

## اثر تغییر اقلیم بر روند تغییرات تبخیر- تعرق گیاه مرجع در منطقه غرب ایران

معصومه فروغی<sup>۱\*</sup>، یعقوب دین‌پژوه، سعید جهانبخش‌اصل

۱- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشکده‌ی برنامه‌ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز

۲- دانشیار، دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه تبریز

۳- استاد، دانشکده‌ی جغرافیا و برنامه‌ریزی دانشگاه تبریز

### چکیده:

تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست محیطی در جهان می‌باشد. تغییر اقلیم، اثرات شدیدی بر کشاورزی، سیستم‌های هیدرولوژیکی، اکوسیستم و سایر سیستم‌های مرتبط با آن دارد. تبخیر- تعرق گیاه مرجع ( $ET_0$ )، یکی از عناصر مهم چرخه‌ی هیدرولوژیکی است که تحت تاثیر تغییر اقلیم می‌باشد. در مطالعه حاضر، روند تبخیر- تعرق گیاه مرجع ( $ET_0$ ) در مقیاس‌های زمانی ماهانه و سالانه مورد بررسی قرار گرفت.  $ET_0$  با استفاده مدل فائو- پنمن- مانتیث (FAO-PM-56)، در ۱۸ ایستگاه هواشناسی واقع در غرب ایران، برآورد گردید. در مطالعه حاضر، روند تبخیر- تعرق پتانسیل گیاه مرجع ( $ET_0$ ) در مقیاس‌های ماهانه و سالانه در ۱۸ ایستگاه منطقه غرب ایران بررسی گردید. همه ایستگاه‌ها بیش از ۲۰ سال داده منتهی به ۲۰۱۵ داشتند. از داده‌های میانگین دمای حداکثر و حداقل، ساعات آفتابی، سرعت باد، رطوبت نسبی حداکثر و حداقل استفاده شد.  $ET_0$  از مدل فائو- پنمن- مانتیث، و روند آن از روش من- کندال تحلیل شد. شیب خط روند از تخمین‌گر سن، بدست آمد. نتایج نشان داد که، گرچه هم روند افزایشی معنی‌دار و هم روند کاهشی در  $ET_0$  سالانه و ماهانه ایستگاه‌ها وجود داشت، با این حال، درصد زیادی از سری‌های زمانی  $ET_0$  روند رو به بالا داشته‌اند. در مقیاس ماهانه، تعداد سری‌های با روند افزایشی نسبت به کاهشی، در بسیاری از ماه‌های گرم سال بیشتر بود. در مقیاس‌های ماهانه و سالانه به‌ترتیب ۷۸/۲۴ و ۷۷/۷۷ درصد سری‌ها، روند افزایشی (۴۷/۶۹ درصد برای ماهانه و ۵۵/۵۵ برای سالانه معنی‌دار،  $P < 0.10$ ) داشتند. قویترین روند مثبت و منفی برای  $ET_0$  سالانه، به‌ترتیب در کرمانشاه ( $Z = 5/79$ ) و خدابنده ( $Z = 1/78$ ) مشاهده شد. در مقیاس ماهانه، قویترین روند مثبت و منفی برای  $ET_0$  هر دو در ماه اوت به‌ترتیب برای کرمانشاه با  $Z = 5/43$  و خدابنده با  $Z = 3/47$  مشاهده گردید.

کلید واژه‌ها: تبخیر- تعرق گیاه مرجع، تخمین‌گر سن، تغییر اقلیم، پنمن مانتیث، من- کندال.

## مقدمه

بحران آب به همراه اثرات منفی تغییر اقلیم بر آن، یکی از چالش‌های جهانی در عصر حاضر می‌باشد. تغییرات مولفه‌های مهم اقلیمی در درازمدت در نتیجه انتشار گازهای گلخانه‌ای، تأثیر معنی‌داری بر حجم منابع آب تجدیدپذیر و متعاقباً بر برنامه‌ریزی در راستای تخصیص آن به بخش‌های مهم خواهد داشت. از این رو، پدیده تغییر اقلیم می‌تواند به عنوان عمده‌ترین چالش بشر در دوره‌های آتی قلمداد گردد. ایران به عنوان کشوری خشک و نیمه‌خشک به دلیل توسعه‌ی غیرعلمی کشاورزی درگیر مسئله کمبود آب بوده و در حال حاضر، بررسی پیامدهای ناشی از تغییر اقلیم بر نیاز آبی در بخش کشاورزی بسیار مهم است. از جمله مهم‌ترین پیامدهای ناشی از تغییر اقلیم، تأثیر آن بر مولفه‌های موثر بر وضعیت هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز همچون دما، بارش و تبخیر- تعرق<sup>۲</sup> می‌باشد. در مطالعات تغییر اقلیم، اخیراً تبخیر- تعرق به عنوان سومین عامل اقلیمی مهم کنترل‌کننده انرژی و جریان توده‌ای بین خشکی و اتمسفر مورد توجه قرار گرفته است (چن و همکاران، ۲۰۰۶). تبخیر- تعرق از یک سطح گیاه چمن سبز، بدون کمبود آب و هرگونه آفت و بیماری‌های گیاهی، اصطلاحاً بنام تبخیر- تعرق گیاه (سطح) مرجع یا بطور ساده تبخیر- تعرق مرجع<sup>۳</sup> ( $ET_0$ ) نامیده می‌شود. سطح مرجع، عبارت است از گیاه مرجع چمن فرضی با ارتفاع ۱۰ تا ۱۲ سانتی‌متر، مقاومت سطحی ۷۰ ثانیه بر متر که دارای ضریب بازتابش (آلبیدو) ۰/۲۳ است. در این شرایط، کمبود آب در خاک نیز نباید وجود داشته باشد. برای گیاه مرجع یونجه نیز تعریف مشابهی ارائه شده که در آن ارتفاع ۲۰ سانتیمتر در نظر گرفته می‌شود (آلن و پریرا، ۱۹۹۸). تبخیر- تعرق گیاه مرجع در هر منطقه، بازتاب شرایط اقلیمی آن منطقه است و تحت تأثیر برخی از پارامترهای اقلیمی نظیر ساعات آفتابی، درجه حرارت، سرعت باد، رطوبت و ... قرار دارد، لذا بررسی چرخه‌ی آب، بدون در نظر گرفتن  $ET_0$  به عنوان رکن اصلی محاسبه‌ی نیاز آبی گیاهان، امکان‌پذیر نیست (گویال، ۲۰۰۴). از این رو، هرگونه برنامه‌ریزی منابع آبی در آینده، بدون در

نظرگرفتن تأثیر تغییر اقلیم بر تبخیر- تعرق و نیاز آبی گیاهان، ناقص خواهد بود (برزگری و ملکی‌نژاد، ۲۰۱۷). در سال‌های اخیر، مطالعات متعددی در زمینه بررسی تأثیر تغییرات آب و هوایی بر  $ET_0$  انجام شده است. دین‌پژوه (۲۰۰۶) میزان  $ET_0$  در فصول رشد گیاه (آوریل تا اکتبر) در سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۵۶ را در ایران مورد مطالعه قرار داد. نتایج نشان داد که در درازمدت متوسط سالانه  $ET_0$  مابین ۸۳۰ میلی‌متر تا بیش از ۳۶۲۷ میلی‌متر در سراسر کشور متفاوت است. پایین‌ترین میزان  $ET_0$  در مقیاس‌های سالانه و ماهانه متعلق به خط ساحلی دریای خزر بوده و بالاترین آن مربوط به بخش‌های مرکزی و جنوب شرقی ایران می‌باشد. میانگین  $ET_0$  سالانه در بخش جنوب شرقی ایران حدود ۳۳ بار بیش از متوسط بارش سالانه این منطقه بوده است. دین‌پژوه و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی روند  $ET_0$  در مقیاس‌های زمانی ماهانه و سالانه در ۱۶ ایستگاه آب و هوایی ایران پرداختند. برای تخمین میزان  $ET_0$  از روش فائو- پنمن-مانتیت<sup>۴</sup> (FAO-56 PM) و برای بررسی روند  $ET_0$  از آزمون من-کندال<sup>۵</sup> (MK) و جهت شناسایی علت روند مشاهده شده، از رگرسیون چندگانه خطی استفاده کردند. نتایج این مطالعه حاکی از افزایش  $ET_0$  در برخی از ایستگاه‌ها و کاهش معنی‌دار آن در برخی دیگر در مقیاس سالانه و ماهانه در ایران بود. روند افزایشی  $ET_0$  برجسته‌تر از روند کاهش آن بوده و سرعت باد به عنوان متغیر غالب موثر بر  $ET_0$  در تمام ماه‌های سال به جز ماه‌های فصل زمستان در ایران معرفی شد. پلاتینانو و همکاران (۲۰۱۲) روند  $ET_0$  را در قرن ۲۰ و دهه اول قرن ۲۱ در جنوب رومانی مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. ایشان برای برآورد  $ET_0$  از روش FAO-56 PM استفاده کردند و مشخص گردید که میزان کل تبخیر- تعرق در دهه‌ی اول قرن ۲۱ نسبت به کل دهه‌ی قرن ۲۰ بیشتر بوده است. نامبردگان گرمایش جهانی را علت افزایش تبخیر- تعرق دانسته و نتیجه گرفتند که ارتباط بین تبخیر- تعرق و درجه حرارت بسیار قابل توجه می‌باشد. ترینک و همکاران (۲۰۱۳) ابتدا به مطالعه‌ی تأثیر تغییر اقلیم بر بارش و  $ET_0$  در ۲۲ کشور

3. Reference Crop Evapotranspiration  
4. Mann-Kendall

1. Evapotranspiration  
2. FAO Penman Monteith

اساس تئوری تجزیه‌ی علیت، ساعات آفتابی با ضریب همبستگی  $0.8357$  و ضریب مسیر  $0.5559$ ، اثر قوی‌تری بر  $ET_0$  داشته، در حالیکه حداقل درجه حرارت هوا و رطوبت نسبی هوا در رتبه‌های دوم و سوم قرار داشتند. سان و همکاران (۲۰۱۷) تغییرات ماهانه و سالانه  $ET_0$  در جنوب-غرب چین طی دوره‌ی آماری ۲۰۱۲-۱۹۶۰ را با استفاده از روش FAO-56 PM، مورد مطالعه قرار دادند. نتایج مطالعه‌ی ایشان نشان داد که مقادیر ماهانه و سالانه  $ET_0$  در اکثر ایستگاه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه، کاهش یافته است و متوسط روند سالانه‌ی  $ET_0$  در جنوب‌غرب چین دارای روند منفی در سطح ۵ درصد می‌باشد. مطالعات پراکنده‌ای نیز در ارتباط با روند تغییرات  $ET_0$  در ایران انجام شده است که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود: جهانبخش‌اصل و همکاران (۲۰۰۱) با استفاده از روش‌های ترکیبی، دمایی، تابشی و همبستگی چندگانه و رطوبتی به برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل ایستگاه هواشناسی تبریز پرداخته و نتایج به دست آمده را با روش تشت تبخیر مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد که روش هارگریوز نسبت به سایر روش‌ها تطابق بهتری با روش تشت تبخیر دارد. عابدی‌کوپانی و همکاران (۲۰۰۹) به مقایسه  $ET_0$  با استفاده از معادلات FAO-56 PM، تورک، هارگریوز و تشتک تبخیر با مقادیر نظیر اندازه‌گیری شده توسط میکروولایسیمتر در منطقه اصفهان پرداختند. نتایج نشان داد که معادله FAO-56 PM، از دقت بیشتری نسبت به سایر معادلات در تخمین تبخیر-تعرق روزانه و معادله‌ی تشتک تبخیر از دقت کمتری نسبت به سایر معادلات برخوردار است. سبزی‌پرور و شادمانی (۲۰۱۱) به تحلیل روند  $ET_0$  با استفاده از آزمون MK و اسپیرمن در مناطق خشک ایران پرداختند. نتایج تحقیقات نشان داد که روند تغییرات زمانی  $ET_0$  برای برخی ایستگاه‌ها افزایشی و برای برخی دیگر کاهش‌ی بوده است. بیشترین موارد  $ET_0$  ماهانه در ایستگاه بیرجند اتفاق افتاده و در ایستگاه‌های بندرعباس، سبزوار و سمنان در مقیاس ماهانه روند معنی‌داری مشاهده نمی‌شود. در سری زمانی با مقیاس سالانه، ایستگاه مشهد تندترین مقدار روند افزایشی را با شیب  $7/50$  میلی‌متر در سال از خود نشان داد، از طرف دیگر ایستگاه اصفهان با شیب کاهش  $6/38$  میلی‌متر در سال؛ از روند نزولی

آفریقا پرداخته و میزان آن را برای دو دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ تا ۲۰۵۰ پیش‌بینی نموده و سپس با وضعیت اقلیم کنونی مورد مقایسه قرار دادند. نتایج تحقیقات نشان داد که مجموع کل بارش برای هر دو دوره در آینده برای اکثر کشورهای مورد مطالعه با کاهش قابل توجه ۱۵ تا ۲۰ درصدی همراه خواهد بود و برای برخی کشورها نظیر جیبوتی و یمن افزایش ۱۵ تا ۲۰ درصدی مشاهده گردید. نتایج محاسبه‌ی  $ET_0$  نشان داد که میزان آن برای همه‌ی کشورها در دوره آتی افزایش خواهد یافت. هوو و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی تغییرات زمانی  $ET_0$  در شمال‌غربی چین طی سال‌های ۱۹۵۵ تا ۲۰۰۸ پرداختند. نتایج حاکی از آن است که در طی ۵۰ سال گذشته میانگین سالانه دما، رطوبت و بارش از روند افزایشی قابل توجهی برخوردار بوده و سرعت باد و تابش با روند کاهش‌ی همراه بوده‌اند. همچنین میزان  $ET_0$  به‌طور متوسط حدود ۳ میلی‌متر در سال، روند کاهش‌ی داشته است. در میان متغیرهای اقلیمی، سرعت باد، حساس‌ترین متغیر و رطوبت نسبی، درجه‌حرارت و تابش خورشید به‌ترتیب در اولویت بعدی قرار گرفتند. سهم سرعت‌باد در کاهش  $ET_0$  بیشتر از دیگر متغیرها بوده است. جاجاریا و همکاران (۲۰۱۴) روند  $ET_0$  را در بیابان تار واقع در هند با استفاده از آزمون MK مورد مطالعه قرار دادند. ایشان میزان  $ET_0$  را بر اساس روش FAO-56 PM در مقیاس‌های زمانی مختلف برای دوره ۱۹۶۷ تا ۲۰۰۵ محاسبه نموده و دریافتند که این میزان در مقیاس زمانی سالانه، پیش از فصل مونسون، در فصل مونسون و بعد از فصل مونسون تغییرات کاهش‌ی چشمگیری داشته است. نتایج مطالعات نشان داد که میزان  $ET_0$  در بیابان تار، بیشتر متأثر از مولفه‌ی آئرو‌دینامیکی، کاهش سرعت باد و تغییرات تابشی می‌باشد. افندی و اباربو (۲۰۱۵) با استفاده از روش‌های گوناگون به محاسبه‌ی  $ET_0$  تحت شرایط کنونی آب و هوا، در کشور مصر پرداختند. در تحقیقات ایشان قابلیت خوب روش FAO-56 PM در برآورد  $ET_0$  به اثبات رسید. خینگ و همکاران (۲۰۱۶) به مطالعه  $ET_0$  در جنوب چین طی دوره آماری ۱۹۶۹ تا ۲۰۱۰ پرداختند. ایشان در مطالعه خود از روش‌های FAO-56 PM، تجزیه‌ی علیت استفاده کردند. نتایج تحقیقات نشان داد که در جنوب چین بر

افزایش یافته و حداکثر آن در اواسط فصول بهار و پاییز بوده است. منطقه غرب ایران یکی از قطب‌های مهم کشاورزی در ایران است که در سال‌های اخیر با کمبود آب مواجه شده است. بنابراین، هدف اصلی تحقیق حاضر، بررسی روند تغییرات زمانی این متغیر، در استان‌های زنجان، کردستان، کرمانشاه و همدان، با بکارگیری آزمون من-کندل می‌باشد. هدف بعدی، تخمین مقادیر شیب خط روند با استفاده از روش ناپارامتری تخمین‌گر سن می‌باشد.

### داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه، غرب ایران شامل چهار استان، زنجان، کردستان و کرمانشاه و همدان می‌باشد. داده‌های مورد نیاز، از سازمان هواشناسی کل کشور اخذ گردید و پس از بررسی دوره آماربرداری، ۱۸ ایستگاه با معیارهای زیر انتخاب شدند:

- ۱- دارا بودن حداقل ۲۰ سال آمار منتهی به سال ۲۰۱۵.
  - ۲- عدم دارا بودن داده مفقوده بیش از ۵ درصد کل داده‌ها.
  - ۳- پراکنش مناسب ایستگاه‌ها روی نقشه منطقه.
- در این مطالعه، برای تخمین  $ET_0$  از روش (FAO-56 PM) استفاده شد و برای این منظور از پارامترهای هواشناسی به-شرح جدول ۱ بهره گرفته شد. جدول ۲، مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی منتخب در پژوهش حاضر را نشان می‌دهد و شکل ۱، پراکنندگی ایستگاه‌ها در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

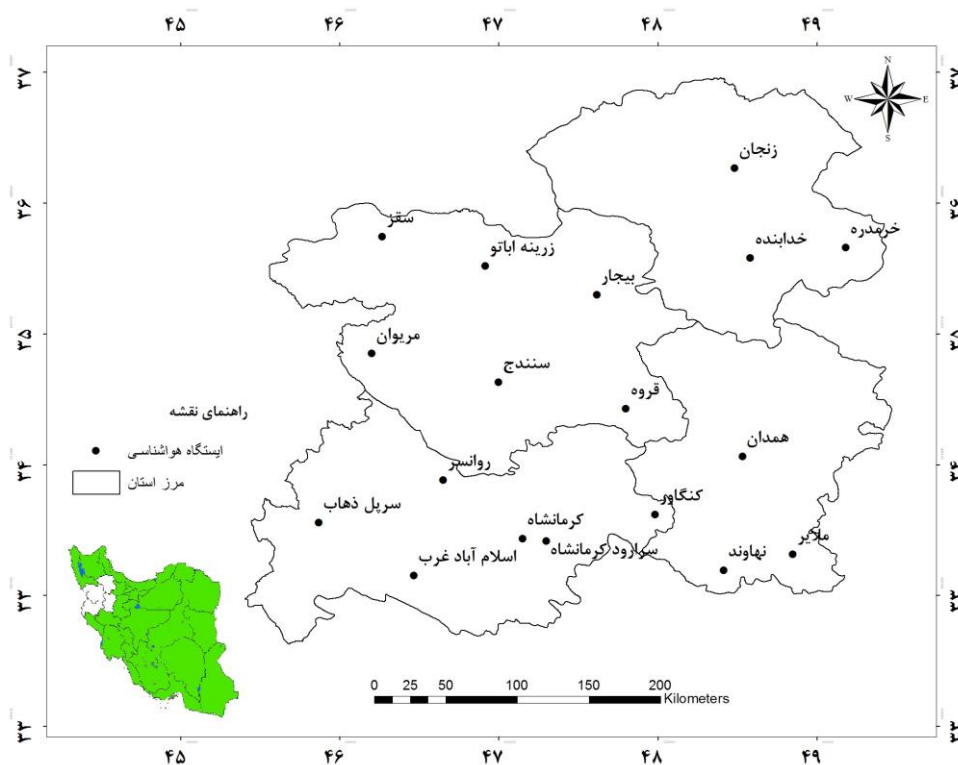
برخوردار بوده است. شریفیان و فرشادمهر (۲۰۱۴) اثرات تغییر اقلیم بر  $ET_0$  را در ایستگاه‌های ده استان کشور، مورد بررسی قرار داده و با استفاده از آخرین رابطه FAO-56 PM، مقادیر روزانه  $ET_0$  را محاسبه نمودند. نتایج حاکی از آن است که تغییرات  $ET_0$  رابطه عکس با تغییرات اقلیمی دارند، بطوریکه در اقلیم‌های مرطوب و سرد و خشک نمودار اقلیم تا دوره ۲۰۰۵-۱۹۹۴ سیر نزولی با نوسانات زیاد و تا ۲۰۰۵-۲۰۰۲ سیر صعودی و در نهایت با کاهش همراه است اما نمودار  $ET_0$  بر خلاف نوسانات اقلیمی یک سیر صعودی را در برمی‌گیرد. رضایی‌بنفشه و همکاران (۲۰۱۳) به برآورد تبخیر- تعرق واقعی در حوضه سفیدرود با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای پرداختند. نتایج تحقیقات نشان داد که دمای سطح زمین به‌طور متوسط در حال افزایش بوده و مقدار تبخیر- تعرق واقعی در حال کاهش می‌باشد. عامل اصلی افزایش دمای سطح نیز، کاهش ۰/۷۸ درصد در بارندگی منطقه در سال ۸۷ بوده است. جهانبخش‌اصل و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی تغییرات نیازآبی گیاه مرجع و متغیرهای هواشناختی مرتبط با آن در استان آذربایجان شرقی پرداختند. ایشان در مطالعه خود از روش‌های FAO-56 PM، روش‌های ناپارامتری اسپیرمن، من-کندل و تخمین‌گر شیب سن استفاده کرده و به این نتیجه رسیدند که تبخیر- تعرق گیاه مرجع دارای روند افزایشی معنی‌داری بوده است. قلیزاده‌الپاوت و امینی‌نیا (۲۰۱۵) جهت آشکار نمودن تغییرات زمانی تبخیر- تعرق پتانسیل از آزمون گرافیکی من-کندل استفاده کرده و دریافتند که با وجود سیر کاهشی این شاخص تا دهه نود میلادی، به تدریج در سال‌های اخیر تبخیر- تعرق پتانسیل

جدول ۱- مشخصات پارامترهای هواشناسی مورد استفاده در این مطالعه. (مأخذ: نگارندگان).

نام پارامتر	علامت اختصاری	واحد
میانگین حداقل دمای هوا	$T_{min}$	درجه سانتی‌گراد
میانگین حداکثر دمای هوا	$T_{max}$	درجه سانتی‌گراد
میانگین دمای هوا	$T_m$	درجه سانتی‌گراد
میانگین حداقل رطوبت نسبی هوا	$RH_{min}$	بی‌بعد
میانگین حداکثر رطوبت نسبی هوا	$RH_{max}$	بی‌بعد
میانگین سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری	U	نات
تعداد ساعات آفتابی مشاهده شده	n	ساعت

جدول ۲- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی منتخب در مطالعه حاضر. (مأخذ: سازمان هواشناسی کشور).

ردیف	نام ایستگاه	دوره آماری	ارتفاع (متر)		عرض جغرافیایی		طول جغرافیایی		میانگین درصد داده‌های گم شده
			ارتفاع	عرض	عرض	طول			
۱	بیجار	۱۹۸۸-۲۰۱۵	۱۸۸۳/۴	۳۵	۳۷	۴۷	۰/۰۰۲		
۲	قروه	۱۹۹۰-۲۰۱۵	۱۹۰۶	۳۵	۴۸	۴۷	۰/۰۰۲		
۳	خدابنده	۱۹۹۵-۲۰۱۵	۱۸۸۷	۳۶	۳۵	۴۸	۰/۰۰۷		
۴	ملایر	۱۹۹۲-۲۰۱۵	۱۷۷۷/۸	۳۴	۵۱	۴۸	۰/۰۰۲		
۵	مریوان	۱۹۹۲-۲۰۱۵	۱۲۸۶/۸	۳۱	۱۲	۴۶	۰/۰۰۴		
۶	روانسر	۱۹۸۹-۲۰۱۵	۱۳۷۹/۷	۴۳	۳۹	۴۶	۰/۰۰۱		
۷	سنندج	۱۹۸۲-۲۰۱۵	۱۳۷۳/۴	۲۰	۰	۴۷	۰/۰۰۳		
۸	زنجان	۱۹۸۲-۲۰۱۵	۱۶۶۳	۴۱	۲۹	۴۸	۰/۰۰۱		
۹	زرینه اباتو	۱۹۹۰-۲۰۱۵	۲۱۴۲/۶	۴	۳۶	۴۶	۰/۰۰۲		
۱۰	اسلام آباد غرب	۱۹۸۷-۲۰۱۵	۱۳۴۸/۸	۷	۲۸	۴۶	۰/۰۰۱		
۱۱	همدان	۱۹۸۰-۲۰۱۵	۱۷۴۱/۵	۵۲	۳۲	۴۸	۰/۰۰۲		
۱۲	کنگاور	۱۹۸۷-۲۰۱۵	۱۴۶۸	۳۰	۵۹	۴۷	۰/۰۰۲		
۱۳	کرمانشاه	۱۹۸۰-۲۰۱۵	۱۳۱۸/۶	۲۱	۹	۴۷	۰/۰۰۴		
۱۴	خرمدره	۱۹۸۶-۲۰۱۵	۱۵۷۵	۱۱	۳۶	۴۹	۰/۰۰۲		
۱۵	نهایند	۱۹۹۶-۲۰۱۵	۱۶۸۰/۹	۹	۲۵	۴۸	۰/۰۰۱		
۱۶	سقز	۱۹۸۴-۲۰۱۵	۱۵۲۲/۸	۱۵	۳۶	۴۶	۰/۰۰۹		
۱۷	سرارود کرمانشاه	۱۹۸۰-۲۰۱۵	۱۳۶۱/۷	۲۰	۱۸	۴۷	۱/۴۴		
۱۸	سرپل ذهاب	۱۹۸۶-۲۰۱۵	۵۴۵	۲۷	۳۴	۴۵	۰/۸۷		



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه و ایستگاه‌های منتخب مورد مطالعه. (مأخذ: نگارندگان).

## روش فائو- پنمن- مانتیث

در مطالعه‌ی حاضر، به منظور تخمین  $ET_0$  از روش PM-FAO-56 که توسط آلن و همکاران (۱۹۹۸) به شرح زیر ارائه گردیده، استفاده شد.

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

در رابطه فوق:  $ET_0$ : تبخیر- تعرق گیاه مرجع برحسب میلی‌متر بر روز،  $\Delta$ : شیب خط مماس بر منحنی فشار بخار اشباع هوا تابعی از میانگین درجه حرارت برحسب کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد،  $R_n$ : تابش خالص رسیده به سطح گیاه برحسب مگاژول بر متر مربع بر روز،  $G$ : چگالی شار حرارتی خاک برحسب مگاژول بر مترمربع بر روز،  $\gamma$ : ثابت سایکرومتری برحسب کیلوپاسکال بر درجه- سانتی‌گراد،  $T$ : میانگین درجه حرارت روزانه هوا برحسب درجه سانتی‌گراد،  $u_2$ : میانگین سرعت باد روزانه در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین برحسب متر بر ثانیه،  $e_s$ : میانگین فشار بخار اشباع هوا در ارتفاع ۱/۵ تا ۲ متری برحسب کیلوپاسکال و  $e_a$ : میانگین فشار بخار واقعی هوا در ارتفاع ۱/۵ تا ۲ متری برحسب کیلوپاسکال می‌باشد.

## آزمون من- کندال

به منظور تعیین روند تغییرات در سری‌های زمانی مربوط به  $ET_0$  از آزمون من- کندال استفاده شد. آزمون MK، آزمونی غیرپارامتری بوده که ابتدا توسط من (۱۹۴۵) ارائه گردید و سپس توسط کندال (۱۹۷۰) بسط و توسعه یافت. فرض  $H_0$  در این آزمون، عدم وجود روند یکنواخت در سری داده‌ها است، در حالیکه فرض مخالف یا  $H_1$ ، دال بر وجود روند معنی‌دار در سری داده‌ها می‌باشد (گوکیک و تراچکویک، ۲۰۱۳).

مراحل محاسبه آماره این آزمون به شرح زیر است:

الف) ابتدا پارامتر  $S$  به شرح زیر بدست آمد:

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

در رابطه‌ی فوق،  $n$ : تعداد داده‌ها؛  $x_j$ : داده  $j$ ام سری و  $x_k$ : داده  $k$ ام سری و تابع  $\text{sgn}$  موسوم به تابع علامت می‌باشد.

ب) واریانس آماره  $S$  با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد: اگر  $n > 10$  باشد.

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{t=1}^m t(t-1)(2t+5)}{18} \quad (3)$$

در رابطه‌ی فوق،  $n$ : تعداد داده‌ها؛  $m$ : تعداد دسته‌هایی است که در هر کدام از آن‌ها، داده‌های تکراری وجود دارد؛  $t$ : فراوانی داده‌های با ارزش یکسان) می‌باشند.

ج) آماره‌ی  $Z$ ، به کمک رابطه‌ی زیر بدست آمد:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

در صورتی که آماره‌ی  $Z$  مثبت باشد، روند صعودی و در صورت منفی بودن آن، روند نزولی در نظر گرفته شد. این مطالعه، سطوح معنی‌دار ۱ و ۵ درصد در نظر گرفته شد. چنانچه قدرمطلق آماره‌ی  $Z$  از مقدار نظیر  $Z_{\alpha/2}$  بیشتر (یا مساوی) می‌شد، فرض صفر (مبنی بر عدم وجود روند در داده‌ها) مردود و در غیر اینصورت، فرض صفر پذیرفته می‌شد.

## روش تخمین گر شیب سن

در تحقیق حاضر، از روش تخمین گر سن (سن، ۱۹۶۸)، جهت تعیین مقدار شیب خط روند سری‌های  $ET_0$  استفاده گردید (نواتنی و استفان، ۲۰۰۷).

$$\beta = \text{Median} \left[ \frac{x_j - x_i}{j - i} \right] \quad (5) \quad \text{برای هر } i > j$$

در رابطه فوق  $x_j$  و  $x_i$  به ترتیب  $i$  امین و  $j$  امین داده مشاهده‌ای و  $\beta$  مقدار شیب خط روند می‌باشد.

## تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی تبخیر- تعرق گیاه مرجع

به منظور بررسی تغییرپذیری زمانی- مکانی روند  $ET_0$  سالانه، از روش وزن‌دهی عکس فاصله<sup>۱</sup> (IDW) استفاده شد. دلیل این تصمیم این است که هیستوگرام مقادیر مورد بررسی چولگی نشان داد که در این شرایط استفاده از روش IDW بلامانع می‌باشد. هرچند در بسیاری از متون چاپ

1. Inverse distance weights

جدول ۳، مقادیر آماره‌ی Z را برای سری‌های زمانی  $ET_0$  ماهانه و سالانه نشان می‌دهد. بطوریکه از این جدول می‌توان استنباط کرد، بیشتر سری‌های زمانی  $ET_0$  ماهانه دارای روند مثبت می‌باشند. به عنوان مثال در مقیاس ماهانه برای ایستگاه‌های کرمانشاه و سرارود کرمانشاه، آماره‌ی Z در همه ماه‌ها بیشتر از ۲/۳۳ می‌باشد. ضمناً تمامی آماره‌های Z مربوط به ایستگاه کرمانشاه، سرارود کرمانشاه، سنندج (بجز ماه‌های مه و نوامبر)، همدان (بجز ماه‌های مه و نوامبر) و اسلام آباد غرب (بجز ماه‌های مه و نوامبر) در سطح یک درصد معنی‌دار و مثبت می‌باشند. این نتیجه بیانگر این است که با گذشت زمان در دوره آماری مورد مطالعه، میزان  $ET_0$  نسبت به گذشته افزایش یافته است. از کل ۲۱۶ سری زمانی ماهانه، تعداد ۱۶۹ مورد (معادل ۷۸/۲۴ درصد ایستگاه‌ها) با روند صعودی همراه بوده است. به عبارت بهتر، تنها ۲۱/۷۶ درصد سری‌های زمانی، دارای روند نزولی بوده است به-طوری‌که در ایستگاه‌های بیچار در ماه نوامبر ( $Z = -۲/۰۷$ )، قروه در ماه سپتامبر ( $Z = -۲/۵۶$ ) و خدابنده در ماه اوت ( $Z = -۳/۴۷$ ) در سطح یک درصد و در ایستگاه‌های خدابنده، ماه‌های سپتامبر ( $Z = -۱/۷۲$ ) و نوامبر ( $Z = -۱/۹۰$ )، روانسر، ماه‌های اوت ( $Z = -۱/۷۵$ ) و اکتبر ( $Z = -۱/۷۹$ ) و در خرمدره، ماه نوامبر ( $Z = -۱/۶۴$ ) در سطح ۱۰ درصد، معنی‌دار بوده است. افزون بر این، بزرگترین آماره‌ی Z محاسبه شده، متعلق به ایستگاه کرمانشاه می‌باشد که مقدار آن در ماه اوت معادل ۵/۴۳ (بسیار معنی‌دار) بدست آمد. سایر آماره‌ها از عدد ذکر شده تا اندازه‌ای کمتر می‌باشند. با بررسی جدول ۲ می‌توان دریافت که منفی‌ترین آماره Z (بیشترین از نظر قدر مطلق)، متعلق به ایستگاه خدابنده در ماه اوت می‌باشد که مقدار آن -۳/۴۷ است و بنابراین، در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. در حالت کلی، می‌توان نتیجه گرفت که در منطقه مورد مطالعه روند تغییرات  $ET_0$  افزایشی است. به عبارتی مقدار آب مورد نیاز گیاهان تقریباً در همه ایستگاه‌ها و ماه‌های مختلف افزایش یافته است. همانگونه که در جدول ۳ (ستون آخر) می‌توان ملاحظه کرد، از کل ۱۸ ایستگاه مورد مطالعه، در همه‌ی آن‌ها (بجز ایستگاه‌های خدابنده، روانسر و نهاوند)،  $ET_0$  سالانه دارای روند مثبت است. بیشترین مقدار آماره‌ی Z متعلق به ایستگاه کرمانشاه

شده بدون مطالعه چولگی داده‌ها از روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ استفاده کرده‌اند که به نظر می‌رسد در چنین شرایطی استفاده از دو روش اخیر مسئله‌ساز است. روش وزن‌دهی عکس فاصله یک روش وزن‌دهی متوسط بوده که در آن داده‌ها از طریق رابطه انحراف معیار یک نقطه از سایر نقاط با استفاده از گره‌های شبکه‌بندی شده، وزن‌دهی می‌شوند (تقی‌زاده مهرجردی و همکاران، ۲۰۰۸). در این روش وزن‌ها تنها با توجه به فاصله‌ی هر نقطه‌ی معلوم نسبت به نقطه‌ی مجهول و بدون توجه به نحوه‌ی پراکندگی نقاط حول نقطه‌ی مورد تخمین، تعیین می‌شوند. به نقاط نزدیک‌تر وزن بیشتر و به نقاط دورتر وزن کمتری داده می‌شود (دلبری و همکاران، ۲۰۱۶). معادله این روش به شکل زیر است (لو و ونگ، ۲۰۰۸):

$$Z_o = \frac{\sum_{i=1}^N z_i d_i^{-n}}{\sum_{i=1}^N d_i^{-n}}$$

(۶)

در رابطه فوق:  $Z_0$ : مقدار

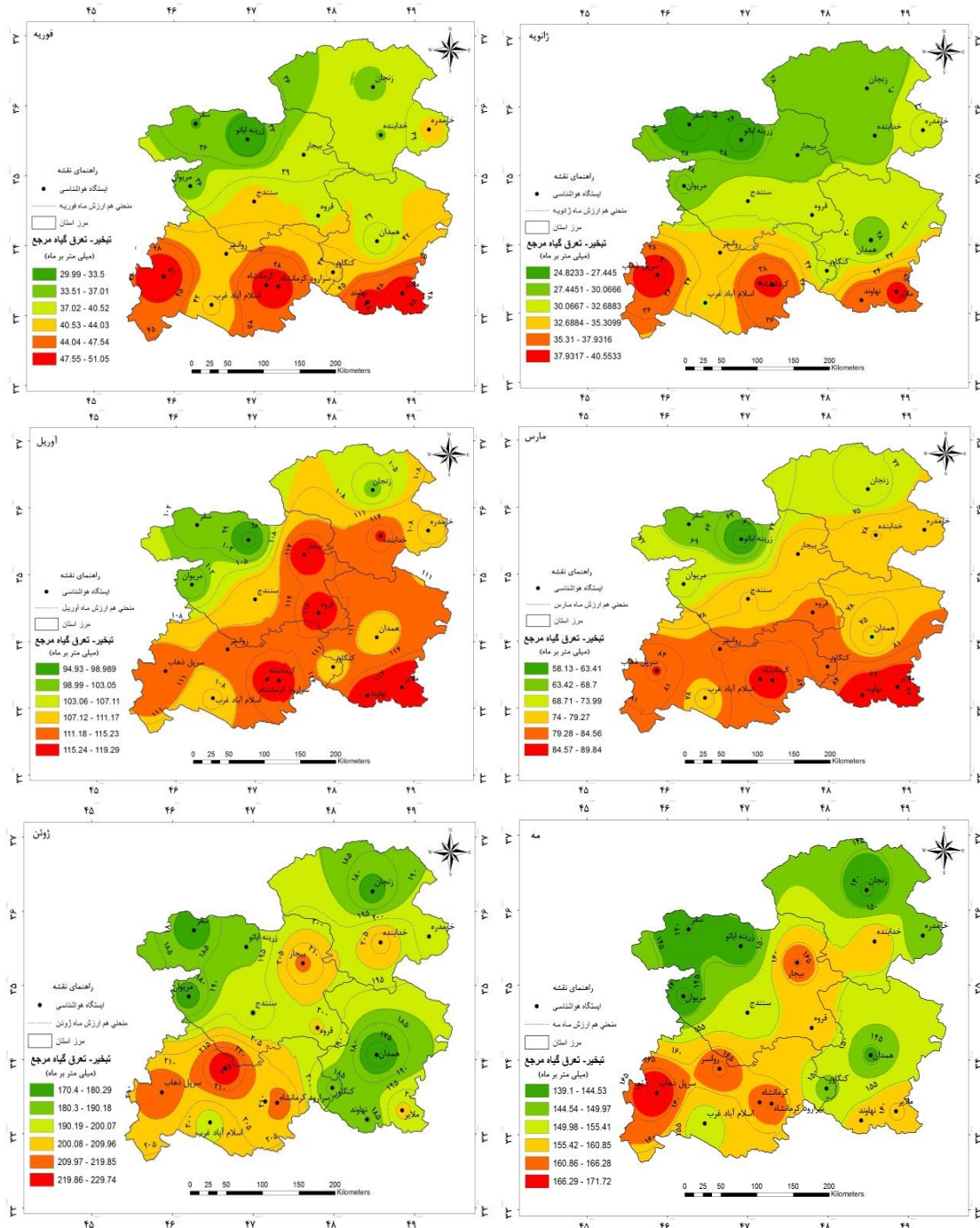
تخمین متغیر Z در نقطه  $i$ ;  $Z_i$ : مقدار نمونه در نقطه  $i$ ;  $d_i$ : فاصله نمونه تا نقطه مورد تخمین و  $n$  ضریبی که وزن را بر اساس فاصله، تعیین می‌کند. این روش، تحت تاثیر ایستگاه‌های مجاور قرار نگرفته و به صورت مستقل تغییرات ایستگاه‌ها را نشان داده و با فاصله از مرکز، شدت تغییرات کاهش می‌یابد.

## یافته‌های پژوهش

شکل ۲، منحنی‌های هم رقوم  $ET_0$  ماهانه در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. برای ترسیم منحنی هم‌ارزش از روش میان‌یابی IDW استفاده شد. بیشترین میزان  $ET_0$  ماهانه در ایستگاه روانسر به میزان ۲۷۰/۵۰ میلی‌متر در ماه و کمترین آن در ایستگاه سقز به میزان ۲۴/۸۲ میلی‌متر در ماه مشاهده شد. شکل ۳، منحنی‌های هم رقوم  $ET_0$  ماهانه در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همانگونه که از شکل مشخص است بیشترین میزان  $ET_0$  سالانه در ایستگاه روانسر به میزان ۱۵۸۳/۹ میلی‌متر در سال و کمترین آن در ایستگاه مشکین‌شهر به میزان ۱۲۲۶/۵ میلی‌متر در سال می‌باشد.

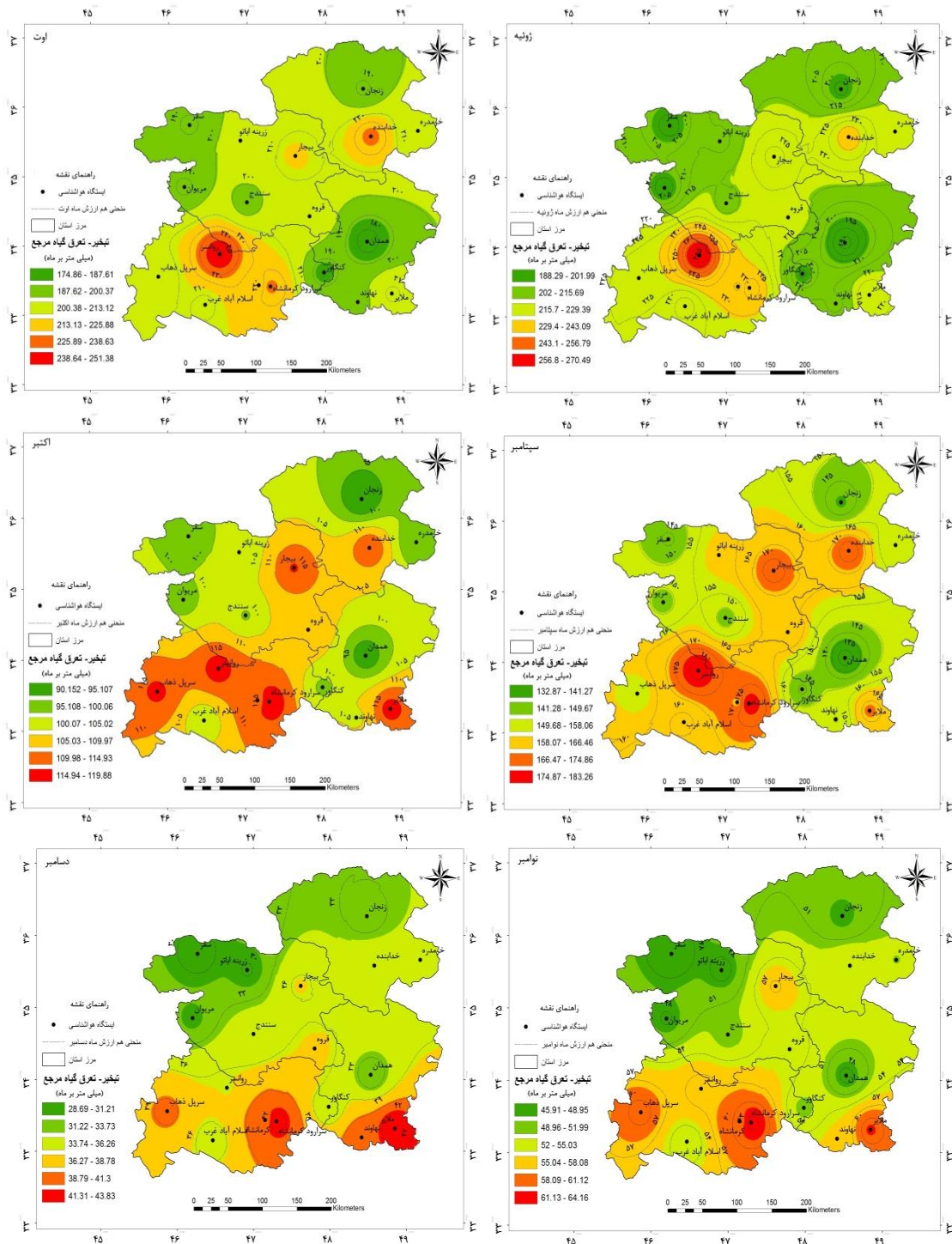
از کل ایستگاه‌های مورد مطالعه، تعداد ۹ ایستگاه (معادل ۵۰ درصد)، دارای روند  $ET_0$  سالانه مثبت و معنی‌دار، در سطح ۱ درصد هستند.

(معادل  $Z= 5/79$ ) و پس از آن ایستگاه سرارود کرمانشاه (با  $Z= 5/11$ ) و سپس همدان (با  $Z= 5/05$ ) قرار دارند که در همه آن‌ها آماره‌ی  $Z$  در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشد.

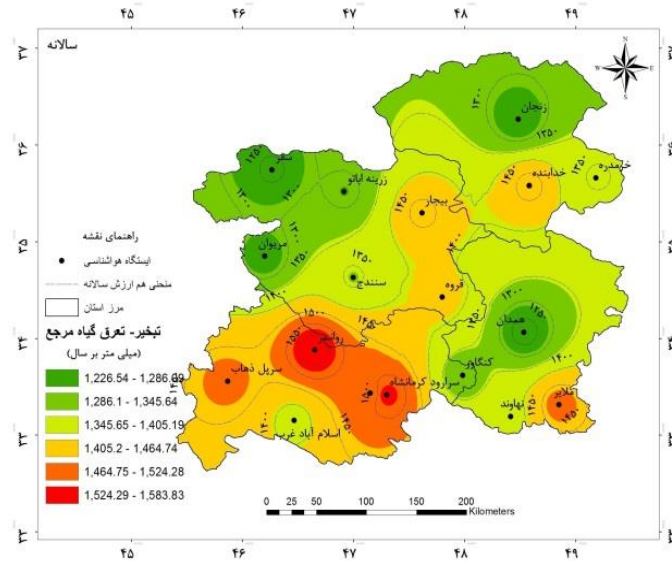


شکل ۲- منحنی‌های هم‌ارزش ماهانه‌ی  $ET_0$  بر حسب میلی‌متر بر ماه در منطقه مورد مطالعه (مأخذ: نگارندگان).





شکل ۲- ادامه (مأخذ: نگارندگان).

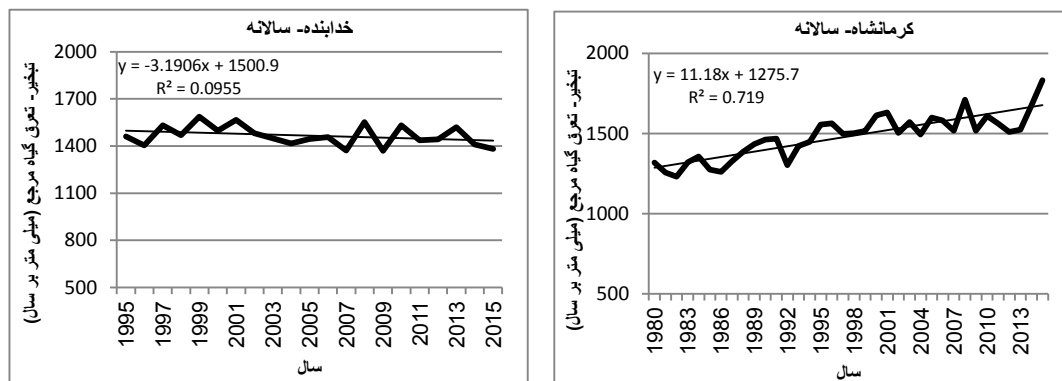


شکل ۳- منحنی‌های هم‌ارزش تبخیرات سالانه‌ی  $ET_0$  بر حسب میلی‌متر بر سال در منطقه مورد مطالعه (مأخذ: نگارندگان).

جدول ۳- مقادیر آماره Z من- کندال تبخیر- تعرق گیاه مرجع ایستگاه‌های مورد مطالعه (مأخذ: نگارندگان).

ایستگاه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	سالانه
بیشار	۲/۰۰°	۲/۷۹°	۳/۰۲°	۱/۸۸°	۰/۸۹	۱/۴۰	۱/۷۶	۰/۴۵	-۰/۳۰	۰/۶۹	-۲/۰۷	-۰/۶۹	۱/۵۶
قروه	۱/۱۲	۲/۱۶°	۲/۷۳°	۱/۵۴	۰/۹۳	-۰/۱۸	۰/۰	-۱/۴۱	-۲/۵۶°	-۰/۲۲	-۱/۲۸	-۰/۴۰	۰/۴۸
خداآباد	۰/۶۳	۰/۵۷	۱/۱۲	۰/۳۹	۰/۱۵	-۰/۴۵	-۰/۶۹	-۳/۴۷°	-۱/۷۲	-۰/۶۹	-۱/۹۰	-۱/۰	-۱/۷۸
ملایر	۰/۳۷	۱/۰۷	۲/۴۶°	۲/۱۶°	۱/۷۶	۱/۸۱	۱/۶۱	۲/۱۶°	۰/۶۷	۱/۵۱	-۰/۸۴	۰/۷۷	۲/۴۱°
مربوط	۰/۷۷	۲/۱۶°	۲/۰۱°	۱/۷۶	-۰/۵۲	-۰/۶۷	-۰/۳۲	-۰/۰۲	-۱/۶۱	-۱/۰۲	-۰/۰۷	۱/۸۱	۰/۲۷
روانسر	۱/۵۸	۱/۵۰	۲/۴۲	۰/۸۳	-۰/۶۳	-۰/۳۸	-۱/۳۸	-۱/۷۵	-۲/۵۰°	-۱/۷۹	-۰/۲۵	۱/۳۸	-۰/۶۳
سندج	۳/۱۷°	۳/۵۳°	۴/۳۹°	۲/۹۶°	۲/۱۱°	۳/۵۶°	۳/۴۱°	۳/۶۵°	۳/۳۸°	۳/۲۶°	۱/۱۹	۳/۵۶°	۴/۰۶°
زنجان	۲/۲۸°	۲/۸۲°	۳/۶۵°	۲/۵۸°	۱/۹۶°	۱/۲۲	۰/۸۶	۰/۸۰	۱/۲۲	۱/۴۲	۰/۶۵	۱/۹۳	۲/۶۴°
زرینه اباتو	۲/۶۷°	۲/۹۵°	۲/۶۴°	۰/۹۷	۰/۷۱	۱/۴۵	۲/۳۸°	۱/۳۷	۰/۷۹	۱/۵۰	-۰/۴۸	۰/۵۱	۱/۹۴
اسلام آباد غرب	۳/۵۱°	۲/۹۸°	۳/۲۱°	۲/۱۹°	۰/۹۲	۲/۵۷°	۳/۲۵°	۲/۷۶°	۲/۷۶°	۳/۰۲°	۱/۱۸	۲/۶۱°	۳/۷۰°
همدان	۲/۱۹°	۳/۴۷°	۴/۴۸°	۲/۸۵°	۲/۲۷°	۴/۱۳°	۴/۳۷°	۴/۴۸°	۵/۲۴°	۴/۰۵°	۱/۱۹	۲/۱۷°	۵/۰۵°
کنگاور	۰/۷۷	۲/۶۱°	۳/۳۶°	۱/۷۸°	۱/۰۳	۱/۵۶	۳/۱۳°	۱/۷۸	۱/۶۳	۲/۵۱°	-۰/۶۰	۱/۳۳	۳/۲۵°
کرمانشاه	۳/۱۵°	۳/۳۹°	۴/۴۰°	۳/۰۹°	۲/۹۸°	۴/۵۹°	۵/۳۳°	۵/۴۳°	۵/۱۱°	۴/۱۰°	۲/۲۵°	۴/۳۲°	۵/۷۹°
خرمدره	۰/۸۶	۱/۳۲	۲/۳۹°	۰/۸۹	۰/۲۵	۰/۵۰	۰/۸۰	-۰/۵۰	-۰/۵۰	-۰/۲۹	-۱/۶۴	-۰/۰۴	۱/۱۸
نهایند	۰/۲۷	-۰/۰۱	۰/۳۱	۰/۰۱	-۰/۲۹	-۰/۶۷	-۰/۶۱	-۱/۲۹	-۱/۰۸	-۰/۹۴	-۰/۹۷	-۰/۹۷	-۰/۹۹
سقز	۲/۰۰°	۲/۳۸°	۲/۹۰°	۲/۳۰°	۱/۱۹	۲/۷۹°	۳/۱۷°	۲/۸۵°	۲/۲۷°	۱/۸۱	۰/۴۸	۱/۳۵	۲/۷۹°
سرارود کرمانشاه	۴/۲۹°	۳/۵۸°	۴/۱۸°	۳/۶۶°	۳/۸۵°	۴/۸۴°	۴/۱۵°	۴/۴۰°	۴/۲۱°	۴/۱۳°	۲/۶۳°	۴/۸۴°	۵/۱۱°
سرپل ذهاب	۳/۲۶°	۲/۸۲°	۳/۷۱°	۲/۷۸°	۰/۱۸	۰/۱۸	۱/۰	۱/۰۷	۱/۳۶	۱/۳۶	۰/۶۱	۱/۷۱	۱/۲۸

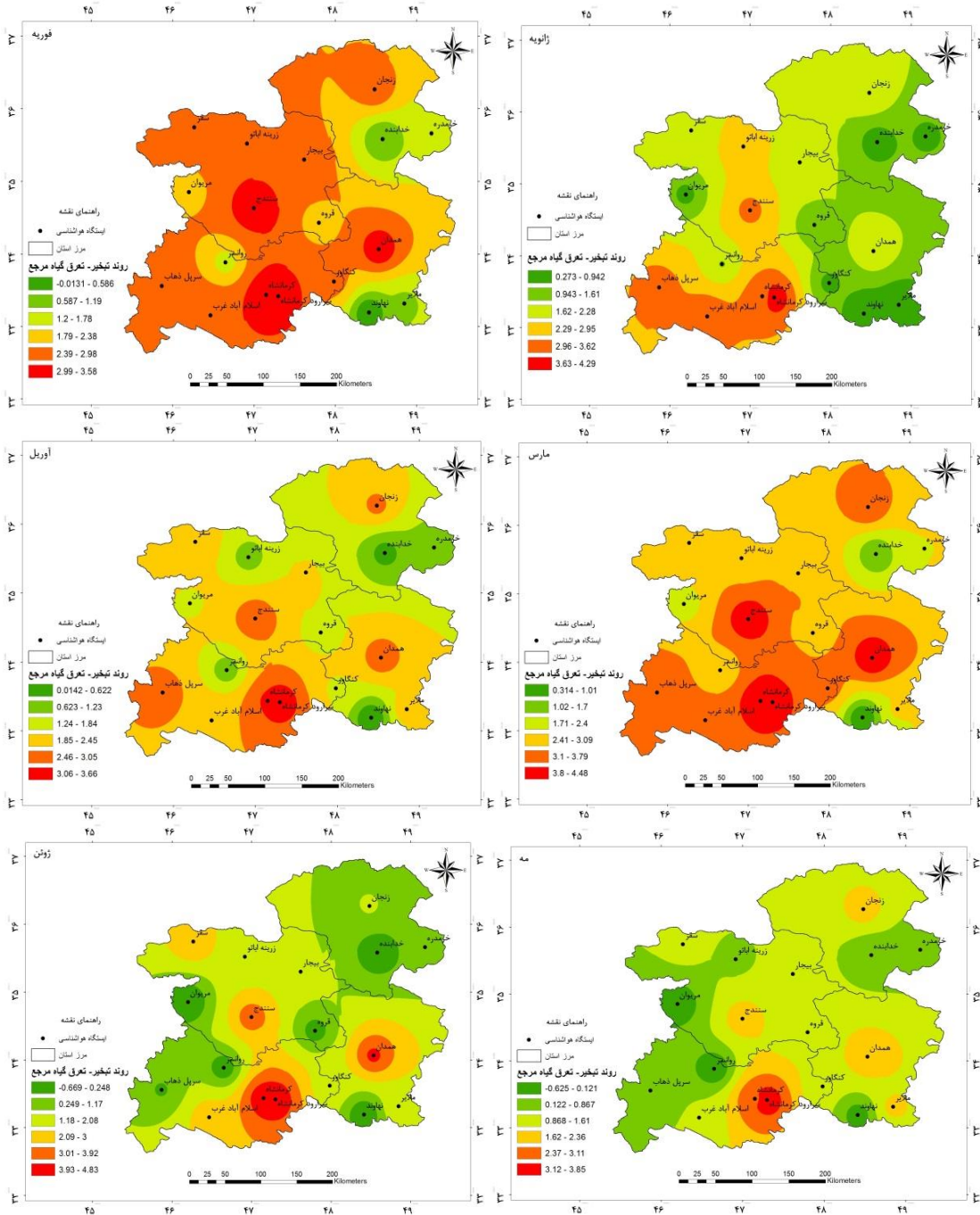
توجه: اعداد پررنگ نشان دهنده معنی‌داری در سطح ۱۰ درصد و اعداد با یک ستاره و دو ستاره به ترتیب نشان دهنده معنی‌داری در سطح ۵ درصد و ۱ درصد می‌باشند.



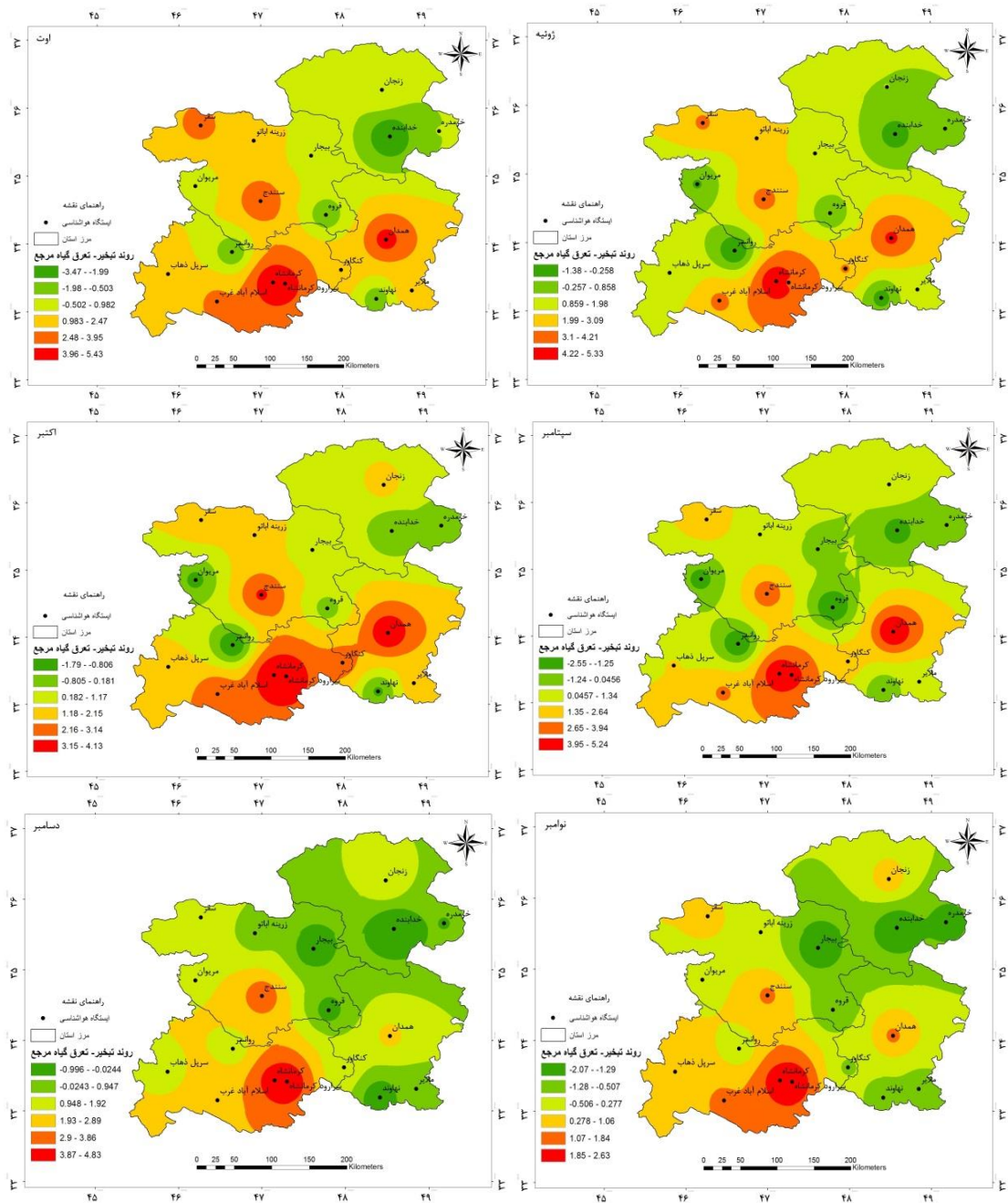
شکل ۴ - روند تغییرات سالانه  $ET_0$  در ایستگاه‌های کرمانشاه (با روند مثبت معنی‌دار) و خداپنده (با روند منفی غیرمعنی‌دار).

بیشترین شیب خط روند، متعلق به ایستگاه سرارود کرمانشاه در ماه اوت (معادل ۲/۲۳ میلی‌متر در سال) می‌باشد. به عبارت بهتر، در یک دوره آماری ۳۶ ساله مقدار  $ET_0$  ماه اوت در ایستگاه سرارود کرمانشاه در انتهای دوره حدود ۸۰/۲۸ میلی‌متر (نسبت به ابتدای دوره) افزایش یافته است. در ردیف بعدی، در ایستگاه اسلام‌آباد غرب،  $ET_0$  در ماه ژوئیه، تندترین شیب خط روند رو به بالا را دارا بوده و این رقم معادل ۱/۸۱ (میلی‌متر در سال) می‌باشد. تندترین شیب منفی، متعلق به ایستگاه خداپنده (در ماه اوت) است که معادل ۲/۰۱- (میلی‌متر در سال) بدست آمد. یعنی مقدار  $ET_0$  این ماه در هر سال، ۲/۰۱- میلی‌متر نسبت به سال قبل در همین ماه کاهش می‌یابد. در مقیاس سالانه، ایستگاه‌های کرمانشاه (با آماره  $Z=5/79$ ) و خداپنده (با آماره  $Z=-1/78$ ) به ترتیب تندترین روند صعودی و نزولی  $ET_0$  سالانه را به خود اختصاص داده‌اند و اکثر ایستگاه‌ها با روند افزایشی و در برخی با روند کاهشی مواجه بوده‌اند. در مقیاس سالانه، شیب خط روند در همه ایستگاه‌ها (بجز ایستگاه‌های خداپنده و روانسر) مثبت می‌باشد و تندترین شیب صعودی متعلق به ایستگاه سرارود کرمانشاه است که دارای شیب خط روند  $ET_0$  سالانه ۱۳/۵۵ میلی‌متر در سال می‌باشد. بدین مفهوم که  $ET_0$  سالانه این ایستگاه در هر سال حدود ۱۳/۵۵ میلی‌متر (نسبت به سال قبل) زیاد شده است. پس از ایستگاه سرارود کرمانشاه، ایستگاه‌های کرمانشاه و همدان دارای تندترین شیب، به ترتیب، معادل با ۱۱/۱۶ و ۱۰/۰۸ میلی‌متر در سال هستند. تندترین شیب نزولی متعلق به ایستگاه روانسر است که دارای شیب خط روند  $ET_0$  سالانه ۹/۲۰- میلی‌متر در سال می‌باشد.

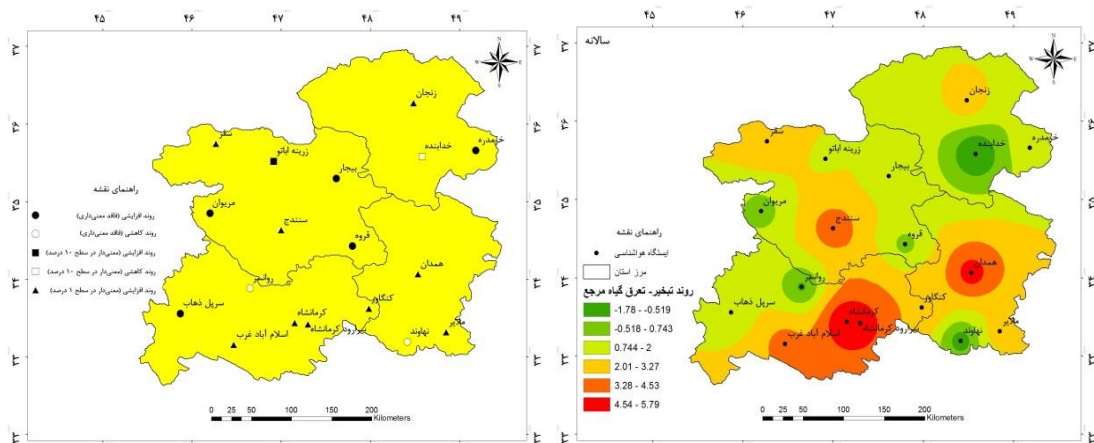
در شکل ۴، ایستگاه‌هایی که بیشترین و کمترین مقادیر آماری  $Z$  سالانه را داشته‌اند، نشان داده شده است. همانگونه که مشخص است، ایستگاه‌های کرمانشاه (با آماره  $Z=5/79$ ) و خداپنده (با آماره  $Z=-1/78$ ) به ترتیب تندترین روند صعودی و نزولی  $ET_0$  سالانه را به خود اختصاص داده‌اند. با توجه به اینکه در مطالعه‌ی حاضر، در مقیاس سالانه، اکثر ایستگاه‌ها با روند افزایشی و در برخی با روند کاهشی مواجه بوده‌اند. بطوریکه روند  $ET_0$  سالانه در ایستگاه اصفهان با  $Z=-2/66$  از نوع کاهشی و در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است و در ایستگاه مشهد، روند  $ET_0$  سالانه با  $Z=4/44$  روند افزایشی معنی‌داری در سطح یک درصد داشته است. در شکل ۵ توزیع جغرافیایی روند تغییرات  $ET_0$  ایستگاه‌ها نشان داده شده است. همچنان که از شکل مشخص است بیشترین  $ET_0$  ماهانه در اکثر ایستگاه‌ها، متعلق به ماه مارس می‌باشد و پس از آن، بیشترین مقادیر  $ET_0$  ماهانه، به ترتیب در ماه‌های ژوئن، ژوئیه و اوت و فوریه مشاهده شد. شکل ۶، توزیع مکانی نوع روند (کاهشی و افزایشی)  $ET_0$  سالانه را در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. همانگونه که مشخص است روند  $ET_0$  سالانه، در همه ایستگاه‌ها ترکیبی از افزایشی و کاهشی بوده است و از بین ۱۸ ایستگاه مورد مطالعه، حدود ۹ ایستگاه (معادل ۵۰ درصد)، دارای  $ET_0$  معنی‌دار (در سطح یک درصد) می‌باشند. جدول ۴، مقادیر شیب خط روند  $ET_0$  (ماهانه و سالانه) را در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. اعداد مندرج در جدول، بیانگر وجود یک شیب خط روند مثبت ماهانه برای اغلب ایستگاه‌ها (و ماه‌ها) می‌باشند. به عبارتی مقدار  $ET_0$  ماهانه با گذشت زمان افزایش یافته است.



شکل ۵- توزیع جغرافیایی روند تغییرات ماهانه ET<sub>0</sub> در منطقه مورد مطالعه. (مأخذ: نگارندگان).



شکل ۵- ادامه، (مأخذ: نگارندگان).



شکل ۵- توزیع جغرافیایی روند تغییرات سالانه ET<sub>0</sub>. شکل ۶- توزیع مکانی نوع روند (افزایشی و کاهش) ET<sub>0</sub> سالانه.

جدول ۴- مقادیر شیب خط روند ET<sub>0</sub> (میلی متر بر سال) با روش تخمین گر سن در ایستگاه‌های مورد مطالعه. (مأخذ: نگارندگان).

ایستگاه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	سالانه
بیجار	۰/۳۹	۰/۷۰	۱/۴۴	۰/۶۹	۰/۵۳	۰/۷۵	۰/۸۲	۰/۱۹	-۰/۰۹	۰/۲۹	-۰/۵۰	-۰/۱۶	۴/۳۱
قروه	۰/۲۲	۰/۵۳	۱/۲۱	۰/۴۹	۰/۳۴	-۰/۰۴	۰/۰۱	-۰/۴۲	-۰/۶۴	-۰/۰۹	-۰/۳۵	-۰/۰۴	۱/۳۶
خدابنده	۰/۲۰	۰/۱۸	۰/۵۶	۰/۲۴	۰/۰۵	-۰/۳۴	-۰/۲۵	-۲/۰۱	-۰/۵۶	-۰/۲۴	-۰/۶۲	-۰/۲۵	-۳/۸۵
ملایر	۰/۰۸	۰/۲۴	۱/۲۱	۰/۹۶	۰/۹۲	۰/۹۰	۰/۹۳	۰/۹۷	۰/۲۴	۰/۶۹	-۰/۲۵	۰/۱۶	۷/۲۹
مریوان	۰/۱۴	۰/۳۵	۱/۰۴	۰/۷۶	-۰/۲۰	-۰/۲۶	-۰/۲۷	۰/۰۰	-۱/۰۱	-۰/۳۷	-۰/۰۳	۰/۳۱	۰/۵۵
روانسر	۰/۲۴	۰/۳۹	۰/۹۴	۰/۵۶	-۰/۳۸	-۰/۱۵	-۰/۹۰	-۰/۸۶	-۱/۱۴	-۰/۶۵	-۰/۰۶	۰/۲۴	-۱/۲۹
سنندج	۰/۳۲	۰/۵۷	۱/۰۷	۰/۶۶	۰/۷۹	۰/۹۸	۱/۰۳	۱/۲۲	۰/۸۱	۰/۷۱	۰/۱۷	۰/۲۸	۸/۷۱
زنجان	۰/۲۸	۰/۳۷	۰/۹۸	۰/۶۰	۰/۵۸	۰/۴۱	۰/۲۱	۰/۳۱	۰/۳۲	۰/۳۰	۰/۱۱	۰/۱۸	۴/۲۰
زرینه اباتو	۰/۲۶	۰/۳۸	۰/۸۲	۰/۳۰	۰/۳۳	۰/۸۱	۱/۲۹	۰/۹۶	۰/۲۹	۰/۹۷	-۰/۱۳	۰/۰۸	۶/۵۴
اسلام آباد غرب	۰/۳۹	۰/۴۴	۰/۸۷	۰/۴۹	۰/۳۲	۱/۳۵	۱/۸۱	۱/۴۱	۰/۸۹	۰/۸۵	۰/۱۹	۰/۴۱	۹/۸۱
همدان	۰/۲۷	۰/۶۵	۱/۲۳	۰/۷۵	۰/۶۱	۰/۹۸	۱/۴۰	۱/۲۲	۱/۴۰	۰/۸۵	۰/۱۷	۰/۲۱	۱۰/۰۸
کنگاور	۰/۱۶	۰/۵۸	۱/۱۳	۰/۴۶	۰/۳۱	۰/۵۴	۰/۹۵	۰/۶۹	۰/۳۵	۰/۷۶	-۰/۰۶	۰/۱۶	۶/۲۹
کرمانشاه	۰/۳۵	۰/۵۲	۱/۰۴	۰/۷۲	۱/۰۱	۱/۳۸	۱/۵۴	۱/۵۶	۱/۳۰	۰/۸۶	۰/۳۰	۰/۴۰	۱۱/۱۶
خرمدره	۰/۰۹	۰/۲۶	۰/۹۰	۰/۲۹	۰/۱۳	۰/۲۱	۰/۲۵	-۰/۱۱	-۰/۱۰	-۰/۰۷	-۰/۲۶	-۰/۰۱	۲/۶۴
نهایند	۰/۱۵	۰/۰۱	۰/۴۷	۰/۱۰	-۰/۴۹	-۱/۴۸	-۰/۹۷	-۱/۶۶	-۱/۱۴	-۱/۴۷	-۰/۸۳	-۰/۶۸	-۹/۲۰
سقز	۰/۲۵	۰/۴۱	۱/۰۲	۰/۵۸	۰/۴۴	۱/۱۹	۱/۴۵	۱/۶۸	۱/۰۲	۰/۶۷	۰/۱۲	۰/۱۴	۹/۲۳
سرارود کرمانشاه	۰/۴۵	۰/۴۶	۰/۹۸	۰/۶۲	۱/۰۷	۱/۶۴	۱/۷۸	۲/۲۳	۱/۸۷	۱/۱۴	۰/۴۴	۰/۵۴	۱۳/۵۵
سرپل ذهاب	۰/۳۳	۰/۳۹	۰/۹۰	۰/۷۱	۰/۰۹	۰/۱۴	۰/۵۵	۰/۶۰	۰/۵۱	۰/۶۱	۰/۰۸	۰/۳۴	۴/۶۹

### نتیجه گیری

با بررسی روند تغییرات ET<sub>0</sub> با روش MK در ۱۸ ایستگاه منطقه مورد مطالعه، نتایج زیر حاصل شد: با گذشت زمان در دوره آماری مورد مطالعه، میزان ET<sub>0</sub> در منطقه نسبت به گذشته افزایش یافته است. از کل ۲۱۶ سری زمانی ماهانه، تعداد ۱۶۹ مورد (معادل ۷۸/۲۴ درصد ایستگاه‌ها) با روند صعودی همراه بوده است. به عبارت بهتر، تنها ۲۱/۷۶ درصد سری‌های زمانی، دارای روند نزولی بوده

است به طوری که در ایستگاه‌های بیجار در ماه نوامبر (۲/۰۷- $Z$  =)، قروه در ماه سپتامبر (۲/۵۶- $Z$  =)، خدابنده در ماه اوت (۳/۴۷- $Z$  =) در یک درصد و در ایستگاه‌های خدابنده، ماههای سپتامبر (۱/۷۲- $Z$  =) و نوامبر (۱/۹۰- $Z$  =)، در روانسر، ماه‌های اوت (۱/۷۵- $Z$  =) و اکتبر (۱/۷۹- $Z$  =) و در خرمدره، ماه نوامبر (۱/۶۴- $Z$  =) در سطح ۱۰ درصد معنی‌دار بوده است. طبق گزارش سبزی‌پرور و شادمانی (۲۰۱۱)، روند تغییرات زمانی ET<sub>0</sub> در منطقه‌ی مورد مطالعه، برای برخی ایستگاه‌ها افزایشی و برای برخی دیگر کاهش‌ی بوده

است که بیشترین موارد  $ET_0$  ماهانه در ایستگاه بیرجند اتفاق افتاده و در ایستگاه‌های بندرعباس، سبزواری و سمنان در مقیاس ماهانه روند معنی‌داری مشاهده نمی‌شود، بر اساس گزارش جهانبخش‌اصل و همکاران (۲۰۱۴)، آماره‌ی  $Z$  ایستگاه‌های تبریز و مراغه از زمان تاسیس ایستگاه‌ها تا سال ۲۰۱۱ در همه ماه‌ها (در تبریز بجز ماه مه) بیشتر از  $2/33$  بوده است و روند تغییرات  $ET_0$  در ایستگاه‌های استان آذربایجان شرقی، در اکثر ماه‌های سال مثبت بوده است که با یافته‌های مطالعه حاضر کاملاً همخوانی دارد، همچنین نتایج بدست آمده برای برخی ایستگاه‌های مورد مطالعه با نتایج بدست آمده از تحقیق جاجاریا و همکاران (۲۰۱۴) و سان و همکاران (۲۰۱۷) همخوانی دارد، جاجاریا و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که میزان  $ET_0$  در زمان پیش از فصل مونسون، فصل مونسون و بعد از فصل مونسون با روند کاهشی همراه بوده است و همچنین سان و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که مقادیر ماهانه و سالانه  $ET_0$  در اکثر ایستگاه‌های جنوب غرب چین با روند کاهشی همراه بوده است، در تحقیق حاضر نیز مقدار  $ET_0$  در  $21/76$  درصد ایستگاه‌ها با روند کاهشی همراه بوده است.

قویترین روند مثبت و منفی برای  $ET_0$  سالانه، به ترتیب در کرمانشاه ( $Z=5/79$ ) و خدابنده ( $Z=-1/78$ ) مشاهده شد. این نتایج، با یافته‌های سبزی‌پرور و شادمانی (۲۰۱۱) و دین‌پژوه و همکاران (۲۰۱۱) که برای برخی ایستگاه‌ها در ایران مطالعه کرده‌اند، همخوانی دارد. طبق گزارش دین‌پژوه و همکاران (۲۰۱۱)،  $ET_0$  در مقیاس سالانه، در ایستگاه‌های مورد مطالعه، ترکیبی از روندهای افزایشی و کاهشی بوده است.

شیب خط روند ماهانه برای اغلب ایستگاه‌ها (و ماه‌ها) مثبت می‌باشد. مفهوم آن این است که مقدار  $ET_0$  ماهانه با گذشت زمان افزایش یافته است. بیشترین شیب خط روند، متعلق به ایستگاه سرارود کرمانشاه در ماه اوت (معادل  $2/23$  میلی‌متر در سال) می‌باشد. بعد از ایستگاه ذکر شده، در ایستگاه اسلام‌آباد غرب،  $ET_0$  در ماه ژوئیه، تندترین شیب خط روند رو به بالا را دارا بوده و این رقم معادل  $1/81$  (میلی‌متر در سال) می‌باشد. در نتایج به‌دست آمده توسط جهانبخش و همکاران (۲۰۱۴)، بیشترین روند

افزایشی  $ET_0$  برای ایستگاه مراغه (۰/۰۹) گزارش شده است که با نتایج حاصل از تحقیق حاضر، همخوانی دارد. در همان گزارش، تندترین روند کاهشی برای ایستگاه اهر برای ماه‌های آوریل و مه (۰/۴-) گزارش شده است که با یافته‌های مطالعه حاضر همخوانی ندارد، زیرا روند کاهشی در مطالعه حاضر در ماه اوت رخ داده است. بیشترین  $ET_0$  ماهانه در اکثر ایستگاه‌ها، متعلق به ماه مارس می‌باشد. که این نتیجه با یافته‌های جهانبخش و همکاران (۲۰۱۴) کاملاً همخوانی دارد. بر اساس گزارش ایشان برای ۶ ایستگاه آذربایجان شرقی روند  $ET_0$  در ماه مارس در بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه افزایشی بوده است. در تحقیق حاضر بیشترین مقادیر  $ET_0$  ماهانه پس از ماه مارس، به ترتیب در ماه‌های ژوئن، ژوئیه و اوت و فوریه مشاهده شد. در مطالعه دین‌پژوه و همکاران (۲۰۱۱)، بیشترین میزان آماره‌ی  $Z$  مربوط به سری  $ET_0$  ماهانه ایستگاه همدان، متعلق به ماه‌های ژوئن ( $4/16$ ) ژوئیه ( $3/40$ ) و اوت ( $4/04$ ) می‌باشد که با یافته‌های این مطالعه کاملاً همخوانی دارد.

در حالت کلی، می‌توان نتیجه گرفت که در منطقه مورد مطالعه روند تغییرات  $ET_0$  در حال افزایش است و با توجه به افزایش  $ET_0$ ، مقدار آب مورد نیاز گیاهان نیز تقریباً در همه ایستگاه‌ها و ماه‌های مختلف افزایش یافته است. با توجه به روند افزایشی و معنی‌دار  $ET_0$  در تمامی ماه‌های سال، می‌توان استنباط کرد که در آینده بحران آب در منطقه مورد مطالعه هم در بخش کشاورزی و هم در بخش‌های دیگر، مردم را با مشکلات جدی مواجه خواهد کرد. تنها با مدیریت علمی آب موجود و قابل دسترس و آگاه‌سازی مردم منطقه از وجود این مشکل و مشارکت دادن آن‌ها در حفاظت از این منبع خدادادی می‌توان بر آن غلبه کرد.

## منابع

- 1- Abedi Koupaei, J., Eslamian, S., and Amini, M.J., 2009, Comparison of four reference estimation methods of evapotranspiration with microsilica data in Isfahan region. Second National Conference on Irrigation and Drainage Networks Management, Shahid Chamran University of Ahvaz, Faculty of Water Engineering.

- 2- Afandi, G.L., and Abdabbo, M., 2015, Evaluation of Reference Evapotranspiration Equations under Current Climate Conditions of Egypt. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 3(10):819-825.
- 3- Allen, R.G., Rereira, L.S., Raes, D., and Smith, M., 1998, *Crop Evapotranspiration: Guideline for computing crop requirements* FAO irrigation and drainage paper. No. 56, FAO Rome, Italy.
- 4- Barzegari, F., and Maleki nejad, H. , 2017, Estimating Irrigation Requirements under Climate Change (Case Study: Yazd-Ardakan Plain). *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, 39(4):85-95.
- 5- Chen, S., Liu, Y., and Axel, T., 2006, Climatic change on the Tibetan plateau: potential evapotranspiration trends from 1961–2000. *Climatic Change*, 76: 291–319.
- 6- Delbari, M., Boustanian, M., Afrasyab, P., 2016, Spatial-temporal variations and zonation of groundwater level of Kohl-Segazi aquifer (Isfahan province) using statistical methods. *geographic-space*, 15(52):305-324.
- 7- Dinpashoh, Y., 2006, Study of reference crop evapotranspiration in I.R. of Iran. *Agricultural Water Management*, 84:123–129.
- 8- Dinpashoh, Y. , 2011, Analysis of the trend of time variation of evaporation - transpiration of reference plant potential; case study: Hamadan station. *geographic-space*, 11(34):260-286.
- 9- Dinpashoh, Y., Jhahharia, D., Fakheri-Fard, A., Singh, V., and Kahya, E., 2011, Trends in reference crop evapotranspiration over Iran. *Journal of Hydrology*, 399:422 – 433.
- 10- Gocic, M., and Trajkovic, S., 2013, Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. *Global and Planetary Change* 100:172–182.
- 11- Gholizadeh Alpavet, H., Amini nia, K., 2015, Investigating the variations of evapotranspiration potential in Tabriz. *Geographic Space*, 15(49): 19 -35.
- 12- Goyal, R.K., 2004, Sensitivity of evapotranspiration to global warming: A case study of arid zone of Rajasthan (India). *Agricultural Water Management*, 69:1–11.
- 13- Huo, Z., Dai, X., Feng, Sh., Kang, Sh., and Huang, G., 2013, Effect of climate change on reference evapotranspiration and aridity index in arid region of China. *Journal of Hydrology*, 492:24 – 34.
- 14- Islamic Republic of Iran Meteorology Office (IRIMO), ([WWW.IRIMO.IR](http://WWW.IRIMO.IR)).
- 15- Jahanbakhsh, S., Khorshiddoust, A.M., Mirhashemi, H., Khorrami, H., and Tadayoni, M, 2014, Trending Changes of the Reference Crop Water Requirement and its Associated Meteorological Variables in East Azerbaijan. *Journal of Water and Soil*, 28( 2):296-306.
- 16- Jahanbakhsh , S., Movahed Danesh, A.A., Molavi, V., 2001, Analysis of evapotranspiration estimation models for Tabriz meteorological station. *Agricultural knowledge*, 11(2):51-65.
- 17- Jhahharia, D., Kumar, R., Dabral, P. P., Singh, V. P., Choudhary, R. R., and Dinpashoh, Y., 2014, Reference evapotranspiration under changing climate over the Thar Desert in India. *Meteorological Applications*, 22(3):425 - 435.
- 18- Kendall, M.G., 1970, *Rank Correlation Methods*. 2nd Ed, New York: Hafner.
- 19- Lu, G.Y., and Wong, D.W., 2008, An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique, *Computers and Geosciences*, 34(9):1044-1055.
- 20- Mann, H.B., 1945., Nonparametric tests against trend, *Econometrica*, 13: 245-259.
- 21- Novotny E.V., and Stefan H.G., 2007, Stream flow in Minnesota: Indicator of climate change. *Journal of Hydrol*, 334:319-333.
- 22- Paltineanu, C., Chitu, E., and Mateescu, E., 2012, New trends for reference evapotranspiration and climatic water deficit., *Int. Agrophys*, 26:159-165.
- 23- Rezaei Banafsheh, M., Jahanbakhsh, S., Valizadeh Kamran, KH., 2013, Estimation of Real Evapotranspiration in Sefid Rood Basin Using Satellite Image Processing. *Geographic Space: Winter 2013*, 13(44): 241 - 262.
- 24- Sabziparvar, A.A., Shadmani, M., 2011, Trends Analysis of Reference Evapotranspiration Rates by Using the Mann-Kendall and Spearman Tests in Arid Regions of Iran. *Journal of Water and Soil*, 25(4):823-834.
- 25- Sen, P.K., 1968, Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau, *Journal of the American Statistical Association*, 63:1379-1389.
- 26- Sharifian, H., Farshadmehr, M., 2014, Investigating the effects of climate change on the evapotranspiration of reference plant in the country. *First National Conference on Water and Agriculture Resources*



- Challenges. Iran Irrigation and Drainage Association, Islamic Azad University of Khorasgan, Esfahan.
- 27- Sun, Sh., Chen, H., Sun, G., and Hua, W., 2017, Attributing the changes in reference evapotranspiration in Southwest China using a new separation method. *Journal of Hydrometeorology Online*. DOI: 10.1175/JHM-D-16-0118.1.
- 28- Taghizadeh Mehrjerdi, R., Zareian Jahromi, M., Mahmodi, Sh., and Heidari, A., 2008, Spatial distribution of groundwater quality with geostatistics (Case study: Yazd-Ardakan plain), *World Applied Science Journal*, 4(1): 9-17.
- 29- Terink, W., Immerzeel, W.W., and Droogers, P., 2013, Climate change projections of precipitation and reference evapotranspiration for the Middle East and Northern Africa until 2050, *International Journal Of Climatology*, 33(14):3055-3072.
- 30- Xing, X., Liu, Y., Zhao, W.G., Kang, D.G., Yu, M., and Ma, X., 2016, Determination of dominant weather parameters on reference evapotranspiration by path analysis theory. *Computers and Electronics in Agriculture*, 120: 10-16.