

مقاله علمی-پژوهشی

## پیش‌بینی مقادیر دما و بارش استان اصفهان براساس دو مدل ریزمقیاس نمایی Lars\_WG و SDSM و روش شبکه عصبی مصنوعی

آرین زرفشانی<sup>۱</sup>، محمدحسین جهانگیر<sup>۲\*</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۵/۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۱۴

### چکیده

گام‌های زمانی و مکانی مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) در مقیاس قاره‌ای و جهانی است. بنابراین برای آگاهی از وضعیت یک ایستگاه محلی با استفاده از این مدل‌ها نیاز است که مدل‌ها براساس رفتارهای محلی داده‌های ایستگاه عمل کنند. بنابراین ریزمقیاس‌سازی انجام می‌گیرد. در این مطالعه با استفاده از مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی SDSM، Lars\_WG و روش شبکه عصبی مصنوعی (ANN) به وسیله داده‌های مشاهداتی به دست آمده از ۶ ایستگاه سینوپتیک استان اصفهان به پیش‌بینی دما و بارش این ایستگاه‌ها از سال ۱۴۰۰ تا سال ۱۴۲۸ پرداخته شده‌است. ضریب همبستگی پیرسون ( $r$ ) و ضریب تعیین ( $R^2$ ) و بین داده‌های مشاهداتی و داده‌های منتخب سناریوی CanESM2 در تمامی ایستگاه‌ها بالای ۰/۶ است و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) نیز در تمامی ایستگاه‌ها قابل قبول است و از این رو شبیه‌سازی خوبی صورت گرفته‌است. براساس نتایج به دست آمده دمای استان اصفهان از سال ۱۴۰۰ تا سال ۱۴۲۸ افزایش تدریجی داشته و براساس مدل‌سازی توسط SDSM در سال ۱۳۸۴ دارای کمترین مقدار و در سال ۱۴۲۶ بیشترین مقدار را داشته‌است و اختلاف دمای این سال‌ها تقریباً برابر ۲/۳ درجه سانتی‌گراد است که بیان می‌کند دما به این میزان افزایش خواهد یافت و مقادیر بارش در سال ۱۴۰۵ و ۱۴۰۶ بیشترین هستند که ایستگاه داران که بارندگی بیشتری نسبت به دیگر ایستگاه‌ها دارد، تقریباً برابر ۲/۳ میلی‌متر خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: ایستگاه سینوپتیک، زمانی، مکانی، همبستگی پیرسون، GCM

### مقدمه

شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی ناشی از گازهای گلخانه‌ای ارائه شد (مساح بوانی و مرید، ۱۳۸۴). بررسی نشان می‌دهند که کمترین تغییر در میزان بارش و دما، زیان‌های بسیار زیادی به کشاورزی و اقتصاد وارد می‌کند (زابل عباسی و همکاران، ۱۳۸۹)، انتظار می‌رود که تغییرات در دما و بارش تأثیر قابل توجهی بر منابع آب در دسترس آینده بگذارد (آشفته و حداد، ۱۳۹۲). کاربرد پیش‌بینی‌های اقلیمی در برنامه‌ریزی‌های کلان‌کشوری است و در مدیریت بحران در هنگام وقوع بلاهای طبیعی آگاهی از اقلیم آینده ضروری است. مدل‌های گردش‌های عمومی جو (GCM) سه بعدی بوده و قادرند سیستم‌های اقلیمی را با لحاظ نمودن اکثر فرایندها در مقیاس جهانی و قاره‌ای شبیه‌سازی کنند. مدل‌های گردش عمومی، خود شامل دودسته کلی می‌شوند: مدل‌های AGCMs که برهمکنش اتمسفر را در نظر می‌گیرند و مدل‌های OGCMs که تأثیر متقابل اقیانوس‌ها را در نظر می‌گیرند و معمولاً مدل‌های گردش عمومی ترکیبی از دودسته AGCM و OGCM را شامل می‌شوند. از به هم پیوستن مدل‌های

موضوع تغییر اقلیم از اواخر قرن نوزدهم میلادی با روند گرم شدن هوا به صورت جدی به میان آمد. عوامل گوناگونی که بر اقلیم اثرگذارند می‌توانند باعث تغییرات به شکل سالیانه و دراز مدت شوند. این تغییرات دراز مدت اقلیمی تحت تأثیر گرمایش جهانی ناشی از تشدید گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. از این‌رو به منظور شبیه‌سازی دما و بارش که در بررسی تغییر اقلیم نقش عمده‌ای دارند، مدل‌های گردش‌های عمومی جو (GCM) در دهه‌ی ۵۰ میلادی به منظور

۱- کارشناسی ارشد اکوهیدرولوژی، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، ایران

۲- استادیار گروه انرژی‌های نو و محیط‌زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، ایران

(\* نویسنده‌ی مسئول: Email: mh.jahangir@ut.ac.ir)

DOR: 20.1001.1.20087942.1400.15.1.4.4

روش ریزمقیاس‌نمایی دو مدل SDSM و شبکه عصبی براساس داده‌های بارش در جنوب شرقی ایران انجام گرفت براساس نتایج حاصل مدلسازی SDSM کارایی بیشتری دارد (Karamouz et al., 2009). در پژوهشی در سال ۲۰۱۱، تغییرات فصلی بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعات آفتابی استان خراسان در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ با استفاده از مدل LARS\_WG ریزمقیاس شده‌است و شبیه‌سازی انجام گرفته‌است (Ashraf et al., 2011). در سال ۱۳۹۰، اثر گرمایش جهانی بر متغیرهای بارش و دما و شاخص‌های الگوی کشاورزی با استفاده از مدل LARS\_WG بررسی شد (باباییان و همکاران، ۱۳۸۶). در سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱ روی داده SDSM و الگوی ریزمقیاس‌نمایی آماری را که عبارتند از: مدل مارکف پنهان-نا-همگن NHMM و مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM روی داده‌های بارش روزانه دریاچه‌ی خشک شده‌ی تاریخ در چین ارزیابی کردند. ابزار مقایسه در این پژوهش توابع باقیمانده، تحلیل‌های همبستگی و توابع چگالی و توزیع احتمالی بود. براساس نتایج این پژوهش، عملکرد مدل‌سازی بارش ماهانه است؛ به طوری که کاربر قادر خواهد بود بارش را به خوبی برای همه‌ی ماه‌ها شبیه‌سازی کند (Liu et al. 2011). در مطالعه‌ی از SDSM برای داده‌های مشاهداتی دما و بارش روزانه از سال ۱۹۸۷ تا سال ۲۰۰۶ با استفاده از الگوی جهانی HadCM3 استفاده شد و براساس نتایج به‌دست‌آمده مقادیر داده‌های مشاهداتی و داده‌های مدلسازی شده به یکدیگر نزدیک بوده‌است (Nury and Alam, 2014). در مطالعه‌ی، برای کاهش فاصله بین خروجی‌های مدل گردش عمومی با مقیاس بزرگ (GCM) و نیاز به اطلاعات آب و هوایی با وضوح بالا در یک منطقه نیمه خشک، از کوچک‌سازی آماری و پویا (SD و DD) استفاده شده‌است و تغییرات روزهای مرطوب و مقدار بارش از طریق هر دو روش، تجزیه و تحلیل شده‌است و نتایج نشان داده‌است که روش SD نسبت به DD به زمان و قدرت محاسباتی کمتری نیاز دارد. روش DD با توجه به کارایی در طول دوره ارزیابی عملکرد بهتری داشته‌است (Salehnia et al., 2019). براساس مطالعه‌ی که بر روی شاخص شدت خشکسالی پالم (PDSM) انجام گرفت، وضعیت خشکسالی استان فارس در ایران با توجه به داده‌های هواشناسی از شش ایستگاه هواشناسی در استان ارزیابی شد. برای اعمال نتایج خروجی مدل گردش عمومی در استان فارس، از SDSM استفاده شد. نتایج نشان داد که دوره‌های خشک در سه دهه آینده در مقایسه با داده‌های گذشته افزایش می‌یابد، همچنین بالاترین خشکسالی در ایستگاه‌های هواشناسی آباد و لار در طول دوره پیش‌بینی تحت دو سناریوی آینده RCP4/5 و RCP8/5 رخ داده‌است (Dehghan et al., 2020). در مقاله‌ی، به منظور کوچک‌سازی حداکثر دما و پیش‌بینی‌های بارش، عملکرد سه تکنیک کوچک‌سازی آماری شامل SDSM، LARS-WG، ANN در شمال غربی ایران مقایسه شد.

اقیانوسی و مدل‌های جوی، مدل‌های اقیانوسی - جوی (AOGCM) به وجود می‌آیند و در شبیه‌سازی تغییر اقلیم استفاده می‌شوند. محاسبات این مدل‌ها به این شکل است که در شبکه‌های سه بعدی، با مقیاس مکانی افقی ۲۵۰ تا ۶۰۰ کیلومتر و ۱۰ تا ۲۰ لایه در بخش جوی و ۳۰ لایه در بخش اقیانوسی انجام می‌گیرد. وضوح مکانی افقی مدل‌ها در سطح خشکی‌های کره‌ی زمین ۲۵۰ کیلومتر و دقت مکانی قائم آن برابر یک کیلومتر است. درحالی‌که وضوح مکانی قائم در مدل‌های اقیانوسی ۲۰۰ تا ۴۰۰ متر و وضوح مکانی افقی برابر ۱۲۵ تا ۲۵۰ کیلومتر است. مدل‌های گردش عمومی اقیانوسی - جوی در چند دهه اخیر با افزایش قدرت رایانه‌ها توسعه چشم‌گیری یافته‌اند. پس از انتخاب مدل گردش عمومی جو، ضروری است که از مدل ریزمقیاس شده‌ای استفاده شود که بتوان رفتارهای اقلیمی را درمقیاس ایستگاهی شبیه‌سازی کرد (مدرسی و همکاران، ۱۳۹۰). کلیه روش‌های ریزمقیاس‌نمایی را می‌توان در چهار گروه پویا، سینوپتیکی، آماری و تابع انتقالی، جای داد (Wilby et al., 2002). شبیه‌سازی توسط شبکه عصبی به دلیل توانایی بالای آن در فراهم کردن روابط غیر خطی بین پیش‌بینی کننده و پیش‌بینی شونده کاربرد وسیعی دارد (احمدی باصری و همکاران، ۱۳۹۲). در مطالعه‌ی در انگلستان در سال ۲۰۰۵، با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و مدل (SDSM) اندازه‌ی بارندگی را در انگلستان پیش‌بینی نمودند (Harpham and Wilby, 2005). در سال ۲۰۰۶ در مطالعه‌ی، سه روش ریزمقیاس‌نمایی که عبارتند از: مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM)، مدل مولد آب و هوایی ایستگاه تحقیقاتی لانگ آستن (LARS\_WG) و الگوی شبکه‌ی عصبی مصنوعی (ANN)، از راه آزمون‌های عدم قطعیت برای سه مؤلفه، بارش روزانه، کمینه و بیشینه‌ی دمای روزانه، با یکدیگر مقایسه شدند و براساس نتایج مطالعه مدل SDSM بیشترین کارایی را داشته است (Khan et al., 2006). مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری بوده و از مزیت‌های این مدل می‌توان به، باصرفه بودن، سادگی و سرعت بالا در فرایند ریزمقیاس‌سازی ناحیه‌ای اشاره کرد (Xu, 1999). در سال ۱۳۸۴ به منظور ریزمقیاس‌نمایی مدل گردش عمومی از شبکه عصبی مصنوعی و SDSM استفاده شد و نتیجه حاصل نشان داد که برای ریزمقیاس‌نمایی بارش شبکه عصبی مصنوعی کاربرد بیشتری دارد (مساح بوانی و مرید ۱۳۸۴). در سال ۱۳۸۶ در مطالعه‌ی اقلیم ایران را در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ را با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری خروجی مدل ECHO\_G با بکارگیری مدل LARS\_WG مدلسازی شده است، براساس نتایج به دست آمده، بارش کل کشور کاهش ۹ درصدی خواهد داشت و افزایش میانگین سالانه‌ی دما به مقدار ۰/۵ درجه سانتی‌گراد رخ می‌دهد (باباییان و کوهی ۱۳۹۱). در سال ۲۰۰۹ با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی بارش ماهانه‌ی اردن پیش‌بینی شده‌است (Aksoy and Dahamsheh, 2009). در سال ۲۰۰۹

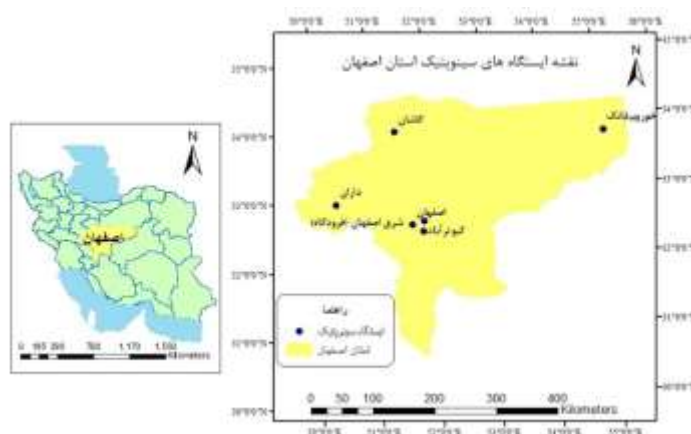
واقع شده است که مرکز آن شهر اصفهان است. این استان از شمال به سمنان، قم و مرکزی، از جنوب به یزد و فارس، از مشرق به خراسان و از مغرب به لرستان، خوزستان، چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد محدود می شود. مساحت این استان تقریباً ۶/۶ درصد از مساحت کل کشور را تشکیل داده است. استان اصفهان ششمین استان پهناور و سومین استان پرجمعیت ایران است. این استان بین ۳۰ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی خط استوا و ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقی نصف النهار گرینویچ، واقع شده است. در شکل ۱ نقشه‌ی منطقه‌ی مطالعاتی به همراه ایستگاه‌های سینوپتیک، آورده شده است. در جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک آورده شده است.

یافته‌ها عملکرد برتر مدل ANN را برای حداقل و حداکثر دما نشان می‌دهد، در حالی که برای پیش‌بینی بارش، SDSM بهترین عملکرد را در بین مدل‌ها داشته است (Baghanam et al., 2020). در این مطالعه با استفاده از مدل‌های SDSM, LARS\_WG و شبکه عصبی مصنوعی، با استفاده از داده‌های مشاهداتی به دست آمده از ایستگاه‌های سینوپتیک استان اصفهان، پیش‌بینی پارامترهای دما و بارش تا سال ۱۴۲۸ (۲۹ سال آینده) انجام شده است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

استان اصفهان با مساحت ۱۰۷۰۲۷ کیلومتر مربع در مرکز کشور



شکل ۱ - نقشه‌ی مورد مطالعه‌ی استان اصفهان، موقعیت مکانی ۶ ایستگاه سینوپتیک

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه

نام ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه و دقیقه)	عرض جغرافیایی (درجه و دقیقه)	ارتفاع (متر)
اصفهان	۵۱٫۶۶	۳۲٫۶۱	۱۵۵۰٫۴
شرق اصفهان (فرودگاه)	۵۱٫۸۶	۳۲٫۶۶	۱۵۴۳
کاشان	۵۱٫۴۵	۳۳٫۹۸	۹۲۸٫۳
داران	۵۰٫۳۶	۳۲٫۹۶	۲۲۹۰
خورویبانک	۵۵٫۰۸	۳۳٫۷۸	۸۴۵
کیوترباد	۵۱٫۸۵	۳۲٫۵۱	۱۵۴۵

آب‌وهوایی آماری می‌باشد. این روش دارای چهار بخش اصلی می‌باشد که شامل تعیین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده، واسنجی مدل، صحت‌سنجی مدل و شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی تحت سناریوهای گزارش پنجم برای دوره‌ی آینده می‌باشد. برای بررسی وضعیت تغییر اقلیم یک منطقه به داده‌های اقلیمی حداقل سی سال نیاز است که بر همین اساس ایستگاه‌های سینوپتیک فوق انتخاب شده‌اند.

به منظور بررسی اقلیم استان اصفهان، پیش‌بینی مقادیر دما و بارش از سال ۱۳۸۴ تا سال ۱۴۲۸ توسط مقادیر روزانه شش ایستگاه سینوپتیک واقع در این استان طی دوره‌ی سی‌ساله از سال ۱۳۶۸-۱۳۹۸ انجام گرفت.

### مدل SDSM

روش SDSM ترکیب دو روش رگرسیون خطی چندگانه و مولد

## مدل CanESM2

داده‌های CanESM2 سری‌های زمانی روزانه بلندمدت استاندارد شده هستند که برای هر گریڈسل تهیه شده‌است. این مدل نسل دوم مدل کانادایی سامانه زمین می‌باشد که به وسیله‌ی CCCma ارائه شده‌است. ریزمقیاس‌نمایی مدل CanESM2 با کاربرد روش SDSM به عنوان یک روش آماری ریزمقیاس‌نمایی، به منظور ایجاد رابطه‌ی کمی بین متغیرهای بزرگ مقیاس، مدل گردش عمومی جو و متغیرهای مشاهداتی ریزمقیاس، انجام می‌شود. برای انتخاب بهترین سناریو از مدل CanESM2 که مقادیر آن بیشترین نزدیکی و کمترین خطا را با داده‌های مشاهداتی داشتند از شبیه‌ساز SDSM استفاده شد که محاسبه خطا به وسیله‌ی ضریب تعیین ( $R^2$ ) و ضریب همبستگی پیرسون  $r$  و RMSE بررسی شده‌است و در نهایت با کمک سناریوی (RCP8.5) و متغیرهای پیش‌بینی‌کننده‌ی ncps500gl و ncptempgl ریزمقیاس‌نمایی انجام شده‌است. یکی از مهم‌ترین مراحل مدل ریزمقیاس‌نمایی، انتخاب متغیرهای توضیحی است که به‌طور قابل‌قبولی بتواند تغییرات و ویژگی‌های پارامترهای ایستگاهی موردنظر را توصیف کند؛ که این متغیرها باید از متغیرهای NCEP انتخاب شود. متغیرهای NCEP شامل ۲۶ متغیر اتمسفری است و از میان آن‌ها متغیر یا متغیرهایی انتخاب می‌شوند که دارای بالاترین میزان همبستگی می‌باشد و به عنوان متغیرهای توضیحی جهت پیش‌بینی پارامترهای دما و بارش وارد معادله‌ی رگرسیونی مدل SDSM می‌شوند.

## ریشه میانگین مربع خطا (RMSE)

RMSE مخفف کلمه Root Mean Square Error و به معنی میانگین مربع خطاها می‌باشد. RMSE میزان خطای بین دو مجموعه داده را اندازه‌گیری می‌کند. این پارامتر معمولاً مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر اندازه‌گیری شده را با یکدیگر مقایسه می‌کند. هرچه مقادیر RMSE کمتر باشند، همبستگی داده‌ها دارای بیشترین دقت است (Chai and Draxler, 2014).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^t (p_i - o_i)^2}{n}} \quad (1)$$

در رابطه فوق  $p_i$  مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر  $o_i$  مقادیر مشاهده شده هستند.

ضریب تعیین ( $R^2$ )

اندازه‌گیری آماری نزدیک داده‌ها به خط رگرسیون برآزش شده می‌باشد. ضریب تعیین نشان می‌دهد که چند درصد تغییرات متغیر وابسته به وسیله متغیر مستقل تبیین می‌شود. (Alexander et al., 2015).

$$R^2 = \frac{\sum_{k=1}^k (X_k Y_k)}{\sum_{k=1}^k (X_k)^2 \sum (Y_k)^2} \quad (2)$$

در رابطه فوق،  $X_k$  مقادیر مشاهداتی و  $Y_k$  مقادیر پیش‌بینی شده

و  $k$  تعداد داده‌ها می‌باشند.

ضریب همبستگی پیرسون ( $r$ )

ضریب همبستگی پیرسون بین ۱ و -۱ تغییر می‌کند  $r=1$  بیانگر رابطه مستقیم کامل بین دو متغیر است، رابطه مستقیم یا مثبت به این معناست که اگر یکی از متغیرها افزایش پیدا کند، متغیر دیگر نیز افزایش می‌یابد  $r=-1$  وجود یک رابطه معکوس کامل بین دو متغیر را نشان می‌دهد که با افزایش یک متغیر، متغیر دیگر کاهش می‌یابد. در این پژوهش به دلیل اینکه مقدار همبستگی داده‌های مشاهداتی با سناریوهای اقلیمی مدنظر است از مثبت یا منفی بودن این ضریب در نظر گرفته نشده‌است و سناریوهای منتخب براساس نزدیکی به +۱ یا -۱ در نظر گرفته شده‌اند (Wang, 2012):

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n(\sum x^2) - (\sum x)^2][n(\sum y^2) - (\sum y)^2]}} \quad (3)$$

در رابطه فوق،  $X_k$  مقادیر مشاهداتی و  $Y_k$  مقادیر پیش‌بینی شده و  $k$  تعداد داده‌ها می‌باشند.

به‌منظور استفاده از مدل CanESM2 که دارای سناریوهایی با بازه زمانی ۱۹۶۱-۲۰۰۶ و ۲۰۰۶-۲۱۰۰ است، ابتدا داده‌های مشاهداتی دما و بارش ایستگاه‌های سینوپتیک از سال ۱۹۸۹-۲۰۰۶ را با داده‌های حاصل از سناریوی (RCP8.5) در سال‌های ۱۹۸۹-۲۰۰۶ مقایسه کرده و سناریوهایی که بیشترین ضریب همبستگی پیرسون و ضریب تعیین را داشتند، انتخاب شدند (متغیرهای پیش‌بینی‌کننده‌ی ncps500gl و ncptempgl)، سپس به وسیله مقادیر متغیرهای پیش‌بینی‌کننده‌ی منتخب، ریزمقیاس‌نمایی انجام شده‌است.

## مدل Lars\_WG

این مدل نیز یک مدل ریزمقیاس‌نمایی است که به وسیله‌ی آن در این مطالعه، مدل EC-EARTH ریزمقیاس‌سازی شده‌است و پیش‌بینی داده‌های دما و بارش به صورت ۱۰ ساله ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه، توسط مدل Lars\_WG و مدل EC-EARTH انجام گرفت. این مدل از سه بخش تشکیل شده‌است؛ کالیبراسیون، ارزیابی و تولید یا شبیه‌سازی داده‌های دهه‌های آینده. به منظور کالیبراسیون لازم است که فایلی که مشخص‌کننده‌ی رفتار اقلیمی گذشته است را در اختیار داشت این فایل با استفاده از داده‌های روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعات آفتابی ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه به تولید و پیش‌بینی بارش و دمای این ایستگاه‌ها پرداخته است.

## شبکه عصبی مصنوعی

یک شبکه عصبی مصنوعی (Artificial Neural Network - ANN) ایده‌ای برای پردازش اطلاعات است که از سیستم عصبی زیستی الهام گرفته‌است و همانند مغز به پردازش اطلاعات می‌پردازد.

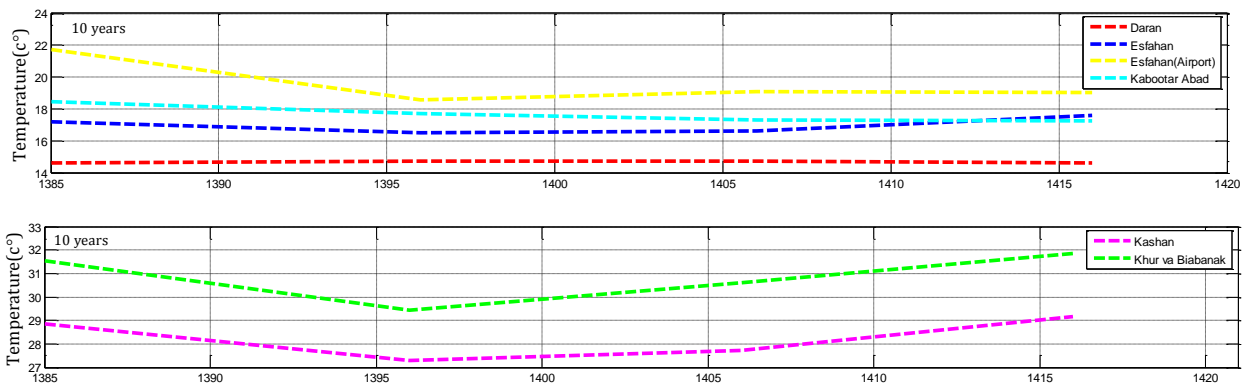
### نتایج و بحث

نمودارهای حاصل از نتایج از سال ۱۴۰۰-۱۴۱۶ هستند زیرا به منظور پیش‌بینی از ۷۰٪ داده‌ها برای آموزش مدل استفاده شده‌است و ۳۰٪ داده‌ها به منظور امتحان و صحت‌سنجی استفاده شده‌اند، بنابراین پیش‌بینی از سال ۱۴۰۰ شروع شده‌است و پیش‌بینی تا سال ۱۴۱۶ توسط (LARS-WG) و ۱۴۲۸ توسط (SDSM) انجام گرفته‌است.

نتایج به‌دست‌آمده از مدل LARS\_WG:

شکل ۲، نشان‌دهنده‌ی مقادیر پیش‌بینی‌شده‌ی دما به صورت دهه‌ای در بازه زمانی ۱۳۸۵-۱۴۱۶ است که توسط مدل EC-EARTH، مدل‌سازی انجام شده‌است.

این سیستم از شمار زیادی عناصر پردازشی پیوسته به یکدیگر به نام نورون‌ها تشکیل شده‌است که برای حل یک مسأله هم‌انگ با یکدیگر عمل می‌کنند. یک شبکه عصبی همانند مغز انسان یاد آموزش می‌بیند، یاد می‌گیرد و در نهایت نتیجه‌گیری می‌کند. در این مطالعه از شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی مقادیر دمای روزانه استفاده شد، در این مطالعه از شبکه عصبی با ۲۰ لایه برای رسیدن به نتیجه دقیق‌تر استفاده شده‌است. برای این منظور ۷۰٪ داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های مورد مطالعه به منظور آموزش، ۱۵٪ آنها برای صحت‌سنجی و ۱۵٪ آنها برای امتحان استفاده شده‌اند. داده‌های دمای روزانه‌ی ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه را به‌منظور آموزش در اختیار شبکه عصبی قرار گرفته‌اند و توسط آنها داده‌های دمایی برای سال‌های آینده به‌دست‌آمده‌است.



شکل ۲- نمودارهای پیش‌بینی مقادیر دما در بازه‌ی زمانی ۱۴۱۶-۱۳۸۵ به صورت ده ساله

شکل ۳، حاصل نتایج پیش‌بینی بارش به صورت ۱۰ ساله، در بازه‌ی زمانی ۱۳۸۴-۱۴۱۶ است و توسط مدل EC-EARTH، مدل‌سازی انجام شده‌است.

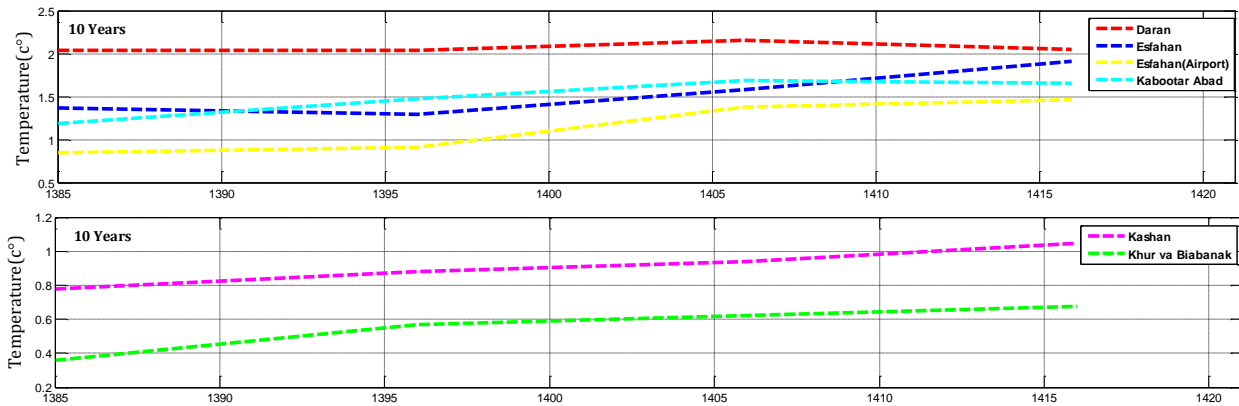
براساس پیش‌بینی‌های انجام گرفته در شکل ۳، ایستگاه داران در سال ۱۴۰۵ دارای بیشترین مقدار بارش در مقایسه با دیگر ایستگاه‌هاست و همچنین دارای بیشترین مقدار بارش در بازه‌ی زمانی موردنظر است، که مقدار بارش برابر با ۲/۳۵ میلی‌متر خواهد بود و ایستگاه خوروبابانک دارای کمترین بارش به نسبت دیگر ایستگاه‌ها است و مقدار بارش در سال ۱۳۸۵ برابر با ۰/۳ میلی‌متر بوده است، در حالت کلی سال ۱۴۱۵ بیشترین مقدار بارش در بازه‌ی زمانی موردنظر در تمامی ایستگاه‌ها رخ خواهد داد و در ایستگاه‌های داران، کبوترآباد، فرودگاه اصفهان، کاشان و خور و بیابانک در سال ۱۳۸۵ کمترین مقدار بارش رخ داده‌است و در ایستگاه‌های اصفهان کمترین مقدار بارش در بازه‌ی زمانی بین ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۰ رخ داده‌است.

شکل ۲، نشان می‌دهد که دمای ایستگاه‌های کاشان و خوروبابانک به نسبت ایستگاه‌های دیگر بیشتر است و اختلاف دمای ایستگاه داران و خور و بیابانک در سال‌هایی، ۱۴ درجه سانتی‌گراد است و در سال‌های بین ۱۳۹۵ و ۱۴۰۰ کمترین دما در این بازه‌ی زمانی (۱۳۸۴-۱۴۱۸) در کل ایستگاه‌های مورد مطالعه اتفاق خواهد افتاد و میانگین دمای سالانه در ایستگاه داران که سردترین ایستگاه است تقریباً به صورت دائم ۱۴ درجه‌ی سانتی‌گراد است، همچنین ایستگاه‌ها در سال ۱۳۸۵ و ۱۴۱۵ بیشترین دما را در این بازه داشته‌اند و میانگین دمای سالانه در ایستگاه خور و بیابانک که گرم‌ترین ایستگاه است به ۳۲ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید، تغییرات دما در ایستگاه داران دارای نوسان کمی است و ایستگاه‌های خوروبابانک و کاشان دارای بیشترین تغییرات دما در مقایسه با دیگر ایستگاه‌های مورد مطالعه هستند و اختلاف کم‌ترین و بیشترین دمای میانگین سالانه در ایستگاه خور و بیابانک برابر با ۴ درجه سانتی‌گراد و در ایستگاه کاشان برابر ۳ درجه سانتی‌گراد است.

نتایج به دست آمده از مدل SDSM

ایستگاه سینوپتیک مورد مطالعه آورده شده است که بیانگر دلیل انتخاب سناریوهای مدنظر است.

در جدول ۲، ضریب همبستگی پیرسون و ضریب تعیین برای هر



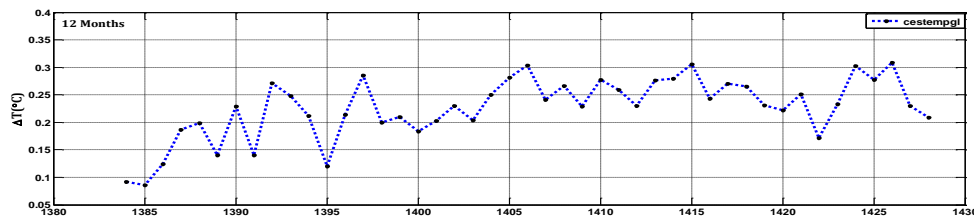
شکل ۳- نمودارهای پیش‌بینی مقادیر بارش در بازه‌ی زمانی ۱۳۸۵-۱۴۱۶ به صورت ده ساله

جدول ۲- مقادیر r و R<sup>2</sup> و RMSE داده‌های مشاهداتی و متغیرهای پیش‌بینی کننده‌ی منتخب، ایستگاه‌های مورد مطالعه

نام ایستگاه	متغیر پیش‌بینی کننده‌ی nceptempgl		متغیر پیش‌بینی کننده‌ی nceps500gl		ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (RMSE)
	ضریب همبستگی پیرسون (r)	ضریب تعیین (R <sup>2</sup> )	ضریب همبستگی پیرسون (r)	ضریب تعیین (R <sup>2</sup> )	
اصفهان	۰/۹۲	۰/۸۹	۰/۶۵	۰/۶۷	۰/۵۵
شرق اصفهان	۰/۷۲	۰/۷۳	۰/۸۶	۰/۸۵	۰/۳۸
کاشان	۰/۶۸	۰/۶۲	۰/۸۱	۰/۸۹	۰/۳
داران	۰/۸۵	۰/۸۶	۰/۷۲	۰/۷	۰/۴۶
خورویببانک	۰/۹۳	۰/۸۸	۰/۶۷	۰/۶۹	۰/۵۱
کبوترآباد	۰/۸۴	۰/۸	۰/۷۲	۰/۶۶	۰/۴۹

همانطور که در جدول ۲، مشاهده می‌شود مقادیر ضرایب تعیین و همبستگی پیرسون، نسبت به متغیر پیش‌بینی کننده‌ی nceptempgl، در ایستگاه‌های اصفهان، داران، خور و بیابانک و کبوترآباد بسیار بالا و نزدیک به ۱ هستند و در مقایسه با مقادیر ضرایب به دست آمده برای متغیر پیش‌بینی کننده‌ی nceps500gl از مقادیر بالاتری برخوردار هستند و مقادیر RMSE نیز قابل قبول است، همچنین مقادیر ضرایب به دست آمده در ایستگاه‌های شرق اصفهان و کاشان نسبت به متغیر پیش‌بینی کننده‌ی nceps500gl از نتیجه مطلوب‌تری برخوردار هستند، بنابراین در ایستگاه‌های اصفهان، داران، خور و بیابانک و کبوترآباد به منظور مدل‌سازی مقادیر دما از متغیر پیش‌بینی کننده‌ی

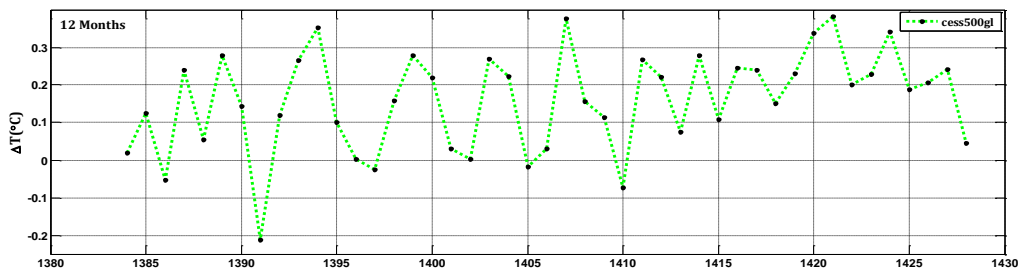
پیش‌بینی کننده‌ی nceptempgl و در ایستگاه‌های شرق اصفهان و کاشان از متغیر شده است. شکل ۴، تغییرات دما را به وسیله‌ی متغیر پیش‌بینی کننده‌ی nceptempgl نشان می‌دهد. طبق نتایج به دست آمده از شکل ۴، مدل‌سازی به وسیله‌ی مدل SDSM و مدل CanESM2 انجام شده است، مقادیر مشاهداتی ایستگاه‌های اصفهان، داران، خور و بیابانک و کبوترآباد، در سال‌های ۱۳۳۹-۱۳۸۴ با مقادیر سال‌های مشابه در متغیر پیش‌بینی کننده‌ی nceptempgl دارای ضریب همبستگی پیرسون و ضریب تعیین و RMSE بسیار خوبی هستند که در جدول ۲ این مقادیر آورده شده است.



شکل ۴- تغییرات دما در بازه‌ی زمانی ۱۳۸۴-۱۴۲۸ به صورت سالانه با استفاده از متغیر پیش‌بینی‌کننده‌ی nceptempgl

در شکل ۴، متغیر پیش‌بینی‌کننده‌ی nceptempgl به منظور مدل‌سازی دما برای ایستگاه‌های اصفهان، داران، خورویابانک و کبوتر آباد، انتخاب شد. به دلیل اینکه مقادیر ضرایب  $r$  و  $R^2$  و RMSE حاصل از مقایسه مقادیر مشاهداتی این ایستگاه‌ها و مقادیر به‌دست‌آمده از متغیر پیش‌بینی‌کننده‌ی nceptempgl مطلوب هستند، می‌توان مدل‌سازی خوبی انجام داد. براساس نتایج شکل ۴، دما در بازه‌ی زمانی ۱۳۸۴-۱۴۲۸ در ایستگاه‌های اصفهان، داران، خورویابانک و کبوترآباد، به تدریج افزایش می‌یابد و در سال ۱۴۲۶ ایستگاه‌های مذکور دارای بیشترین دمای خود هستند و در سال ۱۳۸۵ کمترین دما را داشته‌اند و اختلاف دما بین سردترین سال و گرم‌ترین سال برابر با ۰/۲۳ درجه سانتی‌گراد است. به عبارتی سال

۱۴۲۶ دما به نسبت سال ۱۳۸۵ به مقدار ۰/۲۳ درجه‌ی سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. شکل ۵، تغییرات دما را به وسیله‌ی متغیر پیش‌بینی‌کننده‌ی nceps500gl نشان می‌دهد. طبق نتایج به‌دست‌آمده از مدل‌سازی SDSM و مدل CanESM2، مقادیر مشاهداتی ایستگاه‌های شرق اصفهان (فرودگاه) و کاشان در سال‌های ۱۳۸۴-۱۳۳۹ با مقادیر سال‌های مشابه با متغیر پیش‌بینی‌کننده‌ی nceps500gl دارای ضریب همبستگی پیرسون و ضریب تعیین و RMSE بسیار خوبی هستند. بنابراین با استفاده از مقادیر سال‌های ۱۴۲۸-۱۳۸۴ و متغیر پیش‌بینی‌کننده‌ی nceps500gl مدل CanESM2، تغییرات دما در ایستگاه‌های شرق اصفهان (فرودگاه) و کاشان به دست آمده‌است.



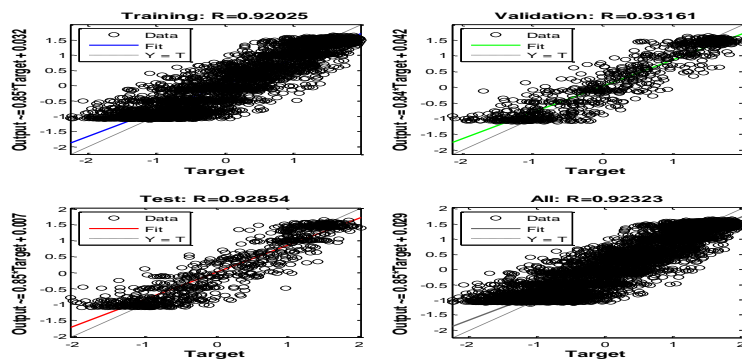
شکل ۵ - تغییرات دما در بازه‌ی زمانی ۱۳۸۴-۱۴۲۸ به صورت سالانه با استفاده از متغیر پیش‌بینی‌کننده‌ی nceps500gl

در بازه‌ی زمانی، سال ۱۳۸۴ تا سال ۱۴۱۹ است. شکل ۷، میانگین مربعات خطا (mse) را بین داده‌های مشاهداتی دما و داده‌های پیش‌بینی‌شده‌ی دما در ایستگاه سینوپتیک اصفهان، در بازه‌ی زمانی، سال ۱۳۸۴ تا سال ۱۴۱۹، نشان می‌دهد. در شکل ۶، آشکار است که داده‌های مشاهداتی و داده‌های پیش‌بینی‌شده با یکدیگر همبستگی بسیار خوبی دارند. همانطور که در قسمت مواد و روش‌ها گفته شد، مقدار  $R$  هرچه به ۱ نزدیک‌تر باشد، بیانگر تشابه بیشتر بین رفتار داده‌های تولیدشده و رفتار داده‌های مشاهداتی است، که با توجه به شکل ۶ مقدار  $R$  برابر ۰/۹۲ است. بنابراین می‌توان گفت پیش‌بینی انجام‌شده احتمال وقوع بسیار زیادی دارد.

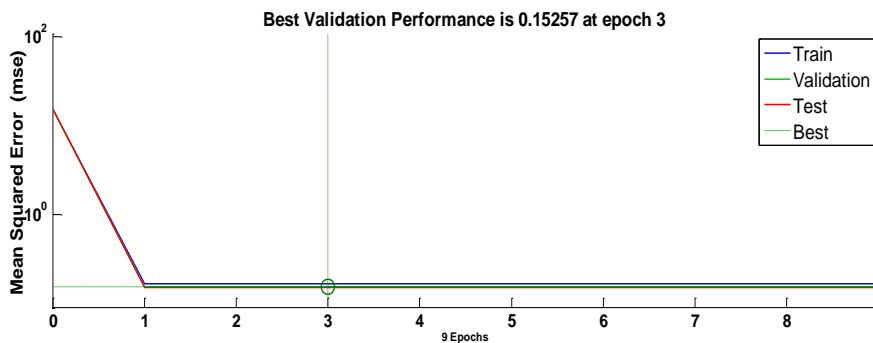
براساس نتایج شکل ۵ می‌توان دریافت که نوسانات دمایی زیادی در بازه‌ی زمانی موردنظر در دو ایستگاه کاشان و شرق اصفهان (فرودگاه)، رخ می‌دهد و سال ۱۳۹۱ کمترین دما اتفاق افتاده است و سال ۱۴۲۱ بیشترین دما اتفاق خواهد افتاد و اختلاف دما بین سردترین سال و گرم‌ترین سال ۰/۶ درجه سانتی‌گراد است، به عبارتی سال ۱۴۲۶ دما به نسبت سال ۱۳۸۶ به مقدار ۰/۲۳ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت.

#### نتایج به‌دست‌آمده از مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی؛

شکل ۶، نشان‌دهنده‌ی ضریب همبستگی بین داده‌های مشاهداتی دما و داده‌های پیش‌بینی‌شده‌ی دما، در ایستگاه سینوپتیک اصفهان،



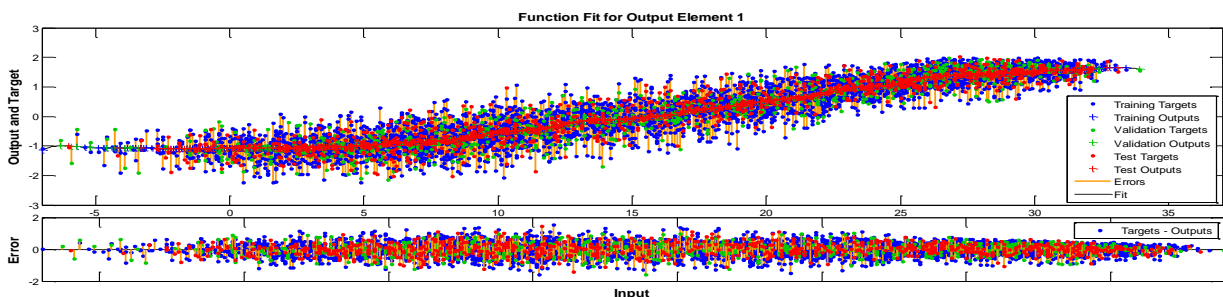
شکل ۶- مقادیر R داده‌های مشاهداتی و داده های پیش‌بینی شده ایستگاه اصفهان



شکل ۷- بهترین نتیجه صحت‌سنجی با استفاده از روش mse در ایستگاه اصفهان

دما از سال ۱۳۸۴ تا ۱۴۱۹، در ایستگاه سینوپتیک اصفهان انجام شده‌است. بازه‌ی زمانی انتخاب شده به مقدار داده‌های مشاهداتی گذشته ارتباط دارد به طوری که هرچه داده‌های گذشته بیشتر باشند و داده‌های ناقص کمتری داشته باشند، سال‌هایی را که می‌توان پیش‌بینی کرد، افزایش می‌یابد.

نقطه‌ی مشخص شده در شکل ۷، بیانگر این است که بهترین صحت‌سنجی بین داده‌های آموزش داده شده، صحت‌سنجی شده و امتحان شده بعد از ۳ تکرار اتفاق افتاده است و مقدار آن برابر ۰/۱۵ است، هرچه مقدار mse به صفر نزدیک‌تر باشد، نتایج به دست آمده دقیق‌تر هستند و با توجه به شکل ۷، می‌توان دریافت که پیش‌بینی داده‌ها با دقت بسیاری انجام شده‌است. در نهایت در شکل ۸، پیش‌بینی



شکل ۸- پیش‌بینی دما ایستگاه سینوپتیک اصفهان ۱۴۱۹-۱۳۸۴

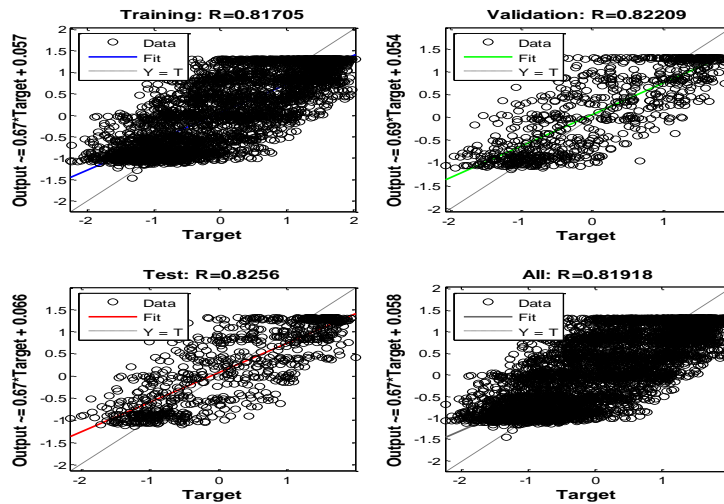
در نهایت شکل (سیاه)، به این صورت رسم شده‌است. در قسمت پایین شکل، مقدار خطاها به صورت بزرگ شده برای هر نقطه نسبت به مقدار اندازه‌گیری شده نشان داده شده‌است و همانطور که مشخص

شکل ۸، بیانگر پیش‌بینی دما از سال ۱۳۸۴ تا ۳۵ سال بعد از آن، یعنی سال ۱۴۱۹ است و داده‌های آموزش داده شده (آبی)، صحت‌سنجی داده‌ها (سبز)، امتحان داده‌ها (قرمز)، خطاها (نارنجی) و



دهنده‌ی ضریب همبستگی بین داده‌های مشاهداتی دما و داده‌های پیش‌بینی شده‌ی دما، در ایستگاه سینوپتیک خور و بیابانک، در بازه‌ی زمانی، سال ۱۳۸۴ تا سال ۱۴۲۴ است. شکل ۱۰، میانگین مربعات خطا (mse) را بین داده‌های مشاهداتی دما و داده‌های پیش‌بینی شده‌ی دما در ایستگاه سینوپتیک اصفهان در بازه‌ی زمانی سال ۱۳۸۴ تا سال ۱۴۲۴ نشان می‌دهد.

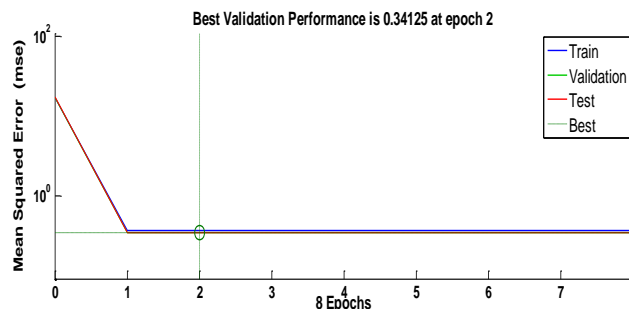
است مقدار خطاها بسیار نزدیک به مقادیر اندازه‌گیری شده است و نتیجه مطلوب است. براساس نتایج شکل ۸، دما به صورت تدریجی تا سال ۱۴۱۹ در افزایش می‌یابد به‌طوری‌که اختلاف دما از سالی که پیش‌بینی آغاز شده است تا سالی که پیش‌بینی اتمام یافته است. تقریباً برابر با ۲ درجه سانتی‌گراد است به عبارتی میانگین دما از سال ۱۳۸۴ تا ۱۴۱۹، ۲ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. شکل ۹، نشان-



شکل ۹- مقادیر R داده‌های مشاهداتی و داده‌های پیش‌بینی شده ایستگاه خور و بیابانک

داده‌های دما با دقت بالایی انجام شده است. در شکل ۱۰، در نقطه‌ی مشخص شده بهترین صحت‌سنجی بین داده‌های آموزش داده شده، صحت‌سنجی شده و امتحان شده بعد از ۲ تکرار اتفاق افتاده است و میانگین مربعات خطا (mse) برابر ۰/۳۴ است.

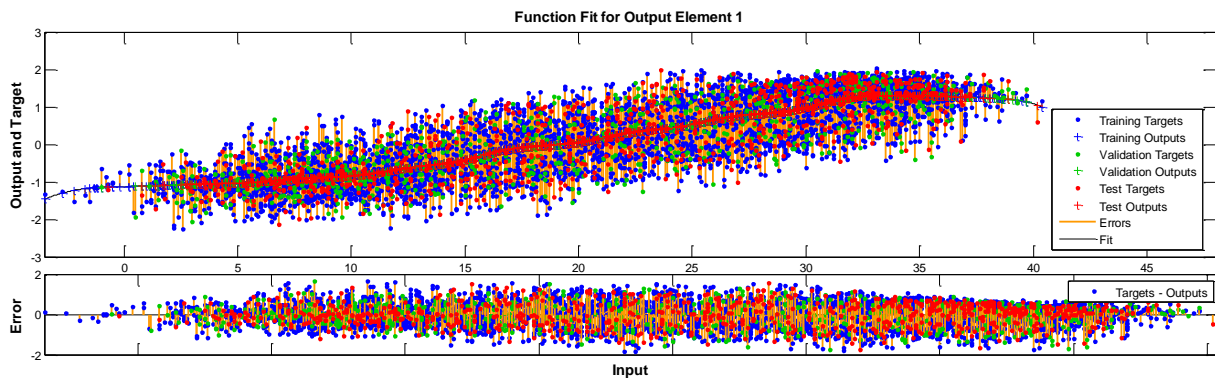
شکل ۹، نشان‌دهنده‌ی ضریب همبستگی بین داده‌های مشاهداتی دما و داده‌های پیش‌بینی شده‌ی دما است و R به دست آمده، برابر با ۰/۸۱ و نشان‌دهنده‌ی این است که داده‌های مشاهداتی دما و داده‌های پیش‌بینی شده‌ی دما با یکدیگر همبستگی بسیار خوبی دارند و احتمال وقوع داده‌های پیش‌بینی شده، زیاد است و پیش‌بینی



شکل ۱۰- بهترین نتیجه صحت‌سنجی با استفاده از روش mse در ایستگاه خور و بیابانک

انتخاب شده به مقدار داده‌های مشاهداتی گذشته ارتباط دارد به‌طوری‌که هرچه داده‌های گذشته بیشتر باشند و داده‌های دارای نواقص کمتری باشند، سال‌های قابل پیش‌بینی افزایش می‌یابد.

در شکل ۱۰، به دلیل اینکه مقدار mse کمتر از ۰/۵ و به صفر نزدیک‌تر است. پیش‌بینی داده‌های دما با دقت مناسبی انجام گرفته است. در شکل ۱۱، پیش‌بینی دما از سال ۱۳۸۴ تا ۱۴۲۴، در ایستگاه سینوپتیک خور و بیابانک انجام شده است. بازه‌ی زمانی



شکل ۱۱- پیش‌بینی دما ایستگاه سینوپتیک خوروبابانک در سال های ۱۴۲۴-۱۳۸۴

مقادیر به‌دست‌آمده از متغیرهای پیش‌بینی‌کننده‌ی nceptempgl و nceps500gl، دما تا سال ۱۴۲۸ به تدریج افزایش خواهد یافت. در ایستگاه‌های اصفهان، داران، خوروبابانک و کیوترباد که از متغیر پیش‌بینی‌کننده‌ی nceptempgl پیروی می‌کنند اختلاف دما بین سال ۱۳۸۴ که سال شروع مدل‌سازی و سال ۱۴۲۸ که سال اتمام مدل-سازی است،  $0/2$  درجه سانتی‌گراد است و به عبارتی میانگین دمای سالانه به مقدار  $0/2$  درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا کرده‌است. همچنین در ایستگاه‌های شرق اصفهان (فرودگاه) و کاشان که از متغیر پیش‌بینی‌کننده‌ی nceps500gl پیروی می‌کنند. در سال ۱۳۹۱ کمترین دما اتفاق افتاده است و سال ۱۴۲۱ بیشترین دما اتفاق خواهد افتاد و اختلاف دما بین سردترین سال و گرم‌ترین سال  $0/6$  درجه سانتی‌گراد است.

نتایج مدل‌سازی دما به وسیله شبکه عصبی؛ در روش شبکه‌ی عصبی، مدل‌سازی به وسیله‌ی مقادیر متغیرهای پیش‌بینی‌کننده‌ی منتخب جدول ۲، انجام شده‌است و در نتیجه مقادیر میانگین دمای سالانه در کلیه ایستگاه‌ها در حال افزایش است، به‌طوری‌که اختلاف دما بین سال ۱۳۸۴ که سال شروع پیش‌بینی است و سال‌های پایانی پیش‌بینی که بسته به میزان کیفیت داده‌های مشاهداتی و میزان نواقص آماری هر ایستگاه متغیر هستند، تقریباً به ۲ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید.

براساس نتایج فوق، دمای استان اصفهان تا سال ۱۴۲۸ به تدریج افزایش می‌یابد و نوسانات بارش تقریباً یکسان است، بنابراین احتمال وقوع کم‌آبی در استان اصفهان وجود دارد زیرا با افزایش دما، آب مورد استفاده در مصارف خانگی و صنعتی و کشاورزی، افزایش می‌یابد و از طرفی با ثبات تقریبی بارش، احتمال کم‌آبی به وجود می‌آید، لذا می‌توان با انتخاب راهکارهای مدیریتی مناسب، به مصرف آب در سال‌های پیش‌رو بیشتر توجه کرد تا از این احتمال پیشگیری به عمل آید.

شکل ۱۱، بیانگر پیش‌بینی دما از سال ۱۳۸۴ تا ۴۰ سال بعد از آن، یعنی سال ۱۴۲۴ است و داده‌های آموزش داده‌شده (آبی)، صحت‌سنجی داده‌ها (سبز)، امتحان داده‌ها (قرمز)، خطاها (نارنجی) و در نهایت شکل (سیاه)، به این صورت رسم شده‌است. مقدار خطاها به صورت بزرگ‌شده برای هر نقطه نسبت به مقدار اندازه‌گیری شده نشان داده شده‌است و همانطور که مشخص است مقدار خطاها نزدیک به مقادیر اندازه‌گیری شده‌است و نتیجه مطلوب است. به دلیل اینکه داده‌های مشاهداتی در این ایستگاه دارای نواقص کمتری بوده‌است به همین دلیل تا ۴۰ سال آینده پیش‌بینی انجام شده‌است. براساس نتایج این شکل، دما به صورت تدریجی تا سال ۱۴۲۴ در افزایش می‌یابد و از سال ۱۳۸۴ تا ۱۴۲۴ میانگین دما تقریباً  $2/5$  درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت.

## نتیجه‌گیری

نتایج مدل‌سازی مقادیر دما و بارش توسط مدل Lars\_WG؛ براساس نتایج به دست آمده از مدل‌سازی مقادیر دما و بارش توسط مدل Lars\_WG، ایستگاه سینوپتیک داران به نسبت سایر ایستگاه‌های سینوپتیک مورد بررسی دارای بیشترین مقدار بارندگی و همچنین کم‌ترین دمای میانگین، به مقدار ۱۴ درجه‌ی سانتی‌گراد است و بیشترین مقدار میانگین بارندگی سالانه در این ایستگاه در سال ۱۴۰۵ برابر با  $2/35$  میلی‌متر خواهد بود و در مقابل ایستگاه خور و بیابانک دارای کم‌ترین میزان بارندگی و بیشترین دمای میانگین سالانه است و کم‌ترین مقدار میانگین بارندگی سالانه در این ایستگاه در سال ۱۳۸۵ برابر با  $0/3$  میلی‌متر است و بیشترین مقدار میانگین دمای سالانه در این ایستگاه در سال ۱۴۲۲ به مقدار  $32/5$  درجه سانتی‌گراد خواهد بود و تا سال ۱۴۲۸ دما و بارش دارای نوسان هستند و این نوسانات متوسط است و شدید نخواهد بود. نتایج مدل‌سازی مقادیر دما توسط مدل SDSM؛ با توجه به

## منابع

- statistical downscaling methods. *Theoretical and Applied Climatology*. 141: 1135–1150.
- Chai, T. and Draxler, R. 2014. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? *Geosci. Model Dev.*, 7. <https://doi.org/10.5194/gmdd-7-1525-2014>.
- Dehghan, S., Salehnia, N., Sayari, N. and Bakhtiari, B. 2020. Prediction of meteorological drought in arid and semi-arid regions using PDSI and SDSM: a case study in Fars Province, Iran. *Journal of Arid Land*. 12: 318–330.
- Harpham, C. and Wilby, R. L. 2005. Multi-site downscaling of heavy daily precipitation occurrence and amounts. *Journal of Hydrology*. 312(1–4): 235–255.
- Karamouz, M., FALAHI, M., Nazif, S. and RAHIMI, F. M. 2009. Long lead rainfall prediction using statistical downscaling and artificial neural network modeling.
- Khan, M. S., Coulibaly, P. and Dibike, Y. 2006. Uncertainty analysis of statistical downscaling methods. *Journal of Hydrology*, 319(1–4), 357–382.
- Liu, Z., Xu, Z., Charles, S. P., Fu, G. and Liu, L. 2011. Evaluation of two statistical downscaling models for daily precipitation over an arid basin in China. *International Journal of Climatology*. 31(13): 2006–2020.
- Nury, A. H. and Alam, M. J. B. 2014. Performance study of global circulation model HADCM3 using SDSM for temperature and rainfall in North-Eastern Bangladesh. *Journal of Scientific Research*. 6(1): 87–96.
- Salehnia, N., Hosseini, F., Farid, A., Kolsoumi, S., Zarrin, A. and Hasheminia, M. 2019. Comparing the performance of dynamical and statistical downscaling on historical run precipitation data over a semi-arid region. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*. 55(4): 737–749.
- Wang, J. 2012. On the relationship between Pearson correlation coefficient and Kendall's tau under bivariate homogeneous shock model. *ISRN Probability and Statistics*.
- Wilby, R. L., Dawson, C. W. and Barrow, E. M. 2002. SDSM—a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modelling & Software*. 17(2): 145–157.
- Xu, C. 1999. From GCMs to river flow: a review of downscaling methods and hydrologic modelling approaches. *Progress in Physical Geography*. 23(2): 229–249.
- آشفته، پ. و حداد، ا. ب. (۱۳۹۲). ارائه ی رویکرد احتمالاتی ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب. *مهندسی منابع آب*. ۶ (۱۹): ۵۱–۶۶
- احمدی باصری، ن.، شیروانی، ا. و ناظم السادات، م. (۱۳۹۲). کاربرد مدل شبکه عصبی مصنوعی در خرد مقیاس نمودن برون داده‌های مدل GCM برای پیش‌بینی بارش در پهنه‌ی جنوبی ایران. *آب و خاک*. ۲۸ (۵): ۱۰۳۷–۱۰۴۷.
- بابائیان، ا. و کوهی، م. (۱۳۹۱). ارزیابی شاخص‌های اقلیم کشاورزی تحت سناریوهای تغییر اقلیم در ایستگاه‌های منتخب خراسان رضوی. *آب و خاک*. ۲۶ (۴): ۹۵۳–۹۶۷.
- زابل عباسی، ف.، ملبوسی، ش.، بابائیان، ا.، اثمیری، م. و برهانی، ر. (۱۳۸۹). پیش‌بینی تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی در دوره ۲۰۲۹–۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری خروجی شبیه‌ساز ECHO\_G. *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*. ۲۴ (۲): ۲۱۸–۲۳۳.
- مدرسی، ف.، عراقی نژاد، ش.، ابراهیمی، ک. و خلقی، م. (۱۳۹۰). بررسی اثر تغییر اقلیم بر میزان آبدهی سالانه رودخانه‌ها (مطالعه موردی: رودخانه گرگانرود). *آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*. ۲۵ (۶): ۱۳۶۵–۱۳۷۷.
- مساح یوانی، ع. و مرید، س. (۱۳۸۴). اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زاینده رود اصفهان. *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*. ۹ (۴): ۱۷–۲۷.
- Aksoy, H. and Dahamsheh, A. 2009. Artificial neural network models for forecasting monthly precipitation in Jordan. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 23(7): 917–931.
- Alexander, D. L. J., Tropsha, A. and Winkler, D. A. (2015). Beware of R 2: simple, unambiguous assessment of the prediction accuracy of QSAR and QSPR models. *Journal of Chemical Information and Modeling*. 55(7): 1316–1322.
- Ashraf, B., Mousavi-Baygi, M., Kamali, G. A., & Davari, K. 2011. Prediction of seasonal variations of climatological parameters over next 20 years by using statistical downscaling method of HADCM3 data (Case study: Khorasan Razavi province). *J. Water Soil*. 25(4): 945–957.
- Baghanam, A. H., Eslahi, M., Sheikhabaei, A. and Seifi, A. J. 2020. Assessing the impact of climate change over the northwest of Iran: an overview of

## The Isfahan values of Temperature and Precipitation Forecast Based on Two Fine Scale Models Lars\_WG and SDSM and Artificial Neural Network Method

A. Zarfeshani<sup>1</sup>, MH. Jahangir<sup>2\*</sup>

Received: Jul.27, 2020

Accepted: Jun.03, 2020

### Abstract

The scales of temporal and spatial steps of Atmosphere General Circulation Models GCM are continental and global. Therefore, it is necessary the models act on the local behavior of the station data, to understand the status of a local station using these models. In this study using SDSM, LARS\_WG models and artificial neural network method Based on observational data obtained from 6 synoptic stations in Isfahan province, temperature and precipitation forecasts of these stations from 2021 to 2050 have been investigated. Pearson's correlation coefficient ( $r$ ) and coefficient of determination ( $R^2$ ) between observational data and scenario data at all stations are above 0.6, and root-mean-square error (RMSE) is acceptable, then good simulation has been performed. Based on the results, the temperature of Isfahan province increased from 2021 to 2050 and based on SDSM, In 2005 it had the lowest value and in 2050 it had the highest value And the temperature difference of these years is about  $2/3$  ° C, which indicates that the temperature will rise and Precipitation changes are almost similar to current changes and We will have the highest amount of precipitation in 1405 and 1406 which, in daran station which, It has more rainfall than other stations, it will be about 2.3 mm.

**Keywords:** GCM, Pearson's correlation, Synoptic stations, Spatial, Temporal,

1- M.Sc, Ecohydrology, Faculty of New Science and Technologies, University of Tehran, Iran

2- Assistant Professor, Department of New Energy and environment, Faculty of New Science and Technologies, University of Tehran, Iran

(\*- Corresponding Author Email: mh.jahangir@ut.ac.ir)