25(2):79–91 (in Persian).
- Chen, H., Guo, J., Zhang, Z. and Xu, CY. (2013) Prediction of temperature and precipitation in Sudan and South Sudan by using LARS-WG in future. *Theoretical and Applied Climatology*, 113(3–4):363–375.
- Dodangeh, E., Soltani, S. and Rezaei, A. (2016) Regional frequency analysis of minimum flows using linear moments and multivariate methods. *Iran Water Research Journal*, 10(1):173–176 (in Persian).
- Gao, C., He, Z., Pan, S., Xuan, W. and Xu, YP. (2018) Effects of climate change on peak runoff and flood levels in Qu River Basin, East China. *Journal of Hydro-Environment Research*, (article in press).
- Gohari, A., Mirchi, A. and Madani, K. (2017) Erratum to: System Dynamics Evaluation of Climate Change Adaptation Strategies for Water Resources Management in Central Iran. *Water Resources Management*, 31(13):4367–4368.
- Goudarzi, M., Salahi, B. and Hosseini, S. A. (2018) Estimation of Evapotranspiration Rate Due to Climate Change in the Urmia Lake Basin. *Iran-Watershed Management Science & Engineering*, 12(41):1–13 (in Persian).
- Gunawardhana, L.N., Al-Rawas, G.A. and Al-Hadhrani, G. (2018) Quantification of the changes in intensity and frequency of hourly extreme rainfall attributed climate change in Oman. *Natural Hazards*, 92(3):1649–1664.
- Hadi, F., Khashei Siuki, A., Shadidi, A. and Farzaneh, M.R. (2016) Examination the Effect of Climate Change on Potential Evapotranspiration in Different Climates. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 2(10):230-240 (in Persian).
- Hamed, K.H. and Rao, A.R. (1998) A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of Hydrology*, 204(1–4):182–196.
- IPCC (2007). Climate Change: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
- IPCC. Climate Change (2013). The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press



- Jafari, G. and Bakhtiyari, F. (2016) Analyze of hydro-geoneurons of Ghezel Ozan basin. *Geography and Development Iranian Journal*, 45:221–242 (in Persian).
- Kendall, M.G. (1975) Rank correlation methods. Charles Griffin, London 35.
- Khaldi, A., Khaldi, A. and Hamimed, A. (2014) Using the Priestley-Taylor expression for estimating actual evapotranspiration from satellite Landsat ETM + data. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 364:398–403
- Khalil, A.A. (2013) Effect of Climate Change on Evapotranspiration in Egypt. *Researcher*, 5(1):7–12.
- Khazaei, M. R. (2016) Climate change impact assessment on hydrological regimes of a mountainous river basin in Iran. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 5(3):43–54 (in Persian).
- Khazaei, M. R. and Byzedi, M. (2016) Climate change impact on annual meteorological and hydrological variables of the Sirvan Basin. *Iran-Water Resources Research*, 12(2):38–48 (in Persian).
- Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M. and Jafari, L. (2016) Evaluation of climate change effect on agricultural production of Iran: I. Predicting the future agroclimatic conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 13(4):651–664 (in Persian).
- Kundu, S., Khare, D. and Mondal, A. (2016) Future changes in rainfall, temperature and reference evapotranspiration in the central India by least square support vector machine. *Geoscience Frontiers*, 8(3):583–596.
- Lang, D., Zheng, J., Shi, J., Liao, F., Ma, X., Wang, W., ... & Zhang, M. (2017). A Comparative Study of Potential Evapotranspiration Estimation by Eight Methods with FAO Penman–Monteith Method in Southwestern China. *Water*, 9(10):734.
- Maidment, D.R. (1993) Handbook of Hydrology. McGraw-Hill, New York, USA.
- Mann, H.B. (1945) Nonparametric tests against trend. *Journal of the Econometric Society*, 13(3):245–259.
- Mehan, S., Guo, T., Gitau, M.W. and Flanagan, D.C. (2017) Comparative Study of Different Stochastic Weather Generators for Long-Term Climate Data Simulation. *Climate*, 5(26):1–40.
- Parajuli, P.B., Jayakody, P., Sassenrath, G.F. and Ouyang, Y. (2016) Assessing the impacts of climate change and tillage practices on stream flow , crop and sediment yields from the Mississippi River Basin. *Agricultural Water Management*, 168:112–124.
- Priestley, C.H.B. and Taylor, R.J. (1972) On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly Weather Review*, 100(2):81–92.
- Rahman, M.A., Yunsheng, L., Sultana, N. and Ongoma, V. (2018) Analysis of reference evapotranspiration - (ET<sub>0</sub>) trends under climate change in Bangladesh using observed and CMIP5 data sets. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 1-17.
- Rezaie, A. (2013) Statistics and Probability (Application in Agriculture). *Jahad Daneshgahi Publication*, (in Persian).
- Rietveld, M. R. (1978) A new method for estimating the regression coefficients in the formula relating solar radiation to sunshine. *Agricultural Meteorology*, 19(2-3):243-252.
- Saadi, S., Todorovic, M., Tanasijevic, L., Pereira, L.S., Pizzigalli, C. and Lionello, P. (2014) wheat and tomato crop evapotranspiration , irrigation requirements and yield. *Agricultural Water Management*, 147:103–115.
- Sanikhani, H., Kisi, O. and Amirataee, B. (2017) Impact of climate change on runoff in Lake Urmia basin , Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 132(1–2):491–502.
- Semenov, M. A. (2008). Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator. *Climate Research*, 35(3):203-212.
- Sen, P.K. (1968) Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324):1379–1389.
- Stevens, T. and Madani, K. (2016) Future climate impacts on maize farming and food security in Malawi. *Scientific Reports Nature Publishing Group*, 6:36241.
- Tanasijevic, L., Todorovic, M., Pereira, L.S., Pizzigalli, C. and Lionello, P. (2014) Impacts of climate change on olive crop evapotranspiration and irrigation requirements in the Mediterranean region. *Agricultural Water Management*, 144:54–68.
- Weiß, M., & Menzel, L. (2008). A global comparison of four potential evapotranspiration equations and their relevance to stream flow modelling in semi-arid environments. *Advances in Geosciences*, 18, 15-23.
- Zareian, M.J. and Eslamian, S. (2014) A modified regionalization weighting approach for climate change impact assessment at watershed scale. *Water and Soil Science*, 20(75):113–128.