

مطالعه روند تغییرات فرین‌های دمای شهرهای منتخب با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی

بهروز سبحانی^۱، لیلا جعفرزاده علی‌آباد^۲، * وحید صفریان زنگیر^۳

۱. استاد، گروه جغرافیای طبیعی، اقلیم‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۲. دانشجوی دکتری، گروه جغرافیای طبیعی، اقلیم‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۳. دکتری، گروه جغرافیای طبیعی، اقلیم‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۱۰

Study of the Change Trend in Selected Cities Temperature Extremes Using Artificial Neural Network Model

Behrouz Sobhani¹, Leila Jafarzadealiabad², *Vahid Safarian Zengir³

1. Professor, Department of Physical Geography, Climatology, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran.
2. Ph.D. Candidate, Department of Physical Geography, Climatology, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran.
3. Ph.D. Department of Physical Geography, Climatology, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran.

Received: 2019/11/1

Accepted: 2020/04/11

مقاله علمی

Abstract

The aim of the current research is to study and predict hazardous extreme temperatures in some cities of central Iran, for this purpose the minimum and maximum temperature data of 15 meteorological stations (cities: Esfahan, Shahreza, Natanz, Nain, Ardestan, Semnan, Shahroud, Garmsar, Damghan, Yazd, Bafaq, Gariz, Meibod, Qom and Salafchagan) were collected for the time period (1999 - 2019) and analyzed using the innovative method of hybrid artificial neural network and ANFIS adaptive neural network model. Finally, Topsis and Saw multi-variable decision-making models were used to prioritize more exposed areas of temperature increase. The results of this study showed that according to ANFIS modelling for predicting station temperatures, the lowest mean educational error and the average error of validation for the minimum temperature, with a value of 0.010 was for the station Yazd and 1.66% for Damghan station. The lowest mean educational error and the mean error of validation for the maximum temperature curve were obtained at 0.016 for Garmsar station and 9.39% for Shahroud station, respectively. The maximum temperature fringe based on the Topsis model of two stations of Garmsar and Bafgh with a percentage of 1 and 0.96, will be in higher priority with increasing temperature. Based on the Saw model, Garmsar and Salafchagan stations with the highest percentages i.e., 1 and 0.98, respectively, were exposed to higher temperatures.

Keywords

Temperature Extreme, Artificial Neural Network, ANFIS Model, Changes Trend, Center of Iran.

چکیده

هدف از تحقیق حاضر مطالعه و پیش‌بینی دماهای حدی مخاطره‌آمیز، در بعضی از شهرهای مرکزی ایران می‌باشد که برای این کار از داده‌های حداقل و حداکثر دما پانزده ایستگاه هواشناسی (شهرهای: اصفهان، شهرضا، نطنز، نائین، اردستان، سمنان، شاهرود، گرمسار، دامغان، یزد، بافق، گاریز، میبد، قم و سلفچگان) در منطقه مورد مطالعه برای بازه زمانی (۱۹۹۹ - ۲۰۱۹) با استفاده از روش نوآورانه مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی هیبرید و شبکه عصبی تطبیقی ANFIS انجام شد و در نهایت برای اولویت‌سنجی مناطق بیش‌تر در معرض افزایش دما، از مدل‌های تصمیم‌گیری چند متغیره نوین تاپسیس و ساو استفاده شد. نتایج پژوهش نشان داد که با توجه به مدل‌سازی صورت گرفته براساس مدل شبکه عصبی تطبیقی ANFIS برای پیش‌بینی فرین‌های دمای ایستگاه‌ها، کم‌ترین میانگین خطای آموزشی و میانگین خطای اعتبارسنجی برای حداقل دما به ترتیب با مقدار ۰/۰۱ برای ایستگاه یزد و ۱/۶۶ درصد برای ایستگاه دامغان به دست آمد. و کم‌ترین میانگین خطای آموزشی و میانگین خطای اعتبارسنجی برای حداکثر فرین دمای به ترتیب با مقدار ۰/۰۱۶ برای ایستگاه گرمسار و ۹/۳۹ درصد برای ایستگاه شاهرود به دست آمد. حداکثر فرین دمای براساس مدل تاپسیس دو ایستگاه گرمسار و بافق به ترتیب با درصد ۱ و ۰/۹۶، در اولویت بیش‌تر در افزایش دما قرار خواهند داشت و براساس مدل ساو دو ایستگاه گرمسار و سلفچگان به ترتیب با درصد ۱ و ۰/۹۸، بیش‌ترین احتمال را در معرض افزایش دما را به خود اختصاص دادند.

واژگان کلیدی

فرین دما، شبکه عصبی مصنوعی، مدل انفیسی، روند تغییرات، مرکز ایران.

مقدمه

اثرات دمای در بخش‌های مختلف زندگی بشر نسبت به سایر عناصر اقلیمی بیش‌تر می‌باشد، یکی از این بخش‌های که دما در آن اثر می‌گذارد بخش شهری محل سکونت انسان‌ها است. در بافت‌های شهری علاوه بر عوامل انسانی مانند وجود کارخانه‌ها و وجود سطح‌های که امواج نور خورشید را انعکاس می‌دهد شدت طبیعی دما خود دارای اهمیت زیادی می‌باشد. از آن‌جای که دما از عناصر اساسی شکل‌گیری اقلیم می‌باشد، تغییرات آن می‌تواند ساختار آب و هوایی هر محل را دگرگون کند (اسدی و مسعودیان، ۱۳۹۳: ۶۰). آشکارسازی شدت، فراوانی و زمان رخدادهای فرین آب و هوایی می‌تواند به حل مسائل زیست‌محیطی کمک کند (علیچانی و فرج‌زاده، ۱۳۹۴: ۲۲۹). در سال‌های اخیر بررسی فرین‌های اقلیمی به دلیل پیامدهای سنگین این پدیده‌ها در بخش‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی و کشاورزی هر کشوری دارای اهمیت می‌باشد (عرفانیان و همکاران، ۱۳۹۶: ۳۷). دما اثرات انکارناپذیری بر فعالیت‌های انسانی و فرایندهای طبیعی همچون چرخه آب بر جای می‌گذارد (کرم‌پور و یاراحمدی، ۱۳۹۴: ۶۸). تغییرات دما به عنوان یکی از پایه‌ای‌ترین عناصر آب و هوایی هر ناحیه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و دما جزء عناصر اساسی شکل‌گیری اقلیم می‌باشد (سیحانی و گلدوست، ۱۳۹۵: ۲۸). با توجه مطالعات صورت گرفته مذکور در اهمیت فرین‌های دمای و تجربیات به دست آمده در مورد روش مورد مطالعه می‌توان اذعان کرد که عنصر اقلیمی دما اهمیت بسزای در بخش‌های مختلف کشاورزی، اقتصادی و اجتماعی دارد هدف از پژوهش حاضر بررسی، تجزیه و تحلیل و پیش‌بینی دماهای حدی با استفاده از روش نوآورانه مدل‌های شبکه عصبی - مصنوعی هیبرید و شبکه عصبی تطبیقی ANFIS در بعضی از شهرهای ایران مرکزی می‌باشد، که آیا در منطقه مورد مطالعه تغییر در فرین دمای صورت گرفته است.

مبانی نظری

چارچوب نظری

گرمایش جهانی باعث احتمال بیش‌تر در فراوانی و شدت رویدادهای حدی اقلیمی می‌شود که این تغییرات پیامدهای اساسی اجتماعی و زیست‌محیطی را به دنبال خواهد داشت. برای مثال، رخداد بیش‌تر روزهای داغ و امواج گرمایی سبب افزایش مرگ و میر، افزایش برخی از بیماری‌ها در افراد سالمند، به‌ویژه در مناطق فقیرنشین، افزایش تنش‌های گرمایی انسان و حیوان، جابه‌جایی مناطق مستعد اقلیمی گردشگری و غیره می‌شود. رخداد بیش‌تر شب‌های گرم، سبب کاهش مرگ و میر و بیماری‌های ناشی از سرما، کاهش خطر صدمه و آسیب به برخی از محصولات کشاورزی و افزایش این خطر برای دیگر محصولات می‌شود. تاثیرات اجتماعی و محیط‌زیستی این رویدادهای حدی در مقیاس محلی زیاد بوده، می‌تواند بخش‌ها و مناطق خاصی را شدیداً تحت تاثیر قرار دهد (رحیم‌زاده و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۲۰).

با توجه به ماهیت عناصر آب و هوایی که در قالب مقیاس‌های مختلف زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند، تغییرات زمانی عناصر اقلیمی از جمله دما از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد، که یکی از مولفه‌های مهم مورد مطالعه، تغییرات گرایش‌دار یا روند می‌باشد (صادقی و همکاران، ۱۳۹۲: ۳۳). وضعیت اقلیمی از این توانایی برخوردارند که می‌توانند به طور غیرمستقیم بر امنیت ملی کشورهای مختلف جهان تاثیر گذاشته و آن را با تهدیداتی که ایجاد می‌کند به چالش بکشاند. مقابله با این چالش‌ها در مرحله اول نیازمند شناخت این تغییرات بر جغرافیای طبیعی و انسانی این کشورها و به تبع آن تسری و تاثیرگذاری این آثار بر جغرافیای امنیتی و سیاسی آن‌ها و در مرحله بعد ارائه الگوهای این تاثیرگذاری‌ها و در نهایت ارائه راهبردهای مناسب برای مدیریت و مقابله با این آثار در قالب سیاست‌گذاری امنیت ملی می‌باشد. در این راستا تغییر اقلیم به عنوان یکی از تهدیدهای مهم و به تعبیر عده‌ای از پژوهش‌گران به عنوان مهم‌ترین تهدید در قرن بیست و یک محسوب می‌شود (دالایی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۳۷).

دما اثرات انکارناپذیری بر فعالیت‌های انسانی و فرایندهای طبیعی هم‌چون چرخه آب برجای می‌گذارد؛ برای مثال برنامه‌ریزی‌های کشاورزی در ارتباط با مساله کاشت، داشت و برداشت، آفات و بیماری و بسیاری از مسائل دیگر بدون شناخت تاثیر و کنترل دما و دیگر عناصر جوی به نتایج مطلوب نخواهد رسید (کرم‌پور و یاراحمدی، ۱۳۹۴: ۶۸). با توجه مطالعه مطالب فوق و اهمیت فرین‌های دمای در زندگی انسان‌ها، پرداختن به این موضوع ضروری و مهم می‌باشد یکی از این نقاط در کشور ایران، بخش مرکزی ایران به دلیل روند افزایشی دما که در سال‌های اخیر داشته در این پژوهش به آن اقدام شد.

پیشینه پژوهش

ورود در ادبیات موضوع پژوهش و کنکانش در پیشینه تحقیق، کاشف از دامنه‌ای از تحقیقات متنوعی است که زمینه بررسی و تجزیه و تحلیل روند تغییرات فرین‌های دمای (حداکثر و حداقل دما) و برآوردهای مرتبط با آن، به انجام رسیده است. تنوع این مباحث گویای اقبال قابل توجه به این موضوع در محافل آکادمیک و اجرایی است. تحقیقات متعددی در پیش زمینه پژوهشی این تحقیق مورد مراجعه قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

اسدی و مسعودیان (۱۳۹۳) به بررسی پراکنش زمانی - مکانی دماهای فرین گرم در ایران اقدام نمودند و به یافته رسیدند که بیش‌ترین درصد گسترش روند مثبت از نظر روزهای همراه با گرماهای فرین به ترتیب مربوط به ماه‌های شهریور، دی و اردیبهشت می‌باشد. علیجانی و فرج‌زاده (۱۳۹۴) به بررسی تحلیل روند شاخص‌های دمای فرین در شمال ایران اقدام نمودند و به این نتیجه رسیدند که روند شاخص‌های دمای فرین در اکثر ایستگاه‌های منتخب حاکی از کاهش فراوانی شاخص‌های سرد فرین و افزایش فراوانی شاخص‌های گرم فرین می‌باشد.

عرفانیان و همکاران (۱۳۹۶) به برآورد روابط فراوانی، تداوم و دوره بازگشت نمایه‌های فرین (حدی) اقلیمی در نقاط مختلف استان خراسان رضوی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که فرین‌های دما و بارش در سال‌های اخیر تغییر کرده و این تغییر از نوع نوسانات کوتاه مدت آب و هوایی و روند می‌باشد.

عزیزی و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی و شناسایی الگوهای هم‌مدیدی موثر در شکل‌گیری ناهنجاری‌های دمای ایران و اروپا اقدام کردند نتایج تحقیق حاکی از این بود که در ایران، سال ۲۰۱۰ گرم‌ترین و سال ۱۹۷۲ سردترین سال بود.

خورشیددوست و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی و ارزیابی هم‌گنی سری‌های زمانی دمای بیشینه و کمینه سالانه و فصلی در ناحیه خزر پرداختند و نتایج به‌دست آمده حاکی از آن بود که سری‌های زمانی دمای حداقل، ناهمگنی بیش‌تری را نسبت به سری‌های زمانی دمای حداکثر داشت.

معروف‌نژاد و قاسمی (۱۳۹۶) به بررسی روند تغییرات دما با استفاده از روش من - کندال در چهار شهرستان استان چهار محال و بختیاری پرداخته‌اند و نتایج تحقیق نشان داد که ماه اسفند با ۱۰٪ روند، بیش‌ترین تغییر و ماه آذر با ۸۵٪ بدون روند کم‌ترین تغییر را نشان می‌دهد. قویدل‌رحیمی و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی نقش ناهنجاری‌های دمای کره‌ی زمین در تغییرپذیری دماهای حداقل ایران پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیدند که بررسی دوره‌ای (سرد و گرم)، دمای حداقل بیان‌گر تأثیر بیش‌تر ناهنجاری‌های دمای کره زمین بر روی دمای حداقل دوره گرم سال است.

سبحانی و صفریان‌زنگیر (۱۳۹۷) به بررسی و پیش‌بینی اثرات مخاطره‌ای دمای فرین ماهانه بر روی محصولات باغی و کشاورزی در نوار شمالی ایران اقدام نمودند با توجه به مدل‌سازی انجام شده به این نتیجه رسیدند که خطایابی فرین دمای حداکثر کم‌ترین خطایابی را نسبت به حداقل دما نشان داد.

دانشمند و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی و مدل‌سازی حداقل دمای با استفاده از سیستم استنتاج فازی تصحیح شده بر اساس تجزیه و تحلیل طیفی شاخص‌های آب و هوایی در ایران پرداختند و به این یافته رسیدند که نتایج شبیه‌سازی، یک ضریب همبستگی ۰/۹۸۷ بین مقادیر مشاهده شده و مقادیر پیش‌بینی شده و هم‌چنین انحرافات درصد مطلق آمان ۲۷/۶٪ نشان‌گر برآورد قابل قبول مدل است.

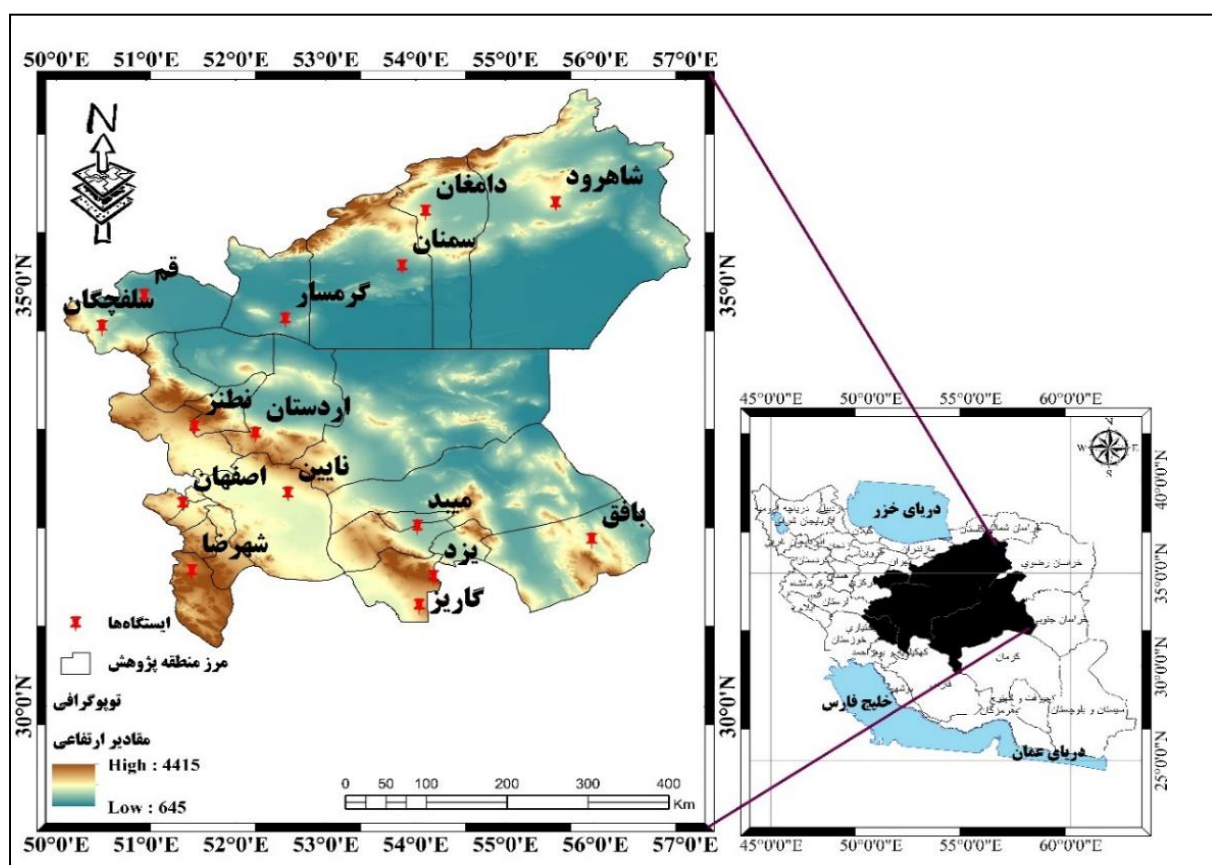
سینگ^۱ و همکاران (۲۰۱۵) به تجزیه و تحلیل روند در حداکثر و حداقل دمای مورد نظر و پیش‌بینی شده در حوضه هیمالیا پرداختند و نتایج تحقیق نشان داد که روند فصلی متغیرهای زیادی در روند TMax و TMin بیش از این ایستگاه برای دوره‌های آینده است. تیا^۲ و همکاران (۲۰۱۷) به تحقیق عملکرد گندم در طول سه دهه گذشته از افزایش دمای حداقل در دشت چین اقدام کردند و نتایج به‌دست آمده از تحقیق نشان داد که در مراحل مختلف گندم زمستانه و هم‌چنین اهمیت مدیریت (مثلاً تغییر تاریخ کاشت) و ارقام در سازگاری با تغییرات اقلیمی در منطقه تولید عمده گندم تأثیر می‌گذارد.

پندی^۳ و همکاران (۲۰۱۷) به تحلیل و شناسایی مهم‌ترین هفته‌ها در مورد حداقل دما برای محصول گندم پرداختند و نتایج تحقیق نشان داد که هفته اول دوره محصول به عنوان مهم‌ترین هفته به شمار می‌آید. دیمری^۴ و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی تغییرات آینده در هیمالیا در حداقل حداکثر دما اقدام کردند که نتایج به‌دست آمده روند کلی محدوده دمای روزانه (DTR)، روند رو به رشد را در کل منطقه نشان داد.

پژوهشگران دیگری هم در زمینه فرین‌های دمای تحقیق کردند از جمله: علیجانی و همکاران (۱۳۹۰)، خوش اخلاق و همکاران (۱۳۹۰)، پدرام و همکاران (۱۳۹۰)، محمدی و همکاران (۱۳۹۲)، سیحانی و همکاران (۱۳۹۳)، احمدی و همکاران (۱۳۹۴)، دیوید^۵ (۱۹۹۷)، وینسنت^۶ و همکاران (۲۰۰۰)، ترکی^۷ و همکاران (۲۰۰۲)، گریزر^۸ و همکاران (۲۰۰۲)، شایفینجر^۹ و همکاران (۲۰۰۳)، گادگیل و دهورد^{۱۰} (۲۰۰۴)، هانسن^{۱۱} و همکاران (۲۰۰۶)، تناره^{۱۲} و همکاران (۲۰۱۲)، بوزیورت و ازدرم^{۱۳} (۲۰۱۴)، راول^{۱۴} و همکاران (۲۰۱۴)، هوانگ^{۱۵} و همکاران (۲۰۱۵). با در نظر گرفتن بررسی مطالعات صورت گرفته در زمینه پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه فرین‌های دمای اکثر با استفاده از روش‌های تک شاخصی یا تک مدلی بودند در صورتی که پژوهش حاضر با استفاده از دو شاخص تصمیم‌گیری چند متغیره و دو مدل شبکه عصبی - مصنوعی ANFIS و هیبرید انجام شد که این برتری تحقیق حاضر نسبت به سایر تحقیق انجام شده می‌باشد.

روش انجام پژوهش

این پژوهش در بخش مرکزی ایران در پانزده ایستگاه هواشناسی منتخب بین چهار استان (اصفهان، یزد، قم و سمنان) با داده‌های اقلیمی حداکثر و حداقل دما انجام شد، در (شکل ۱) و (جدول ۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه و مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه در بخش مرکزی ایران ارائه شد.



4. Dimri
5. David
6. Vincent
7. Turkish
8. Grieser
9. Scheifinger
10. Gadgil and Dhorde
11. Hansen
12. Tanarhte
13. Bozyurt and Ozdemir
14. Rao
15. Huang

جدول ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه، در بخش مرکزی ایران

ردیف	نام ایستگاه‌ها	طول جغرافیایی (شرقی)	عرض جغرافیایی (شمالی)	طول دوره آماری
۱	اصفهان	۵۱° ۴۱'	۳۲° ۳۹'	۱۹۹۹-۲۰۱۹
۲	شهرضا	۵۱° ۵۱'	۳۱° ۵۹'	۱۹۹۹-۲۰۱۹
۳	نطنز	۵۱° ۵۴'	۳۳° ۳۰'	۱۹۹۹-۲۰۱۹
۴	نائین	۵۳° ۰۵'	۳۲° ۵۱'	۱۹۹۹-۲۰۱۹
۵	اردستان	۵۳° ۲۲'	۳۳° ۲۲'	۱۹۹۹-۲۰۱۹
۶	سمنان	۵۴° ۲۹'	۳۵° ۵۰'	۱۹۹۹-۲۰۱۹
۷	شاهروود	۵۵° ۰۰'	۳۶° ۲۳'	۱۹۹۹-۲۰۱۹
۸	گرمسار	۵۳° ۲۳'	۳۴° ۵۸'	۱۹۹۹-۲۰۱۹
۹	دامغان	۵۴° ۲۰'	۳۶° ۰۹'	۱۹۹۹-۲۰۱۹
۱۰	یزد	۵۴° ۲۰'	۳۱° ۵۳'	۱۹۹۹-۲۰۱۹
۱۱	بافق	۵۵° ۲۴'	۳۱° ۳۶'	۱۹۹۹-۲۰۱۹
۱۲	گاریز	۵۴° ۰۴'	۳۱° ۱۸'	۱۹۹۹-۲۰۱۹
۱۳	میبد	۵۴° ۰۲'	۳۲° ۱۲'	۱۹۹۹-۲۰۱۹
۱۴	قم	۵۰° ۵۱'	۳۴° ۴۱'	۱۹۹۹-۲۰۱۹
۱۵	سلفچگان	۵۰° ۲۶'	۳۴° ۲۸'	۱۹۹۹-۲۰۱۹

در این پژوهش برای تحلیل و پیش‌بینی فرین‌های دمای در بعضی از شهرهای بخش مرکزی ایران با استفاده از داده‌های ۲۱ ساله حداکثر و حداقل دما بین سال‌های (۲۰۱۹ - ۱۹۹۹) استفاده شد برای محقق شدن این هدف از روش‌های شبکه عصبی هیبرید-پانل دیتا و شبکه عصبی تطبیقی ANFIS برای خطایابی و پیش‌بینی بهره گرفته شد و سپس برای مشخص کردن نواحی در معرض بیش‌تر افزایش دمای در سال‌های آتی از مدل‌های نوین تصمیم‌گیری چند متغیره TOPSIS و SAW به کار گرفته شد. در این مطالعه با توجه به چارچوب داده‌های پانل، از مدل جزء خطای دو طرفه استفاده شد رابطه (۱).

رابطه (۱): فرمول لگاریتم ارزش $\text{LnPit} = \mu_i + \lambda t + \beta_i \text{LnERit} + \text{vit}$

که LnP_{it} لگاریتم ارزش هر واحد مقدار فرین‌های دمای (پانزده ایستگاه مورد مطالعه) می‌باشد. در مدل رگرسیونی (۱)، اثرات غیر قابل مشاهده به دو دسته اثرات مقدار فراوانی فرین‌های دمای و اثرات زمانی تقسیم می‌شوند (گجراتی^{۱۶}، ۲۰۰۳: ۱۴۲۹؛ الکساندر^{۱۷}، ۲۰۰۶: ۳۶۵). در ابتدا پیش‌بینی بر اساس مدل جز خطای یک طرفه شرح داده می‌شود. برای پیش‌بینی S دوره بعد برای It امین مقطع، بهترین پیش‌بینی کننده خطی بدون تورش برای T+S، y_i ، به صورت رابطه ۲ است، (بالتاجی^{۱۸}، ۲۰۰۵: ۱۷).

رابطه (۲): فرمول ابعاد بردار $\hat{y}_{i,T+S} = Z'_{i,T+S} \delta_{GLS} + w' \Omega^{-1} \hat{u}_{GLS}$ برای $s \geq 1$

که Y بردار با ابعاد بردار با ابعاد $X, Z = [i_{NT}, X], NT \times 1$ بردار با ابعاد $i_{NT}, NT \times K$ بردار با ابعاد یک با بعد $\Omega, \delta = (\alpha, \beta), NT$ ماتریس واریانس-کواریانس، $\hat{u}_{GLS} = y - Z\delta_{GLS}$ و $w = E(u_{i,T+S}u)$ است. برای دوره T+S با فرمول ۳ خواهیم داشت:

رابطه (۳): فرمول واریانس $u_{i,T+S} = \mu + v_{i,T+S}$

و $w = \sigma_u^2 (I_i \otimes I_T)$ است که Li ستون it ام از ماتریس یک و In می‌باشد. برای مثال، Ii با برداری است که دارای عدد یک برای it امین مشاهده و دارای عدد صفر برای سایر مشاهدات است. در این حالت رابطه (۴) را خواهیم داشت:

$$w' \Omega^{-1} = \sigma_{\mu}^2 (l'_i \otimes i'_T) \left[\frac{1}{\sigma_1^2} P + \frac{1}{\sigma_v^2} Q \right] = \frac{\sigma_{\mu}^2}{\sigma_1^2} (l'_i \otimes i'_T) \quad \text{رابطه (۴): فرمول کواریانس}$$

زیرا $(l'_i \otimes i'_T)Q = 0$ ، $l'_i \otimes i'_T P = (l'_i \otimes i'_T)$ می‌باشد با استفاده از رابطه (۴) جز $w' \Omega^{-1} \hat{u}_{GLS}$ تبدیل به $\hat{u}_{i, GLS} = \sum_{t=1}^T \hat{u}_{it, GLS} / T$ می‌شود که $(T \sigma_{\mu}^2 / \sigma_1^2) \hat{u}_{i, GLS}$ خطی برای $y_{i, T+S}$ توسط نسبتی از میانگین باقی مانده‌ها موجب تصحیح پیش‌بینی می‌شود. در مدل جزء خطای دو طرفه برای هر دوره‌ی $T+S$ خواهیم داشت رابطه (۵ و ۶).

$$u_{i, T+S} = \mu_i + \lambda_{T+S} + v_{i, T+S} \quad \text{رابطه (۵): فرمول تعیین تخمین}$$

$$\begin{aligned} i = j \text{ برای } E(u_{i, T+S} u_{jt}) &= \sigma_{\mu}^2 \\ i \neq j \text{ برای } E(u_{i, T+S} u_{jt}) &= 0 \end{aligned} \quad \text{رابطه (۶): فرمول خطای دو طرفه}$$

بنابراین، برای بهترین تخمین زنده بدون تورش خطی ارائه شده در رابطه (۲)، $w = E(u_{i, T+S} u) = \sigma_{\mu}^2 (l_i i_T)$ ثابت باقی می‌ماند و $\hat{u}_{i, T+S}$ ام از ماتریس $N \times N$ است. در این حالت رابطه ۷، خواهیم داشت (قویدل رحیمی و همکاران، ۱۳۹۶؛ مالچسفسکی، ۱۳۸۵):

رابطه (۷): فرمول تخمین زنده بدون تورش

$$w' \Omega^{-1} = \sigma_{\mu}^2 (l'_i \otimes i'_T) \left[\sum_{i=1}^4 \frac{1}{\lambda_i} Q_i \right]$$

با توجه به رابطه (۸)،

رابطه (۸): فرمول تخمین زنده بدون تورش خطی

$$(l'_i \otimes i'_T) Q_1 = 0 \quad (l'_i \otimes i'_T) Q_2 = (l'_i \otimes i'_T) - i'_{NT} / N$$

$$(l'_i \otimes i'_T) Q_3 = 0 \quad (l'_i \otimes i'_T) Q_4 = i'_{NT} / N$$

فرمول (۹) حاصل می‌شود:

$$w' \Omega^{-1} = \frac{\sigma_{\mu}^2}{\lambda_2} [(l'_i \otimes i'_T) - i'_{NT} / N] + \frac{\sigma_{\mu}^2}{\lambda_4} (i'_{NT} / N) \quad \text{رابطه (۹): فرمول تخمین زنده بدون تورش مرکب}$$

بنابراین، جزء معمول $w' \Omega^{-1} \hat{u}_{GLS}$ (که $\hat{u}_{GLS} = y - Z \delta_{GLS}$) به صورت رابطه ۱۰ می‌باشد (نظم‌فر و علی‌بخشی، ۱۳۹۳؛ ورشاپیان و همکاران، ۱۳۹۰).

$$\frac{T \sigma_{\mu}^2}{(T \sigma_{\mu}^2 + \sigma_v^2)} (\hat{u}_{i0, GLS} - \bar{u}_{00, GLS}) + \frac{T \sigma_{\mu}^2}{(T \sigma_{\mu}^2 + N \sigma_{\lambda}^2 + \sigma_v^2)} \bar{u}_{00, GLS} \quad \text{رابطه (۱۰): فرمول GLS}$$

که $\hat{u}_{i, GLS} = \sum_{t=1}^T \hat{u}_{it, GLS} / T$ و $\bar{u}_{i, GLS} = \sum_i \sum_t \hat{u}_{it, GLS} / NT$ است. بنابراین برای مدل جزء خطای دو طرفه بهترین برآوردکننده بدون تورش خطی برای $y_{i, T+S}$ با استفاده از بخشی از میانگین باقی مانده‌ها موجب تصحیح می‌شود (فرمول ۱۱).

$$\hat{y}_{i, T+S} = Z'_{i, T+S} \hat{\delta}_{GLS} + \left(\frac{T \sigma_{\mu}^2}{T \sigma_{\mu}^2 + \sigma_v^2} \right) \bar{u}_{i, GLS} \quad \text{رابطه (۱۱): فرمول میانگین باقی مانده‌ها}$$

شبکه عصبی مصنوعی یک مدل پردازش توزیع شده موازی است که از چندین تابع یا واحدهای پردازش اصلی تشکیل شده است توابع فعال‌ساز مورد استفاده در شبکه عصبی اغلب از نوع خطی، سیگموئید و هایپربولیک می‌باشند. تصریح مدل شبکه عصبی مصنوعی بر اساس مشاهدات صورت می‌پذیرد و با توجه به متناهی بودن تعداد نقاط، توابع بسیاری را می‌توان یافت که به خوبی برازش را انجام دهند. مقادیر y_i و y_i به ترتیب نشان‌دهنده مقادیر پیش‌بینی شده، مقادیر واقعی و تعداد داده‌ها می‌باشند (توحید و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۰۷). به منظور

مقایسه و ارزیابی روش‌های مختلف، پیش‌بینی از معیارهای نظیر میانگین مجذور خطا^{۱۹}، مربع مجذور میانگین خطا^{۲۰}، میانگین قدر مطلق خطا^{۲۱} و میانگین درصد قدر مطلق خطا^{۲۲} استفاده می‌شود (جدول ۲).

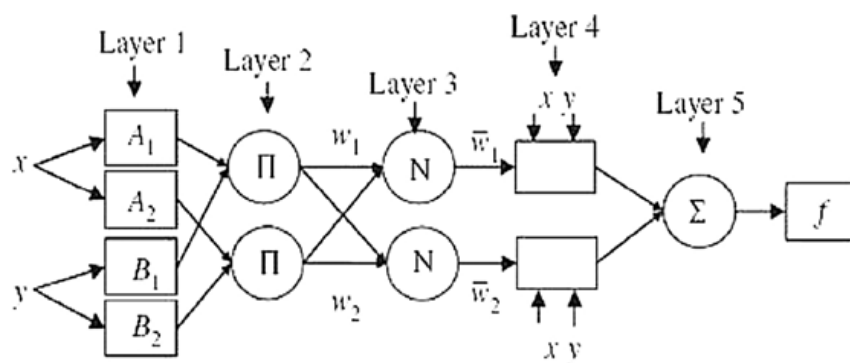
جدول ۲. معیارهای مقایسه و ارزیابی دقت در پیش‌بینی

معیار	رابطه‌ها
میانگین مربعات خطا	$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$
مجذور میانگین مربعات خطا	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$
میانگین قدر مطلق خطا	$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i - \hat{y}_i $
میانگین درصد قدر مطلق خطا	$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right \times 100$

مأخذ. توحیدی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۰۸

سیستم فازی یک سیستم مبتنی بر قواعد منطقی «شرط- نتیجه» است که با استفاده از مفهوم متغیرهای زبانی و روند تصمیم‌گیری فازی، فضای متغیرهای ورودی را بر فضای متغیرهای خروجی تصویر می‌کند. ترکیب سیستم‌های فازی که مبتنی بر قواعد منطقی بوده، و روش شبکه‌های عصبی مصنوعی که توان استخراج دانش از اطلاعات عددی را دارند، منجر به ارائه سیستم استنتاج تطبیقی عصبی شده است. یک سیستم فازی سوگنو با دو ورودی، یک خروجی و دو قانون و سیستم ANFIS معادل آن آمده است. این سیستم دارای دو ورودی x و y و یک خروجی f می‌باشد (شکل ۲).

اگر خروجی هر لایه به صورت O_i^1 باشد (i و i امین گره از لایه j)، ساختار ANFIS از پنج لایه تشکیل می‌شود (احمدزاده و همکاران، ۱۳۸۹: ۶۷۹). در پایان میزان خطای مدل‌های حاصل با هم مقایسه می‌شود و تابعی که کم‌ترین میزان خطا را در کم‌ترین زمان آموزش حاصل کند، به‌عنوان تابع عضویت برگزیده می‌شود. اصولاً وارد کردن داده‌ها به صورت خام باعث کاهش سرعت و دقت شبکه‌ها می‌شود. از این رو برای جلوگیری از اشباع زود هنگام نرون‌ها و یکسان‌سازی ارزش داده‌ها برای شبکه، بایستی ورودی خالص آن‌ها در محدوده تابع سیگموئید (بین ۰ و ۱) قرار گیرد. این کار مانع از کوچک شدن بیش از حد وزن‌ها شده و از اشباع زود هنگام نرون‌ها جلوگیری می‌کند (کنارکوهی، ۱۳۸۹: ۳۴).



شکل ۲. یک سیستم فازی سوگنو با تابع عضویت مثلثی و سیستم ANFIS معادل با آن، کیسی و اوزتورک^{۲۳}

19. Mean Squared Error (MSE)

20. Root Mean Square Error (RMSE)

21. Mean Absolute Error (MAE)

22. Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

23. Kisi & Ozturk

هوانگ و یون در سال ۱۹۸۱ روش TOPSIS را پیشنهاد کردند. در این روش m گزینه (A_1, A_2, \dots, A_m) با n شاخص (C_1, C_2, \dots, C_n) ارزیابی شدند (جعفریگلو و مبارکی، ۱۳۸۷: ۱۱۶؛ صفریان‌زنگیر و همکاران، ۱۳۹۸). حل این مساله با این روش، مستلزم طی گام‌های زیر است (مکوندی و همکاران، ۱۳۹۱؛ نظم‌فر و علی‌بخشی، ۱۳۹۳):

۱- بی‌مقیاس‌سازی ماتریس تصمیم با استفاده از بی‌مقیاس‌سازی نورم، رابطه ۱۲:

$$r_{ij} = \frac{f_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^J f_{ij}^2}} \quad j = 1, \dots, J \quad i = 1, \dots, n$$

۲- تشکیل ماتریس بی‌مقیاس موزون (V_{ij}) با ضرب ماتریس بی‌مقیاس شده (r_{ij}) در ماتریس قطری وزن‌ها (W_i) رابطه ۱۳:

$$v_{ij} = w_i \times r_{ij} \quad j = 1, \dots, J \quad i = 1, \dots, n$$

رابطه (۱۳): فرمول ماتریس بی‌مقیاس موزو

W_i وزن شاخص i ام است، جمع اوزان شاخص‌ها برابر ۱ است.

۳- تعیین راه‌حل ایده‌آل مثبت (A^*) و منفی (A^-) به صورت روابط ۱۴ و ۱۵.

رابطه (۱۴): فرمول راه‌حل ایده‌آل مثبت

$$A^* = \{v_1^*, \dots, v_n^*\} \\ = \left\{ \left(\max_j v_{ij} | i \in I' \right), \left(\min_j v_{ij} | i \in I'' \right) \right\}$$

رابطه (۱۵): فرمول راه‌حل ایده‌آل منفی

$$A^- = \{v_1^-, \dots, v_n^-\} \\ = \left\{ \left(\min_j v_{ij} | i \in I' \right), \left(\max_j v_{ij} | i \in I'' \right) \right\}$$

۴- میزان فاصله هر گزینه تا ایده‌آل‌های مثبت و منفی تعیین می‌شود.

فاصله هر گزینه تا ایده‌آل مثبت (D_j^*) به صورت رابطه ۱۶:

رابطه (۱۶): فرمول ایده‌آل مثبت (D_j^*)

$$D_j^* = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad , \quad j = 1, \dots, J$$

فاصله هر گزینه تا ایده‌آل منفی (D_j^-) به صورت رابطه ۱۷:

رابطه (۱۷): فرمول ایده‌آل منفی (D_j^-)

$$D_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad , \quad j = 1, \dots, J$$

۴- تعیین نزدیکی نسبی (C_i^*) یک گزینه به راه‌حل ایده‌آل رابطه ۱۸:

رابطه (۱۸): فرمول تعیین نزدیکی نسبی (C_i^*)

$$C_j^* = \frac{D_j^-}{D_j^* + D_j^-} \quad , \quad j = 1, \dots, J$$

۶- رتبه‌بندی گزینه‌ها براساس نزدیکی نسبی (C_i^*) ، گزینه‌ای که (C_i^-) آن بزرگ‌تر باشد، بهتر است.

برای محاسبه مدل ساو به ترتیب مراحل ذیل را اقدام شد:

۱- اگر در یک مساله تصمیم‌گیری چند معیاره n معیار و m گزینه وجود داشته باشد، به منظور انتخاب بهترین گزینه با استفاده از روش وزن دهی ساده می‌باشد.

۲- تشکیل ماتریس تصمیم: ماتریس تصمیم این روش شامل جدول است که ستون‌های آن را معیارها یا زیرمعیارها و سطرها آن را گزینه‌ها (ایستگاه‌ها) تشکیل می‌دهند.

۳- بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم: برای بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم در روش ساو به طریق زیر عمل می‌کنیم.

اگر معیار مثبت باشد: طبق معادله ۱۹، تک تک اعداد آن ستون را بر بزرگ‌ترین عدد تقسیم می‌کنیم و اگر معیار منفی باشد طبق معادله

۲۰، مینیمم آن ستون تقسیم بر تک تک اعداد می‌شود.

رابطه (۱۹): فرمول بی‌مقیاس کردن ماتریس مثبت

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_{jmax}}$$

$$r_{ij} = \frac{x_{jmin}}{x_{ij}}$$

رابطه (۲۰): فرمول بی مقیاس کردن ماتریس منفی

تشکیل ماتریس وزن دار: در این گام با توجه به وزن‌های محاسبه شده از روش‌های دیگر ماتریس وزن دار را براساس معادله ۲۱ به دست می‌آوریم.

$$W_i = \sum_{j=1}^n w_j \times r_{ij}$$

رابطه (۲۱): فرمول ماتریس وزن دار

۵- انتخاب گزینه برتر: با جمع سطری ماتریس وزن ها امتیاز هر گزینه محاسبه می‌شود. و بر اساس معادله ۲۲ رتبه‌بندی می‌شوند.

$$A^* = \left\{ A_i \mid \max \frac{\sum_{j=1}^n w_j r_{ij}}{\sum w_j} \right\}$$

رابطه (۲۲): فرمول جمع سطری ماتریس وزن ها

یافته‌ها

هدف از پژوهش حاضر بررسی و پیش‌بینی فرین‌های دمای در بعضی از شهرهای مرکزی ایران می‌باشد که برای این کار از مدل‌های جدید در اقلیم‌شناسی یعنی استفاده از مدل و شبکه عصبی - مصنوعی هیبرید و ANFIS و برای اولویت‌سنجی مناطق در معرض افزایش دما در سال‌ها آتی از دو مدل جدید و توسعه یافته تصمیم‌گیری چند متغیره TOPSIS و SAW استفاده شد.

اعتبار سنجی اولیه فرین‌های دمای برای پیش‌بینی سال‌های آتی

با در نظر گرفتن خطارسنجی و اعتبارسنجی صورت گرفته با اطمینان بیش تر می‌تواند فرین‌های دمای را پیش‌بینی کرد برای این کار از دو مدل مدل هیبرید شبکه عصبی مصنوعی و مدل ANFIS انجام شد که در بعضی ایستگاه‌ها روند افزایشی را نشان داد که در ایستگاه نائین شیب افزایش فرین حداکثر دما از سال ۲۰۲۶ با ۳۰/۹ درجه سانتی‌گراد شروع شده و در سال ۲۰۴۰ به ۵۶/۰۶ درجه سانتی‌گراد رسیده است و در فرین حداقل دما، نیز افزایش دما با مقدار ۰/۴۴- درجه سانتی‌گراد در سال ۲۰۲۸ را نشان داد در ایستگاه نطنز فرین دمای حداقل با مقدار ۰/۳۳- درجه سانتی‌گراد شکل صعودی دما را نشان داد، فرین حداکثر دمای در ایستگاه مذکور از سال ۲۰۳۰ با مقدار ۲۵/۴۷ درجه سانتی‌گراد افزایش دما شروع شد و در سال ۲۰۴۰ به ۵۷/۳۶ درجه سانتی‌گراد به خود اختصاص داد. در ایستگاه سمنان حداکثر فرین دمای افزایش شدیدی را برای سال‌های آتی نشان داد که از سال ۲۰۲۴ با مقدار ۲۳/۶۵ درجه سانتی‌گراد شروع شده و در سال ۲۰۴۰ با مقدار ۵۷/۳۶ درجه سانتی‌گراد به اوج خود رسیده است افزایش فرین حداقل دما در ایستگاه مذکور در بیش‌ترین حالت خود مقدار ۰/۹۶- درجه سانتی‌گراد را در سال ۲۰۲۵ به خود اختصاص داد. برای ایستگاه سلفچگان حداکثر فرین دمای افزایش خیلی شدید را به خود اختصاص داد که از سال ۲۰۲۵ با مقدار ۳۴/۰۱ درجه سانتی‌گراد شروع شده و در سال ۲۰۴۰ به مقدار ۷۸/۹۶ درجه سانتی‌گراد به اوج خود رسیده است و فرین حداقل دما در ایستگاه مذکور با شیب زیاد با مقدار ۰/۴ درجه سانتی‌گراد در سال ۲۰۲۱ را به خود اختصاص داد. در نهایت در ایستگاه گاریز حداکثر فرین دمای شکل صعودی خیلی شدیدی را به خود اختصاص داد که از سال ۲۰۲۳ با مقدار ۴۰/۰۸ درجه سانتی‌گراد شروع شد و در سال ۲۰۴۰ به مقدار ۴۴/۱۲ درجه سانتی‌گراد رسیده است.

با توجه مدل‌سازی صورت گرفته براساس مدل شبکه عصبی تطبیقی ANFIS برای پیش‌بینی فرین‌های دمای ایستگاه‌ها، کم‌ترین میانگین خطای آموزشی و میانگین خطای اعتبارسنجی برای حداقل دما به ترتیب با مقدار ۰/۱۰ برای ایستگاه یزد و ۱/۶۶ درصد برای ایستگاه دامغان به دست آمد و بیش‌ترین میانگین خطای آموزشی و میانگین خطای اعتبارسنجی به ترتیب با مقدار ۶/۷۱ برای ایستگاه شهرضا و ۰/۹۳ درصد برای ایستگاه شهرضا را شامل شد و کم‌ترین میانگین خطای آموزشی و میانگین خطای اعتبارسنجی برای حداکثر فرین دمای به ترتیب با مقدار ۰/۱۶ برای ایستگاه گرمسار و ۹/۳۹ درصد برای ایستگاه شاهرود به دست آمد و بیش‌ترین میانگین خطای آموزشی و میانگین خطای اعتبارسنجی به ترتیب با مقدار ۰/۷۷ برای ایستگاه میبد و ۲۹/۲۶ درصد برای ایستگاه دامغان را شامل شد خطاهای آموزشی و اعتبار سنجی سایر ایستگاه‌ها در (جدول ۳) ارائه شد.

جدول ۳. میانگین خطای آموزش و میانگین خطای اعتبارسنجی براساس مدل ANFIS به درصد ایستگاه‌ها، در منطقه مورد مطالعه

نام ایستگاه‌ها	خطاهای فرین دمای حداقل		خطاهای فرین دمای حداکثر	
	میانگین خطای اعتبارسنجی، داده واری	میانگین خطای آموزشی	میانگین خطای اعتبارسنجی، داده واری	میانگین خطای آموزشی
اصفهان	۳/۹۰	۰/۰۷۴	۱۳/۵۴	۰/۰۳۳
شهرضا	۶/۷۱	۰/۰۹۳	۹/۶۱	۰/۰۲۲
نطنز	۳/۳۷	۰/۰۴۴	۱۲/۴۱	۰/۰۳۶
نائین	۲/۶۷	۰/۰۴۶	۱۶/۳۵	۰/۰۷۲
اردستان	۲/۰۵	۰/۰۱۹	۱۶/۵۵	۰/۰۶۲
سمنان	۳/۰۸	۰/۰۲۳	۱۴/۵۱	۰/۰۱۷
شاهرود	۲/۱۴	۰/۰۲۸	۹/۳۹	۰/۰۷۱
گرمسار	۱/۷۸	۰/۰۱۲	۱۱/۵۵	۰/۰۱۶
دامغان	۱/۶۶	۰/۰۲۶	۲۹/۲۶	۰/۰۲۰
یزد	۲/۱۴	۰/۰۱۰	۱۹/۱۶	۰/۰۴۶
بافق	۴/۱۳	۰/۰۱۵	۲۰/۹۷	۰/۰۱۴
گاریز	۵/۴۱	۰/۰۷۱	۱۶/۰۹	۰/۰۳۹
میبد	۴/۵۷	۰/۰۵۲	۱۹/۰۶	۰/۰۷۷
قم	۳/۴۱	۰/۰۳۷	۱۲/۲۶	۰/۰۲۱
سلفچگان	۳/۱۸	۰/۰۱۳	۱۷/۹۰	۰/۰۲۹

ارزیابی و بررسی عملکرد مدل‌های پیش‌بینی بعد از پیش‌یابی برای فرین‌های دمای

بعد از انجام پیش‌یابی‌های صورت گرفته برای ایستگاه‌ها مربوط به مدل رگرسیونی جز خطای دو طرفه و مدل هیبرید شبکه عصبی مصنوعی-پانل دیتا، عملکرد پیش‌بینی این دو مدل براساس معیارهای دقت، مورد ارزیابی قرار گرفته شدند که در میانگین مربعات خطا (MSE) کم‌ترین مقدار ۰/۰۰۰۲ در ایستگاه سمنان و بیش‌ترین مقدار ۰/۴۱۷۰ برای ایستگاه اردستان به دست آمد، در مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) برای پیش‌یابی در کم‌ترین مقدار خود ۰/۰۰۰۶ در ایستگاه قم و بیش‌ترین مقدار ۰/۰۹۸۴ را ایستگاه شاهرود به خود اختصاص داد. میانگین قدر مطلق خطا (MAE) بیش‌ترین مقدار خود ۰/۰۹۶۳ برای ایستگاه میبد و کم‌ترین مقدار ۰/۰۰۰۳ در ایستگاه شهرضا به دست آمد، میانگین درصد قدر مطلق خطا (MAPE) در پیش‌یابی کم‌ترین مقدار ۰/۰۰۰۵ برای ایستگاه نطنز به دست آمد و بیش‌ترین مقدار میانگین درصد قدر مطلق خطا ۰/۶۸۷ را ایستگاه گرمسار به خود اختصاص داد، که نتایج به دست آمده از ارزیابی‌های مدل-ها به تفکیک ایستگاه‌ها در (جدول ۴) ارائه شدند.

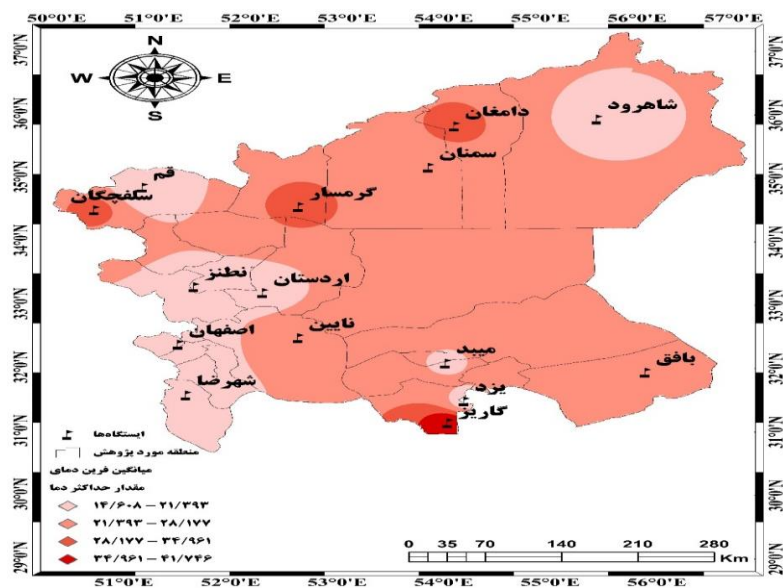
جدول ۴. مقایسه و ارزیابی دقت پیش‌بینی ایستگاه‌ها در منطقه مورد مطالعه براساس مدل هیبرید شبکه عصبی مصنوعی-پانل دیتا

نام ایستگاه‌ها	معیارهای ارزیابی دقت			
	MSE	RMSE	MAE	MAPE
اصفهان	۰/۰۷۴۱	۰/۰۶۲۵	۰/۰۳۲۵	۰/۰۵۶۳
شهرضا	۰/۰۵۱۹	۰/۰۱۴۸	۰/۰۰۰۳	۰/۰۴۱۲
نطنز	۰/۰۹۱۵	۰/۰۹۵۸	۰/۰۳۲۵	۰/۰۰۰۵
نائین	۰/۰۳۱۲	۰/۰۷۴۶	۰/۰۲۵۸	۰/۰۰۶۶
اردستان	۰/۴۱۷۰	۰/۰۶۸۴	۰/۰۷۵۳	۰/۰۱۵۹
سمنان	۰/۰۰۰۲	۰/۰۷۲۹	۰/۰۱۵۹	۰/۰۸۶۱
شاهرود	۰/۰۲۱۲	۰/۰۹۸۴	۰/۰۲۵۸	۰/۰۱۴۸
گرمسار	۰/۰۲۱۲	۰/۰۳۶۵	۰/۰۱۵۹	۰/۶۸۷
دامغان	۰/۰۰۰۵	۰/۰۹۶۳	۰/۰۳۶۹	۰/۰۱۹۶
یزد	۰/۰۸۹۶	۰/۰۰۰۹	۰/۰۴۵۶	۰/۰۰۳۶
بافق	۰/۰۰۰۴	۰/۰۲۲۱	۰/۰۷۸۹	۰/۰۳۶۹
گاریز	۰/۰۴۷۸	۰/۰۱۱۴	۰/۰۷۴۱	۰/۰۱۶۹
میبد	۰/۰۸۵۶	۰/۰۳۲۱	۰/۰۹۶۳	۰/۰۷۶۴
قم	۰/۰۱۲۴	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۴	۰/۰۴۷۸
سلفچگان	۰/۰۸۵۶	۰/۰۴۹۸	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۰۹

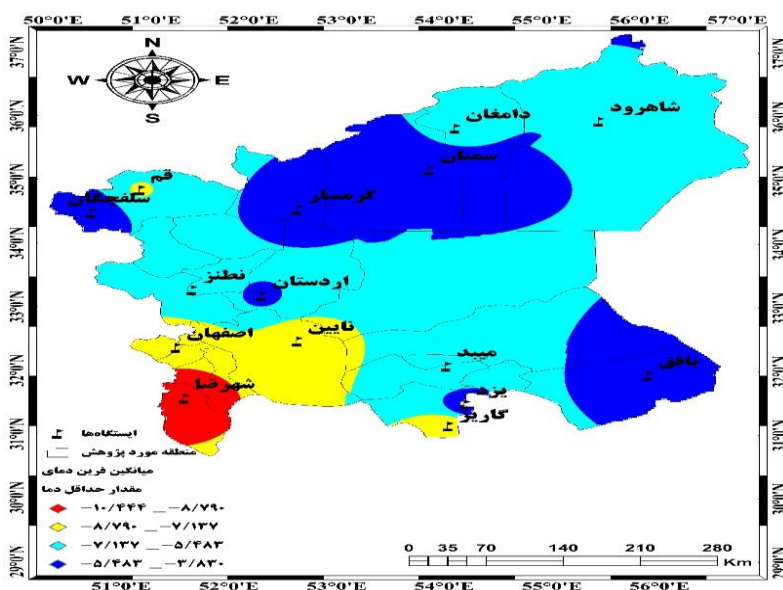
پهنه‌بندی میانگین حداکثر و حداقل دمای پیش‌یابی شده براساس مدل شبکه عصبی مصنوعی هیبرید- پانل

براساس داده‌های به دست آمده از پیش‌یابی‌ها صورت گرفته میانگین حداکثر فرین دمای در پانزده ایستگاه مورد مطالعه پهنه‌بندی انجام شد که براساس میانگین حداکثر فرین دمای براساس مدل استفاده شده در امر پیش‌یابی در دو ایستگاه گاریز و گرمسار به ترتیب با درصد (۴۱/۶۹ و ۳۶/۲۷) درجه سانتی‌گراد نشان داد و کم‌ترین مقدار میانگین حداکثر فرین دمای در ایستگاه‌های قم و شهرضا به ترتیب با درصد (۱۹/۷۱ و ۱۴/۶۰) درجه سانتی‌گراد به دست آمد (شکل ۳).

با توجه به حداقل فرین دمای به دست آمده براساس مدل استفاده شده در پیش‌یابی بیش‌ترین حداقل فرین دمای در ایستگاه‌های بافق و سمنان به ترتیب با درصد (۳/۸۳- و ۵/۱۵۳-) درجه سانتی‌گراد و کم‌ترین حداقل فرین دمای در دو ایستگاه گاریز و شهرضا به ترتیب (۹/۱۲- و ۱۰/۴۳-) درجه سانتی‌گراد را به خود اختصاص دادند (شکل ۴).



شکل ۳. میانگین حداکثر فرین دمای براساس مدل شبکه عصبی - مصنوعی هیبرید- پانل در منطقه مورد مطالعه

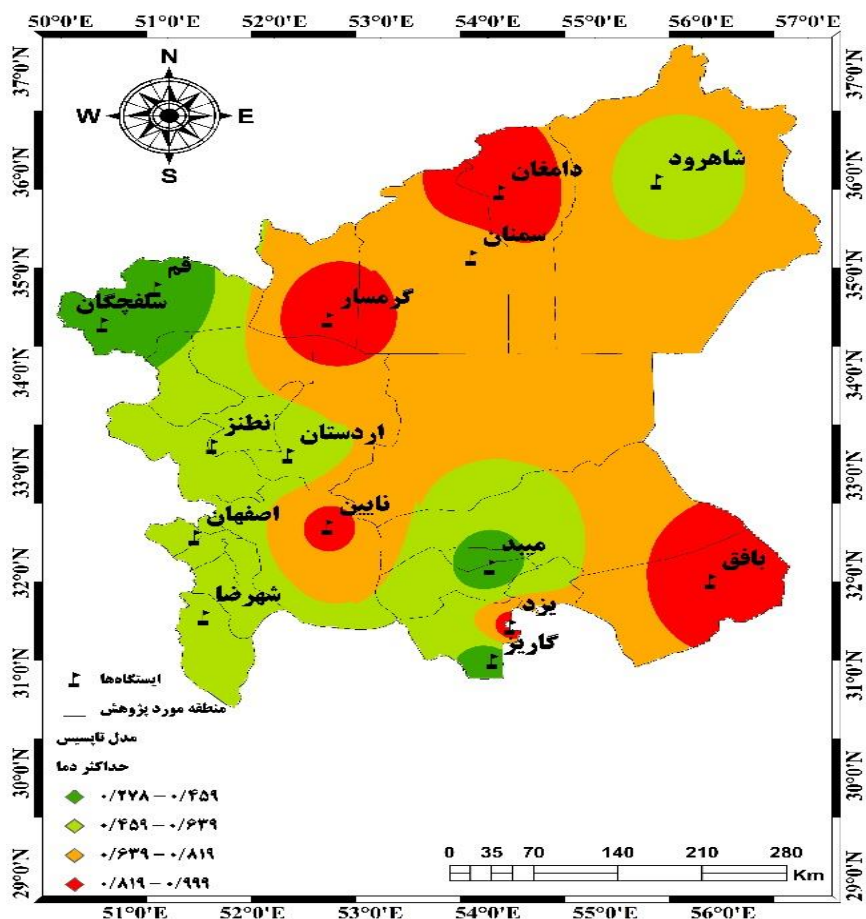


شکل ۴. میانگین حداقل فرین دمای براساس مدل شبکه عصبی - مصنوعی هیبرید- پانل در منطقه مورد مطالعه

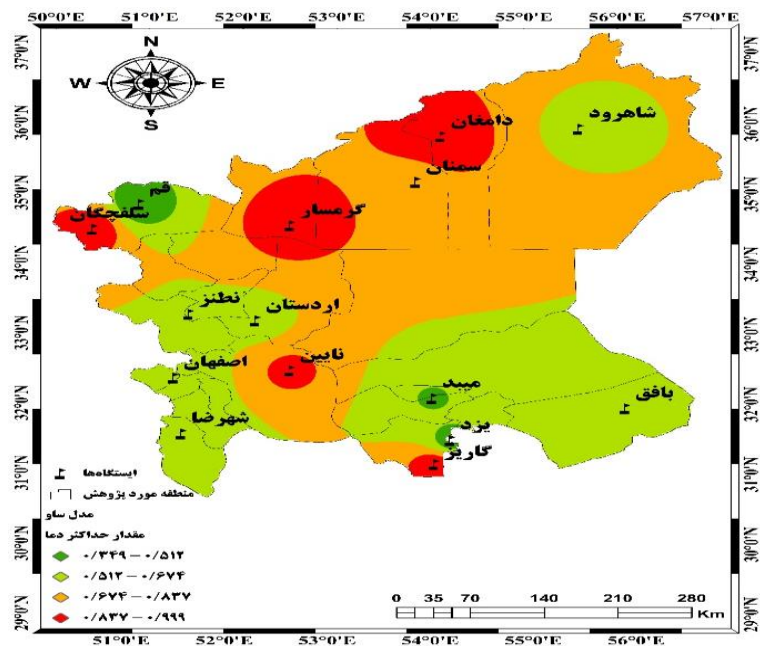
اولویت‌سنجی مناطق در معرض افزایش فرین‌های دمای برای ایستگاه‌ها براساس دو مدل SAW و TOPSIS در منطقه مورد مطالعه

بعد از اعتبارسنجی و خطایابی و پیش‌یابی فرین‌های دمای در ایستگاه‌ها براساس دو مدل SAW و TOPSIS فرین‌های حداکثر و حداقل دمای اولویت‌سنجی و سپس براساس دو مدل مذکور پهنه‌بندی شدند. براساس روش TOPSIS که یکی از روش‌های جدید برای حل مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره است، که هدف آن انتخاب بهترین گزینه بر اساس نزدیک‌ترین جواب ممکن به جواب ایده‌آل است. بنابراین، با بررسی و انتخاب شاخص‌های مناسب، روش‌های آماری و تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و با استفاده از مدل تاپسیس به رتبه‌بندی ایستگاه‌های مورد مطالعه، از نظر فرین حداکثر دمای جهت انتخاب مکان‌های در معرض بیش‌تر پدیده افزایش دمای برای سال-های آتی در ۲۲ سال آینده پرداخته شد. براساس مدل TOPSIS دو ایستگاه گرمسار و بافق به ترتیب با درصد (۱ و ۰/۹۶۸۹) در اولویت بیش‌تر در افزایش دما قرار گرفتند، در حالی که دو ایستگاه قم و گاریز به ترتیب (۰/۲۷۸۸ و ۰/۲۸۸۷) با کم‌ترین افزایش دما به صورت خفیف به دست آمدند (شکل ۵) و (جدول ۵).

در ادامه براساس مدل SAW دو ایستگاه گرمسار و سلفچگان به ترتیب با درصد (۱ و ۰/۹۸۷۳) بیش‌ترین احتمال را در معرض افزایش دما را به خود اختصاص دادند اما در صورتی ایستگاه قم و یزد به ترتیب با درصدهای (۰/۳۴۹۴ و ۰/۴۳۱۶) کم‌ترین احتمال افزایش دما برای ۲۲ سال آتی را کسب کردند (شکل ۵) و (جدول ۶).



شکل ۵. نقشه نهایی مناطق در معرض فرین حداکثر دما در منطقه مورد مطالعه براساس مدل TOPSIS



شکل ۶. نقشه نهایی مناطق در معرض فرین حداکثر دما در منطقه مورد مطالعه براساس مدل SAW

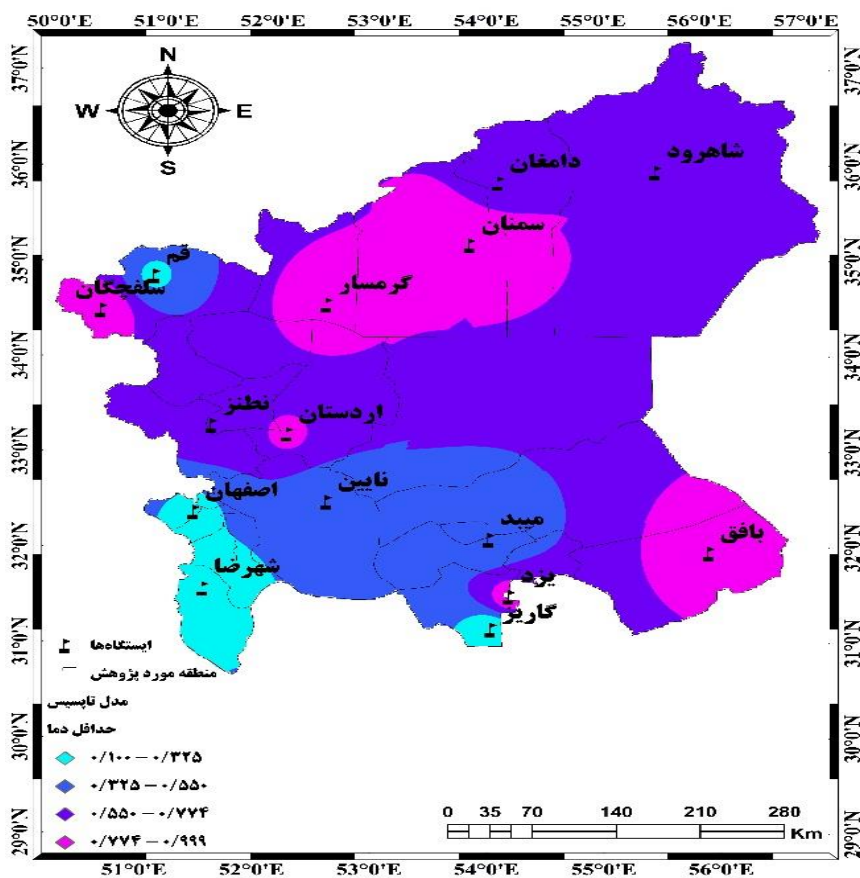
فرین حداقل دمای یکی از عناصر مهم جوی اقلیمی است که با افزایش خود اثرات جبران‌ناپذیر زیادی را در بخش‌های مختلف زندگی انسان‌ها خواهد داشت، براساس دو تصمیم‌گیری چند متغیره نوین TOPSIS و SAW در این پژوهش سعی شد که مقدار نوسان حداقل فرین دمای را در منطقه مورد مطالعه پهنه‌بندی شود. براساس مدل TOPSIS دو ایستگاه سلفچگان و بافق به ترتیب با درصد (۱ و ۰/۹۶۷۴) در اولویت بیش‌تر افزایش دما قرار گرفتند در صورتی که ایستگاه‌های شهرضا و گاریز به ترتیب (۰/۱ و ۰/۱۱۱۲) کم‌ترین افزایش دما را به صورت خفیف به خود اختصاص دادند (جدول ۶) و (شکل ۷).

در ادامه براساس مدل SAW ایستگاه‌های سلفچگان و سمنان به ترتیب با درصد (۰/۶۱۷۸ و ۰/۵۷۱۸) بیش‌ترین احتمال معرض افزایش دما را کسب کردند، این درحالی‌می‌باشد که دو ایستگاه قم و اصفهان به ترتیب با درصد‌های (۰/۱۵۴۶ و ۰/۱۶۳۷) کم‌ترین احتمال افزایش دما برای سال‌های آتی را به دست آوردند (جدول ۶) و (شکل ۸).

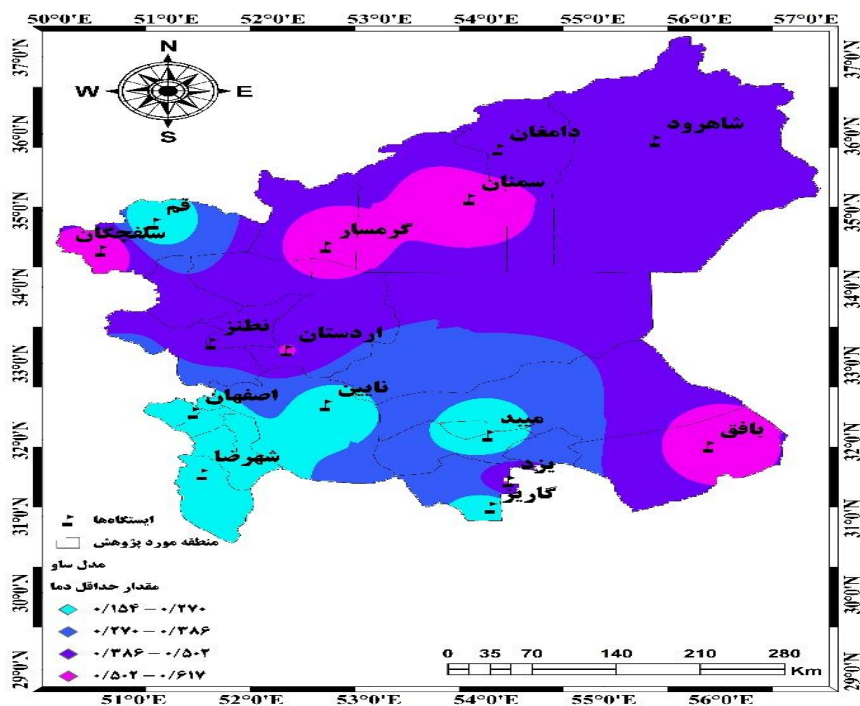
جدول ۶. اولویت‌بندی ایستگاه‌های در معرض بیش‌ترین افزایش فرین حداقل دمای براساس

دو مدل SAW و TOPSIS در منطقه مورد مطالعه

ایستگاه‌ها	مدل تاپسیس		مدل ساو	
	رتبه	امتیاز	رتبه	امتیاز
اردستان	۶	۰/۸۲۳۳	۶	۰/۵۰۸۶
اصفهان	۱۳	۰/۲۶۵۱	۱۴	۰/۱۶۳۷
شهرضا	۱۵	۰/۱	۱۱	۰/۱۹۲۱
نابین	۱۰	۰/۳۳۸۹	۱۰	۰/۲۰۸۸
نطنز	۹	۰/۶۹۷۷	۹	۰/۴۳۱۰
دامغان	۸	۰/۷۱۷۸	۸	۰/۴۴۳۴
سمنان	۳	۰/۹۲۵۶	۲	۰/۵۷۱۸
شاهرود	۷	۰/۷۵۶۶	۷	۰/۴۶۷۴
گرمسار	۵	۰/۹۱۹۴	۳	۰/۵۶۸۸
سلفچگان	۱	۱	۱	۰/۶۱۷۸
قم	۱۲	۰/۲۷۸۸	۱۵	۰/۱۵۴۶
بافق	۲	۰/۹۶۷۴	۴	۰/۵۵۴۶
گاریز	۱۴	۰/۱۱۱۲	۱۳	۰/۱۸۱۱
میبد	۱۱	۰/۳۲۹۱	۱۲	۰/۱۸۲۵
یزد	۴	۰/۹۲۴۵	۵	۰/۵۱۲۷



شکل ۷. نقشه نهایی مناطق در معرض فرین حداقل دما در منطقه مورد مطالعه براساس مدل TOPSIS



شکل ۸. نقشه نهایی مناطق در معرض فرین حداقل دما در منطقه مورد مطالعه براساس مدل SAW

بحث و نتیجه‌گیری

فرین‌های دمای می‌توان آثار جبران‌ناپذیر زیادی را در بخش‌های مختلف مانند کشاورزی به صورت غیرمنتظره را در پی داشته باشد. هدف از پژوهش حاضر بررسی و پیش‌بینی فرین‌های دمای در بخش ایران مرکزی براساس روش‌های نوین در اقلیم‌شناسی بود با توجه به نتایج حاصل شده، از مدل‌های استفاده شده در این تحقیق مدل‌سازی صورت گرفته براساس مدل شبکه عصبی تطبیقی ANFIS در خطایابی برای پیش‌بینی فرین‌های دمای کم‌ترین میانگین خطای آموزشی و میانگین خطای اعتبارسنجی برای حداقل دما به ترتیب با مقدار ۰/۰۱۰ برای ایستگاه یزد و ۱/۶۶ درصد برای ایستگاه دامغان به دست آمد. با توجه به پیش‌بینی‌های صورت گرفته برای فرین‌های دمای ایستگاه سمنان در بخش حداکثر فرین دمای افزایش زیادی را برای ۲۲ سال آتی نشان داد که با مقدار ۲۳/۶۵ درجه سانتی‌گراد از سال ۲۰۲۴ شکل صعودی خود را شروع و در سال ۲۰۴۰ با مقدار ۵۷/۳۶ درجه سانتی‌گراد به اوج خود رسیده است. در مدل رگرسیونی جزر خطاها در مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی - پانل دیتا، دقت قابل قبولی را نشان دادند.

در پژوهش حاضر به آنالیز و پیش‌بینی فرین‌های دمای در شهرهای بخش مرکزی ایران اقدام شد؛ پژوهش‌های در زمینه فرین دمای انجام شده است، اما پژوهشی که بتواند کفایت موضوع را دربرگرفته باشد صورت نگرفته و اگر هم تحقیقی انجام شده باشد بسیار ناچیز است در اکثر پژوهش‌های انجام شده مانند خوش‌اخلاق و همکاران (۱۳۹۰) تغییرات حداقل‌های مطلق دما در پهنه ایران زمین؛ علیجانی همکاران (۱۳۹۰) بررسی تغییرات کمینه‌ها و بیشینه‌های سالانه دما در ایران؛ اسدی و مسعودیان (۱۳۹۳) بررسی پراکنش زمانی - مکانی دماهای فرین گرم در ایران و برنا و آئیگین (۱۳۹۴) مطالعه روند تغییرات شاخص‌های حدی اقلیمی دما و بارش در جنوب غرب ایران؛ روش‌های تحقیق از لحاظ نتیجه و خروجی دقت قابل توجهی را دربر گرفته است. در صورتی که در تحقیق انجام شده از لحاظ خطای خروجی مدل استفاده شده بسیار پایین بوده و پیش‌بینی آن قابل قبول می‌باشد و این خود سطح اطمینان بالا را نشان می‌دهد. با توجه به مقایسه صورت گرفته بین خطاهای حاصل از شبکه عصبی مصنوعی - پانل دیتا و شبکه عصبی تطبیقی ANFIS، از مدل پانل دیتا نتایج دقیق‌تری به دست آمد. نتایج به دست آمده از تصمیم‌گیری چند متغیره، مدل TOPSIS برای حداقل فرین دمای دو ایستگاه سلفچگان و بافق به ترتیب با درصد (۱ و ۰/۹۶۷۴) در اولویت بیش‌تر در افزایش دما قرار خواهند داشت، و نتایج به دست آمده از مدل SAW حاکی از آن است که دو ایستگاه سلفچگان و سمنان به ترتیب با درصد (۰/۶۱۷۸ و ۰/۵۷۱۸) بیش‌ترین احتمال را در معرض افزایش دما را نشان دادند. با توجه به مدل‌سازی صورت گرفته و نتایج به دست آمده از پیش‌بینی‌ها، فرین‌های دمای (حداقل و حداکثر) هر دو در حال افزایش می‌باشد. از بین پانزده ایستگاه مورد مطالعه، پنج ایستگاه گاریز، سلفچگان، سمنان، دامغان و نطنز از نظر حداکثر فرین دمای به ترتیب بیش‌ترین افزایش دما را برای سال‌های پیش‌بینی نشان دادند.

راهکارها

با توجه به یافته‌های تحقیق در منطقه مورد مطالعه راهکارهای زیر پیشنهاد می‌شود:

- ✓ توجه بیش‌تر به طراحی ساختمان‌ها برای تامین آسایش حرارتی و برودتی؛
- ✓ مواردی مانند ایجاد سایبان‌های شهری، دسترسی به آب در اماکن عمومی و پیاده‌روها؛
- ✓ ایجاد پشت بام‌های سبز؛
- ✓ در بخش کشاورزی تقویم زمانی کاشت، داشت و برداشت محصولات کشاورزی مواردی مانند رشد و آبیاری گیاهان، کنترل آفت و بیماری، برای مقابله با آفت‌های حرارتی.

References

- Ahmadi, M., Lashkari, H., Keykhosravi, G., & Azadi, M. (2015). Analysis of extreme temperature indicators in the detection of climate change in Greater Khorasan. *Geography*, 13(45), 53-75. (In persian)
- Ahmadzadehgharahgwiz, K., Mirlatifi, S., & Mohammadi, K. (2010). Comparison of artificial intelligence systems (ANN and ANFIS) in estimating the transpiration rate of the reference plant in very dry areas of Iran. *Water and Soil*, 24(4), 679-689. (In persian)
- Alexander, L.V. (2006). Global observed changes in Daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical research*, 11(2): 360-375.
- Alijani, B., & Farajzadeh, H. (2015). Trend Analysis of Extreme Temperature Indices in the North West of Iran. *Geography and Planning*, 19(52), 229-256. (In persian).

- Alijani, B., Mahmoudi, P., Salighe, M., & Rigichahi, A. (2011). Study of annual maximum and minimum temperatures Changes in Iran. *Geographical Research*, 26(102), 101-122. (In persian)
- Asadi, A., & masoudiyan, A. (2015). Spatial and Temporal Analysis of Iran's Extreme Warm Days Trend. *Environmental Researches*, 5(9), 59-72. (In persian)
- Azizi, G., Miri, M., & Rahimi, M. (2015). Identification of Synoptic Patterns Influencing Formation of Temperature Anomalies in Iran and Europe. *Physical Geography Research Quarterly*, 47(1), 91-104. (In persian)
- Baltagi, B. H. (2005). *Econometric Analysis of Panel Data 3rd Edition*. New York. John Wiley and Son, 2: 13-26.
- Borna, R., & Jahan, A. (2015). Trend Analysis of Extreme Climate Changes Index's in Precipitation and Temperature in Bushehr Province. *Physical Geography Quarterly*, 8(28), 43-64. (In persian)
- Bozyurt, O., & Ozdemir, M. (2014). The relations between north Atlantic Oscillation and minimum temperature in Turkey. *procedia – social and behavioral*, 12(3), 532-537.
- Co, H.C., & Boosarawongse, R. (2007). Forecasting Thailand's Rice Export: Statistical Techniques Vs Artificial Neural Networks. *Computers & industrial engineering*, 53(7), 610-627.
- Dalai, H., Farajzadehasal, M., Gandhamkar, A., & Nami, M. (2014). Climatic security of Iran according to temperature limit indices. *Scientific Research Journal of Geography*, 46(8), 137-154. (In persian)
- Daneshmand, H., Tavousi, T., khosravi, M., & Tavakoli, S. (2015). Modeling minimum temperature using adaptive neuro – fuzzy inference system based on spectral analysis of climate indices: a case study in Iran. *Journal of the Saudi society of agricultural sciences*, 14(2), 33-40.
- David, R.E. (1997). Maximum and minimum temperature trend for the Glob, *Science*, 227(9), 123-203.
- Dimri, A., Kumar, D., Choudhary, A., Maharana, P. (2018). Future changes over the Himalayas Maximum and minimum temperature. *Global and Planetary Change*, 162(3), 212-234.
- Erfanian, M., Ansari, H., Alizadeh, A., & Benayanol, M. (2016). Estimation of relationships of abundance, continuity and return period of extreme climate indices in different parts of Razavi Khorasan Province. *Geographical Research Quarterly*, 8(4), 37-50. (In persian)
- Gadgil, A., & Dhorde, A. (2004). Temperature trends in the twentieth century at PUNE India. *Atmospheric environment*, 39(5), 6550-6556.
- Ghavidelrahimi, Y., Farajzadeasl, M., & Ahmadejavan, M. (2017). The role of Earth's temperature abnormalities in the variability of the minimum temperatures of Iran. *Geography and Planning*, 59(6), 243-261. (In persian)
- Grieser, J., tromel, C., & schonwiese, D. (2002). Statistical time series decomposition into significant components and application to European temperature. *theor, appl, climatic*, 71(14), 171-183.
- Gujarati, D.N. (2003). *Basic econometrics 4th edition*, New York: McGraw-Hill, 3, 10-36.
- Hansen, J., Rurdy, M., Lo, R., Lea, D., & Elizade, M. (2006). Global temperature change, *Science*, 39(10), 1428-1439.
- Huanga, S., Huanga, Q., Changa, J., Zhua, Y., & Lengb, G. (2015). Drought structure based on a nonparametric multivariate standardized drought index across the Yellow River basin, China. *Journal of Hydrology*, 530(15), 127-136.
- Jafarbigelow, M., & Mubarak, Z. (2009). Land Suitability Of Qazvin Province For Saffron Cultivation Based On Multi-Criteria Decision Making Approach. *Physical Geography Research Quarterly*, 66(8), 114-118. (In persian)
- Karimpour, M., & Yarahmadi, E. (2015). Maximum mean and maximum absolute temperature distribution in Iran. *Journal of Geography and Regional Development*, 2(6), 67-88. (In persian)
- Kenarkoohi, A., Soleimanjahi, H., Falahi, S., Riahimadvar H., & Meshkat, Z. (2011). The application of the new intelligent Adaptive Nero Fuzzy Inference System (ANFIS) in prediction of human papilloma virus oncogenicity potency. *J Arak Uni Med Sci*, 13 (4), 95-105.
- Khorshiddoust, A.M., Rasouli, A.A., Slajegheh, A., & Nassajizavareh, M. (2016). Homogeneity Assessment of Annual and Seasonal Maximum and Minimum Temperatures Time Series (Case study of Khazar Region). *Geography and Planning*, 20(57), 133-149. (In persian)
- Khoshakhlagh, F., Gharibi, E., & Shafiei, Z. (2011). The study of the lowest temperature changes in Iran. *Geography and Environmental Planning*, 22(2), 199-216. (In persian)

- Kisi, O., & Ozturk, O. (2007). Adaptive neurofuzzy computing technique for evapotranspiration estimation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE*, 4(1), 368-379.
- Makvandi, R., Maghsoudoulikamali, B., & Mohammadfam, I. (2011). Utilization of TOPSIS Multivariate Decision Making Model in Environmental Impact Assessment of Oil Refineries (Case Study: Khuzestan Extra Heavy Oil Refinery). *Environmental Research*, 3(5), 77-86. (In persian)
- Marufnejad, A., & Ghasemi, S. (2017). Analysis of changes Using the method of Mann-Kendall (Case Study of Four townships of Chaharmahal and Bakhtiari Province). *Environmental Studies Quarterly*, 10(37), 149-166. (In persian)
- Mohammadi, H., Miri, M., Rahimi M., & Tayebi, S. (2013). Effect of temperature on cotton water requirement in Sabzevar city. *Geographic Quarterly Territory*, 40(6), 15-30. (In persian)
- Mulchsfaki, Y. (2004). *Geographic Information System and Multi-criteria Decision Analysis*, Akbar Parizgar and Atta Ghafari Gilaneh. fourth edition. Publishing House, Tehran. (In persian)
- Nazmfar, H., & Alibakshi, A. (2013). Measurement of spatial inequality in having educational indicators using the TOPSIS method (case study: Khorestan province). *Two Quarterly Journal of Educational Planning Studies*, 3(1), 115-134. (In persian)
- Pandey, K., Chandrakar, C., Singh, S., Maurya, D., & Gupta, G. (2017). Identification of most Important weeks on minimum temperature for wheat crop. *International Journal of current microbiology and applied sciences*, 6(2), 788-794.
- Pedram, M., Ghaemi, H., Hedayati, A., & Mortazavi, A. (2011). Snowfall and Its Relation to Temperature over Kurdistan Province. *Geographical Research*, 26(100), 55-70. (In persian)
- Rahimzadeh, F., Ahmad A., Ibrahim F., Mohammadian, N., & Taghipour, A. (2010). The trend of temperature extreme profiles in Iran during the period of 1951-2003. *Geographic Research*, 2(4), 119-144. (In persian)
- Rao, B., Chowdary, S., Sandeep, V., Rao, V., & Venkateswarlu, B. (2014). Rising minimum temperature trends over India in recent decades. *Implications for agricultural production*, 11(9), 1-8.
- Sadeghi, F., Ataei, H., & Hasheminasab, S. (2014). Survey and Forecast of Minimum Temperature Trends of Iran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 2(4), 33-48. (In persian)
- Safarian Zengir, V., Sobhani, B., & Rezaei Banafsheh, M. (2019). Modeling and Monitoring the Drought Phenomenon in Northwest of Iran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 8(3), 143-165. (In persian)
- Scheifinger, H., Menzel, A., Koch, E., & Peter, C. (2003). Trends of spring time frost eventa and phonological in central Europe. *Theoretical and applied climatology*, 74(11), 41-51.
- Singh, D., Jain, S., & Gupta, R. (2015). *Trend in observed and projected maximum and minimum temperature over Himalayan basin. Journal of mountain science*, 12(8), 417-433.
- Sobhani, B., & Guldoost, A. (2016). Inspection of temperature alteration and it's prediction possibility in Ardebil province using statistical analysis and adaptive neuro -fuzzy inference system . *JGS*, 16 (42), 27-40. (In persian)
- Sobhani, B., & Safarian zengir, V. (2019). Investigating and predicting the hazardous effects of monthly Ferrin temperature on horticultural and agricultural products In the north bar of Iran (Golestan, Gilan and Mazandaran provinces). *JSAEH*; 5 (4),125-144. (In persian)
- Tanarhte, M., Hadjinicolaou, P., & Lelievehd, J. (2012). Intercomparison of temperature and precipitation data sets based on observations in the Mediterranean and the middle East. *Journal of Geophysical research atmospheres*, 117(25), 12-23.
- Tao, F., Xiao, D., Zhang, Sh., Zhang, Z., & Rotter, R. (2017). Wheat Yield benefited from increases in minimum temperature plain of china. *Agricultural and forest meteorology*, 23(14), 1-14.
- Tohidi, A., Zaremehrjerdi, M., Mehrabi, H., & Nezamabadipour, H. (2015). Evaluation of Artificial Neural Network-Panel Data Hybrid Model in Predicting Iran's Dried Fruits Export Prices. *Quarterly Journal of Quantitative Economics*, 12(3), 95-116. (In persian)
- Turkesh, M., Sumer. M., & Dernirj, I. (2002). Re-evaluation of trends and change in mean, maximum and minimum temperature of Turkey for period 1991-1999. *International Journal of climatology*, 22(6), 947-977.
- Varshavian, V., Khalili, A., Ghahreman, N., & Hajjam, S. (2011). Trend analysis of minimum,

- maximum, and mean daily temperature extremes in several climatic regions of Iran. *Journal of the Earth and Space Physics*, 37(1), 169- 179. (In persian)
- Vincent, W., Zhang, X., Lucie, A., Hogg, D., & Ain, N. (2000). Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th century, climate research branch. *Meteorological service of Canada*, 22(11), 395-417.
- احمدزاده، قره‌گویز کاوه؛ میرلطفی، مجید و محمدی، کوروش (۱۳۸۹). مقایسه سیستم‌های هوش مصنوعی در (ANN و ANFIS) در تخمین میزان تبخیر تعرق گیاه مرجع در مناطق بسیار خشک ایران. *نشریه آب و خاک*، ۲۴(۴)، ۶۸۹-۶۷۹.
- احمدی، محمود؛ لشکری، حسین؛ کیخسروی، قاسم و آزادی، مجید (۱۳۹۴). تحلیل شاخص‌های حدی دما در آشکارسازی تغییر اقلیم خراسان بزرگ. *فصل‌نامه جغرافیا*، ۱۳(۴۵)، ۷۵-۵۳.
- اسدی، اشرف و مسعودیان، ابوالفضل (۱۳۹۳). بررسی پراکنش زمانی- مکانی دماهای فرین گرم در ایران. *پژوهش‌های محیط‌زیست*، ۵(۹)، ۷۲-۵۹.
- برنا، رضا و آیین، جهان (۱۳۹۴). مطالعه روند تغییرات شاخص‌های حدی اقلیمی دما و بارش در جنوب غرب ایران. *فصل‌نامه جغرافیای طبیعی*، ۸(۲۸)، ۶۴-۴۳.
- پدرام، مژده؛ قائمی، هوشنگ؛ هدایتی، اکرم و مرتضوی، افسانه (۱۳۹۰). ریزش برف و ارتباط آن با دما در استان کردستان. *تحقیقات جغرافیایی*، ۲۶(۱۰۰)، ۷۰-۵۵.
- توحیدی، امیرحسین؛ زارع مهرجردی، محمدرضا؛ مهرابی، حسین و نظام‌آبادی پور، حسین (۱۳۹۴). ارزیابی مدل هیبرید شبکه عصبی مصنوعی- پانل دیتا در پیش‌بینی قیمت صادرات خشک‌بار ایران. *فصل‌نامه اقتصاد مقداری (بررسی‌های اقتصادی سابق)*، ۱۲(۳)، ۹۵-۱۱۶.
- جعفری‌گلگو، منصور و مبارکی، زهرا (۱۳۸۷). سنجش تناسب اراضی استان قزوین برای کشت زعفران بر اساس روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۸(۸)، ۱۱۴-۱۱۸.
- خورشیددوست، علی‌محمد؛ رسولی، علی‌اکبر؛ سلاجقه، علی و نساجی‌زواره، مجتبی (۱۳۹۵). ارزیابی همگنی سری‌های زمانی دمای بیشینه و کمینه سالانه و فصلی (مطالعه موردی ناحیه خزر). *فصل‌نامه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۰(۵۷)، ۱۳۳-۱۴۹.
- خوش‌اخلاق، فرامرز؛ غریبی، ابراهیم و شفیع، ذلیخا (۱۳۹۰). نگرشی بر تغییرات حداقل‌های مطلق دما در پهنه ایران زمین. *فصل‌نامه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۲(۲)، ۱۹۹-۲۱۶.
- دالایی، حمیده؛ فرج‌زاده‌اصل، منوچهر؛ گندمکار، امیر و نامی محمدحسن، (۱۳۹۴). امنیت آب و هوایی ایران بر حسب شاخص‌های حدی دما (۱۹۸۱-۲۰۱۰). *فصل‌نامه علمی پژوهشی جغرافیا*، ۴۶(۸)، ۱۳۷-۱۵۴.
- رحیم‌زاده، فاطمه؛ عسکری، احمد؛ فتاحی، ابراهیم؛ محمدیان، نوشین و تقی‌پور، افسانه (۱۳۸۹). روند نمایه‌های حدی اقلیمی دما در ایران طی دوره ۱۹۵۱-۲۰۰۳. *تحقیقات جغرافیایی*، ۲(۴)، ۱۱۹-۱۴۴.
- سبحانی، بهروز و صفریان‌زنگیر، وحید (۱۳۹۷). بررسی و پیش‌بینی اثرات مخاطره ای دمای فرین ماهانه بر روی محصولات باغی و کشاورزی در نوار شمالی ایران (استان‌های گلستان، گیلان و مازندران). *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۵(۴)، ۱۲۵-۱۴۴.
- سبحانی، بهروز و گل‌دوست، اکبر، (۱۳۹۵). بررسی تغییر دما و ارزیابی امکان پیش‌بینی آن در استان اردبیل بر اساس روش‌های آماری و سیستم استنتاج فازی - عصبی تطبیقی. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۶(۴۲)، ۲۷-۴۰.
- صادقی، فریبا؛ عطایی، هوشمند و هاشمی‌نسب، سادات (۱۳۹۲). شناسایی و پیش‌بینی تغییرات الگوی روند دمای حداقل ایران. *فصل‌نامه جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۲(۴)، ۳۳-۴۸.
- صفریان‌زنگیر، وحید؛ سبحانی، بهروز و رضائی‌بنفشه، مجید (۱۳۹۸). مدل‌سازی و پایش پدیده خشکسالی در شمال غرب ایران. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۸(۳)، ۱۴۳-۱۶۵.
- عرفانیان، مریم؛ انصاری، حسین؛ علیزاده، امین و بنایان‌اول، محمد (۱۳۹۶). برآورد روابط فراوانی، تداوم و دوره بازگشت نمایه‌های فرین (حدی) اقلیمی در نقاط مختلف استان خراسان رضوی. *فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی*، ۸(۴)، ۵۰-۳۷.
- عزیزی، قاسم؛ میری، مرتضی و رحیمی، مجتبی (۱۳۹۴). شناسایی الگوهای هم‌مدیدی موثر در شکل‌گیری ناهنجارهای دمایی ایران و اروپا. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۷(۱)، ۹۱-۱۰۴.
- علیچانی، بهلول و فرج‌زاده، حسن (۱۳۹۴). تحلیل روند شاخص‌های دمای فرین در شمال ایران. *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۱۹(۵۲)، ۲۲۹-۲۵۶.

- علیجانی، بهلول؛ محمودی، پیمان؛ سلیقه، محمد و ریگی‌چاهی، اله‌بخش (۱۳۹۰). بررسی تغییرات کمینه‌ها و بیشینه‌های سالانه دما در ایران. *فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی*، ۲۶(۱۰۲)، ۱۰۱-۱۲۲.
- قویدل‌رحیمی، یوسف؛ فرج‌زاده‌اصل، منوچهر و عالی‌جهان، مهدی (۱۳۹۶). نقش ناهنجارهای دمایی کره‌ی زمین در تغییرپذیری دماهای حداقل ایران. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۵۹(۶)، ۲۴۳-۲۶۱.
- کرم‌پور، مصطفی و یاراحمدی، الهام (۱۳۹۴). پهنه‌بندی بیشینه متوسط و بیشینه مطلق دما در ایران. *فصل‌نامه جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*، ۲(۶)، ۶۷-۸۸.
- کنارکوهی، عذرا؛ سلیمان‌جاهی، حوریه؛ فلاحی، شهاب؛ ریاحی‌مدوار، حسین و مشکات، زهرا (۱۳۸۹). استفاده از سیستم جدید هوشمند استنتاج فازی-عصبی تطابقی (ANFIS) برای پیش‌بینی قدرت سرطان‌زایی ویروس پاپیلوما‌های انسانی. *مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی اراک*، ۱۳(۴)، ۹۵-۱۰۵.
- مال‌جسفی، یانک (۱۳۸۵). *سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چند معیاری*. ترجمه اکبر پرهیزگار و عطا غفاری‌گیلانده. چاپ چهارم. انتشارات سمت، تهران.
- محمودی، حسین؛ میری، مرتضی؛ رحیمی، مجتبی و طیبی، صفیه (۱۳۹۲). تاثیر دما بر نیاز آبی گیاه پنبه در شهرستان سبزوار. *فصل‌نامه جغرافیایی سرزمین*، ۴۰(۶)، ۱۵-۳۰.
- معروف‌نژاد، عباس و قاسمی، شهلا (۱۳۹۶). روند تغییرات دما با استفاده از روش من- کندال (مطالعه موردی چهار شهرستان استان چهار محال و بختیاری). *فصل‌نامه آمایش محیط*، ۱۰(۳۷)، ۱۴۹-۱۶۶.
- مکوندی، رقیه؛ مقصودلوکمالی، بیژن و محمدفام، ایرج (۱۳۹۱). بهره‌مندی از مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS در ارزیابی پیامدهای محیط‌زیستی پالایشگاه‌های نفت (مطالعه موردی: پالایشگاه نفت فوق سنگین خوزستان). *پژوهش‌های محیط‌زیست*، ۳(۵)، ۸۶-۷۷.
- نظم‌فر، حسین و علی‌بخشی، آمنه (۱۳۹۳). سنجش نابرابری فضایی در برخورداری از شاخص‌های آموزشی با استفاده از روش تاپسیس (مطالعه موردی: استان خوزستان). *دو فصل‌نامه مطالعات برنامه‌ریزی آموزشی*، ۳(۱)، ۱۱۵-۱۳۴.
- ورشائویان، وحید؛ خلیلی، علی؛ قهرمان، نودر و حجام، سهراب (۱۳۹۰). بررسی روند تغییرات مقادیر حدی دمای حداقل، حداکثر و میانگین روزانه در چند نمونه اقلیمی ایران. *مجله فیزیک زمین و فضا*، ۳۷(۱)، ۱۶۹-۱۷۹.

Copyrights

© 2022 by the authors. Lisensee PNU, Tehran, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY4.0) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>)

