

شبیه‌سازی دمای بیشینه ایستگاه سینوپتیک قزوین

با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری خروجی مدل CanESM2

حسین عساکره^۱

آوا غلامی^۲

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۱۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۹/۲۷

چکیده

تغییرات اقلیمی، گرمایش جهانی و خشکسالی‌های اخیر طی سال‌های گذشته از جمله مهم‌ترین نگرانی‌های بشر در امور مدیریت و برنامه‌ریزی مبتنی بر دانسته‌های اقلیمی به حساب می‌آید. یکی از روش‌های بررسی تغییرات اقلیمی، استفاده از مدل‌های اقلیمی و ریزمقیاس‌نمایی است که امروزه این امر با استفاده از مدل‌های هوشمند و تجربی نظیر شبکه‌های عصبی مصنوعی از ارزش زیادی برخوردار است. هدف از این پژوهش، ریزمقیاس‌نمایی و شبیه‌سازی دمای بیشینه ایستگاه سینوپتیک قزوین با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی و بهره‌گیری از نرم‌افزار MATLAB است. بدین منظور از داده‌های ۲۶ عنصر جوئی برگرفته از مرکز ملی پیش‌بینی محیطی و مرکز ملی پژوهش‌های جوئی (NCEP/NCAR) و داده‌های دمای بیشینه ایستگاه سینوپتیک قزوین برای دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۰۵ و سناریوهای انتشار (RCP) خروجی مدل CanESM2 برای دوره آماری ۲۰۰۶-۲۱۰۰ استفاده گردید. در تحقیق حاضر از چهار روش پیش‌رونده، روش حذف پس‌رونده، نمایه کاهش درصدی و روش گام به گام به منظور پیش‌پردازش متغیرها و گزینش متغیرهای ورودی مدل استفاده شده است. سپس با بکارگیری آماره‌های ضریب همبستگی (R) و میانگین مربعات خطا (MSE) بهترین معماری شبکه طراحی گردید که طی آن با استفاده از روش پیش‌رونده، متغیرهای میانگین دما در ارتفاع نزدیک سطح زمین، میانگین فشار تراز دریا و ارتفاع تراز ۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال به‌عنوان متغیرهای پیش‌بینی‌کننده انتخاب شدند و در نهایت براساس آن، شبیه‌سازی انجام گرفت. پس از بررسی مقادیر شبیه‌سازی‌شده تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، و RCP8.5 مشخص شد که دمای ایستگاه سینوپتیک قزوین تا سال ۲۱۰۰ طی سناریوی RCP 2.6 نسبت به دوره پایه (۱۹۶۱-۲۰۰۵)، حدود ۱/۳ درجه سانتی‌گراد، طبق سناریوی RCP 4.5 به میزان ۲/۷ درجه سانتی‌گراد و مطابق سناریوی RCP 8.5 مقدار ۴/۱ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: ریزمقیاس‌نمایی، شبکه عصبی مصنوعی، سناریوهای انتشار، دمای بیشینه، ایستگاه سینوپتیک قزوین

۱- استاد اقلیم‌شناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران asakereh1@yahoo.com

۲- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران (نویسنده مسئول) gholami.ava97@gmail.com

۱- مقدمه

تغییرات دمای کره زمین و گرمایش جهانی به عنوان مهم‌ترین نمودهای تغییر اقلیم در قرن حاضر مورد توجه بسیاری از دانشمندان علوم جوئی و رشته‌های مرتبط قرار گرفته است. دما یکی از نمایه‌هایی است که پسخوراند و واکنش دستگاه اقلیم به تغییرات را منعکس می‌سازد. از این رو استفاده از روش‌های تخمین و پیش‌بینی این عنصر اقلیمی در صورتی که از دقت کافی برخوردار باشند، می‌توانند در برنامه‌ریزی‌ها و مدیریت صحیح مفید واقع شوند (کارآموز و همکاران، ۱۳۸۵). پیش‌بینی اقلیمی براساس رفتار گذشته و مقادیر حال فراسنج‌های اقلیمی صورت می‌پذیرد (تشنه‌لب و منشی، ۱۳۸۲). یکی از رویکردهای پیش‌بینی "شبیه‌سازی" است. شبیه‌سازی که نوعی الگو(مدل)سازی تجویزی یا دستوری است وصف‌کننده شرایط محتمل است. الگوهای تجویزی براساس روابط احتمالاتی-ریاضی و نمایش فرآیندهای فیزیکی محتمل طراحی می‌شوند. شبیه‌سازی فرآیندی است که در آن وضعیتی شبیه دنیای واقعی برای پاسخ دادن به سؤالات مربوط به وضعیت دنیای واقعی ایجاد می‌شود. بنابراین شبیه‌سازی تلاشی برای یافتن راه‌های پاسخ به سؤال‌های مربوط به رفتار فرآیندهای پیچیده تحت شرایط متغیر است (عساکره، ۲۰۰۰:۱۳۹۶). یکی از روش‌های شبیه‌سازی عناصر آب و هوایی به‌ویژه دما، بکارگیری داده‌های حاصل از سناریوهای اقلیمی خروجی مدل‌های گردش عمومی جو نظیر RCPها است (منصوری و همکاران، ۱۳۹۶:۳۴۹).

از آنجایی که مدل‌های گردش عمومی جو دارای قدرت تفکیک پایینی هستند در نتیجه، خروجی این مدل‌ها در مقیاس ایستگاه قابل استفاده نمی‌باشد؛ لذا برای رفع این مشکل از شیوه "ریزمقیاس‌نمایی"^۱ استفاده می‌گردد (محمملو و همکاران، ۲۷:۱۳۹۳) که به عنوان یک عامل ایجادکننده ارتباط میان چرخه‌های بزرگ مقیاس (پیش‌بینی‌کننده) و متغیرهای

اقلیمی در مقیاس محلی (پیش‌بینی‌شونده) تعریف شده است (عساکره و کیانی، ۵۰:۱۳۹۷). بنابراین ریزمقیاس‌نمایی براساس برقراری ارتباط بین متغیرهای مدل‌های گردش عمومی جو (رطوبت، ارتفاع، فشار، ...) به عنوان متغیر مستقل و متغیرهای اقلیمی (بارش، دما، ...) به عنوان متغیر وابسته در مقیاس منطقه‌ای، محلی و حتی نقطه‌ای است (آبکار و همکاران، ۱۲:۱۳۹۳). ریزمقیاس‌نمایی به روش‌های مختلفی نظیر روش‌های احتمالاتی همچون Lars-WG، روش‌های آماری مانند SDSM و روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی همانند شبکه عصبی مصنوعی انجام می‌شود. در این میان مدل شبکه عصبی مصنوعی به دلیل برتری به لحاظ دقت در برآوردها از استقبال زیادی برخوردار است. شبکه‌های عصبی مصنوعی روش‌هایی معتبر و شناخته‌شده در مدل‌سازی فرآیندهای پیچیده غیرخطی هستند که قادرند با استفاده از داده‌های جوئی، تخمین نسبتاً دقیقی از فراسنج‌های اقلیمی ارائه دهند (ستاری و همکاران، ۲۴۸:۱۳۹۳). در این مدل‌ها با تقلید از شبکه عصبی مغز انسان، الگوهایی برای پردازش اطلاعات ساخته شده است. این شبکه‌ها با استفاده از مجموعه ورودی و خروجی، روابط بین آن‌ها را تخمین زده و اصطلاحاً آموزش می‌بینند به گونه‌ای که پس از آن به ازای یک عضو جدید از مجموعه ورودی، خروجی متناظر آن را تقریب می‌زنند (عزیزی و منتظری، ۲۴۶-۲۴۷:۱۳۹۴).

در سطح جهانی تحقیقات گسترده‌ای در زمینه ریزمقیاس‌نمایی و شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و براساس داده‌های RCP انجام گرفته است. شین و همکاران (۲۰۱۳:۴۱۳) اقلیم شرق آسیا را با استفاده از سناریوهای RCP شبیه‌سازی کردند و به این نتیجه رسیدند که دما در این ناحیه تا سال ۲۱۰۰ بیشتر از قبل خواهد بود. در تحقیقی دیگر سانتوس و همکاران (۲۰۱۶:۱۳) با بهره‌گیری از شبکه‌های عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی چندگانه تحت سناریوهای RCP میزان بارش در آمریکای جنوبی را برآورد کردند که نهایتاً فرض برتری مدل شبکه عصبی مصنوعی نسبت به رگرسیون

1- Simulation

2- Downscaling

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (ص ۲۷)

شبیه‌سازی دمای بیشینه ایستگاه سینوپتیک قزوین با ... / ۲۷

انجام دادند که نتیجه این تحقیق، افزایش دما طی دوره‌های آینده براساس سناریوهای RCP بوده است. در مطالعه‌ای که عساکره و مطلبی‌زاده (۱۳۹۶:۱۴۰) بر روی تغییرات دماهای حداقل در ایستگاه ارومیه با استفاده از دو مدل SDSM و ANN انجام دادند، افزایش دما را طی دهه‌های آتی پیش‌بینی کردند. طی پژوهشی دیگر، احمدوند کهریزی و روحانی (۱۳۹۵:۵۹۷) عملکرد سناریوهای SRES و RCP در پیش‌بینی دمای کمینه و بیشینه ایستگاه‌های ارازکوسه و نوده واقع در استان گلستان را مورد بررسی قرار دادند که نتایج حاکی از افزایش نسبی دما از سناریوی RCP 2.6 به سمت سناریوی RCP 8.5 است. عزیزآبادی فراهانی و همکاران (۱۳۹۵:۷۴۳) با مطالعاتی که در حوضه آبریز قره‌سو واقع در استان گلستان با استفاده از سه سناریوی RCP انجام دادند به این نتیجه رسیدند که دما در دوره آینده تحت سناریوهای مختلف افزایش می‌یابد. کوهستانی و همکاران (۱۳۹۶:۲۰۳) با استفاده از سناریوهای RCP و ریزمقیاس‌نمایی، درجه حرارت هوا در حوضه آبریز زاینده‌رود اصفهان را طی دوره ۲۰۱۵ تا ۲۱۰۰ مورد بررسی قرار دادند که نتایج بیانگر افزایش دما طی دوره‌های آتی بوده است. دشت‌بزرگی و همکاران (۱۳۹۴:۱۰۵) با بررسی دمای استان خوزستان با استفاده از شاخص‌های حدی و براساس سناریوهای RCP، سیر افزایشی دما را در دوره‌های آتی پیش‌بینی کردند. خسروی و همکاران (۱۳۸۹:۱) دمای بیشینه شیراز را با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی پیش‌بینی کردند که در آن پیش‌بینی دمای حداکثر با دقتی معادل ۰/۹۹ ضریب همبستگی و حداکثر اختلاف آن با داده‌های واقعی برابر ۰/۴۷ درجه سانتی‌گراد بوده است. در تحقیقی دیگر، صلاحی و همکاران (۱۳۸۹:۵۸-۵۷) پیش‌بینی دماهای حداکثر را با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی برای شهرستان اردبیل انجام دادند که نتایج حاکی از دقت قابل قبول در پیش‌بینی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی بود. اسفندیاری درآباد و همکاران (۱۳۸۹:۴۶-۴۵) میانگین دمای ماهانه ایستگاه سینوپتیک سنندج را با استفاده

خطی چندگانه تأیید شد. لوهونگا و همکاران (۲۰۱۸:۱) با استفاده از یک سری داده‌های آماری و براساس سناریوهای RCP میزان دمای هوا برای کشور تانزانیا تا سال ۲۱۰۰ را شبیه‌سازی و افزایش دما طی دوره‌های آتی را پیش‌بینی کردند. لادیمات و پاتیل (۲۰۱۹:۱) با استفاده از تکنیک شبکه عصبی مصنوعی ریزمقیاس‌نمایی آماری را برای داده‌های مربوط به حوضه رودخانه بهیما در هندوستان انجام دادند که نتایج، بیانگر کارایی مدل شبکه عصبی بوده است. تانتای و همکاران (۲۰۱۹:۱) مقدار بارش و دمای هوا را در سه استان کشور ویتنام با استفاده از سناریوهای تغییر اقلیم مورد بررسی قرار دادند که نتایج حاکی از افزایش این دو فراسنج طی سال‌های آتی براساس سناریوهای یاد شده بوده است. طی پژوهشی که در حوضه رودخانه کالی در کلمبیا توسط مونته‌نگرو-موریلو (۲۰۱۹:۱۲۲) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی بر روی داده‌های RCP انجام گرفت، تغییرات مورد پیش‌بینی تا سال ۲۱۰۰ مطالعه گردید و براساس سناریوهای مورد بررسی مشخص شد در سال‌های آتی، بارندگی از مناطق بالایی به مناطق میانی و تحتانی حوضه رودخانه منتقل می‌شود. یدوانشی و همکاران (۲۰۱۹:۱) با بررسی دمای هوای کشور هند و طبق سناریوهای مختلف RCP افزایش دما را در سراسر این کشور طی دوره‌های آتی پیش‌بینی کردند.

در پژوهش‌های انجام‌شده در ایران، امیدوار و همکاران (۱۳۹۷:۸۰) ریزمقیاس‌نمایی و پیش‌بینی بلندمدت متغیرهای دما و بارش را برای ایستگاه سینوپتیک سیرجان با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی انجام دادند که نتایج، بیانگر افزایش میانگین دما تا سال ۲۰۹۹ بوده است. صادقی و دین‌پژوه (۱۳۹۷:۱) دمای کمینه و بیشینه شهر تبریز را با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری انجام دادند که نتایج حاکی از افزایش دما طی سناریوهای مختلف RCP است. عساکره و اکبرزاده (۱۳۹۶:۱۵۳) با استفاده از مدل SDSM و خروجی مدل CanESM2 شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش را برای ایستگاه سینوپتیک تبریز طی دوره ۲۰۱۰-۲۱۰۰

را دمای بیشینه (روزهنگام) می‌گویند (مسعودیان، ۱۳۹۱: ۲۲۹). این داده‌ها با تفکیک مکانی ۱۵ در ۱۵ کیلومتر به‌عنوان خروجی برای واسنجی، برازش و در نهایت انتخاب الگوی برازنده بر مشاهدات مورد استفاده قرار گرفتند.

۲- مشاهدات جوّی شامل داده‌های روزانه مربوط به متغیرهای ۲۶ گانه جوّی با قدرت تفکیک مکانی ۲/۵ در ۲/۵ درجه که از مرکز ملی پیش‌بینی محیطی و مرکز ملی پژوهش‌های جوّی (NCEP/NCAR) برای دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۶۱ (جدول ۱) اخذ شدند. لازم به ذکر است که در این دقت مکانی (۲/۵ در ۲/۵ درجه)، الگوهای گردشی مؤثر بر آب و هوای ایران قابل شناسایی هستند. این داده‌ها به‌عنوان ورودی یا متغیرهای توضیحی (متغیر پیش‌بین یا متغیر مستقل) مدل و به‌منظور واسنجی و برازش مدل مناسب مورد استفاده قرار گرفتند. سپس از میان متغیرهای بزرگ مقیاس، آن دسته از متغیرهایی که بیشترین ارتباط را با دمای بیشینه ایستگاه سینوپتیک قزوین داشتند از طریق محاسبه همبستگی آماری بین خروجی‌های مدل CanESM2 با داده‌های دوره آماری ایستگاه هواشناسی انتخاب گردیدند و به‌عنوان ورودی به مدل شبکه عصبی وارد شدند.

لازم به توضیح است که متغیرهای بزرگ مقیاسی که طی جدول ۱ در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته‌اند هر یک به نوعی با متغیرهای اقلیمی همانند بارش، دما و سایر پارامترها ارتباط می‌یابند. در واقع می‌توان گفت که الگوهای فشار سطوح بالای جوّ، شرایط اقلیمی سطح زمین را کنترل می‌کنند و آب و هوای محلی و منطقه‌ای تحت تأثیر الگوهای بزرگ مقیاس گردش جوّی هستند؛ در نتیجه متغیرهای اقلیمی مانند بارش و دما بشدت تحت تأثیر الگوهای گردش جوّی می‌باشند. از سویی دیگر دسترسی به داده‌های سطوح بالای جوّ، آسان بوده و همچنین سری زمانی مناسبی از داده‌های بازسازی شده در مرکز پیش‌بینی محیطی و هواشناسی آمریکا (NCEP/NCAR) وجود دارد (علیچانی و دوستان، ۲۵۷: ۱۳۹۱). به‌علاوه، جهت جریانات و چگونگی گردش هوا در ترازهای مختلف جوّ با یکدیگر

از مدل شبکه عصبی مصنوعی انجام دادند که در این تحقیق، کارایی مناسب و دقت بالای شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی دما مشخص شد. افضلی و همکاران (۲۰۱۱: ۱۷۶) دمای هوای محیط را با دو مدل شبکه عصبی مصنوعی و المان مورد مطالعه و بررسی قرار دادند که نتایج حاکی از برتری روش شبکه عصبی مصنوعی نسبت به روش المان در پیش‌بینی دما بوده است.

تمام مطالعات فوق حاکی از دقت بالای مدل شبکه عصبی در ریزمقیاس‌نمایی و شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی می‌باشند که در تحقیق حاضر سعی شده است بیشینه دمای شهر قزوین با استفاده از الگوی شبکه عصبی و سناریوهای RCP در طول قرن بیست‌ویکم ریزمقیاس‌نمایی و شبیه‌سازی گردد. با توجه به تحقیقاتی که در این زمینه انجام شده و مورد بررسی قرار گرفته می‌توان گفت که در پژوهش‌های انجام‌گرفته در انتخاب متغیرها از روش خاصی استفاده نشده است در حالی که در تحقیق حاضر از چهار روش پیش‌رونده، روش حذف پس‌رونده، نمایه کاهش درصدی و روش گام به گام به منظور پیش‌پردازش متغیرها و گزینش متغیرهای ورودی مدل استفاده شده است.

۲- داده‌ها و روش‌ها

در مطالعه حاضر ریزمقیاس‌نمایی دمای بیشینه ایستگاه سینوپتیک قزوین (با مختصات $50^{\circ} 51' - 48^{\circ} 58' E$ و $36^{\circ} 48' - 36^{\circ} 07' N$ و ۱۲۷۸ متر ارتفاع از سطح دریا) که دارای آمار بلندمدت اقلیمی است، با استفاده از مدل شبکه عصبی و بکارگیری سناریوهای RCP خروجی‌های مدل CanESM2 انجام گرفت و سپس مقدار دمای بیشینه ایستگاه برای دوره‌های آتی تحت سناریوهای انتشار، شبیه‌سازی گردید. برای انجام این پژوهش از سه گروه داده استفاده شده است:

۱- داده‌های روزانه دمای بیشینه ایستگاه سینوپتیک قزوین برای دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۶۱ که از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. بیشترین دمای دیده شده در یک شبانه‌روز

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (ص ۳۹)

شبیه‌سازی دمای بیشینه ایستگاه سینوپتیک قزوین با ... / ۲۹

جدول ۱: متغیرهای مستقل بزرگ مقیاس (پیش‌بینی‌کننده‌ها) NCEP

ردیف	متغیر	ردیف	متغیر
۱	شدت جریان ژئوستروفیک در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	۱۴	ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال
۲	چرخندگی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	۱۵	ارتفاع تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال
۳	شدت مؤلفه مداری در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	۱۶	رطوبت ویژه نزدیک سطح زمین
۴	شدت مؤلفه نصف‌النهاری در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	۱۷	رطوبت ویژه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال
۵	جهت باد در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	۱۸	رطوبت ویژه تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال
۶	واگرایی در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	۱۹	میانگین دما در ارتفاع نزدیک سطح زمین
۷	شدت جریان ژئوستروفیک در تراز ۸۰۰ هکتوپاسکال	۲۰	بارش
۸	چرخندگی در تراز ۸۰۰ هکتوپاسکال	۲۱	شدت جریان ژئوستروفیک در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال
۹	شدت مؤلفه مداری در تراز ۸۰۰ هکتوپاسکال	۲۲	چرخندگی در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال
۱۰	شدت مؤلفه نصف‌النهاری در تراز ۸۰۰ هکتوپاسکال	۲۳	شدت مؤلفه مداری در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال
۱۱	جهت باد در تراز ۸۰۰ هکتوپاسکال	۲۴	شدت مؤلفه نصف‌النهاری در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال
۱۲	واگرایی در تراز ۸۰۰ هکتوپاسکال	۲۵	جهت باد در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال
۱۳	میانگین فشار تراز دریا	۲۶	واگرایی در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال

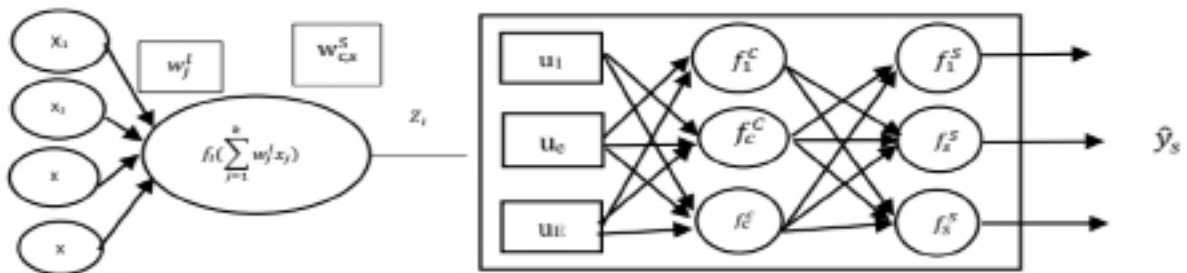
و متفاوت است و از طرفی دیگر بیشترین ناپایداری‌های جوئی در ترازهای پایینی (از سطح زمین تا تراز حدود ۸۰۰ هکتوپاسکال) و میانی تروپوسفر (تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال) صورت می‌گیرد لذا انتخاب تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به‌عنوان لایه میانی جو به این دلیل است که در مجموع این تراز بهتر می‌تواند الگوهای جوئی را نشان دهد و رابطه معناداری بین پدیده‌های جوئی و الگوهای گردشی در این تراز وجود دارد (محمدی، ۱۳۹۳: ۱۱۴).

۳- نماینده خط سیر غلظت (RCP)^۱ مستخرج از داده‌های مدل گردش عمومی جو زمین شامل خروجی مدل CanESM2 برای شبیه‌سازی دوره ۲۰۰۶-۲۱۰۰ سومین گروه داده‌های مورد استفاده در این پژوهش است که با توجه به طول و عرض جغرافیایی محدوده مورد مطالعه اختیار شد. این داده‌ها برگرفته از تارنمای <http://ccds-dscc.ec.gc.ca> است

و شامل ۲۶ متغیر توضیحی است که در گروه دوم از آنها یاد شد، با این تفاوت که این متغیرها مقادیر شبیه‌سازی شده برای محدوده مطالعاتی طی حدود ۹۴ سال آینده است؛ این داده‌ها به‌عنوان متغیر توضیحی آینده (ورودی مدل شبکه عصبی مصنوعی) استفاده می‌شوند. براساس الگوی برازنده و نیز متغیرهایی که به‌طور معنی‌دار در شکل‌گیری دمای بیشینه ایستگاه سینوپتیک قزوین دخیل هستند، دمای بیشینه این ایستگاه برای ۹۴ سال آینده براساس سه نماینده خط سیر غلظت، شبیه‌سازی می‌شود. مشخصات این سه RCP به شرح ذیل می‌باشد:

الف) RCP 2.6: این سناریو در برگیرنده کمترین نرخ افزایش گازهای گلخانه‌ای و واداشت تابشی ناشی از آن است. مطابق این سناریو واداشت تابشی در اواسط این قرن به حدود ۳/۱ وات بر متر مربع رسیده و سپس کاهش یافته و به ۲/۶ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می‌رسد. برای رسیدن

۱- Representative Concentration Pathway



نگاره ۱: ساختار یک شبکه عصبی: سمت راست یک شبکه عصبی با یک لایه پنهان و سمت چپ نحوه عملکرد یک نرون می باشد (Norgaard et al, 2000)

عصبی می باشد. با استفاده از برنامه نویسی رایانه ای می توان ساختار داده ای طراحی کرد که همانند یک نرون عمل نماید. سپس با ایجاد شبکه ای از این نرون های مصنوعی به هم پیوسته، ایجاد یک الگوریتم آموزشی برای شبکه و اعمال این الگوریتم به شبکه، آن را آموزش داد (کیانفر، ۱۳۹۵: ۱۴۵). ساختار عادی یک شبکه عصبی مصنوعی معمولاً از لایه ورودی، لایه های میانی یا پنهان^۲ و لایه خروجی^۳ تشکیل شده است. لایه ورودی یک لایه انتقال دهنده و وسیله ای برای تهیه داده هاست. لایه خروجی شامل مقادیر پیش بینی شده به وسیله شبکه است و لایه پنهان، محل پردازش داده هاست. شمار لایه ها و شمار نرون ها در هر لایه پنهان به طور معمول به روش آزمون و خطا مشخص می شود (اصغری مقدم و همکاران، ۱۳۸۷: ۳).

برای انجام پژوهش حاضر برپایه داده های یاد شده در بالا، ابتدا ضریب همبستگی دمای بیشینه ایستگاه سینوپتیک قزوین و هر یک از متغیرهای ۲۶ گانه جوئی در دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۶۱ براساس روش پیرسون برآورد گردید. در این مرحله، متغیر چرخندگی در تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال چون فاقد همبستگی معنی دار با سایر متغیرها بود از ۲۶ متغیر جوئی در دسترس حذف گردید. در مرحله بعد به منظور گزینش مناسب ترین متغیرهای پیش بین (متغیر ورودی به شبکه) و ریزگردانی آماری، روش پیش رونده، روش

به این سطح واداشت تابشی بایستی گازهای گلخانه ای به میزان قابل توجهی کاهش یابند (عساکره و اکبرزاده، ۱۳۹۶: ۱۵۹). RCP 4.5: در این خط سیر واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه ای تا سال ۲۱۰۰ در مقدار ۴/۵ وات بر متر مربع فرض می شود (صادقی و دینیپوره، ۱۳۹۷: ۵). RCP 8.5: انتشار و غلظت گازهای گلخانه ای در این سناریو در طول زمان به میزان قابل توجهی افزایش می یابد و در پایان قرن بیست و یکم موجب ایجاد تابشی حدود ۸/۵ وات بر مترمربع می شود (Riahi et al, 2011:34). در پژوهش حاضر دمای بیشینه ایستگاه سینوپتیک قزوین با استفاده از مدل شبکه عصبی ریزمقیاس و شبیه سازی گردیده است. شبکه های عصبی مصنوعی از جمله ابزارهای الهام گرفته شده از مغز انسان و از جمله سیستم ها و روش های محاسباتی نوین برای پردازش داده ها و اطلاعات به منظور یادگیری و ایجاد دانش هستند (جمالی و فرهمند، ۱۳۹۶: ۲). شبکه های عصبی مصنوعی از واحدهای کوچکی به نام نرون تشکیل شده اند که شدت اتصالات بین آنها از طریق وزن های سیناپسی مشخص می شود. هر نرون می تواند ارزش خروجی Z_1 براساس جمع وزنی ورودی های X_j براساس معادله ۱ محاسبه کند (Dreyfus, 2005) (نگاره ۱).

$$Z_l = f_l(\sum_{j=1}^k W_j^l X_j) \quad (1)$$

که در آن W_j جمع ضرایب وزن های سیناپسی، اندیس l نشان دهنده تعداد نرون ها و f_l تابع فعال سازی شبکه

- 1- Input Layer
- 2- Hidden Layers
- 3- Output Layer
- 4- Forward Variable Selection

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (ص ۳۱)

شبیه‌سازی دمای بیشینه ایستگاه سینوپتیک قزوین با ... / ۳۱

وارد شده به معادله برای برآورد متغیر وابسته به کار گرفته می‌شود. سپس همبستگی جزئی متغیرهای خارج از معادله با تفکیک متغیر اول محاسبه می‌گردد و متغیر دوم طوری وارد معادله می‌شود که اثر متغیر اول از آن برداشته می‌شود و انتخاب متغیرهای بعدی براساس بیشترین همبستگی جزئی آن از متغیرهای دیگر است (عساکره، ۱۳۹۰: ۲۵۸).

پس از گزینش متغیرهای توضیحی مناسب براساس هریک از روش‌ها، برای طراحی مناسب معماری شبکه عصبی به منظور ریزمقیاس‌نمایی، متغیرهای مستقل انتخابی در هر یک از روش‌های مذکور به‌عنوان ورودی به شبکه داده شد. یعنی مدل شبکه عصبی مصنوعی چهار بار با متغیرهای ورودی مختلف برازش یافت. داده‌های دمای بیشینه ایستگاه سینوپتیک قزوین (داده‌های وابسته) به‌عنوان داده‌های واقعی (مشاهده‌ای) در این رهیافت منظور گردید. پس از تعیین تعداد نرون‌ها و لایه‌های شبکه و دادن وزن مناسب به هر متغیر و آموزش شبکه، مناسب‌ترین معماری شبکه عصبی حاصل شد.

لازم به ذکر است که در این مرحله داده‌های ورودی به سه گروه آموزش، اعتبارسنجی و آزمون تقسیم گردید که به ترتیب شامل ۷۰، ۱۵ و ۱۵ درصد داده‌ها در هر قسمت بوده است. در مدل برازنده بر دمای بیشینه ایستگاه سینوپتیک قزوین با استفاده از الگوریتم لوببرگ-مارکوئٹ^۴ و با توجه به نگاره ۲، یک شبکه عصبی با ۸ ورودی، یک لایه پنهان با ۱۰ نرون و تابع انتقال سیگموئید و یک لایه خروجی با ۱ نرون و تابع انتقال خطی برای شبیه‌سازی آینده دمایی ایستگاه سینوپتیک قزوین مورد تأیید قرار گرفت.

در مرحله بعد با در نظر گرفتن دو آماره ضریب همبستگی (R) و میانگین مربعات خطا (MSE)^۵ برازنده‌ترین معماری حاصل از گزینش متغیرها براساس چهار روش یاد شده اختیار شد. در نهایت متغیرهایی که دارای بالاترین ضریب همبستگی و کمترین میزان خطا با متغیر ایستگاهی بودند

حذف پس‌رونده^۱، نمایه کاهش درصدی^۲ و روش گام به گام^۳ به کار گرفته شد. شرح هر یک از روش‌های فوق به قرار زیر است:

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 قوی‌تری با متغیر وابسته دارد، انتخاب می‌گردد. انتخاب متغیرهای بعدی براساس بالاترین مجذور همبستگی نیمه جزئی با متغیر وابسته انجام می‌گیرد (عساکره، ۱۳۹۰: ۲۵۷).

روش حذف پس‌رونده: این روش با محاسبه همبستگی چندمتغیره بین تمام متغیرهای مستقل و وابسته آغاز می‌گردد. سپس هر یک از متغیرهای مستقل به نوبت از معادله کنار گذاشته می‌شوند و کاهش ناشی از آن در ضریب تعیین بررسی می‌شود (عساکره، ۱۳۹۰: ۲۵۶).

نمایه کاهش درصدی: در این روش، درصد کاهش همبستگی جزئی مطلق توسط ضریب همبستگی مطلق بین یک پیش‌بینی‌شونده و پیش‌بینی‌کننده و ضریب همبستگی جزئی بین پیش‌بینی‌شونده و پیش‌بینی‌کننده با استفاده از رابطه ۲ به دست می‌آید:

$$PR = \left(\frac{pr - R}{R} \right) \quad (2)$$

که در آن، pr درصد کاهش همبستگی جزئی با توجه به ضریب همبستگی و R ضریب همبستگی بین پیش‌بینی‌کننده و پیش‌بینی‌شونده است (عساکره و حسامی، ۱۳۸۱-۱۳۹۷: ۱۳۹).

روش گام به گام: این روش، عکس روش حذف پس‌رونده و یکی از انواع راه‌حل‌های پیش‌رونده است. در این روش، مشارکت هر یک از متغیرهایی که قبلاً وارد مدل شده‌اند، مجدد آزموده می‌شوند. بدین معنا که ابتدا بهترین متغیر مستقل براساس بالاترین ضریب همبستگی مرتبه صفر با متغیر وابسته مشخص و اثر آن از ماتریس همبستگی‌های بین متغیرهای مستقل حذف می‌شود و در هر گام، متغیر

4- Levenberg-Marquardt

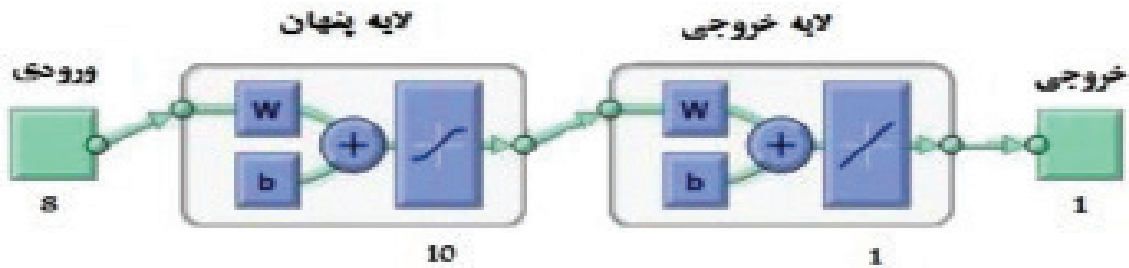
5- Correlation Coefficient

6- Mean Square Error

1- Backward Variable Elimination

2- Percentage Reduction

3- Stepwise Variable Entry



نگاره ۲: معماری شبکه عصبی تک لایه حاصل از روش پیش‌رونده برای ایستگاه سینوپتیک قزوین

به‌عنوان ورودی به معماری منتخب داده شد و شبیه‌سازی دمای بیشینه برای دوره آماری ۲۰۰۶-۲۱۰۰ انجام گرفت.

۳- یافته‌ها و نتایج

۳-۱- گزینش متغیرهای ورودی

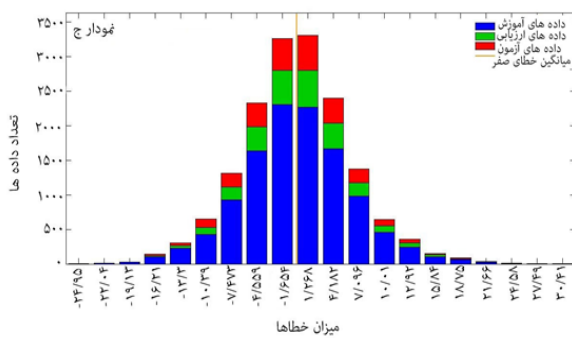
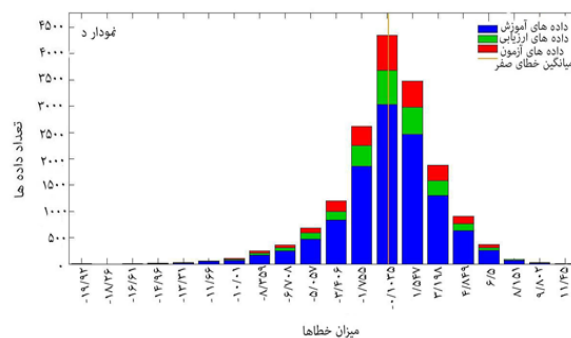
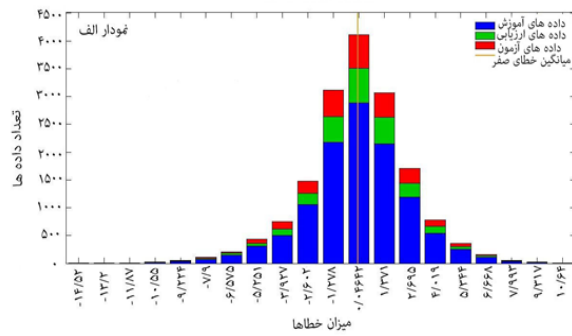
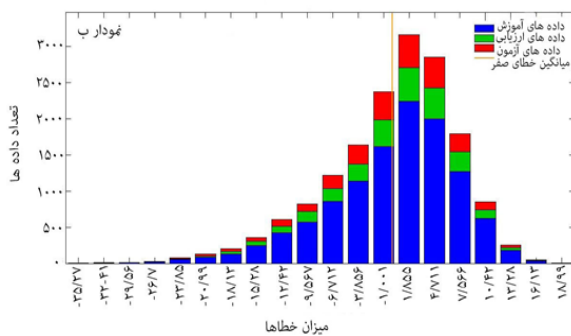
یکی از مهم‌ترین مراحل ریزمقیاس‌نمایی، انتخاب متغیرهای توضیحی است که به طور قابل قبولی بتواند تغییرات و ویژگی‌های پارامترهای ایستگاهی مورد نظر را توصیف کند، که این متغیرها باید از متغیرهای NCEP انتخاب شود. متغیرهای NCEP شامل ۲۶ متغیر اتمسفری است و از میان آن‌ها متغیر یا متغیرهایی انتخاب می‌شوند که دارای بالاترین میزان همبستگی با متغیر یا متغیرهای ایستگاهی باشند (رضائی و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۲۲). نتایج حاصل از گزینش متغیرهای ورودی مدل از میان متغیرهای ۲۶ گانه جوئی (جدول ۱) براساس چهار روش گزینش متغیرهای پیش‌بین (پیش‌رونده، پس‌رونده، نمایه کاهش درصدی و گام به گام) در جدول ۲ نشان داده شده است. بدین ترتیب چهار شبکه براساس چهار گروه ورودی‌هایی که در جدول ۲

جدول ۲: نتایج گزینش متغیرهای مستقل حاصل از روش‌های پیش‌رونده، پس‌رونده، نمایه کاهش درصدی و گام به گام

نمایه کاهش درصدی	روش پیش‌رونده	روش حذف پس‌رونده	روش گام به گام
شدت مؤلفه نصف‌النهاری در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال	میانگین دما در ارتفاع نزدیک سطح زمین	شدت مؤلفه مداری در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال
شدت جریان ژئوستروفیک در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال	ارتفاع تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	میانگین فشار تراز دریا	ارتفاع تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال
جهت باد در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال	ارتفاع تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال		بارش
	میانگین فشار تراز دریا		رطوبت ویژه در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال

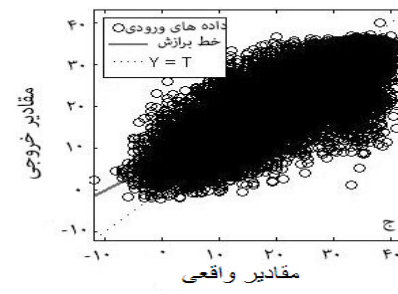
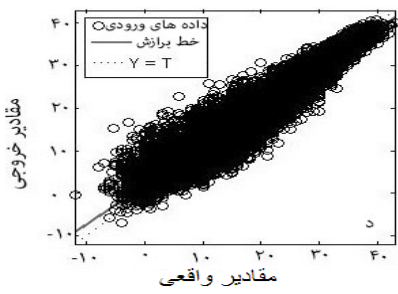
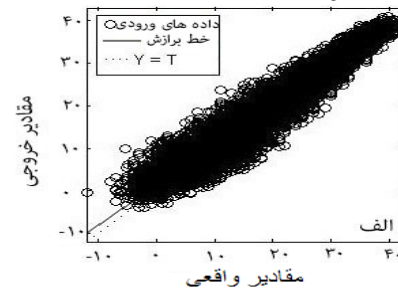
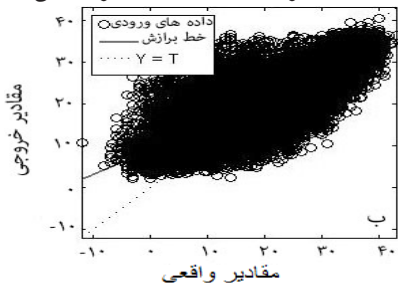
فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سیر)

شبیه‌سازی دمای بیشینه ایستگاه سینوپتیک قزوین با ... / ۳۳



نگاره ۳: نمودار هیستوگرام مقادیر خطاها برای روش‌های پیش‌رونده (الف)، پس‌رونده (ب)، نمایه کاهش درصدی (ج) و گام به گام (د)

خط‌چین‌های نزدیک به خط ممتد در هر نمودار حاکی از قابلیت پذیرش مدل است. هر قدر این خط‌چین‌ها به خط ممتد (خط برازش‌یافته) نزدیک‌تر باشند بیانگر برازش بهتر و برآورد دقیق‌تر خروجی‌های شبکه خواهد بود که در این نگاره، نمودار مربوط به روش پیش‌رونده (نمودار الف) به مقدار ۰/۹۷ و با تعداد ۱۰ نرون نسبت به سایر روش‌ها



نگاره ۴: میزان ضریب همبستگی در مراحل آموزش، ارزیابی و آزمون برای روش‌های پیش‌رونده (الف)، پس‌رونده (ب)، نمایه کاهش درصدی (ج) و گام به گام (د)

جدول ۳: نتایج ضریب همبستگی و میانگین مربعات خطا برای روش‌های پیش‌رونده، پس‌رونده، نمایه کاهش درصدی و گام به گام

روش	روش	روش	روش	نمایه کاهش درصدی	نمایه کاهش درصدی	روش	روش	
پیش‌رونده	پیش‌رونده	پس‌رونده	پس‌رونده	میانگین مربعات خطا	میانگین مربعات خطا	گام به گام	گام به گام	
میانگین مربعات خطا	میزان همبستگی	میانگین مربعات خطا	میزان همبستگی	میانگین مربعات خطا	میزان همبستگی	میانگین مربعات خطا	میزان همبستگی	
۶/۹	۰/۹۷۲	۵۲/۲	۰/۷۶۳	۳۹/۶	۰/۸۲۷	۱۰/۲	۰/۹۵۸	داده‌های آموزش
۶/۴	۰/۹۷۳	۵۲/۸	۰/۷۷۱	۳۸/۳	۰/۸۳۵	۱۰/۴	۰/۹۵۷	داده‌های ارزیابی
۶/۸	۰/۹۷۴	۵۲/۱	۰/۷۶۵	۳۹/۳	۰/۸۳۳	۱۰/۶	۰/۹۵۵	داده‌های آزمون

آن‌ها بیشتر می‌شود (خوش‌خلاق و همکاران، ۲۱۴-۱۳۹۸:۲۱۶). از سویی دیگر در دوره گرم سال با استقرار پرفشار آزر بر روی ایران، قلمرو عملکرد این زبانه سبب سیطره هوایی گرم و خشک بر پهنه وسیعی از ایران می‌گردد که در آن به سبب افزایش ضخامت تروپوسفر نقش ارتفاع در افتاهنگ عمودی دما چندان محسوس نیست. گسترش این پرفشار و پراارتفاع شدن آن در ترازهای ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال باعث فرونشینی دینامیکی هوا و افزایش شدت گرمایش آن می‌گردد. افزایش دما نیز در تراز دریا که بر اثر فعالیت‌های انسانی و افزایش گازهای گلخانه‌ای رخ داده باعث کم‌فشارتر شدن این لایه و انبساط جو گردیده که در نهایت موجب گرم‌تر شدن هوا در کشور ایران می‌گردد (خوش‌خلاق و همکاران، ۲۲۱-۱۳۹۸:۲۲۲).

۳-۲- گزینش الگوی مناسب

در جدول ۴ میزان اختلاف مقادیر ماهانه واقعی با مقادیر خروجی حاصل از متغیرهای منتخب به روش پیش‌رونده و با استفاده از مدل شبکه عصبی دو لایه با تابع انتقال سیگموئید (لایه پنهان) و تابع انتقال خطی (لایه خروجی) ارائه شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد مقادیر خروجی در ماه‌های ژانویه، آگوست، اکتبر، نوامبر و دسامبر بیشتر از مقادیر واقعی و در سایر ماه‌ها کمتر از مقادیر واقعی برآورد شده است. در این بین بیشترین مقدار برآورد شده مربوط به

مناسب‌تر تشخیص داده شد. لازم به ذکر است که تابع انتقال مورد استفاده در لایه پنهان از نوع سیگموئید و در لایه خروجی، تابع خطی است.

براین اساس متغیرهای حاصل از روش پیش‌رونده یعنی متغیرهای میانگین دما در ارتفاع نزدیک سطح زمین، میانگین فشار تراز دریا و ارتفاع تراز ۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال به‌عنوان متغیرهای پیش‌بینی‌کننده برای شبیه‌سازی آینده دمایی ایستگاه مورد مطالعه، انتخاب و به‌عنوان متغیرهای ورودی به مدل شبکه عصبی مصنوعی وارد شدند؛ در واقع می‌توان گفت این متغیرها بیشترین تأثیر را بر دمای ایستگاه مطالعاتی داشته‌اند.

از آنجایی که مهم‌ترین رخداد اقلیم در حال حاضر، پدیده گرمایش جهانی است که نتیجه آن افزایش میانگین دمای کره زمین می‌باشد (درخشان‌بابایی، ۱۳۹۳:۵۴) لذا کشور ایران نیز از این گرمایش مستثنی نبوده و بررسی روند دما در ترازهای جو مختلف آن حاکی از افزایش دما در این ترازها می‌باشد؛ این روند افزایش در تراز دریا بیشتر از بقیه ترازهاست که می‌توان آن را تأثیر بیشتر منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای در سطح زمین در ایجاد گرمایش جهانی دانست. تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نیز به دلیل نزدیکی به سطح زمین دومین تراز از لحاظ افزایش دما است. به واسطه روند افزایشی دما و انتشار بالاسوی گرما از سطح زمین و تراز دریا به ترازهای بالایی تروپوسفر، میزان همبستگی و ارتباط

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (ص ۳۵)

شبیه‌سازی دمای بیشینه ایستگاه سینوپتیک قزوین با ... / ۳۵

جدول ۴: مقایسه ماهانه داده‌های واقعی دمای بیشینه با مقادیر خروجی براساس گزینش متغیرها به روش پیش‌رونده و با استفاده از شبکه عصبی دو لایه با تابع انتقال سیگموئید (لایه پنهان) و خطی (لایه خروجی) برای ایستگاه سینوپتیک قزوین

طی دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۶۱

ماه‌ها	داده‌های واقعی	داده‌های خروجی	میزان خطاها
ژانویه	۵/۵۳	۶/۶۲	-۱/۱
فوریه	۸/۰۷	۷/۶۶	۰/۴
مارس	۱۳/۷۶	۱۲/۰۸	۱/۶۶
آوریل	۲۰/۱۶	۱۸/۹۴	۱/۲
می	۲۵/۷۳	۲۵/۵۵	۰/۱۷
جون	۳۲/۱۸	۳۱/۹۵	۰/۲۱
جولای	۳۵/۴۲	۳۵/۳۹	۰/۰۱
آگوست	۳۴/۸۳	۳۴/۸۹	-۰/۰۵
سپتامبر	۳۰/۸۵	۳۰/۶۸	۰/۱۶
اکتبر	۲۳/۳۶	۲۳/۵۴	-۰/۱۶
نوامبر	۱۵/۲	۱۶/۰۸	-۰/۸۷
دسامبر	۸/۳۱	۹/۹	-۱/۵۶
میانگین	۲۱/۱۱	۲۱/۱	۰/۰۷

آتی این ایستگاه باشد. براین اساس مدل شبکه عصبی مصنوعی برای این منظور به کار گرفته شد. نتایج در جدول ۵ و نمودار مربوط به آن (نگاره ۵) ارائه شده است:

با مقایسه مقادیر ارائه شده در جداول ۴ و ۵ می‌توان دید میانگین دمای بیشینه ایستگاه مورد مطالعه در سناریوهای RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 8.5 به ترتیب به میزان ۲۲/۴، ۲۳/۸ و ۲۵/۲ درجه سانتی‌گراد خواهد بود که در هر کدام به ترتیب به میزان ۱/۳، ۲/۷ و ۴/۱ درجه سانتی‌گراد نسبت به داده‌های واقعی بیشتر است؛ به طوری که این سیر افزایشی در سناریوی RCP 8.5 بسیار بیشتر از دمای پایه خواهد بود. همانطور که ملاحظه می‌گردد بیشترین میزان افزایش دما طبق هر سه سناریو مربوط به ماه جولای و به مقدار ۳۸/۶ درجه سانتی‌گراد برای سناریوی RCP 2.6، ۳۹/۱ درجه سانتی‌گراد برای سناریوی RCP 4.5 و ۴۰/۳ درجه سانتی‌گراد در سناریوی RCP 8.5 خواهد بود.

بیشترین مقادیر دمایی پیش‌بینی شده توسط سناریوهای RCP 4.5 و RCP 8.5 را می‌توان به دلایل قوانین فیزیکی

ماه دسامبر به میزان ۹/۹ درجه سانتی‌گراد و کمترین مقدار مربوط به ماه ژانویه به مقدار ۶/۶ درجه سانتی‌گراد است. همچنین کمترین میزان خطا معادل ۱/۵- درجه سانتی‌گراد نیز مربوط به ماه دسامبر بوده است.

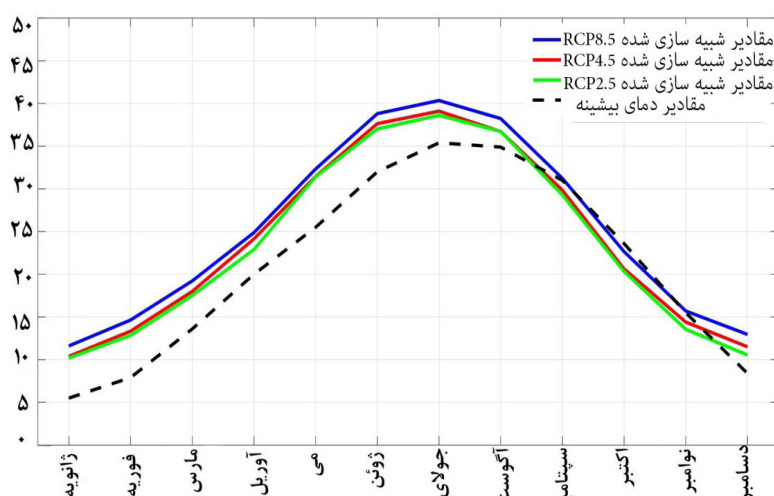
با توجه به یافته‌های ارائه شده در جدول ۴ مدل برازش یافته به‌ویژه برای ماه‌های فوریه و می تا نوامبر از دقت بالایی برخوردار است. چهار ماه دیگر (شامل ژانویه، مارس، آوریل و دسامبر) نیز اگرچه به‌طور نسبی تفاوت‌های قابل توجهی با ماه‌های دیگر دارند اما عموماً اختلاف فاحشی را با دمای ماهانه نشان نمی‌دهند.

۳-۳- شبیه‌سازی براساس الگوی انتخابی

براساس آنچه در بالا گفته شد به‌نظر می‌رسد که شبیه‌سازی دمای بیشینه ایستگاه سینوپتیک قزوین تحت سناریوهای RCP برای دوره آماری ۲۰۰۶-۲۱۰۰ و با بکارگیری معماری شبکه عصبی حاصل از روش پیش‌رونده الگویی مناسب برای ارائه تصویری از شرایط تعریف‌شده

جدول ۵: شبیه‌سازی ماهانه دمای بیشینه ایستگاه سینوپتیک قزوین براساس سناریوهای انتشار (RCP) طی دوره آماری ۲۰۰۶-۲۱۰۰

ماه‌ها	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
ژانویه	۱۰/۱۹	۱۰/۳۸	۱۱/۶۱
فوریه	۱۲/۸۴	۱۳/۳۳	۱۴/۶۴
مارس	۱۷/۵۱	۱۷/۹۹	۱۹/۲۲
آوریل	۲۲/۸۹	۲۴/۱۴	۲۴/۸۸
می	۳۱/۴	۳۱/۴۵	۳۲/۳۳
جون	۳۷/۰۲	۳۷/۶۴	۳۸/۸۱
جولای	۳۸/۶۱	۳۹/۱	۴۰/۳۵
آگوست	۳۶/۷	۳۶/۷۲	۳۸/۲۴
سپتامبر	۲۹/۲۹	۲۹/۸۶	۳۱/۴۵
اکتبر	۲۰/۳۳	۲۰/۶۴	۲۲/۶۶
نوامبر	۱۳/۵۶	۱۴/۴	۱۵/۷
دسامبر	۱۰/۵۵	۱۱/۵۱	۱۲/۹۶
میانگین	۲۲/۴	۲۳/۸	۲۵/۲



نگاره ۵: مقایسه میانگین ماهانه مقادیر شبیه‌سازی شده تحت سناریوهای RCP 8.5 و 4.5، RCP 2.6 برای دوره آماری ۲۰۰۶-۲۱۰۰ با مقادیر دمای بیشینه ایستگاه سینوپتیک قزوین در دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۰۵

است. مقادیر شبیه‌سازی شده سناریوی RCP 4.5 و RCP 2.6 بسیار نزدیک به هم و با اختلاف اندکی نسبت به یکدیگر روند افزایشی دما را پیش‌بینی می‌کنند. در مقایسه با این دو سناریو، مقادیر شبیه‌سازی شده سناریوی RCP 8.5 با اختلاف محسوس‌تری بیانگر روند صعودی دما خواهد بود. دمای ایران به‌طور متوسط در دهه‌های میانی و پایانی قرن بیست و یکم، بین ۱ تا ۲ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد (عباس‌نیا و همکاران، ۲۹:۱۳۹۴). نتایج مطالعات محققان مختلفی

برای شبیه‌سازی و افزایش میزان واداشت تابشی و غلظت دی‌اکسیدکربن تا پایان قرن بیست و یکم قابل توجه دانست. در نگاره ۵ تغییرات مقادیر دمای بیشینه از سال ۲۰۰۶ تا ۲۱۰۰ نشان داده شده است که مطابق آن، می‌توان روند افزایش دما را طی هر سه سناریو مشاهده کرد؛ با مقایسه مقادیر مربوط به داده‌های واقعی و داده‌های شبیه‌سازی شده می‌توان دریافت که اختلاف دما بین دوره آماری پایه و دوره شبیه‌سازی شده، در سناریوی RCP 8.5 بسیار بیشتر

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۳۷)

شبیه‌سازی دمای بیشینه ایستگاه سینوپتیک قزوین با ... / ۳۷

توجه بوده است. در پژوهش حاضر با بهره‌گیری از چهار روش پیش‌رونده، پس‌رونده، نمایه کاهش درصدی و گام به گام، ریزمقیاس‌نمایی آماری بر روی ۲۶ عنصر جوئی (متغیرهای پیش‌بین) و گزینش متغیرهای مستقل انجام گرفت. از سوی دیگر، استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی به‌عنوان یکی از روش‌های کارآمد و مؤثر برای ریزمقیاس‌نمایی و برآورد پارامترهای مختلف اقلیمی طی سالیان اخیر بسیار مورد توجه واقع شده است. به منظور انتخاب بهترین معماری شبکه عصبی، متغیرهای منتخب از هر روش فوق به‌عنوان ورودی و داده‌های دمای بیشینه ایستگاه سینوپتیک قزوین در دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۶۱ به‌عنوان متغیر وابسته معرفی گردید.

در نهایت با دو ملاک ضریب همبستگی (R) و میانگین مربعات خطا (MSE)، معماری حاصل از روش پیش‌رونده مورد تأیید قرار گرفت. پس از بررسی نتایج هر یک از روش‌های گزینش متغیرهای پیش‌بین و نهایتاً انتخاب روش پیش‌رونده به‌عنوان بهترین روش برای نمایش بهترین معماری شبکه، مشخص شد که بیشینه دمای ایستگاه مورد مطالعه دارای بیشترین مقدار همبستگی با میانگین فشار تراز دریا، میانگین دما در ارتفاع نزدیک سطح زمین و ارتفاع تراز ۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال است. سپس از سناریوهای RCP برای پیش‌بینی و مقایسه دمای بیشینه ایستگاه سینوپتیک قزوین تا سال ۲۱۰۰ نسبت به دوره آماری پایه ۲۰۰۵-۱۹۶۱ استفاده گردید.

نتایج نشان داد که از بین سناریوهای موجود، سناریوی بدبینانه RCP 8.5 بیشترین افزایش دما را برای ایستگاه قزوین خواهد داشت؛ به طوری که مقدار افزایش دما به‌طور نسبی از سناریو RCP 2.6 به سمت سناریوی RCP 8.5 افزایش می‌یابد. این بدان معناست که ایران نه‌تنها در منطقه گرمسیر جهان قرار گرفته بلکه رو به گرم شدن هم می‌رود و آهنگ گرم شدن ایران چهار برابر سرعت گرمایش جهانی است (مسعودیان و کاویانی، ۱۳۸۶: ۶۵).

همچون عساکره و همکاران (۱۳۹۸: ۱۱۷)، صادقی و دین‌پژوه (۱۳۹۶: ۱۲)، عساکره و شاه‌منصوری (۱۳۹۵: ۲۰۹)، قاسمی فر و همکاران (۱۳۹۶: ۳۸)، محمدی و همکاران (۱۳۹۵: ۳۶۳-۳۶۲)، اشرفی و همکاران (۱۳۸۸: ۱۰۴) و علیجانی و قویدل رحیمی (۱۳۸۴: ۳۶-۳۵) نیز بیانگر افزایش دما طی دهه‌های آتی برای منطقه مورد مطالعه آن‌ها بوده است.

همچنین بررسی که رهنمایامی و قهرمان (۱۳۸۶: ۲)، در استان قزوین طی دوره آماری ۲۰۰۳-۱۹۵۹ انجام داده‌اند بیانگر روند افزایشی دما به میزان ۰/۶ درجه سانتی‌گراد برای دوره مذکور بوده است.

به علاوه، نتایج تحقیقاتی که توسط زهتابیان و همکاران (۲۰۱۶: ۱۵۴)، خسروی و همکاران (۲۰۱۷: ۸) و میرگل و نظری (۲۰۱۸: ۱۲) در محدوده استان قزوین با استفاده از مدل‌های مختلف برای شبیه‌سازی دمای آینده این استان انجام گرفته حکایت از افزایش دما به میزان ۱/۲۵-۰/۹ درجه سانتی‌گراد طی دهه‌های آتی دارد. تفاوت در پیش‌بینی‌ها توسط سناریوها بیانگر وجود عدم قطعیت است؛ به‌طور کلی، عدم قطعیت به محدوده وسیعی از برآورد تأثیرات تغییر اقلیم منجر می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری

طبق گزارش چهارم هیئت بین‌الدولی تغییرات اقلیمی (IPCC) اگر کشورها نتوانند انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهند، میانگین دمای کره زمین تا سال ۲۱۰۰ بر مبنای پیش‌بینی سناریوهای مختلف اقلیمی به میزان ۱/۱ تا ۶/۴ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت (IPCC, 2007:85). میزان برآورد و تخمین این مقدار دما بسیار مهم است؛ از آن‌جا که تغییرات دمایی از الگوهای جغرافیایی برخوردارند، شناخت ناحیه‌ای این تغییرات نیز حائز اهمیت شایان توجهی می‌باشد. در این زمینه؛ اول این‌که انتخاب متغیرهای توضیحی مناسب برای شبیه‌سازی آینده دمایی بسیار اهمیت دارد. دوم آنکه در شبیه‌سازی، روش‌های متنوعی برای استخراج داده‌های نقطه‌ای- ناحیه‌ای از الگوهای گردش سیاره‌ای در معرض

منابع و مآخذ

- ۱- آبکار، حبیب‌نژاد، سلیمانی، نقوی؛ علیجان، محمود، کریم، هرمزد (۱۳۹۳). "حساسیت مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM به داده‌های بازتحلیل شده در مناطق خشک"، دو فصلنامه علمی- پژوهشی خشک‌بوم، جلد ۴، ش ۲، ۱۲.
- ۲- احمدوند کهریزی، روحانی؛ مریم، حامد (۱۳۹۵) "تأثیرات حفاظتی تغییر اقلیم براساس ریزمقیاس‌سازی دمای پیش‌بینی‌شده در قرن ۲۱ (مطالعه موردی: دو ایستگاه ارازکوسه و نوده در استان گلستان)"، اکوهیدرولوژی، دوره ۳، ش ۴، ۵۹۷.
- ۳- اسفندیاری درآباد، حسینی، آزادی مبارکی، حجازی‌زاده؛ فریبا، اسعد، محمد، زهرا (۱۳۸۹). "پیش‌بینی میانگین دمای ماهانه ایستگاه سینوپتیک سنندج با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه (MLP)"، جغرافیا (فصلنامه علمی- پژوهشی انجمن جغرافیای ایران)، سال هشتم، ش ۲۷، ۴۶-۴۵.
- ۴- اشرفی، شفیع‌پورمطلق، نجاراعرابی، قاسمی؛ خسرو، مجید، بابک، لادن (۱۳۸۸). "پیش‌بینی افزایش دما در اثر تغییر آب و هوا در ایران با استفاده از شبکه عصبی"، هشتمین همایش پیش‌بینی عددی وضع هوا، پژوهشکده هواشناسی- گروه پژوهشی هواشناسی سینوپتیکی و دینامیکی مشهد، ۱۰۴.
- ۵- اصغری‌مقدم، نورانی، ندیری؛ اصغر، وحید، عطاءالله (۱۳۸۷). "مدل‌سازی بارش دشت تبریز با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی"، مجله دانش کشاورزی، دانشگاه تبریز، جلد ۱۸، ش ۱، ۳.
- ۶- امیدوار، رضائی، پیرنیا؛ ابراهیم، مریم، عبدالله (۱۳۹۷). "ارزیابی کارایی مدل شبکه عصبی مصنوعی برای ریزمقیاس‌نمایی و پیش‌بینی بلندمدت متغیرهای اقلیمی"، پژوهشکده مدیریت حوضه آبخیز، سال نهم، ش ۱۸، ۸۰.
- ۷- تشنه‌لب، منشی؛ محمد، مهدی (۱۳۸۲). "پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی با استفاده از شبکه عصبی- فازی براساس آموزش پارامترهای بخش تالی"، سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس تغییر اقلیم، دانشگاه اصفهان، ۸.
- ۸- جمالی، فرهمند؛ سعیده، محمدرضا (۱۳۹۶). "معرفی و بررسی شبکه‌های عصبی مصنوعی با ساختار پویا"، کنفرانس ملی فناوری‌های نوین در مهندسی برق و کامپیوتر، مؤسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی استان اصفهان، ۲.
- ۹- خسروی، اژدری مقدم، نظری‌پور، رزمجویی؛ محمود، مهدی، حمید، شهرام (۱۳۸۹). "پیش‌بینی دمای بیشینه شیراز با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی"، مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام، زاهدان، ۱.
- ۱۰- خوش‌اخلاق، احمدی، کریمی احمدآباد؛ فرامرز، نعمت، مصطفی (۱۳۹۸). "واکاوی هم‌دید اثر گرمایش جهانی بر روند دمای ترازهای جو در ایران". مجله سپهر، دوره ۲۸، ش ۱۰۹، ۲۲۲-۲۱۴.
- ۱۱- درخشان‌بابائی؛ فرزانه (۱۳۹۳). "گرمایش جهانی"، مجله رشد آموزش جغرافیا، ش ۱۰۹، ۵۷-۵۲.
- ۱۲- دشت‌بزرگی، علیجانی، جعفرپور، شکیبا؛ آمنه، بهلول، زین‌العابدین، علیرضا (۱۳۹۴). "شبیه‌سازی شاخص‌های حدی دمای استان خوزستان براساس سناریوهای RCP"، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، ش ۱۶، ۱۰۵.
- ۱۳- رضائی، نهتانی، آبکار، رضائی، میرکازهی ریگی؛ مریم، محمد، علیجان، معصومه، مهری (۱۳۹۳). "بررسی کارایی مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM در پیش‌بینی پارامترهای دمایی در دو اقلیم خشک و فراخشک (مطالعه موردی: کرمان و بم)"، پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز، سال پنجم، ش ۱۰، ۱۲۲.
- ۱۴- رهنمایمی، قهرمان؛ ابراهیم، نوذر (۱۳۸۶). "نگرش تحلیلی بر تغییر اقلیم، بارندگی و دمای استان قزوین"، همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۲.
- ۱۵- ستاری، رضازاده‌جودی، نهرین؛ محمدتقی، علی، فرناز (۱۳۹۳). "پیش‌بینی مقادیر بارش ماهانه با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و مدل درختی M5، مطالعه موردی: ایستگاه اهر"، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (ص ۳۹)

شبیه‌سازی دمای بیشینه ایستگاه سینوپتیک قزوین با ... / ۳۹

دوره ۴۸، ش ۲، ۲۰۹.

۲۴- عساکره؛ حسین (۱۳۹۶). "مبانی پژوهش در آب و هواشناسی"، زنجان: انتشارات دانشگاه زنجان، ۲۰۰-۲۰۲.

۲۵- عساکره، اکبرزاده؛ حسین، یونس (۱۳۹۶). "شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش ایستگاه سینوپتیک تبریز طی دوره (۲۰۱۰-۲۰۱۰) با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری SDSM و خروجی مدل CanEsm2"، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ش ۲۱، ۱۵۳-۱۵۹.

۲۶- عساکره، مطلبی‌زاده؛ حسین، سولماز (۱۳۹۶). "مقایسه عملکرد دو مدل SDSM و شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی تغییرات دمای حداقل (ایستگاه موردی: ارومیه)"، برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره ۲۱، ش ۴، ۱۴۰.

۲۷- عساکره، حسامی؛ حسین، نرگس (۱۳۹۷). "ارزیابی کاربرد مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و SDSM به منظور شبیه‌سازی دمای کمینه و بیشینه ایستگاه اصفهان"، کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی، سال ششم، ش ۲، ۱۳۹-۱۳۸.

۲۸- عساکره، کیانی؛ حسین، حدیث (۱۳۹۷). "ارزیابی کارایی مدل SDSM در شبیه‌سازی میانگین دمای شهر کرمانشاه"، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، دوره ۲۷، ش ۱۰۵، ۵۰.

۲۹- عساکره، شاهبایی کوتنایی، فرومدی؛ حسین، علی، مجید (۱۳۹۸). "ارزیابی تغییرات و پیش‌بینی دمای کمینه در غرب استان مازندران با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM"، نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، سال ۲۳، ش ۱، ۱۱۷.

۳۰- علیجانی، دوستان؛ بهلول، رضا (۱۳۹۱). "شناسایی کانون‌های کنترل‌کننده اقلیم ایران و الگوهای فشار مربوط در سطح ۵۰۰ هکتوپاسکال جو ایران در دوره سرد سال"، نشریه جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، ش ۱۹، ۲۵۷.

۳۱- علیجانی، قویدل‌رحیمی؛ بهلول، یوسف (۱۳۸۴). "مقایسه و پیش‌بینی تغییرات دمای سالانه تبریز با ناهنجاری‌های دمایی کره زمین با استفاده از روش‌های

۴۶، ش ۲، ۲۴۸.

۱۶- صادقی، دین‌پژوه؛ امین، یعقوب (۱۳۹۶). "پیش‌بینی روند دمای کمینه و بیشینه شهر تبریز تحت شرایط تغییر اقلیم در دوره آتی"، کنفرانس ملی پژوهش‌های نوین در مهندسی کشاورزی، محیط زیست و منابع طبیعی، ۱۲.

۱۷- صادقی، دین‌پژوه؛ امین، یعقوب (۱۳۹۷). "پیش‌بینی دمای تبریز و روند تغییرات آن با استفاده از مدل EC-EARTH"، کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و مدیریت توسعه شهری در ایران، تهران، دانشگاه تهران، ۵-۱.

۱۸- صلاحی، حسینی، شایقی، سبحانی؛ برومند، سید اسعد، حسین، بهروز (۱۳۸۹). "پیش‌بینی دماهای حداکثر با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی، مطالعه موردی: شهرستان اردبیل"، تحقیقات جغرافیایی، سال بیست‌وپنجم، ش ۳، ۵۸-۵۷.

۱۹- عباس‌نیا؛ طاوسی، خسروی، توروس؛ محسن، تقی، محمود، حسین (۱۳۹۴). "تحلیل دامنه عدم قطعیت تغییرات آینده دمای حداکثر روزانه بر روی ایران با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی"، فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، دوره ۲۵، ش ۹۷، ۲۹.

۲۰- عزیزآبادی‌فراهانی، بختیاری، قادری، رضاپور؛ مسعوده، بهرام، کورش، محسن (۱۳۹۵). "بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر منحنی‌های سختی - مدت - فراوانی خشکسالی حوضه آبریز قره‌سو با استفاده از توابع مفصل"، تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۷، ش ۴، ۷۴۳.

۲۱- عزیزی، منتظری؛ حمیدرضا، مجید (۱۳۹۴). "پیش‌بینی دماهای ماهانه ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب استان اصفهان با استفاده از شبکه عصبی پرسپترون چندلایه"، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال سیام، ش ۳، ۲۴۷-۲۴۶.

۲۲- عساکره؛ حسین (۱۳۹۰). "مبانی اقلیم‌شناسی آماری"، زنجان: انتشارات دانشگاه زنجان، ۲۵۸-۲۵۶.

۲۳- عساکره، شاه‌منصوری؛ حسین، بهرام (۱۳۹۵). "بررسی و پیش‌بینی تغییرات دمای ایستگاه اراک براساس مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری"، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی،

- رگرسیون خطی و شبکه عصبی مصنوعی"، مجله جغرافیا و توسعه، ش ۶، ۳۶-۳۵.
- ۳۲- قاسمی فر، علیجانی، سلیقه؛ الهام، بهلول، محمد (۱۳۹۶). "بررسی تغییرات دمایی سواحل جنوبی دریای خزر با استفاده از سه مدل SDSM، LARSWG و مدل شبکه عصبی مصنوعی"، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال نهم، ش ۴، ۳۸.
- ۳۳- کارآموز، رضانی، رضوی؛ محمد، فرید، سامان (۱۳۸۵). "پیش‌بینی بلند مدت بارش با استفاده از سیگنال‌های هواشناسی: کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی"، هفتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- ۳۴- کوهستانی، اسلامیان، بسالت‌پور؛ شاپور، سعید، علی‌اصغر (۱۳۹۶). "تأثیر تغییر اقلیم بر درجه حرارت حوضه آبریز زاینده‌رود با استفاده از محاسبات نرم یادگیری ماشینی بیزین"، نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، سال بیست‌ویکم، ش ۱، ۲۰۳.
- ۳۵- کیان‌فر، علیرضا (۱۳۹۵). "شبکه عصبی مصنوعی"، کنفرانس بین‌المللی پژوهش در مهندسی برق و کامپیوتر، سنگاپور، ۱۴۵.
- ۳۶- محمدرضا، حقی‌زاده، زینی‌وند، طهماسبی‌پور؛ محمد، علی، حسین، ناصر (۱۳۹۳). "ارزیابی آثار تغییر اقلیم بر روند تغییرات رواناب حوضه آبخیز باراندوزچای در استان آذربایجان غربی با استفاده از مدل‌های چرخش عمومی جو"، فصلنامه اکوهیدرولوژی، دوره ۱، ش ۱، ۲۷.
- ۳۷- محمدی؛ بختیار (۱۳۹۳). "مکانیابی پیچانه‌های تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال مؤثر بر اقلیم ایران در نیمه سرد سال"، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۹، ش ۴، ۱۱۴.
- ۳۸- محمدی، رنجبر، مقبل؛ حسین، فیروز، معصومه (۱۳۹۵). "اثرات گرمایش جهانی بر دمای کمینه ایران"، جغرافیا، فصلنامه علمی - پژوهشی و بین‌المللی انجمن جغرافیای ایران، سال چهاردهم، ش ۵۱، ۳۶۳-۳۶۲.
- ۳۹- مسعودیان، کاویانی؛ ابوالفضل، محمدرضا (۱۳۸۶). "اقلیم‌شناسی ایران"، انتشارات دانشگاه اصفهان، اصفهان، ۶۵.
- ۴۰- مسعودیان؛ ابوالفضل (۱۳۹۱). "آب و هوای ایران"، مشهد: انتشارات شریعه توس، ۲۲۹.
- ۴۱- منصوری، امین‌نژاد، احمدی؛ افشین، بابک، حسن (۱۳۹۶). "بررسی اثر تغییر اقلیم بر رواناب ورودی به مخزن سد کارون ۴ براساس IPCC گزارشات چهارم و پنجم"، نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، سال بیست و دوم، ش ۲، ۳۵۰-۳۴۹.
- ۴۲- مهدوی میمند، احدیان؛ امین، جواد (۱۳۹۴). "مقایسه روش‌های آماری، تجربی، شبکه عصبی و ترکیبی فازی عصبی در برآورد هوای مورد نیاز هواده سرریز"، مجله علوم و مهندسی آبیاری، جلد ۳۸، ش ۳، ۶۰.
- 43- Afzali; Afzali; Zahedi; Mahboubeh; Afsaneh; Gholamreza (2011). "Ambient Air Temperature Forecasting Using Artificial Neural Network Approach". International Conference on Environmental and Computer Science IPCBEE, Singapore, Vol.19, 176.
- 44- Dreyfus; Gerard (2005). "Neural Networks Methodology and Applications". Springer.
- 45- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007). "Summary for policy makers climate change: The physical science basis". Contribution of working group I to the Fourth assessment report. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 85.
- 46- Khosravi; Azareh; Eskandari Dameneh; Rafiei Sardoii; Eskandari Dameneh; Hassan; Ali; Hadi; Elham; Hamed (2017). "Assessing the effects of the climate change on land cover changes in different time periods". Arab J Geosci, Vol. 10, No. 93, 8.
- 47- Laddimath; Patil; Rajashekhar S.; Nagraj S. (2019). "Artificial Neural Network Technique for Statistical Downscaling of Global Climate Model". MAPAN-Journal of Metrology Society of India, Springer, No. 34, 1.
- 48- Luhunga; Kijazi; Chang'a; Kondowe; Ng'ongolo; Mtongori; PM; AL; L; A; H; H (2018). "Climate Change Projections for Tanzania Based on High-Resolution Regional Climate Models From the Coordinated Regional

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سیر)

شبیه‌سازی دمای بیشینه ایستگاه سینوپتیک قزوین با ... / ۴۱

Azareh; Gh. R; A; A; N; A (2016). "Evaluation and comparison of performance of SDSM and CLIMGEN models in simulation of climatic variables in Qazvin plain". Desert, Vol. 21, No. 2, 154.

Climate Downscaling Experiment". (CORDEX)-Africa. Front. Environ. Sci. Vol. 6, No. 122, 1.

49- Mirgol; Nazari; Behnam; Meisam (2018). "Possible Scenarios of Winter Wheat Yield Reduction of Dryland Qazvin Province, Iran, Based on Prediction of Temperature and Precipitation Till the End of the Century". Climate, Vol. 6, No. 78, 12.

50- Montenegro-Murillo; Pérez-Ortiz; Vargas-Franco; Daniel David; Mayra Alejandra; Viviana (2019). "Using Artificial Neural Networks to predict monthly precipitation for the Cali river basin, Colombia". DYNA, Vol. 86, No. 211, 122.

51- Norgaard; Ravn; Poulsen; M.O; N; L (2000). "Hansen, Neural Networks for Modelling and Control of Dynamic Systems". Springer.

52- Riahi; Rao; Krey; Cho; Chirkov; Fischer; Kindermann; Nakicenovic; Rafaj; Keywan; Shilpa; Volker; Cheolhung; Vadim; Guenther; Georg; Nebojsa; Peter (2011). "RCP 8.5- A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions". Climatic Change, Vol. 109, No. 2, 34.

53- Soares dos Santos; Mendes; Rodrigues Torres; T; D; R (2016). "Artificial neural networks and multiple linear regression model using principal components to estimate rainfall over South America". Nonlin. Processes Geophys, Vol. 23, 13.

54- Thanh Thuy; Kawagoe ; Sarukkalige; L. T; Seiki; Ranjan (2019). "Estimation of probable maximum precipitation at three provinces in northeast Vietnam using historical data and future climate change scenarios". Hydrology: Regional Studies, Vol. 23, 1.

55- Xin; Zhang; Zhang; WU; Fang; Xiaoge; Li; Jie; Tongwen; Yongjie (2013). "Climate change projections over East Asia with BCC_CSM1.1 Climate Model under RCP Scenarios". Meteorological Society of Japan, Vol. 91, No. 4, 413.

56- Yaduvanshi; Zaroug; Bendapudi; New; Aradhana; Modathir; Ramkumar; Mark (2019). "Impacts of 1.5°C and 2°C global warming on regional rainfall and temperature change across India". Environ. Res. Commun, Vol. 1, No. 12, 1.

57- Zehtabian; Salajegheh; Malekian; Boroomand;

