نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیستم، شماره ۵۶، بهار ۹۹

برآورد میزان تبخیر و تعرق در استان فارس با استفاده از شاخص‌های تجربی

دریافت مقاله: ۹۷/۳/۲۰ **پذیرش نهایی**: ۹۷/۷/۲۶

صفحات: ۱۷۵-۱۵۹

مهدی اسدی: دانشجوی دکتری آب و هواشناسی کشاورزی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران[۱]
Email: Asadimehdi11@yahoo.com
مختار کرمی: استادیار اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران
Email: M.karami08@yahoo.co.uk

چکیده

هدف از پژوهش حاضر تعیین تبخیر و تعرق در استان فارس می‌باشد که در بسیاری از مطالعات ازجمله توازن هیدرولوژیک آب، طراحی و مدیریت سیستم‌های آبیاری، شبیه‌سازی میزان محصول و مدیریت منابع آب از اهمیت بالایی برخوردار بوده است. لذا برای این منظور ابتدا داده‌های مورد نیاز شامل آمار روزانه دما، رطوبت، بارش، سرعت باد، فشار و تشعشع خورشیدی و غیره در بازه زمانی ۱۹۹۵-۲۰۱۵ از ایستگاه‌های همدیدی موجود در سطح منطقه که شامل ۱۲ ایستگاه با بازه آماری یکسان بود، تهیه شد، سپس با استفاده از روش‌های تورنت وایت، پنمن مانتیث و هارگریوز - سامانی میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع در مراحل مختلف رشد در منطقه مورد مطالعه برآورد گردید. نتایج به دست آمده از بررسی خروجی روش‌ها حاکی از آن بود که با کاهش عرض جغرافیایی بر میزان تبخیر و تعرق افزوده شده و مناطق جنوب و جنوب شرقی منطقه به همراه مرکز منطقه مورد مطالعه دارای بیشترین میزان تبخیر و تعرق نسبت به ایستگاه‌های مجاور خود بودند. در بررسی ضریب همبستگی R^2 بین ارتفاع و روش‌های تورنت وایت، پنمن مانتیث و هارگریوز سامانی روش‌های مذکور به ترتیب دارای ضرایب تعیین ۰/۹۱۳۵، ۰/۵۳۲۳ و ۰/۵۲۸۶ گردید.

کلید واژگان: تبخیر و تعرق، تورنت وایت، پنمن و هارگریوز – سامانی، فارس.

۱. **نویسنده مسئول**: سبزوار، دانشگاه حکیم سبزواری، دانشکده جغرافیا، گروه آب و هواشناسی کشاورزی ۰۹۱۴۲۱۹۰۳۳۸

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.56.11.2]
[DOI: 10.29252/jgs.20.56.159]

مقدمه

تبخیر و تعرق پتانسیل یکی از عناصر مهم چرخه هیدرولوژی است که نقش مهمی را مطالعات کشاورزی، طرح‌های مدیریت منابع آب، طراحی شبکه‌های آبیاری، زهکشی و سازه‌های آبی بازی می‌کند (اسنایدر و همکاران[۱]، ۲۰۰۵: ۲۵۰؛ لوپز و همکاران[۲]، ۲۰۰۶: ۱۷؛ کندکار و همکاران[۳]، ۲۰۰۶: ۱۷۰؛ آل‌شیخ و همکاران، ۱۳۸۳: ۹۹). آب مهم‌ترین عامل محدود کننده کشاورزی در ایران می‌باشد، از این‌رو باید به افزایش کارایی مصرف آن در تولید محصولات کشاورزی توجه ویژه‌ای شود (حجازی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۶۰). از آنجا که بیش از ۰/۷۲ از منابع آبی کشور از طریق تبخیر و تعرق از دسترس خارج می‌شود (شرقی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۸). این امر نشان دهنده‌ی اهمیت توجه بیشتر به مسئله تبخیر و تعرق در کشور است. لذا یکی از راه‌های کاهش تلفات آب در مزارع، برنامه‌ریزی صحیح آبیاری می‌باشد که اساس آن، برآورد دقیق نیاز آبی گیاهان و در نتیجه تبخیر و تعرق گیاه مرجع است. مطالعه و بررسی تبخیر و تعرق گیاه مرجع برای ارائه الگوی کشت مناسب و بهینه‌سازی استفاده از منابع آب موجود در دوره‌های آتی ضروری است (گل‌کار حمزیی یزد و همکاران، ۱۳۸۶: ۴۲۴). بر اساس استاندارد فائو، تبخیر و تعرق گیاه مرجع عبارت است از میزان آبی که یک مزرعه پوشیده از گیاه مرجع (مانند چمن) در یک دوره زمانی مشخص مصرف نماید به‌طوری‌که گیاهان این مزرعه در طول دوره رشد با کمبود آب مواجه نشوند (شریفیان و همکاران، ۱۳۸۴: ۲۸۷). در بیشتر روش‌هایی که برای تعیین میزان تبخیر و تعرق ارائه شده، ابتدا مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ETo) تخمین زده می‌شود و سپس از روی آن تبخیر و تعرق گیاه مورد نظر محاسبه می‌گردد (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۳: ۹۸). در این زمینه مطالعات زیادی انجام شده است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره خواهد شد. کمیته نیاز آبیاری انجمن مهندسین عمران آمریکا آب مورد نیاز برای آبیاری گیاه را با بیست روش به‌طور ماهانه در مناطق مختلف برآورد و با نتایج لایسیمتر مقایسه کردند. نتایج نشان داد که روش پنمن- مانتیث بهترین برآورد را دارا است (جنسن و همکاران[۴]، ۱۹۹۰: ۶۳). صالح و سیندل[۵] (۱۹۸۳) روش تجربی جنسن- هیز را برای کالیبره کردن روابط تجربی در مناطقی با اقلیم خشک مانند عربستان سعودی مناسب دانستند. در مطالعه‌ای دیگر، روش‌های جنسن-هیز و هارگریوز برای اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک پیشنهاد شدند. شیه[۶] (۱۹۸۴) تأثیر متغیرهای مختلف آب و هوایی را بر تبخیر و تعرق گیاه مرجع بررسی نمود و نتیجه گرفت که در تخمین روزانه و ماهانه تبخیر و تعرق، دو پارامتر مذکور به‌تنهایی تقریباً همان عددی را نتیجه می‌دهند که استفاده از سایر پارامترهای دیگر ارائه می‌دهند. از دیگر تحقیقاتی که در سطح جهان در زمینه‌ی تبخیر و تعرق انجام‌گرفته به موارد زیر اشاره نمود (سامانی[۷]، ۲۰۰۰؛ ویب و منزل[۱]، ۲۰۰۸؛ دروگرس و آلن[۲]، ۲۰۰۲؛ ستی و همکاران[۳]،

1 . Snyder et al
۲ . Lopez et al
۳ . Gundekar et al
٤ . Jensen et al
5 .Salih,and Sendil
6 . Shih
۷ . Samani

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.56.11.2]
[DOI: 10.29252/jgs.20.56.159]

۲۰۰۲؛ سیلوا و همکاران[۴]، ۲۰۱۰؛ تبری[۵]، ۲۰۱۰؛ فونتس پنالیو و همکاران[۶]، ۲۰۱۷؛ خند و همکاران[۷]، ۲۰۱۷؛ محمدیان و همکاران، ۲۰۱۷). انتصاری و همکاران (۱۳۷۵) تبخیر و تعرق پتانسیل را در چند منطقه از ایران به روش پنمن- مانتیث محاسبه نمودند و با دیگر روش‌های تجربی توصیه شده سازمان خواربار جهانی مورد مقایسه قرار دادند و قابلیت اتکا به روش پنمن- مانتیث را تحلیل نمودند. علیزاده و همکاران (۱۳۸۰) دقت برآورد مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل در استان خراسان را با روش‌های هارگریوز- سامانی و تشتک تبخیر محاسبه کرده و به این نتیجه رسیدند که روش تشتک تبخیر علیرغم این‌که تابع داده‌های متعدد هواشناسی است، نتایج قابل قبولی در برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل ندارد. صمدی و مجدزاده (۱۳۸۲) ضمن اندازه‌گیری تبخیر و تعرق گیاه مرجع (چمن) توسط لایسیمتر در کرمان تعدادی از روش‌های محاسباتی (بلانی –کریدل، تورنت وایت و پنمن –مانتیث- فائو) را مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه گرفتند که معادله بلانی- کریدل مناسب‌ترین روش برای استفاده در مناطق خشک است. مباشری و خاوریان (۱۳۸۳) به تجزیه و تحلیل روش-های استفاده از ماهواره در تعیین میزان تبخیر و تعرق پرداختند. در این پژوهش سعی شده که علاوه بر معرفی چندین روش جهت برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، مشکلات اصلی الگوریتم‌های موجود برای استفاده در ایران را تبیین کرده و راهکارهای رفع و یا کاهش آن مورد بحث و بررسی قرار گرفت. معصوم-پور سماکوش و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی تغییرپذیری زمانی – مکانی و روند تبخیر و تعرق گیاه مرجع در ایران پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که روند تبخیر و تعرق در سراسر کشور رو به افزایش است. همچنین مشخص گردید که بیشترین تغییر روند ماهانه در ماه جولای و در ایستگاههای خشک کشور و کمترین تغییر روند ماهانه نیز در ماهای دسامبر و ژانویه رخ داده است. بنابراین، هدف از این مطالعه برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع، با استفاده از روش‌های تورنت وایت، فائو- پنمن – مانتیث و هارگریوز سامانی برای ایستگاه‌های انتخاب‌شده در استان فارس و مقایسه آنها به همراه پهنه‌بندی میزان تبخیر و تعرق در سطح منطقه برای هریک از روش‌ها می‌باشد که تا بحال در منطقه مورد مطالعه به این شکل مورد ارزیابی قرار نگرفته است.

روش تحقیق

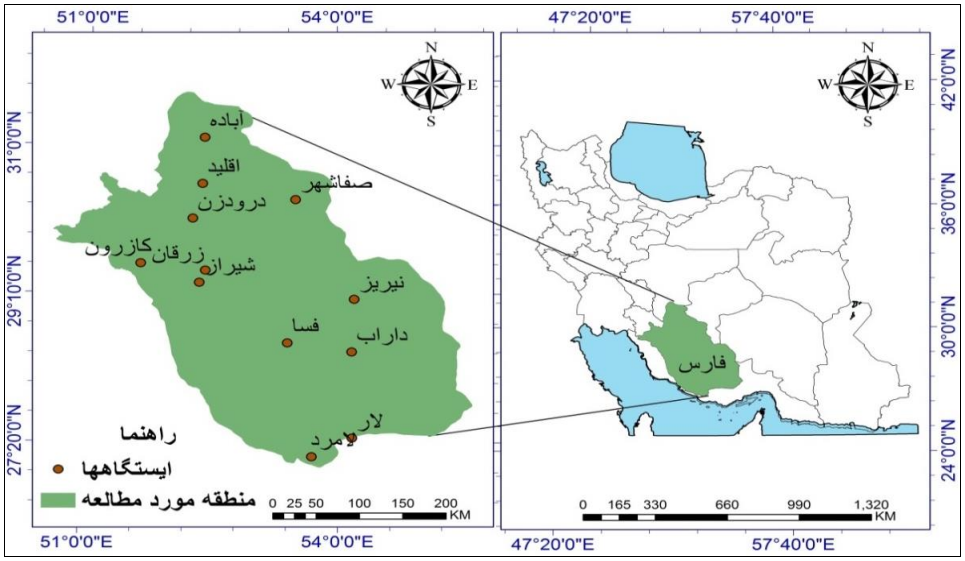
منطقه مورد مطالعه

استان فارس با مساحتی بیش از ۱۲۲۶۰۸ کیلومتر مربع در جنوب منطقه مرکزی ایران با زمستان‌های معتدل و تابستان‌های گرم و خشک بین مدارهای ۲۷ درجه و ۲ دقیقه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۴۲

۱ . Weiß and Menzel
۲ . Droogers and Allen
۳ . Sethi et al
4 . Silva et al
5 . Tabari
6 . Fuentes-Peñailillo
7 . Khand

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.56.11.2]
[DOI: 10.29252/jgs.20.56.159]

دقیقه و ۵۵ درجه و ۳۶ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته است (کرمی و همکاران، ۱۳۹۶: ۷۹). این استان که در آخرین تقسیمات کشوری دارای ۲۹ شهرستان بود از سمت شمال به استان‌های اصفهان و یاسوج، از سمت غرب به استان بوشهر، از سمت شرق و شمال شرق به استان یزد و کرمان و از سمت جنوب، جنوب غرب و جنوب شرق به استان بندرعباس محدود شده است. جدول(۱) به همراه شکل(۱) نشانگر موقعیت و مشخصات ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه می‌باشد.



شکل (۱). نقشه پراکنش ایستگاههای منطقه مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

جدول (۱). اطلاعات مربوط به ایستگاههای منطقه مورد مطالعه

ردیف	ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)
۱	آباده	۳۱ ۱۱	۵۲ ۴۰	۲۰۳۰
۲	اقلید	۳۰ ۵۴	۵۲ ۳۸	۲۳۰۰
۳	داراب	۲۸ ۴۷	۵۴ ۱۷	۱۰۹۸/۲
۴	درودزن	۳۰ ۱۱	۵۲ ۲۷	۱۶۵۲
۵	زرقان	۲۹ ۴۷	۵۲ ۴۳	۱۵۹۶
۶	شیراز	۲۹ ۳۲	۵۲ ۳۶	۱۴۸۴
۷	صفاشهر	۳۰ ۳۵	۵۳ ۵	۲۲۵۱
۸	فسا	۲۸ ۵۸	۵۳ ۴۱	۱۲۸۸/۳
۹	کازرون	۲۹ ۳۶	۵۱ ۳۹	۸۴۰
۱۰	لار	۲۷ ۴۱	۵۴ ۱۷	۷۹۲
۱۱	لامرد	۲۷ ۱۸	۵۳ ۷	۴۱۱
۱۲	نیریز	۲۹ ۱۲	۵۴ ۲۰	۱۶۳۲

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.56.11.2]
[DOI: 10.29252/jgs.20.56.159]

نظر به این‌که فرمول‌های تبخیر و تعرق واقعی معمولاً به نتایج مطلوبی منتهی نمی‌شوند و استفاده از لایسیمتر نیز در تمام شرایط امکان‌پذیر نیست بجای آن، توان تبخیر و تعرق منطقه را تخمین می‌زنند که آن را تبخیر و تعرق پتانسیل می‌گویند. روش‌های غیرمستقیم و متعددی برای این منظور پیش‌بینی شده است که معادله‌های تجربی تخمین تبخیر و تعرق پتانسیل ازجمله آن‌هاست، تبخیر و تعرق پتانسیل حداکثر مقدار تخمین تبخیر و تعرقی است که در یک وضعیت آب و هوایی مشخص در صورتی که محدودیتی از نظر آب وجود نداشته باشد از یک پوشش کامل گیاهی مانند چمن صورت می‌گیرد (علیزاده، ۱۳۸۵: ۲۴۳). این پژوهش به‌منظور برآورد میزان تبخیر و تعرق پتانسیل منطقه مورد مطالعه و با هدف توسعه در بخش کشاورزی و مدیریت منابع آبی و طراحی سیستمهای آبیاری متناسب با اقلیم منطقه و همچنین مقایسه روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل صورت گرفته است. از این‌رو سه روش تجربی مهم برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل شامل روش‌های تورنت وایت، پنمن و هارگریوز- سامانی مدنظر قرار گرفت. بدین منظور از عناصر اقلیمی مورد نیاز در روش‌های ذکرشده از قبیل دما (دمای حداقل، حداکثر، میانگین) به درجه سلسیوس و فارنهایت، میانگین حداقل رطوبت نسبی به درصد، میانگین سرعت باد به متر در ثانیه و مایل در ساعت، مجموع ساعات آفتابی و تشعشع برون زمینی در مقیاس ماهانه طی دوره آماری ۲۰ ساله (۲۰۱۵- ۱۹۹۵) ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مورد مطالعه جهت دستیابی به نتایج مستدل بهره گرفته شد. در ادامه به تشریح مختصر هر یک از روش‌ها پرداخته خواهد شد:

روش تورنت وایت

در این روش تبخیر و تعرق پتانسیل برای هر یک از ماههای سال محاسبه می‌شود. اساس این روش دمای متوسط ماهانه است که برای محاسبه آن به‌صورت زیر عمل می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۵: ۲۴۴):

الف - ابتدا نمایه حرارتی (im) برای هر یک از ماه‌های سال از رابطه(۱) محاسبه می‌شود.

$$im = \left(\frac{Tm}{5}\right)^{1/51}$$ رابطه(۱)

در رابطه(۱) im نمایه حرارتی هرماه و Tm متوسط دمای هوا به درجه سانتی‌گراد در ماه مورد نظر می‌باشند. این کار برای ۱۲ ماه سال انجام می‌گردد. در صورتی که متوسط دما در یک ماه صفر یا منفی باشد im برای آن صفر در نظر گرفته می‌شود.

ب- نمایه حرارتی سال (I) از جمع نمایه حرارتی ماهانه طی سال به دست می‌آید:

$$I = \sum_{n=1}^{12} im$$ رابطه(۲)

ج- با داشتن نمایه حرارتی سالانه (I) ضریب a از رابطه(۳) محاسبه می‌شود:

$$a = (6.75 \times 10^{-7})I^3 - (7.71 \times 10^{5})I^2\ (1.792 \times 10^{2})I + .492$$ رابطه(۳)

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.56.11.2]
[DOI: 10.29252/jgs.20.56.159]

د- با توجه به اینکه تعداد روزهای هرماه و تعداد ساعات روشنایی در ماههای مختلف سال متفاوت است، لذا جهت به دست آوردن PET از ضریب اصلاحی NM که مقادیر آن برای هر ماه از جداول ویژه به دست می‌آید استفاده می‌شود رابطه(۴).

$$PET = 16Nm\left(\frac{10Tm}{I}\right)^{a}$$ رابطه(۴)

ضرایب اصلاحی مورد استفاده در منطقه مورد مطالعه به شرح جدول (۲) می‌باشد.

جدول (۲). ضریب اصلاحی مربوط به روش تورنت وایت برای منطقه مورد مطالعه

عرض جغرافیایی	زانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	جون	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
۲۰	۰/۹۵	۰/۹۰	۱/۰۳	۱/۰۵	۱/۱۳	۱/۱۱	۱/۱۴	۱/۱۱	۱/۰۲	۱/۰۰	۰/۹۳	۰/۹۴
۳۰	۰/۹۰	۰/۸۷	۱/۰۳	۱/۰۸	۱/۱۸	۱/۱۷	۱/۲۰	۱/۱۴	۱/۰۳	۰/۹۸	۰/۸۹	۰/۸۸
۳۵	۰/۸۷	۰/۸۵	۱/۰۳	۱/۰۹	۱/۲۱	۱/۲۱	۱/۲۳	۱/۱۶	۱/۰۳	۰/۹۷	۰/۸۶	۰/۸۵
۴۰	۰/۸۴	۰/۸۳	۱/۰۳	۱/۱۱	۱/۲۴	۱/۲۵	۱/۲۷	۱/۱۸	۱/۰۴	۰/۹۶	۰/۸۳	۰/۸۱

روش فائو-پنمن- مانتیث

معادله پنمن – مانتیث که توسط سازمان فائو به‌عنوان روش استاندارد برای تعیین ETo و مقایسه سایر روش‌ها توصیه شده است (آلن و همکاران[۱]، ۱۹۹۸: ۱۵۷؛ ۱۹۹۴: ۲۳). در این تحقیق به‌عنوان مبنای ارزیابی استفاده شده است. این معادله به‌صورت رابطه(۵) می‌باشد:

$$ET_O = \frac{0.408\Delta R_n + \gamma\frac{900}{T_a+275}U_2(e_s-e_a)}{\Delta+\gamma(1+0.34U_2)}$$ رابطه(۵)

در رابطه(۵):

ETO : تبخیر و تعرق گیاه مرجع ($mm\ d^{-1}$)

Ta : دمای هوا ($^{\circ}c$)

U2 : سرعت باد در ارتفاع ۲ متری (ms^{-1})

Rn : تابش خالص در سطح زمین ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$)

es-ea: کمبود فشار بخار اشباع هوا (Kpa)

Δ: شیب منحنی فشار بخار اشباع با دما ($KpaC^{-1}$)

γ: ثابت سایکرومتر($KpaC^{-1}$) می‌باشند.

روش هارگریوز- سامانی

۱ . Allen et al

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.56.11.2]
[DOI: 10.29252/jgs.20.56.159]

روش دیگری که در آن فقط به داده‌های دمای هوا نیاز می‌باشد، به نام روش هارگریوز یا هارگریوز-سامانی معروف است، در این روش لازم است برای دوره مورد بررسی دمای متوسط هوا (T) و تفاوت متوسط حداکثر و حداقل دما (TR) در طول دوره مورد بررسی در دسترس باشد. سپس با داشتن تابش خورشیدی (Ra)، مقدار تبخیر و تعرق به‌صورت رابطه(۶) قابل محاسبه است (علیزاده، ۱۳۸۵: ۲۵۵).

$$ET_0 = 0.0023R_a(T + 17.8)(TR^{0.5}) \quad \text{رابطه(۶)}$$

در رابطه(۶) TR تفاوت حداکثر و حداقل دما (TR= Tmax- Tmin) برحسب سانتی‌گراد است، واحد ETo نیز همان واحد Ra را خواهد داشت (هارگریوز- سامانی، ۱۹۸۵: ۹۷)، که می‌توان مقدار آن را برحسب میلی‌متر در روز را از جدول ویژه به دست آورد.

جدول (۳). فاکتورهای مورد نیاز در روش هارگریوز

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	جون	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
TR	۱۰/۸	۱۱/۱	۱۲/۴	۱۴/۲	۱۷/۳	۲۱/۱	۲۰/۲	۲۰/۹	۲۱/۲	۱۷/۳	۱۳/۴	۱۱
RA	۶	۸/۳	۱۱	۱۳/۹	۱۵/۹	۱۶/۷	۱۶/۳	۱۴/۸	۱۲/۲	۹/۳	۶/۷	۵/۵

البته برای محاسبه مقدار Ra علاوه بر جدول مذکور روابط دیگری نیز توسط دیگر پژوهشگران ارائه شدند که برای مطالعه بیشتر به منابع زیر مراجعه شود (هارگریوز – سامانی، ۱۹۸۲؛ سامانی و پسرکلی[۱]، ۱۹۹۶؛ کتسوپیلوس و باباجی موپیولوس[۲]، ۱۹۹۷ و آلن ۱۹۹۶).

روش انترپولاسیون

روش وزن دهی معکوس فاصله (IDW[۳]) به‌عنوان یکی از روش‌های درون‌یابی، بر اساس عکس فاصله وزن دهی است که در آن، تخمین بر اساس مقادیر نقاط نزدیک، به نقطه‌ی برآورد صورت می‌گیرد (وبستر و الیور[۴]، ۲۰۰۰: ۲۷۱). رابطه(۷) درون‌یابی دو بعدی را نشان می‌دهد.

$$(x, y) = \sum_{i=1}^{N} \lambda_{iW_i} \quad \text{رابطه(۷)}$$

در رابطه(۷) W (x,y) مقادیر برآورده شده در موقعیت (x,y)، N تعداد نقاط معلوم مجاور (x,y)، λ_i وزن اختصاص داده شده به هر یک از مقادیر معلوم w_i در موقعیت (x_i,y_i)، d_i فاصله اقلیدسی بین هر یک از نقاط واقع در موقعیت‌های (x,y) و (x_i,y_i) و p مقدار توان است که متأثر از وزن w_i بر W است (انتظاری و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۶۱).

اعتبارسنجی

۱. Samani and Pessarakli
۲. Kotsopoulos and Babajimopoulos
۳ . Inverse distance weighted
۴ . Webster & Oliver

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.56.11.2]
[DOI: 10.29252/jgs.20.56.159]

برای اعتبارسنجی روش پنمن مانتیث فائو، تورنت وایت و هارگریوز سامانی در مقابل ارتفاع در برآورد میزان تبخیر و تعرق استان فارس از معیارهای ضریب همبستگی R^2 و مجذور میانگین مربعات خطا[1] (RMSE) استفاده شد. روابط(۸ و ۷) مربوط به این آماره‌ها می‌باشد (خورشید دوست و اسدی، ۱۳۹۵: ۱۷۰؛ زهو[2] و همکاران، ۲۰۱۴: ۷۷۲):

$$RMSE = \sqrt{(\sum(E_{si} - E_{oi})^2)/n - 1}$$ رابطه(۸)

$$R^2 = \frac{(\sum_{i-1}^{n}(E_{si}-\bar{E}))(E_{oi}-\bar{E}_{oi})}{(\sum_{i-1}^{n}(E_{si}-\bar{E}))^2(E_{oi}-\bar{E}_{oi})^2}$$ رابطه(۹)

نتایج

در این پژوهش برای بررسی شرایط تبخیر و تعرق در منطقه مورد مطالعه، در ایستگاههای مورد بررسی در دوری آماری ۱۹۹۵-۲۰۱۵ از معادلات تورنت وایت، پنمن و هارگریوز – سامانی استفاده گردید که در ادامه خروجی‌های حاصل از هر روش به‌طور مجزا بررسی خواهد شد.

خروجی‌های حاصل از روش تورنت وایت

در این روش تبخیر و تعرق پتانسیل برای هر یک از ماههای سال به تفکیک شهرستان محاسبه شده است. اساس این روش دمای متوسط ماهانه است که خروجی‌های حاصل از آن به‌صورت جدول(۴) و شکل(۲) در ادامه مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول (۴). مقادیر تبخیر و تعرق محاسبه شده با روش تورنت وایت در استان فارس

ردیف	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مجموع کل ماههای سال
آباده	۵۴/۹	۹۳/۴	۱۳۱/۶	۱۵۴/۹	۱۳۵/۸	۹۳/۲	۷۸۷/۷
اقلید	۵۰/۵	۸۶/۴	۱۱۶/۳	۱۳۸/۴	۱۱۹/۳	۸۸/۶	۷۲۰/۸
داراب	۷۸	۱۶۹/۸	۲۵۰/۷	۳۱۸/۸	۲۴۹/۴	۱۷۱/۴	۱۴۶۷/۳
درودزن	۵۴/۹	۹۹/۸	۱۴۲/۷	۱۸۱	۱۵۸/۲	۱۰۷/۷	۸۹۰
زرقان	۵۷	۱۱۱/۳	۱۶۳	۲۰۰	۱۷۷/۷	۱۲۱/۶	۹۸۵/۴
شیراز	۵۹/۱	۱۱۳/۳	۱۶۱/۸	۱۹۶	۱۷۴	۱۱۷/۹	۹۷۷/۹
صفاشهر	۴۶/۴	۸۶/۸	۱۱۳/۴	۱۳۶/۷	۱۱۴/۷	۷۹/۳	۶۸۷/۸
فسا	۶۴/۴	۱۳۱/۷	۱۸۷/۳	۲۲۰/۷	۱۹۵/۱	۱۳۰/۹	۱۰۹۹/۷
کازرون	۷۹/۹	۱۹۷/۴	۲۷۶/۲	۳۳۱/۸	۳۰۷/۲	۱۹۸	۱۶۱۸/۱
لار	۹۸/۵	۲۱۲/۸	۳۰۴/۵	۳۷۷/۷	۳۲۸/۲	۲۰۶	۱۷۵۴/۷
لامرد	۱۲۴/۴	۲۷۵/۴	۳۷۴/۸	۴۵۲/۶	۴۰۰/۷	۲۵۱/۵	۲۱۵۹/۵
نیریز	۷۱/۱	۱۲۶/۸	۱۸۱/۹	۲۲۱/۳	۱۹۷	۱۳۴/۲	۱۱۰۶/۶

ردیف	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
آباده	۵۴/۲	۲۲/۶	۸/۷	۳/۸	۸/۹	۲۵/۷
اقلید	۵۵/۴	۲۱/۸	۸/۲	۱/۸	۸/۷	۲۵/۳
داراب	۹۱/۶	۳۳	۱۴/۳	۸/۵	۱۶/۱	۳۵/۷
درودزن	۶۳/۸	۲۶/۵	۱۰/۷	۵/۳	۱۱/۷	۲۷/۸

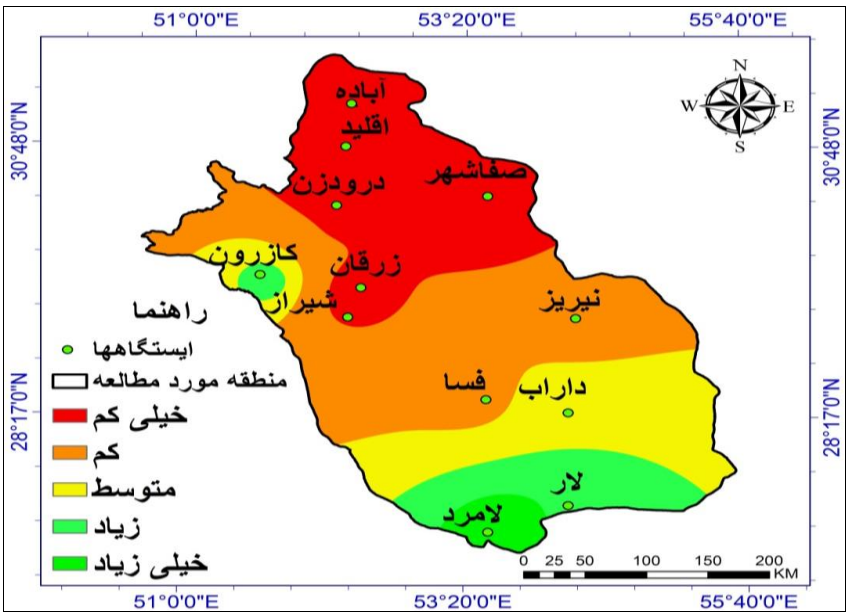
۱ . Root Mean Square Error

۲ . Zhou

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.56.11.2]
[DOI: 10.29252/jgs.20.56.159]

زرقان	۷۲/۵	۲۹	۱۰/۹	۴/۹	۱۰/۳	۲۷/۲
شیراز	۶۷/۵	۲۷/۷	۱۱/۲	۷	۱۲/۵	۲۹/۷
صفاشهر	۵۰/۸	۲۰/۱	۳/۵	۰	۹/۸	۲۶/۴
فسا	۷۴/۱	۳۰/۵	۱۳/۱	۸/۳	۱۳	۳۰/۶
کازرون	۱۱۲/۲	۳۸/۱	۱۱/۷	۷	۱۶/۷	۴۲
لار	۱۰۶/۹	۳۸/۷	۱۴/۷	۹/۲	۱۷	۴۰/۵
لامرد	۱۳۴/۸	۴۵/۶	۲۰/۲	۱۲/۶	۲۰/۴	۴۶/۵
نیریز	۷۶/۹	۲۸/۸	۱۳/۲	۷/۲	۱۳/۶	۳۴/۴

بر اساس جدول(۴) که در آن خروجی‌های حاصل از تبخیر و تعرق استان فارس با روش تورنت وایت ارائه شده است، ایستگاه لامرد به دلیل قرارگیری در جنوب ایران و به طبع دارا بودن عرض جغرافیایی پایین، بیشترین میزان تبخیر و تعرق را با مقدار عددی ۲۱۵۹/۵ میلی‌متر درمجموع سال‌های مورد مطالعه دارا است. همچنین مشخص گردید که فصل تابستان در استان فارس بیشترین میزان تبخیر و تعرق و فصل زمستان با توجه به ماهیت سرد آن کمترین میزان تبخیر و تعرق را دارا می‌باشد. با توجه به جدول(۴) منطقه لامرد با توجه به موقعیت نسبی و ریاضی، حتی در فصل زمستان نیز بیشترین میزان تبخیر و تعرق را در بین ایستگاه‌های مورد بررسی در استان فارس با مقدار عددی ۴۶/۵ میلی‌متر به خود اختصاص داده است.



شکل (۲). پراکنش تبخیر و تعرق در استان فارس بر اساس روش تورنت وایت (منبع: نگارندگان)

شکل(۲) به‌نوعی برآیند مجموع ماههای مورد بررسی جدول(۴) در منطقه مورد مطالعه بر اساس روش تورنت وایت می‌باشد. همان‌طور که در این شکل نیز پیداست عرض جغرافیایی، ارتفاعات و زاویه تابش خورشید تأثیر زیادی بر میزان تبخیر و تعرق در سطح منطقه مورد مطالعه و همچنین نحوه‌ی پراکنش آن داشته‌اند. به عبارتی با افزایش عرض جغرافیایی از میزان تبخیر و تعرق کاسته شده و در مقابل با کاهش عرض جغرافیایی بر

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.56.11.2]
[DOI: 10.29252/jgs.20.56.159]

میزان تبخیر و تعرق افزوده شده است. به عبارتی مناطق جنوب، جنوب غرب و جنوب شرق استان فارس و منطقه لامرد بیشترین میزان تبخیر و تعرق را دارا می‌باشند که بی‌تردید عرض جغرافیایی، ارتفاعات و زاویه تابش خورشید در آن‌ها نقشی غیرقابل انکار داشته است.

خروجی‌های حاصل از روش پنمن - مانتیث

معادله پنمن – مانتیث که توسط سازمان فائو به‌عنوان روش استاندارد برای تعیین ETo و مقایسه سایر روش‌ها توصیه شده است. در این تحقیق به‌عنوان مبنای ارزیابی استفاده شده است و خروجی‌های حاصل از آن به‌صورت جدول(۵) و شکل(۳) در ادامه مورد بررسی قرار گرفته است.

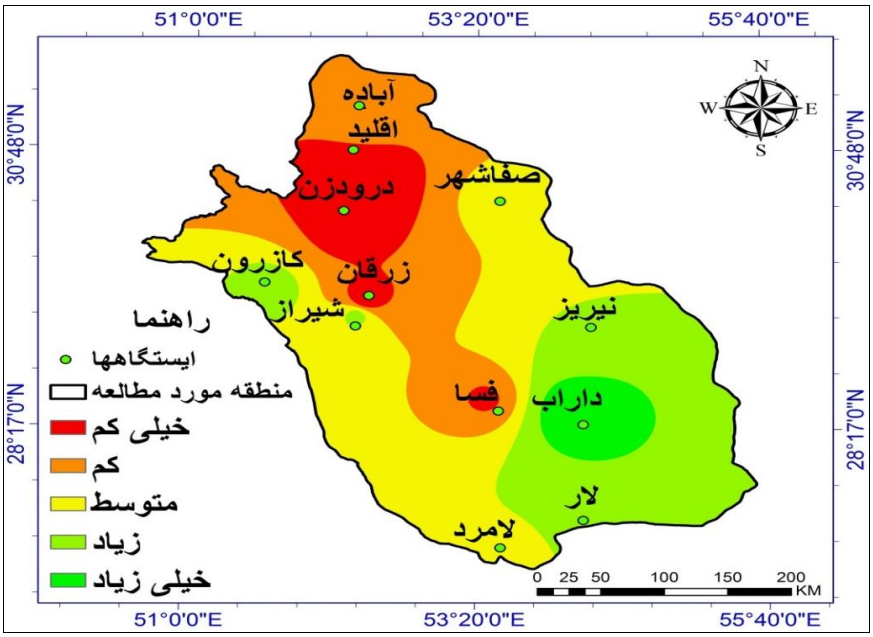
جدول (۵). مقادیر تبخیر و تعرق محاسبه شده با روش پنمن مانتیث در استان فارس

ردیف	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مجموع کل ماههای سال
آباده	۱۰۸	۱۴۲/۶	۱۶۸	۱۸۶	۱۷۳/۶	۱۳۸	۱۳۱۸/۷
اقلید	۸۷	۱۲۷/۱	۱۵۹	۱۷۳/۶	۱۵۱/۹	۱۲۶	۱۱۵۷/۱
داراب	۱۳۵	۱۸۹/۱	۲۱۹	۲۲۰/۱	۱۹۵/۳	۱۶۸	۱۶۲۳/۴
درودزن	۹۳	۱۳۰/۲	۱۶۵	۱۷۹/۸	۱۶۱/۲	۱۳۸	۱۲۱۲
زرقان	۹۹	۱۳۳/۳	۱۵۶	۱۶۷/۴	۱۵۵	۱۲۶	۱۱۹۶/۴
شیراز	۱۱۱	۱۵۸/۱	۱۹۵	۲۰۴/۶	۱۶۷/۷	۱۵۰	۱۴۱۹/۱
صفاشهر	۱۱۱	۱۴۵/۷	۱۸۰	۱۸۹/۱	۱۷۰/۵	۱۴۴	۱۳۶۴/۲
فسا	۱۰۲	۱۴۵/۷	۱۶۵	۱۷۰/۵	۱۶۴/۳	۱۳۲	۱۲۵۴/۳
کازرون	۱۱۷	۱۶۱/۲	۱۸۹	۱۹۸/۴	۱۸۲/۹	۱۵۰	۱۴۴۳/۴
لار	۱۱۴	۱۶۴/۳	۱۹۲	۱۹۸/۴	۱۸۶	۱۵۳	۱۴۴۶/۵
لامرد	۱۰۲	۱۵۱/۹	۱۸۹	۱۹۸/۴	۱۷۳/۶	۱۵۰	۱۳۹۲/۳
نیریز	۱۱۴	۱۵۸/۱	۱۸۹	۱۹۵/۳	۱۷۰/۵	۱۴۷	۱۳۵۷/۶

ردیف	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
آباده	۱۰۵/۴	۶۶	۴۹/۶	۴۶/۵	۵۱/۳	۸۳/۷
اقلید	۹۶/۱	۵۷	۴۰/۳	۳۴/۱	۳۹/۹	۶۵/۱
داراب	۱۳۶/۴	۸۷	۵۸/۹	۵۲/۷	۶۲/۷	۹۹/۲
درودزن	۱۰۵/۴	۶۰	۴۰/۳	۳۴/۱	۳۹/۹	۶۵/۱
زرقان	۹۶/۱	۶۳	۴۳/۴	۳۷/۲	۴۵/۶	۷۴/۴
شیراز	۱۲۰/۹	۷۲	۴۹/۶	۴۳/۴	۵۴/۱	۸۳/۷
صفاشهر	۱۱۷/۸	۷۵	۴۹/۶	۴۳/۴	۵۱/۳	۸۶/۸
فسا	۹۹/۲	۶۶	۴۶/۵	۴۰/۳	۴۸/۴	۷۴/۴
کازرون	۱۲۰/۹	۷۲	۵۲/۷	۴۶/۵	۵۹/۸	۹۳
لار	۱۱۷/۸	۷۸	۵۲/۷	۴۳/۴	۵۷	۸۹/۹
لامرد	۱۱۷/۸	۶۹	۴۶/۵	۳۷/۲	۴۵/۶	۷۱/۳
نیریز	۱۱۷/۸	۷۲	۴۹/۶	۴۳/۴	۵۴/۱	۸۶/۸

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.56.11.2]
[DOI: 10.29252/jgs.20.56.159]

با توجه به جدول(۵)، بیشترین میزان تبخیر و تعرق بر اساس روش پنمن مانیث در استان فارس مربوط به ایستگاه داراب در جنوب شرق استان با مقدار عددی ۱۶۲۳/۴ میلی‌متر در سال و کمترین میزان تبخیر و تعرق مربوط به ایستگاه اقلید با مقدار عددی ۱۱۵۷/۱ میلی‌متر در سال می‌باشد که تأثیرات عرض جغرافیایی و عوامل محلی را در آن مشهود است. همچنین، همان‌طور که از شکل(۳) نیز پیداست، در این روش نیز مناطق جنوبی بیشترین تبخیر و تعرق را نسبت به مناطق شمالی دارا می‌باشند که باز هم به دلیل عرض جغرافیایی پایین و نقش عوامل محلی می‌باشد.



شکل (۳). پراکنش تبخیر و تعرق در استان فارس بر اساس روش پنمن مانتیث (منبع: نگارندگان)

خروجی‌های حاصل از روش هارگریوز- سامانی

روش دیگری که در آن فقط به داده‌های دمای هوا نیاز است، به نام هارگریوز یا هارگریوز سامانی معروف می‌باشد. در این روش لازم است برای دوره مورد بررسی، دمای متوسط هوا و تفاوت متوسط حداکثر و حداقل دما در دسترس باشد. سپس با داشتن تابش خورشیدی، مقدار تبخیر و تعرق به دست می‌آید. خروجی‌های حاصل از روش هارگریوز - سامانی به‌صورت جدول(۶) و شکل(۴) در ادامه مورد بررسی قرار گرفته است.

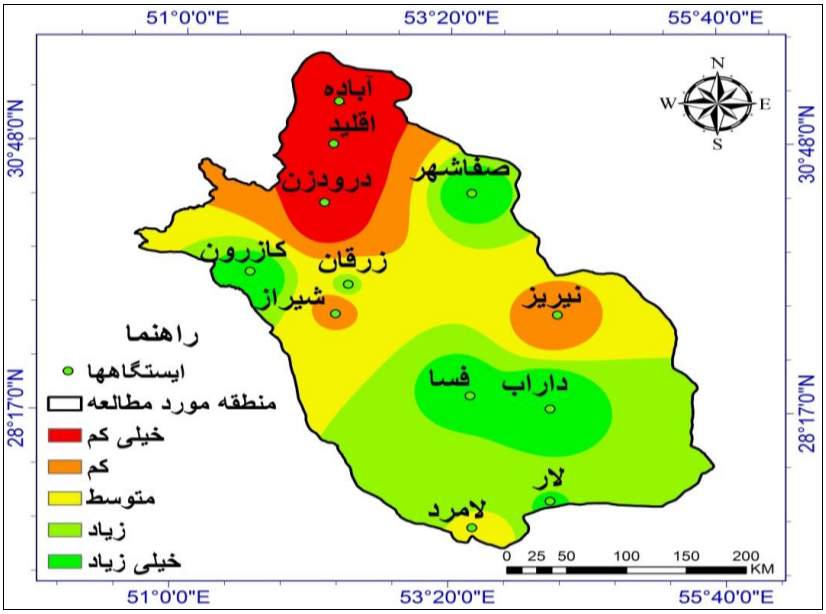
جدول (۶). مقادیر تبخیر و تعرق محاسبه شده با روش هارگریوز- سامانی در استان فارس

ردیف	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مجموع کل ماههای سال
آباده	۹۰	۱۳۶/۴	۲۰۴	۲۲۹/۴	۲۰۴/۶	۱۸۶	۱۴۲۹/۲
اقلید	۷۸	۱۲۴	۲۲۲	۲۸۵/۲	۲۵۴/۲	۱۸۰	۱۴۷۳/۴
داراب	۱۵۶	۲۶۹/۷	۳۴۸	۳۰۰/۷	۲۳۸/۷	۲۲۵	۲۱۳۷
درودزن	۹۰	۱۳۳/۳	۱۹۵	۲۵۴/۲	۲۲۹/۴	۱۷۷	۱۴۳۹/۳

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.56.11.2]
[DOI: 10.29252/jgs.20.56.159]

زرقان	۱۰۲	۱۷۹/۸	۲۹۷	۳۳۴/۸	۲۸۲/۱	۲۷۳	۱۹۵۱/۵
شیراز	۱۰۲	۱۶۴/۳	۲۴۰	۲۶۶/۶	۲۲۹/۴	۲۱۳	۱۶۶۴/۴
صفاشهر	۱۱۴	۱۷۹/۸	۳۰۳	۳۳۴/۸	۳۰۰/۷	۲۷۶	۲۰۹۵/۱
فسا	۱۳۸	۲۲۰/۱	۳۰۶	۳۲۲/۴	۲۶۰/۴	۲۴۹	۲۰۶۷
کازرون	۱۱۱	۲۰۱/۵	۳۰۶	۳۴۱	۲۶۶/۶	۲۸۲	۲۱۵۶/۲
لار	۱۲۹	۲۰۷/۷	۲۸۸	۳۰۶/۹	۲۲۶/۳	۲۲۵	۱۹۴۴/۷
لامرد	۱۰۵	۱۸۲/۹	۲۷۶	۲۹۷/۶	۲۴۸	۲۴۹	۱۸۵۰/۶
نیریز	۱۰۲	۱۷۹/۸	۲۴۰	۲۶۳/۵	۲۱۳/۹	۱۹۸	۱۶۳۷/۱

ردیف	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
آباده	۱۳۳/۳	۶۹	۴۳/۴	۳۴/۱	۳۷	۶۲
اقلید	۱۱۷/۸	۶۰	۳۷/۲	۳۱	۳۱/۳	۵۲/۷
داراب	۲۲۰/۱	۱۱۱	۶۲	۴۹/۶	۵۷	۹۹/۲
درودزن	۱۲۰/۹	۶۳	۴۳/۴	۳۴/۱	۳۷	۶۲
زرقان	۱۸۶	۱۰۵	۴۹/۶	۳۷/۲	۳۹/۹	۶۵/۱
شیراز	۱۶۴/۳	۸۴	۴۹/۶	۴۰/۳	۴۲/۷	۶۸/۲
صفاشهر	۲۲۰/۱	۱۲۳	۶۲	۴۶/۵	۴۸/۴	۸۶/۸
فسا	۲۰۷/۷	۱۱۴	۶۲	۴۶/۵	۵۴/۱	۸۶/۸
کازرون	۲۶۳/۵	۱۱۴	۶۵/۱	۴۶/۵	۵۹/۸	۹۹/۲
لار	۱۸۹/۱	۱۱۴	۶۸/۲	۴۹/۶	۵۴/۱	۸۶/۸
لامرد	۱۹۲/۲	۹۶	۵۲/۷	۳۷/۲	۴۲/۷	۷۱/۳
نیریز	۱۵۱/۹	۷۵	۴۶/۵	۴۳/۴	۴۵/۶	۷۷/۵



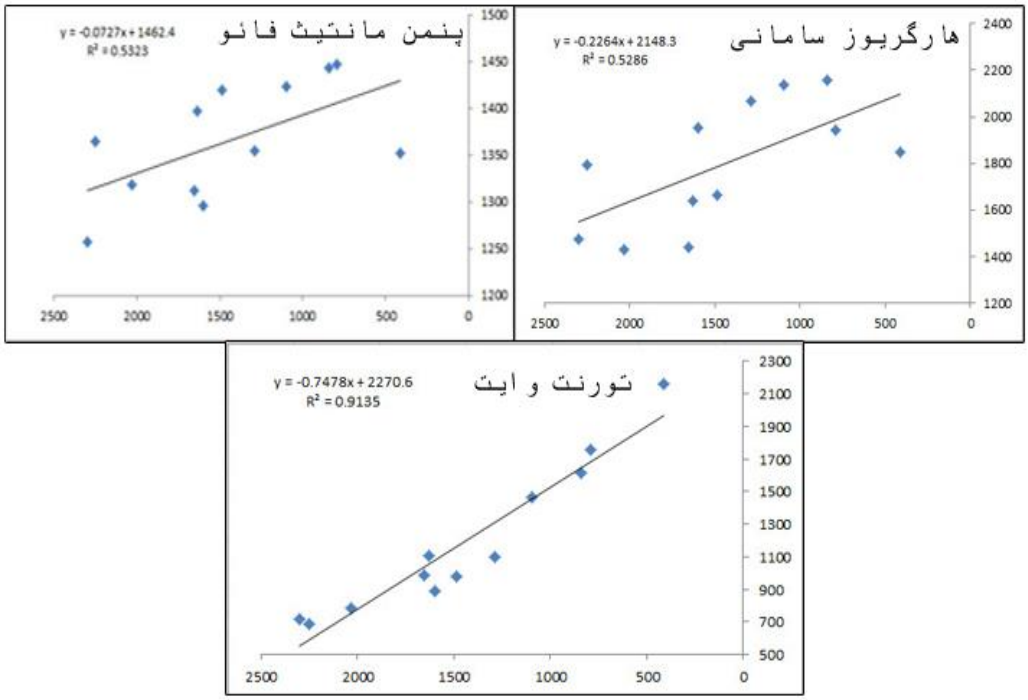
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.56.11.2]
[DOI: 10.29252/jgs.20.56.159]

شکل (۴). پراکنش تبخیر و تعرق در استان فارس بر اساس روش هارگریوز سامانی (منبع: نگارندگان)

بر اساس جدول(۶) بیشترین میزان تبخیر و تعرق در استان فارس بر اساس روش هارگریوز – سامانی با مقدار عددی ۲۱۵۶/۲ میلی‌متر در سال مربوط به ایستگاه کازرون و کمترین میزان تبخیر و تعرق مربوط به ایستگاه آباده با مقدار عددی ۱۴۲۹/۲ میلی‌متر در سال می‌باشد. همچنین با توجه به شکل(۴) بجز ایستگاههای آباده، اقلید، درودزن و نیریز بقیه‌ی نقاط استان از نظر تبخیر و تعرق نسبت به بارش سالانه در وضعیت خوبی به سر نمی‌برند.

اعتبارسنجی

برای اعتبار سنجی روش‌های مورد استفاده از معیارهای ضریب همبستگی R^2 و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده گردید. در بررسی ضریب همبستگی R^2 بین ارتفاع و روش‌های تورنت وایت، پنمن مانتیث و هارگریوز سامانی روش‌های مذکور به ترتیب دارای ضرایب تعیین ۰/۹۱۳۵، ۰/۵۳۲۳ و ۰/۵۲۸۶ بودند شکل(۵). همچنین در بررسی مجذور میانگین مربعات خطا بین ارتفاع و روش‌های مذکور روش پنمن مانتیث کمترین مقدار خطا را بین دیگر روش‌ها با مقدار عددی ۷۵/۴ دارا بود و روش‌های هارگریوز سامانی و تورنت وایت به ترتیب دارای مقادیر عددی ۸۳/۲ و ۹۷/۱ بودند.



شکل (۵). رابطه رگرسیونی بین ارتفاع و روش‌های مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

نتیجه‌گیری

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.56.11.2]
[DOI: 10.29252/jgs.20.56.159]

در این پژوهش جهت بررسی میزان تبخیر و تعرق در منطقه مورد مطالعه از روش‌های تورنت وایت، پنمن و هارگریوز – سامانی در بازه‌ی آماری ۱۹۹۵-۲۰۱۵ استفاده گردید. نتایج هر سه روش حاکی از آن بود که با افزایش عرض جغرافیایی و ارتفاع از میزان تبخیر و تعرق در منطقه مورد مطالعه کاسته می‌شود که پژوهش شرقی و همکاران (۱۳۸۹)، محمدی و همکاران (۱۳۸۹) و فرهودی و شمسی‌پور (۱۳۷۹) نیز تاثیر عوامل محلی، عرض جغرافیایی در میزان تبخیر و تعرق مورد تایید قرار می‌دهد. همچنین در پژوهشی که طاوسی و همکاران (۱۳۹۱) پهنه‌بندی شدت خشکی را با استفاده از مدل تبخیر و تعرق هارگریوز- سامانی بر مبنای مدل رقومی ارتفاع در ایران انجام دادند مشخص گردید که طی فصول مختلف و با توجه به عرض جغرافیایی، ارتفاع و عوامل محلی دیگر میزان تبخیر و تعرق افزایش یا کاهش می‌یابد که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی بالایی دارد. لذا بر اساس روش‌های مذکور، مناطق جنوبی و جنوب شرقی شامل استان‌های لار، لامرد، داراب و کازرون به ترتیب برای روش‌های تورنت وایت با مقادیر عددی (۱۷۵۴/۷، ۲۱۵۹/۵، ۱۴۶۷/۳، ۱۶۱۸/۱)، پنمن مانتیث با مقادیر عددی (۱۴۴۶/۵، ۱۳۹۲/۳، ۱۶۲۳/۴، ۱۴۴۳/۴) و هارگریوز سامانی با مقادیر عددی (۱۹۴۴/۷، ۱۸۵۰/۶، ۲۱۳۷، ۲۱۵۶/۲) دارای بیشترین میزان تبخیر و تعرق (همچنین در روش هارگریوز- سامانی ایستگاههای صفاشهر، فسا و زرقان نیز به ترتیب با مقادیر عددی (۲۰۹۵/۱، ۲۰۶۷، ۱۹۵۱/۵) دارای تبخیر و تعرق بالایی می‌باشند که می‌توان عوامل محلی و تفاوت در مراحل محاسباتی روش‌های مذکور را در آنها دخیل دانست) و مناطق شمالی مانند استان‌های آباده، اقلید و درودزن در منطقه مورد مطالعه به ترتیب برای روش-های تورنت وایت با مقادیر عددی (۷۸۷/۷، ۷۲۰/۸، ۸۹۰)، پنمن مانتیث با مقادیر عددی (۱۳۱۸/۷، ۱۱۵۷/۱، ۱۲۱۲) و هارگریوز سامانی با مقادیر عددی (۱۴۹۲/۲، ۱۴۷۳/۴، ۱۴۹۳/۳) دارای کمترین میزان تبخیر و تعرق می‌باشند. همچنین مشخص گردید که تقریباً در هر سه روش مناطق مرکزی منطقه مورد مطالعه از نظر تبخیر و تعرق نسبت به شمال و جنوب در حالت متوسطی قرار دارد. در نهایت در بررسی ضریب همبستگی R^2 بین ارتفاع و روش‌های تورنت وایت، پنمن مانتیث و هارگریوز- سامانی روش‌های مذکور به ترتیب دارای ضرایب تعیین ۰/۹۱۳۵، ۰/۵۳۲۳ و ۰/۵۲۸۶ بودند. در انتها ذکر این نکته نیز الزامی می‌باشد که هر چند در این مطالعه، مناطق از نظر میزان تبخیر و تعرق به پنج کلاس خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم گردید، اما در کل می‌توان نتیجه گرفت که این مناطق با توجه به کمبود نزولات جوی دارای تبخیر و تعرق زیادی می‌باشند و حتی در برخی از نکات منطقه مورد بررسی نزولات جوی در طول سال کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر می‌باشد که با رقم‌های مربوط به تبخیر و تعرق که از روش‌های مورد بررسی در این پژوهش به‌دست آمده بود همخوانی ندارد و در نتیجه این مناطق نیاز مبرم به توجه کارشناسان، برنامه‌ریزان و مسئولین ذی‌ربط دارند تا از بحران کم‌آبی رنج نبرند که این نیز تنها با مدیریت صحیح منابع آب در منطقه مطالعاتی میسر می‌شود.

منابع

انتصاری، محمدرضا؛ نوروزی، محمد؛ سلامت، علیرضا؛ احسانی، مهدی؛ توکلی، علیرضا. (۱۳۷۵). **مقایسه روش پنمن-مانتیث با سایر روش‌های توصیه‌شده جهت محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل (ETo) در چند منطقه مختلف ایران**، مجموعه مقالات هشتمین سمینار کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران: ۲۲۱-۲۳۷.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.56.11.2]
[DOI: 10.29252/jgs.20.56.159]

انتظاری، علیرضا؛ اکبری، الهه؛ میوانه، فاطمه. (۱۳۹۲). **بررسی کیفیت آب شرب استحصالی از منابع زیرزمینی بر بیماری‌های انسانی دهه اخیر دشت مشهد**، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، **۱۳ (۳۱)**: ۱۵۷-۱۷۲.

آل‌شیخ، علی‌اصغر؛ همراه، مجید؛ هلالی، حسین؛ فاتحی، علی. (۱۳۸۳). **کاربرد GIS در بیلان منابع آب زیرزمینی دشت تالش**، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، **۳ (۳ و ۴)**: ۹۹-۱۱۹.

پورمحمدی، سمانه؛ ملکی‌نژاد، حسین؛ رحیمیان، محمدحسین. (۱۳۸۹). **بررسی نقش عوامل فیزیوگرافی بر روی پارامترهای دمایی موثر بر تبخیر و تعرق (مطالعه موردی: استان یزد)**، مجله خشک بوم، **۱ (۲)**: ۱۸-۹.

حجازی‌زاده، زهرا؛ فتح الله طالقانی، داریوش؛ علیقلی، سمیرا. (۱۳۹۶). **ارزیابی قابلیت‌های آگروکلیمایی استان-های کرمانشاه و اصفهان از نظر استعداد کشت چغندر قند پاییزه**، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، **۱۷ (۴۶)**: ۱۷۵-۱۵۹.

خورشیددوست، علی‌محمد؛ اسدی، مهدی. (۱۳۹۵). **مدل‌های آب و هوایی تحلیل بارش – رواناب**، انتشارات دانشگاه تبریز، ۲۴۸ صفحه.

شرقی طاهره؛ بری ابرقویی، حسین؛ اسدی، محمد امین؛ کوثری محمدرضا. (۱۳۸۹). **برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از روش فائو پنمن مانتیث و پهنه بندی آن در استان یزد، مجله خشکبوم، ۱ (۱)**: ۳۳-۲۵.

شریفیان، حسین؛ قهرمان، بیژن؛ علیزاده، امین؛ میرلطیفی، مجید. (۱۳۸۴). **ارزیابی روش‌های مختلف تشعشعی و رطوبتی جهت برآورد تبخیر و تعرق مرجع و اثرات خشکی هوا بر آن در استان گلستان**، مجله علوم خاک و آب، **۱۹ (۲)**: ۲۸۰-۲۹۰.

صمدی، حسن؛ مجدزاده، بهروز. (۱۳۸۲). **مقایسه تبخیر– تعرق گیاه مرجع محاسبه‌شده به‌وسیله فرمول‌های تجربی با لایسیمتر در کرمان**، مجموعه هشتمین سمینار آبیاری و کاهش تبخیر: ۱۹-۲۲.

طاوسی، تقی؛ منصوری دانشور، محمدرضا؛ موقری، علیرضا. (۱۳۹۱). **پهنه‌بندی شدت خشکی در ایران با استفاده از مدل تبخیر و تعرق هارگریوز– سامانی بر مبنای توپوگرافی رقومی DEM**، جغرافیا و پایداری محیط، **۲ (۴)**: ۹۵-۱۱۰.

علیزاده، امین؛ کمالی، غلامعلی؛ خانجانی، محمدجواد؛ رهنورد، محمدرضا. (۱۳۸۳). **ارزیابی روش‌های برآورد تبخیر و تعرق در مناطق خشک ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۱۹ (۲)**: ۹۷-۱۰۵.

علیزاده، امین؛ میرشاهی، بابک؛ هاشمی‌نیا، مجید؛ ثنائی‌نژاد، حسن. (۱۳۸۰). **بررسی دقت عملکرد تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه‌شده به روش‌های هارگریوز–سامانی و تشتک تبخیر در ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان**، نیوار، **(۴۲ و ۴۳)**: ۵۱-۷۰.

علیزاده، امین. (۱۳۸۵). **اصول هیدرولوژی کاربردی**، چاپ بیستم، انتشارات آستان قدس رضوی (شرکت به نشر)، مشهد، ۸۰۷ صفحه.

فرهودی رحمت ا... و شمسی پور، علی‌اکبر. (۱۳۷۹). **برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل منطقه سیستان و بلوچستان جنوبی**، پژوهشهای جغرافیایی، **۳۹ (۰)**: ۱۰۵-۱۱۴.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.56.11.2]
[DOI: 10.29252/jgs.20.56.159]

کرمی، فریبا؛ خالدی، شهریار؛ شکیبا، علیرضا؛ براتی، غلامرضا؛ بابائیان، ایمان. (۱۳۹۶). **شبیه‌سازی عملکرد دانه ذرت براساس سناریوهای تغییر اقلیم در استان فارس**، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، **۱۷ (۴۷)**: ۹۳-۷۷.

گل‌کار حمزیی یزد، حمیدرضا؛ فریدون، کاوه؛ قهرمان، بیژن؛ صدقی، حسین. (۱۳۸۶). **بررسی روند تغییرات سری زمانی تبخیر و تعرق ماهیانه مرجع با استفاده از روش پیشنهادی فائو-پنمن-مانتیث**، علوم کشاورزی، **۱۳ (۲)**: ۴۱۷-۴۳۳.

مباشری، محمدرضا؛ خاوریان، حسن. (۱۳۸۳). **تجزیه و تحلیل روش‌های استفاده از ماهواره در تعیین میزان تبخیر و تعرق**، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، **۳ (۳ و ۴)**: ۸۳-۹۸.

معصوم‌پور سماکوش، جعفر؛ رجایی، سعید؛ یگانه‌فر، مریم. (۱۳۹۳). **تغییرپذیری زمانی مکانی و روند تبخیر و تعرق گیاه مرجع در ایران**، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، **۱۴ (۳۴)**: ۷-۲۵.

Allen, R. G. (1996). **Assessing integrity of data for reference evapotranspiration estimation.** Journal of Irrigation and drainage Engineering. Dir., ASCE. **122 (2):** 97-106.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. (1998). **Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements.** FAO Irrigation and Drainage Paper, **56**, Rome, Italy, 300 p.

Allen, R.G., Smith, M., Perrier, A. and Pereira, L.S. (1994). **An update for definition of reference evapotranspiration.** ICID Bull., **43(2):** 1-35.

Droogers P, Allen R. G. (2002). **Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions.** Irrigation and Drainage Systems, **16:** 33–45.

Fuentes-Peñailillo, F., Ortega-Farías, S., Acevedo-Opazo, C., & Fonseca-Luengo, D. (2017). **Estimation of the actual evapotranspiration in olive orchard using a two-layer model integrating climate and satellite data.** 7 th Asian-Australasian Conference on Precision Agriculture: 1-5.

Gundekar, H. G., Khodke, U. M, & Sarkar, S. (2008). **Evaluation of pan coefficient for reference crop evapotranspiration for semi-arid region.** Irrigation Science **26:** 169–175.

Hargreaves, G. H., and Samani, Z. A. (1982). **Estimation potential evapotranspiration. Journal of the Irrigation and Drainage Divion**, proceedings of the American society of civil engineers, ASCE, **108 (IR3):** 223-230.

Hargreaves, G. H., and Samani, Z. A. (1985). **Reference crop evapotranspiration from temptation**, Transactions of the ASAE. **28 (2):** 96-99.

Jensen, M. E., Burman, R. D. and Allan R. G. (1990). **Evapotranspiration and Irrigation water requirement.** ASCE Manual and Report on Engineering Practice No.**70.** ASCE, New York.

Kotsopoulos, S. and Babajimopoulos, C. (1997). **Analytical estimation of penman equation parameter.** Journal of Irrigation and Drainage Engineering. Dir, ASCE**. 123 (4):** 253-256.

Lopez-Urrea, R., Martín de Santa Olalla, F., Fabeiro, C. & Moratalla A. (2006). **Testing evapotranspiration equations using lysimeter observations in a semi-arid climate.** Agric Water Management **85:**15–26.

Salih, A.M.A. And U. Sendil. (1984). **Evapotranspiration under extremely arid climates.** J. Irrig. And Drain. Eng., ASCE, **110(3):** 289-303.

Samani Z. (2000). **Estimating Solar Radiation and Evapotranspiration Using Minimum Climatological Data.** Journal of Irrigation and Drainage Engineering, **126(4):** 265–67.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.56.11.2]
[DOI: 10.29252/jgs.20.56.159]

Samani Z. A. and Pessarakli. M.(1986). **Estimation potential crop evapotranspiration with minimum data in arizana.** Transaction of the ASAE, **29 (2):** 552-524.

Sethi LN, Kumar DN, Panda SN, Mal BC (2002). **Optimal crop planning and conjunctive use of water resources in a coastal river basin.** Water resources management, **16:** 145–169.

Shih, S.F. (1984). **Data requirement for evapotranspiration estimation.** J. Irrig. And Drain. Eng., ASCE, **110(3):** 263-274.

Silva DY, Meza F, Varas E. (2010). **Estimating reference evapotranspiration (ETo) using numerical weather forecast data in central Chile.** Journal of Hydrology, **382:** 64–71.

Snyder, R. L., Orang, M., Matyac S., & Grismer ME. (2005**). Simplified estimation of reference evapotranspiration from pan evaporation data in California.** J Irrigation Drain Engineering **131(3):** 249– 253.

Tabari H. (2010). **Evaluation of Reference Crop Evapotranspiration Equations in Various Climates.** Water resources management, **24:** 2311–2337.

Webster, r, & M.A. Oliver. (2000). **Geostatistics** for environmental scientists, Wiley press, 271 pp.

Weiß M, Menzel L. (2008). **A global comparison of four potential evapotranspiration equations and their relevance to stream flow modeling in semi-arid environments.** Advanced Geosciences, **18:** 15–23.

Zhou, X., Bi, S., Yang, Y., Tian, F., & Ren, D. (2014). **Comparison of ET estimations by the three-temperature model, SEBAL model and eddy covariance observations.** Journal of hydrology, **519:** 769-776.

Khand, K., Kjaersgaard, J., Hay, C., & Jia, X. (2017). **Estimating impacts of agricultural subsurface drainage on evapotranspiration using the Landsat imagery-based METRIC model.** Hydrology, **4(4):** 49.

Mohammadian, M., Arfania, R., & Sahour, H. (2017). **Evaluation of SEBS algorithm for estimation of daily evapotranspiration using landsat-8 dataset in a Semi-Arid Region of Central Iran.** Open Journal of Geology, **7(03):** 335.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1399.20.56.11.2]

[DOI: 10.29252/jgs.20.56.159]