نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و سوم، شماره ۷۰، پاییز ۱۴۰۲

تغییرات تبخیر- تعرق گیاه مرجع در طی مراحل رشد درخت سیب در شهرستان‌های ارومیه و سمیرم

دریافت مقاله: ۹۷/۹/۲۵ **پذیرش نهایی**: ۹۸/۷/۱۲

صفحات: ۳۶-۲۱

مینو احمدیان: دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
Email: m_ahmadyan89@yahoo.com
بهروز سبحانی: عضو هیئت‌علمی و دانشیار دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران[1].
Email: sobhani@uma.ac.ir
سعید جهانبخش اصل: عضو هیئت‌علمی و استاد دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
Email: s_jahan@tabrizu.ac.ir

چکیده

تبخیر- تعرق گیاه مرجع به دلیل بررسی تغییرات پارامترهای اقلیمی به‌صورت ترکیبی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. هدف از پژوهش حاضر بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تبخیر- تعرق در طول فصل رشد درخت سیب می‌باشد. به این منظور از آمار پایگاه ECMWF برای داده‌های مشاهداتی دو ایستگاه سمیرم و ارومیه طی بازه زمانی ۲۰ ساله (۲۰۰۱۶-۱۹۹۶) استفاده شد. برای بررسی این کمیت در ۲۰ سال آتی از داده‌های روزانه‌ی ریزگردانی دینامیک پروژه‌ی CORDEX با دقت مکانی ۴۴٪ × ۴۴٪ برای خروجی مدل ICHEC-EC-EARTH تحت دو خط سیر ۴/۵ و ۸/۵ واداشت تابشی (RCP) برای بازه زمانی (۲۰۳۷-۲۰۱۷) بهره گرفته شد. به‌منظور کاهش خطاهای موجود در برآوردهای مدل، عمل پس‌پردازش روی‌داده‌های برآورد شده صورت گرفت. سپس با داده‌های دمای کمینه، دمای بیشینه، رطوبت نسبی، سرعت باد و تابش، تبخیر- تعرق پتانسیل به روش پنمن مانتیث فائو که از دقت بالاتری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار است محاسبه و با استفاده از آزمون ناپارمتریک من- کندال و شیب سن در محدوده اطمینان ۹۵٪ روند تبخیر- تعرق مشخص شد. نتایج نشان داد که روند تبخیر- تعرق در هر دو ایستگاه در طول فصل رشد رو به افزایش است. افزایش ETO فصل رشد درخت سیب ایستگاه‌ها نسبت به دوره پایه برای خط سیر ۴/۵ و ۸/۵ برای ایستگاه سمیرم ۳/۸۴ و ۷/۳۷ و برای ایستگاه ارومیه ۵/۰۴ و ۸/۱۶ پیش‌بینی گردید. بیشترین میزان تبخیر برای دوره‌ی رشد میوه رخ داده است. همچنین تفاوت ETO تحت خط سیر ۸/۵ نسبت به دوره پایه بیشتر بوده و تغییرات تبخیر در ایستگاه ارومیه بیشتر از ایستگاه سمیرم می‌باشد.

کلید واژگان: تبخیر- تعرق پتانسیل، درخت سیب، روش پنمن مانتیث فائو

---

۱ . **نویسنده مسئول**: اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم انسانی، گروه جغرافیا

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.24.7]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.21]

مقدمه

پایه و اساس طراحی سیستم‌های آبیاری به‌منظور تولید غذایی بیشتر برای جمعیت رو به ازدیاد با منابع آبی محدود، تعیین میزان تبخیر- تعرق گیاهی، برنامه‌ریزی آبیاری و مطالعات هیدرولوژیکی می‌باشد. تبخیر- تعرق تابعی از عوامل مختلف هواشناسی نظیر دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد و تابش خورشید است. این مؤلفه در مطالعات مختلف کشاورزی از جمله طراحی سیستم‌های آبیاری و زهکشی، طراحی مخازن و برنامه‌ریزی آبیاری نقش مهمی ایفا می‌کند. تخمین بیش‌ازحد آب موردنیاز گیاه ضمن هدر دادن آب آبیاری، باعث ماندابی شدن اراضی، شستشوی مواد غذایی و آلوده نمودن منابع آب زیرزمینی می‌شود. از سوی دیگر تخمین کمتر نیز باعث اعمال تنش خشکی به گیاه شده و به دنبال آن کاهش محصول را به دنبال خواهد داشت. نوسانات آب‌وهوایی بر بخش‌های مختلفی تأثیر خواهد گذاشت که بخش منابع آب و کشاورزی از اصلی‌ترین آن‌ها می‌باشد. با توجه به اینکه تبخیر- تعرق از مؤلفه‌های مهم در مدل‌های آب و هوایی و عامل اصلی مصرف آب در بخش کشاورزی است، تعیین دقیق مقدار آن از مؤلفه‌های اساسی در برنامه‌ریزی برای رسیدن به محصول بیشتر می‌باشد. با توجه به افزایش درجه حرارت هوا انتظار می‌رود در آینده میزان تبخیر- تعرق نیز افزایش یابد که دانستن مقدار دقیق آن می‌توان مدیریت بهره‌برداری آب را بهبود بخشید و در نهایت موجب افزایش راندمان مصرف آب شود. همچنین با توجه به اینکه یکی از مؤلفه‌های اصلی بیلان آبی هر منطقه است برآورد دقیق مقدار آن جهت برآورد آب مصرفی گیاه، تعیین نیاز آبی گیاهان و مطالعه آب مخازن امری ضروری می‌باشد. در این راستا مطالعاتی در ایران و جهان انجام‌شده است از جمله جاجاریا و همکاران (۲۰۱۲،۴۳۵) با بررسی روند تبخیر- تعرق گیاه مرجع در مناطق مرطوب شمال هند، روند کاهشی در میزان تبخیر- تعرق را مشخص نمودند. لیو و ژانگ (۲۰۱۲،۳۹۴۸) مشخص نموده‌اند که تغییرات پارامترهای اقلیمی سرعت باد و ساعات آفتابی موجب روند افزایشی معنی‌دار در میزان تبخیر- تعرق گیاه مرجع می‌گردد.

زونگ زینگ و همکاران (۲۰۱۵،۱۴۴) با بررسی زمانی و مکانی تبخیر- تعرق گیاه مرجع و ارتباط آن با پارامترهای مؤثر در جنوب‌غربی چین، به نقش تعیین‌کننده پارامترهای اقلیمی دما، ساعت، آفتابی و سرعت باد در توزیع و افزایش تبخیر- تعرق اشاره نمودند. استان و همکاران (۲۰۱۶، ۲۸۱) میزان تبخیر- تعرق در دریاچه کالداروسانی در رومانی در بازه زمانی ۲۰۰۹-۲۰۱۴ بررسی کردند. نتایج نشان داد حجم آب ازدست‌رفته توسط تبخیر- تعرق از دریاچه در سال ۲۰۱۴ تقریباً یک سوم حجم رودخانه بوده است لی و همکاران (۲۰۱۷، ۸۵) تغییر پوشش زمین و تغییر آب‌وهوای منطقه‌ای در یک اکوسیستم مرتعی خشک در مغولستان - چین بررسی کردند. نتایج نشان داد که تخریب پوشش گیاهی باعث افزایش آلبدو تقریباً به میزان پنج درصد شده است. همچنین تبخیر- تعرق نیز حدود ۸٪ سانتی‌متر در روز کاهش یافت. سابریجا و همکاران (۲۰۱۹، ۲۱۹) نقشه تبخیر- تعرق مرجع برای بوسنی و هرزگوین در بازه‌ی زمانی ۱۹۶۱-۲۰۱۶ برای ۱۰۸ ایستگاه آب و هواشناسی بررسی کردند. نتایج حاکی از کاهش تدریجی میانگین ETO از جنوب به مرکز و از شمال به بخش مرکزی کشور می‌باشد. جیانگ و همکاران (۲۰۱۹، ۳۶۵) تأثیر متغیرهای آب‌وهوایی بر تبخیر- تعرق مرجع در طول فصل رشد در بازه زمانی ۲۰۱۶-۱۹۶۱ در جنوب‌غربی چین بررسی کردند. نتایج نشان داد که ETO در بازه زمانی ۱۹۹۶-۱۹۶۱ روند کاهشی داشته که کاهش سرعت باد و ساعت آفتابی اهمیت قابل‌توجهی در این روند

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.24.7]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.21]

داشته است. همچنین در دهه‌های ۲۰۱۶-۱۹۹۷ روند کاهش رطوبت نسبی و افزایش درجه حرارت هوا باعث روند افزایشی ETO شده است.

دین‌پژوه (۱۳۸۹،۳۴) با بررسی روند تبخیر- تعرق پتانسیل ماهانه گیاه مرجع در ایستگاه زابل، وجود روند مثبت در سری‌های تبخیر- تعرق پتانسیل در این ایستگاه را ناشی از افزایش سرعت باد دانستند. سبزی پور و شادمانی (۱۳۹۰، ۸۳۴) در تحلیل روند تبخیر- تعرق گیاه مرجع در مناطق خشک ایران مشخص نموده‌اند که روند تغییرات زمانی تبخیر- تعرق برای برخی مناطق افزایشی و در برخی دیگر کاهشی می‌باشد. اسمعیل‌پور و دین‌پژوه (۱۳۹۱،۲۱۰) با بررسی روند بلندمدت ET0 در حوضه جنوبی رود ارس، برای کمینه و بیشینه دما و سرعت باد در بیشتر منطقه روند افزایشی مشخص نمودند. در برآورد تبخیر- تعرق پتانسیل در فصل رویش در رود شور استان مرکزی مشخص شد که میزان تبخیر- تعرق پتانسیل ۶/۱۶ برابر میانگین تبخیر- تعرق واقعی شده است. معصوم‌پور سماکوش و همکاران (۱۳۹۳، ۲۵) با بررسی تغییرپذیری زمانی و مکانی و روند تبخیر- تعرق گیاه مرجع در ایران مشخص نمودند که در کل ایران تبخیر- تعرق گیاه مرجع رو به افزایش است. قربانی و همکاران (۱۳۹۲، ۷۲) با استفاده از مدل LARS-WG متغیرهای هواشناسی آینده را تولید و با استفاده از مدل SDSM، میزان تغییرات نیاز آبی گیاه سویا را در منطقه گرگان بررسی کردند. نتایج حاصل از تحقیق ۱۰٪ افزایش در تبخیر- تعرق گیاه سویا را برای دوره ۱۴۲۱-۱۳۹۲ نسبت به دوره‌ی پایه ۱۳۹۱-۱۳۶۴ نشان داد. در تحقیق ابراهیم پور و همکاران (۲۰۱۴، ۳۴۹) که روی ۴ ایستگاه مشهد، تبریز، بوشهر و زاهدان صورت گرفت، سه عنصر اقلیمی دمای کمینه، دمای بیشینه و بارندگی خروجی مدل HadCM3 تحت دو سناریوی A2 و B2 در دو بازه‌ی زمانی ۳۰ ساله، برای شرایط اقلیمی آینده، با مدل SDSM ریزمقیاس شد. نتایج نشان‌دهنده افزایش ۵/۳۵ و ۱/۴۹ میلی‌متر در ماه به ترتیب برای دوره‌های ۲۰۵۰-۲۰۲۰ و ۲۰۵۰-۲۰۸۰ تحت سناریوی A2 و ۳/۵۴ و ۸/۰۸ میلی‌متر در ماه، تحت سناریوی B2 نسبت به دوره‌ی پایه ۱۹۶۱-۱۹۹۴ بود. علاوه بر روش‌های ریزمقیاس آماری، قهرمان و همکاران (۱۳۹۳،۶۹)، با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی دینامیکی RegCM، توانایی این مدل را در برآورد تبخیر- تعرق پتانسیل در دوره ۲۰۲۱-۲۰۳۵ برای دشت مشهد بررسی کردند. بر اساس نتایج حاصل، میزان تبخیر- تعرق پتانسیل ۱۶/۳۴٪ در دوره‌ی ۲۰۲۱-۲۰۳۵ نسبت به دوره ۱۹۸۵-۱۹۶۱ افزایش خواهد یافت. قهرمان و همکاران (۱۳۹۵، ۶۹۶) میزان تغییرات تبخیر- تعرق بر اساس سناریوهای RCP و مدل‌های اقلیمی پس‌پردازش‌شده‌ی طرح CORDEX در ۵۰ سال آتی را در دشت مشهد بررسی کردند. نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین میزان تبخیر- تعرق پتانسیل تحت هر دو سناریوی نسبت به دوره‌ی پایه به ترتیب در ماه ژانویه و اکتبر می‌باشد. میان‌آبادی و همکاران (۱۳۹۵،۴۱) مقدار تبخیر برای دوره پایه و دوره آینده را با استفاده از مدل اقلیمی به‌دست‌آمده از پروژه CORDEX تخمین زدند. نتایج بررسی تغییر اقلیم نشان داد که مقدار بارش در دوره آینده ۰/۴۸ درصد کاهش و دمای متوسط، تبخیر پتانسیل و تبخیر واقعی به ترتیب ۱۱/۲۵، ۴/۶۶ و ۲/۱۱ درصد افزایش خواهد یافت. دانشور مروست (۱۳۹۸، ۲۳۳) تبخیر- تعرق بر مبنای اطلاعات اقلیمی ۱۴ ایستگاه سقز با ۱۴ روش پهنه‌بندی کردند. نتایج نشان داد که غرب حوضه به دلیل ارتفاع بیشتر تبخیر- تعرق کمتری نسبت به شرق حوضه دارد. ساعت آفتابی، دمای بیشینه و کمینه از عوامل مؤثر بر تبخیر- تعرق در این منطقه است. حیدری و خشخو (۱۳۹۸، ۱۵۷) تبخیر-

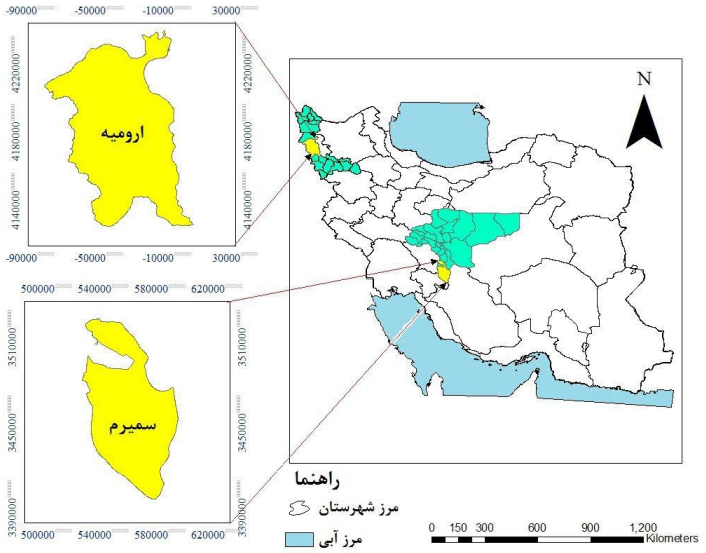
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.24.7]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.21]

تعرق گیاه مرجع در مقیاس زمانی فصلی و سالانه چند ایستگاه منتخب غرب ایران با کمک ریز مقیاس‌نمایی SDSM بررسی کردند. نتایج کلی این تحقیق نشان داد که بیشترین نرخ افزایشی تبخیر- تعرق دوره‌های آتی در مقایسه با دوره پایه در مقیاس‌های فصلی و سالانه در کل منطقه تحت سناریوی RCP 8.5 در دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۱ است. کشت درختان میوه و تولیدات باغی مزیت شناخته‌شده‌ی اقتصاد کشاورزی ایران و مناطق موردمطالعه محسوب می‌شود. یکی از محصولات عمده‌ی باغی استراتژیکی که ایران را به یکی از کشورهای صادرکننده تبدیل کرده تولید میوه‌ی سیب است. ظهور پدیده‌ی گرمایش جهانی و افزایش میزان تبخیر_ تعرق، میزان تولید و عملکرد محصولات باغی را مخاطره‌آمیز ساخته است؛ بنابراین برای دستیابی به تولید مطلوب و همچنین اعمال مدیریت مناسب‌تر، دانستن میزان تبخیر و تعرق و تغییرات آن برای محصول ضروری است. با توجه به این موضوع و اهمیت باغات سیب در مناطق سمیرم و ارومیه ازلحاظ آب‌وهوا، اقتصاد و اشتغال لازم است که تبخیر- تعرق این مناطق موردبررسی و ارزیابی قرار گیرند تا بتوان اثرات آن را در مدیریت‌های منطقه مدنظر قرارداد و به کمک آن مصرف آب در کشاورزی را بهبود بخشید و میزان تولید را افزایش داد.

روش تحقیق

معرفی محدوده موردمطالعه

مناطق موردبررسی در این پژوهش، شهرستان‌های ارومیه و سمیرم است. شرایط طبیعی و جغرافیایی استان آذربایجان غربی برای تولید و صادرات سیب بسیار مناسب است. باغ‌های سیب در همه شهرهای این استان وجود دارند ولی شهرستان ارومیه با اختصاص ۴۵ درصد از این باغ‌ها در رتبه اول است. شهرستان سمیرم ۴/۹ درصد مساحت و ۱/۶۵ درصد جمعیت استان اصفهان را شامل می‌شود. این شهرستان دارای آب‌وهوای کوهستانی با زمستان‌های سرد و پربرف و تابستان‌های خشک و معتدل است شکل (۱).



شکل (۱). نقشه‌ی مناطق موردمطالعه

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.24.7]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.21]

داده و روش کار

داده‌های مشاهداتی این پژوهش مربوط به دوره‌ی پایه ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۶ میلادی شامل پارامترهای آب‌وهوایی، کمینه، بیشینه و متوسط دما، بارش، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعت آفتابی است که به‌صورت روزانه از نسخه‌ی ERA-Interim[1] با تفکیک مکانی ۰/۱۲۵ ×۰/ ۱۲۵ درجه قوسی به دلیل کوتاه‌مدت بودن طول دوره داده‌های سازمان هواشناسی کشور برای ایستگاه سمیرم دریافت شد. برای شناخت و ارزیابی مقدار دقت و صحت داده‌های پایگاه ECMWF با داده‌های مشاهداتی سازمان هواشناسی کشور طی بازه زمانی مشترک (ایستگاه ارومیه از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۶ و ایستگاه سمیرم از سال ۲۰۰۲ تا سال ۲۰۱۶) از آماره‌های ضریب همبستگی پیرسون (R)، ضریب تعیین (R2)، میانگین قدر مطلق خطا (MSE)، ریشه‌ی دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) و NRMSE بهره گرفته شد. ازآنجاکه مقدار آماره RMSE به دامنه‌ی تغییرات داده‌ها وابسته است، نمی‌توان مقدار RMSE به‌دست‌آمده از دو مقایسه متفاوت را باهم قیاس کرد. همچنین نمی‌توان گفت که چه مقداری از RMSE نشان‌دهنده‌ی کفایت مدل است چراکه مقدار RMSE متناسب با دامنه‌ی تغییرات سری‌های موردبررسی، از موضوعی به موضوع دیگر متفاوت خواهد بود. برای برطرف کردن این مشکل بهتر است مقدار RMSE به‌صورت استاندار شده عرضه شود تا بتوان مقدار RMSE به‌دست‌آمده در نقاط گوناگون را باهم مقایسه کرد. به همین دلیل در این پژوهش از آماره‌ی دیگری به‌نام NRMSE نیز استفاده‌شده است. در این رابطه با تقسیم مقدار RMSE به‌دست‌آمده بر میانگین داده‌های مشاهداتی آن را استاندارد و به‌صورت بی-بعد نمایش می‌دهیم تا مقدار به‌دست‌آمده در ایستگاه‌های متفاوت را بتوان با یکدیگر مقایسه کرد (رضیئی و ستوده، ۱۳۹۶، ۱۴۹). این آماره‌ها بیش‌ترین کاربرد را در تجزیه‌وتحلیل‌های مقایسه‌ای دارند و از آن‌ها برای مقایسه پیش‌بینی‌های یک مدل در برابر داده‌های مشاهده‌ی استفاده می‌شود (موریاسی و همکاران، ۲۰۰۷، ۸۸۶).

در ادامه دوره‌ی رویشی درخت سیب که شامل مراحل تشکیل جوانه، شکفتن جوانه، گل‌دهی، رشد میوه و رسیدن میوه بر مبنای دمای پایه که ۴/۵ درجه سانتی‌گراد است (فری و وارینگتون، ۲۰۰۳، ۶۳۵) به تفکیک هر سال مشخص گردید. سپس میزان تبخیر – تعرق پتانسیل (ET_o) روزانه این چرخه‌ها به روش پنمن-مونتیث فائو محاسبه گردید رابطه (۱).

$$ET_O=\frac{0.408}{.}\frac{\Delta(Rn-G)+y(\frac{900}{T}+273)(US)(es-ea)}{\Delta+y(1+0.34\ US)}$$ رابطه (۱)

در رابطه (۱)، ETO تبخیر- تعرق پتانسیل برحسب میلی‌متر بر روز،Rn تابش خالص در سطح پوشش گیاهی برحسب ($MJ\ M^{-2}\ day^{-1}$)، T متوسط دمای هوا در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (c^o)، e_s-e_d اختلاف فشار بخارآب در ارتفاع دوم متری نسبت به حالت اشباع برحسب ($kPa^o\ C^{-1}$)، G شار گرمایی به داخل خاک MJ و ضریب رطوبتی ($kPa^o\ C^-$) است. ازآنجایی‌که پارامترهای کمینه و بیشینه دما برحسب (c^o)، بارش برحسب mm،

۱-ECMWF پایگاه داده‌ی مرکز پیش‌بینی میان‌مدت جوی اروپا

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.24.7]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.21]

رطوبت نسبی برحسب درصد، سرعت باد (m/s) در ارتفاع ۲ متری، تابش آفتاب برحسب ($MJ\ M^{-2}\ day^{-1}$) موردنظر است، داده‌های پایگاه ECMWF تبدیل واحد شدند.

برای مشخص کردن روند داده‌ها در مراحل رشد از آزمون آماری- گرافیکی من-کندال و جهت برآورد نمودن شیب واقعی روند زمان از روش نا پارامتریک سن استفاده شد.

جهت تشخیص روند در سری‌های زمانی متغیرهای آب و هواشناسی از آزمون‌های مختلفی استفاده می‌گردد که این آزمون‌ها به دو دسته پارامتری و غیرپارامتری قابل‌تفکیک می‌باشند.

مدل اقلیمی

برای بررسی اثر تغییر اقلیم بر تبخیر- تعرق و نیازآبی ایستگاه‌های موردمطالعه مدل اقلیمی جهانی منتخب از مرکز هواشناسی و آب‌شناسی سوئد (SMHI) که طی طرح CORDEX ریزمقیاس شده بود، تحت دو خط سیر RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره‌ی ۲۰ ساله‌ی ۲۰۳۷-۲۰۱۷ تهیه شد. طرح CORDEX ترکیبی از چندین مدل منطقه‌ای می‌باشد که برای ۱۳ دامنه شامل اروپا، افریقا، آسیای مرکزی، غرب آسیا، شرق آسیا، منا، استرالیا، امریکای شمالی، امریکای جنوبی، امریکای مرکزی، قطب شمال، قطب جنوب و منطقه مدیترانه در حال انجام است. کشور ایران به‌طور کامل در دامنه جنوب آسیا، منا، آسیای مرکزی و بخش عظیمی از آن در دامنه افریقا قرار دارد. خروجی CORDEX برای دوره تاریخی (۲۰۰۵-۱۸۵۰) و در دوره آینده (۲۱۰۰-۲۰۰۶) و در شبکه ۰/۲۲ و ۰/۴۴ درجه فراهم‌شده است (میان‌آبادی و همکاران،۱۳۹۵، ۴۰۰). با توجه به اینکه داده‌های CORDEX باقدرت تفکیک مکانی ۴۴٪ داده‌های برآورد شده تحت سناریوی تغییر اقلیم و داده‌های تاریخی برای دامنه‌ی منا را پوشش می‌دهد داده‌های این تفکیک مکانی در پژوهش حاضر استفاده شد. از میان سه مدل پیشنهادی، CNRM-CERFACS-CNRM-CM5، ICHEC-EC-EARTH، NOAA-GFDL-GFDL-ESM2M، پایگاه CORDEX با توجه به نتایج حاصل از تخمین‌گرهای خطا (R)، (R2)، (MSE)، (RMSE) و NRMSE بر روی‌داده‌های تاریخی، مدل مرکز اروپایی تحقیقات زمین (ICHEC-EC-EARTH) انتخاب گردید. سپس داده-های روزانه دماهای کمینه و بیشینه، بارش، رطوبت نسبی، تابش و سرعت باد این مدل استخراج گردید. با توجه به واحد پارامترهای اقلیمی موردنیاز برای محاسبه‌ی (ET_o) به روش پنمن- مونتیث فائو داده‌های روزانه-ی پایگاه CORDEX تبدیل واحد شدند.

در راستای تعدیل خطای مدل از عملیات پس‌پردازش استفاده شد. به‌طورکلی مکانیسم عمل مدل منطقه‌ای با استفاده از روش عامل تغییر[1] به این صورت است که تفاوت یا نسبت مدل منطقه‌ای در آینده با دوره‌ی گذشته محاسبه می‌شود و به دوره‌ی گذشته‌ی ایستگاه مشاهداتی اضافه می‌شود رابطه (۲). درنهایت این مقدار پس‌پردازش در مدل اعمال شد (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸،۱۴۰).

$$ET_{PP=}\ ET_{obs} \times \left(\frac{ET_{GCM}^{FUT}}{ET_{GCM}^{base}}\right)$$ رابطه (۲)

2 . Change factor

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.24.7]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.21]

در رابطه (۲)، ET_{pp} ، ET_{obs}، ET_{GCM}^{FUT} و ET_{GCM}^{base} به ترتیب مربوط به تبخیر- تعرق پس‌پردازش‌شده، تبخیر- تعرق مشاهده‌شده، تبخیر- تعرق پیش‌بینی‌شده بر روی شبکه مدل در دوره‌ی آینده و تبخیر- تعرق بر روی شبکه‌ی مدل در دوره‌ی گذشته می‌باشند. در نهایت سه سری داده تولید شد، سری اول داده‌های مربوط به ETO محاسبه‌شده با توجه به داده‌های پایگاه ECMWF برای هر دو ایستگاه می‌باشند که تحت عنوان مقادیر تبخیر مشاهده‌شده (obs) ثبت‌شده‌اند. سری دوم داده‌های مربوط به ETO محاسبه‌شده با توجه به داده-های حاصل از خروجی مدل در دوره پایه ICHEC-EC-EARTH هستند که این دسته از داده‌ها تحت عنوان داده‌های تاریخی برآورد شده (hist) نام‌گذاری شدند و دسته سوم داده‌های پس‌پردازش‌شده (pp) می‌باشند.

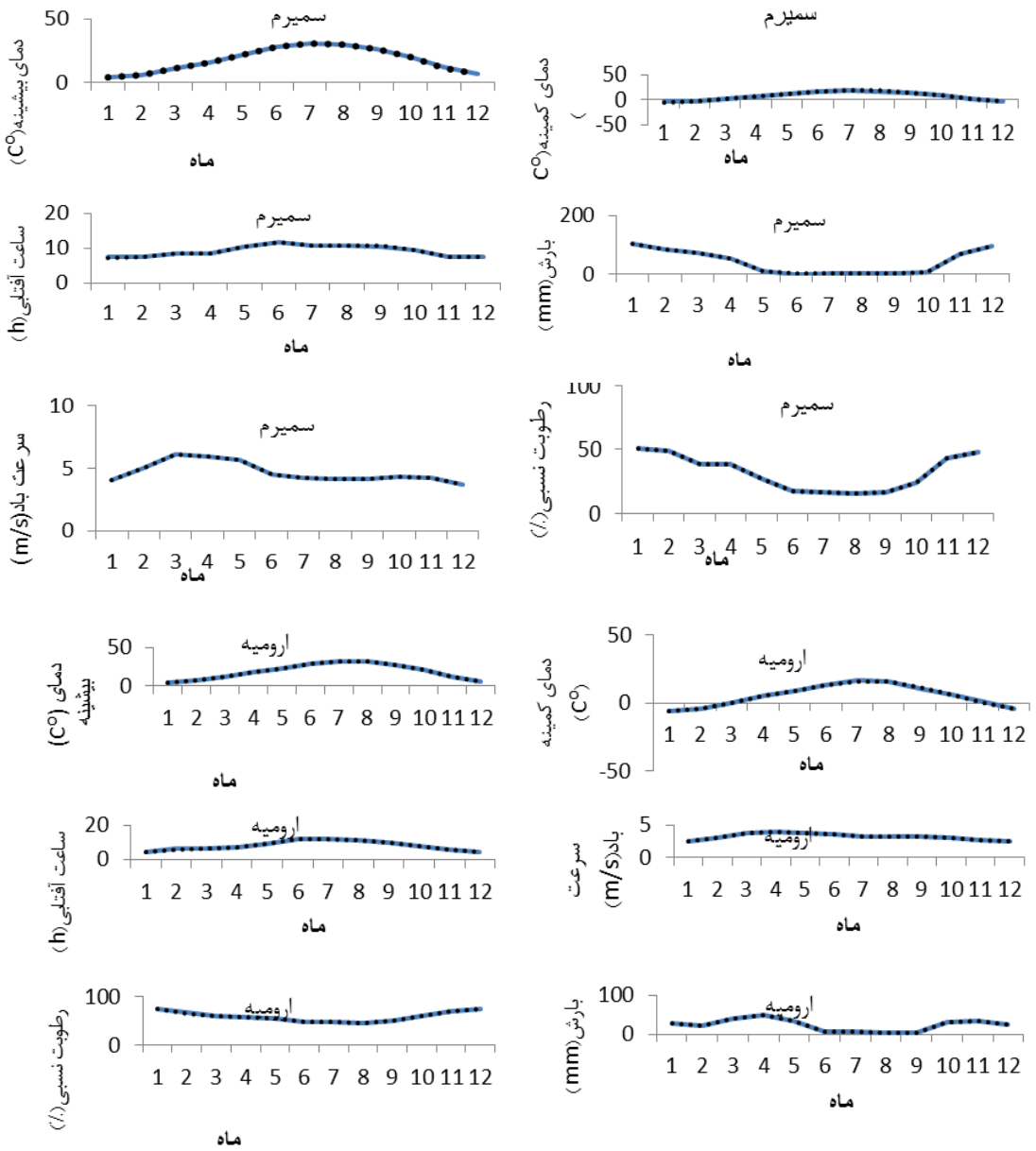
نتایج

نتایج حاصل از این پژوهش در چند بخش عرضه‌شده است. در بخش اول نتایج آماری بین داده‌های ERA-Interim و داده‌های مشاهداتی در ایستگاه‌های موردبررسی در جدول (۱) و شکل (۲) برای نمونه نمایش داده‌شده است. دقت زیاد داده‌های این پایگاه برای ایستگاه‌های سمیرم و ارومیه تأیید شد. یافته‌های این پژوهش با یافته‌های دیگر پژوهشگران در زمینه‌ی دقت زیاد داده‌های نسخه‌ی ERA -Interim از جمله دارند و کریمی (۱۳۹۴،۶۶۰)، همخوانی دارد.

جدول (۱). مقادیر RMSE، MSE، R^2، R و NRSME بین داده‌های مشاهداتی با داده‌های پایگاه ECMWF

	سمیرم					ارومیه				
	RMSE	MSE	R^2	R	NRSME	RMSE	MSE	R^2	R	NRSME
دمای کمینه (C^O)	۰/۱۱	۰/۰۱	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۰۱	۰/۲۲	۰/۰۴	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۰۴
دمای بیشینه (C^O)	۰۳٪	۰۰٪	۹۹٪	۹۹٪	۰۰۲٪	۰۶٪	۰۰۴٪	۹۹٪	۹۹٪	۰۰۳٪
بارش (mm)	۰/۲۸	۰/۰۷	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۰۰۶	۰/۶	۰/۰۰۳	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۰۰۲
ساعت آفتابی(h)	٪۰۵	٪۰۰۳	٪۹۹	٪۹۹	٪۰۰۶	۰۴٪	۰۰۱٪	۹۹٪	۹۹٪	۰۰۵٪
رطوبت نسبی(٪)	۰۲٪	۰۰۰۶٪	۹۹٪	۹۹٪	۰۰۰۷٪	۶۱٪	۳۸٪	۹۹٪	۹۹٪	۰۱٪
باد (m/s)	۰/۰۰۲	۰/۰	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۰۰۰۶	۰/۰۹	۰/۰۰۸	۰/۹۶	۰/۹۸	۰۲٪

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.24.7]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.21]



شکل(۲). مقایسه متغیرهای آب و هوایی مشاهداتی با داده‌های پایگاه ECMWF

در بخش بعدی برای انتخاب بهترین مدل برای مناطق موردمطالعه، خروجی داده‌های تبخیر- تعرق فصل رشد دوره پایه مدل‌های مختلف پروژه CORDEX با داده‌های مشاهداتی مقایسه گردید جدول (۲). همان‌طور که در جدول (۲) مشخص می‌شود مدل ICHEC-EC-EARTH توانایی به نسبت بهتری در برآورد میزان تبخیر- تعرق پتانسیل در مقایسه با دو مدل دیگر را دارد. با انتخاب مدل ICHEC-EC-EARTH و تحلیل داده‌های پس‌پردازش‌شده‌ی حاصل از خروجی این مدل ریزمقیاس نمایی، توانایی آن در برآورد میزان تبخیر- تعرق

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.24.7]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.21]

پتانسیل فصل رشد دوره‌ی پایه بررسی شد. همان‌طور که در جداول (۳ و ۴) دیده می‌شود، اعمال پس‌پردازش روی‌داده‌های تاریخی، توانسته است به مقدار بسیار زیادی کارایی مدل را در شبیه‌سازی تبخیر- تعرق افزایش دهد. بعدازآن با استفاده از داده‌های مشاهداتی و خروجی مدل تحت دو خط سیر RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره‌ی آینده میزان تغییرات تبخیر- تعرق و نیاز آبی در طول دوره رشد درخت سیب موردبررسی قرار گرفت.

جدول (۲). مقادیر RMSE، MSE، R^2، R و NRSME تبخیر- تعرق داده‌های تاریخی فصل رشد درخت سیب برای مدل- های مختلف CORDEX

	ایستگاه ارومیه					ایستگاه سمیرم				
	RMSE	MSE	R^2	R	NRSM	RMSE	MSE	R^2	R	NRSME
EC-EARTH	۰/۷۲	۰/۵۶	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۲۶	۰/۸۶	۰/۷۵	۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۰۶
CNRM	۱/۷۶	۳/۰۵	۰ /۷۹	۰/۸۹	۰/ ۰۸	۱/۶۴	۲/۷۱	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۱۶
NOAA	۱/۱۳	۱/۲۸	۰/۹۶	۰/۹۸	/۰۴	۱/۷۴	۳/۰۴	۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۰۷

جدول (۳). مقادیر RMSE ، MSE، R^2، R و NRSME ET_{hist}، T_{PP} در مقایسه با مقادیر ET_{obs} در ایستگاه سمیرم

	NRSM		R		R^2		MSE		RMSE	
ماه	pp	Hist	pp	Hist	pp	Hist	pp	Hist	pp	Hist
آوریل	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۹۹	۰/۹۲	۰/۹۸	۰/۸۴	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۱۸	۰/۲۲
مه	۰/۰۶	۰/۱۷	۰/۹۹	۰/۹۱	۰/۹۸	۰/۸۲	۰/۰۱	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۳۶
ژوئن	۰/۰۲	۰/۲۵	۰/۹۹	۰/۹۱	۰/۹۸	۰/۸۲	۰/۰۰۳	۰/۲۷	۰/۰۶	۰/۵۲
ژوئیه	۰/۰۶	۰/۱۰	۱	۱	۱	۱	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۱۳	۰/۲۱
اوت	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۴	۰/۰۰۱	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۱۱
سپتامبر	۰/۲۱	۰/۲۹	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۱۹	۰/۳۶	۰/۴۴	۰/۶۰
اکتبر	۰/۲۵	۰/۳۹	۰/۹۸	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۹۰	۰/۲۷	۰/۶۷	۰/۵۲	۰/۸۲

جدول (۴). مقادیر RMSE ، MSE، R^2، R و NRSME ET_{hist}، T_{PP} ، در مقایسه با مقادیر ET_{obs} در ایستگاه ارومیه

	NRSME		R		R^2		MSE		RMSE	
ماه	pp	Hist	pp	Hist	pp	Hist	pp	Hist	pp	Hist
آوریل	۰/۰۵	/۲۵	۰/۰۹۹	۰/۹۲	۰/۹۸	۰/۸٤	۰/۰۲	۰/۵۱	۰/۱۵	۰/۷۲
مه	۰/۰۵	۰/۲۵	۰/۹۹	۰/۹۳	۰/۹۸	۰/۸٤	۰/۰۱	۰/۷۰	۰/۱	۰/۸٤
ژوئن	۰/۱۷	۰/۳۲	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹٤	۰/۲٦	۰/۸٦	۰/۵۱	۰/۹۳
ژوئیه	۰/۳۱	۰/۳۵	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹٦	۰/۷۹	۱	۰/۸۹	۱
اوت	۰/۲٤	۰/۳۰	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹٤	۰/٤۹	۰/۷۵	۰/۷	۰/۸۷
سپتامبر	۰/۱۵	۰/۲۲	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹٦	۰/۲۰	۰/۳۹	۰/٤۵	۰/٦۳
اکتبر	۰/۱۵	۰/۳۲	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹٦	۰/۲ ۰	۰/۸۲	۰/٤۵	۰/۹۱

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.24.7]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.21]

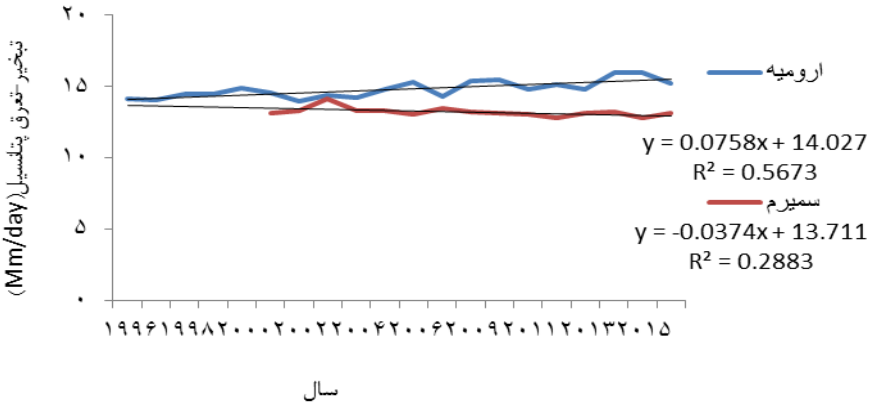
روند تغییرات تبخیر- تعرق گیاه مرجع

به‌منظور شناخت از وضعیت روند تغییرات تبخیر- تعرق گیاه مرجع، آزمون من- کندال و شیب سن بر روی سری‌های ETO طول فصل رشد درخت سیب ایستگاه‌های موردمطالعه اعمال گردید. نتایج آماره آزمون من- کندال و شیب سن در جدول (۵) مشخص‌شده است. در ایستگاه سمیرم بر روی‌داده‌های مشاهداتی شیب تغییرات منفی و روند آن کاهشی است ولی در ایستگاه ارومیه شیب تغییرات مثبت است و روند هر دو ایستگاه در سطح ۵٪ معنی‌داری می‌باشد. میزان تبخیر- تعرق پتانسیل برآورده شده در فصل رشد، تحت خط سیر RCP4/5 و RCP8/5 برای ایستگاه‌ها روندی افزایشی را نشان می‌دهد. شکل (۳) نتایج وضعیت تغییرات شیب‌خط روند سری فصل رشد برای ایستگاه‌های موردمطالعه را نشان می‌دهد. همان‌طور که در اشکال (۴ و ۵) مشخص‌شده است، در بیشتر سال‌ها، میزان تبخیر- تعرق برآورده شده تحت سناریوی RCP۸/۵ بیش از مقدار تبخیر- تعرق برآورده شده تحت سناریوی RCP۴/۵ است؛ اما روند افزایشی آن‌ها تقریباً شبیه هم می‌باشند. در ایستگاه ارومیه نتایج آماره‌ها بر روی ETO مراحل رشد درخت سیب، برای داده‌های مشاهداتی در تمام مراحل روند افزایشی را نشان می‌دهند. روند دوره‌های شکفتن جوانه، رشد و رسیدن میوه در سطح ۵٪ معنی‌دار می‌باشد. در این شهرستان تحت هر دو سناریو مراحل شکفتن جوانه و گل‌دهی روند ETO کاهشی و در سایر مراحل روند افزایشی می‌باشد. ازنظر آماری روند معنی‌داری مرحله‌ی رسیدن میوه در سناریوی RCP۴/۵ در سطح ۵٪ تأیید گردید. نتایج حاصل از آزمون‌ها در ایستگاه سمیرم در دوره مشاهداتی برای مراحل رشد و رسیدن میوه و در سناریوی RCP۸/۵ مراحل گل‌دهی، رشد و رسیدن میوه و سناریوی RCP۴/۵ در مرحله گل‌دهی روند کاهشی را نشان می‌دهند که ازنظر آماری روند معنی‌داری در دوره مشاهداتی تأیید گردید. روند ETO در سایر مراحل رشد افزایشی می‌باشد.

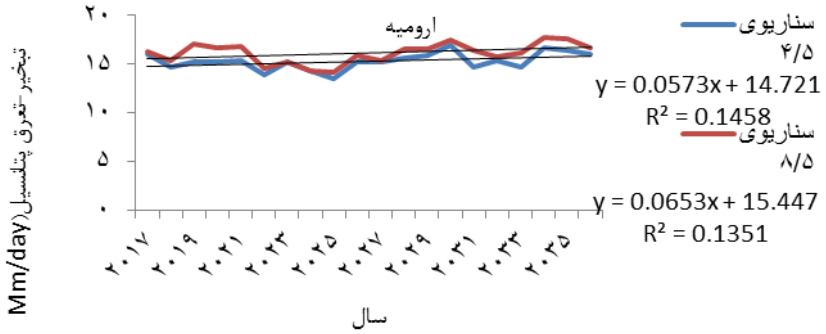
جدول (۵). نتایج آماره Z من‌کندال و Q شیب سن بر روی سری تبخیر- تعرق مرجع در فصل رشد درخت سیب در ایستگاه‌های موردمطالعه

ایستگاه‌ها	داده‌های مشاهداتی		سناریوی ۴/۵		سناریوی/۵ ۸	
	Z	Q	Z	Q	Z	Q
سمیرم	- ۰/۰۲	-۱/ ۹۷	۰/۰۲	۰/۲۹	۰/۰۷	۱/۲۸
ارومیه	۰/۰۷	۳/۱۴	۰/۰۵	۱/۶۵	۰/۰۶	۱/۳۳

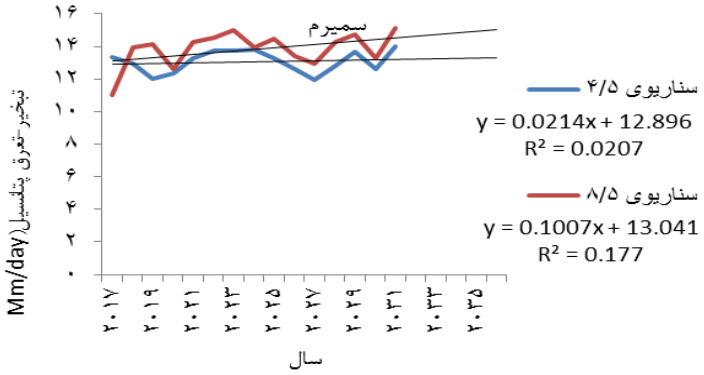
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.24.7]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.21]



شکل (۳). تغییرات مجموع سالانه تخیر-تعرق سالیانه طول فصل رشد در دوره‌ی ۲۰۰۱۶-۹۶



شکل (۴). تغییرات مجموع تبخیر- تعرق پتانسیل فصل رشد ارومیه در دوره‌ی ۲۰۳۷-۲۰۱۷ تحت دو سناریوی ۴/۵ RCP و RCP۸/۵



شکل (۵). تغییرات مجموع تبخیر- تعرق پتانسیل فصل رشد سمیرم در دوره‌ی ۲۰۳۷-۲۰۱۷ تحت دو سناریوی ۴/۵ RCP و RCP۸/۵

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.24.7]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.21]

افزایش ETO فصل رشد ایستگاه‌ها نسبت به دوره پایه با سناریوی ۴/۵ و ۸/۵ برای ایستگاه سمیرم ۳/۸۴ و ۷/۳۷ و برای ایستگاه ارومیه ۵/۰۴ و ۸/۱۶ پیش‌بینی شد. به ترتیب بیشترین و کمترین میزان افزایشی ETO نسبت به دوره پایه برای ایستگاه‌ها تحت هر دو سناریو در مرحله جوانه‌زنی و رشد میوه رخ می‌دهد. لازم به ذکر است که درصد نرخ تغییرات ETO به شرح رابطه (۳) محاسبه شد:

$$\text{Change rate\%}=\frac{ET0_{(future)}-ET0_{(baseline)}}{ET0_{(baseline)}}\times 100$$ رابطه (۳)

در رابطه (۳) $ET0_{(future)}$ مقدار متوسط تبخیر- تعرق در دوره آینده و $ET0_{(baseline)}$ مقدار متوسط تبخیر- تعرق (mm) در دوره پایه است.

نتایج روند تغییرات پارامترهای اقلیمی مؤثر در طول فصل رشد

به‌منظور شناخت مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر تبخیر- تعرق مرجع در طی فصل و مراحل رشد درخت سیب، از رگرسیون گام‌به‌گام استفاده شد و روند تغییرات سری پارامترهای اقلیمی، کمینه و بیشینه دما، ساعت آفتابی، سرعت باد و رطوبت نسبی، بر اساس آزمون نا پارامتری من- کندال و شیب سن ارزیابی گردید. مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در فصل رشد دوره مشاهداتی ایستگاه سمیرم، کمینه و بیشینه‌ی دما و ساعات آفتابی بوده. نتایج حاصل از هر دو آزمون روند کاهشی را نشان می‌دهد که ازنظر آماری روند معنی‌داری آن‌ها تأیید نگردید. مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار ETO فصل رشد درخت سیب داده‌های برآورد شده خط سیر RCP۴/۵ ایستگاه سمیرم، سرعت باد و دماهای کمینه و بیشینه‌ی بود. نتایج حاصل از هر دو آزمون روند افزایشی را نشان می‌دهند که از نظر آماری روند معنی‌داری سرعت باد در سطح پنج درصد تأیید گردید. برای سناریوی RCP۸/۵ این ایستگاه روند افزایشی تبخیر- تعرق به دلیل روند افزایشی دماها، تابش، سرعت باد و روند کاهشی رطوبت نسبی می‌باشد. روند معنی‌داری دمای کمینه تأیید گردید. مهم‌ترین پارامتر تأثیرگذار برای شهرستان ارومیه در ETO دوره مشاهداتی فصل رشد سیب دمای بیشینه و رطوبت بوده است. روند افزایشی دمای بیشینه و روند نزولی رطوبت نسبی به‌احتمال‌زیاد دلیل روند افزایشی تبخیر – تعرق در فصل رشد می‌باشد. روند معنی‌دار دمای بیشینه ازنظر آماری تأیید گردید. مهم‌ترین پارامتر تأثیرگذار در شهرستان ارومیه برای داده‌های برآورد شده فصل رشد سیب، خط سیر RCP ۴/۵ دماهای بیشینه و کمینه و تابش بوده است چرا که این سه پارامتر روند مثبت و افزایشی داشته‌اند، روند معنی‌داری پارامترها تأیید نشد. در خط سیر RCP ۸/۵ مهم‌ترین پارامترها دمای بیشینه، تابش و سرعت باد نشان داده شد. روند این سه پارامتر افزایشی است و معنی‌داری سرعت باد تأیید گردید. بررسی مراحل رشد نشان داد که به‌طورکلی می‌توان افزایش سرعت باد و دمای کمینه مهم‌ترین پارامترها تخمین زد.

نتایج روندگیری مراحل رشد برای ایستگاه سمیرم در دوره مشاهداتی نشان می‌دهد که مهم‌ترین متغیرهای اقلیمی تأثیرگذار بر تبخیر- تعرق مرحله جوانه‌زنی، شکفتن جوانه و گل‌دهی سرعت باد و رطوبت نسبی است که روند افزایشی تبخیر- تعرق در این مرحله به دلیل روند افزایشی سرعت باد و روند کاهشی رطوبت نسبی می‌باشد. روند کاهشی تبخیر- تعرق در مرحله رشد میوه به دلیل روند کاهشی ساعات آفتابی و دمای کمینه

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.24.7]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.21]

می‌باشد. در مرحله رسیدن میوه ساعت آفتابی و رطوبت نسبی مهم‌ترین عواملی هستند که تابش روندی افزایشی و رطوبت نسبی روند کاهشی داشته است. نتایج برآورد شده از تبخیر- تعرق تحت سناریوی ۴/۵ برای ایستگاه سمیرم نشان می‌دهد که روند افزایشی در مرحله جوانه‌زنی، شکفتن جوانه و گل‌دهی به دلیل روند افزایشی سرعت باد و دمای بیشینه می‌باشد؛ و روند افزایشی ETO در مرحله رشد میوه به دلیل روند کاهشی رطوبت نسبی و روند افزایشی باد و دمای کمینه است. در مرحله‌ی رسیدن میوه روند افزایشی سرعت باد و تابش دلیل روند افزایشی ETO می‌باشد. نتایج ETO سناریوی ۸/۵ نشان می‌دهد که کاهش ETO در مرحله جوانه‌زنی، شکفتن جوانه و گل‌دهی به دلیل کاهش ساعت آفتابی، در مرحله رشد میوه روند کاهشی رطوبت نسبی و روند افزایشی دمای کمینه و بیشینه، تابش و در مرحله‌ی رسیدن میوه روند افزایشی تابش و دمای کمینه موجب روند افزایشی ETO بوده است.

نتایج داده‌های مشاهداتی برای ایستگاه ارومیه نشان می‌دهد که مهم‌ترین متغیرهای اقلیمی تأثیرگذار بر تبخیر- تعرق مرحله جوانه‌زنی، شکفتن جوانه و گل‌دهی سیب در دوره مشاهداتی، ساعت آفتابی، دمای بیشینه و رطوبت نسبی می‌باشد. روند افزایشی تبخیر- تعرق در این مرحله احتمالاً به دلیل روند افزایشی ساعت آفتابی، دمای بیشینه و کاهش رطوبت نسبی می‌باشد. پارامترهای تأثیرگذار در مرحله‌ی رشد میوه به ترتیب ساعت آفتابی، سرعت باد، رطوبت نسبی، دمای بیشینه، کمینه می‌باشد؛ روند افزایشی ETO به دلیل افزایش ساعت آفتابی سرعت باد، دمای بیشینه و کمینه و کاهش رطوبت نسبی است. مهم‌ترین متغیرهای اقلیمی تأثیرگذار بر تبخیر- تعرق مرحله رسیدن میوه، دمای بیشینه، ساعت آفتابی، رطوبت نسبی، می‌باشد. روند افزایشی در این مرحله به دلیل روند افزایشی دمای بیشینه، ساعت آفتابی و کاهشی رطوبت نسبی است. در سناریوی ۴/۵ روند صعودی ETO در مراحل جوانه‌زنی، شکفتن جوانه و گل‌دهی به دلیل افزایش سرعت باد، دمای کمینه، تابش در منطقه است. در مرحله رشد میوه روند صعودی سرعت باد، دمای کمینه و تابش از عوامل روند افزایشی ETO می‌باشند. در مرحله رسیدن میوه روند کاهشی سرعت باد، دمای کمینه می‌تواند از عوامل کاهش ETO به‌حساب آید. در سناریوی ۸/۵ روند افزایشی ETO با روند صعودی سرعت باد، تابش، دمای بیشینه ورود نزولی رطوبت نسبی در مراحل جوانه‌زنی، شکفتن جوانه، گل‌دهی و شد میوه قابل توجیه است. در مرحله رسیدن میوه روند نزولی تابش و دمای بیشینه روند ETO را کاهش داده است. در اکثر مراحل روند پارامترها ازنظر آماری تأیید نگردید. به‌طورکلی یافته‌های این پژوهش با یافته‌های دیگر پژوهشگران از جمله (لی و همکاران، ۲۰۱۲، ۳۹۴۲) روند صعودی ETO را حاصل از روند افزایشی دمای میانگین و روند کاهشی رطوبت نسبی در فلات تبت دانستند. نوری و همکاران (۱۳۹۶،۴۵۰) روند صعودی تبخیر- تعرق علاوه برافزایش دما، در برخی از ایستگاه‌ها از قبیل خوی، ارومیه و سقز به دلیل روند نزولی رطوبت نسبی بوده است. همچنین ابراهیم‌پور و همکاران (۱۳۹۱،۳۵۱) اشاره کرد. آن‌ها با استفاده از مدل SIMETAW، تحت وقوع سناریوهای A2 و B2، روی ایستگاه مشهد به این نتیجه رسیدند که ETO سالانه در این ایستگاه در دوره ۲۰۲۰-۲۰۵۰ افزایش خواهد داشت. همخوانی دارد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.24.7]
[DOI: 10.61186/jgs.23.70.21]

نتیجه‌گیری

بر پایه‌ی روش‌های ارزیابی دقت داده‌های برآورد شده پایگاه ECMWF با مقادیر مشاهده‌شده می‌توان گفت در همه‌ی پارامترها همبستگی (R) بسیار زیادی دیده می‌شود. مقدار خطای برآورد داده‌های پایگاه ECMWF با داده‌های مشاهداتی بسیار ناچیز است؛ و داده‌های این پایگاه برای ایستگاه‌های موردمطالعه تأیید شد. مدل ICHEC-EC-EARTH توانایی به نسبت بهتری در برآورد میزان تبخیر- تعرق پتانسیل در مقایسه با دو مدل دیگر را داشت. نتایج این تحقیق نشان داد که میانگین تبخیر- تعرق در طول فصل رشد برای هر دو سناریو نسبت به دوره مشاهداتی در هر دو ایستگاه افزایش می‌یابد که علت آن را می‌توان روند افزایشی دما و سرعت باد، بیان نمود؛ و برای مراحل رشد درخت سیب به‌طورکلی می‌توان افزایش سرعت باد و دمای کمینه مهم‌ترین پارامترها تخمین زد. درمجموع خط سیر RCP ۴/۵ در مقایسه با شرایط کنونی (۱۹۹۶-۲۰۱۶) به نسبت خط سیر RCP ۸/۵ تفاوت و تغییرات کمتری نشان می‌دهد. نسبت تغییرات ETO فصل رشد ایستگاه‌ها نسبت به دوره پایه برای سناریوی ۴/۵ و ۸/۵ برای ایستگاه سمیرم ۴/۶۸ و ۷/۹۹ و برای ایستگاه ارومیه ۵/۲۶ و ۸/۱۱ پیش‌بینی شد و میزان تغییرات برای ایستگاه ارومیه بیشتر از سمیرم بود. با این‌که بیشترین میزان تبخیر در داده‌های مشاهداتی و برآورد شده برای دوره رشد میوه رخ‌داده است، اما درمجموع درصد تغییرات در آینده مرحله جوانه‌زنی بیشتر از دو مراحل دیگر بود.

منابع

احسانی علی؛ ارزانی حسین؛ فرحپور مهدی؛ احمدی حسن؛ جعفری محمد؛ اکبرزاده مرتضی. (۱۳۹۱). **برآورد تبخیر- تعرق با استفاده از اطلاعات آب‌وهوایی، خصوصیات گیاه (مرتع) و خاک به کمک برنامه cropwate8.0 (منطقه موردی: منطقه استپی استان مرکزی ایران، ایستگاه رود شور)**، تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۹(۱): ۱۶-۱.

ابراهیم‌پور محمد؛ قهرمان نوذر؛ لیاقت علی. (۱۳۹۳). **استفاده از مدل SIMETAW جهت شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی و بررسی اثر اقلیم بر تبخیر- تعرق پتانسیل (مطالعه موردی: مشهد)**: مجله تحقیقات آب‌وخاک ایران، ۴۳: ۳۴۹-۳۵۶.

اسمعیل‌پور مرضیه؛ دین‌پژوه یعقوب. (۱۳۹۱). **تحلیل روند بلندمدت تبخیر- تعرق پتانسیل در حوضه جنوبی رود ارس**، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، (۴۷):۲۱۰-۱۹۳.

احمدی حمزه.(۱۳۹۶) **بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی درخت سیب در ایران**، پایان‌نامه‌ی دکتری آب و هواشناسی کشاورزی، دانشگاه حکیم سبزواری (سبزوار) دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، گروه جغرافیا، ۱۳۹۷.

بابائیان ایمان؛ نجفی نیک زهرا؛ زابل عباسی فاطمه؛ حبیبی نوخندان مجید؛ ادب حامد؛ ملبوسی شراره (۱۳۸۸). **ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره‌ی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECH0-G**، جغرافیا و توسعه، ۱۶، ۱۵۲-۱۳۵.

باهک بتول. (۱۳۹۲). **بررسی احتمال تغییر آب‌وهوا در استان کرمان با روش من – کندال (مطالعه موردی ایستگاه کرمان)**، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، ۱۰(۳۹)، ۷۲-۶۵.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.24.7]

[DOI: 10.61186/jgs.23.70.21]

حیدری تاشه کبود شادیه، خوشخو یونس. (۱۳۹۸). **تصویرسازی و پیش‌بینی تغییرات آتی تبخیر و تعرق مرجع در مقیاس‌های فصلی و سالانه در غرب ایران بر اساس سناریوهای انتشار RCP**، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۹ (۵۳)، ۱۷۶-۱۵۷.

دارند محمد؛ زند کریمی سوما. (۱۳۹۴). **واکاوی سنجش دقت زمانی-مکانی بارش پایگاه داده‌ی مرکز پیش‌بینی میان‌مدت جوی اروپایی (ECMWF) بر روی ایران‌زمین**، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۷(۴): ۶۷۵-۶۵۱.

دانشور مروست نجمه، سلطانی گردفرامرزی سمیه، پورمحمدی، سمانه. (۱۳۹۸). **ارزیابی و تحلیل حساسیت روش-های مختلف برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع در اقلیم سرد و معتدل (مطالعه موردی: زیر حوضه سقز)**، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۹ (۵۵): ۲۴۸-۲۳۳.

ذوالفقاری حسن؛ رحیمی حمید؛ اوجی روح اله. (۱۳۹۶). **ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر درجه- روزهای گرمایشی و سرمایشی ایران**، جغرافیا و پایداری محیط، ۲۲: ۲۰-۱.

رضیئی طیب؛ ستوده فاطمه. (۱۳۹۶). **بررسی دقت مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان‌مدت جوی (ECMWF) در پیش‌بینی بارش مناطق گوناگون اقلیمی ایران**، فیزیک زمین وفا، ۴۳(۱): ۱۳۳-۱۴۷.

سبزی‌پور علی‌اکبر؛ شادمانی مجتبی.(۱۳۹۰). **تحلیل روند تبخیر- تعرق مرجع با استفاده از آزمون من-کندال و اسپیرمن در مناطق خشک ایران**، نشریه آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵ (۴): ۸۳۴-۸۲۳.

قربانی خلیل؛ ذاکری نیا مهدی؛ هزارجریبی ابوطالب. (۱۳۹۲). **بررسی اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی سویا در منطقه گرگان**، نشریه هواشناسی کشاورزی، ۲(۱): ۶۰-۷۲.

قهرمان نوذر؛ بابائیان ایمان؛ موسوی مینا.(۱۳۹۳). **بررسی مهارت مدل RegCM در برآورد تبخیر- تعرق پتانسیل در اقلیم گذشته و دوره ۲۰۲۱-۲۰۳۵ بررسی موردی: ایستگاه مشهد**، مجله ژئوفیزیک ایران، ۸ (۴): ۶۹-۶۴.

قهرمان نوذر؛ بابائیان ایمان؛ طباطبائی سیدمحمودرضا. (۱۳۹۵). **ارزیابی پس‌پردازش برون‌داده‌های دینامیکی مدل-های اقلیمی در برآورد تغییرات تبخیر- تعرق پتانسیل تحت سناریوهای واداشت تابشی (بررسی موردی: دشت مشهد)**، فیزیک زمین و فضا، ۴۲(۳): ۶۹۶-۶۸۷.

معصوم‌پور سماکوش جعفر؛ رجایی سعید؛ یگانه‌فر مریم. (۱۳۹۴). **تغییرپذیری زمانی- مکانی و روند تبخیر و تعرق گیاه مرجع در ایران**، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی ۴۰ (۳۴): ۲۵-۷.

میان آبادی آمنه؛ علیزاده امین؛ ثنایی‌نژاد سیدحسین؛ قهرمان بیژن؛ داوری کامران. (۱۳۹۵). **پیش‌بینی تغییرات تبخیر واقعی سالانه در مناطق خشک با استفاده از چهارچوب اصلاح‌شده بادیکو (مطالعه موردی: حوضه آبریز نیشابور- رخ)** نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۰ (۳): ۴۱۱-۳۹۸.

نوری میلاد، همایی مهدی؛ بنایان محمد. ()۱۳۹۶. **بررسی تغییرات تبخیر و تعرق مرجع طی سده بیست‌ویک در برخی مناطق نیمه‌خشک ایران**، تحقیقات آب‌وخاک ایران، ۴۷(۲): ۲۵۲-۲۴۱.

Ebrahimpour, M. Ghahreman, N. and Orang, m. (2014)**, Assessment of climate change impacts on reference evapotranspiration and simulation of daily weather data using SIMETAW**, Journal of Irrigation and Drainage, 33: 342-357.

Ferree, D.C. Warrington, I.J.(2003), **Apples: botany, production and uses**. CABI publishing, 635

Jhajharia, D. Dinpashoh, Y. Kahya, E. Singh, V.P. Fakheri-Fard, A. (2012), **Trend in reference evapotranspiration in the humid region of northeast India. Hydrological PROcesses,** 26(3): 421-435.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.24.7]

[DOI: 10.61186/jgs.23.70.21]

Jian. Sh. Liang,Ch. boCui, N. Zhao, Lu. Taisheng, Du., Xiaotao, Hu., Feng, Yu., Guan, J., Feng, Y.,(2019), **Impacts of climatic variables on reference evapotranspiration during growing season in Southwest China**, Agricultural Water Management, 216: 365-378.

Moriasi, D.N. Arnold, M,W. Van Liew, R.L. Harmel, R.D and.Veith, T.L. (2007), **model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations**, Transactions of the ASABE, 50(3),885-900.

Sabrija, C., Salwa, Ch., Mihajlo, M., Jasminka, Ž .,(2019), **A reference vapotranspiration map for Bosnia and Herzegovina**. International Soil and Water Conservation Research, 7(1):89-101.

Li, Z. Wu, W. Liu, X. Fath, B.D. Sun, H. Liu, X. Xiao, X. and Cao, J. (2017). **Land use/cover change and regional climate change in an arid grassland ecosystem of Inner Mongolia, China**. Ecological Modelling, 353, 86-94.

Stan, F. I. Neculau, G. Zaharia, L. Ioana-Toroimac, G. Mihalache, S. (2016). **Study on the evaporation and evapotranspiration measured on the Căldăruşani Lake (Romania)**. Procedia Environmental Sciences, 32, 281-289.

Willmott, C.J. (1981), **ON the validation of models**, Phys Geogr.No.2: 184-194.

Zongxing, L. Qi, F. Wei, L. Tingting, W. Yan, G. Yamin, W. Aifang, C. Jingguo, L. Li, L. (2015), **Spatial and temporal trend of potential evapotranspiration and related driving force in Southwestern China During 1961- 2009**. Quaternary International, 336: 127-144.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.24.7]

[DOI: 10.61186/jgs.23.70.21]