دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

سال نوزدهم، شماره‌ی ۶۷
پاییز ۱۳۹۸، صفحات ۴۲-۲۹

*علی حقی زاده[۱]
وحید بیات[۲]
آزاده ارشیا[۳]

برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل ایستگاه‌های سینوپتیک کرمانشاه با استفاده از مدل برنامه‌نویس ژنتیکی

تاریخ دریافت: ۱۳۹٦/۰٤/۲٤ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۱۰

چکیده

هدف از این تحقیق ارائه یک مدل ساده و در عین حال کاربردی و دقیق جهت محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل می‌باشد تا با استفاده از این مدل و عناصر اقلیمی مؤثر در تبخیر، میزان تبخیر صورت گرفته از سطوح محاسبه شود. در این تحقیق از مدل Gep استفاده شده و از آمار تشت تبخیر به‌عنوان متغیر تابع و از فاکتورهای دما، کسری اشباع، سرعت باد و رطوبت نسبی به‌عنوان متغیرهای مستقل استفاده گردیده است. از آمار ایستگاه‌های اسلام‌آباد غرب، روانسر، سرپل ذهاب، کرمانشاه و کنگاور به‌عنوان ایستگاه‌های معرف در سطح استان و متغیرهای مستقل استفاده شده است. سپس از طریق مدل Gep مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل برای ایستگاه‌های مورد بررسی برآورد گردید. نتایج حاصل از این روش، همخوانی نزدیکی با تبخیر اندازه‌گیری شده از تشت را نشان داد، به‌طوری‌که به‌عنوان نمونه در ایستگاه کرمانشاه این ضریب همبستگی در حد بالایی (r^2= 0/985) می‌باشد که در حد یک و نیم درصد معنی‌دار است. همچنین نتایج حاصل از پهنه‌بندی میزان تبخیر و تعرق در سطح استان کرمانشاه نشان داد که از شرق به غرب و از شمال به جنوب، بر میزان تبخیر و تعرق افزوده می‌شود، به‌طوری‌که در نواحی غربی استان (سرپل ذهاب)، این پدیده به دلایلی همچون کاهش ارتفاع و عرض جغرافیایی و افزایش دما به حداکثر می‌رسد. نتایج نشان می‌دهد از ابتدا تا اواسط فصل رویش

*۱- گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان. (نویسنده مسئول). E-mail: haghizadeh.a@lu.ac.ir
۲- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان.
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

گیاهان شهرستان‌های شرقی دارای بارش ماهیانه بیش از میزان تبخیر بوده و این میزان به سمت غرب کاهش می‌یابد. به‌طوری که بعد از نواحی مرکزی (اسلام‌آباد) میزان بارش و تبخیر برابر و پس از آن کم‌تر می‌گردد.

کلید واژه‌ها: برنامه‌ریزی ژنتیک، تبخیر و تعرق پتانسیل، کرمانشاه، مدل Gep.

مقدمه

تبخیر را می‌توان فرآیند تبدیل مایع به گاز یا آب به بخار عنوان کرد که در طی آن مقداری انرژی منتقل می‌گردد. از دیدگاه آب‌شناسی تبخیر به مجموعه پدیده‌هایی گفته می‌شود که آب را صرفاً از راه یک فرآیند فیزیکی به بخار تبدیل می‌کند (Nourbakhsh, 1999). میزان تعرق نیز برحسب شدت نور، درجه حرارت، سرعت باد و دوره گیاهی و بالاخره برحسب جنس زمین و تراکم گیاهان تغییر می‌کند (Jafarpour, 2001). حدود ۷۵ درصد از کل بارندگی سالانه در سطح کره زمین دوباره به‌صورت تبخیر و تعرق به جو برمی‌گردد (Baybordi, 2003). در اقلیم‌های نیمه‌خشک جایی که منابع آب به‌وسیله بهره‌برداری بیش از حد از منابع آبی به خطر افتاده، ضروری است که نیاز آبی گیاه با بیش‌ترین دقت برآورد گردد. در علم آبیاری، برآورد دقیق نیاز آبی گیاهان زراعی و محصولات باغی از پایه‌ای‌ترین رکن طراحی و محاسبات مهندسی به‌شمار می‌رود. مشاهدات مربوط به تبخیر از طریق تشتک‌ها همواره همراه با دقت قابل قبول نبوده و همین‌طور شبکه متراکمی از ایستگاه‌های تبخیرسنجی نیز در دسترس نیست و از طرفی استفاده از روش‌های مستقیم مستلزم صرف هزینه و وقت زیاد می‌باشد، لذا توسعه یک رویکرد جایگزین برای تخمین میزان تبخیر بر مبنای متغیرهای هواشناسی با قابلیت اندازه‌گیری و تخمین راحت‌تر ضروری به نظر می‌رسد. بدین منظور برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع، استفاده از مدل‌های ریاضی با اندازه‌گیری‌های پارامترهای هواشناسی به‌عنوان متغیرهای مستقل اجتناب‌ناپذیر خواهد بود (Eslami et al., 2013). از این مدل‌ها می‌توان ترنت وایت، ۱۹۴۸؛ بلانی کریدل، ۱۹۵۰؛ جنسن و هیز، ۱۹۶۳؛ هارگزیوز و سامانی (۱۹۸۵) را نام برد. پنمن (۱۹۴۸) بیلان انرژی و روش انتقال جرم را ترکیب و معادله برآورد تبخیر از سطح آزاد آب را ارائه نمود.

پیشینه پژوهش

تعرق مرجع روزانه (ETo) در ایستگاه سینوپتیک کرمان در دوره ٦ ساله (۲۰۰۵-۲۰۰۰) و استخراج فرم صریح روابط بین ETo پارامترهای مورد بررسی، استفاده نموده و اعلام کردند؛ نتایج نشان‌دهنده قابلیت مدل GEP در پیش‌بینی مقادیر ETo-FAO-65PM بود و مدل دارای ورودی‌های یکسان با FAO-65PM نتایج بهتری را نسبت به سایر مدل‌های مورد بررسی نشان داد. Daneshfaraz & Razzaghpour (2013) در مطالعه‌ای به بررسی ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق پتانسیل در استان آذربایجان‌غربی پرداختند و با استفاده از داده‌های مشاهداتی بارش، دمای کمینه و بیشینه، ساعات آفتابی منطقه در دوره پایه و به کمک نوسانات اقلیمی حاصل از مدل گردش عمومی HadCM3 تحت

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

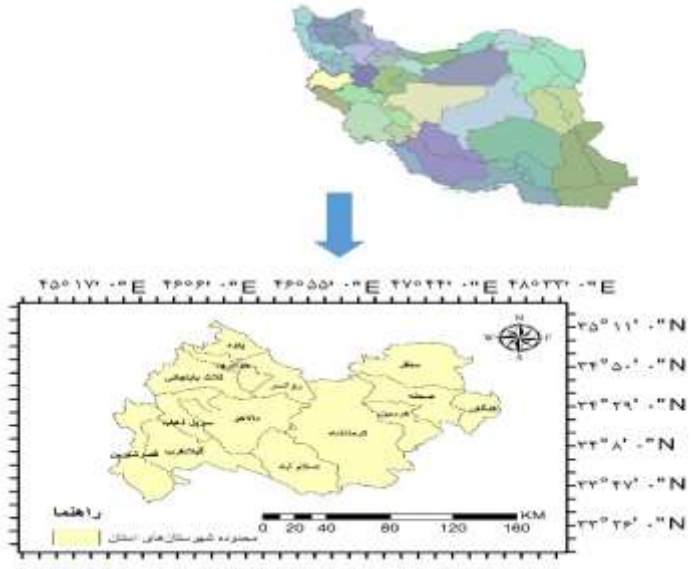
سناریوهای انتشار A1B، A2 و B1 به بررسی میزان پتانسیل تبخیر و تعرق در سطح استان آذربایجان‌غربی پرداختند. نتایج حاصل از مدل LARS-WG نشان داد که در سطح استان در بازه زمانی (۲۰۶۵-۲۰۴۶) نسبت به (۲۰۳۰-۲۰۱۱) میانگین مجموع پتانسیل تبخیر و تعرق، دمای متوسط و مجموع بارش سالیانه تحت سناریوی A1B به‌ترتیب ۵۰/۴۰ میلی‌متر و ۲/۱۳ درجه سانتی‌گراد افزایش و ۱۱۳/۸۹ میلی‌متر در سال کاهش و تحت سناریوی A2، به‌ترتیب ۳۰/۸۲ میلی‌متر و ۱/۵۷ درجه سانتی‌گراد افزایش و ۴/۸۱ میلی‌متر در سال کاهش و تحت سناریوی B1، به‌ترتیب ۳۲/۴۹ میلی‌متر، ۱/۲۵ درجه سانتی‌گراد و ۳۳/۰۷ میلی‌متر در سال افزایش خواهد داشت. نتایج حاکی از بحرانی بودن وضعیت منطقه تحت سناریوهای A2 و A1B به‌ترتیب برای دو دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶ می‌باشد. Bargahi and Mousavi (2006) به بررسی تأثیر سطح ایستایی کم‌عمق و شوری آب زیرزمینی بر آب زیرزمینی به تبخیر و تعرق گل‌رنگ در گلخانه پرداخته و به این نتیجه رسیده‌اند که شوری آب زیرزمینی، شرایط آبیاری و برهم‌کنش شوری و شرایط آبیاری بر تبخیر و تعرق گیاه اثر معنی‌داری دارد. مدل‌سازی تبخیر-تعرق پتانسیل ماهانه با استفاده از برنامه‌ریزی ژنتیک در استان سیستان و بلوچستان تدوین کردند. بدین منظور، میزان تبخیر-تعرق مرجع در مقیاس ماهانه با استفاده از روش پنمن -مانتیث و بر اساس داده‌های هواشناسی از قبیل میانگین دما، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، سرعت باد و مقدار بارش برای یک دوره ۴۰ ساله در ایستگاه‌های زابل، ایرانشهر، چابهار و زاهدان محاسبه شده و در ۱۶ الگوی زمانی تأخیری جداگانه مرتب شد. سپس به مدل‌سازی مقادیر تبخیر-تعرق ماهانه بر اساس برنامه‌ریزی ژنتیک با استفاده از نرم‌افزار GeneXproTools برای توسعه و اجرای مدل‌های مبتنی بر برنامه‌ریزی ژنتیک استفاده شد. نتایج مدل‌سازی نشان‌دهنده این بود که تمامی مدل‌های قابل قبول این مطالعه در الگوهای بالای ۱۰ به‌دست آمده است و همچنین روش برنامه‌ریزی ژنتیک روش مناسبی برای مدل‌سازی سری ماهانه تبخیر-تعرق می‌باشد. Sattari & Esmaeilzadeh (2016) به مقایسه مدل درختی M5 و برنامه‌ریزی ژنتیک با روش پنمن-مونتیث-فائو جهت تخمین تبخیر و تعرق مرجع پرداختند. در این تحقیق، ابتدا بر اساس روش استاندارد و متداول فائو-پنمن-مونتیث و داده‌های هواشناسی ایستگاه تبریز، مقدار تبخیر-تعرق مرجع ماهانه در منطقه مورد مطالعه محاسبه شد، سپس با استفاده از پارامترهای هواشناسی شامل میانگین، حداقل و حداکثر دما و رطوبت نسبی، مقدار بارش، سرعت باد و ساعات آفتابی به‌عنوان ورودی برنامه‌ریزی ژنتیک و مدل درختی M5 در مقیاس زمانی ماهانه، میزان تبخیر و تعرق مرجع به‌عنوان خروجی مدل برآورد گردید. نتایج نشان‌دهنده ضریب تبیین ۰/۹۹ برای مدل درختی M5 و ضریب تبیین ۰/۹۶ برای برنامه‌ریزی ژنتیک جهت پیش‌بینی تبخیر-تعرق مرجع ماهانه در منطقه تبریز می‌باشد. Ynhe Yin et al (2015) برای کالیبره کردن تابش خورشیدی به‌دست آمده در ۸۱ ایستگاه هواشناسی واقع در چین از مدل FAO-56PM استفاده کردند، نتایج نشان داد که ضریب رگرسیون خطی برای این ایستگاه‌ها معادل ۰/۲۰ تا ۰/۷۹ می‌باشد، لذا این مدل از قابلیت بالایی در تخمین تابش خورشیدی برخوردار است. Esmaeilzadeh (2015) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و برنامه‌ریزی ژنتیک به مدل‌سازی تبخیر و تعرق مرجع شهرستان تبریز پرداختند. نتایج نشان داد هردو روش مناسب و قابل استفاده می‌باشند، اما برنامه‌ریزی ژنتیک نتایج دقیق‌تر و کاربردی‌تری ارائه می‌کند. Tabatabaei et al (2014) با

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

استفاده از روش‌های هوش مصنوعی مانند برنامه‌ریزی ژنتیک و انفیس[4] به مدل‌سازی تبخیر و تعرق مرجع در شهرستان کوار استان فارس پرداختند. نتایج نشان داد روش انفیس نتایج با خطای RMSE=0/011[5] دقیق‌تری نسبت به روابط تجربی و برنامه‌ریزی ژنتیک ارائه می‌کند. Ghasemi et al (2018) در مطالعه‌ای به برآورد تبخیروتعرق مرجع ایستگاه‌های تبریز و اردبیل با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی پرداختند. با استفاده از این مؤلفه‌ها، معادله‌های جدیدی برای محاسبه تبخیر و تعرق بالقوه به‌دست آمد. نتایج مدل‌سازی نشان داد که مقدار ضریب تبیین در مدل‌های خطی چندگانه به‌دست آمده بین مؤلفه‌های اصلی (PC) و تبخیر و تعرق روزانه برای ایستگاه تبریز در دوره واسنجی و صحت‌سنجی به‌ترتیب برابر ۰/۵۳ و ۰/٦۹ و برای اردبیل ۰/۷۱ و ۰/۷۳ می‌باشد. همچنین مقادیر ضریب نش نیز برای ایستگاه تبریز ۰/٦۱ و ۰/٦۱ و برای اردبیل ۰/۷۱ و ۰/۷۳ می‌باشد که نشان دهنده کارایی مناسب مدل‌های به‌دست آمده است. هدف از این پژوهش ارائه یک مدل ساده و در عین حال کاربردی و دقیق جهت محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل[6] می‌باشد تا با استفاده از آن و عناصر اقلیمی موثر در تبخیر، میزان تبخیر صورت گرفته از سطوح محاسبه شود.

محدوده مورد مطالعه

استان کرمانشاه با مساحت ۲٤٦٤۰ کیلومترمربع ۱/۵ در صد از کل مساحت کشور را در برگرفته است این استان بین ۳۳ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی و ٤۵ درجه و ۲۰ دقیقه تا ٤۸ درجه و ۱ دقیقه طول شرقی واقع و از شمال به استان کردستان، از جنوب به استان‌های ایلام و لرستان و از شرق به استان همدان محدود شده است (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت محدوده مورد مطالعه

Figure 1: Location of the studied area

4- Anfis
5- Root Mean Square Error
6- Potential Evapotranspiration

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

مواد و روش‌ها

در این تحقیق به جهت اهمیت فصل رویش و نیاز آبی برای رشد و نمو-محصولات زراعی و مرتعی به‌منظور برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل در ایستگاه‌های منتخب منطقه، مجموع ماه‌های سال طی دوره آماری ۱۳۹۱-۱۳۷٤ در نظر گرفته شد. جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های مورداستفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد. در این مطالعه جهت تعیین شاخص‌های خشکی و تبخیر و تعرق، از مدل GEP استفاده شده است. داده‌های دما، رطوبت نسبی، باد و کسری اشباع از ایستگاه‌های سینوپتیک سازمان هواشناسی اخذ گردیده، ایستگاه‌های منطقه از نظر آماری مورد بررسی قرار گرفت و از بین آن‌ها ۵ ایستگاه در محدوده استان کرمانشاه انتخاب شد و سپس داده‌های آماری به لحاظ کمی و کیفی به وسیله آزمون ران تست در Excel و SPSS مورد تجزیه و ارزیابی قرار گرفت و در ادامه جهت تعیین فصول خشک و نیمه‌خشک و فصولی که برای رویش و کشت و کار مناسب می‌باشد، از مدل و نرم‌افزار GEP استفاده و میزان صحت داده‌های برآورد شده مورد ارزیابی قرار گرفت و در نهایت نقشه پهنه‌بندی میزان تبخیر و تعرق پتانسیل استان تهیه گردید.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده

Table 1- Characteristics of the studied station

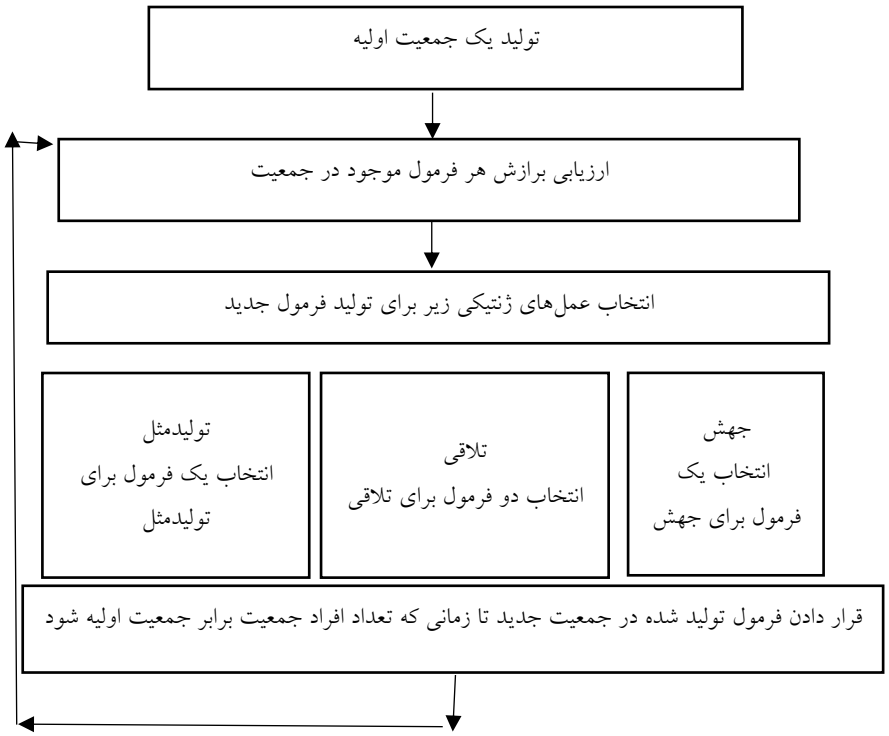
ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (m)	نوع ایستگاه
اسلام‌آباد	۲۸ ٤٦	۰۷ ۳٤	۱۳٤۸/۸	سینوپتیک
روانسر	۳۹ ٤٦	٤۳ ۳٤	۱۳۷۹/۷	سینوپتیک
سرپل ذهاب	۵۲ ٤۵	۲۷ ۳٤	۵٤۵	سینوپتیک
کرمانشاه	۰۹ ٤۷	۲۱ ۳٤	۱۳۱۸/٦	سینوپتیک
کنگاور	۵۹ ٤۷	۳۰ ۳٤	۱٤٦۸	سینوپتیک

مدل GEP

مدل GeneXproTool یا به‌اختصار GEP نرم‌افزاری است که بر پایه برنامه‌ریزی ژنتیک طراحی و برنامه‌نویسی شده است. این نرم‌افزار اولین بار در سال (۱۹۹۲) توسط Koza معرفی و ارائه شد که شامل درخت تصمیم‌گیری متشکل از کروموزوم‌های کد شده می‌باشد. مراحل اجرای این مدل شامل: ۱- مرحله آموزش و ۲- مرحله آزمون است. در مرحله آموزش وزن‌ها به‌صورت گام‌به‌گام و تا رسیدن به حداقل خطای پیش‌بینی توسط نرم‌افزار اصلاح می‌گردند، یعنی ابتداءاً یک سری داده به‌عنوان متغیر مستقل (دما، کسری اشباع، سرعت باد و رطوبت نسبی) و متغیر وابسته (تبخیر و تعرق اندازه‌گیری شده) به‌عنوان داده ورودی به مدل وارد گردیده و نرم‌افزار با اختصاص اوزان مختلف به داده‌های متغیر مستقل و پیش‌بینی و محاسبه مقدار متغیر وابسته و مقایسه آن با داده‌های متغیر وابسته اندازه‌گیری شده از طریق تغییر در مقدار وزن‌ها به‌صورت گام‌به‌گام تا رسیدن به کم‌ترین خطا به تکرار محاسبات ادامه خواهد داد که البته تکرار بیش از حد محاسبات در مرحله آموزش سبب ایجاد خطا در اجرای مرحله یادگیری نرم‌افزار خواهد شد لذا کاربر می‌بایست در مرحله رسیدن به خطای حداقل مطلوب نسبت به توقف اجرای نرم‌افزار اقدام نماید. در این

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

روش در ابتدای فرآیند، هیچ‌گونه رابطه تابعی در نظر گرفته نشده و این روش قادر به بهینه‌سازی اجزاء مدل و مولفه‌ها آن می‌باشد. برنامه‌ریزی ژنتیک برخلاف الگوریتم ژنتیک روی ساختار درختی فرمول‌ها به‌جای سلسله ارقامِ دودوئی عمل می‌کند. ساختارهای درختی از مجموعه توابع عملگرهای ریاضی مورد استفاده در فرمول‌ها (و ترمینال‌ها)، متغیرهای مسئله و اعداد ثابت تشکیل می‌شوند (Soltani et al., 2010). فرم کلی مراحل اجرای نرم‌افزار را می‌توان با شکل (۲) نمایش داد:



شکل ۲: مراحل اجرای مدل GEP

Figure 2: Steps of the implement GEP Mode

لذا قبل از اجرای نرم‌افزار گام‌های مقدماتی زیر باید بررسی و انتخاب شوند:

الف- مجموعه ترمینال‌ها (متغیرهای مسئله، اعداد ثابت تصادفی).

ب- مجموعه عملگرهای ریاضی مورد استفاده در فرمول‌ها.

ج- انتخاب معیار برازش مناسب (RRSE, MSE, R,....) جهت سنجش برازش.

د- تعیین پارامترهای کنترل‌کننده اجرای برنامه (اندازه جمعیت، احتمال مربوط به به‌کارگیری اعمال ژنتیکی و جزئیات دیگر مربوط به اجرای برنامه).

ه- معیار پایان اجرای برنامه و ارائه نتایج (مثل تعداد تولید جمعیت جدید، تعیین یک مقدار مشخص برای برازش فرمول‌ها که اگر میزان برازش برابر یا بیش‌تر از آن مقدار شد، اجرا متوقف شود).

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

یافته‌ها و بحث

در این تحقیق به‌منظور برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل از عوامل مؤثر در تبخیر و تعرق، به‌عنوان ورودی در مدل به‌کار گرفته شد. عوامل مختلفی در شدت تبخیر تأثیرگذارند ولیکن محرک و عامل اصلی آن را می‌توان اختلاف بین فشار درونی و بیرونی مایع دانست که همان اختلاف فشار بخار اشباع و فشار بخار هوا یا کسری اشباع نامیده می‌شود. هر چقدر مقدار این اختلاف بیش‌تر باشد میزان تبخیر نیز افزایش می‌یابد. عوامل مهم تأثیرگذار در میزان کسری اشباع شامل دما، باد و رطوبت نسبی می‌باشند به‌طوری که افزایش دما و سرعت باد بر میزان کسری اشباع افزوده، در نتیجه افزایش تبخیر را در پی دارد و افزایش رطوبت نسبی به‌عکس کاهش مقدار کسری اشباع را در پی دارد، در نتیجه باعث کاهش شدت تبخیر خواهد شد، لذا، در این تحقیق به‌منظور برآورد تبخیر پتانسیل با استفاده از مدل GEP چهار عامل دما، سرعت باد، رطوبت نسبی و کسری اشباع به‌عنوان متغیرهای مستقل و ورودی مدل به‌کار گرفته شده و تبخیر از تشتک نیز به‌عنوان متغیر وابسته و به‌منظور برازش و ارزیابی کارایی مدل به آن وارد گردید. جهت به‌دست آوردن کسری اشباع ابتدا با در نظر گرفتن دما از روی جدول (۲) فشار بخار اشباع را به‌دست آورده و سپس با استفاده از رابطه (۱) فشار بخار هوا محاسبه شد:

رابطه (۱)

$$ed = ea \times RH/100$$

و در نهایت کسری اشباع از رابطه (ea-ed) به‌دست آمد.

جدول ۲- فشار بخار اشباع به‌عنوان تابعی از متوسط دما

Table 2 - Saturation vapor pressure as a function of average temperature

T	۰	٤	۸	۱۲	۱٦	۲۰	۲٤	۲۸	۳۲	۳٦	٤۰
ea	۱/٦	۸/۹	۱۰/۷	۱٤	۱۸/۲	۳۲/٤	۲۹/۸	۳۷/۸	٤۷/٦	۵۹/٤	٦۸/۲

در مرحله نخست (مرحله آموزش و کالیبراسیون) ۷۰ درصد از داده‌ها مورد استفاده قرار گرفته و ۳۰ درصد مابقی نیز در مرحله آزمون (اعتبار سنجی) مدل به‌کار گرفته شدند.

در مراحل اجرای نرم‌افزار پارامترهای مدل شامل عملگرهای ریاضی مختلف (Exp, Ln, 3Rt, Sin, Cos, A tan) و معیارهای سنجش (MSE, RRSE, RAE) جهت برازش انتخاب و نرم‌افزار مورد اجرا قرار گرفت.

پس از اجرا و کالیبراسیون که شامل تغییر در پارامترهای مدل همچون ۱- تعداد کروموزوم ۲- تعداد و اندازه سر هر ژن ۳- تعداد تکرار تمرین ٤- عملگر ریاضی اتصال کروموزوم‌ها و ۵- تعیین حداکثر پیچیدگی مدل می‌باشد، مقدار نهایی اجزاء و پارامترهای مدل با بیش‌ترین ضریب همبستگی (r^2= 0.985) به شرح جداول (۳ و ٤) تعیین و پس از بهینه‌سازی، شکل نهایی درخت مدل (شکل ۳) ترسیم گردید.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

جدول ۳- اجزاء مدل پس از کالیبراسیون

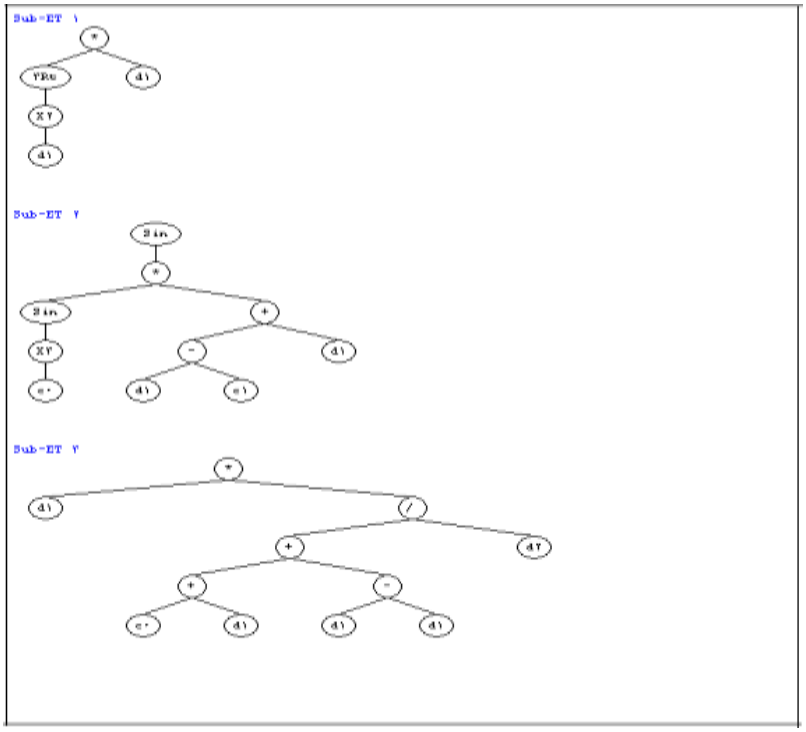
Table 3- Model components after calibration

اجزاء مدل	تعداد
تعداد کروموزوم	۳۰
تعداد ژن در هر کروموزوم	۳
اندازه سر کروموزوم	۷
اندازه دنباله کروموزوم	۸
اندازه ژن	۲۳
تعداد تکرار (اجرای مدل)	۳

جدول ٤- پارامترهای مدل

Table 4- Model parameter

تابع (عملگر ریاضی)		تعداد تکرار
جمع	(+)	۲
تفریق	(–)	۱
ضرب	(*)	۱
تقسیم	(/)	۱
سینوس	(sin)	۱
کسینوس	(cos)	۱
مجذور	(sqrt)	۱
لگاریتم طبیعی	(Ln)	۱

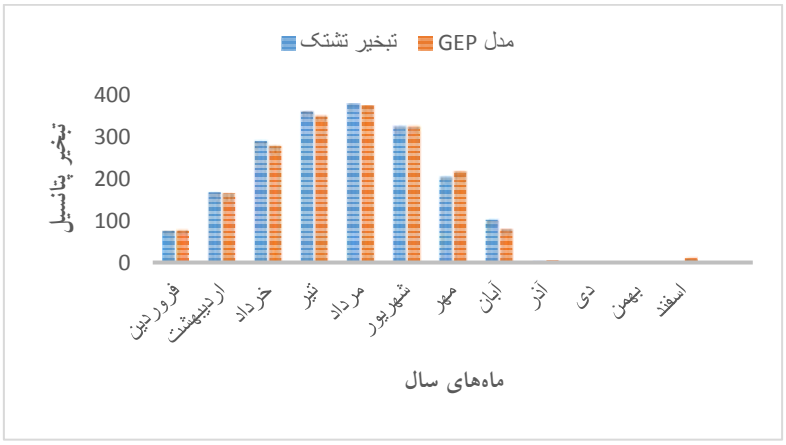


شکل ۳: درخت و اجزاء مدل GEP در سه تکرار متوالی

Figure 3: Tree and components of the GEP model in three consecutive iterations

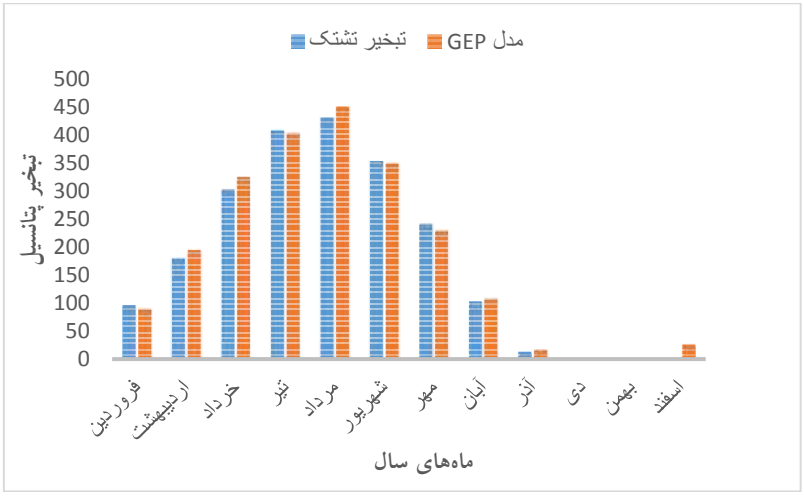
پس از اجرای مدل، تبخیر پتانسیل ثبت شده از تشتک تبخیر و تبخیر پتانسیل برآورد شده توسط مدل در قالب جداول (۵ و ٦) و شکل‌های (٤ تا ۸) ترسیم و مورد ارزیابی قرار گرفت.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



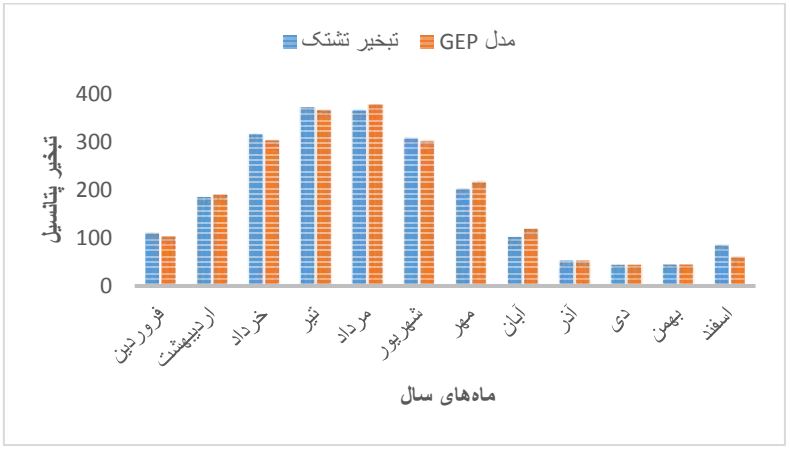
شکل ٤: مقایسه میزان تبخیر مشاهده‌ای و برآورد شده ایستگاه اسلام‌آباد

Figure 4: Comparison of observed and estimated evaporation rates of Islamabad station



شکل ٥: مقایسه میزان تبخیر مشاهده‌ای و برآورد شده ایستگاه روانسر

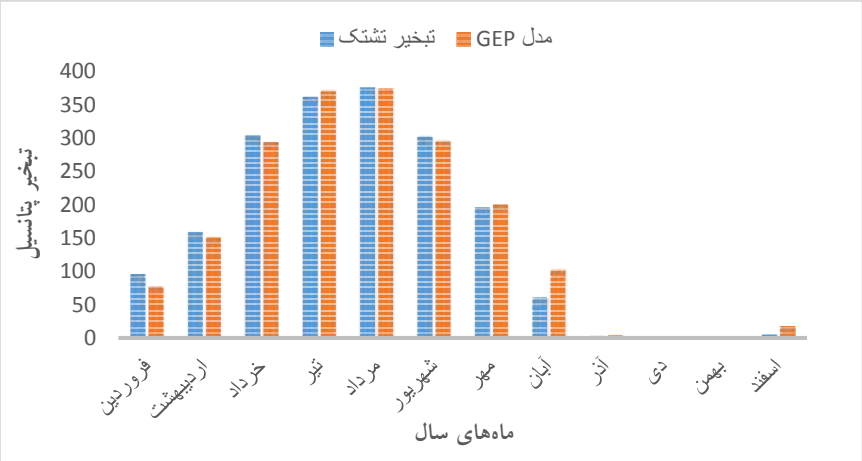
Figure 5: Comparison of observed and estimated evaporation rates of the Ravanser station



شکل ٦: مقایسه میزان تبخیر مشاهده‌ای و برآورد شده ایستگاه سرپل ذهاب

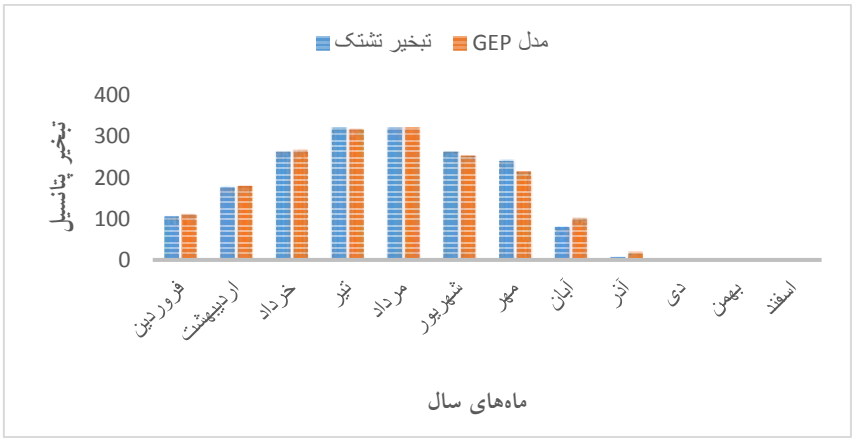
Figure 6: Comparison of observed and estimated evaporation rates at Sarpoleh Zahab station

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]



شکل۷: مقایسه میزان تبخیر مشاهده‌ای و برآورد شده ایستگاه کرمانشاه

Figure 7: Comparison of observed and estimated evaporation rates of Kermanshah station



شکل ۸: مقایسه میزان تبخیر مشاهده‌ای و برآورد شده ایستگاه کنگاور

Figure 8: Comparison of observed and estimated evaporation rate of Kangavar station

جدول ۵- میزان تبخیر از تشتک مربوط به ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 5- Evaporation rate from the pan at the studied stations

ماه‌های سال / ایستگاه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
اسلام‌آباد	۸۱	۱۷۲	۲۹۲	۳٦۷	۳۸۷	۳۲٤	۲۰۳	۸۲	۳	۰	۰	۰
روانسر	۹٦	۱۹۲	۳۲٦	٤۰٤	٤۳۱	۳۵۳	۲۳۵	۱۰۹	۱٤	۰	۰	۰
سرپل ذهاب	۱۱٦	۱۸۹	۳۲۰	۳۷۹	۳۷۹	۳۰۸	۲۰۵	۱۰۱	۵۵	۳٦	۳۸	۸۵
کرمانشاه	۹۱	۱۷٤	۳۰۵	۳٦۷	۳۸۳	۳۰۵	۱۹۱	٦۵	۵	۰	۰	۱۰
کنگاور	۱۱۰	۱۸۰	۲٦۸	۳۲۵	۳۲٤	۲۷۰	۲۳٦	۸٦	۸	۰	۰	۰

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

جدول ٦- میزان تبخیر برآورد شده توسط مدل GEP مربوط به ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 6- Evaporation rate estimated by the GEP model for the studied stations

ماه‌های سال / ایستگاه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
اسلام‌آباد	۷۷	۱۷٦	۲۷۸	۳۵۳	۳۸۳	۳۲٤	۲۱۸	۱۰۰	۵	۰	۰	۱٤
روانسر	۹۰	۱۸۱	۳۱۰	٤۰۹	٤۵۱	۳٤٦	۲۳۱	۱۱۱	۲۵	۰	۰	۳۱
سرپل ذهاب	۱۰۹	۱۹۰	۳۰۹	۳۷۲	۳۸۵	۳۰۲	۲۲۱	۱۱۹	۵٤	۳۵	۳۸	٦٦
کرمانشاه	۷۹	۱۵۲	۲۹۳	۳۷۳	۳۸۰	۲۹۲	۲۰۱	۱۰٦	٤	۰	۰	۱٤
کنگاور	۱۱۸	۱۸۹	۲۷۲	۳۲۳	۳۲۷	۲۵٦	۲۱۷	۱۰۳	۲٤	۰	۰	۲

از بررسی جداول (۵ و ٦) و نیز شکل‌های (٤ تا ۸) مشاهده می‌شود که مقادیر تبخیر برآورد شده توسط مدل GEP در حد قابل قبولی به مقادیر تبخیر اندازه‌گیری شده از طریق تشتک تبخیر نزدیک بوده و همبستگی بسیار بالایی را نشان می‌دهد (Rsquare= 0/985)، این امر خود نشان‌دهنده کارایی بالای مدل GEP در برآورد میزان تبخیر و تعرق پتانسیل در استان کرمانشاه می‌باشد. نتایج پژوهش حاضر با نتایج Sattari & Esmaeilzadeh (2016) و Esmaeilzadeh (2015) مبنی بر دقت بالای مدل GEP در پیش‌بینی تبخیر و تعرق همخوانی دارد. در تحقیق Sattari & Esmaeilzadeh (2016) باوجود دقت مطلوب مدل برنامه‌ریزی ژنتیک، مدل درختی M5 روابط ساده، قابل فهم و کاربردی‌تری را برای پیش‌بینی تبخیر و تعرق ارائه کردند.

- پهنه‌بندی میزان تبخیر و تعرق پتانسیل در استان کرمانشاه

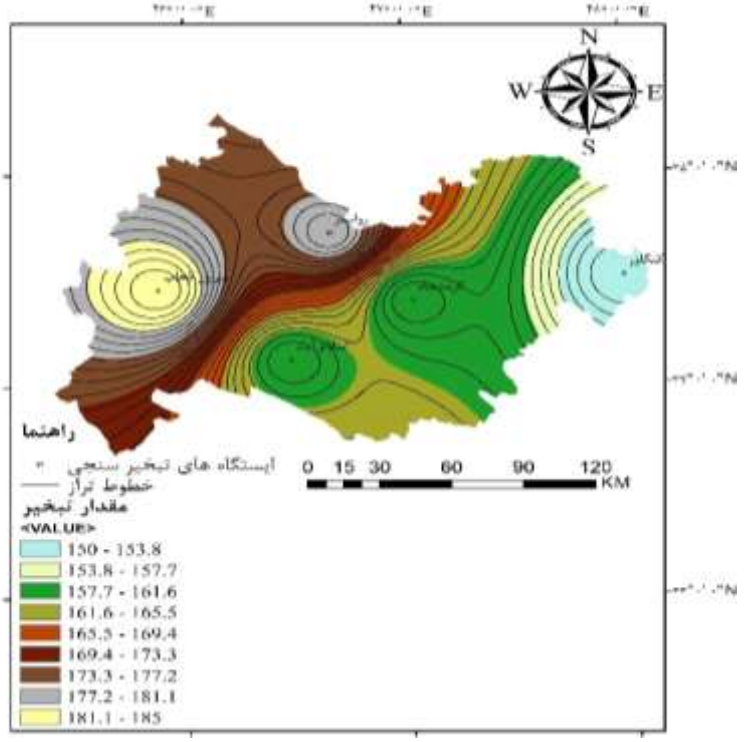
پس از محاسبه میزان تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از مدل GEP به‌منظور بررسی بهتر در سطح استان بر اساس تبخیر اندازه‌گیری شده از تشتک و نیز تبخیر برآورد شده توسط مدل GEP، به‌صورت جداگانه اقدام به پهنه‌بندی تبخیر و تعرق پتانسیل در سطح استان شد.

در تحقیق حاضر از بین روش‌های میانیابی زمین‌آماری از روش IDW[۷] استفاده شده است به‌طوری که پس از محاسبه میزان تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از مدل GEP و تعمیم مقادیر حاصله به سطح با استفاده از نرم‌افزار ArcGis نقشه پهنه‌بندی تبخیر و تعرق استان کرمانشاه بر اساس مقادیر برآورد شده و مشاهده‌ای ترسیم گردید. بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی (شکل ۹ و ۱۰) نشان می‌دهد؛ نتایج حاصل از مدل GEP با میزان ثبت شده از تشتک تبخیر دارای اختلاف

7- Inverse Distance Weighted

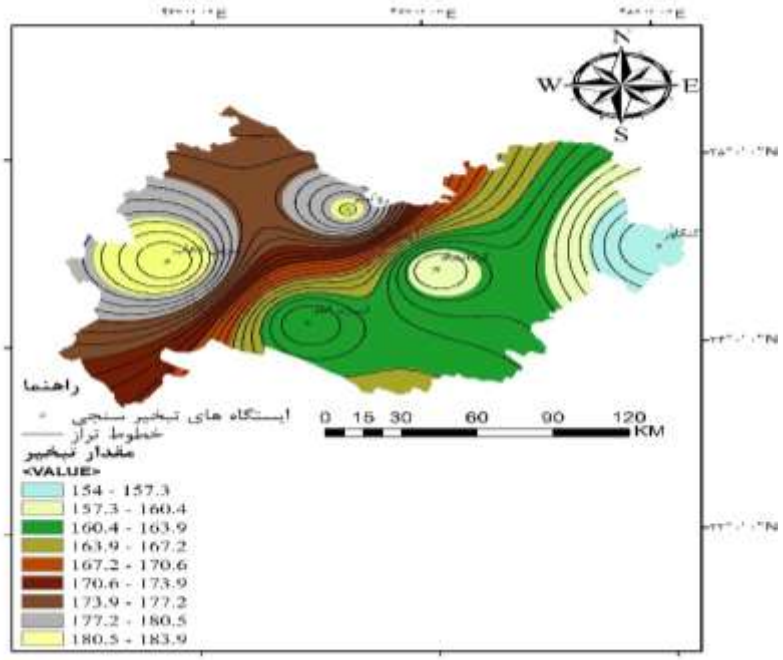
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

بسیار اندک بوده و در هردو بیش‌ترین تبخیر مربوط به شهرستان‌های غربی و جنوب‌غربی تا حوالی مرکز و کم‌ترین آن مربوط به شهرستان‌های شرق و شمال‌شرق استان می‌باشد.



شکل ۹: پهنه‌بندی میزان تبخیر پتانسیل بر اساس اندازه‌گیری از تشتک تبخیر در استان کرمانشاه

Figure 9: Zoning potential evaporation rate based on evaporation pan measurement in Kermanshah province



شکل ۱۰: پهنه‌بندی میزان تبخیر پتانسیل برآورد شده توسط مدل GEP در استان کرمانشاه

Figure 10: Zoning potential evaporation rate estimated by GEP model in Kermanshah province

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

نتیجه‌گیری

برنامه‌ریزی صحیح آبیاری یکی از راه‌های کاهش تلفات آب در مزارع می‌باشد که اساس آن را برآورد دقیق نیاز آبی گیاهان تشکیل می‌دهد از طرفی تعیین شرایط و میزان خشکی منطقه در تشخیص وضعیت رشد و نمو و نیاز آبی گیاه در فصل رویش بسیار مؤثر است، لذا محاسبه میزان تبخیر پتانسیل امری ضروری خواهد بود. در این تحقیق به‌منظور برآورد میزان تبخیر و تعرق پتانسیل از مدل GEP که مدلی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک است استفاده شد، نتایج نشان داد که بین داده‌های به‌دست آمده از مدل و تشتک تبخیر قرابت زیادی وجود دارد. عدم وجود امکانات کافی از جمله تشتک جهت ثبت میزان تبخیر پتانسیل و ناکافی و ناقص بودن آمار موجود در اکثر نقاط کشور اهمیت و جایگاه روش‌ها و مدل‌های مختلفی که بر اساس فاکتورهای مؤثر بر تبخیر و تعرق پتانسیل بتوانند مقدار آن را با ضریب بالایی از اطمینان برآورد کنند بیش از پیش آشکار می‌سازد. در این تحقیق نشان داده شد که مدل GEP مدلی کارآمد جهت برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل در سطح استان کرمانشاه می‌باشد و همچنین از آن می‌توان با اطمینان بالایی جهت بازسازی آمارهای ناقص و اصلاح داده‌های پرت در سطح این استان استفاده نمود. تحلیل نقشه‌های پهنه‌بندی میزان تبخیر و تعرق پتانسیل بر اساس اندازه‌گیری از تشتک تبخیر و مدل GEP نشان می‌دهد که هر چه از سمت شرق به غرب و از شمال به جنوب حرکت کنیم بر میزان تبخیر افزوده می‌گردد. نتیجه بسیار مهمی که از مقایسه میزان بارش سالیانه استان کرمانشاه با تبخیر صورت گرفته به‌دست می‌آید این است که؛ از ابتدا تا اواسط فصل رویش گیاهان شهرستان‌های شرقی دارای بارش ماهیانه بیش از میزان تبخیر بوده و این میزان به سمت غرب کاهش می‌یابد، به‌طوری که کمی بعد از نواحی مرکزی (اسلام‌آباد) میزان بارش و تبخیر برابر و پس‌ازآن کم‌تر می‌گردد و هر چه به اواخر فصل رویشی نزدیک می‌شویم وضعیت یاد شده به‌کل استان تعمیم می‌یابد، یعنی به نسبت میزان تبخیر از بارش بیش‌تر می‌گردد که این امر بیانگر کمبود آب و نیاز آبی شدید گیاه خصوصاً در نواحی غرب تا مرکز استان در انتهای فصل رویش است.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

References

- Bargahi, Kh., Mousavi, S. A., (2006), "Effect of shallow water level and groundwater salinity on groundwater contribution to evapotranspiration of Carthamus tinctorius L. in greenhouse", ***Aquaculture Sciences Natural Resources***, 10 (3): 59-69. [In Persian].
- Bai Bordi, M., (2003), "***Principles of irrigation engineering***", Volume I, Tehran: University of Tehran Publications. [In Persian].
- Daneshfaraz, R., Razzaghpour, H., (2013), "Assessing the impacts of climate change on potential evapotranspiration in West Azarbaijan province", ***Journal of Geographical Space***, 14 (46): 199-211. [In Persian].
- Eslami, A., Ghahreman, B., (2013), "Sensitivity analysis and uncertainty analysis of effective parameters in estimation of reference evapotranspiration", ***Iranian Journal of Irrigation and Drainage***, 7 (1): 67-79. [In Persian].
- Esmaeilzadeh, B., Sattari, MT., (2015), "Monthly evapotranspiration modeling using intelligent systems in Tabriz, Iran", ***Agricultural Sciense Developments***, 4 (3): 35-40. [In Persian].
- Jafarpour, E., (2001), "***Climatological Foundations***", Tehran: Payam Noor University Press. [In Persian].
- Ghasemi, A. R., Teimoori, M., Teimoori, F., (2018), "Estimation of reference evapotranspiration of Tabriz and Ardabil stations using principal component analysis method", ***Journal of Geographical Space***, 19 (65): 215-232. [In Persian].
- Mohammad Reza Pour, U., Aminy Raccoon, A., Karandish, F., (2015), "Modeling monthly potential transpiration evapotranspiration using genetic programming in Sistan and Baluchestan province", ***Journal of Watershed Protection Research***, 22 (5): 307-313.
- Nourbakhsh, M., (1999), "Estimating potential evaporation through multivariate regression", ***Geo-technical Journal of the Armed Forces (Sepehr)***, 24: 56-53. [In Persian].
Sattari, M.T., Esmaeilzadeh, B., (2016) "Comparison of results of M5 tree model and genetic programming with penman-Monteith-FAO method for estimation of reference evapotranspiration", ***Journal of Water Engineering***, 9: 11-20.
- Seifi, A., Riahi, H., Mir Latifi, S. M., (2013), "Modeling daily reference evapotranspiration using gene expression programming (Case study: Kerman Station)", 2nd International Conference on Plant, Water, Soil and Air Modeling, Kerman University of Technology and Advanced Graduate School, 1 to 6 May 2013, International Center for Advanced Science and Technology and Environmental Sciences, Kerman, Iran. [In Persian].
- Tabatabaee, M., Mirshekari, M., Sheikh Alipour, Z., Tahmasebizade, R., (2014), "Comparing the results of an empirical equation and artificial intelligence to calculate evapotranspiration and compare them with the actual results (Case study: Kavar and Doroudzan weather stations)", J***ournal of Current Research in Scince***, 2 (3): 340-345.
- Yunhe Yin, W., Shaohony, D., Qinye, Y., (2008), "Radiation calibration of FAo -56 Penman-Monteith model to estimate reference crop evapotranspiration in China", ***Agricultural Water Management***, 95 (1): 77-84.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]