

## مقایسه روش‌های سیستم استنتاج عصبی-فازی و برنامه‌ریزی بیان‌ژن دربرآورد تبخیر از تشتک (مطالعه موردی: استان خراسان جنوبی)<sup>۱</sup>

پرویز حقیقت جو<sup>۱\*</sup>، زهرامحمدزاده شاهرودی<sup>۲</sup>، ام‌البنی محمدرضایپور<sup>۳</sup>

\* استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل، زابل، ایران

نویسنده مسئول مکاتبات: [parvizhjou@uoz.ac.ir](mailto:parvizhjou@uoz.ac.ir)

۲ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۳ استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل، زابل، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۱/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۹/۱۷

### چکیده

امروزه تخمین صحیح تبخیر به عنوان یکی از عناصر مهم چرخه هیدرولوژی، نقش مهمی را در توسعه و مدیریت منابع آب کشورهای مواجه با بحران آب ایفا می‌کند. تاکنون روش‌ها و فرمول‌های تجربی فراوانی در زمینه برآورد فرایند غیرخطی و پیچیده تبخیر از تشتک ارائه شده که از دقت بالایی برخوردار نبوده و همچنین دسترسی به تمام پارامترهای ورودی مشکل و یا اندازه‌گیری آنها محتاج صرف هزینه و زمان زیادی می‌باشد. هدف از این تحقیق ارزیابی کارایی دو مدل برنامه‌ریزی بیان‌ژن و عصبی-فازی جهت تخمین تبخیر از تشتک در استان خراسان جنوبی می‌باشد. برای این منظور از داده‌های هواشناسی روزانه شش ایستگاه سینوپتیک به مدت بیست سال (۲۰۱۰-۱۹۹۰)، استفاده شد. پارامترهای ورودی به مدل عبارتند از: میانگین دمای هوا، رطوبت نسبی، حداکثر و حداقل دمای هوا، سرعت باد و ساعات آفتابی. برای ارزیابی مدل‌ها و مقایسه آن‌ها از معیارهای ضریب تبیین، جذر میانگین مربع خطاها و میانگین خطاها استفاده گردید. مقایسه نتایج آزمون دو مدل نشان داد که مدل برنامه‌ریزی بیان‌ژن کارایی بهتری نسبت به مدل عصبی-فازی در برآورد روزانه تبخیر از تشتک دارد. بطوری که بهترین نتایج مدل برنامه‌ریزی بیان‌ژن در ایستگاه بشرویه با ضریب تبیین ۰/۷۹،  $RMSE=1/44$  و  $MBE=-0/35$  ضعیف‌ترین نتایج در ایستگاه بیرجند با ضریب تبیین ۰/۷،  $RMSE=2/6$  و  $MBE=1/2$  بدست آمد. همچنین نتایج نشان داد میانگین دمای روزانه بیشترین تاثیر را در برآورد تبخیر از تشتک دارد.

**کلمات کلیدی:** برنامه‌ریزی بیان‌ژن؛ عصبی-فازی؛ تبخیر تشتک؛ خراسان جنوبی

### مقدمه

می‌باشد. به دلیل تأثیر متقابل پارامترهای مختلف هواشناسی در محاسبه تبخیر، روابطی غیرخطی برای تخمین مقدار آن وجود دارد که از دقت بالایی برخوردار نیستند. مدل‌های شبکه عصبی، فازی و برنامه‌ریزی بیان‌ژن از جمله روش‌های نوین می‌باشند که برای تخمین و پیش‌بینی پارامترها از ارتباط ذاتی بین داده‌ها استفاده می‌کنند (شایان نژاد، ۱۳۸۵). طی دهه اخیر استفاده از

استان خراسان جنوبی یکی از استان‌های کشورمان می‌باشد که با تبخیر شدید و کمبود آب روبه‌رو است. در چنین شرایطی تخمین میزان تبخیر یکی از عوامل مهم در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب استان خراسان جنوبی

<sup>۱</sup> برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد

روش‌های عصبی- فازی و برنامه‌ریزی بیان‌ژن در مدل‌سازی تبخیر از تشتک توسط محققین زیادی مورد تأیید قرار گرفته است. از جمله مطالعاتی که روی تبخیر صورت گرفته می‌توان به موارد زیر اشاره نمود. مساعدی و قبائی سوق (۱۳۹۰) از آمار روزانه پارامترهای هواشناسی ایستگاه سینوپتیک شیراز، به منظور تخمین تبخیر از تشتک استفاده کردند ایشان نتایج حاصل از این مدل را با نتایج دو معادله تجربی ماریانو و استیفنز- استوارت (s-s) مقایسه کردند. نتایج نشان داد که مدل عصبی- فازی نسبت به معادله استیفنز- استوارت دقیق‌تر است. شادمانی و معروفی (۱۳۹۰) کاربرد مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، عصبی- فازی و هم چنین روش تجربی استیفنز- استوارت، را جهت برآورد تبخیر روزانه کرمان مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که مدل عصبی- فازی از دقت بیشتری برای برآورد تبخیر از تشتک برخوردار است. میرمراذهی (۱۳۹۱) از دو مدل شبکه عصبی و عصبی- فازی جهت برآورد تبخیر از تشتک در ایستگاه‌های سینوپتیک ایران‌شهر، چابهار و سراوان استفاده کرده و نشان داد که مدل عصبی- فازی کارایی بهتری نسبت به مدل شبکه عصبی در برآورد تبخیر روزانه از تشتک دارد. شعبی‌نوبریان و دربندی (۱۳۹۲) برای تخمین مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل از مدل برنامه‌ریزی بیان‌ژن و معادله پنمن- مانیت استفاده کردند. نتایج حاکی از کارایی مناسب و دقت بالای برنامه‌ریزی بیان‌ژن در پیش‌بینی تبخیر و تعرق پتانسیل بود. کولاتیان و همکاران (۱۳۹۲) به منظور دستیابی به تخمین میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع، از روش‌های رگرسیون چندمتغیره، شبکه- عصبی و عصبی- فازی در ساری استفاده کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد زمانی که از چهار پارامتر برای ورودی مدل استفاده شود، مدل‌های شبکه‌عصبی و رگرسیونی از دقت و کارایی بیشتری در شبیه‌سازی تبخیر و تعرق گیاه مرجع برخوردارند. نجفی و همکاران

(۱۳۹۳) در دو منطقه اصفهان و رشت از دو روش شبکه عصبی و برنامه‌ریزی بیان‌ژن برای تحلیل حساسیت تبخیر- تعرق گیاه مرجع نسبت به پارامترهای هواشناسی استفاده کردند و نتایج ایشان نشان داد، در اصفهان و رشت، کمینه دما و بیشینه دما در مقابل دیگر پارامترها، بیشترین ضریب همبستگی را دارند. Dogan و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از مدل عصبی- فازی مقدار تبخیر از مخزن سد یواجیک در ترکیه را مدل‌سازی کرده و نتایج نشان داد که مدل عصبی- فازی نسبت به مدل‌های رگرسیونی از دقت بیشتری برخوردار است. Guven و Kisi (۲۰۱۱) به بررسی توانایی برنامه نویسی ژنتیک خطی (LGP)<sup>۲</sup> که یک فرمت به روش برنامه‌نویسی ژنتیک است، برای مدل‌سازی تبخیر از تشتک پرداختند. نتایج را با شبکه‌های عصبی پایه‌ای شعاعی، رگرسیون تعمیم شبکه‌های عصبی و مدل استیفنز- استوارت مقایسه کردند. با مقایسه نتایج مشخص شد که روش LGP دقت بیشتری داشت. Piri و Ansari (۲۰۱۲) به برآورد تبخیر بر اساس مدل‌های شبکه عصبی، عصبی- فازی و مقایسه با روش‌های تجربی پرداختند و نشان دادند که این مدل‌ها نتایج بهتری نسبت به روش‌های تجربی دارند. Seydou و Aytac (۲۰۱۲) به بررسی توانایی عملکرد برنامه‌ریزی بیان‌ژن برای مدل‌سازی تبخیر کشور ساحلی، بورکینا فاسو<sup>۳</sup> پرداخته و از ترکیب داده‌های هواشناسی به عنوان ورودی به مدل برنامه‌ریزی بیان‌ژن برای تخمین تبخیر استفاده کردند. ایشان نتیجه گرفتند که مدل برنامه‌ریزی بیان‌ژن توانایی خوبی برای ارائه مدل عددی بر اساس داده‌های منطقه‌ای داراست. Shiri و Kisi (۲۰۱۲) از برنامه‌نویسی بیان‌ژن برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع روزانه، در کشور باسک استفاده کردند. برای این منظور معادله پنمن مانیت را به عنوان مرجع انتخاب و نتایج (GEP)<sup>۴</sup> را با عصبی- فازی، پرستلی- تیلور و مدل

<sup>2</sup> Linear Gene Expression Programming

<sup>3</sup> Burkina Faso

<sup>4</sup> Gene Expression Programming

<sup>1</sup> Stephens-Stewart

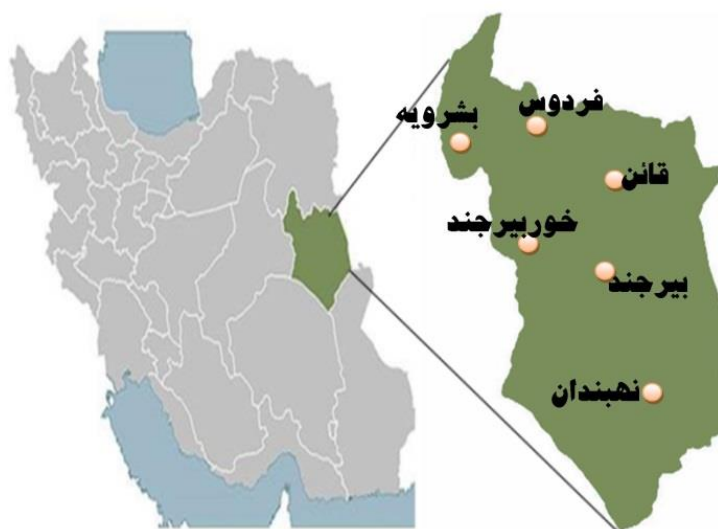
برنامه‌ریزی بیان‌ژن و عصبی-فازی روش‌های مناسبی برای تخمین تبخیر در استان خراسان جنوبی می‌باشند؟

### مواد و روش‌ها

#### موقعیت منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

استان خراسان جنوبی یکی از استان‌های شرقی ایران است (شکل ۱) که مرکز آن، شهر بیرجند می‌باشد. مساحت این استان ۱۱۷۷۶۹ کیلومتر مربع است که از این نظر سومین استان ایران است. که بین مدار جغرافیایی ۳۰ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۵۳ دقیقه عرض شمالی و ۵۷ درجه و ۳ دقیقه تا ۵۷ درجه و ۶۰ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است این استان از شمال با استان خراسان رضوی، از غرب با استان‌های یزد، کرمان و از شرق با کشور افغانستان و از جنوب با استان‌های سیستان و بلوچستان و کرمان هم‌مرز است. استان خراسان جنوبی از شرایط اقلیمی خشک و بیابانی در نواحی پست و آب و هوای نیمه خشک در نواحی کوهستانی برخوردار است. در بین ایستگاه‌های هواشناسی استان خراسان جنوبی، قائن با میانگین دمای ۱۴ درجه سانتیگراد سردترین و نهبندان با میانگین دمایی ۲۰ گرمترین ایستگاه می‌باشند با میانگین بارش دوازده‌مده‌متری ۱۲۰ میلی‌متر. شکل ۱ منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد.

هارگریوز-سامانی مقایسه کردند. آنها نشان دادند برنامه‌ریزی بیان‌ژن بهتر از مدل عصبی-فازی، پریستلی-تیلور و هارگریوز-سامانی است و مدل عصبی-فازی را به عنوان دومین مدل انتخاب کردند. Terzi (۲۰۱۳) مقایسه برنامه‌نویسی بیان‌ژن و عصبی-فازی را به منظور برآورد تبخیر روزانه دریاچه *Eğirdir* در بخش جنوب‌غربی ترکیه با ترکیب ورودی‌های مختلف انجام و نشان داد که مدل GEP نسبت به مدل عصبی-فازی بهتر است. Hatice و همکاران (۲۰۱۴) میانگین تبخیر و تعرق را با استفاده از مدل‌های عصبی-فازی و شبکه عصبی تخمین زدند. آنها دریافتند که هر دو مدل برآورد بهتری نسبت به روش کلاسیک دارند. Kisi و Zounemat-Kermani (۲۰۱۴) برای مدل‌سازی تبخیر و تعرق مرجع روزانه ایستگاه آدانا ترکیه، دو روش عصبی-فازی و (GEP) را مقایسه کردند. در مطالعه ایشان سرعت باد به عنوان متغیر موثر در مدل‌سازی مشخص شد. هدف از انجام این تحقیق مقایسه کارایی دو مدل غیرخطی برنامه‌ریزی بیان‌ژن و عصبی-فازی جهت تخمین تبخیر از تشتک در استان خراسان جنوبی و تحقیق اینکه کدامیک از متغیرهای هواشناسی (درجه حرارت هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی) تاثیر بیشتری روی میزان تبخیر استان خراسان جنوبی دارد؟ آیا مدل‌های

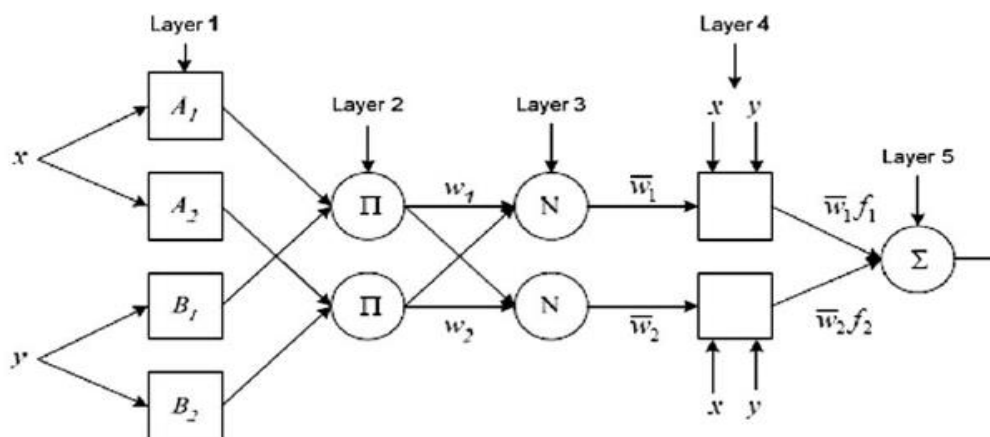


شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه.

GP را شامل می‌شود، اما ساختارهای شاخه‌ای که بوسیله GEP استنتاج می‌شوند (که بیان درختی نیز نامیده می‌شوند) مبین تمامی ژنوم‌های مستقل هستند. بنابراین موضوع قابل توجه در GEP این است که دومین آستانه تکاملی یعنی «آستانه فنوتیپ» عبور داده می‌شود (علیرضا، ۱۳۸۷). فرآیند مدل‌سازی تبخیر روزانه هر ایستگاه در تحقیق حاضر به شکل زیر صورت گرفت: گام اول، انتخاب تابع برازش مناسب می‌باشد که تابع جذر میانگین مربعات خطا به عنوان تابع برازش انتخاب گردید. گام دوم، انتخاب مجموعه توابع به منظور تولید کروموزوم‌ها که در این مطالعه پیش فرض نرم‌افزار مورد پذیرش قرار گرفت. گام سوم، شامل انتخاب ساختار و معماری کروموزوم‌ها که اندازه طول هر رأس و تعداد ژن‌ها بسته به تعداد داده‌ها انتخاب شد. گام چهارم انتخاب تابع پیوندی است که عمل جمع برای ایجاد پیوند بین زیرشاخه‌ها مورد استفاده قرار گرفت. در گام پنجم عملگرهای ژنتیک و نرخ هر یک که مقادیر پیش فرض نرم‌افزار پذیرفته شد (امینی‌رکان، ۱۳۹۲).

### مدل عصبی - فازی

مدل عصبی - فازی که توسط جنگ در سال ۱۹۹۳ معرفی شد. در شکل ۲ ساختار کلی مدل نشان داده شده است (پیری و همکاران، ۱۳۹۲).



شکل ۲. نمای کلی مدل عصبی - فازی

در این تحقیق از داده‌های هواشناسی روزانه شش ایستگاه سینوپتیک (بیرجند، بشرویه، فردوس، نهبندان، قائن، خوربیرجند) به مدت بیست سال (۲۰۱۰-۱۹۹۰)، شامل دمای هوا، مقدار تابش روزانه خورشیدی، رطوبت نسبی و سرعت باد استفاده شد. میزان تبخیر روزانه به عنوان متغیر وابسته و سایر پارامترهای اندازه‌گیری شده در ایستگاه مورد نظر به عنوان متغیرهای مستقل با استفاده از شبکه‌های عصبی - فازی و برنامه‌ریزی بیان‌ژن مدل شدند.

### مدل برنامه‌ریزی بیان‌ژن

برنامه‌ریزی بیان‌ژن توسط فریرا در سال ۱۹۹۹ معرفی گردید. در این برنامه، کروموزوم‌های خطی و ساده با طول ثابت، مشابه با آنچه که در الگوریتم ژنتیک استفاده می‌شود و ساختارهای شاخه‌ای با اندازه‌ها و اشکال متفاوت، مشابه با درختان تجزیه در برنامه‌ریزی ژنتیک، ترکیب می‌شوند. از آنجائی که تمامی ساختارهای شاخه-ای با اندازه‌ها و اشکال متفاوت، در کروموزوم‌های خطی با طول ثابت کدگذاری می‌شوند، معادل این است که بگوییم در GEP ژنوتیپ و فنوتیپ سرانجام از یکدیگر جدا شده و اکنون سیستم می‌تواند از تمام مزایای تکاملی به سبب وجود آنها بهره ببرد. با وجود اینکه فنوتیپ در GEP، همان نوع از ساختارهای شاخه‌ای مورد استفاده در

$$\bar{W}_1 = \frac{W_1}{\sum_{i=1}^n W_i}, i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

۴. لایه چهارم در این لایه، قانون‌ها به دست می‌آیند (رابطه ۴). قوانین از عملیات بر روی سیگنال‌های ورودی به دست می‌آیند:

$$Z_1 = \bar{W}_1 F_1 = \bar{W}_1 (P_1 X_1 + q_1 X_2 + r_1) \quad (4)$$

۵. لایه پنجم، شامل یک گره که با جمع مقادیر ورودی به آن خروجی را محاسبه می‌کند (رابطه ۵).

$$\sum_{i=1}^n \bar{W}_i f_i \quad (5)$$

در مطالعه حاضر برای مدل‌سازی جریان تبخیر روزانه تشک با استفاده از مدل عصبی-فازی، داده‌های هر ایستگاه مرتب گردید. الگوهای مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده‌است.

۱. لایه اول که در آن درجه گره‌های ورودی به بازه‌های مختلف فازی با استفاده از توابع عضویت رابطه (۱) مشخص می‌گردد:

$$\mu_A(X) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c_i}{a_i} \right|^{2b_i}} \quad (1)$$

که در اینجا  $x$  ورودی و  $a, b, c$  پارامترهای تطبیقی هستند و ضرایب غیرخطی این معادله می‌باشند که تابع عضویت را مشخص می‌کنند.

۲. لایه دوم که در آن مقادیر ورودی به هر گره در هم ضرب و حاصل وزن قانون‌ها می‌باشد، از رابطه (۲) بدست می‌آید.

$$W_i = \mu_{A_1}(x) \mu_{B_1}(x_2) \quad (2)$$

$n$ : تعداد گره‌های این لایه است.

۳. لایه سوم که گره‌های این لایه، وزن قانون‌ها را نرمال سازی می‌کند (رابطه ۳).

جدول ۱. الگوهای ورودی مورد استفاده در برنامه‌ریزی

شماره الگو	پارامترهای ورودی مدل
۱	$E=f\{\text{سرعت باد}\}$
۲	$E=f\{\text{دمای متوسط روزانه}\}$
۳	$E=f\{\text{دمای حداقل}\}$
۴	$E=f\{\text{دمای حداکثر}\}$
۵	$E=f\{\text{رطوبت نسبی}\}$
۶	$E=f\{\text{ساعات آفتابی}\}$
۷	$E=f\{\text{سرعت باد، رطوبت نسبی}\}$
۸	$E=f\{\text{رطوبت نسبی، دمای متوسط روزانه}\}$
۹	$E=f\{\text{رطوبت نسبی، سرعت باد، دمای متوسط روزانه}\}$
۱۰	$E=f\{\text{رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، میانگین دمای روزانه}\}$
۱۱	$E=f\{\text{دمای حداکثر، رطوبت نسبی}\}$
۱۲	$E=f\{\text{دمای متوسط روزانه، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، سرعت باد}\}$
۱۳	$E=f\{\text{دمای متوسط روزانه، دمای حداقل، دمای حداکثر، رطوبت نسبی، سرعت باد، ساعات آفتابی}\}$

## بیان‌ژن و عصبی- فازی

## معیارهای ارزیابی

شاخص‌های آماری ضریب تبیین<sup>۱</sup> ( $R^2$ ) و جذر میانگین مربع خطاها<sup>۲</sup> (RMSE)،  $MBE^3$  به منظور بررسی و ارزیابی دقت مدل‌ها استفاده شد. پارامتر ارزیابی MBE نشان می‌دهد که اولاً مدل مقدار متغیر مورد نظر را کم یا زیاد برآورد می‌کند و ثانیاً مقدار کمی آن چقدر است. زمانی که MBE برابر صفر است مشخص می‌شود که مدل فضای مطالعه شده را خوب برآورد کرده و هیچ گونه انحرافی وجود ندارد. ضریب همبستگی هم نشان دهنده میزان ارتباط مقادیر برآورد شده با مقادیر محاسبه شده است که هر چه میزان آن بیشتر باشد این ارتباط نزدیک‌تر است و اختلاف مقادیر برآورد شده و مقادیر محاسبه شده کمتر خواهد بود. شاخص‌های یاد شده به ترتیب با استفاده از روابط ۶، ۷ و ۸ قابل محاسبه است.

$$R^2 = \left( \frac{\sum(E_i - \bar{E}_i)(E_o - \bar{E}_o)}{\sqrt{\sum(E_i - \bar{E}_i)^2 \sum(E_o - \bar{E}_o)^2}} \right)^2 \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(E_o - \bar{E}_i)^2}{N}} \quad (7)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (E_o - E_i)}{N} \quad (8)$$

در این روابط  $E_i$  مقادیر تبخیر مشاهداتی و  $E_o$  تبخیر تخمینی می‌باشد.  $N$  نیز نشانگر تعداد داده‌ها می‌باشد.

## نتایج و بحث

در این پژوهش تبخیر از تشک از طریق دو مدل غیرخطی برنامه‌ریزی بیان‌ژن و عصبی- فازی (با تابع گوسی) در ایستگاه‌ها با ورودی‌های مختلف در قالب ۱۳ الگو محاسبه گردید. به منظور انتخاب ساختار بهینه هر مدل الگوهای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفتند. در

جدول ۲ مقادیر ضریب تبیین و خطای الگوهای مختلف مدل برنامه‌ریزی بیان‌ژن در بخش آزمون ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داده شده است.

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۲ الگوی سیزدهم مدل برنامه‌ریزی بیان‌ژن در ایستگاه بیرجند با  $R^2=0.07$  و  $RMSE=2/6$ ،  $MBE=1/2$  در ایستگاه فردوس با  $R^2=0.073$ ،  $RMSE=2/1$  و  $MBE=0.058$  در ایستگاه خوربیرجند با  $R^2=0.072$ ،  $RMSE=3/42$  و  $MBE=0.047$  در ایستگاه بشرویه با  $R^2=0.079$  و  $RMSE=1/44$ ،  $MBE=0.16$  در ایستگاه قائن با  $R^2=0.076$ ،  $RMSE=2/04$  و  $MBE=1/1$  در ایستگاه نهبندان با  $R^2=0.076$  و  $RMSE=2/76$ ،  $MBE=0.35$  به عنوان بهترین الگو انتخاب گردید.

در جدول ۳ مقادیر ضریب تبیین و خطای الگوهای مختلف مدل عصبی- فازی آزمون ایستگاه‌ها نشان داده شده است.

با توجه به نتایج جدول ۳ دیده می‌شود که در مدل عصبی- فازی نیز الگوی ۱۳، از کارایی بالاتری نسبت به دیگر الگوها برخوردار است. همچنین الگوی دوم نیز از نتایج خوبی در ایستگاه‌ها برخوردار است. به بیان دیگر می‌توان گفت که در همه ایستگاه‌ها پارامترهای دمای متوسط، رطوبت نسبی و سرعت باد بیشترین تاثیر را در برآورد متوسط تبخیر ماهانه در ایستگاه‌های استان خراسان جنوبی دارد. شکل ۳ نمودار مقایسه مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده تبخیر از تشک دو مدل در کلیه ایستگاه‌ها را برای الگوی ۱۳ نشان می‌دهد. همچنین در شکل ۴ مقایسه مقادیر بدست آمده تبخیر دو مدل که از الگوی ۱۳ بدست آمده است را نشان می‌دهد.

<sup>1</sup> determination coefficient

<sup>2</sup> Root Mean Square Errors

<sup>3</sup> Mean Absolute Error

جدول ۲. ضریب تبیین و خطای الگوهای مختلف مدل برنامه‌ریزی بیان‌ژن در بخش آزمون ایستگاه‌های مورد مطالعه.

ایستگاه	شاخص	الگوهای برنامه‌ریزی بیان‌ژن												
		(mm)	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
فردوس	MBE	-۰/۶۹	-۰/۴۳	-۰/۱۷	-۰/۶۲	-۰/۵۵	-۱/۱	-۰/۵۷	-۰/۴	-۰/۳۲	-۰/۹۶	-۰/۵۶	-۱/۰۱	۰/۵۸
	RMSE	۳/۷۹	۲/۱	۲/۲	۲/۳۴	۳/۱۷	۳/۴۸	۳/۱	۲/۱	۲/۱۱	۲/۵۳	۲/۳۶	۲/۴۹	۲/۱
	R <sup>2</sup>	۰/۰۶	۰/۷۱	۰/۶۷	۰/۶۵	۰/۳۷	۰/۲۵	۰/۴	۰/۷۱	۰/۷	۰/۶۳	۰/۶۴	۰/۶۵	۰/۷۳
بیرجند	MBE	۱/۶۲	۱/۰۷	۰/۹۳	۰/۷۸	۰/۷۳	۰/۳۸	۱/۸۹	۱/۰۹	۱/۱۷	۱/۰۳	۰/۸۹	۱/۱	۱/۲
	RMSE	۳/۷۳	۲/۷	۲/۸	۲/۷۶	۳/۶۱	۳/۸	۳/۵۱	۲/۶۳	۲/۷۴	۲/۵۴	۲/۸	۲/۹	۲/۶
	R <sup>2</sup>	۰/۳۷	۰/۶۶	۰/۶	۰/۵۹	۰/۲۶	۰/۱۸	۰/۴۸	۰/۶۶	۰/۶۵	۰/۶۸	۰/۵۸	۰/۶۲	۰/۷
خوربیرجند	MBE	-۰/۱۸	-۰/۵۴	-۰/۴۴	۰/۷۵	۰/۳۹	-۰/۱۷	-۰/۱۱	-۰/۴۲	-۰/۹۱	-۰/۴۸	-۰/۴۳	-۰/۶۲	۰/۴۷
	RMSE	۵/۳۷	۴/۰۷	۴/۰۳	۴/۵۵	۵/۸۷	۴/۸۸	۴/۵۱	۵/۲۶	۴/۰۴	۳/۸۷	۳/۷۵	۳/۴۶	۳/۴۲
	R <sup>2</sup>	۰/۳	۰/۶	۰/۶۳	۰/۵	۰/۱۴	۰/۴	۰/۳	۰/۶۱	۰/۶۴	۰/۶۶	۰/۵	۰/۷۱	۰/۷۲
بشرویه	MBE	۰/۲	-۰/۱۴	-۰/۱۶	-۰/۱۱	۰/۴۳	۰/۳۵	۰/۷۱	-۰/۰۲	۰/۳۱	-۰/۲۱	-۰/۰۲	-۰/۲۱	۰/۱۶
	RMSE	۳/۰۲	۱/۵۶	۱/۶۳	۱/۸۳	۲/۵۱	۲/۵۶	۲/۵۵	۲/۶۱	۱/۵۲	۱/۵۳	۱/۸۲	۱/۶۵	۱/۴۴
	R <sup>2</sup>	۰/۱	۰/۷۵	۰/۷۳	۰/۶۵	۰/۳۷	۰/۳۳	۰/۴۳	۰/۷۳	۰/۷۷	۰/۷۶	۰/۶۶	۰/۷۲	۰/۷۹
نهبندان	MBE	۰/۸۳	۱/۱۱	۰/۷۹	۱/۰۱	-۰/۱۸	۰/۲۴	۰/۵۳	۰/۶۱	۰/۸	۰/۶۶	۰/۴۹	۰/۶۱	۰/۳۵
	RMSE	۳/۶۷	۳/۶۷	۳/۲۸	۴/۳۷	۴/۵۳	۴/۵	۳/۳۹	۳/۴۶	۲/۹۱	۳/۳۵	۴/۰۷	۲/۹۲	۲/۷۶
	R <sup>2</sup>	۰/۵۸	۰/۶	۰/۶۷	۰/۴۳	۰/۳۵	۰/۳۴	۰/۶۴	۰/۶۲	۰/۷۵	۰/۶۵	۰/۴۷	۰/۷۴	۰/۷۶
قائن	MBE	۱/۰۵	۱/۲	۱/۲۴	۱	۰/۸۳	۰/۵۲	۰/۸۷	۱/۲۸	۱	۰/۹	۱/۰۶	۰/۸	۱/۱
	RMSE	۲/۸۳	۲/۳۲	۲/۵۹	۲/۵۴	۳/۱۸	۳/۲۱	۲/۵۷	۲/۵۳	۲/۲۴	۲/۲۳	۲/۴۷	۲/۱۸	۲/۰۴
	R <sup>2</sup>	۰/۴۳	۰/۶۸	۰/۶۲	۰/۵۵	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۵۱	۰/۶۹	۰/۷	۰/۶۶	۰/۵۹	۰/۶۹	۰/۷۶

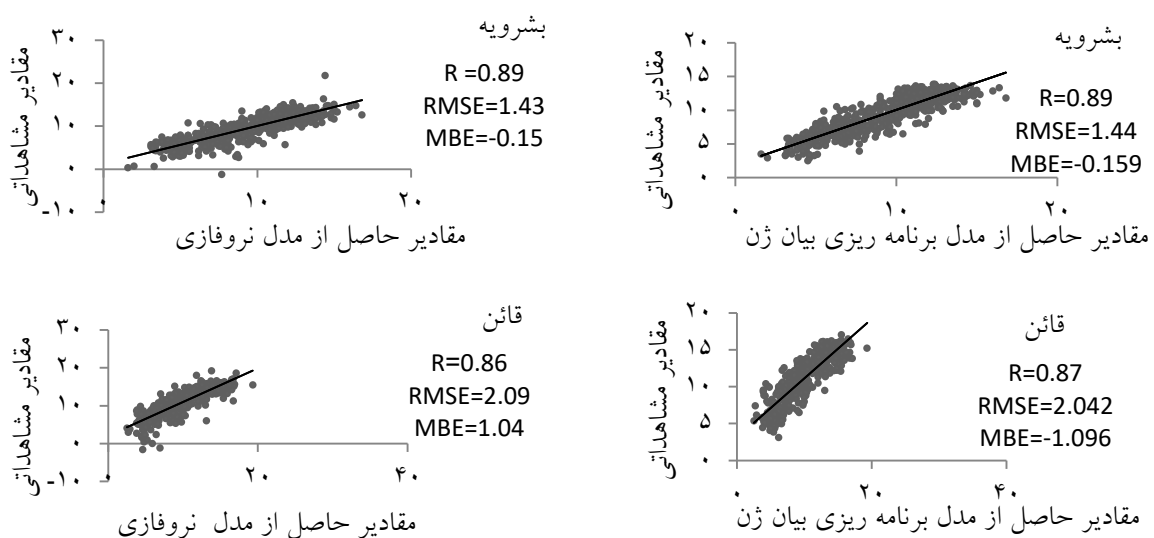
نتایج حاصل از بررسی و ارزیابی نتایج در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود کلیه ایستگاه‌ها دارای ضریب تبیین بالای ۰/۶ هستند که نشان دهنده عملکرد مناسب هر دو مدل است.

با توجه به شکل‌های ۵ و ۶ مدل برنامه‌ریزی بیان‌ژن نتایج نزدیک تری در برآورد تبخیر از تشتک دارد. مقایسه مقادیر مشاهداتی و تبخیر حاصل از دو مدل نشان دهنده عملکرد بهتر مدل برنامه‌ریزی بیان‌ژن نسبت به مدل

عصبی- فازی می‌باشد. این نتایج با نتایج حاصل از مطالعات Shiri و Kisi (۲۰۱۲) که به تخمین تبخیر تشتک به کمک برنامه‌ریزی بیان‌ژن و عصبی- فازی پرداختند و Terzi (۲۰۱۳) که مقایسه برنامه‌ریزی بیان‌ژن و عصبی- فازی را به منظور برآورد تبخیر روزانه دریاچه‌ای در ترکیه انجام و نشان دادند که برنامه‌ریزی بیان‌ژن نسبت به عصبی- فازی نتایج بهتری دارد مطابقت دارد.

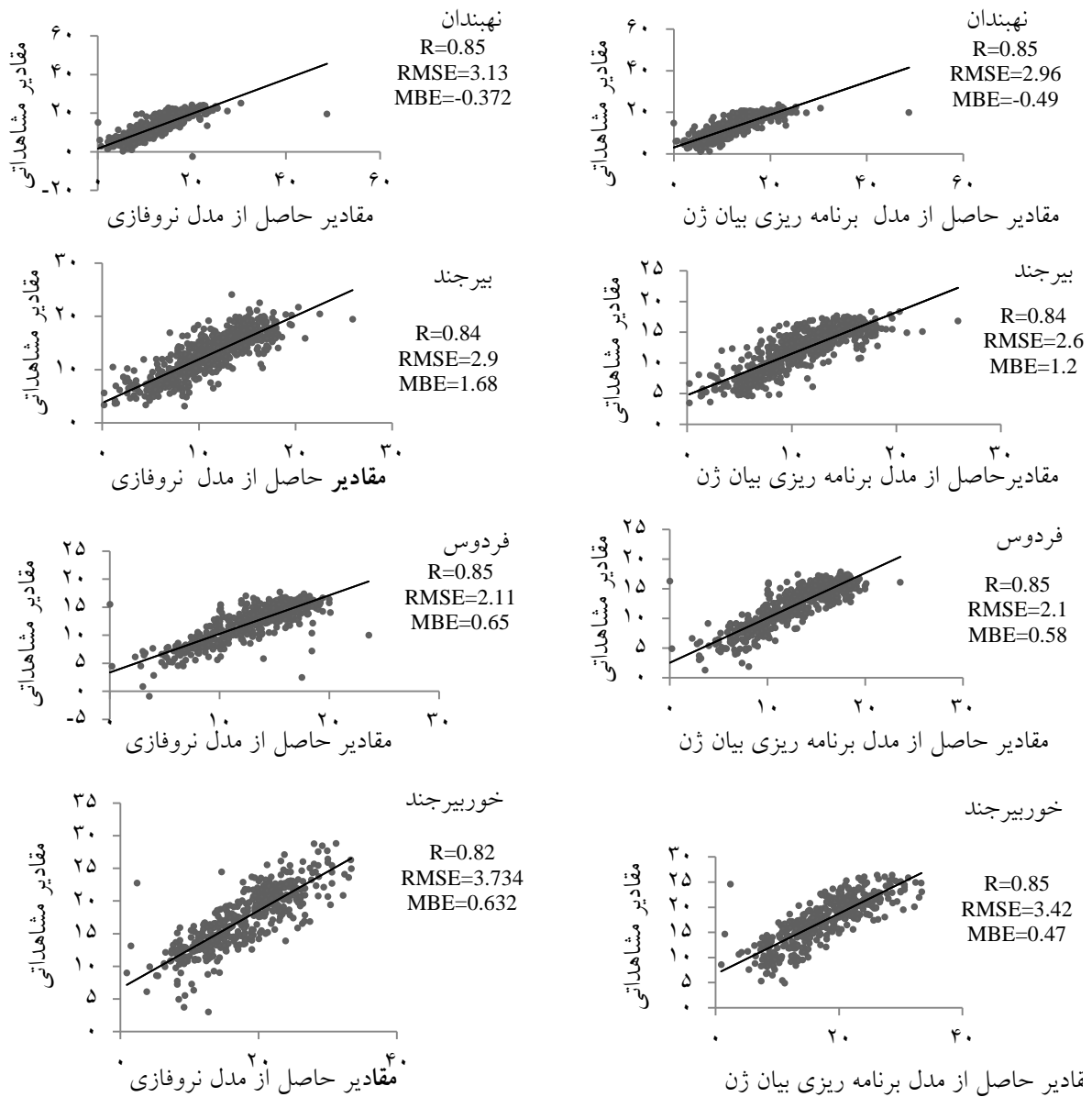
جدول ۳. ضریب تبیین و خطای الگوهای مختلف مدل عصبی - فازی در بخش آزمون ایستگاه‌ها

ایستگاه	شاخص	الگوهای برنامه‌ریزی بیان ژن												
		(mm)	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
فردوس	MBE	-۰/۹۱	-۰/۵۷	-۰/۳۶	-۰/۷۷	-۰/۸۵	-۱/۴۱	-۰/۹	-۰/۷	-۰/۶	-۰/۷۵	-۰/۷۶	-۰/۹۱	۰/۶۵
	RMSE	۳/۸	۲/۱۹	۲/۲۳	۲/۴	۳/۲۲	۳/۷۱	۳/۱۵	۲/۱۶	۲/۱۶	۲/۱۸	۲/۳۸	۴/۸۹	۲/۱۱
	R <sup>2</sup>	۰/۰۶	۰/۶۹	۰/۶۷	۰/۶۵	۰/۳۷	۰/۲	۰/۴۱	۰/۷	۰/۷۱	۰/۷۱	۰/۶۶	۰/۲	۰/۷۳
بیرجند	MBE	۱/۸۱	۱/۱۹	۱/۲۲	۱/۰۳	۰/۵۱	۰/۳۶	۱/۷۵	۱/۱۴	۱/۸	۱/۱۱	۱/۰۳	۱/۳۲	۱/۶۸
	RMSE	۳/۹۲	۲/۷	۲/۸۲	۲/۸۵	۳/۵۷	۳/۸۱	۳/۶۷	۲/۶۵	۲/۶	۲/۸۷	۲/۸۷	۵/۴۴	۲/۹۱
	R <sup>2</sup>	۰/۳۹	۰/۶۵	۰/۶۲	۰/۵۸	۰/۲۷	۰/۱۶	۰/۳۹	۰/۶۶	۰/۶۷	۰/۶۸	۰/۵۸	۰/۳۱	۰/۷۰
خوربیرجند	MBE	-۱/۰۵	-۱	-۰/۷۶	-۰/۷۷	۰/۳۴	-۰/۴۲	۰/۰۰۲	-۰/۷۸	-۰/۵۵	-۰/۹۵	-۰/۲۳	۰/۶۳	
	RMSE	۵/۴۱	۴/۲۴	۴/۱۷	۴/۴۲	۵/۸۸	۵/۱۸	۴/۸	۴/۲۹	۴/۳۴	۴/۷۵	۶/۲۱	۳/۷۳	
	R <sup>2</sup>	۰/۳۱	۰/۵۹	۰/۶	۰/۵۱	۰/۱۷	۰/۳۵	۰/۴۴	۰/۵۷	۰/۵۳	۰/۴۷	۰/۳۱	۰/۶۷	
بشرویه	MBE	۰/۳۷	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۵۹	۰/۴۵	۱/۲۷	۰/۰۱	۰/۵۴	۰/۲۱	۰/۰۲	۰/۱۵	
	RMSE	۳/۰۱	۱/۶۱	۱/۷	۱/۸۳	۲/۶	۲/۵۲	۲/۶۸	۱/۵۸	۱/۵۹	۱/۵۶	۱/۸۲	۱/۴۳	
	R <sup>2</sup>	۰/۱	۰/۷۴	۰/۷۲	۰/۶۵	۰/۳۵	۰/۳۸	۰/۴۳	۰/۷۴	۰/۷۷	۰/۷۶	۰/۶۶	۰/۸	
نهبندان	MBE	۱/۳۲	۱/۱	۰/۹۵	۱/۰۵	-۰/۷۴	۰/۳	۰/۱۷	۰/۸۴	۱/۲۴	۰/۹۴	۰/۸	۰/۳۷	
	RMSE	۳/۷۹	۳/۷	۳/۳۲	۴/۳۵	۴/۵۵	۴/۶۶	۳/۶۸	۳/۵۶	۴/۷۹	۵/۰۲	۴/۲۴	۳/۱۳	
	R <sup>2</sup>	۰/۵۸	۰/۵۹	۰/۶۷	۰/۴۱	۰/۳۴	۰/۲۹	۰/۵۹	۰/۶۱	۰/۴۷	۰/۳۹	۰/۴۳	۰/۷۳	
قائن	MBE	۱/۱	۱/۳	۱/۴	۱/۲	۱	۰/۹۲	۰/۷۹	۱/۲۶	۱/۰۴	۱/۱۱	۱/۲۹	۰/۹۸	
	RMSE	۲/۸۷	۲/۴	۲/۵۷	۲/۵۹	۳/۲۶	۳/۲۳	۲/۵۲	۲/۳۳	۲/۰۹	۲/۳	۲/۶۴	۲/۲۱	
	R <sup>2</sup>	۰/۴۴	۰/۶۷	۰/۶۴	۰/۵۶	۰/۲	۰/۲۲	۰/۵۲	۰/۶۹	۰/۷۴	۰/۶۹	۰/۲۵	۰/۷۲	



شکل ۳. نمودار مقادیر مشاهداتی و محاسباتی تبخیر حاصل از دو مدل در مرحله آزمون (الگوی ۱۳) ایستگاه‌های قائن و بشرویه

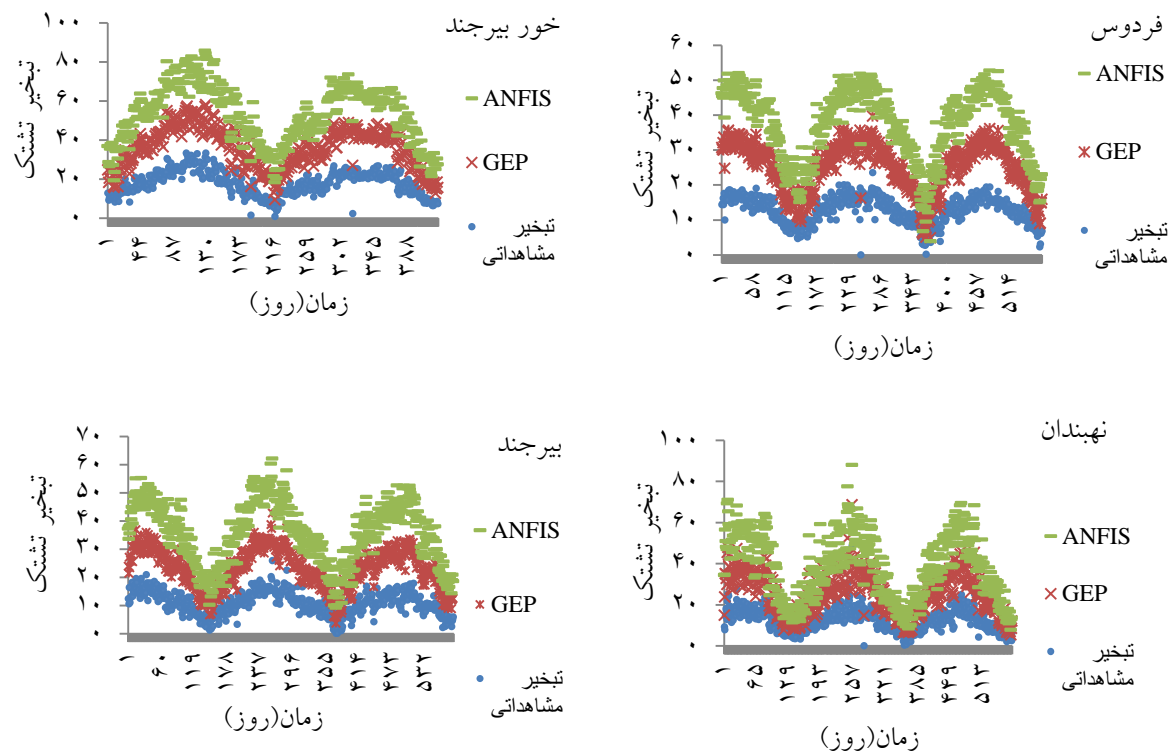




شکل ۴. نمودار مقادیر مشاهداتی و محاسباتی تبخیر حاصل از دو مدل در مرحله آزمون (الگوی ۱۳) ایستگاه‌های نهبندان، بیرجند، فردوس و خوربیرجند



شکل ۵. نمودار مقادیر مشاهداتی و مقادیر برآورد شده تبخیر حاصل از مدل ANFIS و GEP در مرحله آزمون الگوی ۱۳ ایستگاه‌های بشرویه و قائن



شکل ۶. نمودار مقادیر مشاهداتی و مقادیر برآورد شده تبخیر حاصل از مدل GEP و ANFIS در مرحله آزمون الگوی ۱۳ ایستگاه‌های فردوس، خور بیرجند، نهبندان و بیرجند

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه برآورد مقادیر تبخیر از تشک استان خراسان جنوبی با استفاده از دو مدل برنامه‌ریزی بیان‌ژن و عصبی- فازی مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی فردوس، بیرجند، بشرویه، خوربیرجند، نهبندان و قائن در مقیاس زمانی روزانه استفاده گردید. در این تحقیق برای بررسی تاثیر هر یک از پارامترهای هواشناسی بر روی مقادیر برآوردی تبخیر ۱۳ الگو تعریف گردید. برای ارزیابی نتایج الگوها برای هر مدل از معیارهای ارزیابی  $R^2$ ، RMSE و MBE استفاده شد. نتایج حاصل از این مطالعه را می‌توان بصورت زیر خلاصه نمود:

- ۱- در هر دو مدل از بین الگوهای مورد مطالعه الگوی ۱۳ که شامل همه پارامترهای هواشناسی می‌باشد، دارای بالاترین کارایی بوده است.
- ۲- به طور کلی میانگین دمای روزانه بیشترین تاثیر را در برآورد تبخیر این استان داشت (به جز دو ایستگاه نهبندان و خوربیرجند که میانگین دمای حداقل بیشترین تاثیر را روی مدل‌سازی تبخیر داشت). که با نتایج Traore و همکاران (۲۰۱۰) که تبخیر و تعرق مرجع را با استفاده از روش شبکه‌عصبی بررسی و موثرترین عامل را دما مشخص کردند و همچنین با نتایج تحقیق نورانی و سیاح فرد (۱۳۹۰) که آنالیز حساسیت داده‌های ورودی به شبکه عصبی مصنوعی را به منظور برآورد مقدار تبخیر روزانه انجام دادند هم‌خوانی دارد.
- ۳- با توجه به معیارهای ارزیابی در الگوهای برتر در هر دو مدل مشخص شد مدل برنامه‌ریزی بیان‌ژن از دقت

بالاتری در برآورد مقادیر تبخیر روزانه نسبت به مدل عصبی-فازی برخوردار می‌باشد. در مجموع نتایج نشان داد مهم‌ترین پارامتر در برآورد مقادیر تبخیر در استان خراسان جنوبی میانگین دما می‌باشد. با توجه به نتایج حاصله می‌توان اظهار داشت که

روش GEP در تخمین تبخیر تشتک دقت قابل قبولی از خود نشان می‌دهد. در خصوص مناسب بودن و قابل اطمینان بودن مدل‌ها، با مراجعه به جدول‌ها و اشکال می‌توان دریافت که هر دو مدل با در نظر گرفتن پارامترهای بیشتر به دقت آنها افزوده می‌شود.

### فهرست منابع

- پیری، ج، انصاری، ح. و فرید حسینی، ع. ۱۳۹۲. مدلسازی تابش خورشید رسیده به زمین با استفاده از ANFIS و مدل‌های تجربی مطالعه موردی: ایستگاه‌های زاهدان و بجنورد، نشریه انرژی ایران. ۳۷-۵۸: ۱۶ (۳).
- امینی رکان، ا. ۱۳۹۲. مدل‌سازی درجه حرارت هوا با استفاده از هوش مصنوعی در نمونه‌های اقلیمی ایران، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد منابع آب. دانشکده آب و خاک. دانشگاه زابل. ۱۴۲ صفحه.
- شادمانی، م. و معروفی، ص. ۱۳۹۰. مقایسه چند روش برآورد تبخیر روزانه از تشتک- مطالعه موردی منطقه کرمان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک ۸۳-۶۹: ۱۵(۵۵).
- شایان نژاد، م. ۱۳۸۵. مقایسه روش‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی و پنمن - مانیتث در محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل، همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز. ۵۳۱-۵۳۷.
- شعبی نوبریان، م. و دربندی، ص. ۱۳۹۲. پیش‌بینی میزان تبخیر- تعرق پتانسیل معادله فائو- پنمن- مونیتث با استفاده از برنامه‌ریزی ژنتیک، دومین کنفرانس بین‌المللی مدل‌سازی گیاه، آب، خاک و هوا، کرمان، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته. ۱۲ص.
- علیرضا، م. ۱۳۸۷. مقدمه‌ای بر الگوریتم‌های ژنتیک و کاربردهای آن. ۱. انتشارات زانیس، تهران. ۱۴۴ صفحه.
- کولائیانی، ع. غلامی سفید کوهی م. و ضیاتبارا احمدی، م. ۱۳۹۲. ارزیابی روش‌های نوین محاسباتی در برآورد تبخیر و تعرق روزانه مطالعه موردی دشت ناز- ساری، دوازدهمین همایش ملی آبیاری کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان. بهمن ماه.
- مساعدی، ا. و قبائی سوق، م. ۱۳۹۰. برآورد تبخیر روزانه از تشت تبخیر با استفاده از سیستم استنتاج تطبیقی عصبی-فازی، مجله پژوهش آب ایران، ۵(۸): ۱۷۰-۱۶۱.
- میرمراذهی، ج. ۱۳۹۱. برآورد تبخیر روزانه از تشت با استفاده از روش‌های هوش مصنوعی در جنوب استان سیستان و بلوچستان، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد منابع آب، دانشکده آب و خاک دانشگاه زابل. ۱۲۴ صفحه.
- نجفی، م. عظیمی، و. و شایان نژاد، م. ۱۳۹۳. ارزیابی دقت روش‌های هوشمند و آنالیز حساسیت تبخیر - تعرق گیاه مرجع به پارامترهای هواشناسی در دو اقلیم مختلف، اکوهیدرولوژی، ۱(۱): ۲۴-۱۷.
- نورانی، و. و سیاح فرد، م. ۱۳۹۰. آنالیز حساسیت داده‌های ورودی به شبکه عصبی مصنوعی به منظور برآورد مقدار تبخیر روزانه. آب و فاضلاب ۳: ۲۴-۸۷.

- Dogan, E. Gumrukcuoglu, M. Sandalci, M. And Opan, M. 2010. Modelling of evaporation from the reservoir of yuvacik dam using adaptive neuro-fuzzy inference systems. Engineering Applications of Artificial Intelligence. 23: 961-967.
- Güven, A. And Kisi, O. 2011. Daily pan evaporation modeling using linear genetic programming technique. Irrigation Science. 29(2):135-145.
- Hatice, C. Murat, C. And Tefaruk, H. 2014. Estimation of Monthly Mean Reference Evapotranspiration in Turkey. Water Resources Management. 28: 99-113.
- Kisi, O. And Zounemat-Kermani, M. 2014. Comparison of Two Different Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems in Modelling Daily Reference Evapotranspiration. Water Resources Management. 28: 2655-2675.

- Piri, J. And Ansari, H. 2012. Daily Pan Evaporation Modelling With ANFIS and NNARX. *Iran Agricultural Research*. 31(2): 51-64.
- Seydou, T. And Aytac, G. 2012. Regional-Specific Numerical Models of Evapotranspiration Using Gene-Expression Programming Interface in Sahel. *Water Resources Management* 2012. 26: 4367-4380.
- Shiri, J. And Kisi, O. 2012. Application of Artificial Intelligence to Estimate Daily Pan Evaporation Using Available and Estimated Climatic Data in the Khozestan Province (South WesternIran). *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 137(7): 412-425.
- Terzi, O. 2013. Daily pan evaporation estimation using gene expression programming and adaptive neural based fuzzy inference system. *Journal Computing & Applications*. 23(3): 1035-1044.
- Traore, S. Wang, Y M. and. Kerh, T. 2010. Artificial neural network for modeling reference evapotranspiration complex process in Sudano-Sahelian zone, *Agricultural Water Management*. 97:707-714.



ISSN 2251-7480

## Comparison of gene expression programming (GEP) and neuro-fuzzy methods for estimation of pan evaporation (case study: south Khorasan province)

Parviz Haghighatjou<sup>\*1</sup>, Zahra Muhammad Zadeh Shahroudi<sup>2</sup> and Omolbanin Mohammad Reza Pour<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Assistant Professor Department of Water Engineering, University of Zabol, Iran

\*Corresponding author email: [parvizhjou@uoz.ac.ir](mailto:parvizhjou@uoz.ac.ir)

2) M.S., Zabol University, Zabol, Iran

3) Assistant Professor Department of Water Engineering, University of Zabol, Iran

Received: 07-12-2016

Accepted: 18-04-2017

### Abstract

Accurate estimation as one of the important elements of the hydrological cycle of evaporation play an important role in the development and management of water resources plays countries facing a water crisis. so far methods, and many empirical formulas in estimating the nonlinear process evaporation of the basin, which provide high accuracy and as well as access to all the input parameters problem or measure they need a lot of time and money. The aim of this study was to compare of ability of Gene expression programming and neuro-fuzzy methods for estimation of evaporation in South Khorasan province. For this purpose daily data collected from occurs six synoptic stations during years 1990-2010. Input parameters are daily mean temperature, relative humidity, max and min temperature, wind speed and sun shine. Finally, to evaluate of models and compare them criteria such as coefficient of determination ( $R^2$ ) and Mean Bias Error (MBE) and Root Mean Square Error (RMSE) and MBE is used. Compression of result in test period showed the GEP Model has better performance than the neuro-fuzzy model to estimate the daily evaporation. The best result of GEP is  $R^2=0.79$ , RMSE= 1.44 and MBE=0.35 in Boshroie station and worst is  $R^2=0.7$ , RMSE= 2.6 and MBE=1.2 in Birgand station. Also the results showed the main factor in estimation of evaporation is mean temperature in all station except that mine temperature is impact parameter.

**Keywords:** Gene expression programming, nero-fuzzy, pan evaporation, south Khorasn