نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال نوزدهم، شماره ۵۵،زمستان ۹۸

ارزیابی و تحلیل حساسیت روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع در اقلیم سرد و معتدل (مطالعه موردی: زیر حوضه سقز)

دریافت مقاله: ۹۷/۲/۳۱ **پذیرش نهایی:** ۹۷/۶/۲۴

صفحات: ۲۴۸-۲۳۳

نجمه دانشور مروست : دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه اردکان، یزد، ایران.
Email:n.daneshvar94@gmail.com

سمیه سلطانی گردفرامرزی: استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه اردکان، یزد، ایران[۱].
Email: ssoltani@ardakan.ac.ir

سمانه پورمحمدی: دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری موسسه تحقیقات آب ایران و محقق مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها، یزد، ایران.
Email: s.poormohammadi@gmail.com

چکیده

پدیده تبخیر و تعرق باعث تلفات آب و رطوبت از سطوح آبی، خاک و پوشش گیاهی می‌شود و محاسبه آن از طریق روشی مناسب با توجه به میزان اندک نزولات جوی و محدودیت منابع آب در ایران از اهمیت زیادی برخوردار است. پژوهش حاضر سعی در ارزیابی و پهنه‌بندی تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_o) و ارائه آن در قالب نقشه‌ی پهنه‌بندی به عنوان ابزاری اساسی برای مدیریت آب دارد. در این بررسی از میانگین‌های دراز مدت داده‌های دما، رطوبت، ساعات آفتابی و سرعت باد در هفت ایستگاه هواشناسی و داده‌های تشتک تبخیر ایستگاه سقز برای تعیین روش مناسب تخمین ET_o استفاده شد. تبخیر و تعرق گیاه مرجع بر مبنای اطلاعات اقلیمی هر یک از ایستگاه‌ها به ۱۴ روش محاسبه شد. روش‌های محاسباتی شامل روش‌های ترکیبی بر پایه پنمن، روش تشعشعی-دمایی، روش دمایی و روش تشعشعی می‌باشد. مناسب‌ترین روش محاسباتی براساس آماره‌های ضریب تبیین (R^2) و (Nash-Sutcliffe) صورت گرفت. پهنه‌بندی تبخیر و تعرق گیاه مرجع بر اساس اطلاعات جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی و بهره‌گیری از نرم افزار GIS انجام گردید. نتایج تحقیق نشان دادکه بهترین روش برای این منطقه به عنوان اقلیم سرد و معتدل روش تشعشعی فائو با ضریب تبیین ۰/۸۹ و Nash با مقدار ۰/۸۶ در ایستگاه بیجار و روش بلانی کریدل با ضریب تبیین ۰/۹۴ و Nash با مقدار ۰/۹۲ در ایستگاه سنندج است و ضریب تشتک تبخیر در این منطقه مقادیر ۰/۹۶-۰/۸۴ برآورد گردید. همچنین نتیجه پهنه‌بندی نشان داد که غرب حوضه بدلیل ارتفاع بیشتر تبخیر و تعرق کمتری نسبت به شرق حوضه دارد. ساعات آفتابی، دمای بیشینه و دمای کمینه در اولویت اول از عوامل موثر بر تبخیر و تعرق در این منطقه با تحلیل حساسیت تعیین گردید.

کلیدواژگان: تحلیل حساسیت، تبخیر و تعرق، پهنه بندی، پارامترهای اقلیمی، ضریب تشتک، سقز

۱.**نویسنده مسئول**: یزد، شهر اردکان، دانشگاه اردکان، تلفن: ۰۳۵-۳۲۲۴۰۹۱۱

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.8.0]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.233]

مقدمه

برنامه‌ریزی آبیاری به منظور به‌روز کردن بیلان آب، خاک و پیش‌بینی مصرف آینده آب بر پایه محاسبه یا اندازگیری مقدار تبخیر و تعرق بنا شده است تا توسط آن بتوان زمان مجاز رسیدن به حد مجاز تخلیه را پیش-بینی کرد. تبخیر و تعرق یکی از مهم‌ترین راه‌های مصرف یا هدررفت آب در یک حوزه آبخیز است که پایش و بررسی تغییرات آن در دوره زمانی معین می‌تواند ضمن نشان دادن میزان آب مصرفی در هر کاربری اراضی، در مدیریت آب در مقیاس حوزه و تعیین میزان آب مورد نیاز جهت تخصیص به هر کاربری اراضی، مورد استفاده واقع شود (پورمحمدی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۵). روش‌های محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل در دو گروه تجربی و ترکیبی قرار می‌گیرد. در روش‌های تجربی با استفاده از دمای محیط، تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه می‌گردد. در روش‌های ترکیبی برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل از دو فرآیند آئرودینامیک و توازن انرژی استفاده می‌شود. طی سال‌های اخیر روش‌های تجربی زیادی توسط متخصصان برای برآورد تبخیر و تعرق ارائه شده است (کوچک زاده و نیکبخت، ۲۰۰۴: ۴۶). پارسافر و همکاران (۱۳۹۱) به مطالعه ارزیابی حساسیت معادله فائو پنمن مانتیث ۵۶ نسبت به تغییرات سرعت باد در غرب ایران پرداختند. در این بررسی از داده‌های مربوط به ۱۲ پارامتر در دوره‌ی آماری مشترک ۴۱ ساله برای سه ایستگاه (سنندج، ارومیه، تبریز) برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع استفاده گردید. نتایج نشان داد که تغییرات تبخیر و تعرق گیاه مرجع نسبت به تغییرات کاهشی سرعت باد حساس‌تر بوده است و بیشترین درصد تغییرات در ایستگاه تبریز و کمترین تغییرات درایستگاه ارومیه رخ داده است. سبزی‌پرور و همکاران (۱۳۹۲) به مطالعه مقایسه‌ی تبخیر و تعرق مرجع دو روش هارگریوز سامانی و استاندارد فائو ۵۶ در مقیاس پهنه‌ای در حوضه کرخه بزرگ با استفاده از داده‌های هواشناسی ۲۴ ایستگاه سینوپتیک واقع در این حوضه و نواحی اطراف آن پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که تفاوت بین پهنه مکانی دو روش فائو۵۶ و هارگریوز سامانی در مناطق شمالی حوضه بیشتر از سایر نواحی است. اختلاف بین دو پهنه مکانی، بیشتر در ماه‌های ژوئیه و اوت دیده شد. سالاریان و همکاران (۱۳۹۳) مناسب‌ترین روش برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل در شرایط کمبود داده‌های هواشناسی در ماه‌های گرم و سرد سال را مطالعه کردند. در این پژوهش صحت شش روش تجربی محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل در مقابل روش پرکاربرد فائو پنمن مانتیث در طی آمار ۴۷ ساله برای ماه های سرد و گرم سال بر اساس متوسط دما مقایسه گردید. نتایج نشان داد که در اکثر موارد این مطالعات برای ماه‌های گرم و سرد سال کاربرد داشته که در آن به ترتیب استفاده از معادلات بلانی‌کریدل، کمینگ، تشعشعی، هارگریوز، تورک و تیلور جایگزین مناسب برای معادله فائو پنمن مانتیث می‌باشد. نجفی و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از معادلات موجود در نرم افزار REF-ET در طول دوره آماری ۱۹۷۰-۲۰۱۱ برای دو اقلیم مختلف رشت و اصفهان با استفاده از داده‌های تشتک تبخیر، بهترین روش تخمین پارامترهای تابش را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد هنگام بازسازی پارامترهای تابش توسط نرم‌افزار، نتایج تبخیر و تعرق حاصل از معادله تورک در منطقه اصفهان و نتایج حاصل از رابطه پنمن مانتیث فائو برای رشت قابل قبول‌تر و دارای خطای کمتر است. حقوقی دوست و همکاران (۱۳۹۳) عوامل موثر بر تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از تحلیل عاملی بر روی پنج پارامتر اقلیمی به صورت متوسط ماهانه در فاصله آماری سال‌های ۲۰۱۲-۱۹۸۴ در بیست ایستگاه هواشناسی استان آذربایجان شرقی را

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.8.0]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.233]

بررسی کردند. نتایج تحلیل عاملی نشان داد که پارامتر دما، رطوبت، تشعشع و سرعت باد به عنوان پارا مترهای موثر بر تبخیر و تعرق می‌باشد. کیخسروی و همکاران (۱۳۹۳) تبخیر و تعرق مرجع در پنج ایستگاه سینوپتیک استان کرمانشاه با استفاده از نرم افزار REF-ET را محاسبه کردند. نتایج به دست آمده حاکی از این بود که عامل ارتفاع و جهت ارتفاعات باعث اختلاف در عناصر اقلیمی و به تبع آن مقادیر تبخیر و تعرق در منطقه مورد مطالعه بوده است به طوری که مناطق غربی که دارای ارتفاع خیلی کم هستند از بیشترین مقدار و مناطق شمال شرق به علت ارتفاع و جهت قرارگیری کوه‌ها دارای کمترین مقدار تبخیر و تعرق می‌باشند. جوشنی و همکاران (۲۰۱۵) روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق مرجع با تشتک تبخیر FAO در دو اقلیم خشک و مرطوب در حوضه دریای خزر را ارزیابی کردند. در این مطالعه بهترین مدل برآورد تبخیر و تعرق مرجع برای دریای خزر با دو اقلیم خشک و مرطوب تبخیر و تعرق مرجع ناشی از تشتک تبخیر انتخاب گردید و بر اساس پارامتر-های آماری با روش‌های مختلف تبخیر و تعرق مقایسه شد. با توجه به نتایج، روش‌های FAO-24، بلانی کریدل،FAO-24 تشعشعی، هارگریوز سامانی، تورک و ماکینگ با ابعاد زمانی مختلف بهترین سازگاری با تبخیر و تعرق مرجع را دارا می‌باشد. صفوی و همکاران (۲۰۱۵) روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل در شهرستان دیلم را مطالعه کردند. به دلیل عدم وجود داده‌های لایسیمتری و بنا به پیشنهاد سازمان فائو، مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه به روش فائو پنمن-مانتیث به عنوان روش کنترل در نظر گرفته شد و با مقدار تبخیر و تعرق برآوردی به روش بلانی کریدل، هارگریوز سامانی و تورنت وایت مقایسه شد. نتایج نشان داد که روش بلانی کریدل در بین سایر روش‌ها بیشترین ضریب همبستگی و کمترین میزان خطای استاندارد و دقت بیشتری را دارا است. دیاز و همکاران (۲۰۱۵) تأثیر تغییر پوشش زمین در تبخیر و تعرق و جریان سطحی در حوضه‌ی کوچکی در بالای رودخانه زینگو (برزیل مرکزی) را بررسی کردند. نتایج نشان داد که اندازه‌گیری متوسط جریان سطحی در اکوسیستم سویا حدود سه برابر اکوسیستم جنگل بوده است و شبیه‌سازی متوسط تبخیر و تعرق سالانه در اکوسیستم کشاورزی /مرتع و سویا کمتر از اکوسیستم طبیعی جنگل استوایی و دشت بدون درخت است. استان[1] و همکاران (۲۰۱۶) میزان تبخیر و تعرق در دریاچه کالداروسانی در رومانی را بررسی کردند. در این مطالعه به تجزیه و تحلیل داده-های آب و هوایی، هیدرولوژیکی و مورفومتریک دریاچه در بازه ۲۰۰۹-۲۰۱۴ با استفاده از روش های آماری و ریاضی پرداخته شد. نتایج نشان داد حجم آب از دست رفته توسط تبخیر و تعرق از دریاچه در سال ۲۰۱۴ تقریبا یک سوم حجم رودخانه بوده است. لی و همکاران (۲۰۱۷) تغییر پوشش زمین و تغییر آب و هوای منطقه‌ای در یک اکوسیستم مرتعی خشک در مغولستان – چین را بررسی کردند. نتایج نشان داد که تخریب پوشش گیاهی باعث افزایش البیدو تقریباً به میزان پنج درصد شده است و همچنین تبخیر و تعرق نیز حدود ۰/۸ سانتی‌متر در روز کاهش یافت.

لیاکات و همکاران (۲۰۱۷) دقت روش‌های تبخیر و تعرق و ارتباطشان با رد پای تنش آب تحت انواع مختلف پوشش زمین در شبه جزیره کره را بررسی و مطالعه کردند.

بخش کشاورزی و تولید غذا برای هر جامعه بسیار ضروری و دارای اهمیت ویژه‌ای است. این فرایند بسیار وابسته و تاثیرپذیر از تغییر اقلیم است و این تغییرات بر منابع آبی و مولفه ی مهم تبخیر و تعرق نمود می‌کند.

[1] - Stan

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.8.0]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.233]

با توجه به اهمیت مؤلفه تبخیر و تعرق در بخش کشاورزی در پژوهش حاضر سعی در ارزیابی روش‌های مختلف تبخیر و تعرق، تعیین بهترین روش برای حوضه آبریز سقز به عنوان منطقه‌ای با اقلیم سرد و معتدل براساس داده‌های تشتک تبخیر است. همچنین ضریب تشتک تبخیر برای این منطقه با استفاده از بهترین روش در هر ایستگاه برآورد می‌گردد. با انجام تحلیل حساسیت، اولویت‌بندی و میزان تاثیرگذاری هریک از پارامترهای اقلیمی بر روی تبخیر و تعرق بررسی خواهد شد و در نهایت تبخیر و تعرق گیاه مرجع در قالب نقشه‌ی پهنه-بندی بدست خواهد آمد.

روش تحقیق

معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه مورد مطالعه در استان کردستان در بخش مرکزی سلسله جبال زاگرس قرار دارد. این منطقه بین طول‌های جغرافیایی″۳۶ ′۲۶ °۴۵ تا″۴۶ ′۲۶ °۴۶ شرقی و عرض‌های″۲۲ ′۵۹ °۳۵ تا″۴۲ ′۲۳ °۳۶ شمالی قرار دارد. ارتفاع حداکثر در منطقه ۳۲۹۰ متر و حداقل ۱۲۰۰ متر می‌باشد. آب و هوای استان کردستان براساس طبقه‌بندی کوپن، جزو اقلیم سرد و معتدل و براساس کلیماگرام کوپن در پشت خط استپی و نیمه-بیابانی قرار می‌گیرد. در نقشه پهنه‌بندی اقلیمی ایران، کردستان با زمستان‌های سرد تا خیلی سرد و تابستان-های معتدل، نیمه گرم و خشک نشان داده شده است (مظفری و صفرپور، ۱۳۹۲: ۲۶). دی و بهمن سرد-ترین ماه سال در تمام حوضه است با متوسط حداقل ۱۰/۵- درجه سانتی‌گراد و مرداد گرم‌ترین ماه با متوسط ۲۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. حوضه مورد مطالعه از زیر حوضه‌های زرینه به حساب می‌آید که دارای رودهای سارق، خرخره، جغاتو، سقز و زرینه می‌باشد. از نظر ریخت شناسی سه واحد کوهستان و کوهپایه و دشت در حوضه مورد مطالعه قابل تشخیص‌اند که واحد کوهستان بخش اعظم شمال حوضه را در برگرفته و واحد کوهپایه و دشت شامل مناطق مسکونی و بافت شهری مرکز تا جنوب حوضه می‌باشد. در این تحقیق از آمار هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک سقز، مهاباد، زرینه آباتو، مریوان، سنندج، بیجار، تکاب و داده‌های تشتک تبخیر از ایستگاه تبخیرسنجی سقز در طی دوره‌ی آماری۲۲ ساله (۱۳۹۲-۱۳۷۱) استفاده شده است. موقعیت جغرافیایی زیر حوضه سقز و ایستگاه‌های هواشناسی انتخابی در شکل(۱) ارائه شده است. اطلاعات هواشناسی مورد استفاده شامل داده‌های میانگین مربوط به حداقل درجه حرارت، حداکثر درجه حرارت، حداقل رطوبت نسبی، حداکثر رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی است که با دخالت دادن موقعیت جغرافیایی شامل ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی ایستگاه سقز، پس از بازسازی داده‌های مفقوده، مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از ۱۴ روش معتبر در نرم‌افزار REF-ET محاسبه گردید. نرم‌افزار مذکور در سال ۲۰۰۱ در دانشگاه آیداهو براساس دستورالعمل فائو۵۶ تهیه شده است (آلن و همکاران، ۱۹۹۸: ۱۰۶) و توانایی به کارگیری طیف وسیعی از داده‌های هواشناسی را، به عنوان ورودی برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل به روش‌های مختلف را دارد. روش‌های محاسباتی با توجه به نوع داده‌های ورودی (دما، رطوبت نسبی، سرعت باد، میزان بارندگی و مختصات جغرافیایی و ارتفاع هر ایستگاه) شامل نه روش ترکیبی بر پایه پنمن ، دو روش دمایی، سه روش ترکیبی دمایی- تشعشعی، و یک روش تشعشعی می‌باشند. برای ارزیابی دقت و سنجش صحت نتایج بدست آمده، میزان تطابق بین مقادیر اندازگیری از تشتک تبخیر و برآورد شده به

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.8.0]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.233]

روش‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. آماره‌های مشابهی برای سنجش اعتبار و درستی مدل‌ها دارد که از بین آنها می توان به ضریب تبیین (R^2) و ضریب Nash-Sutcliffe (پورمحمدی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۸) براساس آماره‌های یاد شده، روش‌های مناسب در هر ایستگاه پیشنهاد گردید.رابطه‌های(۱ و ۲).

رابطه(۱)
$$R^2 = \left[\sum_{i=1}^{N}((Qi_{obs} - \overline{Q_{obs}}) \times (Qi_{sim} - \overline{Q_{sim}}))/\sqrt{\sum_{i=1}^{T}(Qi_{obs} - \overline{Q_{obs}})^2 \times \sqrt{\sum_{T=1}^{T}(Qi_{sim} - \overline{Q_{sim}})^2}}\right]^2$$

رابطه(۲)
$$Nash = 1 - \sum_{i=1}^{N}(Qi_{obs} - \overline{Q_{obs}})^2 / \sum_{i=1}^{N}(Qi_{obs} - \overline{Q_{sim}})^2$$

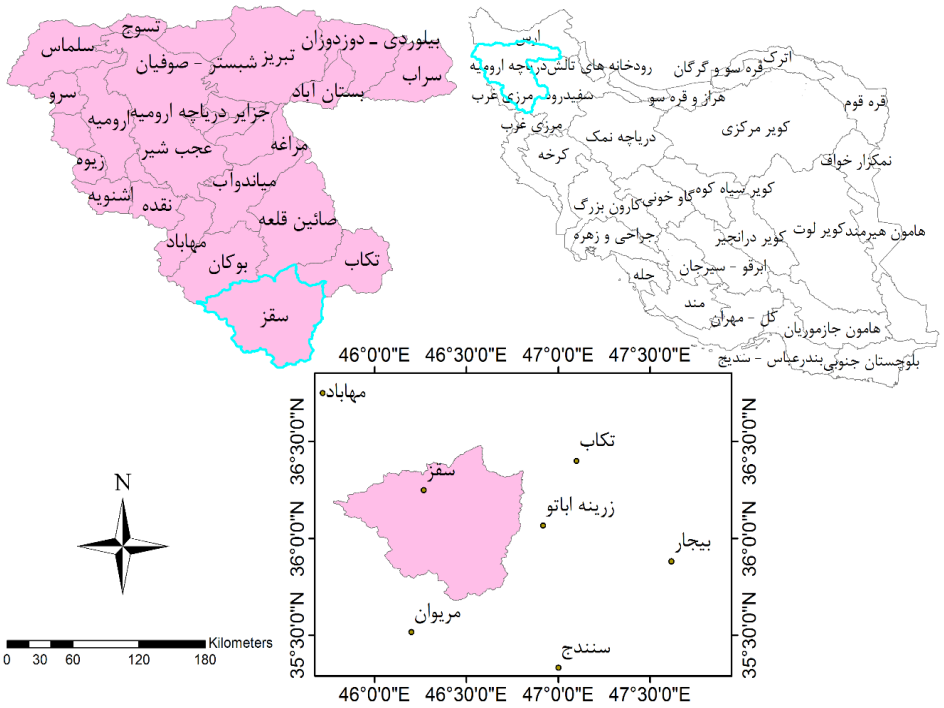
در روابط(۱ و ۲)، Qi_{obs}، Qi_{sim}، $\overline{Q_{obs}}$ و $\overline{Q_{sim}}$ به ترتیب مقادیر مشاهده‌ای، مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل، متوسط مقادیر مشاهده‌ای و متوسط مقادیر شبیه‌سازی شده و N طول سری زمانی است.

با توجه به اینکه برداشت داده‌های لایسیمتری به منظور محاسبه تبخیر و تعرق زمان‌بر بوده و در بعضی از مواقع داده‌های اقلیمی و هواشناسی برای استفاده از فرمول‌های تجربی تبخیر و تعرق در دسترس نبوده یا ناقص می‌باشد، بنابراین با استفاده از داده های تشتک تبخیر و مقادیر تبخیر و تعرق روش منتخب هر ایستگاه، به برآورد ضریب تشتک پرداخته شد رابطه (۳).

رابطه (۳)
$$ET_o = K_{Pan} * E_{Pan}$$

در این رابطه K_{Pan} مقدار ضریب تشتک تبخیر و E_{Pan} مقدار تبخیر از سطح تشتک است که در ایستگاه تبخیرسنجی اندازه‌گیری می‌گردد. سپس با کاهش و افزایش هر یک از عوامل اقلیمی به کار رفته در معادلات تبخیر و تعرق، به میزان ۱۰ و۲۰ درصد مجدداً با استفاده از نرم افزار REF-ET تبخیر و تعرق مرجع با توجه به تغییرات عوامل اقلیمی برای هر ایستگاه محاسبه گردید. با انجام این کار میزان تاثیرگذاری هریک از پارامتر-های اقلیمی بر روی تبخیر و تعرق در هر ایستگاه به صورت جداگانه بررسی شد. داده‌های اقلیمی عمدتاً به صورت نقطه‌ای (مشاهدات ایستگاهی) اندازه‌گیری می‌شوند، این در حالی است که غالبا به اطلاعات در بازه یک پهنه نیاز است. به طور کلی نتایج تجزیه و تحلیل اقلیمی و موارد مشابه را زمانی می‌توان به پهنه‌های بزرگتر تعمیم داد که میان‌یابی به عنوان مرحله ضروری در تبدیل داده‌های نقطه‌ای به پهنه‌ای پدیرفته شود (ماردیکیس، ۲۰۰۵: ۲۵۵). در نهایت پس از وارد کردن مشخصات ایستگاه‌ها، شامل نام ایستگاه، طول و عرض جغرافیایی و تبخیر و تعرق محاسباتی به محیط نرم افزار GIS، پهنه‌بندی به دو روش کریجینگ و میان‌یابی وزن‌دهی فاصله معکوس صورت گرفت. دقت این دو روش توسط ابزار Identify در نرم افزار GIS تعیین گردید. همچنین مطابق توضیحات فوق پهنه بندی برای ضریب تشتک نیز انجام گرفت. متوسط پارامترهای هواشناسی و موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در جدول(۱) ارائه شده است. در شکل(۲) مراحل مختلف انجام کار نشان داده شده است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.8.0]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.233]

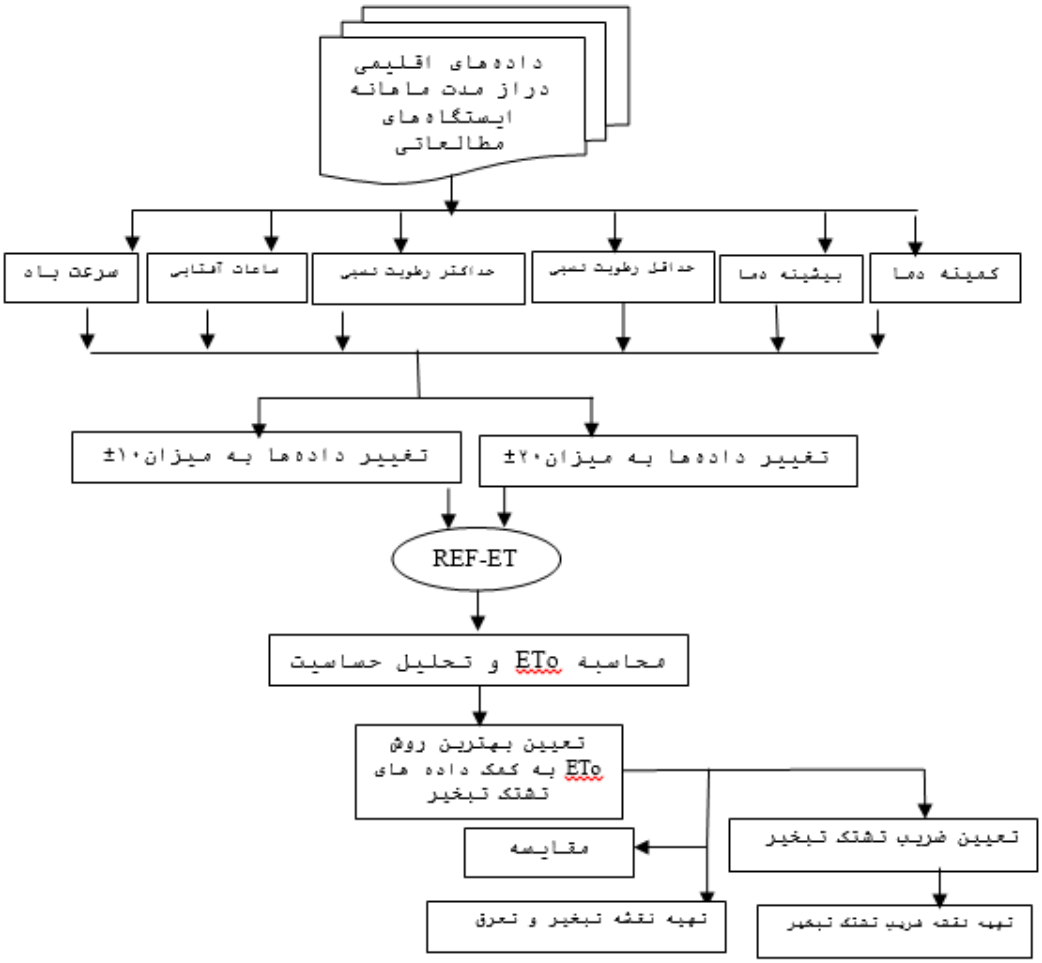


شکل(۱) موقعیت جغرافیایی حوضه‌های ایران، دریاچه ارومیه و زیر حوضه سقز و ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده

جدول(۱)موقعیت جغرافیایی و متوسط پارامتر های هواشناسی ایستگاه سقز با دوره آماری (۱۳۹۲-۱۳۷۱)

ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	دمای حداقل (سانتیگراد)	دمای حداکثر (سانتیگراد)	رطوبت حداقل (درصد)	رطوبت حداکثر (درصد)	تعداد ساعات آفتابی	سرعت باد (متر بر ثانیه)
بیجار	۱۸۸۳/۴	۵/۵	۱۶/۹	۳۶/۳	۶۳/۲	۸/۳	۴/۱
تکاب	۱۷۶۵	۲/۷	۱۶/۵	۳۹/۴	۷۹/۴	۸	۲/۹
زرینه	۲۱۴۲/۶	۲	۱۳/۵	۴۱/۳	۶۹/۴	۸/۳	۴
سقز	۱۵۲۲/۸	۲/۸	۱۹	۳۷/۶	۷۳/۴	۸/۲	۲/۲
سنندج	۱۳۷۳/۴	۶/۲	۲۱/۸	۲۹/۲	۷۰/۲	۸/۲	۲/۳
مریوان	۱۲۸۶/۸	۵/۱	۲۰/۵	۳۶/۸	۵۷/۷	۸/۱	۲/۵
مهاباد	۱۳۸۵	۷/۱	۱۹/۴	۳۷/۲	۶۹	۷/۲	۲/۵

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.8.0]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.233]



شکل(۲)مراحل مختلف انجام تحقیق

نتایج

در این پژوهش از ۱۴ روش تعریف شده در نرم افزار REF-ET برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع استفاده شد. نتایج تبخیر و تعرق محاسباتی از روش‌های مختلف در مقایسه با داده‌های اندازه‌گیری شده از تشتک تبخیر در جدول(۲) ارائه شده است. در این جدول بهترین روش‌های پیشنهادی در قالب دو پارامتر آماری نشان داده شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، ضریب R^2 در ایستگاه سنندج و مریوان دارای بیشترین مقدار (۰/۹۴) و در ایستگاه تکاب دارای کمترین مقدار (۰/۸۶) است و ضریب Nash در ایستگاه سنندج با بیشترین مقدار (۰/۹۲) و کمترین مقدار (۰/۷۹) در ایستگاه تکاب اتفاق افتاده است. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود بهترین روش‌های تبخیر و تعرق مرجع در این منطقه تشعشعی فائو و بلانی کریدل است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.8.0]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.233]

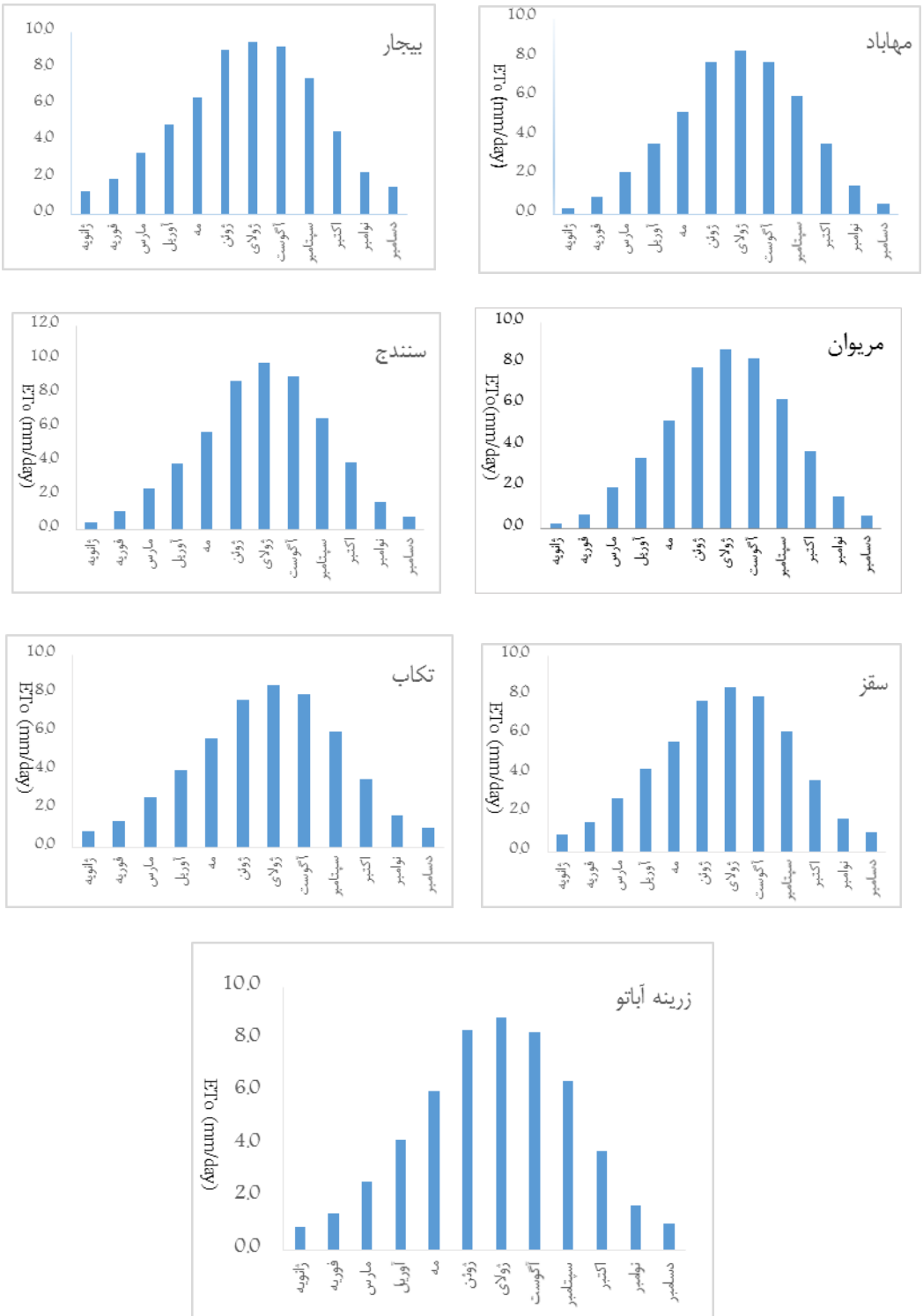
جدول(۲) مقادیر خطای ET_0 برآورد شده با مدل‌های مختلف در مقایسه با داده‌های تشتک تبخیر

روش برگزیده	NASH	R^2	ایستگاه های هواشناسی
تشعشعی فائو	۰/۸۶	۰/۸۹	بیجار
تشعشعی فائو	۰/۷۹	۰/۸۶	تکاب
تشعشعی فائو	۰/۸۵	۰/۸۹	زرینه
تشعشعی فائو	۰/۸۰	۰/۸۸	سقز
بلانی کریدل	۰/۹۲	۰/۹۴	سنندج
بلانی کریدل	۰/۸۹	۰/۹۴	مریوان
بلانی کریدل	۰/۸۷	۰/۸۹	مهاباد

بررسی تغییرات ماهانه تبخیر و تعرق مرجع

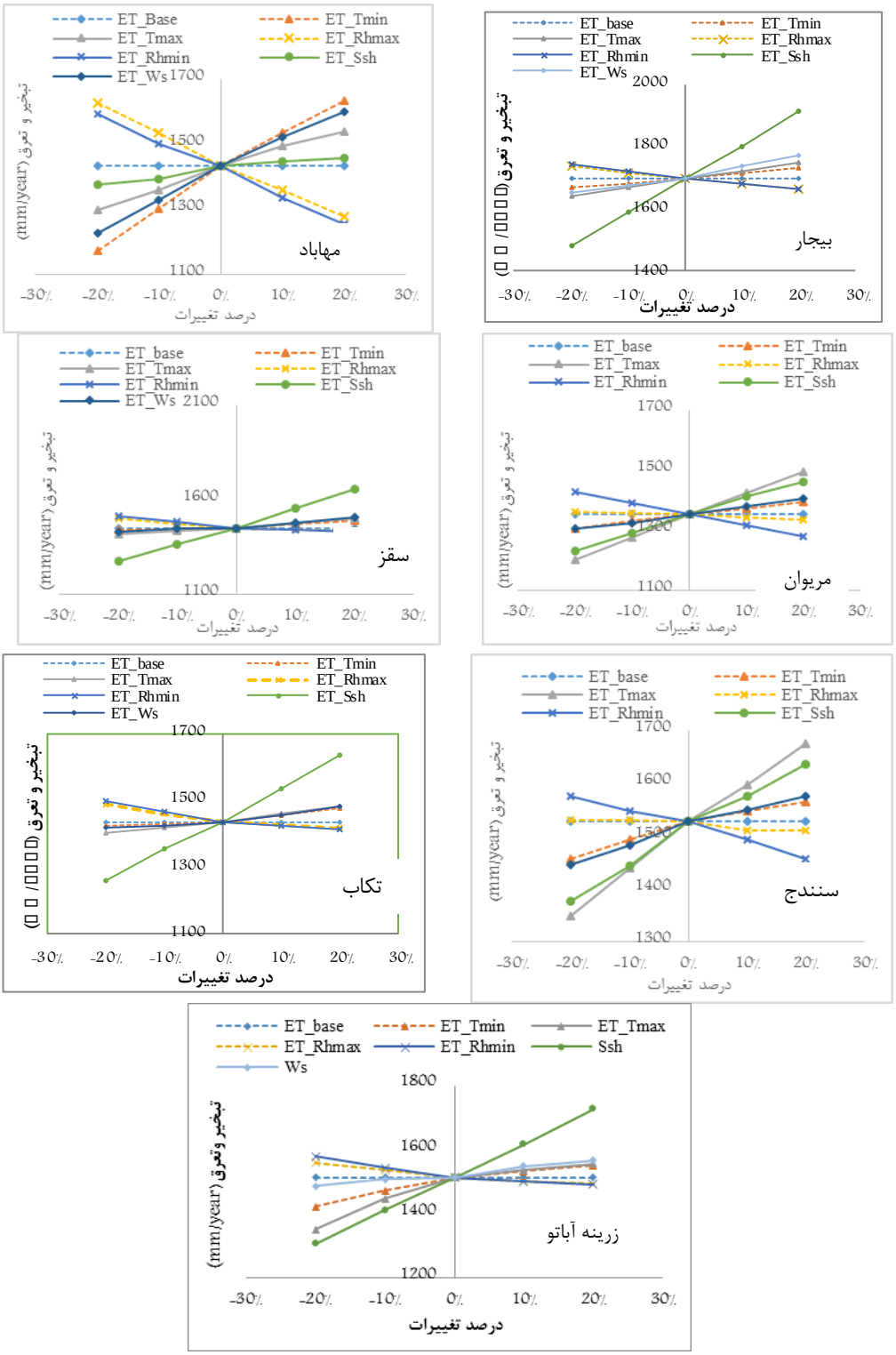
شکل(۳) تغییرات ماهانه تبخیر و تعرق در ایستگاه‌های سقز، مهاباد، زرینه آباتو، مریوان، سنندج، بیجار و تکاب را نشان می‌دهد. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، بیشترین تبخیر و تعرق مربوط به ایستگاه سنندج با مقدار متوسط ماهیانه ۹/۸۳ میلی‌متر در مرداد ماه است. درحالی که در ماه مشابه آن در ایستگاه مهاباد کمترین تبخیر و تعرق (۸/۳۴ میلی متر بر روز) در مقایسه با سایر ایستگاه‌ها مشاهده می‌شود. پس از بررسی تغییرات ماهانه تبخیر و تعرق در ایستگاه‌های مطالعاتی، به بررسی آنالیز حساسیت بر اثر تغییر هریک از پارامترهای ورودی آن در تمامی ایستگاه‌های مطالعاتی پرداخته شده است. شکل(۴) نمودار تغییرات تبخیر و تعرق با توجه به کاهش یا افزایش هر کدام از پارامترهای ورودی موثر بر تبخیر و تعرق در تمامی ایستگاه‌های مطالعاتی را نشان می‌دهد. در هر یک از نمودارها، خط افقی نشان‌دهنده میانگین بلند مدت تبخیر و تعرق مرجع در هریک از ایستگاه‌ها است. با تغییر مقدار مشخصی (۱۰± و۲۰±) در مقادیر عددی هریک از پارامترهای اقلیمی، مجددا اقدام به محاسبه تبخیر و تعرق گردید و مقدار محاسبه شده به صورت خطوط مختلفی بر روی این نمودار نشان داده شده است. به عنوان مثال، خط مربوط به سرعت باد (ET-WS)، نشان‌دهنده تبخیر و تعرق محاسبه شده پس از اعمال تغییرات به میزان ۱۰± و ۲۰± در مقادیر عددی سرعت باد است. نحوه تفسیر این خطوط بدین صورت است که وجود شیب بیشتر هر یک از خطوط مذکور با خط افقی، نشان‌دهنده حساسیت بیشتر تبخیر و تعرق به تغییر پارامتر مذکور است. همانطور که در شکل(۴) نشان داده شده است در تمامی ایستگاه‌ها عوامل اصلی موثر بر تبخیر و تعرق مرجع متفاوت از سایر ایستگاه‌ها بوده است، به طوری که در تمامی ایستگاه‌ها عوامل اصلی موثر بر تبخیر و تعرق مرجع متفاوت از سایرایستگاه‌ها بوده است، به طوری که در چهار ایستگاه، بیجار، تکاب، زرینه و سقز، ساعات آفتابی اولویت اول را دارا است در حالی که در ایستگاه‌های سنندج و مریوان، دمای حداکثر در اولویت اول قرار دارد. بالا بودن بیشینه دما در این دو ایستگاه نسبت به سایر ایستگاه‌ها علت نتایج حاصله است. در ایستگاه مهاباد دمای حداقل دارای بیشترین تاثیر بر تبخیر و تعرق است، علت این مورد نیز بالا بودن کمینه دما در مقایسه با سایر ایستگاه‌ها است. در تمامی ایستگاه‌ها به جز مهاباد ساعات آفتابی به عنوان عامل تاثیرگذار در تبخیر و تعرق در اولویت اول و دوم قرار دارد. علت آن پایین بودن میانگین سالانه ساعات آفتابی مهاباد نسبت به سایر ایستگاه‌ها است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.8.0]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.233]



شکل (۳) تبخیر و تعرق مرجع دراز مدت ماهانه ایستگاه‌های مطالعاتی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.8.0]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.233]



شکل(۴) میزان تغییرات تبخیر و تعرق (ET) با تغییرات شش پارامتر

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.8.0]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.233]

نکته شایان توجه دیگر در نمودارهای رسم شده، فاصله گرفتن خطوط از محور افقی است، به طوری که رطوبت نسبی به علت تاثیر کاهنده در تبخیر و تعرق و طرز قرار گرفتن آن در محور افقی، متفاوت از عوامل دیگر مثل سرعت باد است، که نقش افزایشی در تبخیر و تعرق دارد. تبخیر از یک تشت تبخیر، نشانگر شاخصی از اثر توام دمای هوا، تشعشع و باد است. به خاطر تفاوت آب آزاد و سطوح گیاهی، باید مقدار تبخیر از تشت تبخیر را در یک ضریب تجربی ضرب کرد تا تبخیر و تعرق به دست آید (موسوی و اخوان، ۱۳۸۶: ۲۵۰). این ضریب که به ضریب تشتک تبخیر معروف است در محاسبه تبخیر و تعرق با استفاده از داده‌های تشتک تبخیر پارامتر مهمی است. در این مطالعه مقادیر ضریب تشتک تبخیر (K_{Pan}) محاسبه شده در جدول(۳) نشان داده شده است. براساس مقادیر بدست آمده، ایستگاه مهاباد بیشترین مقدار ضریب تشتک تبخیر معادل ۰/۹۷ و ایستگاه مریوان با کمترین مقدار ۰/۸۴ می‌باشد. به طور کلی در حوضه سقز به عنوان حوضه ای با اقلیم سرد و معتدل مقدار متوسط ضریب تشتک تبخیر ۰/۹ برآورد گردید.

جدول(۳) مقادیر ضریب تشتک تبخیر

ایستگاه	مقادیر تبخیر و تعرق روش منتخب	مقادیر تبخیر و تعرق حاصل از تشتک	K_{pan}
بیجار	۱۵۷۶/۳۱	۲۴۹۲/۸۳	۰/۹۲
تکاب	۱۵۲۹/۸۹	۱۶۷۱/۷۷	۰/۹۲
زرینه	۱۶۲۰/۱۰	۱۷۱۸/۲۷	۰/۹۴
سقز	۱۵۵۱	۱۷۹۶/۶۷	۰/۸۶
سنندج	۱۶۲۱/۹۹	۱۹۰۷/۳۲	۰/۸۵
مریوان	۱۴۶۱/۳۷	۱۷۳۸/۲۳	۰/۸۴
مهاباد	۱۴۲۴/۴۱	۱۴۷۰/۸۷	۰/۹۶

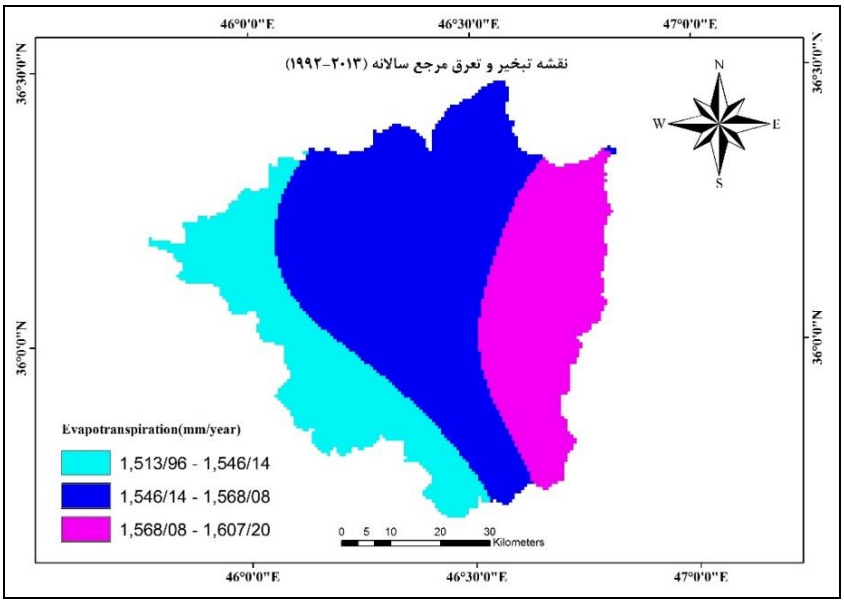
از آنجا که تبخیر و تعرق متغیری است پیوسته که به موقعیت جغرافیایی نقاط ایستگاهی وابسته است، لذا دارای پراکنش مکانی است و این موضوع اهمیت مدیریت مکانی تبخیر و تعرق را تایید می‌کند. در این مطالعه نقشه تبخیر و تعرق با دقت مناسب براساس نتایج حاصل از روش‌های کریجینگ و میان‌یابی وزن‌دهی معکوس(IDW) تهیه گردید. از بین این دو روش با استفاده از ابزار Identify در نرم افزار Arc Gis، بهترین روش انتخاب شد. جدول(۴) دقت روش کریجینگ و میان یابی وزن‌دهی معکوس را نسبت به مقدار محاسباتی تبخیر و تعرق نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود روش میان‌یابی وزن‌دهی معکوس با مقادیر تبخیر و تعرق محاسباتی نزدیکی بیشتری دارد. در نتیجه نقشه پهنه-بندی تبخیر و تعرق با استفاده از این روش ترسیم گردید.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.8.0]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.233]

جدول(۴) مقایسه مقدار تبخیر و تعرق مرجع با دو روش پهنه‌بندی

ایستگاه	ET	IDW	Kriging
بیجار	۱۷۹۵/۳۶	۱۷۵۹/۳۶	۱۷۳۴/۷۲
تکاب	۱۶۱۳/۹۵	۱۵۳۳/۸۴	۱۵۶۶
زرینه آباتو	۱۵۵۱/۴۵	۱۶۱۳/۹۴	۱۶۰۶/۲۷
سقز	۱۶۲۷/۳۹	۱۵۵۱/۴۵	۱۵۳۲/۵۴
سنندج	۱۴۵۳/۷۶	۱۶۲۷/۳۹	۱۶۱۸/۴۴
مریوان	۱۴۵۳/۷۶	۱۴۵۳/۷۶	۱۴۸۸/۹۲
مهاباد	۱۴۳۴/۱۵	۱۴۳۴/۱۵	۱۴۳۴/۱۵

شکل(۵) نقشه پهنه‌بندی تبخیر و تعرق مرجع سالانه به روش میان‌یابی وزن‌دهی معکوس در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از نقشه زیر مشخص است بیشترین میزان تبخیر و تعرق مربوط به قسمت‌های شرقی حوضه آبریز سقز بوده و کمترین میزان تبخیر در قسمت‌های غربی حوضه بوده است. کاهش تبخیر و تعرق در غرب حوضه ناشی از کاهش گرادیان دما نسبت به ارتفاع است چراکه افزایش ارتفاع سبب کاهش دما و به تبع آن کاهش تبخیر و تعرق می شود. در ضمن وجود رشته کوه زاگرس در غرب حوضه در کاهش دما، افزایش رطوبت و به تبع آن کاهش تبخیر و تعرق موثر است. بیشترین مساحت منطقه دارای تبخیر و تعرق با مقدار ۱۵۵۷/۱۱ میلی‌متر در سال می‌باشد.

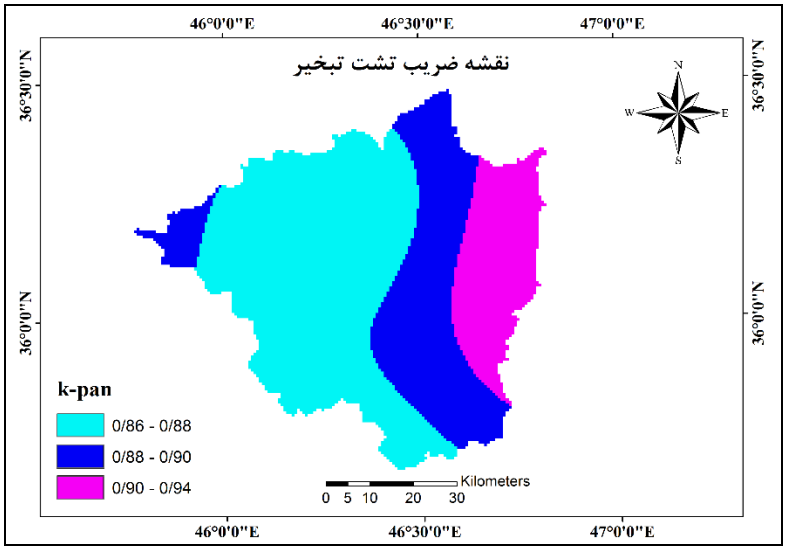


شکل(۵) نقشه پهنه‌بندی تبخیر و تعرق مرجع سالانه به روش عکس فاصله وزنی

نقشه ضریب تشتک نیز به دو روش کریجینگ و میان یابی وزن دهی معکوس تهیه گردید. همچنین با استفاده از ابزار Identify در نرم افزار GIS تعیین گردید که روش میان یابی وزن دهی معکوس نزدیکی بیشتری با

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.8.0]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.233]

مقدار محاسباتی داشته است. شکل(۶) نقشه پهنه‌بندی ضریب تشتک به روش میان‌یابی وزن‌دهی معکوس در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل(۶) نقشه پهنه‌بندی ضریب تشتک سالانه به روش عکس فاصله وزنی

نتیجه گیری

در این تحقیق نشان داده شد که روش‌های تشعشعی فائو و بلانی کریدل کارایی بیشتری در بیان تبخیر و تعرق مرجع در حوضه آبریز سقز به عنوان حوضه‌ای با اقلیم سرد و معتدل داشته است. واقع شدن این مناطق در ارتفاع بالا و صاف بودن هوا با توجه به فقدان ذرات آیروسل ناشی از آلودگی کمتر هوا موجب تاثیرپذیری تبخیر و تعرق از عامل تشعشع می‌گردد که در مدل تشعشعی فائو در نظر گرفته شده است (زارع ابیانه و همکاران، ۱۳۸۹). اهمیت پارامتر تابش در مطالعات سبزی‌پرور و همکاران (۱۳۸۷) و ایرماک و همکاران (۲۰۰۳) گزارش شده است. از طرفی مطلوبیت روش بلانی کریدل برای منطقه‌ای با اقلیم سرد به ترتیب در مطالعات جهان‌بخش و همکاران (۱۳۹۱) و قلی‌زاده و امینی‌نیا (۱۳۹۴) که به عنوان بهترین روش برای حوضه جنوبی رود ارس و تبریز که با منطقه مورد مطالعه در این پژوهش هم اقلیم هستند، توصیه شده است، که با نتیجه تحقیق حاضر مبنی بر توصیه یک روش دما مبنا هم‌خوانی دارد. با توجه به اهمیت ضریب تشتک تبخیر همچنین تحت تاثیر بودن پارامترهای اقلیمی مناسب است که در هر منطقه مقدار این ضریب محاسبه و به منظور محاسبه تبخیر و تعرق استفاده گردد. نتایج حاصل از محاسبه ضریب تشتک تبخیر برای این منطقه مقادیر ۰/۹۶-۰/۸۴ و به طور متوسط ۰/۹ را نشان می‌دهد. البته به خاطر تفاوت آب آزاد و سطوح گیاهی در مناطق مختلف ضریب تشتک تبخیر در مناطق مختلف متفاوت است. نتایج پهنه‌بندی تبخیر و تعرق مرجع در حوضه آبریز سقز نشان داد که روش عکس فاصله وزنی جهت درونیابی پارامتر تبخیر و تعرق دقت بیشتری دارد. رمزی و همکاران (۱۳۹۰) نیز از این روش جهت پهنه‌بندی تبخیر و تعرق در استان خراسان جنوبی استفاده کردند. نتایج نشان داد که تبخیر و تعرق در نیمه شرقی بیشتر از نیمه غربی حوضه آبریز بوده است. کاهش تبخیر و تعرق در غرب

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.8.0]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.233]

حوضه می توان ناشی از کاهش گرادیان دما نسبت به ارتفاع هم دانست که افزایش ارتفاع سبب کاهش دما و به تبع آن کاهش تبخیر و تعرق می شود. در ضمن وجود رشته کوه زاگرس در کاهش دما، افزایش رطوبت و به تبع آن کاهش تبخیر و تعرق موثرند (رضیئی و همکاران،۱۳۸۴). بررسی‌ها نشان می دهد که که مناطق شرقی و جنوب شرقی استان از شدت تبخیر و تعرق بیشتری نسبت به شمال غربی برخودار است که با نتایج شیرزادی و اسدزاده (۱۳۹۵) در استان کردستان هم‌خوانی دارد. در این پژوهش مقدار تبخیر و تعرق به صورت منطقه‌ای محاسبه شده است که در ارزیابی‌های بیلان آب مربوط به آن منطقه می‌توان بهره جست.

انجام تحلیل حساسیت از کارآمدترین روش‌ها برای شناخت درجه تاثیر پارامترهای مختلف اقلیمی بر تبخیر و تعرق مرجع است. این تحلیل علاوه بر شناخت بهتر پدیده تبخیر و تعرق، به شناخت عوامل تاثیرگذارتر در هر منطقه کمک فراوان می‌کند و می‌توان در مطالعات مشابه از آن استفاده کرد. به عنوان مثال در منطقه مطالعاتی، مشخص شد که نقش ساعات آفتابی، دما بیشینه و سرعت باد بیشتر از سایر پارمترهای اقلیمی است و تاثیرگذاری بیشتری بر تبخیر و تعرق دارد. با درک این مسئله، چنان‌چه ساعات آفتابی، دما و سرعت باد در مقطع زمانی مشخص زیاد شود، افزایش شدید در تبخیر و تعرق مرجع و نتیجه آن افزایش نیاز آبی گیاهان در منطقه مطالعاتی خواهد بود. توجه به این نکته خواهد توانست از بروز تنش آبی و کاهش احتمالی محصول جلوگیری کند. با توجه به متفاوت بودن ارتفاع و عرض جغرافیایی ایستگاه‌ها، و از طرفی مشابه بودن ایستگاه‌ها از نظر اقلیمی، می‌توان چنین نتیجه گرفت که نقش اقلیم در تبخیر و تعرق مرجع مهم‌تر از تفاوت ارتفاع و عرض جغرافیایی است. بنابراین پیشنهاد می‌شود که در مناطق دیگر ابتدا به گروه‌بندی منطقه مطالعاتی از نظر اقلیمی پرداخته شود و سپس اقدام به آنالیز حساسیت هر زون و مقایسه با یکدیگر گردد. در مجموع، آب کالایی ارزشمند برای کشور ایران و به ویژه در مناطق با پتانسیل بالای ET_o به ویژه در عرصه کشاورزی و سایر بخش های مصرف کننده محسوب می‌شود. اجرای طرح‌های آبخیزداری و طرح‌های ذخیره سازی آب‌های سطحی با توجه به کمبود بارش و بالا بودن ET_o ضروری به نظر می‌رسد.

منابع

پورمحمدی، سمانه؛ محمدتقی دستورانی؛ محمدحسین مختاری؛ محمدحسن رحیمیان (۱۳۸۹). **تعیین و پهنه-بندی تبخیر و تعرق واقعی توسط فن سنجش از دور و الگوریتم سبال**، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. دوره ۴. شماره ۱۳. صفحات ۳۲-۲۳.

پارسافر، نصرالدین؛ علی‌اکبر سبزی‌پرور؛ علی آیینی (۱۳۹۱). **ارزیابی حساسیت معادله فائو پنمن - مانتیث۵۶ نسبت به تغییرات سرعت باد در غرب ایران**، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. دوره ۱۹. شماره ۱. صفحات ۲۰۷-۱۹۷.

جهانبخش، سعید؛ مجید رضایی بنفشه؛ مرضیه اسمعیل‌پور؛ معصومه تدینی (۱۳۹۱). **ارزیابی مدل‌های برآورد تبخیر و تعرق و توزیع مکانی سالانه آن در حوضه جنوبی رود ارس**، نشریه علمی پژوهشی جغرافیا و برنامه-ریزی. دوره ۱۶. شماره ۴۰. صفحات ۴۶-۲۵.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.8.0]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.233]

حقوقی‌دوست، فرزانه؛ احمد فاخری فرد؛ فریدون کاوه (۱۳۹۳). **بررسی عوامل موثر بر تبخیر و تعرق تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از تحلیل عاملی**، همایش ملی الکترونیکی دستاوردهای نوین در علوم مهندسی و پایه.

رضیئی، طیب؛ پیمان دانش کارآراسته؛ بهرام سقفیان (۱۳۸۴). **بررسی روند بارندگی سالانه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مرکزی و شرقی ایران**، فصل نامه آب و فاضلاب اصفهان. دوره ۱۶. شماره۲. صفحات ۸۱-۷۳.

رمزی، راضیه؛ علی شهیدی؛ محمدرضا فرزانه؛ مصطفی هادی‌زاد (۱۳۹۰). **محاسبه و پهنه‌بندی تبخیر و تعرق در استان خراسان جنوبی با استفاده از روش Idw**، اولین کنفرانس ملی هواشناسی و مدیریت آب کشاورزی.

زارع ابیانه، حمید؛ مریم بیات‌ورکشی؛ علی‌اکبر سبزی‌پرور؛ صفر معروفی؛ عادل قاسمی (۱۳۸۹). **ارزیابی روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و پهنه-بندی آن در ایران**، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. دوره ۴۲. شماره ۷۴. صفحات ۱۱۰-۹۵.

سالاریان، محمد؛ معصومه نجفی؛ کامران داوری؛ سیدسعید اسلامیان؛ محمد حیدری (۱۳۹۳). **مناسب‌ترین روش برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل در شرایط کمبود داده هواشناسی در ماه‌های گرم و سرد سال**، نشریه آبیاری و زهکشی ایران. دوره ۸. شماره۱. صفحات ۷۳-۶۲.

سبزی‌پرور، علی‌اکبر؛ فرزین تفضلی؛ حمید زارع‌ابیانه؛ حسین بانژاد؛ محمد موسوی‌بایگی؛ محمد غفوری؛ اسداله محسنی‌موحد؛ زهره مریانجی (۱۳۸۷). **مقایسه چند مدل برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع در یک اقلیم سرد نیمه خشک، به منظور استفاده بهینه از مدل‌های تابش**، نشریه علمی و پژوهشی آب و خاک. شماره ۲. صفحات ۳۴۰-۳۲۹.

سبزی‌پرور، علی اکبر؛ صبا سقایی؛ حامد نوذری (۱۳۹۲). **مقایسه‌ی تبخیر و تعرق مرجع دو روش هارگریوز سامانی و استاندارد فائو ۵۶ در مقیاس پهنه‌ای در حوضه کرخه بزرگ، نشریه هواشناسی کشاورزی**. شماره ۱. صفحات۵۹-۴۶.

شیرزادی، منیر؛ بهروز اسدزاده (۱۳۹۵). **برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از اطلاعات آب و هوایی با سه روش شبکه عصبی مصنوعیANN ، فائو پنمن - مانتیث و GIS**، دومین کنگره بین‌المللی علوم زمین و توسعه شهری، تبریز.

قلی زاده الپاوت، حمید؛ کریم امینی نیا (۱۳۹۴). **بررسی تغییرات زمانی تبخیر و تعرق پتانسیل در تبریز، فصلنامه علمی پژوهشی فضای جغرافیایی**. دوره ۱۵. شماره۴۹. صفحات ۳۵-۱۹.

کیخسروی، قاسم؛ علی رضایی؛ زینب محمدی؛ مجتبی زوبقایی (۱۳۹۳). **برآورد تبخیر و تعرق مرجع (گیاه مرجع) در پنج ایستگاه سینوپتیک استان کرمانشاه با استفاده از مدل REF-ET** ، همایش ملی ایده‌های نوین در کشاورزی پایدار. بروجرد.

مظفری، غلامعلی؛ فرشاد صفرپور (۱۳۹۲). **مدل اکولوژیکی پهنه‌بندی مراتع استان کردستان با تاکید بر عناصر اقلیمی دما و بارش**. جغرافیا و پایداری محیط. دوره ۳. شماره۶. صفحات ۳۹-۲۳.

موسوی، سید فرهاد؛ اخوان، سمیرا (۱۳۸۶). **اصول آبیاری**. انتشارات کنکاش، ۴۱۵صفحه.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.8.0]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.233]

نجفی، معصومه؛ محمد سالاریان؛ سیدسعید اسلامیان (۱۳۹۳). **ارزیابی روش های مختلف برآورد تشعشع در محاسبه میزان نیاز ابی گیاه چمن در دو اقلیم مختلف با نرم افزار REF-ET و انتخاب مناسب ترین روش ها**. اولین همایش ملی آب،انسان،زمین. اصفهان.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. (1998). **Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56**. FAO, Rome, 300(9), D05109.

Irmak, S., Irmak, A., Allen, R. G., Jones, J. W. (2003). **Solar and net radiation-based equations to estimate reference evapotranspiration in humid climates**. Journal of irrigation and drainage engineering, 129(5), 336-347.

Dias, L.C.P., Macedo, M.N., Costa, M.H., Coe, M.T. and Neill, C. (2015). **Effects of land cover change on evapotranspiration and streamflow of small catchments in the Upper Xingu River Basin, Central Brazil**. Journal of Hydrology: Regional Studies, 4, 108-122.

Joshani, A., Dastjerdi, J. K., Abyaneh, H. Z. (2015). **Evaluating Different Estimation methods of reference evapotranspiration with FAO Evaporation pan in both dry and Humid Climate of Caspian Sea Basin.** Bull. Env. Pharmacol. Life Sci. 4, 190-200.

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.

Liaqat, U.W. and Choi, M. (2017). **Accuracy comparison of remotely sensed evapotranspiration products and their associated water stress footprints under different land cover types in Korean peninsula**. Journal of cleaner production, 155, 93-104.

Kouchakzadeh, M., Nikbakht, J., (2004). **Comparison of Different Method to Stimate Referense Evapotranspiration in Iran Different Climate with PMFAO Standard Method**. Agricultural Sciences, 10(3), 43-57.

Mardikis, M. G., Kalivas, D. P., Kollias, V. J. (2005). **Comparison of interpolation methods for the prediction of reference evapotranspiration-an application in Greece**. Water Resources Management, 19(3), 251-278.

Safavi, M., Asareh, A., Zaynivand, N. (2015). **Evaluating estimation methods of potential evaporation-transpiration in Deylam city**. Walia journal, 31(S4), 80-84.

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.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.8.0]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.233]