دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

"مقاله پژوهشی"

ارزیابی حساسیت تبخیر و تعرق گیاه مرجع به پارامترهای هواشناسی در استان خراسان رضوی

زهرا شیرمحمدی علی‌اکبر خانی[۱] و سید فرهاد صابرعلی[۲]

۱- استادیار گروه مهندسی آب، مجتمع آموزش عالی کشاورزی و دامپروری تربت‌جام، خراسان رضوی، ایران،
(نویسنده مسوول: mshirmohamady@yahoo.com)
۲- استادیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، مجتمع آموزش عالی کشاورزی و دامپروری تربت‌جام، خراسان رضوی، ایران

تاریخ ارسال: ۹۹/۰۳/۰۷ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۷/۰۷
صفحه: ۲۶۰ تا ۲۷۲

چکیده

تخمین دقیق تبخیر و تعرق از اهمیت ویژه‌ای در مطالعات هیدرولوژی و مدیریت منابع آب برخوردار است که می‌تواند جهت‌گیری برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌های کلان تخصیص بهینه منابع آب کشاورزی را تحت تأثیر قرار دهد. به این منظور در این مطالعه، آنالیز حساسیت تبخیر و تعرق به تغییرات پارامترهای هواشناسی کمبود فشار بخار، متوسط درجه حرارت، تابش خالص خورشیدی، سرعت باد و فشار بخار واقعی در دامنه ۲۰٪± در مقیاس روزانه و در طول فصل رشد گیاهان انجام گرفت. تبخیر و تعرق گیاه مرجع به‌روش فائو پنمن مانتیث با استفاده از داده‌های طولانی‌مدت ۱۳ ایستگاه استان خراسان رضوی واقع در شمال شرق ایران محاسبه شد. نتایج آنالیز حساسیت نشان داد که تغییرات تبخیر و تعرق گیاه مرجع با تغییرات پارامترهای کمبود فشار بخار، درجه حرارت، تابش خالص خورشیدی و سرعت باد همبستگی مثبت و با تغییرات فشار بخار واقعی همبستگی منفی دارد. نتایج نشان داد که در منطقه موردمطالعه در کل سال، تبخیر و تعرق فائو پنمن مانتیث بیشترین حساسیت را به‌ترتیب به کمبود فشار بخار، درجه حرارت متوسط، تابش خورشیدی، فشار بخار واقعی و سرعت باد نشان داد. در دوره رشد گیاهان فصل گرم بالاترین حساسیت به ترتیب به کمبود فشار بخار، درجه حرارت متوسط، تابش خورشیدی، سرعت باد و فشار بخار واقعی دیده شد درحالی‌که در دوره رشد گیاهان فصل سرد بیشترین حساسیت تبخیر و تعرق گیاه مرجع به‌ترتیب به کمبود فشار بخار، فشار بخار واقعی، درجه حرارت متوسط، تابش خورشیدی و سرعت باد وجود داشت. یافته‌های این تحقیق نشان داد که اهمیت پارامترهای مؤثر بر میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع در بین فصول گرم و سرد منطقه متفاوت است که این مهم بایستی در برنامه‌ریزی پایدار منابع آب و مدیریت آب کشاورزی خراسان رضوی در توسعه استراتژی‌های مناسب موردتوجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: آنالیز حساسیت، پارامترهای هواشناسی، روش فائو پنمن مانتیث، کمبود فشار بخار

مقدمه

یکی از پارامترهای چرخه هیدرولوژی، تبخیر و تعرق بوده که نقش مهمی در برنامه‌ریزی آبیاری، مدل‌سازی‌های هواشناسی، هیدرولوژی و مدیریت منابع آب ایفا می‌کند (۱). به‌دلیل فقدان داده‌های مشاهداتی تبخیر و تعرق واقعی در ایستگاه‌های هواشناسی و هزینه‌بر بودن اندازه‌گیری تبخیر و تعرق واقعی، معمولاً از تبخیر و تعرق پتانسیل یا تبخیر تعرق گیاه مرجع به‌منظور برآورد تبخیر و تعرق واقعی استفاده می‌شود. تبخیر و تعرق گیاه مرجع به مقدار تبخیر و تعرق صورت گرفته از یک گیاه مرجع با خصوصیات معین و بدون محدودیت آب در یک‌زمان و مکان مشخص و بدون محدودیت آب اشاره دارد (۴۳). دو واژه تبخیر و تعرق پتانسیل و تبخیر و تعرق گیاه مرجع به‌دلیل اینکه هر دو نشان‌دهنده مقدار نیاز تبخیری اتمسفر بوده و ساختار پایه‌ای یکسان دارند، توسط بسیاری از محققین یکسان در نظر گرفته شده‌اند، درحالی‌که این دو واژه متفاوت بوده ولی به‌لحاظ کمی به یکدیگر مرتبط می‌باشند و از هر دو می‌توان برای محاسبه تبخیر و تعرق واقعی استفاده کرد (۳۶، ۴۱). به‌دلیل اینکه تبخیر و تعرق پتانسیل و تبخیر و تعرق گیاه مرجع تنها به وضعیت اقلیمی و هواشناسی هر منطقه وابسته بوده و قابلیت اندازه‌گیری و محاسبه را دارند به‌عنوان شاخص هیدروکلیماتیکی مناسبی برای انعکاس تغییرات بیلان آب و انرژی و تأثیرات تغییر اقلیم در مناطق مختلف به‌کار می‌روند (۱۱). نتایج تحقیقات گذشته نشان داده است که روش‌هایی همچون روش فائو پنمن مانتیث، پرستلی تیلور، هارگریوز، ماکینک، بلانی کریدل و هارگریوز سامانی، ازجمله روش‌های قابل‌قبول برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل و تبخیر و تعرق گیاه مرجع هستند، بااین‌وجود روش فائو پنمن مانتیث در بین روش‌های مختلف از کارایی بالاتری برخوردار است و در مناطق مختلف به‌عنوان روش استاندارد محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع توصیه‌شده است (۴،۲). این مدل به‌دلیل کارایی و قابلیت‌های بالا در محاسبه خصوصیات آئرودینامیک و ترمودینامیک در تمام دنیا پذیرفته‌شده و کاربرد وسیعی دارد (۱۲، ۱۵، ۲۱، ۳۳، ۳۸، ۴۰). بااین‌وجود تعداد ورودی‌های این مدل زیاد می‌باشد، که این امر موجب‌شده تا هرگونه خطای دستگاهی و یا اریبی در اندازه‌گیری متغیرها باعث ایجاد خطای فاحش در اندازه‌گیری تبخیر و تعرق گردد (۱۵،۹). تغییرات تبخیر و تعرق در مقیاس زمانی و مکانی در دنیا در

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.23.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.260]

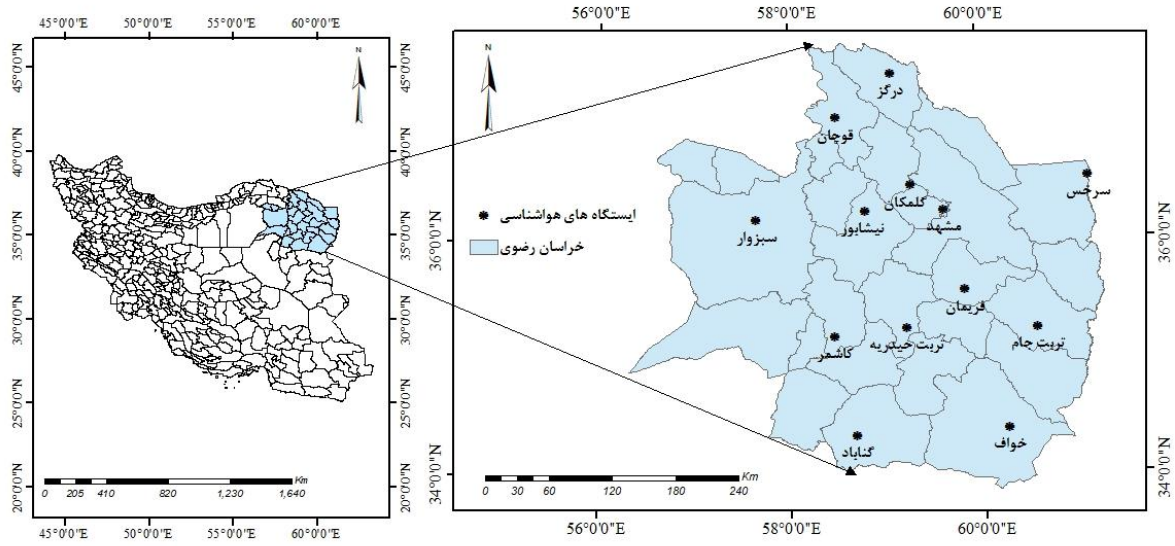
طول دهه‌های گذشته در منابع گزارش شده است. در پی پدیده تغییر اقلیم، در برخی از نقاط جهان همانند آمریکا، چین، کانادا، استرالیا، هند، ژاپن، رومانی، استرالیا و نیوزیلند روند کاهشی برای تبخیر از تشت و تبخیر و تعرق پتانسیل و تبخیر و تعرق گیاه مرجع گزارش‌شده است (۶،۷،۱۶،۲۰،۲۲،۳۰-۲۷). اما در مناطق دیگری همچون نواحی مدیترانه، ایران، اسپانیا، و صربستان، روند افزایشی برای تبخیر و تعرق گزارش‌شده است (۳۱،۶،۱۱،۷،۱۶،۲۰،۲۲،۳۰-۲۷،۳۵،۳۹). نوسانات زمانی تبخیر و تعرق در برخی مناطق بسیار قابل‌توجه می‌باشد. به‌طوری‌که تبخیر و تعرق ممکن است در طی یک دوره زمانی افزایش و در دوره‌های دیگر کاهش یابد بنابراین تغییرات تبخیر و تعرق در نواحی اقلیمی مختلف دارای پیچیدگی و تفاوت‌هایی در مقیاس زمانی و مکانی می‌باشد و این تغییرات در نواحی اقلیمی مختلف باید با جزئیات بیشتری مورد بررسی قرار گیرد (۱۱). بنابراین درک اثرات تغییر هرکدام از متغیرهای هواشناسی بر محاسبات تبخیر و تعرق ضروری می‌باشد. در بیشتر مطالعات، آنالیز حساسیت به‌منظور تأثیرپذیری متغیرهای خروجی یک مدل خاص به متغیرهای ورودی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۹، ۳۲). از روش‌های آنالیز حساسیت می‌توان به روش‌های ریاضی، آماری و گرافیکی اشاره کرد. آنالیز حساسیت درک بهتری از روابط بین شرایط اقلیمی و تغییرات تبخیر و تعرق را ممکن می‌سازد و اهمیت آنالیز حساسیت در این است که دید بهتری نسبت به اینکه کدام‌یک از پارامترهای هواشناسی تأثیر بیشتری بر تبخیر و تعرق یک منطقه در یک زمان خاص را دارند، فراهم می‌نماید (۱،۱۴،۱۷). در تحقیقات متعددی از ضریب حساسیت به‌منظور بررسی اثر داده‌های هواشناسی بر تبخیر و تعرق استفاده شده است (۱،۹،۸،۳۴،۲۶،۱۷،۱۵،۱۱،۴۵،۳۹). حساسیت تبخیر و تعرق به‌روش فائو پنمن مانتیث در مناطق مختلف دنیا در مقیاس زمانی متفاوت مورد مطالعه قرار گرفته است و نتایج متفاوتی هم به‌دست آمده است. در برخی مطالعات عوامل آئرودینامیک مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر بر تبخیر و تعرق می‌باشند. به‌عنوان مثال مطالعات ژانگ و همکاران (۴۴) در حوزه رودخانه شیانگ شمال شرق چین نشان داد که در ماه‌های سرد و مناطق کوهستانی فشار بخار واقعی حساس‌ترین پارامتر بود، درصورتی‌که دمای حداقل کمترین حساسیت را در محاسبه تبخیر و تعرق در کل سال نشان داد. استیوز و همکاران (۱۴) نیز در اسپانیا روی آنالیز حساسیت پارامترهای هواشناسی بر تبخیر و تعرق گیاه مرجع مطالعاتی را انجام دادند و نتایج نشان داد که خطای افزایشی در تعیین رطوبت نسبی تبخیر و تعرق را کم برآورد و اما خطای افزایشی در پارامترهایی مانند درجه حرارت، تابش خورشیدی و سرعت باد تبخیر و تعرق را بیش برآورد می‌نماید. لیو و همکاران (۲۴) آنالیز حساسیت روش فائو پنمن مانتیث را به پارامترهای هواشناسی در حوزه رودخانه زرد چین انجام دادند و نتایج نشان داد که تابش خورشیدی، رطوبت نسبی، درجه حرارت و سرعت باد به‌ترتیب حساس‌ترین پارامترها بودند. قیامی-شوامی (۱۵) اثرات پارامترهای هواشناسی را بر تبخیر و تعرق فائو پنمن مانتیث در منطقه کوهستانی انبارا و فوتاتسوموری ژاپن مورد مطالعه قرار دادند و نتایج نشان داد که در فصول گرم سال، درجه حرارت و در فصول سرد سال، رطوبت نسبی بیشترین حساسیت را در محاسبه تبخیر و تعرق نشان دادند. اسلامیان و همکاران (۱۳) در اصفهان، تبریز، تهران، مشهد و شیراز نشان دادند که درجه حرارت و رطوبت نسبی به‌ترتیب حساس‌ترین پارامترها در محاسبه تبخیر و تعرق روش فائو پنمن مانتیث می‌باشد. نتایج مطالعات بختیاری و لیاقت (۵) در منطقه کرمان در مورد آنالیز حساسیت روش تبخیر و تعرق پنمن مانتیث ASCE نشان داد که تبخیر و تعرق به پارامتر کمبود فشار بخار در تمام ماه‌های سال حساس می‌باشد. شریفی و دین‌پژوه (۳۵) نیز در هشت نقطه از استان‌های مختلف ایران (آبادان، انزلی، چابهار، اصفهان، سبزوار، سنندج، تبریز و زاهدان) در مورد حساسیت روش تبخیر و تعرق فائو پنمن مانتیث به پارامترهای هواشناسی مطالعاتی را انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که تبخیر و تعرق بیشترین حساسیت را نسبت به دمای متوسط از خود نشان داد. تاکنون مطالعات زیادی در مورد تبخیر و تعرق در مناطق مختلف ایران انجام گردیده است، اما در مورد تجزیه تحلیل حساسیت تبخیر و تعرق در ایران اطلاعات اندکی موجود بوده، به‌طوری‌که هیچ مطالعه‌ای به تحلیل حساسیت تبخیر و تعرق به پارامترهای آب و هوایی در سطح استان خراسان رضوی نپرداخته است. تجزیه‌وتحلیل حساسیت تبخیر و تعرق در منطقه خشک و نیمه‌خشک مانند خراسان رضوی به‌دلیل مدیریت بهتر آب یک ضرورت مهم است. در این مطالعه آنالیز حساسیت روش تبخیر و تعرق گیاه مرجع با مدل فائو پنمن مانتیث در ۱۳ ایستگاه استان خراسان رضوی و بر اساس روش گرافیکی صورت گرفت. اهداف اصلی این مطالعه به‌ترتیب عبارت‌اند از ۱- تخمین تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از روش فائو پنمن مانتیث در استان خراسان رضوی، ۲- آنالیز حساسیت تبخیر و تعرق به ۵ پارامتر کلیدی هواشناسی مانند درجه حرارت، سرعت باد، تابش خورشیدی و کمبود فشار بخار و فشار بخار واقعی در ۱۳ ایستگاه استان خراسان رضوی در مقیاس روزانه و در فصل رشد گیاهان منطقه.

مواد و روش‌ها

استان خراسان رضوی در شمالی شرقی ایران و در طول جغرافیایی 56^{o}-62^{o} شرقی و در عرض جغرافیایی 33^{o}-38^{o} شمالی با مساحت ۱۱۷۲۰۰ کیلومترمربع گسترش یافته است. متوسط سالانه بارندگی در این استان ۲۵۰ میلی‌متر گزارش شده است (۳۶). این پژوهش با استفاده از داده‌های هواشناسی روزانه در ۱۳ ایستگاه سینوپتیک این استان شامل فریمان، گلمکان، نیشابور، سرخس، تربت‌حیدریه، تربت‌جام، قوچان، مشهد، سبزوار، کاشمر، گناباد، درگز و خواف در طول دوره آماری مختلف انجام شده است. در میان ایستگاه‌های مختلف، مشهد با ۶۷ سال آمار طولانی‌ترین دوره ثبت داده‌های هواشناسی و فریمان با ۱۱ سال آمار کوتاه‌ترین دوره ثبت اطلاعات را داشتند. موقعیت جغرافیایی و طول دوره آماری مورداستفاده در ایستگاه‌های موردمطالعه در استان خراسان

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.23.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.260]

رضوی در شکل (۱) و جدول (۱) ارائه شده است. داده‌های دریافتی از ایستگاه سینوپتیک موردمطالعه شامل داده‌های روزانه حداقل و حداکثر درجه حرارت، حداقل و حداکثر رطوبت نسبی، متوسط سرعت باد و ساعات آفتابی بود. سپس با استفاده از داده‌های ذکر شده و توسط روش فائو پنمن مانتیث، تبخیر و تعرق گیاه مرجع به‌صورت روزانه با استفاده از نرم‌افزار اکسل (Excel 2013) محاسبه گردید. برای ترسیم اشکال از نرم‌افزارهای ArcGIS10.3 و Sigmaplot12.5 استفاده گردید.



شکل ۱- نقشه توزیع مکانی ایستگاه‌های هواشناسی در منطقه موردمطالعه
Figure 1. Layout of the spatial distribution for meteorological stations in the study area

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی و تعداد سال‌های آماری مورداستفاده در ایستگاه‌های سینوپتیک موردمطالعه
Table 1. Specifications and number of years used in synoptic stations

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	سال‌های آماری
تربت‌جام	۶۰° ۳۵′	۳۵° ۱۶′	۹۵۰/۴	۱۳۷۱-۱۳۹۷
تربت‌حیدریه	۵۹° ۱۳′	۳۵° ۲۰′	۱۴۵۱	۱۳۳۷-۱۳۹۷
خواف	۶۰° ۹′	۳۴° ۳۵′	۹۹۸	۱۳۸۵-۱۳۹۷
درگز	۵۹° ۴′	۳۷° ۲۸′	۵۱۴	۱۳۸۶-۱۳۹۷
سبزوار	۵۷° ۳۹′	۳۶° ۱۲′	۹۶۲	۱۳۳۳-۱۳۹۷
سرخس	۶۱° ۱۰′	۳۶° ۳۲′	۲۳۵	۱۳۶۳-۱۳۹۷
فریمان	۵۹° ۵۰′	۳۵° ۳۵′	۱۴۶۰	۱۳۸۵-۱۳۹۷
قوچان	۵۸° ۳۰′	۳۷° ۴′	۱۲۷۸	۱۳۶۲-۱۳۹۷
کاشمر	۵۸° ۲۸′	۳۵° ۱۶′	۱۱۱۰	۱۳۶۵-۱۳۹۷
گلمکان	۵۹° ۱۷′	۳۶° ۲۹′	۱۱۷۶	۱۳۶۵-۱۳۹۷
گناباد	۵۸° ۴۱′	۳۴° ۲۱′	۱۰۵۶	۱۳۶۵-۱۳۹۷
مشهد	۵۹° ۳۸′	۳۶° ۱۴′	۹۹۹/۲	۱۳۲۹-۱۳۹۷
نیشابور	۵۸° ۴۸′	۳۶° ۱۶′	۱۲۱۳	۱۳۶۹-۱۳۹۷

روش تبخیر و تعرق فائو پنمن مانتیث (۲)

روش تبخیر و تعرق فائو پنمن مانتیث در مناطق مختلف به‌عنوان روش استاندارد محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع توصیه شده است (۲، ۴) این روش معادله‌ای برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع به‌صورت زیر ارائه می‌دهد:

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n-G)+\gamma\frac{900}{T_A+273}u_2(e_s-e_a)}{\Delta+\gamma(1+0.34u_2)} \quad (۱)$$

$$\Delta = \frac{4098\left[0.6108\exp\left(\frac{17.27T_A}{T_A+273.3}\right)\right]}{(T_A+237.3)^2} \quad (2)$$

$$\gamma = 0.665\times10^{-3}P \quad (3)$$

$$P = 101.3\left(\frac{293-0.0065z}{293}\right)^{5.26} \quad (4)$$

که در این روابط ET_o تبخیر و تعرق گیاه مرجع به‌روش فائو پنمن مانتیث برحسب میلی‌متر در روز، Δ شیب منحنی فشار بخارآب نسبت به دما برحسب کیلو پاسکال بر درجه سانتی‌گراد، R_n تابش خالص ورودی به سطح گیاه برحسب مگا ژول بر مترمربع بر روز، G شار گرمای خاک برحسب مگا ژول بر مترمربع بر روز، T_A میانگین روزانه دمای هوا در

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.23.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.260]

ارتفاع دو متری برحسب درجه سانتی‌گراد، u_2 سرعت باد در ارتفاع دو متری برحسب متر بر ثانیه، e_s و e_a به‌ترتیب فشار بخار اشباع و واقعی هوا برحسب کیلو پاسکال، γ ثابت سایکرومتری برحسب کیلو پاسکال بر درجه سانتی‌گراد، P فشار اتمسفر برحسب کیلو پاسکال، Z ارتفاع نقاط بالاتر از سطح دریا به متر هست. کلیه محاسبات موردنیاز برای تعیین پارامترهای دخیل در روش فائو پنمن مانتیث در بخش سوم نشریه فائو ۵۶ آورده شده است (۲).

در این مطالعه مقادیر پارامترهای هواشناسی در دامنه ±20 درصد (با گام‌های ۵ درصد) تغییر داده شد. گام‌های انتخابی و میزان تغییر پارامترهای انتخابی با توجه به نتایج مطالعات قبلی صورت‌گرفته در دیگر مناطق انتخاب گردید (۳۷،۱۸،۱). بدین‌صورت که مقدار تغییر در تبخیر و تعرق در پاسخ به تغییر ورودی‌های مدل فائو پنمن مانتیث ثبت و سپس درصد حساسیت به این تغییرات محاسبه گردید. در این مطالعه از روش گرافیکی برای آنالیز حساسیت استفاده شده است (۱، ۳۵). بدین‌منظور میزان تبخیر و تعرق روزانه در هر کدام از ایستگاه‌های مورد مطالعه با استفاده از پارامترهای ورودی شامل درجه حرارت هوا، سرعت باد، تابش خورشیدی خالص ورودی، کمبود فشار بخار و فشار بخار واقعی محاسبه گردید. سپس با کاهش و افزایش هر کدام از این متغیرها در دامنه ذکر شده و به‌صورت جداگانه، مقادیر جدید تبخیر و تعرق محاسبه گردید.

ارزیابی تغییرات تبخیر و تعرق گیاه مرجع به پارامترهای هواشناسی در طول دوره رشد گیاهان در مدیریت آبیاری از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. گیاهان بر اساس شرایط دمایی عمدتاً به دو دسته گیاهان فصل گرم و گیاهان فصل سرد دسته‌بندی می‌شوند. دوره رشد گیاهان فصل گرم از نیمه خردادماه تا نیمه مهرماه و دوره رشد گیاهان فصل سرد از نیمه مهرماه تا اواخر خردادماه در نظر گرفته شد و در دوره رشد این گیاهان تبخیر و تعرق گیاه مرجع محاسبه و درصد حساسیت در این دو دوره نسبت به تغییرات پارامترهای هواشناسی محاسبه گردید.

نتایج و بحث

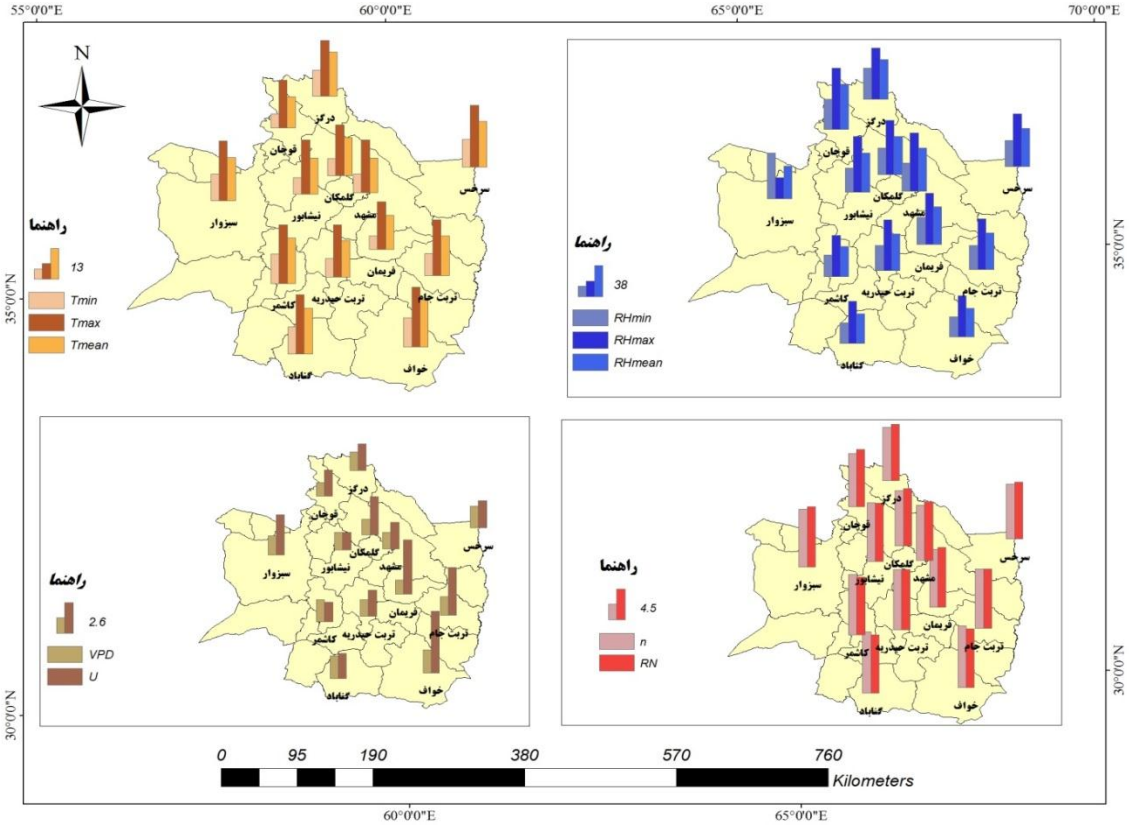
میانگین داده‌های هواشناسی در هر ایستگاه در جدول (۲) و شکل (۲) ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد بالاترین و پایین‌ترین درجه حرارت حداکثر به‌ترتیب در شهرستان‌های سرخس و فریمان و بیشترین و کمترین دمای حداقل به‌ترتیب در خواف و فریمان مشاهده گردید. بیشترین و کمترین سرعت باد به‌ترتیب در شهرستان‌های خواف و نیشابور مشاهده شده است. بالاترین میزان رطوبت نسبی را شهرستان قوچان و کمترین رطوبت نسبی را شهرستان خواف داراست. شهرستان خواف بالاترین میزان تبخیر و تعرق فائو پنمن مانتیث و شهرستان قوچان دارای کمترین میزان تبخیر و تعرق فائو پنمن مانتیث در بین شهرستان‌های مورد مطالعه است.

جدول ۲- میانگین سالانه پارامترهای اقلیمی در ایستگاه‌های سینوپتیک موردمطالعه

Table 2. Mean annual climate parameters in synoptic stations

ایستگاه	درجه حرارت حداکثر (سانتی‌گراد)	درجه حرارت حداقل (سانتی‌گراد)	سرعت باد (متر بر ثانیه)	ساعت آفتابی (ساعت)	رطوبت نسبی حداکثر (درصد)	رطوبت نسبی حداقل (درصد)	تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر بر روز)
تربت‌جام	۲۲/۸۸	۹/۰۲	۴/۰۵	۸/۶۸	۶۲/۵۱	۲۹/۴۴	۵/۸۳
تربت‌حیدریه	۲۱/۳۶	۷/۴۵	۲/۲۲	۸/۷۷	۶۲/۶۴	۳۱/۳۱	۴/۴۱
خواف	۲۴/۵۲	۱۱/۹۶	۵/۲۱	۸/۹۸	۵۰/۸۵	۲۵/۱۰	۷/۲۶
درگز	۲۲/۷۵	۱۰/۵۶	۲/۲۸	۷/۷۸	۶۳/۶۳	۳۸/۷۰	۴/۴۲
سبزوار	۲۴/۵۴	۱۰/۸۶	۳/۳۹	۸/۴۳	۲۵/۸۴	۵۶/۲۰	۵/۱۵
سرخس	۲۵/۱۸	۱۱/۳۴	۲/۳۰	۸/۰۲	۶۵/۴۱	۳۲/۳۷	۴/۶۸
فریمان	۱۹/۴۴	۵/۴۷	۴/۵۹	۸/۴۳	۶۳/۶۱	۳۳/۹۲	۵/۰۰
قوچان	۱۹/۶۱	۵/۸۵	۲/۲۳	۷/۸۰	۷۵/۹۸	۳۷/۲۵	۳/۷۵
کاشمر	۲۳/۹۳	۱۲/۱۱	۱/۶۴	۸/۸۲	۵۱/۰۰	۲۶/۷۴	۴/۲۳
گلمکان	۲۰/۶۰	۶/۸۳	۳/۲۲	۸/۰۹	۶۷/۱۴	۳۳/۱۸	۴/۳۸
گناباد	۲۴/۱۶	۱۱/۰۴	۲/۰۹	۸/۹۶	۵۲/۲۲	۲۵/۴۵	۴/۷۶
مشهد	۲۱/۶۹	۷/۶۲	۲/۲۲	۸/۰۲	۷۲/۰۸	۳۴/۷۲	۴/۱۳
نیشابور	۲۲/۲۶	۶/۷۷	۱/۴۸	۸/۵۵	۶۸/۸۵	۲۹/۸۸	۳/۷۹

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.23.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.260]



شکل ۲- متوسط پارامترهای هواشناسی مورداستفاده در تعیین تبخیر و تعرق فائو پنمن مانتیث در مناطق مورد مطالعه
Figure 2. The average of meteorological parameters used in determination of FAO- Penman - Monteith evapotranspiration across the study areas

در شکل‌های (۳) و (۴) درصد تغییرات تبخیر و تعرق نسبت به درصد تغییرات پارامترهای هواشناسی در هر ایستگاه هواشناسی ارائه شده است. همان‌طور که در شکل آمده است تغییرات تبخیر و تعرق با تغییرات پارامترهای کمبود فشار بخار، درجه حرارت، تابش خالص خورشیدی، سرعت باد همبستگی مثبت و با تغییرات فشار بخار واقعی همبستگی منفی نشان داد. شیب درصد تغییرات تبخیر و تعرق فائو پنمن مانتیث و انحراف معیار خطای شیب نسبت به تغییر پارامترهای هواشناسی در ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول (۳) ارائه شده است. هر چه میزان شیب بیشتر باشد نشان‌دهنده حساسیت بیشتر تبخیر و تعرق به پارامتر هواشناسی می‌باشد. نتایج نشان داد که در اکثر نواحی مورد مطالعه (۸۶ درصد نواحی موردمطالعه) بیشترین میزان حساسیت تبخیر و تعرق به پارامتر کمبود فشار بخار بود. اگرچه در شهرستان‌های کاشمر و نیشابور (۱۴ درصد نواحی مورد مطالعه) بالاترین میزان حساسیت تبخیر و تعرق به پارامتر تابش خورشیدی مشاهده گردید و کمبود فشار بخار در رتبه دوم حساسیت قرار داشت.

پارامتر درجه حرارت در شهرستان‌های درگز، فریمان، گلمکان، خواف، مشهد، سرخس و تربت‌جام (۵۴ درصد نواحی مورد مطالعه)، پارامتر تابش خورشیدی در شهرستان‌های قوچان، گناباد و تربت‌حیدریه (۱۸ درصد نواحی)، پارامتر کمبود فشار بخار در شهرستان‌های کاشمر و نیشابور (۱۴ درصد نواحی) و فشار بخار واقعی در شهرستان سبزوار (۱۴ درصد نواحی) در رتبه دوم حساسیت مدل تبخیر و تعرق به این پارامتر قرار داشتند.

در شهرستان‌های گناباد، کاشمر، نیشابور، سبزوار و تربت‌حیدریه (۴۱ درصد نواحی مورد مطالعه) پارامتر درجه حرارت، در شهرستان‌های درگز، فریمان، قوچان، گلمکان و تربت‌جام (۲۶ درصد نواحی مورد مطالعه) پارامتر فشار بخار واقعی، در شهرستان‌های مشهد و سرخس (۲۰ درصد نواحی) پارامتر تابش خورشیدی و در شهرستان خواف (۱۳ درصد نواحی) پارامتر سرعت باد در رتبه سوم حساسیت مدل تبخیر و تعرق به این پارامتر قرار داشتند.

در شهرستان‌های نیشابور، سرخس، تربت‌حیدریه، قوچان، مشهد و خواف (۴۸ درصد از نواحی مورد مطالعه) پارامتر فشار بخار واقعی، در شهرستان‌های فریمان، کاشمر، گناباد و تربت‌جام (۲۸ درصد نواحی) پارامتر سرعت باد، در شهرستان‌های سبزوار، درگز و گلمکان (۱۹ درصد نواحی) پارامتر تابش خورشیدی و در شهرستان قوچان (۵ درصد نواحی) پارامتر درجه حرارت در رتبه چهارم حساسیت مدل تبخیر و تعرق به این پارامتر قرار داشتند.

در شهرستان‌های درگز، قوچان، گلمکان، مشهد، سبزوار، نیشابور، سرخس و تربت‌حیدریه (۵۸ درصد از نواحی مورد مطالعه) پارامتر سرعت باد، در شهرستان‌های فریمان، تربت‌جام و خواف (۲۹ درصد از نواحی) پارامتر تابش

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.23.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.260]

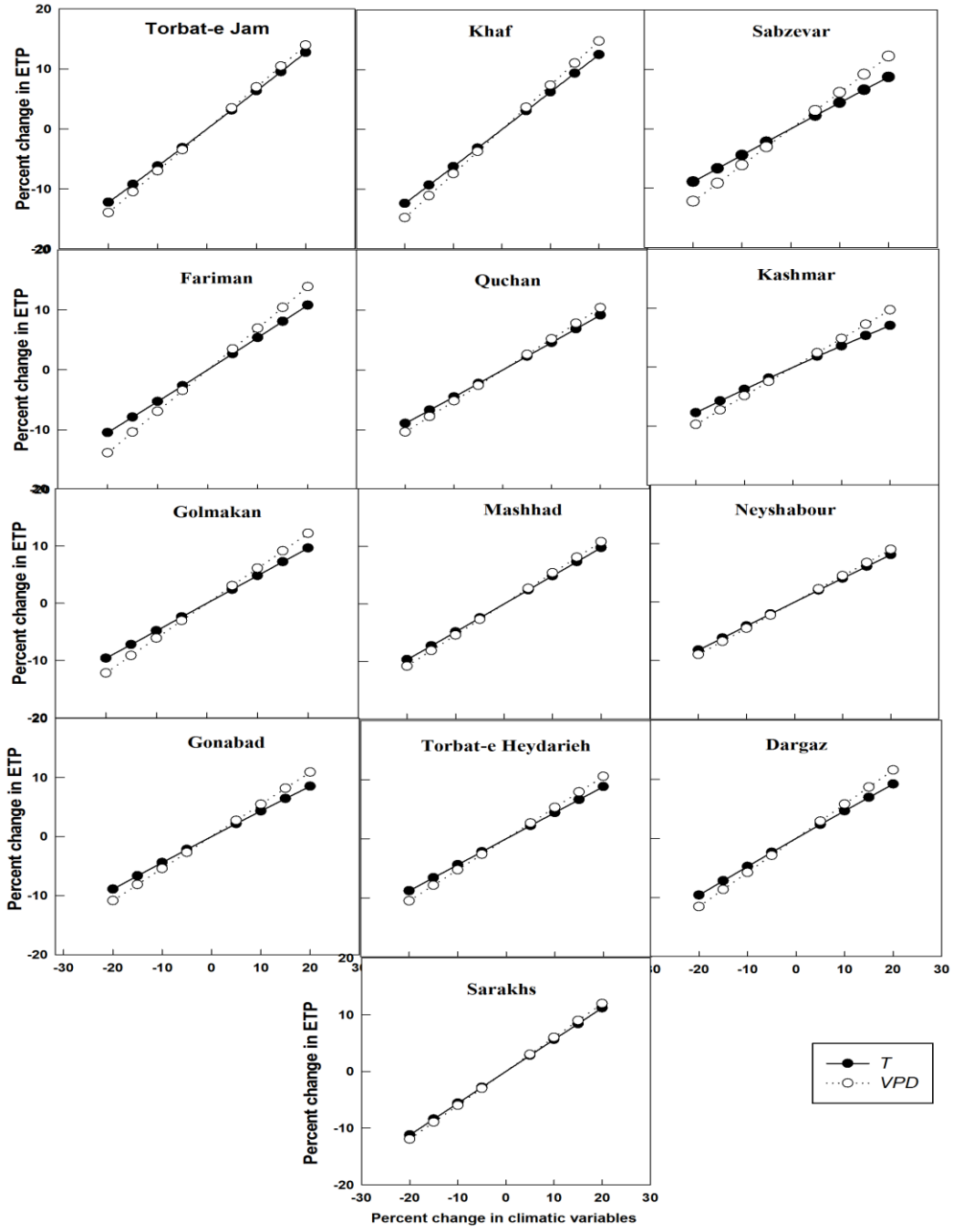
خورشیدی و در شهرستان‌های کاشمر و گناباد پارامتر فشار بخار واقعی در مرتبه پنجم حساسیت تبخیر و تعرق به این پارامترها قرار گرفتند.

در شکل (۵) شیب درصد تغییرات تبخیر و تعرق فائو پنمن مانتیث و انحراف معیار خطای شیب نسبت به تغییر پارامترهای هواشناسی در ایستگاه‌های مورد مطالعه و متوسط شیب در کل استان خراسان رضوی نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل (۵) دیده می‌شود در کل استان خراسان رضوی تبخیر و تعرق فائو پنمن مانتیث بیشترین حساسیت را نسبت به کمبود فشار بخار (VPD) نشان داد و پس‌ازآن به‌ترتیب درجه حرارت، تابش خورشیدی، فشار بخار واقعی و سرعت باد در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. در استان خراسان رضوی حساس‌ترین پارامتر کمبود فشار بخار و کمترین حساسیت در پارامتر سرعت باد دیده شد.

در شکل ۶ رتبه‌بندی حساسیت روش تبخیر و تعرق فائو پنمن مانتیث به پارامترهای هواشناسی در دوره مختلف رشد و کل سال آورده شده است. در دوره رشد گیاهان فصل سرد در ۶۷ درصد از نواحی موردمطالعه کمبود فشار بخار، در ۱۴ درصد از نواحی تابش خورشیدی و در ۱۹ درصد از نواحی فشار بخار واقعی حساس‌ترین پارامترهای مؤثر بر تبخیر و تعرق فائو پنمن مانتیث بودند. درحالی‌که در دوره رشد گیاهان فصل گرم در ۵۰ درصد از نواحی کمبود فشار بخار، ۳۶ درصد از نواحی درجه حرارت و ۱۴ درصد از نواحی موردمطالعه تابش خورشیدی از حساس‌ترین پارامترهای مؤثر بر تبخیر و تعرق فائو پنمن مانتیث بودند و کمترین حساسیت در کل نواحی مورد مطالعه در پارامتر فشار بخار واقعی مشاهده گردید.

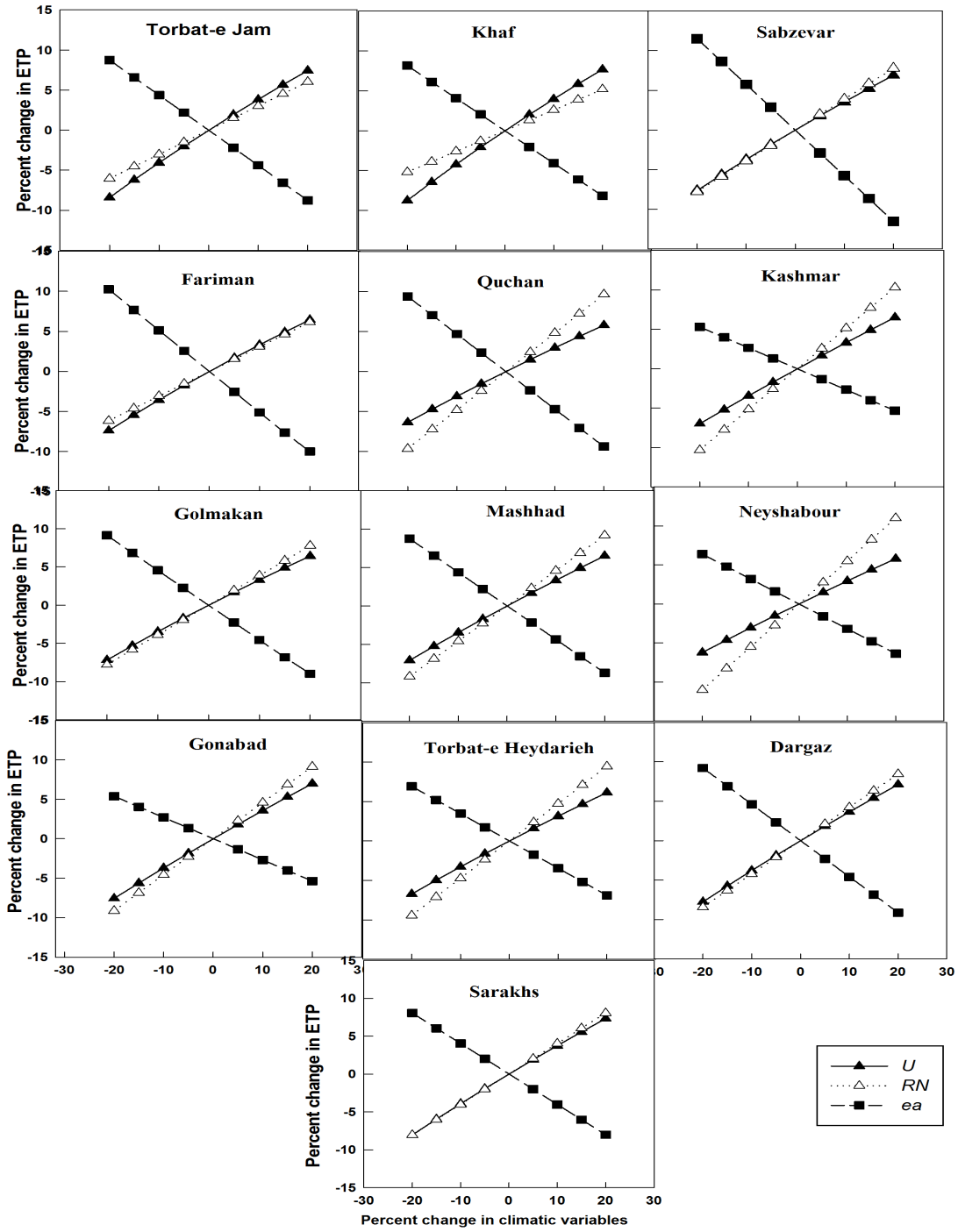
آنالیز حساسیت نشان داد که در دوره رشد گیاهان فصل گرم، تبخیر و تعرق گیاه مرجع در منطقه مورد مطالعه بیشترین حساسیت را به کمبود فشار بخار و پس از آن درجه حرارت متوسط، تابش خورشیدی، سرعت باد و فشار بخار واقعی نشان داد، درحالی‌که در دوره رشد گیاهان فصل سرد بیشترین حساسیت به کمبود فشار بخار و پس از آن فشار بخار واقعی، درجه حرارت متوسط، تابش خورشیدی، سرعت باد مشاهده گردید.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.23.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.260]



شکل ۳- درصد تغییرات تبخیر و تعرق فائو پنمن مانتیث نسبت به تغییر پارامترهای هواشناسی درجه حرارت و کمبود فشار بخار
Figure 3. The percent change of FAO- Penman- Monteith evapotranspiration method to the meteorological parameters (temperature and vapor pressure deficit)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.23.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.260]



شکل ۴– درصد تغییرات تبخیر و تعرق فائو پنمن مانتیث نسبت به تغییر پارامترهای هواشناسی سرعت باد، تابش خالص خورشیدی و فشار بخار واقعی

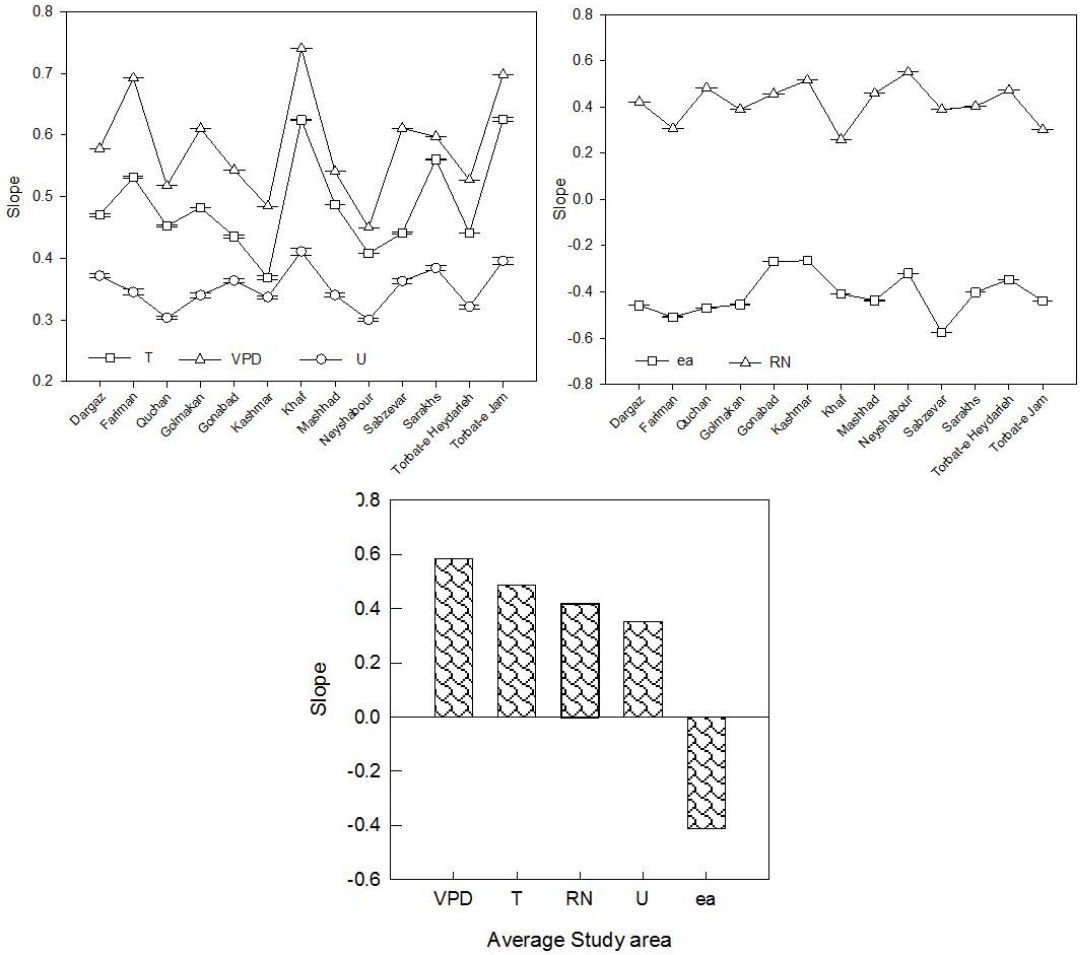
Figure 4. The percent change of FAO- Penman - Monteith evapotranspiration method to the meteorological parameters (wind speed, net solar radiation and actual vapor pressure)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.23.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.260]

جدول ۳- مقادیر شیب درصد تغییرات تبخیر و تعرق فائو پنمن مانتیث و انحراف معیار خطای شیب نسبت به پارامترهای هواشناسی

Table 3. The slope of variation of FAO- Penman - Monteith evapotranspiration method and standard deviation of slope error values to the meteorological parameters

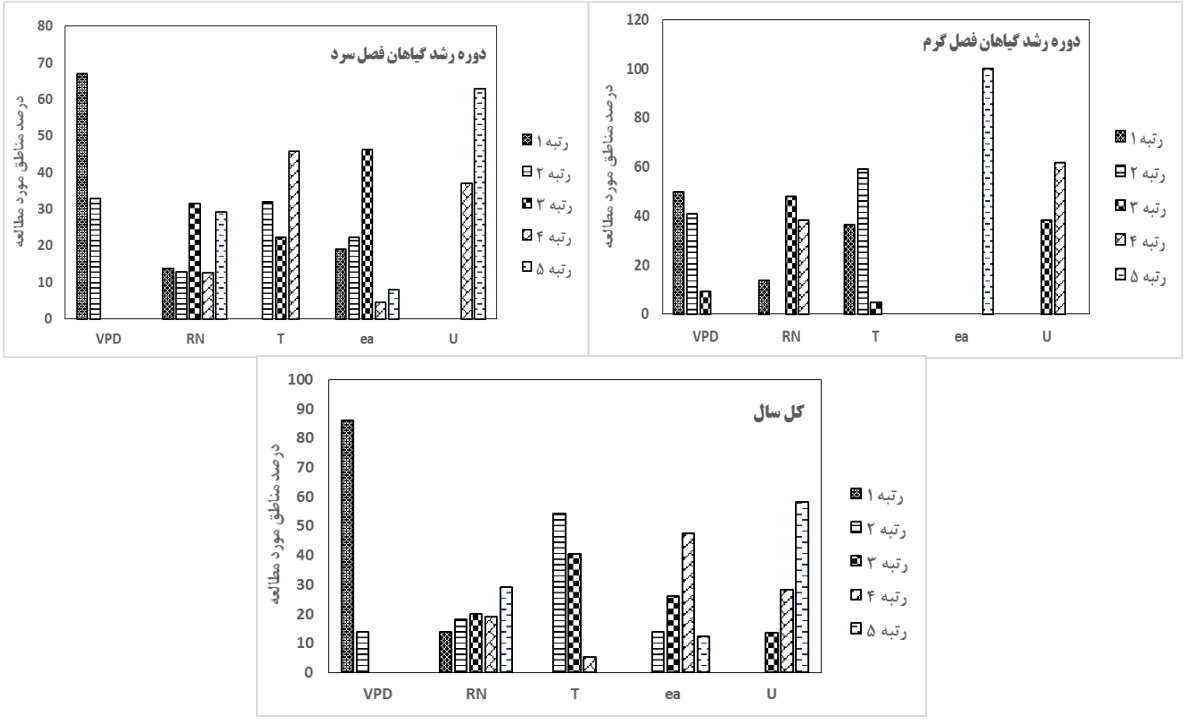
ایستگاه	درجه حرارت		کمبود فشار بخار		سرعت باد		ساعات آفتابی		فشار بخار واقعی	
	شیب	انحراف معیار	شیب	انحراف معیار	شیب	انحراف معیار	شیب	انحراف معیار	شیب	انحراف معیار
تربت‌جام	۰/۶۳	$۲/۷۶\times۱۰^{-۳}$	۰/۷	$۶/۰۷\times۱۰^{-۱۶}$	۰/۴۰	$۵/۱۴\times۱۰^{-۳}$	۰/۳۰	$۸/۶۳\times۱۰^{-۱۷}$	-۰/۴۴	$۱/۱۶\times۱۰^{-۱۶}$
تربت‌حیدریه	۰/۴۴	$۱/۴۷\times۱۰^{-۴}$	۰/۵۳	$۳/۸۳\times۱۰^{-۱۶}$	۰/۳۲	$۳/۱۳\times۱۰^{-۳}$	۰/۴۷	$۱/۰۴\times۱۰^{-۱۶}$	-۰/۳۵	$۹/۷۷\times۱۰^{-۵}$
خواف	۰/۶۲	$۸/۲۲\times۱۰^{-۴}$	۰/۷۴	$۳/۸۸\times۱۰^{-۱۶}$	۰/۴۱	$۵/۷۰\times۱۰^{-۳}$	۰/۲۶	$۹/۷۸\times۱۰^{-۱۷}$	-۰/۴۱	$۱/۰۱\times۱۰^{-۱۶}$
درگز	۰/۴۷	$۲/۲۳\times۱۰^{-۳}$	۰/۵۸	$۴/۱۱\times۱۰^{-۱۶}$	۰/۳۷	$۳/۴۸\times۱۰^{-۳}$	۰/۴۲	$۱/۲۰\times۱۰^{-۱۶}$	-۰/۴۶	$۵/۶۱\times۱۰^{-۴}$
سبزوار	۰/۴۴	$۱/۱۸\times۱۰^{-۳}$	۰/۶۱	$۲/۶۹\times۱۰^{-۱۶}$	۰/۳۶	$۳/۸۹\times۱۰^{-۳}$	۰/۳۹	$۱/۳۰\times۱۰^{-۱۶}$	-۰/۵۸	$۴/۴۸\times۱۰^{-۵}$
سرخس	۰/۵۶	$۲/۱۷\times۱۰^{-۴}$	۰/۶۰	$۶/۱۶\times۱۰^{-۱۶}$	۰/۳۸	$۳/۸۶\times۱۰^{-۳}$	۰/۴۰	$۱/۵۹\times۱۰^{-۱۶}$	-۰/۴۰	$۲/۲۴\times۱۰^{-۴}$
فریمان	۰/۵۳	$۱/۶۷\times۱۰^{-۳}$	۰/۶۹	$۶/۱۲\times۱۰^{-۱۶}$	۰/۳۵	$۵/۰۷\times۱۰^{-۳}$	۰/۳۱	$۱/۰۴\times۱۰^{-۱۶}$	-۰/۵۱	$۱/۸۴\times۱۰^{-۳}$
قوچان	۰/۴۵	$۱/۲۰\times۱۰^{-۳}$	۰/۵۲	$۴/۷۸\times۱۰^{-۱۶}$	۰/۳۰	$۳/۰۳\times۱۰^{-۳}$	۰/۴۸	$۷/۳۹\times۱۰^{-۱۷}$	-۰/۴۷	$۷/۴۳\times۱۰^{-۵}$
کاشمر	۰/۳۷	$۳/۵۱\times۱۰^{-۳}$	۰/۴۸	$۱/۳۰\times۱۰^{-۱۶}$	۰/۳۴	$۲/۴۲\times۱۰^{-۳}$	۰/۵۲	$۱/۰۱\times۱۰^{-۱۶}$	-۰/۲۷	$۷/۴۰\times۱۰^{-۱۸}$
گلمکان	۰/۴۸	$۱/۲۴\times۱۰^{-۴}$	۰/۶۱	$۱/۲۵\times۱۰^{-۱۶}$	۰/۳۴	$۴/۰۸\times۱۰^{-۳}$	۰/۳۹	$۱/۱۹\times۱۰^{-۱۶}$	-۰/۴۵	$۱/۱۰\times۱۰^{-۳}$
گناباد	۰/۴۴	$۲/۲۱\times۱۰^{-۳}$	۰/۵۴	$۲/۶۹\times۱۰^{-۱۶}$	۰/۳۶	$۳/۰۹\times۱۰^{-۳}$	۰/۴۶	$۹/۴۸\times۱۰^{-۱۷}$	-۰/۲۷	$۸/۵۴\times۱۰^{-۱۷}$
مشهد	۰/۴۹	$۵/۴۲\times۱۰^{-۴}$	۰/۵۴	$۲/۰۵\times۱۰^{-۱۶}$	۰/۳۴	$۳/۰۶\times۱۰^{-۳}$	۰/۴۶	$۶/۷۸\times۱۰^{-۱۷}$	-۰/۴۴	$۳/۶۸\times۱۰^{-۴}$
نیشابور	۰/۴۱	$۷/۳۴\times۱۰^{-۴}$	۰/۴۵	$۱/۱۵\times۱۰^{-۱۶}$	۰/۳۰	$۲/۲۳\times۱۰^{-۳}$	۰/۵۵	$۶/۵۴\times۱۰^{-۱۶}$	-۰/۳۲	$۸/۴۳\times۱۰^{-۱۷}$



شکل ۵- شیب درصد تغییرات تبخیر و تعرق فائو پنمن مانتیث و انحراف معیار خطای شیب نسبت به تغییر پارامترهای هواشناسی در مناطق مورد مطالعه و متوسط شیب در کل استان خراسان رضوی

Figure 5. The slope of variation of FAO- Penman - Monteith evapotranspiration method and standard deviation of slope error to change meteorological parameters across the study areas and average slope in the Razavi Khorasan province

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.23.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.260]



شکل ۶- رتبه‌بندی حساسیت تبخیر و تعرق فائو پنمن مانتیث به پارامترهای هواشناسی در مقیاس‌های زمانی متفاوت در منطقه مورد مطالعه
Figure 6. The rank of sensitivity analysis of FAO- Penman - Monteith evapotranspiration method to meteorological parameters at the different timescale across the study area

حساسیت تبخیر و تعرق به روش فائو پنمن مانتیث در مناطق مختلف دنیا مورد مطالعه قرارگرفته است و نتایج متفاوتی هم به‌دست آمده است. نتایج این مطالعه نشان داد که تبخیر و تعرق نسبت به پارامترهای هواشناسی در مقیاس زمانی و مکانی متفاوت می‌باشد که با نتایج تحقیقات اسلامیان و همکاران (۱۳) مشابهت دارد. همچنین نتایج مطالعات شریفی و دین‌پژوه (۳۵) که در مطالعات خود نشان دادند که در ۶ ایستگاه از ۸ ایستگاه مورد مطالعه در ایران در بین پارامترهای دمای هوا، فشار واقعی بخار، سرعت باد و تابش خالص خورشیدی، پارامتر درجه حرارت حساس‌ترین پارامتر در تغییرات تبخیر و تعرق در مقیاس سالانه بود و کمترین حساسیت مربوط به پارامتر فشار بخار واقعی بود که نتایج آنان با نتایج حاصل از این پژوهش مشابه بود. آمباس و بالتاس (۳) نیز در مطالعات خود دریافتند که فاکتور مهم کنترل‌کننده تبخیر و تعرق درجه حرارت می‌باشد که در منطقه تربت‌جام در این پژوهش نیز نتایج مشابهی به‌دست آمد. احمد و همکاران (۱) نیز در مطالعات خود نشان دادند که در بین پارامترهای تابش خورشیدی، درجه حرارت و سرعت باد، بیشترین تأثیر را تابش خورشیدی (۱۴٪) و پس از آن دما (۴٪) و سرعت باد (۱٪) داشت. نتایج آنان نشان داد که تابش خورشیدی نقش مهمی در برآورد PET در شبه‌جزیره مالزی دارد که نتایج آنان با نتایج به‌دست‌آمده در نواحی کاشمر و نیشابور مطابقت دارد؛ اما نتایج این تحقیق با یافته‌های ژانگ و همکاران (۴۳) که در مطالعات خود دریافتند که تبخیر و تعرق کمترین حساسیت را به درجه حرارت متوسط در حوضه رودخانه شیانگ در شمال شرقی چین نشان داد و همچنین گزارش کردند که سرعت باد نقش مهمی در تغییرات تبخیر و تعرق در این حوضه از چین بر عهده دارد، تفاوت دارد. همچنین نتایج این پژوهش با نتایج دین‌پژوه و همکاران (۱۰) که افزایش روند تغییرات تبخیر و تعرق در شرق ایران را به سرعت باد مربوط می‌دانند، مغایرت دارد. در نواحی خشک و نیمه‌خشکی چون منطقه مورد مطالعه ازآنجاکه درجه حرارت بالا می‌باشد و این درجه حرارت بالا و کمبود فشار بخار در ظرفیت پذیرش هوا برای رطوبت تأثیرگذار است بر میزان تبخیر و تعرق تأثیر مهمی دارد. همچنین دریافتیم که پاسخ تبخیر و تعرق به تغییرات پارامترهای آب و هوایی در نواحی با توپوگرافی، اقلیم و جغرافیای مختلف، متفاوت است. طبری و طلایی (۳۷) اذعان داشتند که حساسیت تبخیر و تعرق به عوامل هواشناسی دارای تنوع منطقه‌ای است زیرا شرایط آب و هوایی و عوامل هواشناسی مناطق مختلف با یکدیگر متفاوت می‌باشد. یانگ و همکاران (۴۲) نیز در مطالعات خود نشان دادند که حتی در یک حوضه کوچک، حساسیت از ارتفاع کم به ارتفاعات زیاد متغیر است.

در این مطالعه حساسیت تبخیر و تعرق فائو پنمن مانتیث به ۵ پارامتر هواشناسی شامل کمبود فشار بخار، درجه حرارت، تابش خالص خورشیدی، سرعت باد و فشار بخار واقعی در طول دوره آماری ۱۱ تا ۶۷ سال در ۱۳ ایستگاه هواشناسی استان خراسان رضوی واقع در شمال شرق ایران مورد بررسی قرار گرفت. اقلیم منطقه مورد مطالعه اقلیم خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. نتایج نشان داد که در بیشتر نواحی مورد

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.23.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.260]

مطالعه و متوسط استان مؤثرترین پارامتر هواشناسی در تبخیر و تعرق، پارامتر کمبود فشار بخار و درجه حرارت می‌باشد. پس از آن‌ها به‌ترتیب تابش خورشیدی، فشار بخار واقعی و سرعت باد در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند همچنین در دوره رشد گیاهان فصل گرم، تبخیر و تعرق گیاه مرجع در منطقه موردمطالعه بیشترین حساسیت را به کمبود فشار بخار و پس از آن درجه حرارت متوسط، تابش خورشیدی، سرعت باد و فشار بخار واقعی نشان داد، درحالی‌که در دوره رشد گیاهان فصل سرد بیشترین حساسیت به کمبود فشار بخار و پس‌ازآن فشار بخار واقعی، درجه حرارت متوسط، تابش خورشیدی، سرعت باد مشاهده گردید. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که پاسخ تبخیر و تعرق به تغییرات پارامترهای آب و هوایی در نواحی با توپوگرافی، اقلیم، تفاوت جغرافیایی و مقیاس زمانی، متفاوت است. آنالیز حساسیت انجام‌گرفته در این مطالعه می‌تواند در تدوین معادلات ساده‌تر مشتق شده از روش فائو پنمن مانتیث و یا مدل‌های ساده‌تر محاسبه تبخیر و تعرق کمک قابل‌توجهی بنماید.

تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از نتایج طرح تحقیقاتی اجراشده از محل اعتبارات معاونت پژوهشی مجتمع آموزش عالی کشاورزی و دامپروری تربت‌جام می‌باشد. بدین‌وسیله از حمایت مالی این مجتمع تقدیر و تشکر می‌گردد.

منابع

1. Ahmad, N.F.A., M. Askari, S. Harun, A.B. Fadhil and A.S. Demun. 2017. Sensitivity analysis of a FAO penman monteith for potential evapotranspiration to climate change. Jurnal Teknologi, 79(7): 21-30.
2. Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes and S. Martin. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. Irrigation and Drainage, 201pp.
3. Ambas, V.T. and E. Baltas. 2012. Sensitivity analysis of different evapotranspiration methods using a new sensitivity coefficient. Global NEST Journal, 14(3): 335-43.
4. Amiri, M. and H.R. Pourghasemi. 2019. Comparing Different Methods of Potential Evapotranspiration and Studying Temporal and Spatial Changes in the Mahalou Watershed using GIS. Journal of Watershed Management Research, 10(19): 22-35 (In Persian).
5. Bakhtiari, B. and A.M. Liaghat. 2011.Seasonal sensitivity analysis for climatic variables of ASCE-Penman-Monteith model in a semi-arid climate. Journal of Agricultural Science and Technology, 13(SUPPL.): 1135-45.
6. Brutsaert,W. and M.B. Parlange. 1998. Hydrologic cycle explains the evaporation paradox [8]. Nature, 396: 30 pp.
7. Chattopadhyay, N. and M. Hulme. 1997. Evaporation and potential evapotranspiration in India under conditions of recent and future climate change. Agricultural and Forest Meteorology, 87(1): 55-73.
8. Debnath, S., S. Adamala and N.S. Raghuwanshi. 2015. Sensitivity Analysis of FAO-56 Penman-Monteith Method for Different Agro-ecological Regions of India. Environmental Processes, 2: 689-704.
9. DeJonge, K.C., M. Ahmadi, J.C. Ascough and K.D. Kinzli. 2015. Sensitivity analysis of reference evapotranspiration to sensor accuracy. Computers and Electronics in Agriculture, 110: 176-186.
10. Dinpashoh, Y., D. Jhajharia, A. Fakheri-Fard, V.P. Singh and E. Kahya. 2011. Trends in reference crop evapotranspiration over Iran. Journal of Hydrology, 399(3-4): 422-33.
11. Du, C., J. Yu, P. Wang and Y. Zhang. 2016. Reference Evapotranspiration Changes: Sensitivities to and Contributions of Meteorological Factors in the Heihe River Basin of Northwestern China (1961-2014). Advances in Meteorology, 4143580. https://doi.org/10.1155/2016/4143580
12. Er-Raki, S., A. Chehbouni, N. Guemouria, B. Duchemin, J. Ezzahar and R. Hadria. 2007. Combining FAO-56 model and ground-based remote sensing to estimate water consumptions of wheat crops in a semi-arid region. Agricultural Water Management, 87(1): 41-54.
13. Eslamian, S., M.J. Khordadi and J. Abedi-Koupai. 2011. Effects of variations in climatic parameters on evapotranspiration in the arid and semi-arid regions. Glob Planet Change, 78(3-4): 188-194.
14. Estévez, J., P. Gavilán and J. Berengena. 2009. Sensitivity analysis of a penman-monteith type equation to estimate reference evapotranspiration in Southern Spain. Hydrological Processes, 23(23): 3342-3353.
15. Ghiami-Shomami, F., K. Kawasaki, Leonardo, S. Shinoda and Y. Fan. 2019. Sensitivity of potential evapotranspiration to climate factors in forested mountainous watersheds. Hydrological Research Letters, 13(3):41-48.
16. Golubev, V.S., J.H. Lawrimore, P.Y. Groisman, N.A. Speranskaya, S.A. Zhuravin and M.J. Menne et al. 2001. Evaporation changes over the contiguous United States and the former USSR: A reassessment. Geophysical Research Letters, 28(13): 2665-8.
17. Gong, L., C.Y. Xu, D. Chen, S. Halldin and Y.D. Chen. 2006. Sensitivity of the Penman-Monteith reference evapotranspiration to key climatic variables in the Changjiang (Yangtze River) basin. Journal of Hydrology, 329(3-4): 620-629.
18. Goyal, R.K. 2004. Sensitivity of evapotranspiration to global warming: A case study of arid zone of Rajasthan (India). Agricultural Water Management, 69(1):1-11.
19. Haaker, M.P.R. and P.J.T. Verheijen. 2004. Local and global sensitivity analysis for a reactor design with parameter uncertainty. Chemical Engineering Research and Design, 82(5): 591-8.
20. Hobbins, M.T., J.A. Ramírez and T.C. Brown. 2004. Trends in pan evaporation and actual evapotranspiration across the conterminous U.S.: Paradoxical or complementary? Geophysical Research Letters, 31(13).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.23.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.260]

21. Jabloun, M. and A. Sahli. 2008. Evaluation of FAO-56 methodology for estimating reference evapotranspiration using limited climatic data. Application to Tunisia. Agricultural Water Management, 95(6): 707-15.
22. Lawrimore, J.H. and T.C. Peterson. 2000. Pan evaporation trends in dry and humid regions of the United States. Journal of Hydrometeorology, 1(6): 543-6.
23. Liu, C., D. Zhang, X. Liu and C. Zhao. 2012. Spatial and temporal change in the potential evapotranspiration sensitivity to meteorological factors in China (1960-2007). Journal of Geographical Sciences, 22: 3–14.
24. Liu, Q., Z. Yang, B. Cui and T. Sun. 2010. The temporal trends of reference evapotranspiration and its sensitivity to key meteorological variables in the Yellow River Basin, China. Hydrological Processes, 24(15): 2171-81.
25. Mosaedi, A., M. Ghabaei Sough, S.H. Sadeghi, Y. Mooshakhian and M. Bannayan. 2017. Sensitivity analysis of monthly reference crop evapotranspiration trends in Iran: a qualitative approach. Theoretical and Applied Climatology, 128(3-4): 857-73.
26. Ndiaye, P.M., A. Bodian, L. Diop and K. Djaman. 2017. Sensitivity Analysis of the Penman-Monteith Reference Evapotranspiration to Climatic Variables: Case of Burkina Faso. The Journal of Water Process Engineering, 09(12): 1364-1376.
27. Ohmura, A. and M. Wild. 2002. Is the hydrological cycle accelerating? Science, 298(5597): 1345-6.
28. Peterson, T.C., V.S. Golubev and P.Y. Groisman. 1995. Evaporation losing its strength. Nature, 377(6551): 687-688.
29. Roderick, M.L. and G.D. Farquhar. 2004. Changes in Australian pan evaporation from 1970 to 2002. International Journal of Climatology, 24(9): 1077-90.
30. Roderick, M.L. and G.D. Farquhar. 2005. Changes in New Zealand pan evaporation since the 1970s. International Journal of Climatology, 25(15): 2031-2039.
31. Saadi, S., M. Todorovic, L. Tanasijevic, L.S. Pereira, C. Pizzigalli and P. Lionello. 2015. Climate change and Mediterranean agriculture: Impacts on winter wheat and tomato crop evapotranspiration, irrigation requirements and yield. Agricultural Water Management, 147: 103-15.
32. Saltelli, A., M. Ratto, T. Andres, F. Campolongo, J. Cariboni and D. Gatelli. 2008. Global Sensitivity Analysis. The Primer John Wiley & Sons, Inc, 304 p. https://doi.org/10.1111/j.1541-0420.2009.01343_7.x
33. Samadianfard, S. and S. Panahi. 2018. Estimating Daily Reference Evapotranspiration using Data Mining Methods of Support Vector Regression and M5 Model Tree. Journal of Watershed Management Research, 10(18): 157-167 (In Persian).
34. Saxton, K.E. 1975. Sensitivity analyses of the combination evapotranspiration equation. Agricultural Meteorology, 15(3): 343-53.
35. Sharifi, A. and Y. Dinpashoh. 2014. Sensitivity Analysis of the Penman-Monteith reference Crop Evapotranspiration to Climatic Variables in Iran. Water Resources Management, 28: 5465-5476.
36. Shirmohammadi-Aliakbarkhani, Z. and S.F. Saberali. 2020. Evaluating of eight evapotranspiration estimation methods in arid regions of Iran, Agricultural Water Management. 239:106243. https://doi.org/10.1016/j.agwat.
37. Tabari, H. and P. Hosseinzadeh Talaee. 2014. Sensitivity of evapotranspiration to climatic change in different climates. Global and Planetary Change, 115: 16-23.
38. Temesgen, B., S. Eching, B. Davidoff and K. Frame. 2005. Comparison of Some Reference Evapotranspiration Equations for California. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 131: 1(73).
39. Vicente-Serrano, S.M., C. Azorin-Molina, A. Sanchez-Lorenzo, J. Revuelto, E. Morán-Tejeda, J.I. Lõpez-Moreno and F. Espejo. 2014. Sensitivity of reference evapotranspiration to changes in meteorological parameters in Spain (1961-2011). Water Resources Research. 50(11): 8458-8480.
40. Wright, J.L., R.G. Allen and T.A. Howell. 2000. Conversion between evapotranspiration references and methods. In: National Irrigation Symposium Proc 4th Decennial Symp. p. 251-9.
41. Xiang, K., Y. Li, R. Horton and H. Feng. 2020. Similarity and difference of potential evapotranspiration and reference crop evapotranspiration-a review. Agricultural Water Management, 232(1): 106043. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106043
42. Yang, Y., R. Chen, Y. Song, C. Han, J. Liu and Z. Liu. 2019. Sensitivity of potential evapotranspiration to meteorological factors and their elevational gradients in the Qilian Mountains,northwestern China. Journal of Hydrology, 568: 147-159.
43. Yin,Y., S. Wu, G. Chen and E. Dai. 2010. Attribution analyses of potential evapotranspiration changes in China since the 1960s. Theoretical and Applied Climatology, 101: 19-28.
44. Zhang, X., S. Kang, L. Zhang and J. Liu. 2010. Spatial variation of climatology monthly crop reference evapotranspiration and sensitivity coefficients in Shiyang river basin of northwest China. Agricultural Water Management, 97(10): 1506-16.
45. Zhao, J., Z.X. Xu, D.P. Zuo and X.M. Wang. 2015. Temporal variations of reference evapotranspiration and its sensitivity to meteorological factors in Heihe River Basin, China. Water Science and Engineering, 8(1): 1-8.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.23.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.260]

Sensitivity Analysis of the Reference Evapotranspiration to Meteorological Parameters in Khorasan Razavi Province

Zahra Shirmohammadi-Aliakbarkhani[1] and Seyed Farhad Saberali[2]

1- Assistant Professor, Department of Water science and engineering, High Educational Complex of Torbat-e Jam, Khorasan Razavi, Iran, (Corresponding Author: mshirmohamady@yahoo.com)
2- Assistant Professor, Department of horticulture science and engineering, High Educational Complex of Torbat-e Jam, Khorasan Razavi, Iran
Received: May 27, 2020 Accepted: September 28, 2020

Abstract

Accurate estimation of reference crop evapotranspiration (ETo) is important in hydrological studies and water resource management that can influence the planning and policies for optimal allocation of agricultural water resources. For this purpose, in the present study, sensitivity analysis was employed to evaluate the effects of the changes in meteorological parameters (vapor pressure deficit (VPD), Mean Temperature (Tmean), net solar radiation (Rn), wind speed (u) and actual vapor pressure (ea)) on reference crop evapotranspiration (ETo) within the possible range of ±20% on a daily and growing season scale. ET0 was calculated by The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) 56 Penman-Monteith approach using long-term climate data from 13 meteorological stations of Khorasan Razavi province in northeast Iran. The sensitivity analysis indicated that ETo changes positively with vapor pressure deficit, mean temperature, net solar radiation and wind speed, while it changes negatively with actual vapor pressure. Also, over the whole period, ETo was most sensitive to vapor pressure deficit (VPD), followed by mean temperature (Tmean), net solar radiation (RN), actual vapor pressure (ea) and wind speed (WS). In the the warm growing season, ETo was most sensitive to vapor pressure deficit (VPD), followed by mean temperature (Tmean), net solar radiation (RN), wind speed (WS) and actual vapor pressure (ea) while, in the cool growing season, ETo was most sensitive to vapor pressure deficit (VPD), followed by actual vapor pressure (ea), Mean Temperature (Tmean), net solar radiation (RN) and wind speed (WS). The results showed that the sensitivity of ETo in different stations and different growth periods is different. The findings of this study showed that the importance of effective parameters on the reference crop evapotranspiration (ETo) was different between the hot and cool growing season of the region, which should be considered in sustainable planning of water resources and management of agriculture in Khorasan Razavi regions for development of adaptation strategies in arid climatic conditions.

Keywords: Evapotranspiration, FAO Penman-Monteith method, Meteorological parameters, Sensitivity analysis

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.23.8]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.260]