

## مقایسه روش‌های تجربی و داده‌مبنا در برآورد تبخیر و تعرق مرجع در شهر زاهدان

طه رنجبرشورآبادی<sup>۱</sup>، مهدی امیرآبادی زاده\*<sup>۲</sup>، حسین خزیمه نژاد<sup>۲</sup>، فاطمه حاجی آبادی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه بیرجند، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار گروه علوم و مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران و عضو گروه پژوهشی خشکسالی و

تغییر اقلیم

<sup>۳</sup> دکتری تخصصی آبیاری و زهکشی و عضو گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۱۶

### چکیده

فرایند تبخیر و تعرق برای ارزیابی و بررسی پدیده‌های آب‌شناسی و در مسائل مربوط به نحوه مدیریت منابع آب در کشاورزی فراسنجی مهم است. در این تحقیق دوازده فراسنج هواشناسی مربوط به ایستگاه هواشناسی زاهدان شامل دمای کمینه، دمای بیشینه، میانگین دما، کمینه رطوبت، بیشینه رطوبت، میانگین رطوبت، مقدار بارندگی، مقدار تبخیر، ساعت آفتابی، سمت باد، بیشینه تندی باد و میانگین تندی باد مورد استفاده قرار گرفتند. بررسی همبستگی بین تبخیر و سایر فراسنج‌های اقلیمی نشان داد که بیشترین مقدار آن بین تبخیر و دمای کمینه و میانگین (۰/۸۲) و کمترین مقدار آن بین تبخیر و جهت وزش باد (۰/۰۷-) است که در انتخاب درونداد مدل در نظر گرفته شد. برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی، K-نزدیک‌ترین همسایگی و روش‌های تجربی پرستلی-تیلور، هارگریوز-سامانی، تورنت وایت و پنمن استفاده شد. آماره‌های  $MAE$ ،  $RMSE$  و  $R^2$  برای مقایسه مقادیر تبخیر و تعرق مرجع محاسبه شده نسبت به مقادیر دیدبانی تبخیر و تعرق مرجع به دست آمده از تشتک تبخیر (با اعمال ضریب تشتک ۰/۸) مورد استفاده قرار گرفتند. بر اساس شاخص‌های سه گانه  $MAE$ ،  $RMSE$  و  $R^2$  روش‌های ANN (۰/۳۷، ۰/۴۷، ۰/۹۷) و تورنت-وایت (۴/۷، ۵/۵۴، ۰/۵۹) به ترتیب بهترین و بدترین عملکرد را در برآورد تبخیر و تعرق مرجع در ایستگاه هواشناسی زاهدان نشان دادند. در بین روش‌های تجربی نیز روش هارگریوز-سامانی عملکرد بهتری داشت. بر اساس نتایج ارزیابی، روش‌های داده‌مبنا دارای دقت بیشتری نسبت به روش‌های تجربی در تعیین تبخیر و تعرق مرجع هستند.

**کلمات کلیدی:** پنمن، تبخیر و تعرق مرجع، برآورد، زاهدان، شبکه عصبی مصنوعی، نزدیک‌ترین همسایگی

فرایند تبخیر و تعرق یکی از فراسنج‌های بسیار مهم در ارزیابی مربوط به بیلان حوضه آبریز است که از طریق روش‌های مختلف و با استفاده از داده‌های آماری ایستگاه‌های هواشناسی محاسبه و برآورد می‌شود. از طریق محاسبه تبخیر و تعرق مرجع می‌توان مقدار دقیق آبی که گیاه مصرف می‌کند را برآورد کرد و این روش کمک زیادی به نحوه مدیریت منابع آب و افزایش عملکرد آن می‌کند. در سال‌های اخیر به دلیل افزایش خشکسالی‌ها و تغییر اقلیم، منابع آبی به شدت دچار کمبود شده‌اند و این امر باعث ایجاد تنش در خاک و گیاه شده است؛ لذا تعیین دقیق فرایند تبخیر و تعرق از اهمیت زیادی برخوردار است. یکی دیگر از دلایلی که بر اهمیت مطالعه و بررسی فرایند تبخیر و تعرق در هر منطقه می‌افزاید، وجود پدیده‌های طبیعی و اقلیمی است که در اثر تغییرات ناگهانی آب و هوا ایجاد می‌شوند. از جمله این پدیده‌ها می‌توان به بارندگی‌های سیل‌آسا، توفان، خشکسالی‌های دراز مدت و سامانه‌های بارشی اقیانوسی اشاره کرد که شدت، مدت و فراوانی این پدیده‌ها به موقعیت و عرض جغرافیایی هر منطقه وابسته است. برآورد تبخیر و تعرق مرجع نیازمند فراسنج‌ها و داده‌های هواشناسی است که از ایستگاه‌های هواشناسی استخراج می‌شود. تحقیقات زیادی تاکنون در زمینه برآورد مقدار تبخیر و تعرق مرجع انجام شده است که در ادامه به بعضی از این تحقیقات و مهم‌ترین یافته‌های آنها اشاره می‌شود.

نساجی زواره (۱۳۸۸) با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی به برآورد تبخیر و تعرق در شهر زاهدان پرداخت. در این تحقیق با استفاده از داده‌های روزانه هواشناسی و با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی مقدار تبخیر روزانه اندازه‌گیری شد. نتایج به دست آمده نشان داد که دقت این روش و کاربرد آن قابل قبول بوده

و بهترین مدل آن ANN (5,4,1) می‌باشد. شادمانی و معروفی (۱۳۹۰) پژوهشی را با هدف برآورد مقدار تبخیر روزانه در شهر کرمان با استفاده از اطلاعات و داده‌های به دست آمده حاصل از تشتک تبخیر کلاس A، میزان دقت و کاربرد سه روش استیفان-استوارت<sup>۱</sup>، شبکه عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج عصبی-فازی را ارزیابی و بررسی کردند. از نتایجی که این پژوهش ارائه داد مشخص شد که دقت روش سیستم استنتاج عصبی-فازی از دو روش شبکه عصبی مصنوعی و استیفان-استوارت بیشتر بوده و عملکرد مطلوبی را ارائه می‌دهد.

قهرمان و همکاران (۱۳۹۵) تحقیقی را برای بررسی و استخراج داده‌های دینامیکی مدل‌های اقلیمی به منظور برآورد میزان تغییرات تبخیر و تعرق مرجع در دشت مشهد انجام دادند. در این تحقیق از داده‌های آماری ایستگاه همدیدی شهر مشهد در طول مدت ۱۴ سال (۱۳۷۰ تا ۱۳۸۴) استفاده شد. نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان داد که کمترین میزان همبستگی بین مقادیر برآورد شده و دیدبانی شده برای ماه آذر با همبستگی ۷۵ درصد و بیش‌ترین میزان همبستگی بین مقادیر برآورد شده و دیدبانی شده مربوط به ماه‌های اردیبهشت، مرداد و بهمن با ضریب همبستگی ۹۳، ۹۲ و ۹۵ درصد است. به بیان دیگر عملکرد مدل در تعیین مقدار تبخیر و تعرق برای ماه‌های سرد سال بهتر از ماه‌های گرم سال است. محمدرضاپور (۱۳۹۶) تحقیقی را به منظور تعیین فراسنج‌های اقلیمی و بررسی مقدار تأثیر این فراسنج‌ها بر مقدار تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از مدل‌های سیستم استنتاج عصبی فازی، ماشین بردار پشتیبان و برنامه‌ریزی ژنتیک برای استان سیستان و بلوچستان انجام داد. در این تحقیق اطلاعات مورد نیاز و فراسنج‌های اقلیمی مربوطه طی یک بازه زمانی ۳۰ ساله در مقیاس ماهانه از چهار ایستگاه هواشناسی واقع در شهرهای چابهار، ایرانشهر،

<sup>1</sup>-Stephen Stewart

در این اقلیم پژوهشی را انجام دادند. در این پژوهش روش‌های نزدیک‌ترین همسایگی-K (KNN<sup>4</sup>) و الگوریتم‌های درخت تصمیم M5 با هدف تعیین بهترین روش، بررسی و مقایسه شدند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که مدل درختی M5 توانایی مطلوب‌تر و بیشتری نسبت به مدل نزدیک‌ترین همسایگی ارائه می‌کند.

سپهری‌صادقیان و همکاران (۱۳۹۹) در تحقیقی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به دلیل توانمندی بالای این روش در تحلیل محاسباتی فرایندهای دشوار و پیچیده، به تحلیل حساسیت و بررسی داده‌ها و روش‌های تأثیرگذار در برآورد مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع پرداختند. در این تحقیق مقدار تبخیر و تعرق با استفاده از داده‌های آماری دوازده ایستگاه هواشناسی استان تهران در مقیاس روزانه در بازه زمانی ۱۰ سال محاسبه شد. نتایج این تحقیق بیان‌گر عملکرد بسیار مناسب و مطلوب شبکه عصبی مصنوعی (ANN<sup>5</sup>) در بررسی و تحلیل مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع است.

بهمن‌آبادی و کاویانی (۱۳۹۹) براساس ویژگی‌های اقلیمی منحصر به هر استان در کشور برای کالیبراسیون روش‌های مختلف تبخیر و تعرق و تعیین برترین روش موجود، پژوهشی را انجام دادند. در این پژوهش از تعداد ده ایستگاه همدید (سینوپتیک) در استان‌های مختلف کشور داده‌های هواشناسی جمع‌آوری و بررسی و ارزیابی نتایج حاصل از تبخیر و تعرق محاسبه شد که براساس چهار گروه تجربی و داده‌های دیدبانی لایسمتر برای تعیین بهترین روش در استان‌های مورد مطالعه، مشخص شد که در هفت استانی که دارای اقلیم خشک و نیمه خشک بودند روش هارگریوز-سامانی با مقدار  $RMSE < 1 \text{ mm/day}$  و مقدار همبستگی  $R^2 > 0.94$ ،

زاهدان و زابل دریافت شدند و براساس رابطه فائو پنمن-مانتیث<sup>۱</sup> مقدار تبخیر و تعرق مرجع محاسبه و مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که برای انجام مدل‌سازی تبخیر و تعرق مرجع، مدل ماشین بردار پشتیبان برای ایستگاه‌های هواشناسی چابهار، ایرانشهر، زاهدان و زابل دارای بیشترین دقت نسبت به سایر روش‌های مورد مطالعه است.

مقبلی دامنه و ثنائی نژاد (۱۳۹۷) به منظور برآورد تبخیر و تعرق مرجع برای اقلیم نیمه خشک فریمان واقع در استان خراسان رضوی پژوهشی را انجام دادند. در این پژوهش با استفاده از روش سنجش از دور و روش پریستلی-تیلور<sup>۲</sup> برای یک دوره ۸ روزه در سه سال متوالی (۱۳۹۵-۱۳۹۳) مقدار تبخیر و تعرق مرجع تخمین و برآورد کردند. ایشان به منظور اطمینان از دقت، ارزیابی و برآورد تبخیر و تعرق مرجع توسط روش پریستلی-تیلور نتایج به دست آمده را با روش فائو پنمن-مانتیث نیز مقایسه کردند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که روش پریستلی-تیلور از دقت زیادی در برآورد تبخیر و تعرق مرجع برخوردار است. احمد پری و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی که برای اقلیم خرم‌بید واقع در استان فارس انجام دادند نتیجه گرفتند که با استفاده از داده‌های هواشناسی از قبیل تندی باد، ساعت آفتابی، دما و رطوبت نسبی این امکان وجود دارد که از طریق معادلاتی که بر اساس روش پنمن هستند، مقدار تبخیر و تعرق را برآورد کرد اما در صورتی که این داده‌های هواشناسی در دسترس نباشند می‌توان با استفاده از روش هارگریوز-سامانی<sup>۳</sup> مقدار تبخیر و تعرق را در اقلیم خرم‌بید البته با خطای کمتر نسبت به دیگر روش‌های تجربی برآورد و ارزیابی کرد. پورصالحی و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از داده‌های آماری ایستگاه هواشناسی شهر بیرجند (در بازه زمانی ۴۹ ساله) به منظور پیش‌بینی مقدار بارندگی ماهانه

<sup>4</sup>-K-Nearest Neighborhood

<sup>5</sup>-Artificial Neural Network

<sup>1</sup>-Fao Penman Montheith

<sup>2</sup>-Priestley Taylor

<sup>3</sup>-Hargreaves Samani

بهترین عملکرد را ارائه می‌دهد. شیری و کاظمی (۱۴۰۱) در تحقیقی در اقلیم گرم و خشک استان یزد با هدف ارزیابی، واسنجی و مقایسه پنج روش دالتون<sup>۱</sup>، تورک، مک‌کینگ، پرستلی-تیلور و هارگیوز-سامانی به تخمین و برآورد مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع پرداختند. در این تحقیق با استفاده از تعداد ده ایستگاه هواشناسی در بازه زمانی ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۶ در مقیاس روزانه داده‌های آماری استخراج شد. داده‌های به دست آمده از این پنج روش مورد مطالعه با استفاده از روش فائو پنمن-مانیتث واسنجی و مورد بررسی قرار گرفت و به منظور ارزیابی این داده‌ها از شاخص‌های آماری  $RMSE$ ,  $MAE$ ,  $R^2$ ,  $SI$ ,  $NS$  استفاده شد. نتایج این تحقیق حاکی از آن بود که قبل از انجام واسنجی داده‌های به دست آمده از پنج روش ذکر شده اختلاف قابل ملاحظه‌ای با روش فائو پنمن-مانیتث داشتند. در کشور هند نیز به منظور برآورد مقدار تبخیر در مقیاس روزانه با استفاده از تشکک تبخیر، میزان دقت و عملکرد دو مدل تجربی استیفان-استوارت و هارگیوز-سامانی و نیز چهار روش ماشین بردار پشتیبان، منطق فازی، نروفازی و شبکه عصبی مصنوعی مطالعه و بررسی شده است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که دو مدل منطق فازی و ماشین بردار پشتیبان دارای عملکرد مطلوبی می‌باشند (گولای<sup>۲</sup> و بویوکیلدیز<sup>۳</sup>، ۲۰۱۵). در پژوهشی دیگری که توسط مارتی<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۵) در کشور اسپانیا انجام شد، برای تعیین تبخیر و تعرق مرجع، از مدل هارگیوز-سامانی و داده‌هایی که به صورت روزانه، هفتگی و ماهانه از تعداد سی ایستگاه هواشناسی دریافت شده بود استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که عواملی مانند دما، ترکیب سرعت باد و داده‌های جغرافیایی باعث افزایش دقت برآورد تبخیر و تعرق مرجع توسط مدل هارگیوز-

سامانی برای دوره‌های روزانه، هفتگی و ماهانه می‌شود. در تحقیقی که از شش روش برای ارزیابی و برآورد تبخیر و تعرق مرجع برای حوضه‌ای که دارای اقلیم خشک بود مشخص شد که تبخیر و تعرق مرجع زمانی انجام می‌شود که اقلیم مورد مطالعه پوشش گیاهی در حال رشد وسیعی داشته باشد با این شرط که منابع آب برای تبخیر و تعرق گیاه نامحدود باشد و اقلیم مورد مطالعه تحت تاثیر گرمادهی و فرارفت قرار نداشته باشد (لی<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۶). براساس پژوهشی که با استفاده از واسنجی مدل هارگیوز-سامانی برای استان آذربایجان شرقی انجام شد، مشخص شد که حداقل دقت مدل هارگیوز-سامانی در تعیین تبخیر و تعرق مرجع، متعلق به ایستگاه شهر جلفا و با مقدار  $RMSE=1.2\text{mm/day}$  و حداکثر دقت مدل هارگیوز-سامانی متعلق به ایستگاه شهر سراب با مقدار  $RMSE=0.7\text{mm/day}$  است (رستمی و همکاران، ۲۰۱۶). در پژوهشی دیگر، بررسی و ارزیابی تبخیر و تعرق مرجع روزانه با استفاده از شانزده روش شامل پنج روش تشعشعی، پنج روش دمایی و شش روش ترکیبی انجام شد و نتایجی که توسط این پژوهش به دست آمد مشخص شد که روش‌های دمایی و تشعشعی عملکرد ضعیف‌تری در مقایسه با لایسیمتر و روش‌های ترکیبی مطلوب‌ترین عملکرد را در مقایسه با لایسیمتر ارائه دارند (ژانگ<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۸). به منظور ارزیابی و بررسی مقدار تاثیری که واسنجی مدل هارگیوز-سامانی بر روی مقدار تبخیر و تعرق مرجع در بخش میانی حوضه رودخانه سائو فرانسیسکو<sup>۷</sup> واقع در کشور برزیل می‌گذارد، تحقیقی انجام شد و نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که در ماه‌های مربوط به فصل خشک و برای ایستگاه‌هایی که در شرق این رودخانه واقع شده‌اند مدل هارگیوز-سامانی دقت کمی را در برآورد مقدار تبخیر و

<sup>5</sup>-Lee

<sup>6</sup>-Zhang

<sup>7</sup>-Sao Francisco

<sup>1</sup> Dalton

<sup>2</sup>-Gulay

<sup>3</sup>-Buyukyildiz

<sup>4</sup>-Marti

تعرق مرجع ارائه می‌دهد و برای ماه‌های مربوط به فصل مرطوب مدل هارگیوز-سامانی به علت این که میانگین دمای هوا با میزان تبخیر ارتباط نزدیک‌تری دارد، برآورد مقدار تبخیر و تعرق مرجع با دقت بیشتری انجام می‌شود (آلتوف<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۹).

هدف از این تحقیق محاسبه دقت روش‌های شبکه عصبی مصنوعی، K-نزدیک‌ترین همسایگی، و روش‌های تجربی پریستلی-تیلور، هارگیوز-سامانی، تورنت وایت<sup>۲</sup> و پنمن<sup>۳</sup> در تخمین مقدار تبخیر و تعرق مرجع در منطقه زاهدان است که بدین منظور از داده‌های ایستگاه دیده‌بانی زاهدان طی سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۲۲ استفاده شد.

### مواد و روش‌ها

شهرستان زاهدان در اقلیم گرم و خشک واقع شده و مختصات مکانی و جغرافیایی ایستگاه هواشناسی زاهدان، طول جغرافیایی  $53^{\circ} 6'$  و عرض جغرافیایی  $28^{\circ} 29'$  و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۷۰ متر است. شکل (۱) موقعیت

جغرافیایی ایستگاه هواشناسی زاهدان را نشان می‌دهد. با توجه به موقعیت جغرافیایی این شهرستان که در عرض-های جغرافیایی پایین کشور قرار دارد، تأثیر سامانه‌های بارش‌زای مدیترانه‌ای روی آن ناچیز و نسبت به شهرهای جنوبی استان سیستان و بلوچستان از رطوبت کمتری برخوردار است و در اغلب سال‌ها با کمبود بارش و در نتیجه خشکسالی مواجه است. اطلاعات و داده‌های به کار برده شده در این تحقیق برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع شامل دوازده فراسنج اقلیمی در مقیاس روزانه طی سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۲ از ایستگاه هواشناسی زاهدان دریافت شده‌اند. در این تحقیق چهار روش تجربی هارگیوز-سامانی، تورنت-وایت، پنمن و پریستلی-تیلور با روش‌های داده‌مبنای شبکه عصبی مصنوعی و K-نزدیک‌ترین همسایگی در برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع در شهر زاهدان (با ضریب تشکک تبخیر ۰/۸) مورد بررسی قرار گرفتند که در ادامه خصوصیات این روش‌ها تشریح می‌شود.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی شهرستان زاهدان

<sup>3</sup>-Penman

<sup>1</sup>-Althoff

<sup>2</sup>-Thorne White

در این تحقیق متغیرهای ورودی داده‌های هواشناسی از قبیل ساعت آفتابی، دمای کمینه و بیشینه، تندی و جهت باد، بیشینه رطوبت، کمینه رطوبت، بارش، میانگین رطوبت نسبی و تبخیر است. به بیان دیگر در این تحقیق، برآورد میزان تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از داده‌های هواشناسی منتخب از بین فراسنج‌های ذکر شده در بالا صورت گرفت؛ به گونه‌ای که فراسنج‌های هواشناسی که بیشترین همبستگی را با تبخیر داشتند به عنوان ورودی استفاده شدند. این فراسنج‌ها شامل دمای بیشینه، دمای کمینه، دمای میانگین، رطوبت بیشینه، رطوبت کمینه و میانگین رطوبت است و به صورت رابطه‌ی زیر بیان می‌شود:

(۱)

$$ET_0 = f(T_{max}, T_{min}, T_{ave}, H_{max}, H_{min}, H_{ave})$$

جدول ۱. خصوصیات آماری داده‌های دیدبانی ایستگاه هواشناسی زاهدان

متغیر	$T_{max}(^{\circ}C)$	$T_{min}(^{\circ}C)$	$T_{ave}(^{\circ}C)$	$H_{max}(\%)$	$H_{min}(\%)$	$H_{ave}(\%)$	P(bar)	$W_{dir}$	$W_{max}(m/s)$	$W_{ave}(m/s)$	R(mm)	$E_{pan}(mm)$
میانگین	۲۷/۸	۱۱/۵	۱۹/۶	۴۳/۵	۱۵/۵	۲۹/۵	۰/۲	۱۴۳/۶	۱۰/۳	۹/۳	۳/۵	۸/۲
انحراف- معیار	۸/۶	۸/۵	۸/۲	۲۲/۲	۱۰/۸	۱۵/۷	۱/۴	۱۲۶/۹	۳/۷	۲/۵	۱/۵	۴/۵
بیشینه	۴۳/۴	۲۹/۶	۳۴/۴	۱۰۰/۰	۹۷/۰	۹۸/۵	۲۷/۷	۳۳۳	۳۲/۰	۱۶/۷	۱/۴	۲۸/۹
کمینه	-۳/۸	-۱۳/۰	-۵/۹	۶/۰	۱/۰	۵/۰	۰/۰	۲/۰	۳/۰	۰/۰	۰/۴	۰/۰

مسئله با هم هماهنگ عمل می‌کنند و توسط سیناپس‌ها (ارتباطات الکترومغناطیسی) اطلاعات را منتقل می‌کنند. این مدل‌ها از سه لایه‌ی ورودی، خروجی و پردازش تشکیل می‌شوند که هر لایه شامل گروهی از سلول‌های عصبی (نورون) است که عموماً با سایر نورون‌های لایه-های دیگر در ارتباط هستند. شکل (۲) نمودار توپولوژی شبکه عصبی مصنوعی مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در این شبکه عصبی مصنوعی، لایه ورودی شامل شش متغیر، یک لایه مخفی و یک لایه خروجی است. همچنین مقادیر وزن-های هر یک از متغیرها و بایاس نیز در شکل نشان داده شده است. روش اصلاح خطا در یادگیری شبکه عصبی مصنوعی نیز پس از انتشار خطا انتخاب شد که با تابع

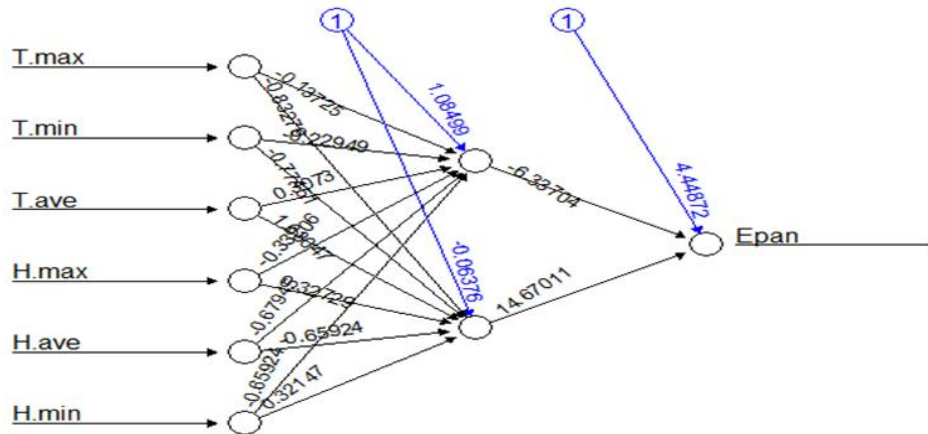
خصوصیات آماری اطلاعات هواشناسی در ایستگاه هواشناسی زاهدان در جدول (۱) نشان داده شده است که به منظور شناخت بیشتر فراسنج‌های مورد استفاده در روش‌های داده محور مورد نیاز است. همچنین با توجه به بیشینه مقدار  $E_{pan}$  که ۲۸/۹ میلی‌متر است، لزوم برنامه-ریزی برای کاهش اثرات تبخیر از سطوح آزاد آب در این شهرستان مشخص می‌شود.

### شبکه عصبی مصنوعی (ANN)

مدل شبکه عصبی مصنوعی ANN الگوبرداری شده از یادگیری توسط سامانه عصبی مغز انسان است. این سامانه از شمار زیادی عناصر پردازشی فوق‌العاده به هم پیوسته با نام نورون تشکیل شده است که برای حل یک

Min) استفاده شد. مشخصات آماری داده‌های ورودی به شبکه به شرح زیر است:

مجموع مربعات خطا تنظیم می‌شود. در اجرای تنظیمات شبکه برای نرمال سازی از روش بیشینه-کمینه (Max-



شکل ۲. نمودار توپولوژی شبکه عصبی مصنوعی و وزن‌های هریک از ورودی‌ها و نیز مقادیر بایاس شبکه در مرحله آموزش

می‌توان به طولانی بودن زمان دسته‌بندی داده‌ها و یافتن مقدار بهینه K اشاره کرد.

در این روش به طور معمول با استفاده از روش اقلیدوسی برای تعیین فاصله یک نقطه از سایر نقاط استفاده می‌شود. یکی از مهم‌ترین عیب‌هایی که در محاسبه اندازه‌گیری فاصله از مجموعه یادگیری در روش K- نزدیک‌ترین همسایگی وجود دارد، در مورد متغیرهایی است که دارای مقیاس اندازه‌گیری متفاوت یا ترکیبی از متغیرهای دسته‌ای و عددی هستند که البته در این پژوهش وجود ندارد. در این تحقیق نیز برای تعیین فاصله از روش اقلیدوسی استفاده شد که معادله آن در ادامه آمده است:

$$d_{(X,Y)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (3)$$

در این رابطه  $x_i$  و  $y_i$  به ترتیب اعضاء و بردارهای X و Y بردارهای داده‌های تعلیم و آموزش هستند.

### روابط تجربی

در این تحقیق در کنار روش‌های داده‌مبنا از چهار

در انتخاب بخش آموزش و آزمون شبکه نیز، هفتاد درصد داده‌ها برای آموزش و مابقی برای آزمون مورد استفاده قرار گرفت. همچنین ردیف‌ها به صورت تصادفی برای دو بخش آموزش و آزمون مورد استفاده قرار گرفتند. تابع انتقال مورد استفاده تانژانت هایپربولیک، و تعداد لایه مخفی نیز برابر یک با دو نرون بهینه شد که این تنظیمات شبکه به صورت صحیح و خطا برای تولید کمترین خطا انتخاب شد.

### K- نزدیک‌ترین همسایگی

روش K- نزدیک‌ترین همسایگی (KNN) یکی از ساده‌ترین الگوریتم‌ها و روش‌های یادگیری موردی و به روش K- همسایه نزدیک نیز معروف است. این الگوریتم قادر است یک نمونه را با بیشترین رأی از سایر همسایگان دسته‌بندی کند و نمونه منتخب را در فراگیرترین کلاس K- همسایه نزدیک تعیین کند (جلیل زاده رزین، ۱۳۹۷). روش نزدیک‌ترین همسایگی به دلیل این که دارای پیاده سازی راحت، اثر بخش و غیرپارامتریک است، کاربرد زیادی در بسیاری از پژوهش‌ها دارد. از معایب روش نزدیک‌ترین همسایگی

روش تجربی (که انتخاب آنها بر اساس بررسی کتابخانه- ای نتایج تحقیقات گذشته بوده است) به شرح **Error!** **Not a valid bookmark self-reference.** (۲) استفاده شد. روابط استفاده شده برای محاسبه تبخیر و تعرق به روش های تجربی به شرح زیر است (شاهدی و زارعی، ۱۳۸۹):

جدول ۲. روابط تجربی برآورد میزان تبخیر و تعرق مرجع

معادله	نام رابطه تجربی
$ET_0 = 1.26(\Delta/(\Delta + \gamma)) \times 0.408 \times R_n$	پریستلی-تیلور
$ET_0 = 0.0023(T_{mean} + 17.8)(T_{max} - T_{min})^{0.5} R_a$	هارگیوز-سامانی
$ET_0 = 16M_m \left(\frac{10T_{mean}}{T}\right)^a$	تورنت-وایت
$ET_0 = C[W.R_n + (1 - w)F(u)(e_s - e_a)]$	پنمن

دما و ارتفاع بستگی دارد،  $F(u)$  تابع تندی باد،  $e_s$  فشار بخار اشباع،  $e_a$  فشار بخار واقعی و  $(e_s - e_a)$  کمبود فشار بخار اشباع است (شاهدی و زارعی، ۱۳۸۹).

در روش تورنت-وایت برای اعمال تفاوت روزها و تعداد ساعات روشنایی هر ماه از ضریب اصلاحی مطابق

در این روابط  $\Delta$  شیب منحنی فشار بخار،  $\gamma$  ثابت سایکرومتری،  $R_n$  تابش خالص در سطح پوشش گیاهی،  $T_{mean}$  دمای میانگین،  $T_{max}$  دمای بیشینه،  $T_{min}$  دمای کمینه،  $R_a$  تابش برون زمینی،  $N_m$  ضریب تصحیح،  $I$  نمایه حرارتی سالانه،  $a$  ضریب عددی که از جداول به دست می آید،  $C$  گرمای ویژه هوا،  $W$  فاکتور وزن که به

جدول ۳ (۳) استفاده می شود (علیزاده، ۱۳۸۵):

جدول ۳. ضریب اصلاحی (a) مربوط به روش تورنت-وایت برای شهر زاهدان

عرض جغرافیایی	دسامبر	نوامبر	اکتبر	سپتامبر	اوت	ژوئیه	ژوئن	می	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه
$29^{\circ} 28'$	۰/۸۸	۰/۸۹	۰/۹۸	۱/۰۳	۱/۱۴	۱/۲۰	۱/۱۷	۱/۱۸	۱/۰۸	۱/۰۳	۰/۸۷	۰/۹

$$MAE = \frac{|P_j - O_j|}{n} \quad (۶)$$

در این معادلات  $P_j$  و  $O_j$  به ترتیب مقادیر دیدبانی شده و پیش بینی شده،  $\bar{O}$  میانگین مقادیر اندازه گیری شده و  $\Pi$  تعداد دیدبانی هاست. RMSE ریشه میانگین مربعات خطاست و مشخص می کند که برآورد مدل چقدر بیشتر یا کمتر از مقادیر متناظر اندازه گیری شده است. شاخص MAE که میانگین خطای مطلق است برای تعیین خطای

برای ارزیابی و برآورد دقت مدل های ذکر شده و مقایسه آن با داده های دیدبانی از سه شاخص ارزیابی استفاده شد که همراه با روش محاسبه آنها در ادامه آمده است:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (P_j - O_j)^2}{n}} \quad (۴)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (P_j - \bar{O})^2}{\sum_{j=1}^n (O_j - \bar{O})^2} \quad (۵)$$

مطلق مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقدار شاخص-های RMSE و MAE هر چه به صفر نزدیک‌تر شوند، نشان دهنده عملکرد بهتر مدل خواهد بود. همچنین ضریب تعیین  $R^2$  بیانگر نسبت نزدیک بودن پراکندگی میان مقادیر شبیه‌سازی شده با مقادیر اندازه‌گیری شده است و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد، عملکرد مدل بهتر خواهد بود (لواگو<sup>۱</sup> و گرین<sup>۲</sup>، ۱۹۹۱). ارزیابی مدل با استفاده از فراسنج‌های آماری مذکور در محیط نرم افزار R انجام شده است.

### بحث و نتایج

به منظور بررسی پراکندگی و وجود داده‌های پرت در آمار دیدبانی در ایستگاه هواشناسی زاهدان از نمودار جعبه‌ای استفاده شد. برای ترسیم این نمودار، در خصوص شاخک‌ها از مقادیر کمینه و بیشینه استفاده شد. در مورد

کمیت بارش به دلیل وجود داده‌های خارج از محدوده، مقایسه داده‌های دیدبانی ایستگاه میرجاوه (نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به ایستگاه هواشناسی زاهدان) با ایستگاه هواشناسی زاهدان در دستور کار قرار گرفت و در روزهایی که مقدار بارندگی مشکوک به داده پرت بود با داده‌های ایستگاه میرجاوه از نظر وقوع یا عدم وقوع بارش مقایسه انجام شد. همچنین از وایزش (رگرسیون) چند متغیره برای کنترل این اعداد استفاده شد. فراسنج جهت باد نیز دارای تعدادی داده ثبت شده غیر قابل قبول (بزرگ‌تر از ۳۶۰ درجه) بود که اصلاح شد. از بین دوازده فراسنج اقلیمی موجود، با استفاده از شاخص همبستگی تعداد شش متغیر که بیشترین همبستگی را با مقدار تبخیر از تشتک داشتند، به عنوان ورودی به روش‌های داده‌مبنا مورد استفاده قرار گرفتند که جزئیات آن در جدول (۴) نشان داده شده است.

جدول ۴. مقدار همبستگی بین تبخیر از تشتک و سایر متغیرهای دیدبانی در ایستگاه هواشناسی زاهدان

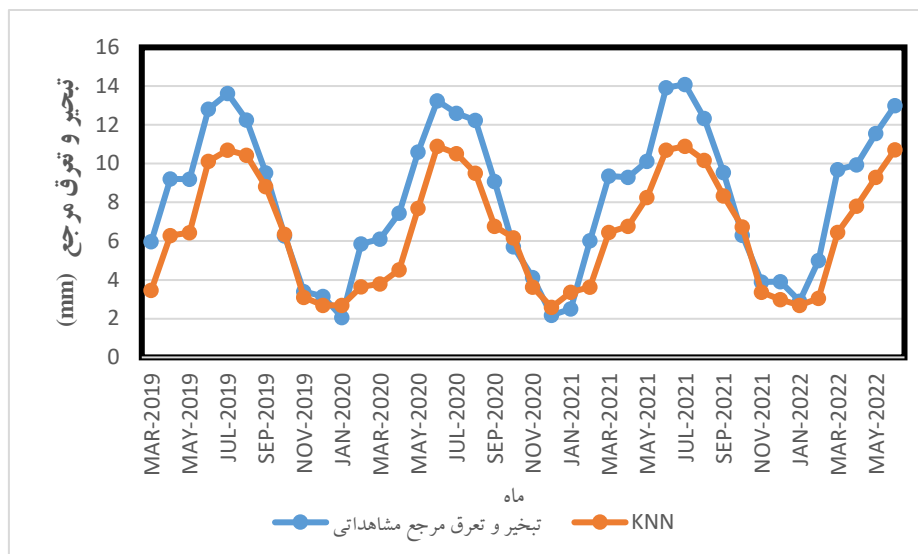
فراسنج‌ها	$T_{max}$	$T_{min}$	$T_{ave}$	$H_{max}$	$H_{min}$	$H_{ave}$	P	$W_{dir}$	$W_{max}$	$W_{ave}$	R
$E_{pan}$	۰/۷۶	۰/۸۲	۰/۸۲	-۰/۶۰	-۰/۴۵	-۰/۵۸	-۰/۰۸	-۰/۰۷	۰/۲۶	۰/۲۰	۰/۲۹

مقادیر داده‌های دیدبانی و پیش‌بینی شده تبخیر و تعرق مرجع در مرحله اعتبارسنجی به وسیله شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و KNN به صورت شکل (۳) و شکل (۴) است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، روش ANN

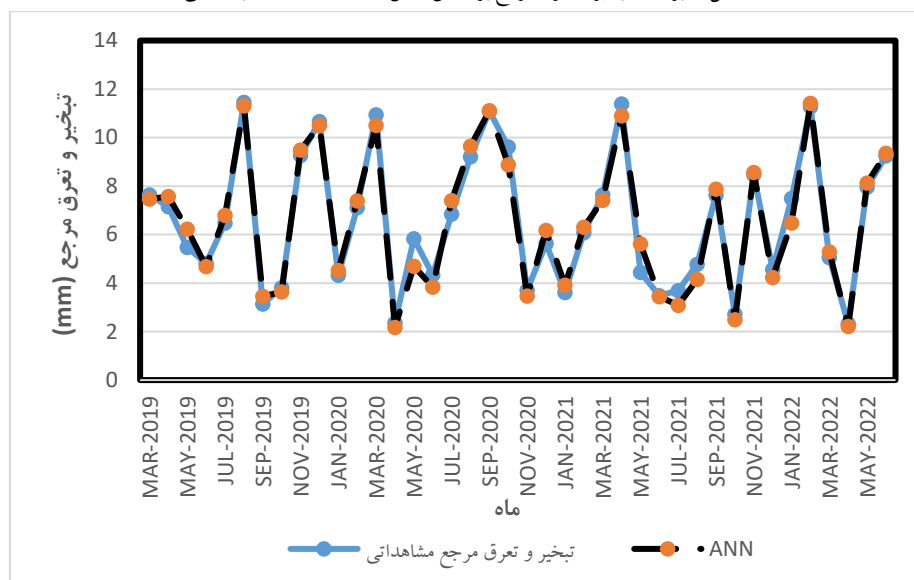
نسبت به روش KNN دارای دقت بیشتری در تخمین تبخیر و تعرق مرجع است که دلیل این امر یادگیری قوی-تر و سازگاری مناسب‌تر این روش نسبت به روش KNN است.

<sup>1</sup>-Loague

<sup>2</sup>-Green



شکل ۳. برآورد تبخیر و تعرق مرجع بر اساس روش KNN در دوره اعتبارسنجی

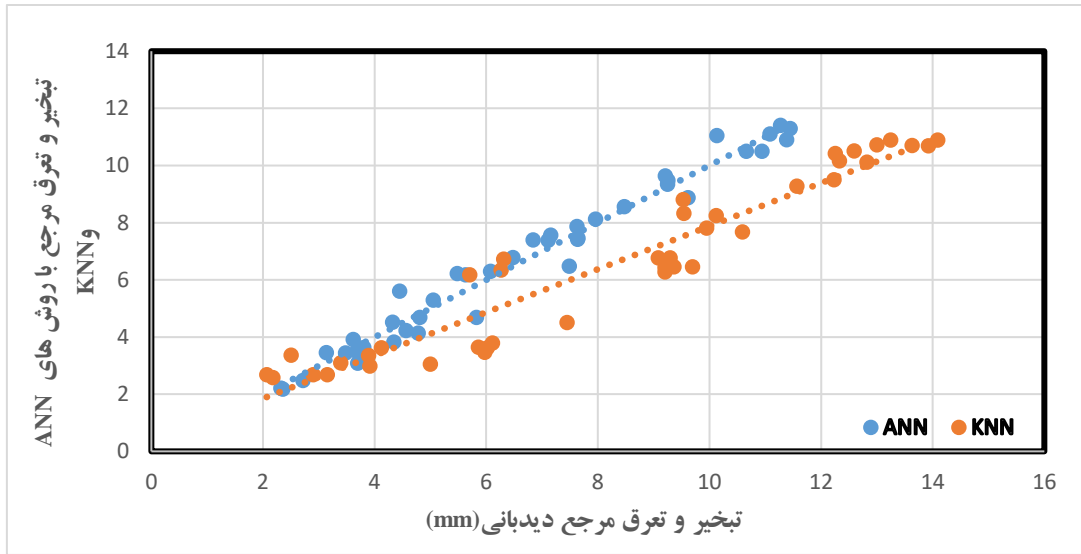


شکل ۴. برآورد تبخیر و تعرق مرجع بر اساس روش ANN در دوره اعتبارسنجی

در ماه‌های فصل زمستان نسبت به سایر فصول با دقت بیشتری برآورد می‌کند در حالی که روش ANN در برآورد این فراسنج در همه فصول دارای دقت مناسبی است که با تحقیقات نساجی زواره (۱۳۸۸) و سپهری صادقیان و همکاران (۱۳۹۹) مطابقت دارد. نتایج اجرای دوروش داده‌مبنا و چهارروش تجربی، با مقایسه خروجی این روش‌ها با مقادیر دیدبانی در ایستگاه زاهدان در مقیاس ماهانه در

جدول ۵ (۵) نشان داده شده است.

بررسی نتایج برآورد تبخیر و تعرق مرجع در مرحله آزمون برای روش‌های ANN و KNN در شکل (۵) نشان می‌دهد که داده‌های مربوط به تبخیر و تعرق دیدبانی با داده‌های خروجی روش ANN مطابقت مطلوب‌تری نسبت به روش KNN دارد و نوسان‌های روش ANN بیشتر از روش KNN است. به عبارت دیگر این روش در برآورد مقادیر کمیته تبخیر و تعرق عملکرد مناسبی داشته است. همچنین روش KNN مقدار تبخیر و تعرق مرجع را



شکل ۵. نمودار داده‌های دیدبانی و پیش‌بینی شده برای مرحله آزمون شبکه عصبی-مصنوعی و KNN

بیشترین مقدار خطا را در برآورد تبخیر و تعرق مرجع دارند. بنابراین در هر سه شاخص، روش ANN دارای بهترین عملکرد در برآورد تبخیر و تعرق مرجع در ایستگاه هواشناسی زاهدان معرفی می‌شود.

همانگونه که در جدول (۵) مشاهده می‌شود، بر اساس شاخص MAE و RMSE روش‌های ANN و تورنت-وایت به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار خطا را در برآورد تبخیر و تعرق مرجع نشان می‌دهند و همچنین در شاخص  $R^2$  روش‌های ANN و پنمن به ترتیب کمترین و

جدول ۵. نتایج شاخص‌های ارزیابی برای همه روش‌های مورد استفاده در مرحله آزمون

$R^2$	RMSE(mm)	MAE(mm)	روش محاسبه تبخیر و تعرق
۰/۷۹	۲/۳۳	۱/۹۱	هارگریوز سامانی
۰/۴۸	۲/۶۳	۲/۱۲	پنمن
۰/۵۹	۵/۵۴	۴/۷۰	تورنت-وایت
۰/۹۳	۳/۶۰	۳/۲۲	پریستلی-تیلور
۰/۹۲	۰/۸۹	۰/۷۳	KNN
۰/۹۷	۰/۴۷	۰/۳۷	ANN

باشد، در مرتبه یک اهمیت و مدلی که کمترین وزن را داشته باشد، دارای کمترین رتبه در ارزیابی نهایی خواهد بود. مقادیر شاخص و رتبه روش‌ها، در جدول (۶) آورده شده است.

با استفاده از روش وزنی، عملکرد این شش مدل با در نظر گرفتن هم زمان هر سه شاخص ارزیابی، تعیین و وزن هر یک مشخص شد. شایان گفتن است که وزن هر روش از نسبت رتبه هر روش به مجموع رتبه‌های محاسبه شده به دست می‌آید؛ بنابراین مدلی که دارای بیشترین وزن

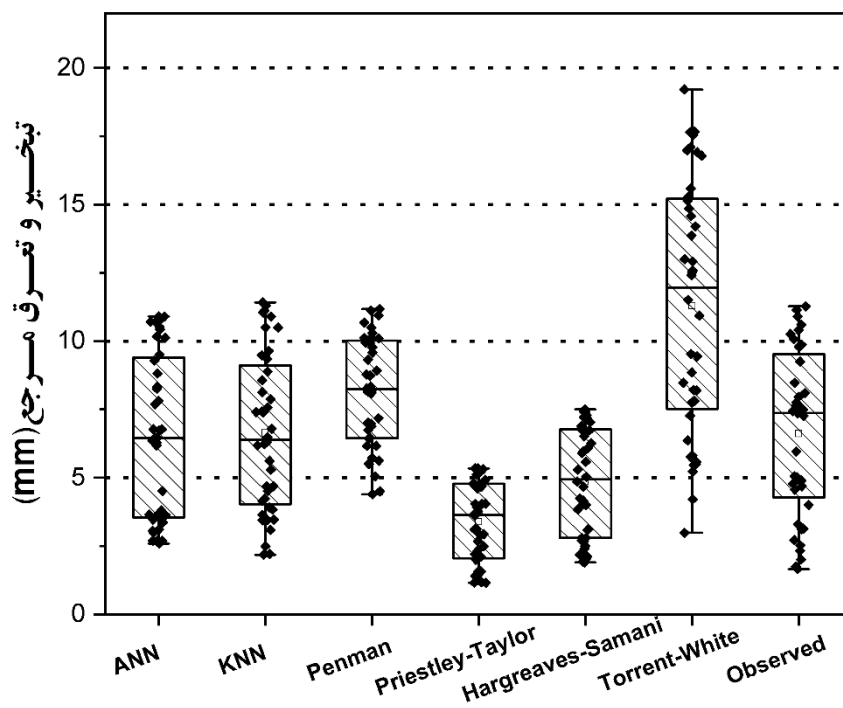
جدول ۶. رتبه‌بندی روش‌های محاسبه تبخیر و تعرق مرجع در شهر زاهدان با در نظر گرفتن هر سه شاخص ارزیابی

روش	هارگریوز-سامانی	پنمن	تورنت-وایت	پریستلی-تیلور	KNN	ANN
وزن	۰/۱۸	۰/۰۹	۰/۰۲	۰/۱۳	۰/۲۵	۰/۳۳
رتبه	۳	۵	۶	۴	۲	۱

محدوده تغییرات و روش تورنت-وایت بیشترین محدوده تغییرات در برآورد تبخیر و تعرق مرجع را داشته‌اند. شاخص‌های ارزیابی نیز تأیید می‌کنند که روش‌های داده‌مبنای ANN و KNN در مقایسه بین شش روش محاسبه تبخیر و تعرق مرجع بیشترین همخوانی را با داده‌های دیدبانی از خود نشان داده‌اند. مقادیر چارک اول و سوم نیز در این دو روش به داده‌های دیدبانی نزدیک هستند. همچنین روش‌های ANN و KNN مقدار میانه (چارک دوم) تبخیر و تعرق مرجع دیدبانی را بهتر از روش‌های تجربی برآورد می‌کنند. تجمع داده‌ها نیز در محدوده چارک سوم در روش‌های پنمن، ANN و KNN مشابه داده‌های دیدبانی است.

وزن هر یک از روش‌های تجربی و داده‌مبنای براساس سرجمع سه شاخص ارزیابی در جدول (۶) نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با در نظر گرفتن هر سه شاخص ارزیابی با استفاده از رتبه‌بندی، موفقیت این روش‌ها به ترتیب نزولی، روش‌های ANN، KNN، هارگریوز-سامانی، پریستلی-تیلور، پنمن و تورنت-وایت است.

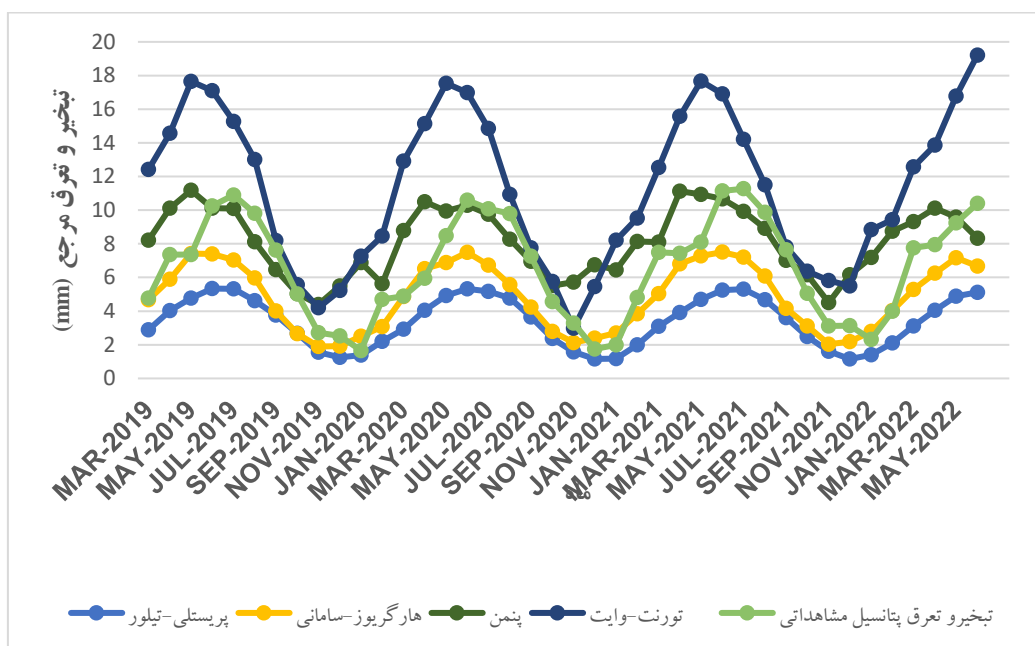
شکل (۶) نمودار جعبه‌ای مقادیر تبخیر و تعرق مرجع را که توسط شش روش برآورد شده است، در مقایسه با داده‌های دیدبانی در دوره آزمون نشان می‌دهد. همان‌گونه که دیده می‌شود روش پریستلی-تیلور کمترین



شکل ۶. نمودار جعبه‌ای مقادیر تبخیر و تعرق مرجع برآورد شده برای شش روش در ایستگاه هواشناسی زاهدان

و حد پایین نسبت به سایر روش‌ها، کمترین مقادیر تبخیر و تعرق مرجع در ماه را برای ایستگاه هواشناسی زاهدان تخمین می‌زند. به بیان دیگر دامنه تغییرات در روش پریستلی-تیلور کمتر از سایر روش‌های تجربی است. روش تجربی تورنت-وایت در برآورد مقادیر کمینه و بیشینه تبخیر و تعرق مرجع نامناسب‌ترین برآورد را دارد و روش پریستلی-تیلور در برآورد مقادیر بیشینه تبخیر و تعرق مرجع دقت کمی دارد.

شکل (۷) مقایسه مقادیر برآورد شده تبخیر و تعرق مرجع در روش‌های تجربی را نشان می‌دهد. مطابق این شکل، روش پنمن مقادیر حد بالای تبخیر و تعرق مرجع را به خوبی برآورد می‌کند در حالی که در برآورد مقادیر حد پایین توانمندی کمی دارد. همچنین برای مقادیر حد پایین تبخیر و تعرق مرجع روش‌های تجربی پریستلی-تیلور و هارگریوز-سامانی دارای دقت مناسب‌تری هستند. روش تجربی پریستلی-تیلور برای مقادیر حد بالا



شکل ۷. نمودار داده‌های تبخیر و تعرق مرجع برآورد شده در روش‌های تجربی

### نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

شدند. مدل‌سازی از سال ۲۰۱۱ تا مرداد ۲۰۲۲ به صورت ماهانه انجام و برای ارزیابی برون‌داد مدل‌ها از شاخص‌های  $R^2$ ، MAE و RMSE استفاده شد. بررسی نتایج مدل‌ها در ایستگاه هواشناسی زاهدان نشان داد که روش‌های ANN و KNN به ترتیب بهترین عملکرد را در برآورد تبخیر و تعرق مرجع نسبت به روش‌های تجربی برای ایستگاه هواشناسی زاهدان دارند. در بین روش‌های تجربی نیز با در نظر گرفتن هر سه شاخص ارزیابی، روش هارگریوز-سامانی نسبت به سایر مدل‌های تجربی، دقت بیشتری داشتند که با تحقیقات بهمن‌آبادی و کاویانی (۱۳۹۹)

در این تحقیق، دقت مدل‌های ANN، KNN، هارگریوز-سامانی، پنمن، تورنت-وایت و پریستلی-تیلور در تخمین تبخیر و تعرق مرجع ماهانه در ایستگاه هواشناسی زاهدان با استفاده از دوازده فراسنج هواشناسی بررسی شد. از بین این فراسنج‌ها، شش فراسنج شامل دماهای بیشینه و کمینه، دمای میانگین، رطوبت بیشینه و رطوبت کمینه به عنوان متغیرهای تأثیرگذار انتخاب شدند. مقادیر برآورد شده از هر یک از مدل‌ها با مقادیر تبخیر و تعرق مرجع محاسبه شده با مقادیر تبخیر و تعرق مرجع دیدبانی (با اعمال ضریب تشکک ۰/۸) مقایسه

مطابقت دارد. در جمع‌بندی نهایی می‌توان بیان داشت که روش‌های داده‌محور دقت بیشتری نسبت به روش‌های تجربی در تعیین تبخیر و تعرق مرجع دارند.

**قدردانی:** پژوهشگران این مقاله همکاران محترم در اداره کل هواشناسی استان سیستان و بلوچستان برای در اختیار گذاشتن داده‌های هواشناسی ایستگاه هواشناسی زاهدان کمال سپاسگزاری را دارند.

### منابع

۱. احمدپری، ه.، صفوی گردینی، م.، و ابراهیمی، م. (۱۳۹۸). انتخاب روش مناسب برآورد تبخیر-تعرق مرجع در شرایط کمبود داده‌های هواشناسی (مطالعه موردی شهرستان خرم بید در استان فارس). مدیریت اراضی، ۷(۲)، ۲۲۳-۲۳۰.
۲. بهمن آبادی، ب.، و کاویانی، ع. (۱۳۹۹). برآورد تبخیرتعرق مرجع در اقلیم‌های مختلف ایران. تحقیقات آب و خاک ایران (علوم کشاورزی ایران) ۵۱(۶)، ۱۴۷۹-۱۴۹۹.
۳. پورصالحی، ف.، شهیدی، ع.، و خاشعی سیوکی، ع. (۱۳۹۸). مقایسه مدل‌های درخت تصمیم M5 و الگوریتم نزدیک‌ترین همسایگی K در پیش‌بینی بارش ماهانه (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک بیرجند). مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳(۵)، ۱۲۸۳-۱۲۹۳.
۴. جلیل زاده رزین، ا. (۱۳۹۷). الگوریتم یادگیری ماشین k نزدیک‌ترین همسایه. <https://programstor.ir>
۵. حسن پور، ف.، و صدراپی، پ. (۱۳۹۲). تعیین ضریب تشنگی تبخیر در منطقه سیستان. اولین همایش ملی الکترونیک کشاورزی و منابع طبیعی پایدار.
۶. رستمی، ا.، بزانه، م.، و تقوی، ص. (۱۳۹۶). ارزیابی و واسنجی مدل هارگریوز در برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع (مطالعه موردی: استان آذربایجان شرقی)، شانزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، اردبیل.
۷. سپهری صادقان، س.، عباسی، ف.، زارعی، ق.، و نخجوانی مقدم، م. (۱۳۹۹). بررسی و تحلیل حساسیت روش‌های مبتنی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی در برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع. مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۱۴(۶)، ۲۰۸۹-۲۰۹۹.
۸. شیری، ن.، و کاظمی، م. ح. (۱۴۰۱). واسنجی و ارزیابی پنج روش تخمین تبخیر-تعرق مرجع مبتنی بر تشعشع خورشیدی در استان یزد. دانش آب و خاک (دانش کشاورزی)، ۳۲(۲)، ۱۴۱-۱۲۹.
۹. شادمانی، م.، و معروفی، ص. (۱۳۹۰). مقایسه چند روش برآورد تبخیر روزانه از تشت - مطالعه موردی منطقه کرمان. علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۱۵(۵۵)، ۶۹-۸۳.
۱۰. شاهی، ک.، و زارعی، م. (۱۳۸۹). ارزیابی روش‌های برآورد تبخیر و تعرق مرجع در استان مازندران. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱(۳)، ۱۲-۲۱.
۱۱. علیزاده، ا. (۱۳۸۵). اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ بیستم، انتشارات آستان قدس رضوی، (شرکت به نشر)، مشهد، ۸۰۷ صفحه.
۱۲. قهرمان، ن.، بابائیان، ا.، و طباطبایی، س. م. (۱۳۹۵). ارزیابی پس‌پردازش برون‌دادهای دینامیکی مدل‌های اقلیمی در برآورد تغییرات تبخیر تعرق مرجع تحت سناریوهای واداشت تابشی (بررسی موردی: دشت مشهد). فیزیک زمین و فضا، ۴۲(۳)، ۶۸۷-۶۹۶.
۱۳. مقبلی دامنه، م.، و ثنایی نژاد، س. ح. (۱۳۹۷). برآورد تبخیر-تعرق مرجع در منطقه فریمان با استفاده از روش پریستلی-تیلور و تکنیک سنجش از دور. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی)، ۹(۳)، ۷۲-۸۴.
۱۴. محمدرضاپور، ا. (۱۳۹۶). پیش‌بینی تبخیر-تعرق مرجع ماهانه با استفاده از مدل‌های ماشین بردار پشتیبان، برنامه‌ریزی ژنتیک و سیستم استنتاج عصبی-فازی. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۷(۳)، ۱۳۵-۱۵۰.
۱۵. نساجی زواره، م. (۱۳۸۸). برآورد تبخیر روزانه با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی ایستگاه هواشناسی زاهدان)، پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، گرگان.
16. Althoff, D., dos-Santos, R.A., Bazame, H.C., Da-Cunha, F.F., & Filgueiras, R. (2019). Improvement of Hargreaves-Samani reference evapotranspiration estimates with local calibration. *Journal of Water*, 11 (11): 2272.
17. Goyal, M. K., Bharti, B., Quilty, J., Adamowski, J., & Pandey, A. (2014). Modeling of daily pan evaporation in sub tropical climates using ANN, LS-SVR, Fuzzy Logic, and ANFIS. *Expert systems with applications*, 41(11), 5267-5276.
18. Guo, x., X. Sun & X. Ma. (2011). Prediction of daily crop reference evapotranspiration value through a least-square support vector machine model. *Hydrology Research*, 42 (4), 268-274.
19. Li, S., Kang, S., Zhang, L., Zhang, J., Du, T., Tong, L., & Ding, R. (2016). Evaluation of six potential evapotranspiration models for estimating crop potential and actual evapotranspiration in arid region. *Journal of Hydrology*, 543(5), 461-450.

20. Loague, K., & Green, R.E. (1999). Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: overview and application. *Journal of contaminant hydrology*, 7, 73-51.
21. Marti, P., Zarzo, M., Vanderlinden, K., & Girona, J. (2015). Parametric expressions for the adjusted Hargreaves coefficient in eastern Spain. *Journal of Hydrology*, 529, 1713-1724.
22. Zhang, Q., Cui, N., Feng, Y., Jia, Y., Li, Z., & Gong, D. (2018). Comparative analysis of global solar radiation models in different regions of China. *Advances in meteorology*, 2018(1), 3894831.

## Comparison of experimental and data-based methods in estimating reference evapotranspiration in Zahedan city

Taha Ranjbarshoorabadi<sup>1</sup>, Mehdi Amirabadizadeh<sup>2\*</sup>, Hossein Khozaymehnezhad<sup>2</sup>, Fatima Hajiabadi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> MSc student in water structures, Department of Water Science and Engineering, University of Birjand

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran, and member of Drought and Climate Change Research Group

<sup>3</sup> PhD in Irrigation and Drainage and member of the Department of Water Science and Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran

\*Corresponding Author Email: [mamirabadizadeh@birjand.ac.ir](mailto:mamirabadizadeh@birjand.ac.ir)

Received: 04 April 2024, Accepted: 06 October 2024

### ABSTRACT

Evapotranspiration is a critical parameter for assessing hydrological processes and managing of agricultural water resources. This study evaluates reference evapotranspiration ( $ET_0$ ), at the Zahedan Meteorological Station using 12 meteorological variables: minimum, maximum and average temperature, minimum, maximum and average humidity, rainfall, evaporation rate, sunny hours, wind direction, maximum wind speed and average wind speed. Six methodologies were applied: Artificial Neural Network (ANN), K-Nearest Neighbor (KNN), Priestley-Taylor, Hargreaves-Samani, Torren-White and Penman methods. To compare the calculated evapotranspiration values with observational data from an evaporation pan (adjusted with a pan coefficient of 0.8), we used  $R^2$ , Mean Absolute Error (MAE) and Root Mean Square Error (RMSE) as evaluation indices were used to compare the calculated evapotranspiration values with the observational values of potential metrics. Results indicate the ANN method outperformed others, while the Torren-White method performed the worst in estimating potential evapotranspiration at the Zahedan meteorological station. Among the empirical methods, the Hargreaves-Samani method demonstrated superior performance. Overall, data-driven methods proved to be more accurate than empirical methods in estimating potential evapotranspiration.

**Keywords:** Artificial Neural Network, Estimate, Nearest Neighborhood, Penman, Reference evapotranspiration, Zahedan

### HOW TO CITE THIS ARTICLE

Ranjbarshoorabadi, T., Amirabadizadeh, M., Khozaymehnezhad, H. and Hajiabadi, F. (2024). Comparison of experimental and data-based methods in estimating reference evapotranspiration in Zahedan city. *Journal of Meteorology and Atmospheric Science.*, 6(2): 199 - 214. Doi: 10.22034/2645-7261.2024.451030.1228

### COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

