نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال دهم، شماره۲ ، تابستان ۱۴۰۲

صفحات ۱ – ۲۰

شبیه‌سازی روند و فرین های دمای زنجان براساس سناریوهای اقلیمی و شگرد شبکه عصبی مصنوعی

لیلا احدی[1]؛ دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

حسین عساکره؛ استاد اقلیم شناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

یونس خسروی؛ دانشیار محیط زیست، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

دریافت مقاله : ۱۴۰۱/۰۹/۱۶ پذیرش نهایی:۱۴۰۲/۰۳/۰۶

چکیده

تغییرات شدید آب و هوایی (و گرمایش کرۀ زمین) در سال‌های اخیر به تغییر الگوهای جوی و پدید آمدن ناهنجاری‌های اقلیمی در اغلب نقاط جهان منجر شده است. فرایند تغییر اقلیم به‌ویژه تغییرات دما از مهم‌ترین چالش‌ها در قلمرو علوم زمین و علوم محیطی است. هرگونه تغییر در مشخصه‌های دما به‌عنوان یکی از عناصر مهم اقلیمی هر منطقه موجب تغییر در ساختار اقلیمی آن منطقه می‌گردد. از این‌رو شناخت تغییرات و روند دما در برنامه‌ریزی‌های محیطی مبتنی بر دانسته‌های آب وهوایی هر نقطه و ناحیه امری ضروری به نظر می‌رسد. به همین جهت پژوهش حاضر به شبیه‌سازی دمای روزانۀ (کمینه، بیشینه و میانگین) شهر زنجان تا سال ۲۱۰۰ می‌پردازد. روش اجرای پژوهش از نوع توصیفی – تحلیلی و روش گردآوری داده‌ها کتابخانه‌ای (اسنادی) است. برای بررسی دمای شهر زنجان از داده‌های کمینه، بیشینه و میانگین روزانۀ دما از ایستگاه همدید شهر زنجان طی دوره ۲۰۲۱-۱۹۶۱ استفاده شد. برای ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو و شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی (دمای کمینه، متوسط و بیشینه) از شگرد شبکه عصبی مصنوعی و سناریوهای اقلیمی، در دوره‌های آتی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصل از شبیه‌سازی روند و فرین‌های دمایی با استفاده از سناریوهای RCP۲٫۶، RCP٤٫٥ و RCP۸٫٥، نشان داد که افزایش متوسط دمای روزانه، کمینه و بیشینه تحت تمامی سناریوها، به‌ترتیب ۳/۶، ۳/۳ و ۲/۷ درجۀ سلسیوس برای دورۀ ۲۰۲۲-۲۱۰۰ محتمل است. بررسی داده‌های ماهانۀ شبیه‌سازی شده تحت سناریوها و داده‌های مشاهده شدۀ نظیر نشان می‌دهد که احتمال دارد کمینه، میانگین و بیشینۀ دما در ماه‌های ژانویه و فوریه بیشترین افزایش را داشته باشند. در حالی‌که با توجه به ۳ سناریو، احتمال دارد که میانگین کمینه در ماه اوت، متوسط دما در ماه آوریل و بیشینۀ دما در ماه اکتبر کم‌ترین افزایش را تجربه کنند. همچنین دمای فصلی شبیه‌سازی شده تحت سناریوها نشان می‌دهد همه فصل‌های سال به‌ویژه فصل‌های سرد سال، گرم‌تر خواهند شد. شمار رخداد فراوانی فرین‌ها نیز در هر سه مقیاس دمایی (کمینه، میانگین و بیشینه) برای صدک ۲۵ام و۷۵ام در هر سه سناریو افزایش خواهد یافت.

واژه های کلیدی: سناریوهای اقلیمی، شبیه‌سازی، فرین دما، شبکه عصبی مصنوعی، زنجان.

[1] . نویسنده مسئول: Email:Leila.ahadi۷۰@gmail.com

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.1.6]

[DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.1]

مقدمه

گرمایش جهانی و تغییر اقلیم در حال حاضر یکی از مهم‌ترین چالش‌های محیط زیستی در سطح جهان است (پناهی و درجانی، ۸۰:۱۳۹۹). تغییر اقلیم از دیدگاه بسیاری از صاحب‌نظران یک پدیده‌ی طبیعی است که در توالی‌های زمانی بلندمدت به‌وقوع می‌پیوندد. تأثیر فعالیت‌های بشری سبب تشدید اثرات پدیده تغییر اقلیم، شدت روند تغییرات و تغییر بازه‌ی زمانی توالی تغییرات اقلیمی می‌شود (محمدلو و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۵۱؛ اکبری و اسدالهی، ۱۴۰۰: ۸۳). یکی از مهم‌ترین جلوه‌های تغییر اقلیم، افزایش دمای جهانی و افزایش پدیده‌های فرین اقلیمی است (اسدی و همکاران، ۱۳۹۱: ۳). افزایش گازهای گلخانه ای یکی از عوامل موجد در رخداد تغییر اقلیم است (علیجانی و همکاران، ۱۳۹۸: ۳۴؛ علوی نیا و زارعی، ۱۳۹۹: ۲). افزایش دما، تأثیر بر فرایندهای هیدرواقلیمی، موج‌های گرمایی و مسائل زیست‌محیطی و افزایش بسامد آنها از پیامدهای آن می‌باشد (Marschütz and et al, ۲۰۲۰: ۱؛ Charpentier, ۲۰۱۰: ۱).

روند شهرنشینی و تغییرات جهانی محیط زیست دو عامل مهم تنش‌زا در عصر حاضر هستند که مقاومت شهرهای جهان را تهدید می‌کنند (McEvoy and et al, ۲۰۱۸: ۱). توجه به این مهم وقتی حائز اهمیت بیشتری می شود که نتایج بررسی عوامل متعدد در تغییر دمای کرۀ زمین، اخیراً دانشمندان را به این اتفاق نظر رسانده است که بیش از ۷۰ درصد انتشار CO_2 جهان و افزایش میزان گازهای گلخانه‌ای، به‌عنوان عامل کنترل کنندۀ دمای زمین، به شهرها نسبت داده می‌شود (جعفری و همکاران، ۱۳۹۵: ۸۳؛ Gurney et al., ۲۰۱۵: ۱۸۰) و انتظار می‌رود با ادامه روند شهرنشینی، میزان گازهای گلخانه‌ای افزایش یابد (Creutzig et al., ۲۰۱٦: ۱۰٥٤). طبق گزارش پنجم و ششم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، متوسط دمای کره زمین طی ۲۰۱۲-۱۸۸۰ حدود ۰/۸۵ درجۀ سلسیوس افزایش یافته است. در نیمکره شمالی، دوره ۲۰۱۳ - ۱۹۸۳ گرم ترین دوره ۳۰ ساله طی ۱۴۰۰ سال گذشته بوده است (Pearce et al, ۲۰۱۳: ٤٧؛ خوش اخلاق و همکاران، ۱۳۹۸: ۲۱۲).

کشور ایران در پهنه‌بندی اقلیمی IPCC جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا بشمار می‌آید (پناهی و درجانی، ۸۲:۱۳۹۹). همانند سایر نقاط کرۀ زمین، رژیم بارشی و دمایی مناطق مختلف کشور ایران، برای مثال شهر زنجان، تحت تأثیر تغییرات اقلیمی قرار گرفته است و این تغییرات باعث مشکلات عدیده ای در بخش‌های کشاورزی، منابع طبیعی، صنعتی، اقتصادی و .. شده است (صی محمدی و همکاران، ۱۴۰۰: ۱۸) و ادامۀ این روند در آینده بسیار محتمل است (پناهی و درجانی، ۸۲:۱۳۹۹). استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی اقلیم، مخاطرات اقلیمی احتمالی در آینده را شناسایی و برای اتخاذ تدابیر مدیریتی و برنامه‌ریزی مبتنی برآن آمادگی لازم را مهیا می‌سازد. این شناخت و عمل در کشورهایی نظیر ایران که زیست‌بوم‌های شکننده و آسیب‌پذیری دارند و جوامع انسانی آنها در معرض مخاطرات اقلیمی عمده‌ای هستند، بسیار ضروری است و بر وضعیت بخش‌های وابسته به اقلیم تأثیر قابل ملاحظه‌ای می گذارد. ضرورت‌های یاد شده، انجام مطالعۀ حاضر را توجیه می‌کند.

مطالعات مربوط به شبیه‌سازی دما با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی[۱] در مقیاس جهانی به‌وفور انجام شده است (برای مثال، تریگو و پالوتیکوف، ۱۹۹۹؛ اوستااوغلو و همکاران، ۲۰۰۸؛ ماداکو و همکاران ۲۰۱۶؛ کومار گویال و اوجاح ۲۰۱۲). اما در کشور ما مطالعات محدود و معدودی در این زمینه انجام شده است (مثلاً علیجانی و همکاران ۱۳۹۱؛ سبزی پرور و همکاران ۱۳۹۲؛ حیدری و همکاران ۱۳۹۲؛ عساکره و یوسفی زاده ۱۳۹۴؛ عساکره و اکبرزاده ۱۳۹۶؛

۱. Artificial Neural Network (ANN)

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.1.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.1]

عساکره و غلامی ۱۴۰۰). نتایج تمامی پژوهش‌های ذکر شده نشان داد که براساس سناریوی افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای، افزایش دما در آینده محتمل خواهد بود. مطالعات فوق نشان می دهند که مدل شبکه عصبی مصنوعی در ریزمقیاس نمایی و شبیه سازی متغیرهای دمایی دقت بالایی دارد.

اگرچه تغییر اقلیم رویدادی جهانی است، اما این تغییرات در نواحی مختلف کره زمین جلوه‌های متفاوتی دارد. از این رو مطالعه آن در مقیاس‌های مختلف نیز معنی‌دار است. مطالعه تغییر اقلیم در مقیاس نقطه‌ای می‌تواند تغییرات نسبی یک نقطه را منعکس کند، زنجان به عنوان یکی از شهرهای در حال توسعه است که تحت تأثیر آلاینده های موسوم به گازهای گلخانه ای است، از این رو شناسایی نحوۀ تغییرات دمایی شهر زنجان تحت سناریوهای مختلف آگاهی های مفیدی را به دست می دهد. لذا هدف از پژوهش حاضر شبیه‌سازی پارامتر دمای روزانه (کمینه، متوسط و بیشینه) ایستگاه سینوپتیک زنجان و احتمال رویداد فراوانی فرین‌های هر یک از این ۳ نمایه دمایی است، تا بتوان طرحی عمومی از شرایط آینده تحت سناریوهای مختلف برای مدیران و برنامه‌ریزان شهری عرضه نمود. پژوهش حاضر می‌تواند ضمن ارائه الگوی مطالعاتی و روش‌شناسی پژوهش، یکی از مسائل و مشکلات احتمالی حاصل از فرایند گرمایش جهانی را در یک مقیاس محلی – شهری منعکس سازد تا چشم‌اندازی برای مدیریت و برنامه‌ریزی مبتنی بر دانسته های اقلیم ارائه نماید. ضرورت این تحقیق زمانی بارزتر خواهد بود که گسترش فیزیکی بسیار سریع زنجان در معرض توجه قرار گیرد. با توجه به بررسی مطالعات صورت گرفته، از روش های خاصی برای انتخاب متغیرها استفاده نگردیده است، در این پژوهش از روش های گام به گام و حذف پیشرونده برای انتخاب متغیر استفاده می شود و با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی و سناریوهای اقلیمی RCP، تلاش شده است دماهای کمینه، متوسط و بیشینه شهر زنجان برای دوره‌های منتهی به سال ۲۱۰۰، براساس داده‌های دورۀ ۲۰۲۱-۱۹۶۱ شبیه سازی شوند، سپس فرین‌های دمایی شهر زنجان، به‌عنوان جلوه‌ای از تغییرات اقلیمی، با بهره‌گیری از روش صدک بررسی شوند و احتمال رخداد آنها با روش زنجیره مارکف مورد محاسبه قرار گیرند.

داده ها و روش کار

الف) قلمرو جغرافیایی مورد مطالعه

استان زنجان در شمال غرب ایران واقع شده است، مرکز آن شهرستان زنجان است شهرستان زنجان با مساحتی معادل ۲۴۶۹ کیلومترمربع از شمال به استان آذربایجان شرقی، از شمال شرق به شهرستان طارم، از شرق به شهرستان ابهر، از غرب به شهرستان ماهنشان و از جنوب به شهرستان ایجرود محدود می‌گردد و در فاصله ۳۳۰ کیلومتری تهران قرار دارد (مرکزآمار ایران، ۱۳۹۵؛ پورمحمدی و همکاران، ۳۳:۱۳۸۷ و ملکی، ۹:۱۳۹۸).

جدول ۱. طول و عرض جغرافیایی شهر زنجان

طول شرقی (درجه)				عرض شمال (درجه)			
حداقل		حداکثر		حداقل		حداکثر	
دقیقه	درجه	دقیقه	درجه	دقیقه	درجه	دقیقه	درجه
۱۴	۴۸	۴۴	۴۸	۳۴	۳۶	۴۶	۳۶

مأخذ: شهرداری زنجان، ۱۴۰۱

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.1.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.1]

ب) داده‌ها

در پژوهش حاضر ریزمقیاس نمایی و شبیه سازی متغیرهای دمایی (کمینه، متوسط و بیشینه ی دما) ایستگاه همدید زنجان با استفاده از روش شبکهٔ عصبی مصنوعی و با توجه به سناریوهای RCP۲،٦، RCP٤،٥ و RCP۸،٥ خروجی های مدل HadCM۳ انجام گرفت. جهت دستیابی به اهداف این پژوهش، از ۳ گروه داده استفاده شد.

۱. میانگین، بیشینه و کمینهٔ روزانهٔ دمای ثبت شده از ایستگاه سینوپتیک زنجان طی دوره ۲۰۲۱-۱۹۶۱ با مختصات ۳۶ درجه و ۴۱ دقیقه شمالی و ۴۸ درجه و ۲۹ دقیقه شرقی، از سازمان هواشناسی کشور دریافت و به لحاظ کیفیت بررسی شده است.

۲. داده‌های ویژگی‌های جو که مرجع اصلی آن NCEP/NCAR برای دوره تاریخی ۲۰۰۵ - ۱۹۶۱ و به‌منظور واسنجی مدل مورد استفاده قرار گرفت. این پایگاه جهانی شامل داده‌های شبکه‌بندی عناصر اقلیمی مختلفی است. داده های این پایگاه به دو صورت روزانه و ماهانه ارائه می‌شود (مروتی و شکوهی، ۱۳۹۳: ۱۹). در این مطالعه از داده‌های NCEP، شامل ۲۶ متغیر جوی به عنوان متغیر مستقل برای شبیه سازی ۳ متغیر دما استفاده شد.

جدول ۲. فهرست متغیرهای جوی مرکز NCEP/NCAR

ردیف	نام متغیر	ردیف	نام متغیر
۱	میانگین فشار هوا در تراز دریا	۱۴	سرعت باد در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال
۲	سرعت باد سطحی	۱۵	باد مداری در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال
۳	باد مداری سطحی	۱۶	باد نصف النهاری در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال
۴	باد نصف النهاری در سطح	۱۷	تاوایی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال
۵	تاوایی در سطح	۱۸	جهت باد در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال
۶	جهت باد در سطح	۱۹	واگرایی در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال
۷	واگرایی در سطح	۲۰	ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال
۸	سرعت باد در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	۲۱	ارتفاع ژئوپتانسیل در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال
۹	باد مداری در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	۲۲	بارش سطحی
۱۰	باد نصف النهاری در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	۲۳	نم ویژه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال
۱۱	تاوایی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	۲۴	نم ویژه در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال
۱۲	جهت باد در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	۲۵	نم نسبی
۱۳	واگرایی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	۲۶	میانگین دما در ارتفاع ۲ متری

۳. به‌منظور شبیه‌سازی داده‌ها، داده‌های مدل گردش عمومی جوی «HadCM۳» مورد استفاده قرار گرفت. مدل HadCM۳ از نوع مدل‌های سه‌بعدی گردش عمومی جو - اقیانوس[۱] می‌باشد و در مرکز هادلی سازمان هواشناسی انگلیس طراحی و توسعه یافته است و دارای شبکه‌بندی با ابعاد ۲/۵ × ۳/۷۵ درجه طول در عرض جغرافیایی می‌باشد. مدل HadCM۳ از دو مؤلفهٔ جوی (HadAM۳) و اقیانوسی (HadOM۳) تشکیل شده است. شبیه‌سازی‌ها بر مبنای تقویم سال ۳۶۰ روزه و ماه‌های ۳۰ روزه انجام می‌شود. قدرت تفکیک بالای مؤلفه اقیانوسی، مهم‌ترین

۱. AOGCM

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.1.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.1]

مزیت این مدل می‌باشد. مزیت دیگر این مدل، هماهنگی خوب بین مؤلفه‌های جوی و اقیانوسی آن می‌باشد (شیدائیان و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۲۸۷ و خادمی و همکاران، ۱۳۹۶: ۵۶). ایستگاه همدید زنجان در مدل گردش عمومی، در یاخته ای با مختصات دکارتی X=۱۹ و Y=٤٦ واقع شده است. در این مطالعه از داده‌های شبیه‌سازی ۲۶ متغیر جوی که منطبق بر داده‌های NCEP (اشاره شده در بالا) برای انتخاب، برازش، آزمون و ارزیابی مدل و شبیه‌سازی دمای روزانه کمینه، متوسط و بیشینه استفاده شد. شبیه‌سازی بلندمدت متغیرهای اقلیمی برای اطلاع از میزان تغییرات آنها و درنظرگرفتن تمهیدات لازم به منظور تعدیل اثرهای سوء ناشی از تغییرات اقلیمی و به عبارت دیگر مشخص کردن وضعیت‌های ممکن در آینده بوده که سناریوهای اقلیمی نامیده می‌شود (زارعی و همکاران،۱۳۹۸:۵۶۴). به همین جهت از سناریوهای RCP۲،٦، RCP٤،٥ و RCP۸،٥ مدل‌های گردش عمومی جو جهت شبیه سازی استفاده می‌شود. فرین‌های شبیه‌سازی شده مورد وارسی و بررسی قرار خواهد گرفت.

ج) روش‌ها

جهت انتخاب و پرمایش متغیرهای مستقل مناسب، بین داده های جو بالا و داده ایستگاهی همبستگی صورت می گیرد. برای اینکار از ۲ روش حذف پیشرونده و روش گام به گام بین داده های جو بالا و داده حداکثر دمای ثبت شده ایستگاهی استفاده میگردد تا متغیرهایی که هم پوشانی نداشته و بیشترین همبستگی را با متغیر دما دارا می باشند انتخاب شوند و همچنین دقت هرکدام از این روش ها جهت انتخاب متغیرهای مستقل شایسته مشخص گردد.

روش حذف پیشرونده: این روش با محاسبه همبستگی ساده بین هر یک از متغیرهای مستقل و وابسته آغاز و سپس آن متغیر مستقلی که همبستگی قوی تری با متغیر وابسته دارد، انتخاب می شود. انتخاب متغیرهای بعدی بر اساس بالاترین مجذور همبستگی نیمه جزئی با متغیر وابسته انجام می گردد (عساکره، ۱۳۹۰: ۲۵۷).

روش گام به گام: برخلاف روش پیشرونده، در هر گام از روش گام به گام مشارکت هر یک از متغیرهایی که از قبل وارد مدل شده اند، مجددا آزمون می شود. بنابراین ممکن است متغیر مستقلی که در ابتدا برآوردگر خوبی باشد، در گام های بعدی حذف شود. در این روش بهترین متغیر مستقل بر اساس بالاترین ضریب همبستگی مرتبه صفر با متغیر وابسته مشخص می شود (عساکره، ۱۳۹۰: ۲۵۸).

به دلیل اینکه دقت مکانی و زمانی خروجی مدل‌های گردش عمومی جو به دلیل بزرگ‌مقیاس بودن، با دقت مورد نیاز مطابقت ندارد، روش‌های مختلفی برای ریزمقیاس‌نمایی و شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی تحت تأثیر تغییر اقلیم وجود دارد که معتبرترین آنها استفاده از روش‌های آماری می‌باشد (اعتمادی و همکاران، ۱۳۹۴: ۹۰). از روش‌های کمّی که کاربرد فراوانی در شبیه‌سازی داشته‌اند، می‌توان به شگرد شبکه عصبی مصنوعی اشاره نمود. شبکه‌های عصبی مصنوعی محاسباتی پیچیده هستند که قادرند از توابع محرک مختلفی برای تولید خروجی بهره بگیرند. توابع لگاریتم سیگموئیدی، تانژانت سیگموئیدی و تابع محرک خطی متداول‌ترین آن‌ها محسوب می‌شوند (Demuth and Beale, ۲۰۰۰: ۱۳۹ به نقل از صلاحی و همکاران، ۱۳۸۹: ۶۸؛ خادمی و همکاران، ۱۳۹۶: ۵۷). شبکه های عصبی با توابع سیگموئید در لایهٔ اول و تابع خطی در لایهٔ دوم می‌توانند هر تابع خطی دلخواه و بسیاری توابع غیرخطی را با تعداد محدود نقاط ناپیوستگی تخمین بزنند (عساکره و همکاران، ۱۴۰۰: ۱۳۱). هر شبکه با دریافت مثال‌هایی آموزش می‌بیند و یادگیری شبکه، زمانی انجام می‌شود که وزن‌های ارتباطی بین لایه‌ها چنان تغییر کند که اختلاف بین مقادیر پیش‌بینی شده و محاسبه شده در حد قابل قبولی باشد (خادمی و همکاران، ۱۳۹۶: ۵۷). براساس اصل امساک تلاش شد شبکهٔ مدنظر با کم‌ترین

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.1.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.1]

شمار لایه و نرون طراحی شود؛ زیرا با زیادشدن فراسنج‌هـای طراحی، تعبیر و تفسیر شبکه و نیز محاسبات مربوط بسیار دشوار به‌نظر خواهد رسید.

جهت انتخاب مدل و روش شایسته، باید MSE برای آموزش شبکه، ارزیابی و آزمون آن کمتر و همچنین همسبتگی آن قوی باشد.

رابطه MSE و R بصورت زیر می باشد:

$$\mathrm{MSE} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \bar{Y})^2}}$$

در مرحله بعد با مشخص شدن متغیرهای مستقل و معماری مناسب و شایسته شبکه، با استفاده از سناریوهای هیات بین الدول تغییر اقلیم در گزارش پنجم که خط سیر غلظت گازهای گلخانه ای می باشند، به شبیه سازی حداکثر دما تا سال ۲۱۰۰ پرداخته شده است.

برای بررسی احتمال رخداد فرین‌های دمایی مقادیر شبیه‌سازی شده، از مدل زنجیرۀ مارکوف استفاده شد. زنجیره مارکف در سال‌های اخیر در علوم جوی مورد توجه قرار گرفته است. زنجیره مارکف با روش‌های ساده ریاضی مانند ضرب ماتریس‌ها، حل احتمالات مربوط به فرآیندها وابسته را بسیار آسان نموده است (یزدان پناه و علیزاده، ۱۳۹۰: ۵۶). زنجیره مارکف حالت خاصی از مدل‌هایی است که در آنها حالت فعلی سیستم به حالت‌های قبلی آن بستگی دارد (ماه آورپور، ۱۳۹۳: ۲۳۲). در این پژوهش به‌منظور مطالعه و بررسی احتمال رخداد فرین از زنجیره مارکف مرتبه اول با آستانه صدک استفاده خواهد شد. برای زنجیره مارکف مرتبه اول که احتمال رفتن به وضعیت بعدی به یک مرحله قبل بستگی دارد، از رابطۀ زیر استفاده می شود:

$$\begin{aligned} P_{00} &= \Pr(X_{t+1} = 0 | X_t = 0) \\ P_{01} &= \Pr(X_{t+1} = 1 | X_t = 0) \\ P_{10} &= \Pr(X_{t+1} = 0 | X_t = 1) \\ P_{11} &= \Pr(X_{t+1} = 1 | X_t = 1) \end{aligned} \qquad (1)$$

نخستین گام برای محاسبه احتمال رخداد فرین‌های پایین و بالای سه متغیر مورد مطالعه، به‌دست آوردن فراوانی وقوع هریک از حالات (وقوع و عدم وقوع) و تغییر حالات به هم با استفاده از آستانۀ فرین‌ها است که از صدک استفاده می‌شود و صدک اول و سوم به‌عنوان آستانه مورد استفاده قرار خواهد گرفت. سپس با استفاده از زنجیره مارکف احتمال وقوع فرین‌های سه متغیر محاسبه خواهد شد.

ماتریس زیر فراوانی تغییر وضعیت از روز با دمای نرمال به روز با دمای نرمال، تغییر روز با دمای نرمال به روز با دمای فرین، تغییر روز با دمای فرین به روز با دمای نرمال و تغییر روز با دمای فرین به روز با دمای فرین را نشان می دهد.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.1.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.1]

$$F = \begin{matrix} D \\ W \end{matrix}\begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} \\ n_{21} & n_{22} \end{bmatrix}\begin{matrix} W \\ D \end{matrix} \quad (۲)$$

در این پژوهش برای تبدیل ماتریس فراوانی به ماتریس احتمال، روش بیشینهٔ درست نمایی به کار گرفته شده است. بر مبنای تئوری کلاسیک، احتمال بر اساس فراوانی نسبی در یک دوره آماری طولانی و به‌صورت درستنمایی بیشینه اتفاق افتادن رویداد مورد نظر تعریف می‌شود. ماتریس احتمال تغییر وضعیت به روش درستنمایی بیشینه به‌صورت زیر به‌دست می‌آید (عساکره و مازینی، ۱۳۸۹: ۳۶):

$$P = \begin{matrix} D \\ W \end{matrix}\begin{bmatrix} \frac{n_{11}}{n_{1+}} & \frac{n_{12}}{n_{1+}} \\ \frac{n_{21}}{n_{2+}} & \frac{n_{22}}{n_{2+}} \end{bmatrix}\begin{matrix} W \\ D \end{matrix} \quad (۳)$$

شرح و تفسیر نتایج

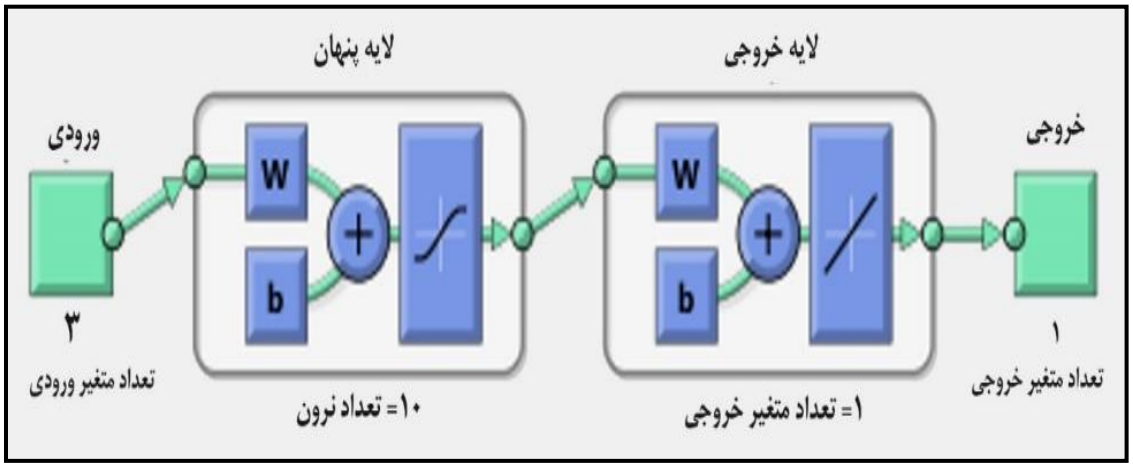
متغیرهای خروجی در پژوهش حاضر کمینه، بیشینه و میانگین دمای روزانه است. بنابراین سه مدل شبکه عصبی اختیار شد. برای شبیه‌سازی مدل، نیاز است که ورودی‌های مدل (متغیرهای مستقل) نیز از میان ۲۶ متغیر جوی اختیار شوند. بدین‌ترتیب دو روش حذف پیشرونده و گام به گام برای تعیین ورودی‌های مدل انتخاب شد. در این روش‌ها ابتدا متغیرهای اقلیمی که بیشترین همبستگی را با کمینه، بیشینه و میانگین دمای روزانه را دارند، اختیار شدند. نتایج نشان داد که براساس هر دو روش متغیرهای ورودی برای هرسه فراسنج دمایی یکسان هستند. طبق جدول ۳ و براساس کمینهٔ میانگین مربع خطاها (MSE) و ضریب همبستگی (R) این متغیرها شامل سرعت باد نصف‌النهاری در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، رطوبت ویژه در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و دما در ارتفاع دو متری بوده است. آزمون‌های نیکویی برازش براساس روش‌های معمول در آموزش شبکه مورد بررسی و وارسی قرار گرفت.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.1.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.1]

جدول ۳. متغیرهای مستقل انتخاب شده بر اساس روش حذف پیشرونده و گام به گام

نام متغیر	متغیر مستقل	همبستگی	p-value
کمینه ی دما	سرعت نصف النهاری ۵۰۰ هکتوپاسکال	۰/۴۲	۰
	رطوبت ویژه ۸۵۰ هکتوپاسکال	۰/۸۳	۰
	دمای سطح در ارتفاع ۲ متری	۰/۹۱	۰
متوسط دما	دمای سطح در ارتفاع ۲ متری	۰/۹۶	۰
	رطوبت ویژه ۸۵۰ هکتوپاسکال	۰/۸۳	۰
	فشار متوسط از سطح دریا	-۰/۷۵	۰
	ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال	۰/۸۶	۰
بیشینه ی دما	فشار متوسط از سطح دریا	-۰/۷۱	۰
	ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال	۰/۸۹	۰
	دمای سطح در ارتفاع ۲ متری	۰/۹۶	۰

برای ریزمقیاس نمایی و شبیه‌سازی سه متغیر دمایی، پس از آموزش (با استفاده از الگوریتم آموزش شبکهٔ لونبرگ-مـارکواردت[۱])، با استفاده از نرم افزار متلب، معماری و ساختار شبکه با یـک لایه پنهان و ۹ نرون برای کمینه، ۸ نرون برای متوسط و ۱۰ نرون برای بیشینهٔ دما و تابع انتقال سیگموئید اختیار شد (شـکل ۱). لایهٔ خروجی نیز با یک متغیر و یک تابع خطی (همانی) انتخاب گردید. خروجی حاصل از این مـدل، نزدیـک‌تـرین مقـادیر بـه مشاهدات دمای زنجان بود.

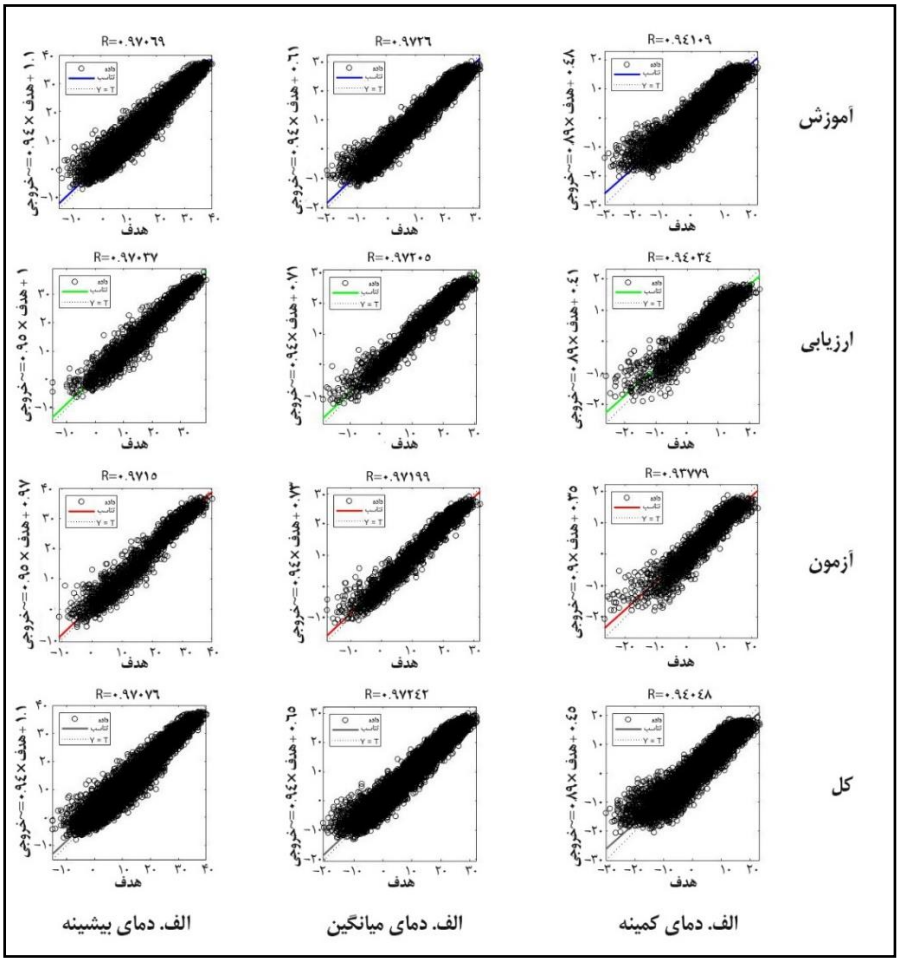


شکل ۱. معماری شبکه عصبی شبیه‌سازی کمینه، متوسط و بیشینهٔ دمای زنجان

در شکل ۲، رگرسیون داده‌های واقعی و داده‌های آموزش، آزمون صحت سنجی و کل عملکرد مدل در مقابل تابع هدف در مدل (Target) و خروجی مورد نظر شبکه برای دمای کمینه، متوسط و بیشینه نشان داده شده است. هرچه همبستگی مقادیر هدف (دما) و مقادیر برآورد شده (خروجی به یک نزدیک‌تر باشد، مدل مناسب‌تر و قابل قبول‌تر است. در تمام این نمودارها چنین وضعیتی مشاهده می شود.

۱. Train Network Algorithm Levenberg - Marquardt

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.1.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.1]



شکل ۲. پراکنش نگار دمای الف. کمینه، ب. متوسط و ج. بیشینهٔ واقعی – برآورد شده در مرحله آموزش، ارزیابی و آزمون مدل

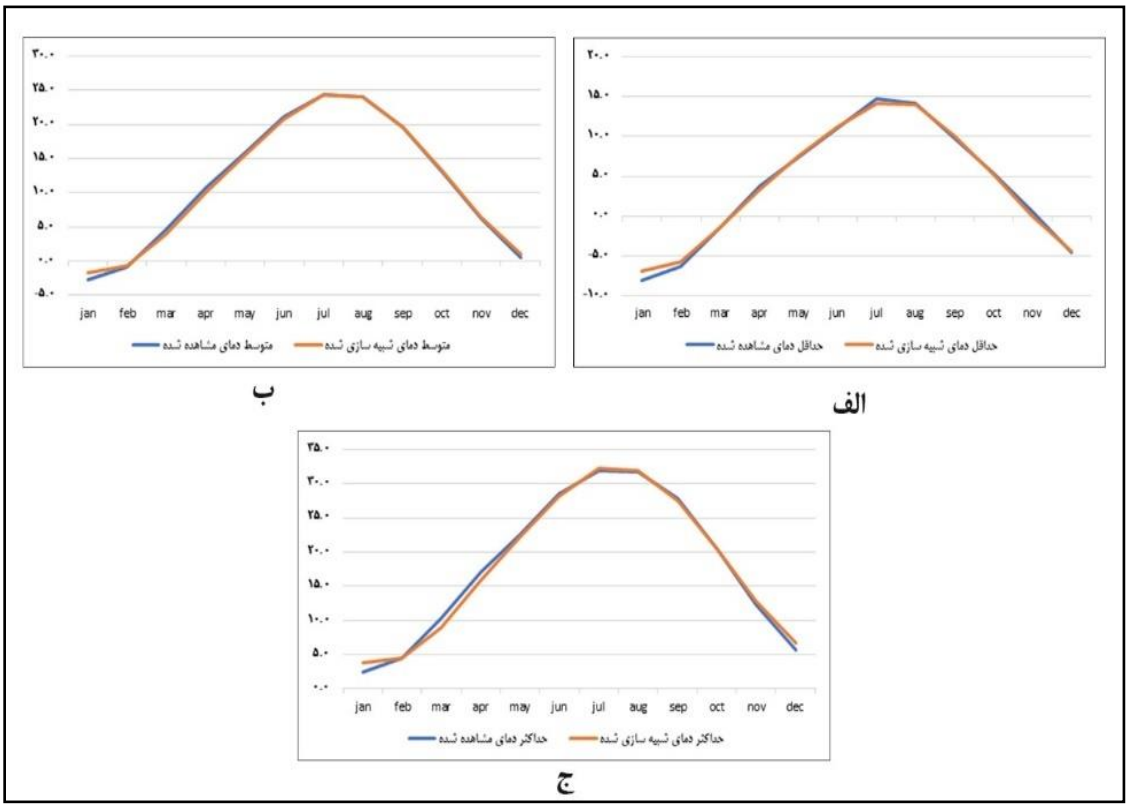
در جدول ۴ مقدار خطای مدل، داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده برای ۳ متغیر مورد مطالعه به‌صورت ماهانه ارائه شده است.

جدول ۴. MSE ماهانه مدل شبکه عصبی برای متغیرهای کمینه، متوسط و بیشینه ی دما، داده‌های ماهانه کمینه، متوسط و بیشینه ی دمای مشاهده شده با دمای شبیه‌سازی شده آنها طی دوره ۲۰۰۵-۱۹۶۱

	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep	oct	nov	dec
MSE کمینه ی دما	-۰/۹	-۰/۳	۰/۰۱	۰/۴	-۰/۱	-۰/۲	۰/۵	۰/۲	-۰/۳	۰/۲	۰/۶	۰/۱
MSE متوسط دما	-۱/۱	-۰/۱	۰/۸	۰/۸	۰/۲	۰/۳	۰	۰	۰	-۰/۱	-۰/۲	-۰/۵
MSE بیشینه ی دما	-۱/۴	-۰/۱	۱/۴	۱/۳	۰/۲	۰/۳	-۰/۴	-۰/۱	۰/۴	-۰/۱	-۰/۴	-۱/۱
کمینه ی دمای مشاهده شده	-۸	-۶/۴	-۱/۴	۳/۷	۷/۵	۱۱	۱۴/۷	۱۴/۲	۹/۷	۵/۴	۰/۵	-۴/۵
کمینه ی دمای شبیه‌سازی شده	-۶/۹۱	-۵/۸۱	-۱/۳۵	۳/۳۸	۷/۵۲	۱۱/۱۸	۱۴/۱۸	۱۳/۹۷	۱۰/۰۳	۵/۲۲	-۰/۰۳	-۴/۴۵
متوسط دمای مشاهده شده	-۲/۸	-۰/۸	۴/۷	۱۰/۸	۱۵/۸	۲۱/۱	۲۴/۵	۲۴	۱۹/۷	۱۳/۱	۶/۳	۰/۵
متوسط دمای شبیه‌سازی شده	-۱/۷	-۰/۶	۳/۹	۱۰	۱۵/۶	۲۰/۹	۲۴/۴	۲۴	۱۹/۶	۱۳/۳	۶/۵	۱
بیشینه ی دمای مشاهده شده	۲/۴	۴/۵	۱۰/۴	۱۷/۲	۲۲/۵	۲۸/۵	۳۱/۹	۳۱/۸	۲۷/۹	۲۰/۵	۱۲/۴	۵/۷
بیشینه ی دمای شبیه‌سازی شده	۳/۸	۴/۶	۹	۱۵/۹	۲۲/۳	۲۸/۲	۳۲/۳	۳۱/۹	۲۷/۵	۲۰/۶	۱۲/۸	۶/۸

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.1.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.1]

با توجه به جدول ۲ می‌توان دریافت که به‌طور کلی در هر ۳ مدل شبیه‌سازی شده، بیشترین خطا نسبت به سایر ماه‌ها در ماه ژانویه رخ می‌دهد (به طور میانگین ۱-). مدل دمای کمینه در ماه‌های مارس، می و دسامبر خطای کم‌تری دارد. مدل متوسط دما در ماه‌های جولای، آگوست و سپتامبر بدون خطا می‌باشد. مدل برازنده بر بیشینهٔ دما در ماه‌های فوریه، آگوست و اکتبر کم‌ترین خطا را دارد. به‌طور کلی مدل برازنده بر کمینهٔ دما نسبت به دو مدل دیگر خطای کم‌تری دارد. ولی به‌طور نسبی مدل‌های برازش شده اختلاف فاحشی با دمای مشاهده شده نشان نمی‌دهند.

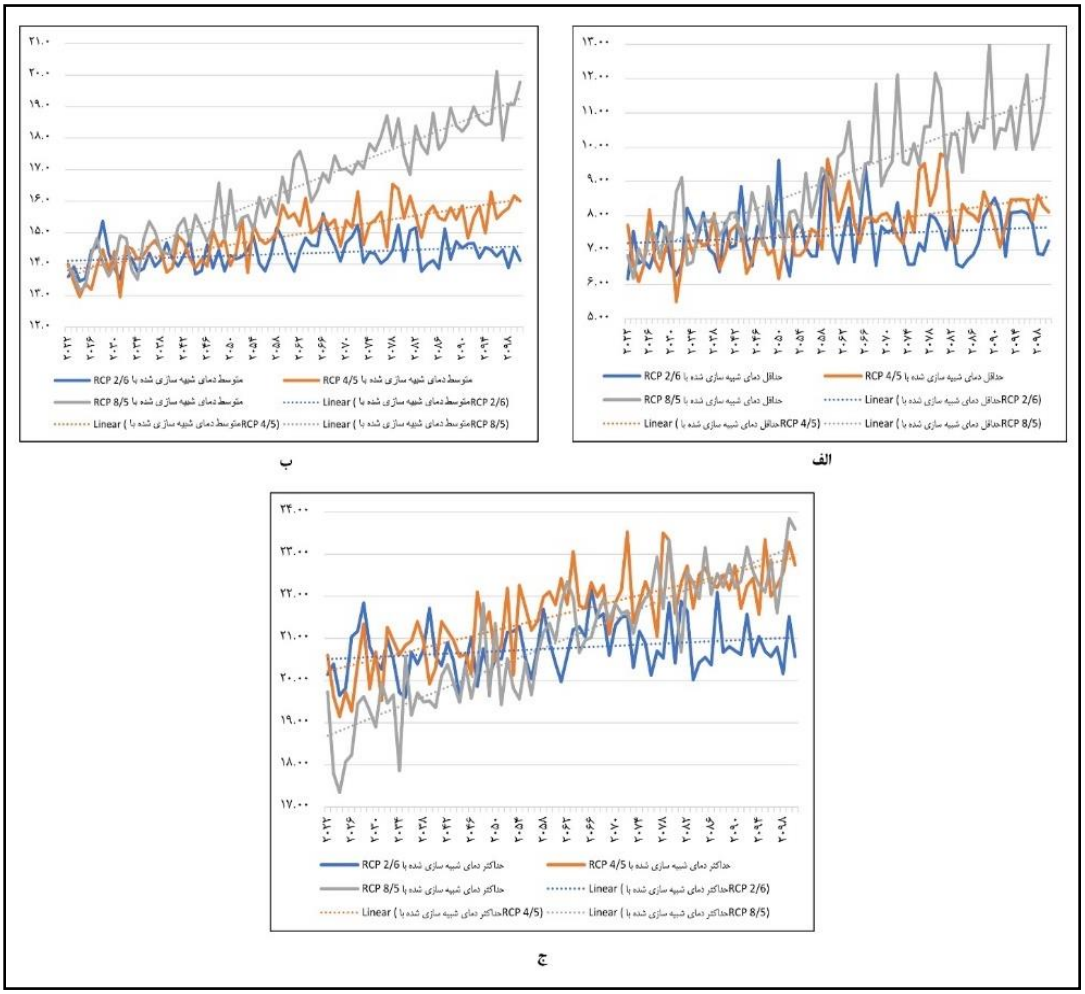


شکل ۳. توزیع ماهانهٔ دمای الف. کمینه، ب. متوسط و ج. بیشینهٔ مشاهده شده و شبیه‌سازی شده طی دوره ۲۰۰۵-۱۹۶۱

با توجه به نمودارها و جدول‌های بالا مشخص است که مدل‌های انتخاب شده کارایی مناسبی جهت شبیه‌سازی ۳ متغیر ذکر شده را دارند و داده‌های شبیه‌سازی شده به داده‌های مشاهده شده نزدیک هستند.

با استفاده از سناریوهای RCP۲٫۶، RCP۴٫۵ و RCP۸٫۵ به شبیه‌سازی متغیرها تا سال ۲۱۰۰ پرداخته شده است. در شکل ۴ شبیه‌سازی متغیرها براساس RCP۲٫۶، RCP۴٫۵ و RCP۸٫۵ به‌صورت سالانه ترسیم شده است.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.1.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.1]



شکل ۴. نمودارهای کمینه، متوسط و بیشینه ی دمای سالانه شبیه‌سازی شده زنجان طی دوره ۲۱۰۰-۲۰۲۲

با توجه به نتایج به‌دست آمده مشخص شد که میانگین کمینهٔ دمای شبیه‌سازی شده از سال ۲۱۰۰-۲۰۲۲ تحت سناریوهای RCP۲٫٦، RCP٤٫٥ و RCP۸٫٥، به ترتیب ۷/۴۶، ۷/۶۹ و ۹/۱۳ است. در حالی‌که میانگین ثبت شده این متغیر طی دوره ۲۰۲۱-۱۹۵۵، ۴/۵ است. به‌عبارت دیگر با توجه به تمامی سناریوهای ذکر شده و شبیه‌سازی صورت گرفته توسط مدل شبکه عصبی، احتمال دارد به‌طور متوسط ۳/۶ درجه کمینهٔ دما افزایش یابد. علیجانی و همکاران (۱۳۹۱) روند تغییرپذیری فرین‌های دما با استفاده از نمایه‌های تغییر اقلیم در ایران را مطالعه کرده‌اند که نتایج آن نشان داد میانگین کمینهٔ دما در اکثر مناطق به جز در آذربایجان دارای روند افزایشی است که تاییدی بر نتایج پژوهش حاضر است.

میانگین متوسط دمای شبیه‌سازی شده از سال ۲۱۰۰-۲۰۲۲ با استفاده از سناریوهای RCP۲٫٦، RCP٤٫٥ و RCP۸٫٥، به ترتیب ۱۴/۴، ۱۵ و ۱۶/۴ درجهٔ سلسیوس است. درحالی‌که میانگین ثبت شده این متغیر طی دوره ۲۰۲۲-۱۹۵۵، ۱۱/۹۷ درجهٔ سلسیوس است. به‌عبارت دیگر با توجه به سناریوهای ذکر شده و شبیه‌سازی صورت گرفته توسط مدل شبکه عصبی، احتمال دارد به‌طور متوسط ۳/۳ درجه متوسط دما افزایش یابد. طبق گزارش هیات بین‌الدول تغییر اقلیم (**۲۰۱۴**)، نتایج مدل‌های ریاضی نشان می‌دهد در اثر افزایش گازهای گلخانه‌ای، خوش‌بینانه‌ترین تخمین‌ها

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.1.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.1]

نشان‌دهنده ۳ درجه سلسیوس افزایش دما تا سال ۲۱۰۰ میلادی است. این یافته‌ها با نتیجه پژوهش حاضر همخوانی دارد. بنابراین به نظر می رسد که تغییر مورد انتظار در ایران برابر با میانگین تخمین زده برای مقادیر جهانی است. اگر کشورها، انتشار گازهای گلخانه‌ای خود را با شدت مناسبی کاهش دهند حداقل ۴-۱/۸ درجه سلسیوس دمای میانگین کره زمین افزایش خواهد یافت که اثرات تغییر اقلیم در طول قرن حاضر و قرن بعد بیشتر از تغییرات آن در طول ۱۰۰۰۰ سال گذشته است (IPCC, ۲۰۱٤ به نقل از ناصری و احدی، ۱۳۹۵: ۲۳). همچنین برنامه محیط‌زیست سازمان ملل متحد[۱] در گزارش شکاف انتشار ۲۰۲۲ اعلام کرده است که جهان در مسیر رسیدن به اهداف توافق پاریس قرار ندارد و با سیاست‌های فعلی، دمای جهانی تا پایان قرن می‌تواند به ۲.۸ درجه سانتی‌گراد برسد (UNEP, ۲۰۲۲).

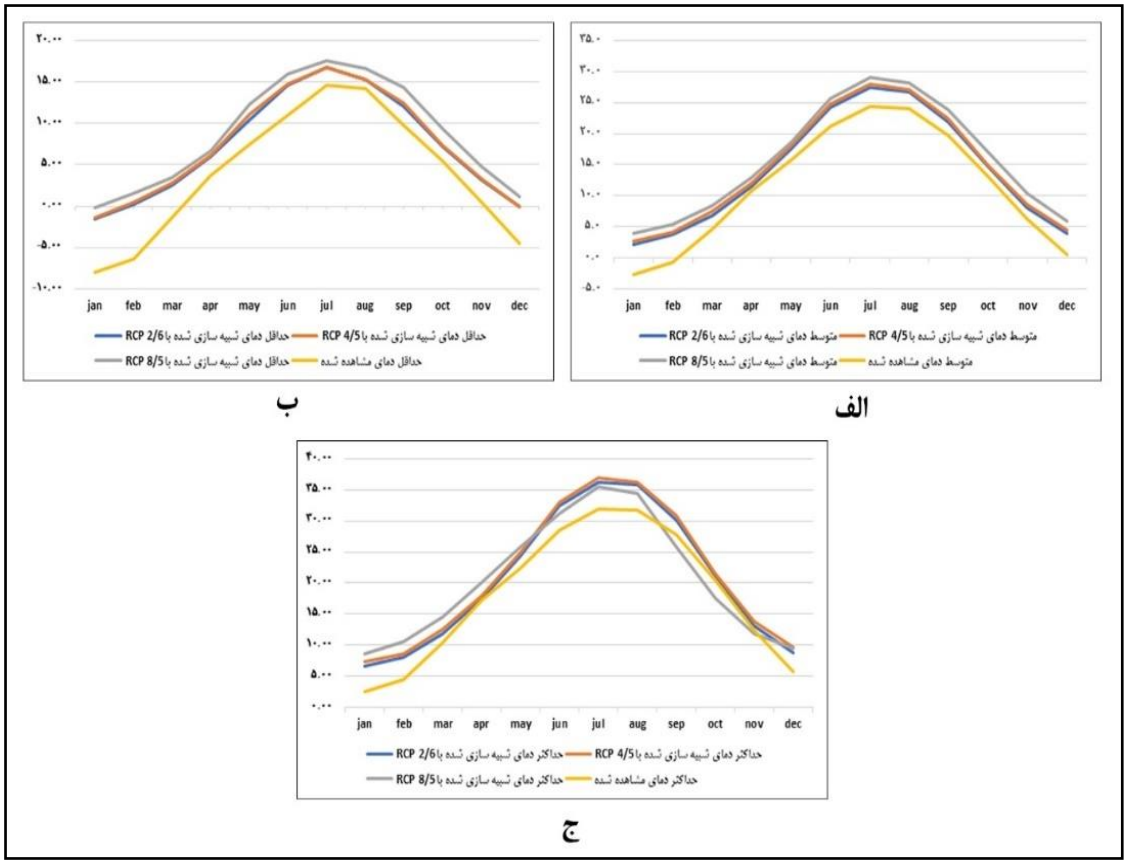
میانگین بیشینهٔ دمای شبیه‌سازی شده از سال ۲۱۰۰-۲۰۲۲ با استفاده از سناریوهای RCP۲٫٦، RCP٤٫٥ و RCP۸٫٥، به ترتیب ۲۰/۸۱، ۲۱/۶۰ و ۲۰/۹۸ درجهٔ سلسیوس است. در حالی‌که میانگین ثبت شده این متغیر طی دوره ۲۰۲۲-۱۹۵۵، ۱۸/۴۱ درجهٔ سلسیوس است. به‌عبارت دیگر با توجه به سناریوهای ذکر شده و شبیه‌سازی صورت گرفته توسط مدل شبکه عصبی، احتمال دارد به‌طور متوسط ۲/۷ درجه بیشینهٔ دما افزایش یابد.

نتایج نشان می‌دهد که سناریوهای RCP٤٫٥ و RCP۸٫٥ بیشترین مقدار برآورد شده از ۳ متغیر مورد مطالعه را شبیه‌سازی کرده‌اند. این واقعیت را می‌توان به افزایش میزان واداشت تابشی و غلظت دی اکسید کربن نسبت داد. مطالعهٔ عساکره و غلامی (۱۴۰۰) بر روی دمای بیشینه ایستگاه همدید شهر قزوین که در مجاورت استان زنجان است، نشان داد که افزایش دمای بیشینهٔ این ایستگاه به مقدار ۲/۷ است. همچنین پژوهش علیجانی و همکاران (۱۳۹۱) نشان داد که میانگین بیشینهٔ دما در اکثر ایستگاه‌ها به‌ویژه در ایران مرکزی روند صعودی دارد. نتایج پژوهش حاضر با پژوهش ایشان همخوانی دارد.

شکل ۵ داده‌های مشاهده شده ماهانه را با داده‌های شبیه‌سازی شده با استفاده از سناریوهای RCP۲٫٦، RCP٤٫٥ و RCP۸٫٥ را نشان می دهند. میانگین کمینه، متوسط و بیشینهٔ دما برای تمامی سناریوها در ماه‌های ژانویه و فوریه، بیشترین افزایش را خواهند داشت. در حالی که میانگین کمینهٔ دما برای تمامی سناریوها در ماه اوت، متوسط دما در ماه آوریل و بیشینهٔ دما در ماه اکتبر کم‌ترین افزایش را خواهند داشت. می‌توان دید که کمینهٔ دما مقادیر شبیه‌سازی شده فاصلهٔ بیشتری نسبت به مقادیر مشاهده شده به ویژه در ماه‌های سرد سال دارد. عساکره و اکبرزاده (۱۳۹۶) در شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش ایستگاه همدید تبریز نشان دادند که در دوره‌های آینده، دما در ایستگاه تبریز بر اساس سه سناریوی مورد بررسی افزایش خواهد یافت و تغییرات میانگین کمینهٔ دمای این ایستگاه در کلیه ماه‌ها به‌غیراز ماه نوامبر و دسامبر در دوره‌های آینده افزایش خواهد داشت. در حالی‌که در پژوهش حاضر نیز در دوره‌های آینده دما افزایش خواهد یافت؛ ولی میانگین کمینهٔ دما در ماه اوت کم‌ترین افزایش را خواهد داشت.

۱. United Nations Environment Program (UNEP)

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.1.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.1]



شکل۵ . مقایسه دماهای ماهانه مشاهده شده طی دوره ۲۰۰۵-۱۹۶۱ با دماهای ماهانه شبیه‌سازی شده طی دوره ۲۱۰۰-۲۰۰۶

جدول ۵. مقایسه دمای فصلی مشاهده شده طی دوره ۲۰۰۵-۱۹۶۱ با دمای فصلی شبیه‌سازی شده طی دوره ۲۱۰۰-۲۰۰۶

	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
کمینه ی دمای مشاهده شده	-۵/۳	۷/۴	۱۲/۹	۰/۵
کمینه ی دمای شبیه‌سازی شده با RCP ۲/٦	۰/۴	۱۰/۳	۱۴/۷	۳/۵
کمینه ی دمای شبیه‌سازی شده با RCP ٤/٥	۰/۶	۱۰/۷	۱۴/۸	۳/۵
کمینه ی دمای شبیه‌سازی شده با RCP ۸/٥	۱/۶	۱۱/۷	۱۶/۲	۵/۱
متوسط دمای مشاهده شده	۰/۴	۱۵/۹	۲۲/۷	۶/۶
متوسط دمای شبیه‌سازی شده با RCP ۲/٦	۴/۲	۱۷/۸	۲۵/۴	۸/۹
متوسط دمای شبیه‌سازی شده با RCP ٤/٥	۴/۷	۱۸/۳	۲۵/۹	۹/۳
متوسط دمای شبیه‌سازی شده با RCP ۸/٥	۵/۹	۱۹/۱	۲۷	۱۱/۱
بیشینه ی دمای مشاهده شده	۵/۸	۲۲/۷	۳۰/۵	۱۲/۹
بیشینه ی دمای شبیه‌سازی شده با RCP ۲/٦	۸/۸	۲۴/۷	۳۴/۱	۱۴/۳
بیشینه ی دمای شبیه‌سازی شده با RCP ٤/٥	۹/۵	۲۵/۳	۳۴/۷	۱۵
بیشینه ی دمای شبیه‌سازی شده با RCP ۸/٥	۱۱/۲	۲۵/۷	۳۱/۹	۱۲/۹

با توجه به جدول ۵ مشخص شد که میانگین کمینه، متوسط و بیشینهٔ دمای مشاهده شده با بیشینهٔ شبیه‌سازی شده با توجه به تمامی سناریوها، به‌ترتیب در فصل زمستان ۶/۹، ۵/۵ و ۵/۴، در فصل بهار ۴/۳، ۳/۲ و ۳، در فصل تابستان

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.1.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.1]

۳/۳، ۴/۳ و ۱/۴ و در فصل پاییز ۴/۶، ۴/۵ و صفر درجه افزایش می‌یابد. با توجه به شبیه‌سازی صورت گرفته تحت تمامی سناریوها استنباط می شود که همه فصول سال به‌ویژه فصل زمستان، گرم‌تر خواهد شد. افزایش دمای شب و متوسط دما در فصل زمستان و دمای بیشینه در فصل تابستان بیشتر از فصل‌های دیگر رخ خواهد داد. اختلاف دمای شب و روز در پاییز و تابستان کم‌تر خواهد شد. مقایسه نتایج این پژوهش با مطالعات پیشین، از جمله اوستااوغلو و همکاران (۲۰۰۸)، کومار گویال و اوجاح (۲۰۱۲) و عساکره و یوسفی زاده (۱۳۹۴) که به شبیه‌سازی تغییرات میانگین دما با استفاده از مدل شبکه عصبی در منطقه مورد مطالعه‌شان پرداخته‌اند، نشان می‌دهد که نتایج پژوهش‌های آنها با نتایج پژوهش حاضر همسو و همخوانی دارد، در مطالعات انجام گرفته توسط ایشان نیز دما دارای روند افزایشی بوده است.

- **محاسبه فرین‌های دما**

برای به‌دست آوردن فرین‌های کمینه، بیشینه و میانگین دمای روزانه از نمایهٔ صدک و برای به دست آوردن احتمال وقوع آنها از روش زنجیره مارکف استفاده شد و نتایج در جدول ۶ آورده شده است. بررسی صدک های هر یک از متغیرهای مشاهده شده با متغیرهای شبیه سازی شده نشان می دهد که احتمال دارد دامنه صدک متغیرهای مورد مطالعه افزایش یابد، همچنین با بررسی احتمال وقوع فرین‌های هر ۳ متغیر برای تمامی سناریوها نشان داد که احتمال وقوع فرین‌های پایین کمینه دمای مشاهده شده ۲۱ درصد است، با توجه به سناریوهای شبیه سازی شده احتمال دارد وقوع فرین های پایین کمینه دما به ۲۵ درصد افزایش یابد، در حالی که احتمال وقوع فرین بالای بیشینه دمای شبیه سازی شده (۲۶ درصد) نسبت به بیشینه دمای مشاهده شده (۲۴ درصد) افزایش خواهد یافت. این امر نشان از افزایش شمار سرماهای ناگهانی زمستان و شب های ناگهانی سردتر و نیز شمار روزهای گرم تابستان و روزهای ناگهانی گرم تر نسبت به دوره آماری مشاهده شده را دارد.

جدول ۶. صدک متغیرهای کمینه، متوسط وبیشینه ی دمای مشاهده شده و شبیه‌سازی شده با شبکه عصبی

متغیر	صدک ۲۵	احتمال وقوع فرین سرد	صدک ۷۵	احتمال وقوع فرین گرم
کمینه ی دمای مشاهده شده	-۱/۶	۰.۲۱	۱۱	۰/۲۴
کمینه ی دمای شبیه‌سازی شده با شبکه عصبی و RCP۲,۶	۲/۰۹	۰.۲۵	۱۳/۶۴	۰.۲۵
کمینه ی دمای شبیه‌سازی شده با شبکه عصبی و RCP۴,۵	۲/۲۴	۰.۲۵	۱۳/۸۹	۰.۲۵
کمینه ی دمای شبیه‌سازی شده با شبکه عصبی و RCP۸,۵	۳/۳۶	۰.۲۵	۱۵/۵۸	۰.۲۵
متوسط دمای مشاهده شده	۳/۳	۰.۲۵	۲۰/۴	۰.۲۴
متوسط دمای شبیه‌سازی شده با شبکه عصبی و RCP۲,۶	۵/۹	۰.۲۵	۲۳/۶	۰.۲۵
متوسط دمای شبیه‌سازی شده با شبکه عصبی و RCP۴,۵	۶/۵	۰.۲۵	۲۴	۰.۲۵
متوسط دمای شبیه‌سازی شده با شبکه عصبی و RCP۸,۵	۸/۱	۰.۲۵	۲۵/۳	۰.۲۵
بیشینه ی دمای مشاهد شده	۹	۰.۲۷	۲۸	۰.۲۴
بیشینه ی دمای شبیه‌سازی شده با شبکه عصبی و RCP۲,۶	۱۰/۹	۰.۲۵	۳۲/۱	۰.۲۵
بیشینه ی دمای شبیه‌سازی شده با شبکه عصبی و RCP۴,۵	۱۱/۶	۰.۲۵	۳۲/۶	۰.۲۶
بیشینه ی دمای شبیه‌سازی شده با شبکه عصبی و RCP۸,۵	۱۱/۴	۰.۲۵	۳۰/۵	۰.۲۵

فراوانی فرین‌های کمینه، متوسط و بیشینهٔ دمای شبیه‌سازی شده با استفاده از روش صدک در جدول ۷ نمایش داده شده است. براساس این جدول، احتمال دارد تعداد فرین های پایین و بالای ۳ متغیر دمای شبیه سازی شده افزایش یابد. تعداد فراوانی فرین‌های پایین (صدک ۲۵ام) هر سه متغیر دمای شبیه‌سازی شده در بدترین شرایط (سناریوی ۸.۵)، از

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.1.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.1]

فرین های بالا (صدک ۷۵ام) و همچنین بیشتر از تعداد رخداد فرین های دمای مشاهده شده است. به‌طور مثال مطابق جدول ۷ فرین های پایین کمینهٔ دمای مشاهده شده، ۴۰۲۳ روز گزارش شده است، در حالی‌که فرین های کمینهٔ دمای شبیه‌سازی شده در بدترین شرایط (سناریوی RCP۸,۵) ۷۳۰۶ روز پیش‌بینی شده است، به عبارت دیگر با توجه به نتایج جدول انتظار می رود بر اساس ۳ سناریوی مذکور، رخداد فرین‌های پایین در هر ۳ متغیر و رخداد فرین بالای بیشنه ی دما برای سال‌های آتی رو به افزایش باشد، بدین معنی است که با توجه به شبیه سازی صورت گرفته با روش شبکه عصبی مصنوعی و ۳ سناریوی ذکر شده، احتمال دارد زمستان های سردتر و تابستان های گرم تر رخ دهد. علیجانی و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی روند تغییرپذیری فرین‌های دما با استفاده از نمایه‌های تغییر اقلیم در ایران پرداخته‌اند که نتایج نشان داد روند دما و تعداد فرین‌های دما در تمام کشور در حال افزایش است که نتایج پژوهش حاضر را مورد تایید قرار می دهد.

جدول ۷. فراوانی روزهای فرین‌های کمینه، متوسط و بیشینه ی دمای مشاهده شده (۲۰۲۱-۱۹۶۱) و شبیه‌سازی شده (۲۱۰۰-۲۰۲۲)

متغیرها	صدک	فراوانی
کمینه ی دمای مشاهده شده	۲۵	۴۰۲۳
کمینه ی دمای شبیه‌سازی شده با شبکه عصبی و RCP۲,۶	۲۵	۷۳۰۶
کمینه ی دمای شبیه‌سازی شده با شبکه عصبی و RCP٤,٥	۲۵	۷۳۰۰
کمینه ی دمای شبیه‌سازی شده با شبکه عصبی و RCP۸,٥	۲۵	۷۳۰۶
کمینه ی دمای مشاهده شده	۷۵	۴۰۸۸
کمینه ی دمای شبیه‌سازی شده با شبکه عصبی و RCP۲,۶	۷۵	۷۳۱۱
کمینه ی دمای شبیه‌سازی شده با شبکه عصبی و RCP٤,٥	۷۵	۷۳۰۰
کمینه ی دمای شبیه‌سازی شده با شبکه عصبی و RCP۸,٥	۷۵	۷۲۹۳
متوسط دمای مشاهده شده	۲۵	۴۱۴۷
متوسط دمای شبیه‌سازی شده با شبکه عصبی و RCP۲,۶	۲۵	۷۲۶۰
متوسط دمای شبیه‌سازی شده با شبکه عصبی و RCP٤,٥	۲۵	۷۳۰۸
متوسط دمای شبیه‌سازی شده با شبکه عصبی و RCP۸,٥	۲۵	۷۳۳۰
متوسط دمای مشاهده شده	۷۵	۴۱۱۳
متوسط دمای شبیه‌سازی شده با شبکه عصبی و RCP۲,۶	۷۵	۷۲۷۱
متوسط دمای شبیه‌سازی شده با شبکه عصبی و RCP٤,٥	۷۵	۷۳۳۴
متوسط دمای شبیه‌سازی شده با شبکه عصبی و RCP۸,٥	۷۵	۷۳۱۹
بیشینه ی دمای مشاهد شده	۲۵	۴۴۰۰
بیشینه ی دمای شبیه‌سازی شده با شبکه عصبی و RCP۲,۶	۲۵	۷۳۳۹
بیشینه ی دمای شبیه‌سازی شده با شبکه عصبی و RCP٤,٥	۲۵	۷۳۰۷
بیشینه ی دمای شبیه‌سازی شده با شبکه عصبی و RCP۸,٥	۲۵	۷۳۳۳
بیشینه ی دمای مشاهد شده	۷۵	۴۲۵۴
بیشینه ی دمای شبیه‌سازی شده با شبکه عصبی و RCP۲,۶	۷۵	۷۲۹۳
بیشینه ی دمای شبیه‌سازی شده با شبکه عصبی و RCP٤,٥	۷۵	۷۳۲۸
بیشینه ی دمای شبیه‌سازی شده با شبکه عصبی و RCP۸,٥	۷۵	۷۳۰۶

نتیجه گیری

این پژوهش با هدف شبیه‌سازی دما با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و کاربرد سناریوهای اقلیمی در آنها انجام گردیده است. برای این منظور داده‌های دمایی مورد استفاده در این پژوهش تا سال ۲۱۰۰ برای شهر زنجان مورد ارزیابی قرار

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.1.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.1]

گرفته شده است. در این پژوهش با استفاده از داده‌های روزانه کمینه، میانگین و بیشینهٔ دمای ثبت شده از ایستگاه همدید زنجان طی دوره ۲۰۲۱-۱۹۶۱ و داده‌های مدل گردش عمومی جوی، شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی برای دوره‌های آتی پیش‌بینی و ارائه شده است. نتایج تحقیق نشان داده است که مدل های برازش شده برای ۳ متغیر کمینه، متوسط و بیشینه ی دما توانایی بالایی در شبیه سازی دما دارند. مدل برازش شده کمینهٔ دما کم‌ترین خطا را نسبت به دو مدل دیگر داشته و به واقعیت نزدیک‌تر است. با توجه به سناریوهای RCP۲٫٦، RCP٤٫٥ و RCP٨٫٥ و شبیه‌سازی صورت گرفته توسط مدل شبکه عصبی، احتمال دارد به‌طور متوسط کمینهٔ دما ۳/۶ درجهٔ سلسیوس، متوسط دما ۳/۳ درجهٔ سلسیوس و بیشینهٔ دما ۲/۷ درجهٔ سلسیوس افزایش یابد. بررسی ماهانه داده‌های شبیه‌سازی شده برای تمامی سناریوها و داده‌های مشاهده شده متغیرهای مورد مطالعه نشان می‌دهد که میانگین کمینه، متوسط و بیشینهٔ دما در ماه‌های ژانویه و فوریه یعنی ماه‌های سرد سال بیشترین افزایش را خواهند داشت و گرم‌تر خواهند شد. در حالی‌که میانگین کمینهٔ دما در ماه آگوست، متوسط دما در ماه آوریل و بیشینهٔ دما در ماه اکتبر کم‌ترین افزایش را خواهند داشت. با توجه به جدول دمای فصلی شبیه‌سازی شده بر اساس تمامی سناریوها مشخص شد که میانگین کمینه، متوسط و بیشینهٔ دمای مشاهده شده با بیشینهٔ شرایط شبیه‌سازی شده به‌ترتیب در فصل زمستان ۶/۹، ۵/۵ و ۵/۴، در فصل بهار ۴/۳، ۳/۲ و ۳، در فصل تابستان ۳/۳، ۴/۳ و ۱/۴ و در فصل پاییز ۴/۶، ۴/۵ و صفر درجه افزایش می یابد. تعداد فراوانی فرین‌های مشاهده شده در هر سه متغیر کمینه، متوسط و بیشینهٔ دما برای صدک ۲۵ام و۷۵ام کم‌تر از تعداد رخداد فروانی فرین دمای شبیه‌سازی شده در هر سه سناریو است. افزایش دمای شب و متوسط دما در فصل زمستان و دمای بیشینه در فصل تابستان بیشتر از فصل‌های دیگر رخ خواهد داد. رخداد فرین‌ها برای سال‌های آتی رو به افزایش است. شبیه سازی صورت گرفته با روش شبکه عصبی مصنوعی و ۳ سناریوی ذکر شده، نشان از افزایش شمار سرماهای ناگهانی زمستان و شب های ناگهانی سردتر و نیز شمار روزهای گرم تابستان و روزهای ناگهانی گرم تر نسبت به دوره آماری مشاهده شده را دارد. افزایش دمای حداقل، ممکن است روند رشد فیزیولوژیکی و محصول دهی برخی محصولات که نیاز به سرما دارند را دچار مشکل سازد و همچنین بر روی موجودات زنده و تاب آوری آنها تاثیر می گذارد. و باید برنامه‌ریزی و مدیریت حساب شده برای کاهش آنها در دست اقدام قرار گیرد. طبق گزارش هیات بین الدول تغییر اقلیم، در اثر افزایش گازهای گلخانه‌ای متوسط دمای سطحی زمین تا سال ۲۱۰۰ حدود ۳/۵-۱ درجه سانتی گراد افزایش می‌یابد که نتیجه پژوهش حاضر با این گزارش و پژوهش‌های مطالعه شده نظیر اوستااوغلو و همکاران (۲۰۰۸)، کومار گویال و اوجاح (۲۰۱۲)، عساکره و غلامی (۱۴۰۰)، عساکره و اکبرزاده (۱۳۹۶)، عساکره و یوسفی زاده (۱۳۹۴) و علیجانی و همکاران (۱۳۹۱) که به شبیه سازی تغییرات میانگین درجه حرارت پرداخته اند همخوانی دارد. اگرچه این یافته‌ها با یافته‌های مطالعه حاضر همسان است، امّا مطالعات قبلی غالباً در محل‌هایی دیگر و با مقادیر متفاوت حاصل شده اند.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.1.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.1]

منابع

اسدی، اشرف؛ ابوالفضل مسعودیان و مجید منتظری. ۱۳۹۱. *بررسی همدید گرماهای فرین ایران*. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان.

اعتمادی، هانا؛ محمد شریفی کیا، سیده زهرا صمدی، عباس اسماعیلی ساری و افشین دانه کار. ۱۳۹۴. شبیه سازی تغییرات اقلیمی آینده در منطقه ی جاسک و تأثیر آن بر جنگلهای حرا. *جغرافیا و توسعه*، **۴۱**: ۱۰۴-۸۷.

اکبری، مهری و عنایت اسدالهی. ۱۴۰۰. گرمایش جهانی و تغییرات ضخامت جو طی دوره سرد سال در ایران. فصلنامه علمی دانشگاه گلستان، *نشریه پژوهش های تغییرات آب و هوایی*، **۲(۸)**: ۹۸-۸۳.

آذرخشی، مریم؛ جلیل فرزادمهر، مهدی اصلاح و حسین صحابی. ۱۳۹۲. بررسی روند تغییرات سالانه و فصلی بارش و پارامترهای دما در مناطق مختلف آب و هوایی ایران. *نشریه مرتع و آبخیزداری*، **۶۶(۱)** : ۱۶-۱.

پناهی، حسین و نجمه اسمعیل درجانی. ۱۳۹۹. بررسی اثر گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی بر رشد اقتصادی (مطالعه موردی: استان های ایران طی دوره ۱۳۹۰-۱۳۸۰). *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، **۲۲(۱)** : ۸۸-۷۹.

پورمحمدی، محمدرضا؛ فیروز جمالی و اکبر اصغری زمانی. ۱۳۸۷. ارزیابی گسترش فضایی کالبدی شهر زنجان با تأکید بر تغییرات کاربری زمین. *پژوهشهای جغرافیایی*، **۶۱(۶۱)** : ۲۱ -۲.

جعفری، اعظم؛ مسعود ترابی آزاد و شهاب سهرابی. ۱۳۹۵. بررسی اثرات افزایش دمای ناشی از تغییر اقلیم جهانی بر میانگین سطح تراز آب (MSL) در سواحل شمالی خلیج فارس (سواحل استان هرمزگان). *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، **۱۸(۳)** : ۸۱-۹۷.

حیدری، محمد امین؛ فرامرز خوش اخلاق، محمدامین مرادی مقدم و اصغر مولایی پارده. ۱۳۹۲. شبیه‌سازی تغییرات رژیم دمای مراغه در اثر خشک شدن دریاچه ارومیه. *جغرافیا و مخاطرات طبیعی*، **۲(۸)** : ۱۸-۱.

خادمی، معصومه؛ رامین فضل اولی و علیرضا عمادی. ۱۳۹۶. بررسی توانمندی مدل شبکه عصبی مصنوعی در شبیه سازی فرآیند بارش-رواناب در شرایط تغییر اقلیم (مطالعه موردی: حوزه سد پاشاکلا بابل). *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*، **۱۶**: ۵۳- ۶۴.

خلفی خطبسرا، محمد جواد؛ محمد نهتانی، محمدرضا دهمرده و امید نوروزی انگنایی. ۱۳۹۷. تخمین بارندگی با استفاده از روش شبکه های عصبی مصنوعی در استان گیلان. *دومین همایش ملی دانش و فناوری علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست ایران*.

خوش اخلاق، فرامرز؛ نعمت احمدی، مصطفی کریمی احمدآباد. ۱۳۹۸. واکاوی همدید اثر گرمایش جهانی بر روند دمای ترازهای جوی در ایران. *فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*، **۲۸(۱۰۹)** : ۲۲۲-۲۱۱.

دارند، محمد؛ سمیرا حمیدی. ۱۴۰۰. شبیه سازی تغییرات دمای ایران زمین بر پایه ی سناریوهای مختلف RCP، *مخاطرات محیط طبیعی*. **۱۹(۲۸)** : ۱۰۶-۸۵.

رضائی، مریم؛ محمد نهتانی، علیرضا مقدم نیا، علیجان آبکار و معصومه رضائی. ۱۳۹۵. پیشبینی بلندمدت بارش با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی آماری، *نشریه دانش آب و خاک*، **۲۶(۱-۲)** : ۱۱۵-۱۲۷.

زارعی، کبری؛ حسین محمدی، سعید بازگیر. ۱۳۹۸. پیش بینی عناصر اقلیمی دما و بارش ایستگاه سینوپتیک گرگان براساس سناریوهای RCP . *پژوهش های جغرافیای طبیعی*، **۵۱(۴)** : ۵۷۹-۵۶۳

سبحانی، بهروز؛ مهدی اصلاحی و یونس اکبرزاده. ۱۳۹۵. مقایسه عملکرد مدل‌های SDSM و LARS-WG در شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی در منطقه شمال غرب ایران. *نشریه علمی – پژوهشی هواشناسی کشاورزی*، **۴(۲)** : ۴۹-۶۰.

سبزی پرور، علی اکبر؛ زهرا سیف و فرشته قیامی. ۱۳۹۲. تحلیل روند دما در برخی از ایستگاه نیمه های مناطق خشک و کشور خشک. *جغرافیا و توسعه*، **۳۰**: ۱۳۷-۱۱۷.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.1.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.1]

شیدائیان، مجید؛ میرخالق ضیاء تبار احمدی و رامین فضل اولی. ۱۳۹۳. تأثیر تغییر اقلیم بر نیاز خالص آبیاری و عملکرد محصول برنج (مطالعه موردی: دشت تجن). *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، **۲۸(۶)** : ۱۲۹۷-۱۲۸۴.

صلاحی، برومند؛ سید اسعد حسینی، حسین شائقی مغانلو و بهروز سبحانی. ۱۳۸۹. پیش بینی دماهای حداکثر با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: شهرستان اردبیل). *تحقیقات جغرافیایی*، **۲۵(۳)**: ۷۸-۵۷.

صی محمدی، سمیره؛ محسن توکلی، کیومرث زرافشانی، حسین مهدی زاده و فرزاد امیری. ۱۴۰۰. پیشبینی اثرات تغییرات اقلیمی بر دما و بارش با استفاده از مدلهای گردش عمومی جو، راهکاری برای کشاورزی پایدار (مطالعه ی موردی: شهرستان کرمانشاه). *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، **۲۳(۶)** : ۳۱-۱۵.

عساکره، حسین؛ سید ابوالفضل مسعودیان و فاطمه ترکارانی. ۱۴۰۰. تغییرپذیری نقش عوامل مکانی مؤثر بر بارش در ارتباط با تحولات دهه‌ای بارش سالانهٔ ایران زمین. *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، **۳۲(۳)** : ۱۴۶-۱۲۹.

عساکره، حسین و رحیم یوسفی زاده. ۱۳۹۴. شبیه‌سازی تغییرات میانگین درجه حرارت ماهانه و سالانه با استفاده از الگوسازی مدل های سری زمانی. *اولین کنگره علمی پژوهشی توسعه و ترویج علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست ایران*.

عساکره، حسین و یونس اکبرزاده. ۱۳۹۶. شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش ایستگاه سینوپتیک تبریز طی دوره (۲۱۰۰-۲۰۱۰) با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری (SDSM) و خروجی مدل CanESM۲. *مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی*، **۶(۱)** : ۱۵۳-۱۷۴.

عساکره، حسین و آوا غلامی. ۱۴۰۰. شبیه‌سازی دمای بیشینه ی ایستگاه سینوپتیک قزوین با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری خروجی مدل CanESM۲. *فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*، **۳۰(۱۱۸)** : ۴۱-۲۵.

عساکره، حسین. ۱۳۹۰. مبانی اقلیم شناسی آماری. زنجان. *انتشارات دانشگاه زنجان*.

عساکره، حسین و فرشته مازینی. ۱۳۸۹. بررسی احتمال وقوع روزهای خشک در استان گلستان با استفاده از مدل زنجیره ی مارکف. *جغرافیا و توسعه*، **۱۷**: ۴۴-۲۹.

علوی نیا، سید حسن و مهدی زارعی. ۱۳۹۹. واکاوی روند تغییرات فرین های دما تحت تأثیر سناریوهای آینده به منظور ارزیابی نوسانات اقلیمی (مطالعه موردی: ایستگاه های همدیدی سنندج و سقز). *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، **۱۱(۴۱)** : ۱۶-۱.

علیجانی، بهلول؛ احمد روشنی، فاطمه پرک و روح الله حیدری. ۱۳۹۱. روند تغییرپذیری فرین های دما با استفاده از شاخص های تغییر اقلیم در ایران. *نشریه علمی جغرافیا و مخاطرات محیطی*، **۱(۲)** : ۲۸-۱۷.

علیجانی، بهلول؛ میثم طولابی نژاد و علیرضا کربلائی درئی. ۱۳۹۸. رفتارسنجی اثر گرمایش جهانی بر پرفشار جنب حاره. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، **۵۱(۱)** : ۵۰-۳۳.

ماه آورپور، زهرا. ۱۳۹۳. احتمال وقوع بارش های روزانه ایران و پیش بینی آن با مدل زنجیره مارکوف. *تحقیقات جغرافیایی*، زمستان ۱۳۹۳، **۲۹(۴)** : ۲۲۹-۲۴۰.

شهرداری زنجان. ۱۴۰۱

محمدلو، محمد؛ علی حقی زاده، حسین زینی وند و ناصر طهماسبی پور. ۱۳۹۵. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر روند تغییرات دما و بارندگی حوضه ی آبخیز باراندوزچای در استان آذربایجان غربی با استفاده از مدلهای چرخش عمومی جو. *فصلنامه ی علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی*، **۱۶(۵۶)** : ۱۶۸-۱۵۱.

محمدی، پروین و حسن علی پور. ۱۳۹۶. شبیه‌سازی پارامترهای دما و بارش بر اساس سناریوهای تغییر اقلیم (مطالعه موردی: کرج). *کنفرانس بین المللی مدیریت منابع طبیعی در کشورهای در حال توسعه*.

مرکز آمار ایران. سرشماری عمومی نفوس و مسکن، شهر زنجان، سال های ۱۳۹۵-۱۳۹۰

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.1.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.1]

مروتی، رضا و علیرضا شکوهی. ۱۳۹۳. ارزیابی روش های مختلف درون یابی داده های دمایی NCEP/NCAR در سطح حوزه های آبریز درجه ۲ کشور ایران. *فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب*، **۵(۱۸)** : ۳۱-۱۷.

ملکی، زهرا. ۱۳۹۸. تاثیربرندسازی شهری در کیفیت فضاهای معماری و شهری (مطالعه موردی: شهر زنجان). *نخستین همایش ملی کیفیت در فضاهای معماری و شهری*.

ناصری، محسن؛ محمد صادق احدی. ۱۳۹۵. ارزیابی سیاست های جمهوری اسلامی ایران در خصوص تغییر اقلیم. *فصلنامه راهبرد اجتماعی – فرهنگی*، **۵(۲۱)** : ۴۸-۲۱.

یزدان پناه، حجت الله و تیمور علیزاده. ۱۳۹۰. برآورد احتمال وقوع امواج گرمایی با دوره های تداوم مختلف در استان کرمان به کمک زنجیره مارکف. *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، **۲۶(۳)** : ۷۱-۵۱.

B. Ustaoglu H. K. Cigizoglu M. Karaca .۲۰۰۸. Forecast of daily mean, maximum and minimum temperature time series by three artificial neural network methods. *METEOROLOGICAL APPLICATIONSMeteorol*. Appl. ۱۵: ٤۳۱–٤٤٥, Published online ۹ July ۲۰۰۸ in Wiley InterScience

Charpentier, Arthur .۲۰۱۰. On the return period of the ۲۰۰۳ heat, Ecole Polytechnique. *Centre National De La Recherche Scientifique*, January ۲۰۱۰: ۱-۲۲

Demuth, H., Beale, M., ۲۰۰۰. Neural Network Toolbox User's Guide. Copyright ۱۹۹۲-۲۰۰۲, BT The Math Works, Inc, ٤, ۸٤۰P.

Dibike YB, Coulibaly P. ۲۰۰۵. Hydrologic impact of climate change in the Saguenay watershed: comparison of downscaling methods and hydrologic models. *Journal of Hydrology*, ۳۰۷(۱–٤): ۱٤٥-۱٦۳

F. Creutzig, P. Agoston, J.C. Minx, J.G. Canadell, R.M. Andrew, C.L. Quere, G.P. Peters, A. Sharifi, Y. Yamagata, S. Dhakal. ۲۰۱٦. Urban infrastructure choices structure climate solutions. *Nature Climate Change*. **٦ (۱۲)**: ۱۰٥٤-۱۰٥٦

K.R. Gurney, P. Romero-Lankao, K.C. Seto, L.R. Hutyra, R. Duren, C. Kennedy, N.B. Grimm, J.R. Ehleringer, P. Marcotullio, S. Hughes, S. Pincetl, M.V. Chester, D.M. Runfola, J.J. Feddema, J. Sperling. ۲۰۱٥. Climate change: track urban emissions on a human scale. *Nature*, **٥۲٥ (۷٥٦۸)**: ۱۷۹-۱۸۱

Konstantia, Tolikaa, Christina, Anagnostopouloua, Panagiotis, Maherasa, Margaritis, Vafiadisb. ۲۰۰۸. Simulation of future changes in extreme rainfall and temperature conditions over the Greek area: A comparison of two statistical downscaling approaches. *Global and Planetary Change*, ٦۳(۲–۳): ۱۳۲-۱٥۱

Kumar Goyal, Manish, Ojha, C. S. P. ۲۰۱۲. Downscaling of surface temperature for lake catchment in an arid region in India using linear multiple regression and neural networks. *International Journal OF Climatologyint. J. Climatol*. **۳۲**: ٥٥۲–٥٦٦.

Maduako ID, Yun Z, Patrick B. ۲۰۱٦. Simulation and Prediction of Land Surface Temperature (LST) Dynamics within Ikom City in Nigeria Using Artificial Neural Network (ANN). *J Remote Sensing & GIS* ٥:۱٥۸. **DOI**:۱۰,٤۱۷۲/۲٤٦۹-٤۱۳٤,۱۰۰۰۱٥۸

Marschütz, Benedikt; Bremer, Scott; Runhaar, Hens; Hegger, Dries; Mees, Heleen; Vervoort, Joost; Wardekker, Arjan. ۲۰۲۰. Local narratives of change as an entry point for building urban climate resilience. *Climate Risk Management*, **۲۸**, ۱۰۰۲۲۳

McEvoy, Darryn; Mitchell, David; Trundle, Alexei. ۲۰۱۹. Land tenure and urban climate resilience in the South Pacific. *Climate and Development*, **۱۲(۱)**: ۱-۱۱

Pearce, W., Holmberg, K., Hellsten, I., & Nerlich, B. ۲۰۱۳. Climate change on Twitter: topics, communities and conversations about the ۲۰۱۳ IPCC report. PLoS ONE.

Ricardo M. Trigo, Jean P. Palutikof .۱۹۹۹. Simulation of daily temperatures for climate change scenarios over Portugal: a neural network model approach. Inter-Research, *Climate Research*, **۱۳**: ٤٥–٥۹.

Schoof, J.T.; S.C., Pryor. ۲۰۰۱. Downscaling temperature and precipitation: a comparison of regression-based methods and artificial neural networks. *International Journal OF Climatologyint*. J. Climatol. **۲۱**: ۷۷۳–۷۹۰.

Twigger-Ross, Clare; Orr, Paula; Brooks, Katya; Saduaskis, Rolands. ۲۰۱٦. Citizen Involvement in flood risk governance: flood groups and networks, E۳S Web of Conferences, FLOOD risk. *3rd European Conference on Flood Risk Management*, **DOI**: ۱۰,۱۰٥۱/e۳sconf/۲۰۱٦۰۷۱۷۰۰٦

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.1.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.1]

UNEP .۲۰۲۲. Emissions Gap Report ۲۰۲۲. ۲۷ OCTOBER ۲۰۲۲
Yonas B. Dibike, Paulin Coulibaly. ۲۰۰٦. Temporal neural networks for downscaling climate variability and extremes, Neural Networks, *Earth Sciences and Environmental Applications of Computational Intelligence*, ۱۹(۲): ۱۳٥-۱٤٤.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1402.10.2.1.6]
[DOI: 10.61186/jsaeh.10.2.1]