



ارزیابی عملکرد برنامه‌ریزی ژنتیک در مدل‌سازی دمای متوسط ماهانه در نمونه‌های اقلیمی مختلف

ایران

امین امینی رکان^۱، پرویز حقیقت‌جو^۲، کیوان خلیلی^۳، جواد بهمنش^{۴*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۳/۱۹

چکیده

میانگین دمای ماهانه از کمیت‌های مهم در مطالعات اقلیم‌شناسی کشاورزی است و به‌این دلیل روش‌های متنوعی برای محاسبه آن ارائه شده است. در مطالعه حاضر، از روش برنامه‌ریزی ژنتیک (GP) برای مدل‌سازی دمای متوسط ماهانه در ۱۱ ایستگاه سینوپتیک ایران با تنوع اقلیمی سرد و خشک تا گرم و خشک استفاده گردید. رهیافت فوق‌طی دو مرحله اجرا گردید: ۱- آموزش مدل جهت تخمین سری زمانی داده‌ها ۲- صحت‌سنجی مدل توسعه یافته با استفاده از داده‌های واقعی. داده‌های مورد مطالعه در این تحقیق، سری زمانی دمای متوسط ماهانه می‌باشد که در شش الگوی حافظه‌ای (تأخیری) متفاوت آموزش دیدند. در مرحله دوم برای ارزیابی این مدل‌ها از مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد. در نهایت مدل‌هایی با دقت قابل قبول برای ایستگاه‌های مطالعاتی پیشنهاد شد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که روش برنامه‌ریزی ژنتیک روش مناسبی برای مدل‌سازی کمیت میانگین دمای ماهانه می‌باشد. قابل ذکر است که دقت و کارایی این روش در مناطق و اقلیم‌های مختلف، متفاوت بوده و ضرایب به‌دست آمده در سایر اقلیم نیازمند واسنجی است. در میان ایستگاه‌های مطالعاتی، بهترین مدل برای ایستگاه زابل با ضریب تبیین ۰/۹۶ و مجذور میانگین مربعات خطا ۱/۹ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی ژنتیک، دمای متوسط ماهانه، مدل‌سازی

مقدمه

کشاورزی و مقدار تبخیر تعرق افزایش می‌یابد. در ایران تحقیقی بر روی همبستگی پارامترهای اقلیمی و عملکرد محصول گندم در همدان انجام گردید که در نتایج حاصل از این تحقیق، تأثیر دمای هوا بر روی عملکرد محصول گندم، مخصوصاً در فصل بهار بسیار مشهود است (سبزی پرور و همکاران، ۱۳۹۱). همچنین مطالعه دیگری نشان می‌دهد که افزایش دما در سال‌های آینده باعث افزایش تبخیر تعرق و کم شدن بارندگی در استان خراسان رضوی خواهد شد (بابائیان و کوهی، ۱۳۹۱). بنابراین ارتباط پیچیده‌ای بین پارامترهای اقلیمی وجود دارد و این ارتباط در نهایت منابع آب و کشاورزی را از طریق فرآیند تبخیر تعرق تحت تأثیر قرار می‌دهد (دودانگه و همکاران، ۱۳۹۱). نظر به این که مسئله تغییر اقلیم موضوعی جهانی است، کم و بیش تمام کشورهای جهان متأثر از آن بوده و کشور ایران نیز مستثنی

کشور ایران در منطقه اقلیمی و جغرافیایی خاصی از کره زمین واقع هست که مسئله آب در رأس مشکلات توسعه کشاورزی پایدار قرار دارد و دما در ایران به‌عنوان کشوری خشک و نیمه‌خشک حائز اهمیت فراوان است (سیمائی و خشتکار ثانی، ۱۳۹۰). افزایش میانگین سالانه آب مصرفی در جهان شدیداً در ارتباط با افزایش دما است (مکیب^۵ و والاک^۶، ۱۹۹۲). در صورت افزایش دما، آب مصرفی

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه زابل

^۲ استادیار گروه آب، دانشگاه زابل

^۳ استادیار گروه آب، دانشگاه ارومیه

^۴ دانشیار گروه آب، دانشگاه ارومیه

*نویسنده مسئول: (j.behmanesh@urmia.ac.ir)

^۵ Mccabe

^۶ Wolock

نشان‌دهنده دقت بالای این روش‌ها در مقایسه با روش‌های آماری می‌باشد. یکی دیگر از روش‌های نوین هوش مصنوعی، روش برنامه‌ریزی ژنتیک است. این روش در پیش‌بینی رواناب در حوضه اورگوال فرانسه (خو^{۱۳} و همکاران، ۲۰۰۱)، مطالعه فرآیند بارش-رواناب (لیونگ^{۱۴} و همکاران، ۲۰۰۲؛ کیسی^{۱۵} و همکاران، ۲۰۱۳)، حمل رسوب (آیتک^{۱۶} و کیسی، ۲۰۰۸)، پیش‌بینی دبی عبوری از یک مقطع رودخانه (عظمت‌الله و ظهیری، ۲۰۱۲)، و مدل‌سازی باران-های موسمی در شبه قاره هند (ستیش کومار و میتی^{۱۷}، ۲۰۱۲) مورد استفاده قرار گرفته است و برتری این روش نسبت به سایر روش‌های هوش مصنوعی اثبات گردیده است (احمدزاده قره‌گویز و همکاران، ۱۳۸۹). وانگ^{۱۸} و همکاران در سال ۲۰۰۹ با استفاده از چند روش هوش مصنوعی اقدام به پیش‌بینی و مدل‌سازی دبی ماهانه رودخانه نموده‌اند، نتایج تحقیق آن‌ها نشان‌دهنده برتری روش برنامه‌ریزی ژنتیک در مدل‌سازی می‌باشد. همچنین این روش یکی از بهترین روش‌ها برای مدل‌سازی و تخمین دمای هوا می‌باشد که در این مورد می‌توان به مطالعات جدیدی مانند استانیس لاوزکا^{۱۹} و همکاران (۲۰۱۳) اشاره نمود. در این تحقیق آن‌ها دمای متوسط کره زمین را با استفاده از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی و برنامه‌ریزی ژنتیک مدل‌سازی کرده و نشان داده‌اند که روش برنامه‌ریزی ژنتیک بهترین روش برای تخمین و مدل‌سازی دما می‌باشد. شهید^{۲۰} و همکاران (۲۰۰۷) در تحقیقی از دو روش برنامه‌ریزی ژنتیک و شبکه‌های عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی دمای ماهانه استفاده نموده‌اند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که روش برنامه‌ریزی ژنتیک یکی از بهترین روش‌ها برای مدل‌سازی دمای متوسط ماهانه می‌باشد. هدف این تحقیق بررسی کاربرد روش برنامه‌ریزی ژنتیک در مدل‌سازی دمای هوا می‌باشد. به‌این منظور با استفاده از برنامه‌ریزی ژنتیک، دمای متوسط

از این قاعده نیست. بنابراین، شناخت هرچه بیشتر و بهتر اقلیم و تغییرات مؤلفه‌های آن مثل دما، در مسائل و برنامه‌ریزی‌های کشور سودمند واقع می‌گردد (خوش‌اخلاق و همکاران، ۱۳۹۰). دمای هوا یکی از مؤلفه‌های ورودی مدل-های ارزیابی اراضی و نیز مدل‌های هیدرولوژیکی و اکولوژیکی می‌باشد (بناویدز^۱ و همکاران، ۲۰۰۷). چنین مدل‌هایی از دمای هوا به منظور استخراج مقادیر تبخیر آب، هوا دیدگی خاک و محصول گیاه بهره می‌برند (داتسن^۲ و مارکز^۳، ۱۹۹۷). زازل^۴ و کاکس (۱۹۷۵) در مطالعاتی نشان دادند که دمای هوا مهم‌ترین پارامتر در تخمین مقادیر ذوب برف می‌باشد. مطالعات بسیاری برای تبیین مدل‌های پیش-بینی دما انجام گرفته که از آن جمله می‌توان به مدل‌های تجربی و نیمه تجربی بگدونز^۵ و همکاران (۱۹۷۸)، برانت^۶ (۱۹۴۱) و جاگر^۷ (۱۹۴۵) اشاره کرد. روابط یاد شده حالت منطقه‌ای دارند یعنی در منطقه مورد مطالعه می‌توان استفاده نمود. برخی از مدل‌ها نیز برای پیش‌بینی دمای حداقل روزانه به کار برده می‌شود، مانند: فیگورلا و مازو^۸ (۱۹۹۷) و کراسویتسکی^۹ و همکاران (۱۹۹۶). پارامترهایی مثل دما که از روابط پیچیده ریاضی تبعیت می‌کنند با روش‌های هوش مصنوعی نظیر شبکه عصبی مصنوعی و برنامه‌ریزی ژنتیک به‌سادگی مدل‌سازی می‌شوند. دقت تخمین این روش‌ها بهتر از روش‌های تجربی و نیمه تجربی یاد شده می‌باشد. دانشمندان بسیاری با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی اقدام به مدل‌سازی دما و تخمین مقادیر آن پرداخته‌اند (دمبایچ و گولجو^{۱۰}، ۲۰۰۹؛ اسمیت^{۱۱} و همکاران، ۲۰۰۹؛ آلموناسید^{۱۲} و همکاران، ۲۰۱۳). همچنین مدل‌سازی تبخیر تعرق گیاه مرجع در ایران احمدزاده قره‌گویز و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از هوش مصنوعی

¹ Benavides

² Dadson

³ Marks

⁴ Zuzel & Cox

⁵ Bagdonas

⁶ Brunt

⁷ Jaeger

⁸ Figuerola & Mazzeo

⁹ Krasovitski

¹⁰ Dombayc & Gölcü

¹¹ Smith

¹² Almonaced

¹³ Khu

¹⁴ Liong

¹⁵ Kisi

¹⁶ Aytak

¹⁷ Satishkumar & Maity

¹⁸ Wang

¹⁹ Stanislawska

²⁰ Shahid

بسیاری دارد. در این موارد برنامه‌ریزی ژنتیک برای مشخص کردن ساختار پدیده‌های طبیعی یا مصنوعی در جهت تبیین مدل ریاضی از مسائل به کار گرفته می‌شود (سله و موتیل^۲، ۲۰۱۱). برنامه‌ریزی ژنتیک جزء الگوریتم‌های فراکاوشی محسوب می‌شود که مبنای این روش بر اساس الگوریتم ژنتیک و نظریه انتخاب طبیعی داروین استوار می‌باشد (هولند^۳، ۱۹۷۵). در این روش ابتدا یک تابع هدف برای مسئله مشخص می‌گردد، سپس با استفاده از یک فرآیند گام‌به‌گام ساختار تابع تغییر می‌کند تا در نهایت بهترین تابع هدف با کم‌ترین خطا به دست آید. روش برنامه‌ریزی ژنتیک جدیدترین شیوه از بین روش‌های الگوریتم تکاملی می‌باشد که به دلیل دارا بودن دقت کافی، از کاربرد بیشتری برخوردار است. تفاوت اساسی موجود بین برنامه‌ریزی ژنتیک و الگوریتم ژنتیک به طبیعت هر یک از افراد بر می‌گردد، به نحوی که افراد در الگوریتم ژنتیک، ردیف‌های خطی با طول ثابت می‌باشند (کروموزوم‌ها) ولی در برنامه‌ریزی ژنتیک، همان شاخه‌های مجزا می‌باشند. همچنین در برنامه‌ریزی ژنتیک بر ساختار درختی مجموعه‌ها تأکید می‌شود ولی الگوریتم ژنتیک، بر اساس سیستم ارقام دودویی عمل می‌نماید. در تحقیق حاضر از نرم‌افزار GeneXproTools برای توسعه و اجرای مدل‌های مبتنی بر برنامه‌ریزی ژنتیک استفاده به عمل آمد (فریرا، ۲۰۰۱). برنامه یاد شده بر اساس برنامه‌ریزی بیان (صریح) ژنتیک (GEP^۴) استوار است. برنامه‌ریزی صریح ژن ویرایش جدیدی از برنامه‌ریزی ژنتیک می‌باشد که به استنتاج برنامه‌های رایانه‌ای با اندازه‌ها و شکل‌های مختلف می‌پردازد. یکی از نقاط قوت آن این است که معیار تنوع ژنتیکی بسیار ساده بوده و لذا عملگرهای ژنتیک در سطح کروموزومی عمل می‌نمایند.

ماهانه هوا در اقلیم‌های گرم و خشک و سرد و خشک، مدل-سازی گردید. این مطالعه در شهرهای مشهد، تبریز، سنندج، قزوین و کرمانشاه از اقلیم سرد و خشک و یزد، کرمان، زاهدان، بم، طبس و زابل از اقلیم گرم و خشک انجام گرفت و نتایج با یکدیگر مقایسه شدند.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی

قسمت اعظم ایران در آب و هوای خشک قرار دارد که به دو بخش سرد خشک و گرم خشک تقسیم می‌شود. طبق پهنه‌بندی اقلیمی دین‌پژوه و همکاران (۱۳۸۲) ناحیه گرم و خشک وسیع‌ترین و بزرگ‌ترین ناحیه ایران است. کویرهای بزرگ ایران از جمله لوت و نمک در این ناحیه قرار دارند و دارای میانگین بارش سالانه معادل ۱۴۴ میلی‌متر می‌باشد. اختلاف میانگین دمای آن در گرم‌ترین و سردترین ماه سال بیش از ۲۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. اقلیم سرد و خشک از نظر موقعیت در بخش‌هایی از قسمت‌های مرکزی استان خراسان، سمنان، مرکزی، قزوین، کرمانشاه، کردستان و شمال آذربایجان شرقی و اردبیل گسترده شده است. بارش‌های آن نیز غالباً زمستانی هستند، طوری که بیش از ۴۰ درصد بارش‌ها در زمستان نازل می‌شوند. سری زمانی داده‌های متوسط ماهانه دمای هوا از ۱۱ ایستگاه سینوپتیک کشور با معیارهایی مانند داشتن حداقل ۳۰ سال داده، تراکم قابل قبول در سطح منطقه و نداشتن داده ناقص به منظور مدل‌سازی دمای هوا جمع‌آوری گردیدند. ایستگاه‌های سینوپتیک یزد، کرمان، زاهدان، بم، طبس و زابل از اقلیم گرم و خشک و ایستگاه‌های مشهد، تبریز، سنندج، قزوین و کرمانشاه از اقلیم سرد و خشک انتخاب گردیدند که در شکل ۱ مشاهده می‌کنید و مشخصات آماری هر ایستگاه در جدول ۱ قرار گرفته است.

برنامه‌ریزی ژنتیک

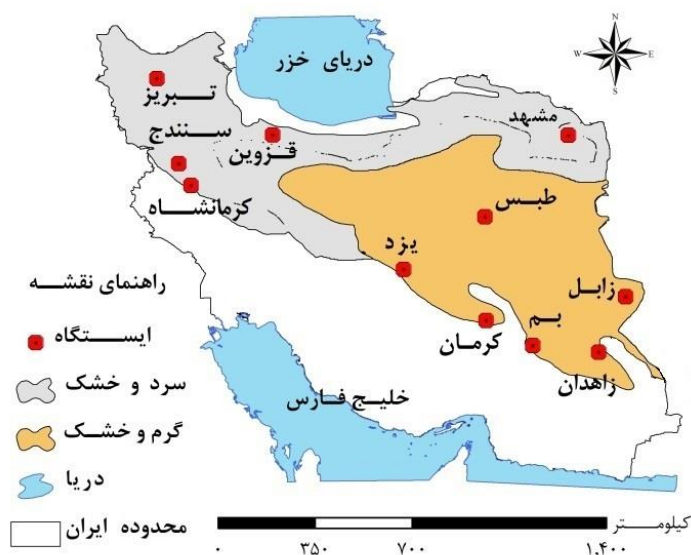
برنامه‌ریزی ژنتیک یک روش جدید برنامه‌نویسی خودمحمور می‌باشد (کوزا^۱، ۱۹۹۲). برای علم مهندسی، برنامه‌ریزی ژنتیک در مشخص کردن ساختار مدل کاربرد

² Selle & Muttill

³ Holland

⁵ Gene Expression Programming

¹ Koza



شکل ۱- ایستگاه‌های انتخاب شده از اقلیم‌های سرد و خشک و گرم و خشک

جدول ۱- مشخصات آماری و جغرافیایی سری‌های زمانی متوسط ماهانه دمای هوای ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	طول جغرافیایی		عرض جغرافیایی		ارتفاع از سطح دریا (متر)	مشخصات آماری			
	دقیقه	درجه	دقیقه	درجه		سال آماری	حدافل	حداکثر	میانگین
مشهد	۲۸ E	۵۹	۱۶ N	۳۶	۹۹۹/۲	-۸/۵	۲۸/۹	۱۴/۲	۸/۷۵
سنندج	۰۰ E	۴۷	۲۰ N	۳۵	۱۳۷۲/۴	-۱۳/۳	۲۹/۳	۱۳/۵	۹/۳۲
تبریز	۱۷ E	۴۶	۳۸ N	۳۸	۱۳۶۱	-۱۲/۴	۲۹/۳	۱۲/۵	۹/۸۱
قزوین	۰۳ E	۵۰	۳۶ N	۳۶	۱۲۷۹/۲	-۸/۷	۲۸/۲	۱۴/۰	۹/۱۲
کرمانشاه	۰۹ E	۴۷	۳۴ N	۳۴	۱۳۱۸/۶	-۷/۸	۳۰	۱۴/۳	۸/۸۰
یزد	۱۷ E	۵۴	۳۱ N	۳۱	۱۲۳۷/۲	-۰/۸	۳۵/۵	۱۹/۲	۹/۱۵
زاهدان	۵۳ E	۶۰	۲۹ N	۲۹	۱۳۷۰	۱/۴	۳۰/۶	۱۸/۴	۷/۴۷
کرمان	۵۸ E	۵۶	۳۰ N	۳۰	۱۷۵۲/۸	-۳/۱	۲۹/۶	۱۵/۸	۷/۸۱
بم	۲۱ E	۵۸	۲۹ N	۲۹	۱۰۶۶/۹	۴/۲	۳۵/۸	۲۲/۹	۸/۱۰
زابل	۲۹ E	۶۱	۳۱ N	۳۱	۴۸۹/۲	۴/۳	۳۶/۶	۲۲/۰	۹/۲۲
طبس	۵۵ E	۵۶	۳۳ N	۳۳	۷۱۱	۲/۲	۳۸	۲۱/۸	۹/۵۱

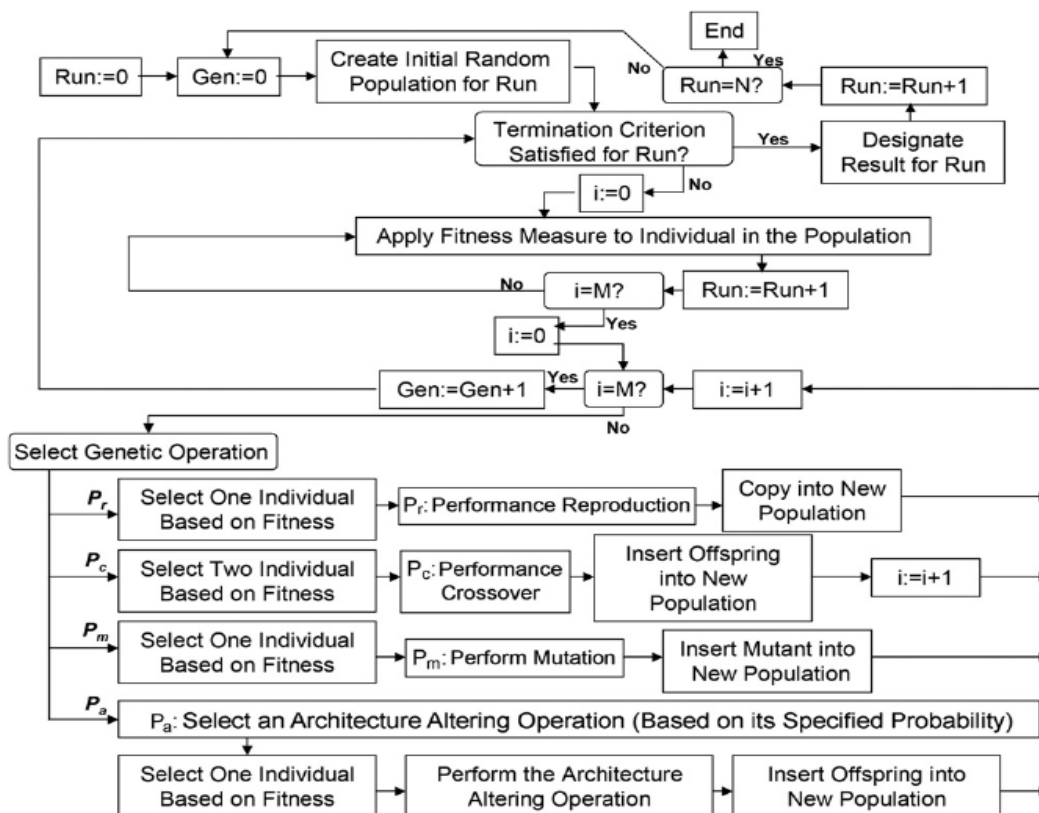
گام اول، انتخاب تابع برازش مناسب می‌باشد. در مطالعه حاضر، تابع جذر میانگین مربع خطاها (RMSE) به‌عنوان تابع برازش انتخاب گردید. گام دوم، انتخاب مجموعه و مجموعه توابع به‌منظور تولید کروموزوم‌ها می‌باشد. در مسئله حاضر مجموعه متغیرهای ورودی متشکل از مقادیر دمای ماهانه هوا است. انتخاب مجموعه توابع نیز گرچه یک امر صریح و ساده نمی‌باشد، لیکن یک حدس اولیه در این‌گونه موارد کافی خواهد بود. در این مطالعه پیش‌فرض

همچنین یکی دیگر از نقاط قوت این روش، طبیعت منحصر به فرد چند ژنه آن است که زمینه ارزیابی مدل‌های پیچیده‌ای را که شامل چندین زیر مدل می‌باشند فراهم می‌آورد (فریرا^۱، ۲۰۰۱). فرآیند مدل‌سازی میزان دمای هوا با استفاده از رهیافت برنامه‌ریزی ژنتیک به‌صورت زیر می‌باشد:

¹ Ferreira

می‌گردد. در مورد مدل‌سازی دمای هوا در مطالعه حاضر، ترکیبی از کلیه عملگرها نظیر جهش، برگشت، سه نوع مختلف ترانهش و سه نوع عملگر ترکیب مجدد مورد استفاده قرار گرفت (قربانی و همکاران، ۱۳۸۹). نحوه مدل‌سازی و مراحل آن در شکل شماره ۲ مشاهده می‌گردد.

نرم‌افزار که دسته‌ای از توابع مثلثاتی و نمایی است مورد پذیرش قرار گرفت. گام سوم شامل انتخاب ساختار کروموزوم‌ها می‌باشد. گام چهارم انتخاب تابع پیوندی است که در این مطالعه تابع جمع‌کننده (مجموع) برای ایجاد پیوند بین زیرشاخه‌ها مورد استفاده قرار گرفت. درنهایت، در گام پنجم عملگرهای ژنتیک و نرخ هر یک از آن‌ها انتخاب



شکل ۲- مراحل مدل‌سازی با استفاده از روش برنامه‌ریزی بیان ژن

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (T_i^O - \bar{T}^O)(T_i^E - \bar{T}^E)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (T_i^O - \bar{T}^O)^2 \sum_{i=1}^N (T_i^E - \bar{T}^E)^2}} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (T_i^E - T_i^O)^2}{N}} \quad (2)$$

به‌منظور مدل‌سازی دمای متوسط ماهانه هوای ایستگاه-های سینوپتیک انتخاب شده، مقدار ۸۰ درصد داده‌ها برای آموزش و ۲۰ درصد داده‌ها برای آزمون انتخاب گردیدند. داده‌های آموزش به‌منظور آموزش ماهیت سازوکار پدیده (دمای هوا) انتخاب و در شش الگوی متفاوت که در جدول

شاخص‌های تعیین دقت مدل

شاخص‌های آماری ضریب تبیین (R^2) و جذر میانگین مربع خطاها (RMSE) به‌منظور بررسی و ارزیابی دقت مدل‌ها مورد استفاده واقع شدند. شاخص‌های یاد شده به ترتیب با استفاده از معادله‌های (۱) و (۲) قابل محاسبه است. در این روابط T_i^E و T_i^O به‌ترتیب مقادیر دمای مشاهداتی و تخمینی در زمان گام زمانی i بوده، \bar{T}^E و \bar{T}^O نیز به‌ترتیب میانگین مقادیر مشاهداتی و تخمینی دمای هوا می‌باشد. N نیز نشانگر تعداد داده‌ها می‌باشد.

آمده در اکثر اقلیم‌ها بیشتر از ۰/۹۰ و خطای آن‌ها کمتر از ۲۰ درصد میانگین کل می‌باشد که می‌توان به قابل اطمینان بودن روش برنامه‌ریزی ژنتیک پی برد. مخصوصاً تبیین مدل‌هایی برای ایستگاه‌های کرمان، زابل و طبس با خطایی در حدود ۲ درجه سانتی‌گراد نشان‌دهنده قابلیت بسیار بالای این روش در تخمین دمای ماهانه هوا می‌باشد. با توجه به نتایج به‌دست آمده و مقایسه آن با روش‌های دیگر مدل‌سازی هوش مصنوعی مانند روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و عصبی فازی که در قربانی و همکاران (۱۳۸۹) به آن‌ها اشاره شده است می‌توان دریافت که با توجه به میزان خطای به‌دست آمده از این روش‌ها اختلافات جزئی وجود دارد؛ و اکثراً نشان‌دهنده برتری نسبی روش‌های عصبی و عصبی فازی می‌باشد. نکته مهم قابل توجه این است که شبکه‌های عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج عصبی فازی با فرآوری داده‌های ورودی و ایجاد ترکیب‌های مختلف، هرچند بهترین حالت را از نظر به حداقل رسیدن خطا انتخاب می‌نمایند، ولی هیچ‌گونه اطلاعاتی از وضعیت رابطه بین متغیرهای ورودی و خروجی حاصل نمی‌شود، اما برنامه‌ریزی ژنتیک می‌تواند چنین رابطه‌ای را شناسایی کرده و ارائه دهد و لذا با استفاده از این مدل می‌توان اقدام به بررسی و صحت سنجی برخی مدل‌های تجربی نمود. با توجه به جدول ۴ و مشاهده این که هیچ مدلی برای الگوهای یک و دو به‌دست نیامده است، می‌توان اظهار داشت که به دلیل پیچیدگی پدیده دمای ماهانه نیاز به اطلاعات قدیمی‌تر یا حافظه بیشتر برای تخمین دمای ماه آینده می‌باشد. در واقع با یک یا دو ماه تأخیر نمی‌توان به رفتار و تغییرات دمای هوا پی برد و برای تخمین قابل قبول دمای هوا حداقل به دمای سه ماه قبل نیاز می‌باشد. همچنین استفاده از دمای چهار ماه قبل یا مدل اتورگرسیو با چهار ماه تأخیر برای تخمین دمای ماهانه کافی به نظر می‌رسد، ولی در بعضی ایستگاه‌ها مخصوصاً تمامی ایستگاه‌های گروه اقلیمی هفت که جزء اقلیم‌های گرم محسوب می‌شود، استفاده از دمای پنج ماه قبل باعث افزایش دقت مدل‌ها می‌گردد.

۲ مشاهده می‌شود، وارد نرم‌افزار گردیدند. مقیاس زمانی الگوهای نشان داده‌شده ماهانه می‌باشد.

نتایج و بحث

جدول ۳ مقایسه شاخص‌های آماری مربوط به نتایج حاصل از بخش آموزش را برای الگوهای مختلف در ایستگاه‌های متفاوت نشان می‌دهد. با توجه به این جدول مشاهده می‌شود که مدل با دمای ۴ ماه قبل برای اقلیم سرد و خشک و مدل با دمای ۵ ماه قبل برای اقلیم گرم و خشک دارای کم‌ترین خطا و بیشترین ضریب تبیین می‌باشد. همچنین جدول ۴ مقایسه شاخص‌های آماری مربوط به بخش آزمون مدل‌ها را نشان می‌دهد که الگوهای بهتر همانند بخش آموزش می‌باشد.

جدول ۲- الگوهای ورودی مورد استفاده در مقیاس زمانی ماهانه دمای هوا

ردیف	الگوی ورودی ماهانه
۱	$T(t)=\{T(t-1)\}$
۲	$T(t)=\{T(t-1), T(t-2)\}$
۳	$T(t)=\{T(t-1), T(t-2), T(t-3)\}$
۴	$T(t)=\{T(t-1), T(t-2), T(t-3), T(t-4)\}$
۵	$T(t)=\{T(t-1), T(t-2), T(t-3), T(t-4), T(t-5)\}$
۶	$T(t)=\{T(t-1), T(t-2), T(t-3), T(t-4), T(t-5), T(t-6)\}$

تنها ایستگاه کرمانشاه که در اقلیم سرد و خشک طبقه‌بندی شده است، در الگوی سوم، شامل دمای ماهانه ۳ ماه قبل دارای بهترین حالت است. شکل ۳ اختلاف مقادیر مشاهداتی و مقادیر پیش‌بینی شده حاصل از بهترین مدل برنامه‌ریزی ژنتیک در بخش آزمون، را نشان می‌دهد. با استناد بر این شکل‌ها می‌توان نتیجه گرفت که برنامه‌ریزی ژنتیک در بهترین حالت خود به‌خوبی توانسته دمای متوسط ماهانه هوا را مدل‌سازی کرده و پیش‌بینی کند. با توجه به نتایج حاصله می‌توان اظهار داشت که این روش در تخمین دمای متوسط ماهانه دقت قابل قبولی از خود نشان می‌دهد. در خصوص مناسب بودن و قابل اطمینان بودن مدل‌ها، با مراجعه به جداول و شکل‌ها می‌توان دریافت که هر یک از مدل‌ها می‌توانند به‌تنهایی در تخمین میزان دما به کار برده شوند. با توجه به جدول ۴ ضریب تبیین مدل‌های به‌دست

جدول ۳- ضریب تبیین و خطای مدل‌های مختلف در بخش آموزش

آموزش												الگو
۶		۵		۴		۳		۲		۱		ایستگاه
R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	
۰/۸۶	۳/۲	۰/۹۱	۲/۷۸	۰/۹۲	۲/۵۵	۰/۸۹	۲/۸۴	۰/۸۶	۳/۹	۰/۷	۴/۷۵	مشهد
۰/۸۸	۳/۳۱	۰/۸۹	۳/۶۴	۰/۹۳	۲/۴۸	۰/۹۲	۲/۶۴	۰/۹	۳/۱۵	۰/۷۳	۴/۸۸	سنندج
۰/۸۶	۳/۶۶	۰/۹۳	۲/۶	۰/۹۴	۲/۴۴	۰/۸۹	۳/۳۲	۰/۸۹	۳/۳۶	۰/۷۲	۵/۱۷	تبریز
۰/۸۶	۳/۴۱	۰/۸۹	۳/۱	۰/۹۲	۳/۱۳	۰/۹۱	۲/۷۸	۰/۸۸	۴/۰۲	۰/۷۲	۴/۸۶	قزوین
۰/۸۸	۳/۰۲	۰/۹۱	۲/۵۷	۰/۸۳	۳/۵۸	۰/۹۲	۲/۵۶	۰/۸۹	۲/۹۴	۰/۷۲	۴/۶۴	کرمانشاه
۰/۸۶	۳/۳۸	۰/۹۲	۳/۴۱	۰/۹۱	۳/۰۶	۰/۸۸	۳/۲۲	۰/۹	۲/۹	۰/۷۱	۴/۸۶	یزد
۰/۸۳	۳/۱	۰/۹۱	۲/۱۵	۰/۹	۲/۴	۰/۸۸	۲/۵۹	۰/۸۴	۳/۱۸	۰/۷	۴/۰۶	زاهدان
۰/۹۳	۲/۰۵	۰/۹۳	۱/۹۸	۰/۹	۲/۵۸	۰/۹۲	۲/۱۴	۰/۸۸	۳/۰۴	۰/۷۱	۴/۱۸	کرمان
۰/۸۶	۳/۰۵	۰/۹۱	۲/۴	۰/۸۷	۳/۰۳	۰/۸۲	۳/۴۵	۰/۸۳	۳/۳۱	۰/۷۱	۴/۴۲	بم
۰/۹	۳/۱۸	۰/۹۴	۲/۰۸	۰/۹	۳/۴۵	۰/۹	۲/۷۷	۰/۸۸	۳/۲۲	۰/۷۲	۴/۸۷	زابل
۰/۹۱	۲/۹۵	۰/۹۶	۰/۹۲	۰/۹۴	۲/۲۷	۰/۹۱	۳/۰۶	۰/۹۲	۲/۸	۰/۷۳	۴/۹۶	طبرس

جدول ۴- ضریب تبیین و خطای مدل‌های مختلف در بخش آزمون (صحت سنجی)

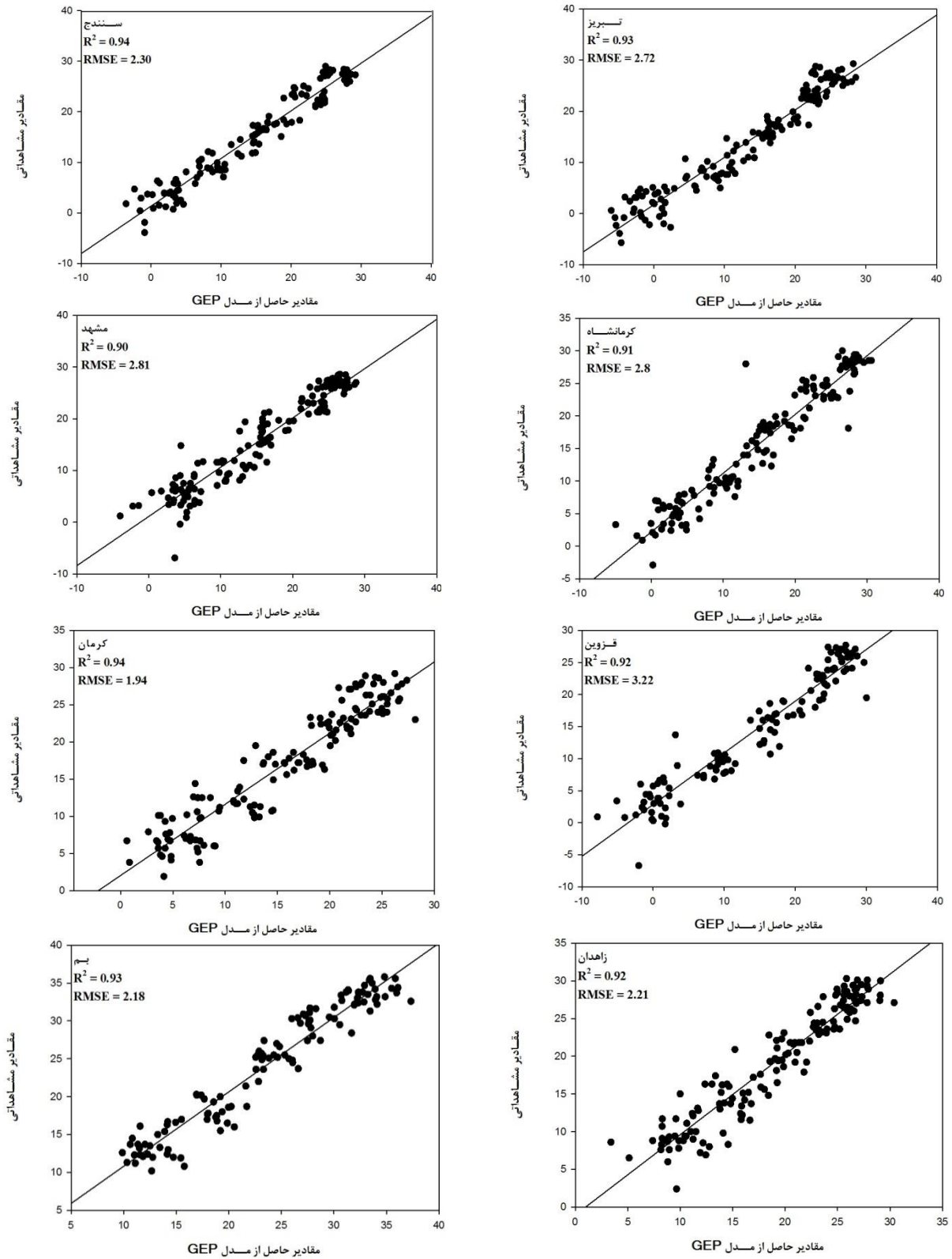
آزمون												الگو
۶		۵		۴		۳		۲		۱		ایستگاه
R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	
۰/۸۵	۳/۳۶	۰/۹	۲/۸۴	۰/۹	۲/۸۱	۰/۸۸	۳/۱۵	۰/۸۴	۴/۱۸	۰/۶۹	۴/۸۲	مشهد
۰/۸۹	۳/۱۶	۰/۹۱	۳/۵۴	۰/۹۴	۲/۳	۰/۹۳	۲/۴۲	۰/۹۲	۲/۷۲	۰/۷۳	۴/۶	سنندج
۰/۸۵	۳/۷۷	۰/۹۳	۲/۵۱	۰/۹۳	۲/۴۹	۰/۸۸	۳/۳۸	۰/۹	۳/۱۶	۰/۷۲	۵/۱۴	تبریز
۰/۸۴	۳/۵۱	۰/۸۹	۳/۱۲	۰/۹۲	۳/۲۲	۰/۹۱	۲/۷۲	۰/۸۹	۳/۹۹	۰/۷۱	۴/۸	قزوین
۰/۸۶	۳/۳	۰/۸۹	۲/۹۶	۰/۷۹	۳/۹۸	۰/۹۱	۲/۸	۰/۸۸	۳/۱۵	۰/۷۴	۴/۷	کرمانشاه
۰/۸۵	۳/۴۹	۰/۹	۳/۶۲	۰/۸۷	۳/۶۸	۰/۸۷	۳/۳۹	۰/۸۹	۳/۰۱	۰/۶۹	۵/۱۲	یزد
۰/۷۹	۳/۴۸	۰/۹۲	۲/۲۱	۰/۹۲	۲/۵۱	۰/۸۶	۲/۸	۰/۸۴	۳/۱۳	۰/۶۹	۴/۱	زاهدان
۰/۹۳	۱/۹۶	۰/۹۴	۱/۹۴	۰/۹۱	۲/۴۴	۰/۹۲	۲/۲۴	۰/۸۹	۲/۹۲	۰/۷	۴/۱۷	کرمان
۰/۸۹	۲/۶۵	۰/۹۳	۲/۱۸	۰/۸۸	۲/۷۹	۰/۸۶	۳/۱۵	۰/۸۶	۲/۹۳	۰/۷	۴/۳۷	بم
۰/۹۲	۳/۴	۰/۹۶	۱/۹۱	۰/۹۳	۳/۰۵	۰/۹۳	۲/۴۴	۰/۸۸	۳/۱۸	۰/۷۲	۴/۸۷	زابل
۰/۸۹	۳/۱	۰/۹۵	۲/۰۲	۰/۹۱	۲/۸۳	۰/۹	۳/۱۵	۰/۹۱	۲/۸۲	۰/۶۹	۵/۱۲	طبرس

دما یا کمتر بودن نوسانات دما در این اقلیم باشد. البته این یک مسئله واضح می‌باشد که مدل‌سازی پدیده‌هایی که نوسانات زیادی ندارند، راحت‌تر می‌باشد و پیش‌بینی آن‌ها برای دوره‌های زمانی آینده با اطمینان بیشتری انجام خواهد شد.

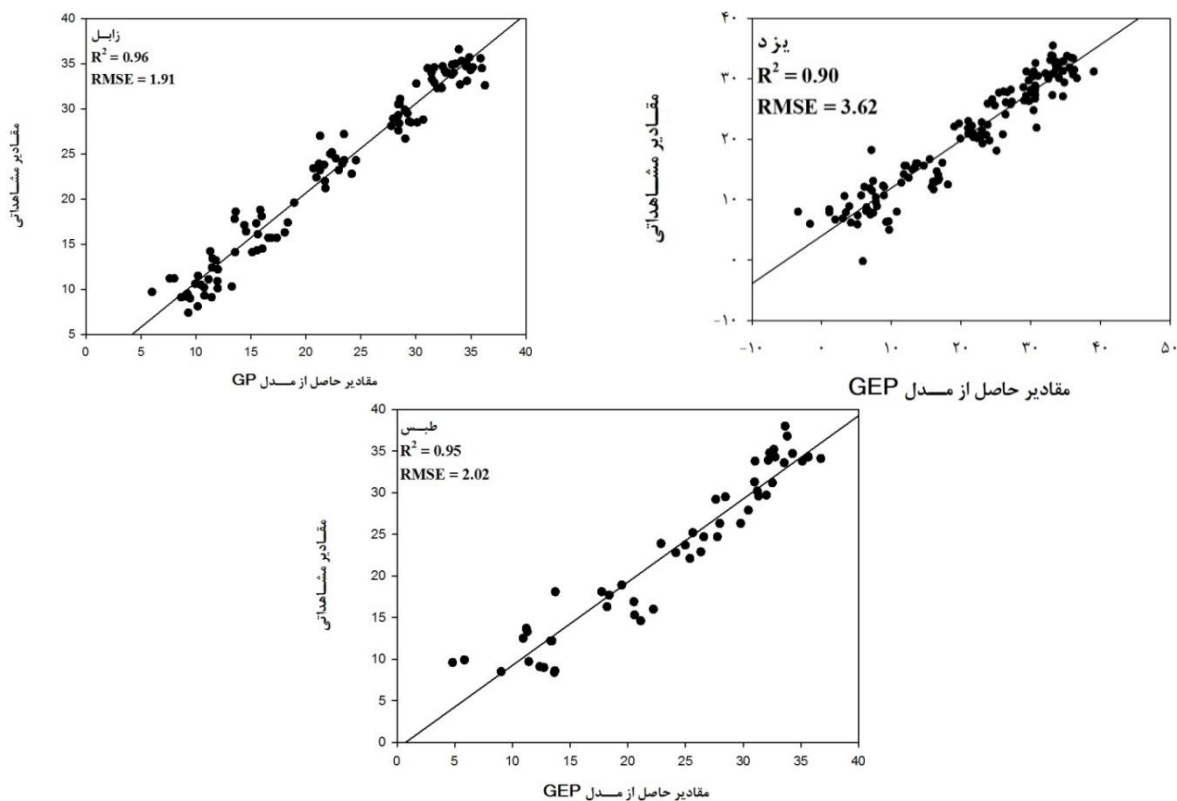
جدول ۵- میانگین خطا و ضریب تبیین در اقلیم‌های مورد مطالعه

میانگین بهترین مدل‌ها	R ²	RMSE
اقلیم سرد و خشک	۰/۹۲	۲/۷۲۴
اقلیم گرم و خشک	۰/۹۳	۲/۳۱۳

در مناطق سرد به دلیل نوسانات زیاد دمای هوا بین دمای ماه حاضر با دمای چهار یا پنج ماه گذشته همبستگی وجود ندارد ولی در مناطق گرمسیر به دلیل کمتر بودن نوسان دما این همبستگی بیشتر می‌شود و دمای ماه حاضر با دمای پنج ماه قبل و یا فصل قبل همبستگی نشان می‌دهد که در ساختار مدل‌های به‌دست آمده نیز قابل مشاهده می‌باشد. جدول ۵ نشان‌دهنده میانگین خطا و ضریب تبیین مدل‌های به‌دست آمده از اقلیم‌ها می‌باشد. مدل‌های به‌دست آمده در اقلیم گرم و خشک دارای ضریب تبیین بالا و خطای کمتری می‌باشند. دلیل این امر نیز می‌تواند کمتر بودن اختلافات



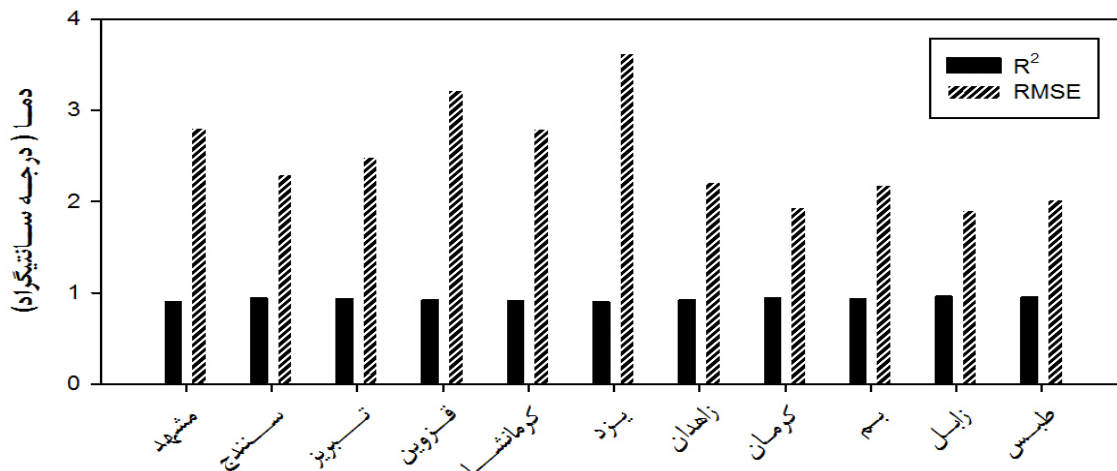
شکل ۳- مقایسه مقادیر واقعی و محاسبه شده دمای متوسط ماهانه برای بهترین مدل منتخب در ایستگاه‌های مطالعاتی



ادامه شکل ۳- مقایسه مقادیر واقعی و محاسبه شده دمای متوسط ماهانه برای بهترین مدل منتخب در ایستگاه‌های مطالعاتی

دهنده برتری این روش در تخمین دمای هوای ماهانه نسبت به سایر روش‌های آماری (Arch, Garch, SARIMA و ARIMA) می‌باشد.

بهترین مدل‌ها به ترتیب برای سری زمانی دمای ایستگاه-های زابل، کرمان، طیس، بم، زاهدان، یزد، سنندج، تبریز، قزوین، کرمانشاه و مشهد به دست آمد که در شکل ۴ نشان داده شده است. نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان



شکل ۴- مقادیر خطا و ضریب تبیین بخش آزمون برای بهترین مدل‌ها در ایستگاه‌های مورد مطالعه

شده است که نمونه‌ای از این مدل‌ها در مطالعه ریمیلی^۱

در روش‌های آماری ذکر شده دمای ماهانه هوا با خطایی به مراتب بیشتر از ۴ و ۵ درجه سانتی‌گراد در ماه مدل‌سازی

ANFIS در تخمین میزان تبخیر-تعرق گیاه مرجع در مناطق بسیار خشک ایران، نشریه آب و خاک، ۲۴(۴): ۶۷۹-۶۸۹.

بابائیان، ا.، کوهی، م. ۱۳۹۱. ارزیابی شاخص‌های اقلیم کشاورزی تحت سناریوهای تغییر اقلیم در ایستگاه‌های منتخب خراسان رضوی، نشریه آب و خاک، ۲۶(۴): ۹۵۳-۹۶۷.

خوش اخلاق، ف.، غریبی، ا.، شفیع، ذ. ۱۳۹۰. نگرشی بر تغییرات حداقل‌های مطلق دما در پهنه ایران‌زمین، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۲(۲): ۲۰۰-۲۱۶.

دودانگه، ا.، عابدی کوپائی، ج.، گوهری، ع. ر. ۱۳۹۱. کاربرد مدل‌های سری زمانی به‌منظور تعیین روند پارامترهای اقلیمی در آینده در راستای مدیریت منابع آب، نشریه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۶(۵۹): ۵۹-۷۴.

دین پژوه، ی.، فاخری، ا.، مقدم، م.، جهانبخش، س.، میرنیا م. ک. ۱۳۸۲. پهنه‌بندی اقلیمی ایران با استفاده از تحلیل‌های چند متغیره برای استفاده در مطالعات کشاورزی، نشریه دانش کشاورزی، ۱۳(۱): ۷۲-۹۱.

سبزی پرور، ع. ا.، ترکمان، م.، مریانجی، ز. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر شاخص‌ها و متغیرهای هواشناسی کشاورزی در عملکرد بهینه گندم (مطالعه موردی: استان همدان)، نشریه آب و خاک، ۲۶(۶): ۱۵۵۴-۱۵۶۷.

سیمائی، ا.، خشتکاری ثانی، ص. ۱۳۹۰. مطالعه اثر تغییر اقلیم بر تغییرات درجه حرارت در استان آذربایجان غربی. همایش ملی تغییر اقلیم و تأثیر آن بر کشاورزی و محیط زیست. ارومیه. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی.

قربانی، م. ع.، شیری، ج.، کاظمی، ه. ۱۳۸۹. تخمین پیشینه، متوسط و کمینه دمای هوای شهر تبریز با استفاده از روش‌های هوش مصنوعی، نشریه دانش آب و خاک، ۲۰(۳): ۸۷-۱۰۴.

Almonaced, F., Perez-Higueras, P., Rodrigo, P., Hontoria, L. 2013. Generation of ambient temperature hourly time series for some

(۲۰۰۵) مشاهده می‌گردد ولی در این مطالعه با روش برنامه‌ریزی بیان ژن مدل‌هایی با خطای کمتر از ۳ درجه سانتی‌گراد تبیین گردید. در تحقیق شهید و همکاران (۲۰۰۷) خطای مدل در بخش آزمون حدود ۱/۵ به‌دست آمده است. در تمامی ایستگاه‌های مطالعه حاضر خطا بیشتر می‌باشد دلیل این امر نیز می‌تواند در استفاده از تعداد داده بیشتر باشد. هرچه تعداد داده‌های مورد استفاده بیشتر باشد واریانس نمونه افزایش پیدا می‌کند و به‌تبع آن خطای مدل-سازی بیشتر می‌شود. با توجه به کم بودن اختلاف میان خطاها، نتایج حاصل موردقبول بوده و در مطابقت کامل با تحقیق شهید و همکاران (۲۰۰۷) می‌باشد.

نتیجه‌گیری

هدف اصلی این تحقیق مدل‌سازی دمای متوسط ماهانه هوا در دو اقلیم متفاوت و مقایسه آن دو با هم می‌باشد. به-این منظور از داده‌های ماهانه دمای هوای متوسط ایستگاه‌های سینوپتیک موجود در این اقلیم‌ها استفاده گردید. این بررسی نشان داد که گرچه روش برنامه‌ریزی ژنتیک یک روش مطلوب برای مدل‌سازی پارامترهای هیدرولوژیکی است، ولی دقت و کارایی این روش در مناطق و اقلیم‌های مختلف، متفاوت می‌باشد و برای مدل‌های به-دست آمده از یک اقلیم خاص، می‌توان انتظار داشت که مدل‌ها در فاکتورهای اساسی مانند الگوهای ورودی شبیه هم باشند. در تحقیق حاضر نشان داده شد که با این روش می‌توان مدل‌هایی با ضریب تبیین بالای ۰/۹ و خطای کمتر از ۴ درجه سانتی‌گراد را برای دمای هوا ساخت و در تخمین این پارامتر از این مدل‌ها استفاده نمود. تمامی مدل‌های ساخته‌شده برای ایستگاه‌ها قابل قبول می‌باشند. بهترین مدل برای ایستگاه زابل و در کل برای اقلیم گرم و خشک ساخته شد. در آخر می‌توان نتیجه گرفت که این روش یک روش نسبتاً مناسب برای مدل‌سازی دمای هوا می‌باشد

منابع

احمدزاده قره‌گویز، ک.، میرلطیفی، س. م.، محمدی، ک. ۱۳۸۹. مقایسه سیستم‌های هوش مصنوعی (ANN) و

- Jaeger, J. C. 1945. Note on the effect of wind on nocturnal cooling. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 71: 388-390.
- Khu, S. T., Liong, S. Y., Babovic, V., Madsen, H., Muttill, N. 2001. Genetic programming and its application in real time run-off forming. *Am. Water. Resour. Assoc.*, 37: 439-451.
- Kisi, O., Shiri, J., Tombul, M. 2013. Modeling rainfall-runoff process using soft computing techniques. *J. Comput. Geosci.*, 51: 108-117.
- Koza, J. 1992. *Genetic Programming: On the Programming of Computers by Natural Selection*. MIT Press, Cambridge, MA. 682.
- Krasovitski, B., Kimmel, A., Amir, I. 1996. Forecasting air surface temperature for the optimal application of frost protection methods. *Agric. Eng. Res.*, 63: 93-102.
- Liong, S. Y., Gautam, T. R., Khu, S. T., Babovic, V., Keijzer, M., Muttill, N. 2002. Genetic programming: A new paradigm in rainfall runoff modeling. *Am. Water. Resour. Assoc.*, 38: 705-718.
- Mccabe, G. L., Wolock, D. M. 1992. Effects of climatic change and climatic variability on the Thornthwaite moisture index in the Delaware River basin. *Clim. Change.*, 20: 143-155.
- Romily, P. 2005. Time series modeling of global mean temperature for managerial decision-making. *J. Environ. Manag.*, 76: 61-70.
- Satishkumar, S., Maity, K. R. 2012. prediction of monthly rainfall on homogeneous regions of India based on large scale circulation patterns using Genetic Programming. *J. Hydrol.*, 455: 26-41.
- Selle, B., Muttill, N. 2011. Testing the structure of a hydrological model using Genetic Programming. *J. Hydrol.*, 397: 1-9.
- Shahid, S., Hasan, M., Mondal, R. U. 2007. Modelling monthly mean maximum temperature using Genetic programming. *Int. J. Soft. Comput.*, 5: 612-616.
- Spanish locations by artificial neural networks. *Renew. Energy.*, 51: 285-291.
- Aytek, A., Kisi, O. 2008. A genetic programming approach to suspended sediment modeling. *J. Hydrol.*, 351: 288-298.
- Azamathulla, H. M., Zahiri, A. 2012. Flow discharge prediction in compound channels using Genetic Programming. *J. Hydrol.*, 455: 203-207.
- Bagdonas, A., Georg, J. C., Gerber, J. F. 1978. *Techniques of frost prediction and methods of frost and cold protection*. WMO, Tech notes No 157, Geneva.
- Benavides, R., Montes, F., Rubio, A., Osoro, K. 2007. Geostatistical modeling of air temperature in a mountainous region of northern Spain. *Agric. For. Meteorol.*, 146: 173-188.
- Brunt, D. 1941. *Physical and Dynamical Meteorology*. Cambridge University Press, 2nd edition, New York. 375.
- Dadson, R., Marks, D. 1997. Daily air temperature interpolated at high spatial resolution over a large mountainous region. *Clim. Res.*, 8: 1-20.
- Dombayc, Ö. A., Gölcü., M. 2009. Daily means ambient temperature prediction using artificial neural network method: A case study of Turkey. *Renew. Energy.*, 34: 1158-1161.
- Ferreira, C. 2001. Gene expression programming: a new adaptive algorithm for solving problems. *Complex. Syst.*, 13: 87-129.
- Figuerola, P. I., Mazzeo, N. A. 1997. An analytical model for the prediction of nocturnal and dawn surface temperatures under calm, clear sky conditions. *Agric. For. Meteorol.*, 85: 229-237.
- Holland, J. H. 1975. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. University of Michigan Press, Ann. Arbor. 375.

Wang, W. C., Chau, K. W., Cheng, C. T., Qiu, L. 2009. A comparison of performance of several artificial intelligence methods for forecasting monthly discharge time series. *J. Hydrol.*, 374(3-4): 294–306.

Zuzel, J. F., Cox, L. M. 1975. Relative importance of meteorological variables in snowmelt. *Water. Resour. Res.*, 11: 174-176.

Smith, B. A., Hoogenboom, G., McClendon, R. W. 2009. Artificial neural networks for automated year-round temperature prediction. *Comput. Electr. Agric.*, 68: 52-61.

Stanislawska, K., Krawiec, K., Kundzewicz, Z. W. 2013. Modeling global temperature changes with genetic programming. *Comput. Math. Appl.*, 64(12): 3717: 3728.



Evaluation the performance of genetic programming in modeling mean monthly temperature in different climates of Iran

A. Amini Rakan¹, P. Haghghatjou², K. Khalili³, J. Behmanesh^{*4}

Received: 29/01/2015

Accepted: 09/06/2015

Abstract

Mean monthly temperature is one of the most important parameters in agroclimatic studies and hence several approaches have been proposed for its precise estimation. In this study, the genetic programming approach is used to model monthly mean temperature in selected synoptic stations namely; Mashhad, Sanandaj, Tabriz, Ghazvin and Kermanshah with cold-arid climate and Yazd, Kerman, Zahedan, Bam and Zabol with warm-arid climate. Genetic programming approach was performed in two steps. 1. Training and 2. Validation. In first step, the time series with six different patterns were prepared and trained. Then, in the second step, the obtained models were validated using coefficient of determination (R^2) and root mean square error (RMSE) indices. Finally, based on these statistics, selected models were proposed for selected stations. The results showed that, genetic programming is an appropriate method for modeling mean monthly temperature. The result also indicated that, model performs better in warm-arid climates. The best results were obtained in 4th pattern of cold-arid and 5th pattern of warm-arid climates. Among the studied stations, Zabol showed the most acceptable results with R^2 and RMSE of 0.96 and 1.91°C, respectively.

Keywords: Genetic programming, Modeling, Monthly mean temperature, Iran

¹ M. Sc. of Water Resources Engineering, Zabol University

² Assistant Professor, Soil and Water Faculty, Zabol University

³ Assistant Professor, Dep. of Water Engineering, Urmia University

⁴ Associate Professor, Dep. of Water Engineering, Urmia University

(*Corresponding author email address: j.behmanesh@urmia.ac.ir)