

## واکاوی زمانی - مکانی فرین‌های سرد ایران تحت تأثیر گرمایش جهانی به‌منظور کاهش مخاطرات



کمال امیدوار\*

استاد آب‌وهواشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

رضا ابراهیمی (ebrahimireza7679@yahoo.com)

دانشجوی دکتری مخاطرات آب‌وهوایی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

عباسعلی داداشی رودباری (dadashiabbasali@gmail.com)

دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی شهری، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین، تهران، ایران

مریم ملک‌میرزایی (mmalekmirzai@gmail.com)

کارشناس ارشد منابع طبیعی دانشگاه یزد، یزد، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۱۱ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۵/۲)

### چکیده

توجه به تغییرات اقلیمی در سال‌های اخیر به‌علت پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و خسارات مالی مرتبط با رویدادهای ناهنجار آن به‌منظور کاهش مخاطرات اهمیت زیادی پیدا کرده است. در یک سامانه مدیریت ریسک بهنجار، پیش‌بینی و شناسایی، رکن اصلی سامانه تلقی می‌شود؛ از این‌رو این پژوهش با هدف واکاوی اثر گرمایش جهانی در بروز دماهای فرین سرد ایران طی دهه‌های آتی انجام گرفته است؛ چرا که شناسایی این مناطق و منطقه‌بندی آنها گامی مهم در کاهش مخاطرات ناشی از آن تلقی می‌شود. به‌منظور دستیابی به هدف تعیین‌شده، نخست داده‌های دمای روزانه مدل EH50M مؤسسه ماکس پلانک آلمان طی دوره آماری ۲۰۱۵-۲۰۵۰ میلادی، تحت سناریوی A1B با تفکیک ۱/۷۵ درجه قوسی، برای گستره ایران بارگیری شد. در گام بعدی داده‌های نام‌برده با تفکیک مکانی ۰/۲۷×۰/۲۷ قوسی توسط مدل REGCM4 ریزمقیاس شدند. برای شناسایی روزهای فرین سرد از نمایه انحراف بهنجار شده دما (NTD) بهره گرفته شد. داده‌ها برحسب مقدار این نمایه و گستره حاکمیت گرما ( $NTD < 0$ ) مرتب شد و سپس ۵۰۰ روز اول که شرط ( $NTD < -2$ ) را برآورد می‌کرد در حکم نمونه انتخاب و آرایه‌ای به ابعاد ۵۰۰×۲۱۴۰ تشکیل شد. نتایج حاکی از این است که ایران را می‌توان از نظر سرماهای فرین با استفاده از تحلیل خوشه‌ای به‌روش SOM<sup>۱</sup> در شبکه عصبی به ۹ ناحیه تقسیم کرد. در دهه‌های آینده سرمای فرین در نیمه غربی و نوار ارتفاعی (کوهستان و کوهپایه) بیشتر از نواحی داخلی و سواحل جنوبی کشور خواهد بود. کمینه رخداد فرین سرد ایران مربوط به ناحیه دشت کویر و بیشینه آن نیز در ناحیه شمال غرب مشاهده می‌شود.

واژگان کلیدی: ایران، دمای فرین سرد، خوشه‌بندی SOM، مدل EH50M، مدل REGCM4.

## مقدمه

با توجه به روند فعلی افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای، تشدید گرمایش جهانی برای دهه‌های آینده اجتناب‌ناپذیر است؛ به گونه‌ای که تأثیر بسزایی بر منابع و پدیده‌های طبیعی و انسانی خواهد داشت [۴]. گرمایش جهانی و روندهای معنادار دما در نقاط مختلف کره زمین، مهم‌ترین سیمای تغییر اقلیم در دهه‌های اخیر محسوب می‌شود [۱۹]. مبحث گرمایش جهانی که امروزه اقلیم‌شناسان به صورت یک رخداد مسلم به آن می‌نگرند، در مناطق مختلف کره زمین به اثبات رسیده و در حال حاضر پدیده‌های فرین اقلیمی در کانون توجه پژوهشگران قرار دارند [۲۰]. به طور مشخص بروز و تشدید پدیده‌های فرین همانند دماهای فرین گرم و سرد، فرین‌های بارشی [۱۱] و سیل‌های مخرب نتیجه چنین تغییراتی است که در آینده نیز بروز این مخاطرات افزایش زیادی خواهد یافت [۲].

یافته‌های پژوهشگران حاکی از دگرگونی‌های شدید رفتار سنجه‌های هواسنجی در دو قرن اخیر است که خود سندی آشکار از تغییرات اقلیمی است، به گونه‌ای که علاوه بر تغییر میانگین دما، رخدادهای فرین نیز دستخوش تغییر شده‌اند و نرخ تغییر در بروز رویدادهای آنها نیز شدیدتر شده است [۱۷]. بیشتر پژوهش‌های اقلیم‌شناسان در پی شناسایی پیامدهای ناشی از گرمایش جهانی و چگونگی روند آنها در آینده است. گرم شدن زمین به دلیل آثار محیطی و اقتصادی-اجتماعی آن و نیز تأثیر آن در برنامه‌ریزی‌های خرد و کلان طی چند دهه اخیر کانون توجه محافل علمی بوده است [۲۳] تا شاید بتوان از مخاطرات ناشی از آن کاست. یکی از اثرهای گرمایش جهانی بر فراسنج‌های اقلیمی وجود دماهای فرین است که یکی از شاخص‌های دمایی مورد بررسی در هواشناسی و اقلیم‌شناسی است.

دمای فرین این گونه تعریف می‌شود: دما از مقدار میانگین خود در مکان مورد نظر بسیار بالاتر یا پایین‌تر رود؛ مبتنی بر این تعریف روش‌های گوناگونی بیان شده است. امروزه از طریق شاخص‌های صدک (در سطح ۹۰ درصد) بالاترین و پایین‌ترین حد دما را به عنوان فرین انتخاب می‌نمایند [۲۵]. همچنین در مقایسه با میانگین به مقادیر حدی یا افراطی بالا (مقادیر بسیار بزرگ) و حدی یا افراطی پایین (مقادیر بسیار کوچک) مقادیر فرین گفته می‌شود [۲۱].

وقوع گرماهای فرین بر سلامت انسان، به ویژه کودکان و کهنسالان، افزایش سکت‌های قلبی و مغزی، ذات‌الریه، خطر از دست دادن آب بدن و ازدیاد تقاضای انرژی برق، گرمایش و سرمایش [۱۰]، و افزایش تقاضای آب برای فعالیت‌های کشاورزی، بهداشتی، شرب و مصارف خانگی تأثیر بسزایی دارد [۲۴]. هر سامانه مدیریت ریسک شامل چهار مرحله است: پیش‌بینی، آماده‌سازی، پیشگیری و ارزیابی خسارت. از این رو پر واضح است که پیش‌بینی و شناسایی

دماهای فرین به‌عنوان نخستین گام در مدیریت ریسک و منطقه‌بندی آنها می‌تواند گامی مؤثر در مدیریت کلان ریسک کشور به‌منظور کاهش مخاطرات آن تلقی شود. برای اجرای مطالعات گرمایش جهانی و بررسی اثر آن بر فراسنج‌های اقلیمی (دما و رطوبت) در دوره‌های آتی، ابتدا باید متغیرهای اقلیمی تحت تأثیر تغییرات گازهای گلخانه‌ای شبیه‌سازی شوند. روش‌های مختلفی برای این کار وجود دارد که معتبرترین آنها استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی جو<sup>۱</sup> است [۲۲]. برای استفاده از این داده‌ها به ریزمقیاس‌نمایی آنها نیاز است تا بتوان مرز تغییرات نمایه‌های اقلیمی را بهتر آشکار کرد؛ چراکه نواحی دمایی ایران به‌دلیل ارتفاعات بسیار از یک سو و تأثیرپذیری آنها از سامانه‌های بزرگ‌مقیاس بسیار متغیرند [۱۲]. مدل اقلیم منطقه‌ای *REGCM* امروزه به‌دلیل دقت بسیار زیاد خود نسبت به مدل‌های موجود از اهمیت شایان توجهی برخوردار است که در پژوهش پیش‌رو نیز از قابلیت‌های این مدل قدرتمند اقلیمی به‌منظور ریزمقیاس‌نمای یاخته‌های مدل *EH50M* استفاده شده است. مدل *REGCM* یک مدل منطقه‌ای محدود، غیرهیدروستاتیک و با سامانه‌لانه‌گزینی یکطرفه محسوب می‌شود که توسط مرکز بین‌المللی فیزیک نظری عبدالسلام<sup>۲</sup> طراحی شد. در پژوهش پیش‌رو از جدیدترین نسخه این مدل در سال ۲۰۱۰ که *REGCM4* نام دارد استفاده شد.

### پیشینه تحقیق

چریتیس و همکاران [۱۵] ابراز داشته‌اند که دمای حداقل و حداکثر در نیمکره شمالی از سال ۱۹۵۰ افزایش زیادی داشته که سبب تغییر شدت رویدادهای حدی مانند خشکسالی شده است. استیفنسون و همکاران [۲۴] در بررسی واکنش نوسانات اطلس شمالی در افزایش غلظت دی‌اکسید کربن و تأثیر آن بر اقلیم زمستان اروپا براساس نتایج پانزده مدل شبیه‌سازی شده بیان کردند که افزایش غلظت دی‌اکسید کربن جو با افزایش فاز مثبت NAO همراه بوده است. این رخداد سبب افزایش دما در بسیاری از قسمت‌های اروپا و همچنین افزایش بارش در قسمت‌های شمالی اروپا در فصل زمستان می‌شود. کهنوا و هوس [۱۴] به بررسی تغییر الگوهای گردشی در مرکز اروپا و اثر آن بر روندهای اقلیمی در جمهوری چک پرداختند. آنها طی دوره تحقیق خود (۱۹۶۱-۱۹۹۸) دریافتند که روند نزولی چشمگیری در رخداد و اچرخندها، به‌ویژه در پاییز وجود دارد. همچنین تغییر الگوهای جوی علت اصلی گرم شدن زمستان و خنک شدن پاییز است. ژائو و همکاران [۲۶] در بررسی نمایه‌های فرین حوضه رودخانه‌های چین طی دوره ۲۰۰۹-۱۹۶۰ دریافتند که در سراسر

1. General Circulation Model  
2. <http://users.ictp.it/RegCNET>

حوضه، نمایه‌های فرین سرد روزهای یخبندان، روزهای یخی شب‌های سرد، روزهای سرد، دوام امواج سرما و دامنه دمای شبانه‌روزی روند منفی معناداری را نشان می‌دهد. کریشنا [۱۸] در برآزش رگرسیون خطی ساده بر روی سری زمانی نمایه فرین بارشی و دمایی ۲۸ ایستگاه همدید در ایالت یوتای آمریکا، افزایش معنادار دما و کاهش زیاد روزهای یخبندان را تخمین زد. در ایران نیز پژوهش‌هایی در زمینه شناسایی نمایه‌های فرین اقلیمی به منظور کاهش مخاطرات اقلیمی انجام گرفته که به چند مورد از آنها اشاره خواهد شد. محمدی و همکاران [۷] در واکاوی و پیش‌یابی اثر گرمایش جهانی بر مؤلفه‌های فرین آب‌وهوایی آبادان به این نتیجه رسیدند که روند افزایش دما در تمام فصول به نسبت‌های مختلف رخ داده است و براساس روند کنونی و نتایج معنادار روند دمای بیشینه و کمینه گرم‌ترین ماه‌های سال در دهه‌های آینده بیشترین افزایش دما را خواهند داشت. علیجانی و فرج‌زاده [۶] در ارزیابی شاخص‌های دمای فرین در شمال ایران دریافتند که روند شاخص‌های دمای فرین در اکثر ایستگاه‌های منتخب حاکی از کاهش فراوانی شاخص‌های سرد فرین (نظیر روزها و شب‌های سرد، روزهای یخبندان، شاخص طول مدت سرما و روزهای یخی) و افزایش شاخص‌های گرم فرین (تعداد روزهای تابستانی، طول فصل رشد، روزها و شب‌های گرم و شاخص طول مدت گرما و ...) است. روشن و همکاران [۴] در پیش‌یابی دمای ایران دریافتند که افزایش دمای کشور به میزان ۳/۱ و ۵/۲ درجه سلسیوس برای سال‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ متصور است. محمدیاریان و همکاران [۸] با پهنه‌بندی مخاطرات اقلیمی خراسان بزرگ دریافتند که برخلاف پدیده موج گرمایی، دو پدیده یخبندان و سوزباد از فراوانی بیشتر و در عین حال از یک الگوی فراگیرتر روی منطقه برخوردارند. مسعودیان و دارند [۹] ضمن شناسایی به پهنه‌بندی دمای فرین سرد ایران پرداختند. نتایج پژوهش آنان نشان داد که بیشترین گستره مکانی روند منفی نیاز گرمایشی در ماه دی با گستره مکانی ۵۴ درصد از وسعت ایران رخ داده است. از دیگر پژوهش‌های انجام گرفته می‌توان به احمدی و همکاران [۱]، رحیم‌زاده و همکاران [۳]، و عرفانیان و همکاران [۵] اشاره کرد.

طی نیم قرن اخیر رخدادهای اقلیمی همچون موج‌های گرما و سرما در ایران و سایر نقاط جهان بروز مکرر داشته که مخاطرات فراوانی به همراه داشته‌اند. رخداد این فرین‌ها موجب خسارت‌های جبران‌ناپذیر بسیاری شده‌اند. از سوی دیگر با تغییر الگوی مصرف انرژی، هزینه‌های اجرایی کشور نیز افزایش یافته است. از این رو در پژوهش پیش‌رو با توجه به اهمیت مخاطره حاضر به واکاوی اثر گرمایش جهانی بر ناهنجاری‌های فرین سرد مناطق مختلف کشور طی دهه‌های آینده می‌پردازیم. نتایج پژوهش پیش‌رو در تنظیم برنامه‌های زمانی برای اجرای

سیاست‌های کلان انرژی، مدیریت مصرف سوخت، گردشگری و سایر سازمان‌های برنامه‌ریزی و مدیریت کشور به‌منظور کاهش مخاطرات موثر خواهد بود.

### روش تحقیق

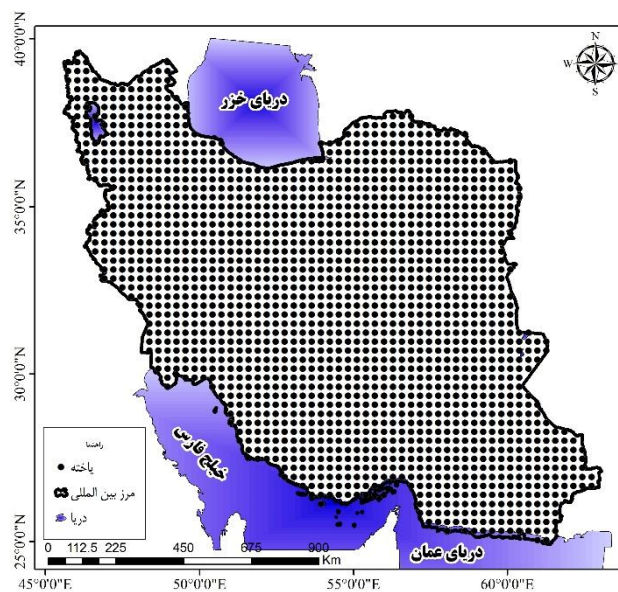
در این پژوهش به‌منظور واکاوی اثر گرمایش جهانی بر دماهای فرین سرد ایران از میانگین دمای روزانه پایگاه دادهٔ EH50M استفاده شد. EH50M یک مدل گردش کلی جو - اقیانوس<sup>۱</sup> است. این داده‌ها از سری پنجم مدل گردش عمومی جو با هستهٔ دینامیکی (ECHAM)، پروژهٔ اقلیمی T63 برای ۳۱ سطح جو تا نزدیک ۱۰ هکتوپاسکال موجود است که در مؤسسهٔ پلانک دانشگاه هامبورگ به‌صورت روزانه از تاریخ ۱۹۶۰/۰۱/۰۱ تا ۲۱۰۰/۱۲/۳۱ تحت سناریوی A1B پنل بین‌المللی تغییر اقلیم<sup>۲</sup> تولید شده‌اند [۲۲]. این سناریو بر این عقیده است که در آینده، از سوخت‌های فسیلی با حفظ تعادل استفاده می‌شود و همچنین در کنار آن از سوخت‌های غیرفسیلی استفاده می‌شود. در گام بعدی به‌منظور آشکارسازی بهتر مرز تغییرات نمایه‌های فرین اقلیمی کشور از مدل ریزمقیاس‌نمایی منطقه‌ای REGCM4 استفاده شد. داده‌های خروجی مدل ریزگردانی شده با ابعاد ۲۷×۲۷/۰۲۷. درجه قوسی که حدوداً یاخته‌هایی با ابعاد ۳۰×۳۰ کیلومتر ایران را پوشش می‌دهند به‌دست آمده است. بعد از شبیه‌سازی، داده‌های دمای هوای روزانه در دامنهٔ زمانی ۳۶ساله (۲۰۱۵-۲۰۵۰) توسط مدل استخراج شد. ابعاد یاخته‌ها ۲۱۴۰×۱۳۱۴۰ است. در این ماتریس سطرها (۱۳۱۴۰) نشان‌دهندهٔ زمان (ساعت، روز، سال) و ستون‌ها، یاخته‌های میان‌یابی شده با ابعاد ۳۰×۳۰ کیلومتر هستند. شکل ۱ موقعیت منطقهٔ تحقیق و یاخته‌های خروجی مدل را نشان می‌دهد.

برای شناسایی رخدادهای سرمای فرین از نمایهٔ انحراف به‌نچار شدهٔ دما بهره گرفته شد. این نمایه را فوجیبه و همکاران [۱۶] معرفی کرده‌اند. برای دستیابی به این نمایه، نخست باید میانگین بلندمدت دما برای هر یک از روزهای تقویمی سال محاسبه شود. میانگین بلندمدت دمای روزانهٔ دورهٔ مورد بررسی به‌کمک رابطهٔ ۱ به‌دست می‌آید [۹].

$$\overline{T_*(i, j)} = \sum_{n=2015}^{2050} T_*(i, j, n) / N \quad (1)$$

که در آن  $i$  روز،  $j$  ماه و  $n$  سال است. چنانکه گفته شد دورهٔ بررسی شده از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۵۰ است.

1. AOGCM  
2. International panel of climate change



شکل ۱. محدوده تحقیق

پس برای محاسبه میانگین بلندمدت دمای هر کدام از روزهای مورد نظر از مقادیر دمای مربوط به ۳۶ سال میانگین گرفته می‌شود. پس از محاسبه میانگین بلندمدت برای از بین بردن نوفه‌های موجود در میانگین دمای روزانه، میانگین متحرک نه‌روزه، سه بار روی این داده‌ها اعمال می‌شود. بعد از طی شدن این مراحل، انحراف دمای هر یک از ۱۳۱۴۰ روز مورد بررسی از میانگین بلندمدت همان روز به کمک رابطه ۲ محاسبه می‌شود [۹].

$$\Delta T_{*}(i, j, n) = T_{*}(i, j, n) - \overline{T_{*}(i, j)} \quad (2)$$

نماینده انحراف مطلق دمای هر روز برای هر محل (یاخته) نسبت به میانگین بلندمدت دمای همان روز در همان محل است و برحسب زمان و مکان متفاوت خواهد بود. بنابراین برای آنکه مقادیر انحراف دمای زمان‌های متفاوت در یک نقطه جغرافیایی و مکان‌های گوناگون در یک زمان معین با یکدیگر قابل مقایسه باشند، باید مقادیر مطلق انحراف دما به کمک پراش دما روی پنجره ۳۱ روزه برای هر روز تقویمی استاندارد شود [۹]. این کار به کمک رابطه ۳ انجام می‌گیرد و میانگین متحرک نه‌روزه، سه بار روی آن اعمال می‌شود تا نوفه‌ها از بین برود.

$$\overline{\sigma^2(i, j)} = \sum_{n=2015}^{2050} \sum_{j'=j-15}^{j+15} [\Delta T_{*}(i, j', n) - \overline{\Delta T(i, j)}]^2 / 31N \quad (3)$$

$$\overline{\Delta T_*(i, j)} = \sum_{n=2015}^{2050} \sum_{j'=j-15}^{j+15} \Delta T_*(i, j', n) / 31N \quad (4)$$

سرانجام نمایه تفاضل دمای بهنجار شده (*NTD*) به‌کمک رابطه ۵ محاسبه می‌شود.

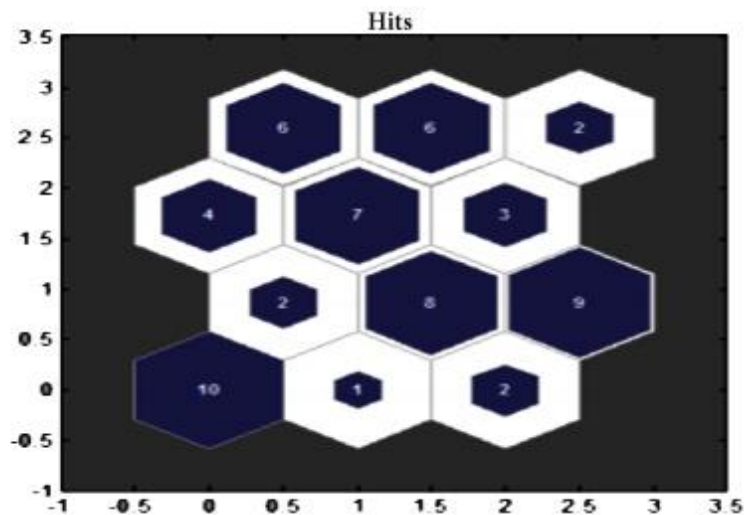
$$x_*(i, j, n) = \Delta T_*(i, j, n) / \overline{\sigma_*(i, j)} \quad (5)$$

که در آن  $\overline{\sigma_*(i, j)} = \sqrt{\sigma_*^2(i, j)}$  است.

این نمایه برای ۲۱۴۰ یاخته و روی هر یاخته برای ۱۳۱۴۰ روز محاسبه شد؛ سپس برای هر یک از ۱۳۱۴۰ روز بررسی شده میانگین مکانی نمایه روی ایران و درصد مساحتی از ایران استخراج شد.

#### خوشه‌بندی داده‌ها در شبکه عصبی با استفاده از SOM

از روش SOM برای خوشه‌بندی مجموعه‌هایی از LOها در گروه‌هایی با مفاهیم مشابه استفاده می‌شود. ۵۰۰ ورودی به‌عنوان نمونه‌های آموزشی شبکه انتخاب شدند. از آنجا که تعداد مفاهیم برابر ۱۰ است، شبکه ۱۰ نورون ورودی دارد. شبکه با اندازه‌های مختلف نقشه‌ها آموزش دیده شد تا بهترین نتیجه برای خوشه‌بندی حاصل شود [۱۳]. با استفاده از داده‌ها و آزمایش‌های مختلف، بهترین نتیجه برای نقشه با ابعاد ۴×۳ به‌دست آمد.



شکل ۲. خروجی حاصل از خوشه‌بندی‌ها با استفاده از روش SOM

از طریق شبکه عصبی، خوشه‌بندی داده‌ها اجرا شد. مراکز خوشه به صورت یک شبکه متصل به هم است، به این صورت که هر مرکز خوشه به همسایه‌های خود که اغلب ۹ خوشه همسایه اطراف آن است متصل است. ورودی‌های شبکه عصبی در این روش خوشه‌بندی به اندازه ابعاد داده‌ها (۲۱۴۰×۱۳۱۴۰) است. یعنی برای خوشه‌بندی نقاط دوعدی از دو ورودی و برای خوشه‌بندی رفتار دمای فرین مکان‌های جغرافیایی در این پژوهش ۵۰۰ ورودی به ازای زمان‌های مختلف نمونه‌برداری شده، استفاده شده است. تعداد دسته‌ها ۹ مرکز خوشه در نظر گرفته شده است که می‌توان شبکه‌ای از سه ردیف و سه ستون که مانند گراف همبند به یکدیگر متصل‌اند در نظر گرفت. هنگام آموزش این شبکه عصبی همه نمونه‌ها به شبکه نشان داده می‌شود و نزدیک‌ترین مرکز خوشه به هر نمونه انتخاب و همسایه‌های آن مرکز خوشه با درجه تأثیرپذیری کمتری انتخاب می‌شوند و به سمت نمونه نشان داده شده حرکت می‌کنند.

### نتایج و بحث

نتایج محاسبات برای دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۵۰ میلادی مبتنی بر پروتکل مدل EH50M که توسط مدل منطقه‌ای REGCM 4 ریزمقیاس شدند در شکل‌های ۳ تا ۱۴ ارائه شده‌اند. شاخص به‌دست آمده، ناهنجاری زیادی را طی دوره تحقیق نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در دهه‌های آینده سرماهای فرین در نیمه غربی و نوار ارتفاعی (کوهستان و کوهپایه) بیشتر از نواحی داخلی و سواحل جنوبی کشور قابل مشاهده است. اینک به برخی از ویژگی‌های نواحی فرین سرد ایران مبتنی بر نمایه تغییر اقلیمی در ماه‌های مختلف سال می‌پردازیم. همان‌طور که پیشتر عنوان شد ایران از نظر سرماهای فرین با استفاده از تحلیل خوشه‌ای به روش SOM در شبکه عصبی به ۹ ناحیه تقسیم شد؛ از این‌رو در ادامه تحلیل برای هر ناحیه جداگانه بیان می‌شود.

**ناحیه شمال غرب.** این ناحیه ۶ درصد از مساحت کشور را در بر گرفته است، بلندی‌های شهرکرد نیز از لحاظ بروز فرین‌های سرد در اکثر ماه‌های سال شبیه این ناحیه است در دهه‌های آتی بیشترین میزان سرماهای فرین این پهنه در ماه‌های ژوئن، آوریل، می، اکتبر و کمترین آن در ماه‌های ژانویه، نوامبر، سپتامبر و به‌ویژه مارس مشاهده می‌شود. آنچه از خروجی‌های مدل برآمده است نشان از بروز بیشینه ناهنجاری‌ها در فصل بهار و کمینه آن در فصل زمستان برای این ناحیه از کشور در دهه‌های آینده است.

**ناحیه نیمه شمالی زاگرس و نیمه غربی البرز.** این ناحیه نوار کوهستانی زاگرس مرکزی، شمالی، البرز مرکزی و غربی را با وسعت ۱۴ درصد شامل می‌شود. بیشینه میزان رخداد سرماهای فرین در ماه‌های آوریل، می، اوت، اکتبر و دسامبر، و کمینه رخداد سرماهای فرین در ماه‌های جون،



جولای و نوامبر مشاهده می‌شود که گویای سردی نسبی و انحراف ناهنجار دما در دهه‌های آینده در فصل‌های بهار و پاییز است.

**ناحیه زاگرس جنوبی.** این ناحیه شامل بخش‌هایی از کرمان، جنوب یزد و جنوب اصفهان است و حدود ۱۱ درصد از وسعت کشور را شامل می‌شود. در دهه‌های آینده کمینه رخداد سرمايش فرین در ماه‌های آوریل، اوت، اکتبر و مارس و بیشینه آن در نوامبر مشاهده خواهد شد. بروز ناهنجاری‌های دما در این ناحیه نسبت به نواحی کوهستانی دیگر کمتر است. بلندی‌های بیرجند نیز از لحاظ ویژگی‌های فرین سرد با این ناحیه همراستا است.

**ناحیه کوهستانی البرز، زاگرس شرقی و خراسان.** این بخش توده‌های کوهستانی البرز، زاگرس شرقی، نوار کوهستانی و کوهپایه‌ای خراسان مرکزی و شمالی را در بر می‌گیرد و گسترده‌ترین ناحیه در بین خوشه‌هاست که ۱۷ درصد از وسعت کشور را شامل می‌شود. بیشینه رخداد دماهای فرین در ماه‌های سپتامبر، ژانویه و مارس در کشور متعلق به این ناحیه است. بروز دماهای فرین سرد در ماه سپتامبر اثر زود هنگام پرفشار سیبری را بر این ناحیه در دهه‌های آینده نشان می‌دهد. همچنین به‌نظر می‌رسد بارش‌های بهاره این ناحیه و الگوهای جوی فصل بهار بر رخداد ناهنجاری دمایی این ناحیه مؤثر باشد. ناهنجاری دمایی این ناحیه به جز ماه می که به کمترین حد می‌رسد در بقیه ماه‌ها متعادل است.

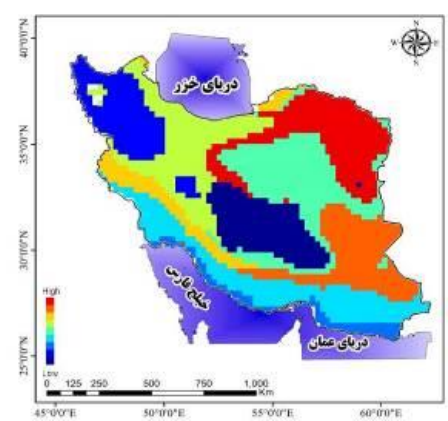
**ناحیه دشت کویر.** این بخش شامل دشت کویر، دشت ترکمن صحرا، کوهپایه‌های داخلی و باریکه مجاور نوار کوهستانی زاگرس جنوبی و در مجموع ۱۳/۵ درصد از مساحت ایران است. ناهنجاری منفی دما جز ماه نوامبر که زیاد است، در بقیه ماه‌های سال اندک است. بروز فرین سرد در دهه‌های آتی نشان از سرد شدن این ناحیه در ماه نوامبر دارد.

**ناحیه جنوب شرقی.** این ناحیه دشت لوت و استان سیستان و بلوچستان را شامل می‌شود و وسعت آن ۱۲ درصد از مساحت کشور است. بیشینه رخداد فرین سرد این ناحیه در ماه‌های اوت و مارس است. در واقع اثر بارش موسمی و توده‌های هوای موسمی ورودی به این منطقه در اواسط تابستان گویای ناهنجاری دمایی این پهنه در این ماه از سال است. بعد از جلگه‌ها و سواحل جنوبی، این ناحیه کمترین رخدادهای ناهنجاری دما را در ماه‌های سال داراست.

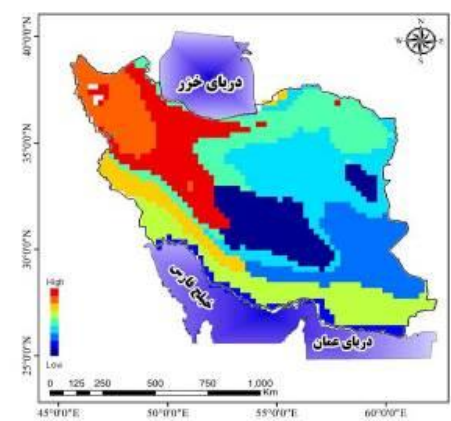
**ناحیه کوهپایه بیرونی.** این ناحیه باریکه کوهپایه‌های بیرونی زاگرس از شمال ایلام تا نوار جنوب غرب فارس را در بر می‌گیرد و ۴/۵ درصد از وسعت کشور را شامل می‌شود که در اکثر ماه‌های سال در دهه‌های آتی دارای ناهنجاری‌های منفی دما خواهد بود. بیشینه رخداد رویدادهای فرین سرد در این ناحیه در ماه‌های اوت، ژوئن و فوریه خواهد بود.

**ناحیه پس کرانه‌ای جنوب.** این بخش پهنه‌ای از خوزستان تا چابهار را دربر گرفته و شامل ۱۳ درصد از مساحت ایران است. ماه‌های ژولای، سپتامبر و نوامبر بیشینه رخداد سرمای فرین در این ناحیه حادث خواهد شد و کمینه آن نیز در ماه‌های فوریه و مارس خواهد بود. این ناحیه در ماه اوت با ناحیه ساحلی جنوب از لحاظ رخداد فرین‌های سرد در یک پهنه قرار می‌گیرد.

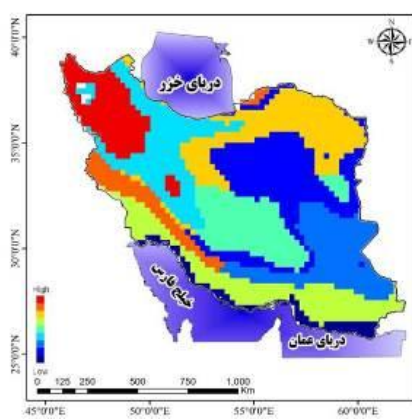
**ناحیه ساحلی جنوب:** این ناحیه ۸ درصد از وسعت کشور را به خود اختصاص داده است. اکثر ماه‌های سال رخداد گرمای فرین این ناحیه کم است و بیشترین رخداد فرین در ماه مارس است. این ناحیه کمترین ناهنجاری‌های دما را در کشور خواهد داشت.



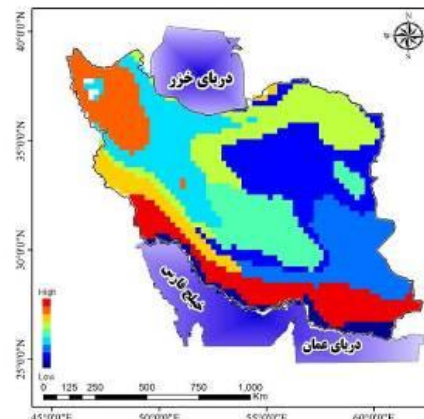
شکل ۴. پهنه‌بندی دمای فرین سرد ماه آوریل



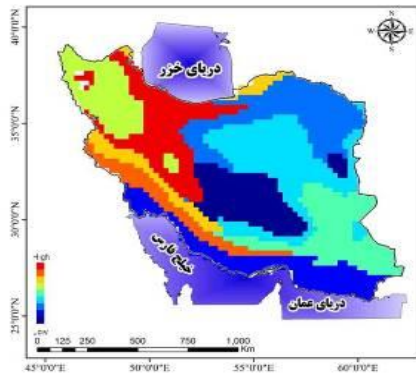
شکل ۵. پهنه‌بندی دمای فرین سرد ماه می



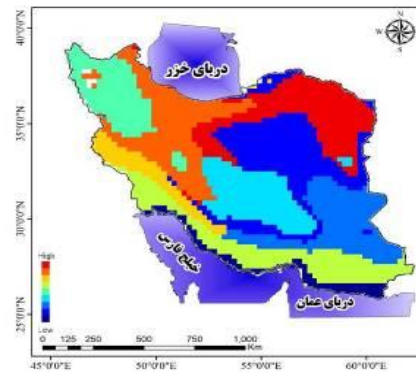
شکل ۶. پهنه‌بندی دمای فرین سرد ماه جون



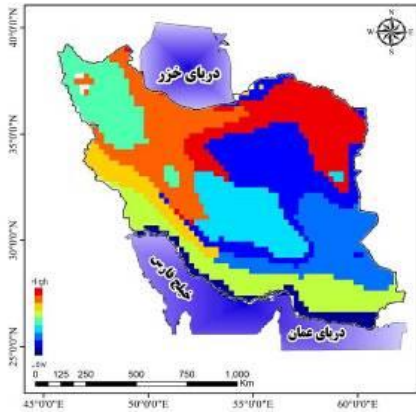
شکل ۷. پهنه‌بندی دمای فرین سرد ماه جولای



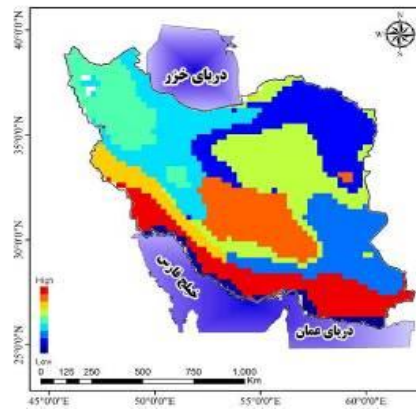
شکل ۸. پهنه‌بندی دمای فرین سرد ماه اوت



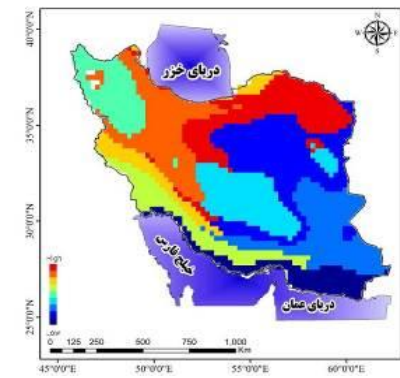
شکل ۷. پهنه‌بندی دمای فرین سرد ماه سپتامبر



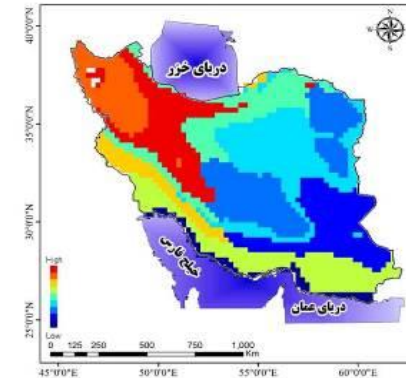
شکل ۱۰. پهنه‌بندی دمای فرین سرد ماه اکتبر



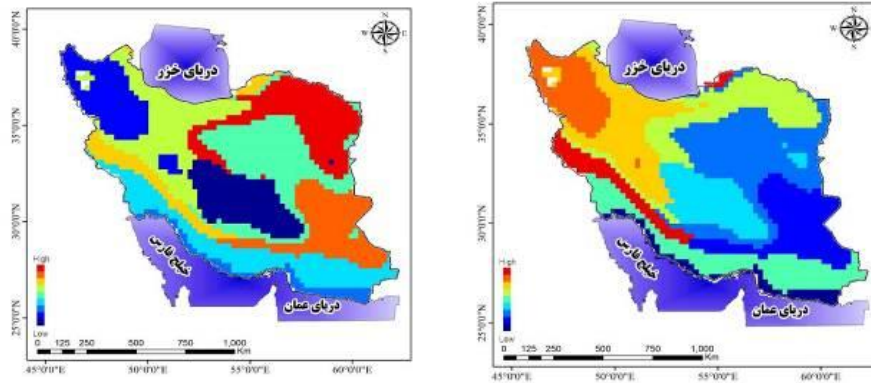
شکل ۹. پهنه‌بندی دمای فرین سرد ماه نوامبر



شکل ۱۲. پهنه‌بندی دمای فرین سرد ماه دسامبر



شکل ۱۱. پهنه‌بندی دمای فرین سرد ماه ژانویه



شکل ۱۳. پهنه‌بندی دمای فرین سرد ماه مارس / شکل ۱۴. پهنه‌بندی دمای فرین سرد ماه فوریه

### نتیجه‌گیری

تغییرات آب‌وهوایی و تشدید آن در دهه‌های اخیر از مشکلات چالش‌برانگیز مرتبط با مسائل طبیعی و انسانی است. درک ما از تأثیرات بشر بر محیط، به‌ویژه موارد مرتبط با گرم شدن ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای، نشان می‌دهد که تعدادی از پارامترها به احتمال زیاد در حال تغییرند که پیش‌بینی و آشکارسازی این تغییرات، در برنامه‌ریزی و مدیریت ریسک مخاطرات محیطی مؤثر خواهد بود. در این پژوهش نخستین بار در کشور به ارزیابی ناهنجاری‌های دماهای فرین سرد ایران مبتنی بر برون‌داد مدل EH5OM مؤسسه ماکس پلانک آلمان طی دوره آماری ۲۰۵۰-۲۰۱۵ میلادی تحت سناریوی AIB پرداخته شد. داده‌های دمای روزانه توسط مدل منطقه‌ای REGCM 4 ریزمقیاس شد. تحلیل خوشه‌ای با استفاده از روش SOI شبکه عصبی در محیط MATLAB بر روی روزهای فرین سرد نشان داد که ایران را می‌توان برحسب این فراسنج به ۹ پهنه تقسیم کرد. نتایج نشان داد که در دهه‌های آینده بیشینه رخداد دماهای فرین سرد ایران در نوار شمال غرب کشور و در ماه‌های سرد سال خواهد بود که در این پهنه به جز ماه‌های جون، جولای و نوامبر، در بقیه ماه‌های سال سرماهای فرین بیشترین حد را به نسبت نقاط دیگر کشور دارا خواهد بود؛ کمینه رخداد سرمای فرین در ناحیه دشت کویر، جلگه‌ها و سواحل جنوبی رخ خواهد بود. علت بیشینه بودن فرین‌های سرد در دهه‌های آینده در نوار سرد کشور، تغییرات و انحرافات دمایی بیشتر این نقاط نسبت به نواحی گرم کشور است. بیشینه ماه‌های بروز رخداد فرین سرد در کشور به‌ترتیب در اوت، نوامبر و مارس خواهد بود. نکته شایان توجه تفاوت زمانی بروز رخداد انحرافات دمایی در نواحی گرم و سرد کشور است؛ به‌گونه‌ای که در نواحی گرم کشور

در ماه‌های بهار و تابستان و در نقاط سرد کشور در ماه‌های پاییز و زمستان این انحرافات بروز خواهد کرد. بنابراین با توجه به این نتایج می‌توان ابراز داشت که سناریوی حاضر بیان‌کننده بروز سرماهای غیرمعمول در نوار سرد و کوهستانی شمال غرب کشور و حتی خسارت‌های مالی و جانی در دهه‌های آتی در ماه‌های سرد سال در این پهنه از کشور خواهد بود.

### منابع

- [۱]. احمدی، محمود؛ لشکری، حسن؛ کیخسروی، قاسم؛ آزادی، مجید (۱۳۹۳). تحلیل شاخص‌های حدی دما در آشکارسازی تغییر اقلیم خراسان بزرگ. جغرافیا (فصلنامه علمی - پژوهشی و بین‌المللی انجمن جغرافیای ایران)، دوره جدید، سال سیزدهم، شماره ۴: ۲۱-۲۰.
- [۲]. اسماعیلی، رضا؛ فلاح قالهری، غلامعباس؛ حبیبی نوخندان، مجید (۱۳۸۹). ارزیابی تغییرات طول دوره رشد و طول دوره یخبندان بر اثر تغییرات اقلیمی. پژوهش‌های جغرافیایی، دانشگاه تهران شماره ۶۹، پاییز ۱۳۸۹.
- [۳]. رحیم‌زاده، فاطمه، عسگری، احمد؛ فتاحی، ابراهیم؛ محمدیان، نوشین؛ پورافسانه، تقی (۱۳۹۳). روند نمایه‌های حدی اقلیمی دما در ایران طی دوره ۲۰۰۳-۱۹۵۱، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۹۳: ۱۴۴-۱۱۹.
- [۴]. روشن، غلامرضا؛ خوش اخلاق، فرامرز؛ عزیزی، قاسم (۱۳۹۰). آزمون مدل مناسب گردش عمومی جو برای پیشیابی مقادیر دما و بارش ایران تحت شرایط گرمایش جهانی. مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۱۰، شماره ۲۷: ۳۶-۱۹.
- [۵]. عرفانیان، مریم؛ انصاری، حسین؛ علیزاده، امین؛ بنایان، محمد (۱۳۹۳). بررسی تغییرات شاخص‌های حدی هواشناسی در استان خراسان رضوی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۴، جلد ۸: ۸۲۵-۸۱۷.
- [۶]. علیجانی، بهلول؛ فرج زاده، حسن (۱۳۹۲). تحلیل روند شاخص‌های دمای فرین در شمال ایران. نشریه علمی - پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۹، شماره ۵۲: ۲۴-۲۳.
- [۷]. محمدی، حسین؛ خوش اخلاق، فرامرز؛ حیدری، محمدمبین؛ غیاث الحسینی، مرضیه (۱۳۹۲). واکاوی و پیشیابی اثر گرمایش جهانی بر مؤلفه‌های فرین آب‌وهوایی آبادان. کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی، سال دوم، شماره ۳: ۲۰۵-۲۳۴.
- [۸]. محمدیاریان، محترم؛ مفیدی، عباس؛ حسین‌زاد، سیدرضا (۱۳۹۲). پهنه‌بندی مخاطرات دمایی در شمال شرق ایران. نخستین کنفرانس ملی آب‌وهواشناسی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری کرمان، اردیبهشت ۱۳۹۲: ۱۳-۱.

- [۹]. مسعودیان، سید ابوالفضل؛ دارند، محمد (۱۳۹۰). شناسایی و پهنه‌بندی دمای فرین سرد ایران. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال اول شماره ۲: ۴۳-۵۴.
- [۱۰]. مسعودیان، سید ابوالفضل؛ علیجانی، بهلول؛ ابراهیمی، رضا (۱۳۹۱). واکاوی میانگین مجموع درجه/روز نیاز (گرمایش و سرمایش) در قلمرو ایران. پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۱: ۲۳-۳۶.
- [۱۱]. مسعودیان، سید ابوالفضل؛ دارند، محمد (۱۳۹۲). شناسایی و بررسی تغییرات نمایه‌های بارش فرین ایران طی دهه‌های اخیر. جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره ۲۰: ۲۳۹-۲۵۸.
- [۱۲]. مسعودیان، سید ابوالفضل؛ زینالی، حمید؛ حجتی‌زاده، رحیم (۱۳۸۷). نواحی دمایی ایران. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۸۹: ۱۸-۳.
- [13]. Baylari, A., & Montazer, G. A. (2009). Design a personalized e-learning system based on item response theory and artificial neural network approach. *Expert Systems with Applications*, 36(4), 8013-8021.
- [14]. Cahynová, M., & Huth, R. (2009). Changes of atmospheric circulation in central Europe and their influence on climatic trends in the Czech Republic. *Theoretical and applied climatology*, 96(1-2), 57-68.
- [15]. Christidis, N., Stott, P. A., Brown, S., Hegerl, G. C., & Caesar, J. (2005). Detection of changes in temperature extremes during the second half of the 20th century. *Geophysical Research Letters*, 32(20).
- [16]. Fujibe, F., Yamazaki, N., Kobayashi, K., & Nakamigawa, H. (2007). Long-term changes of temperature extremes and day-to-day variability in Japan, papers in Meteorology and Geophysics.
- [17]. IPCC. (2007). Change, I. P. O. C. Fourth assessment report. *IPCC, Ge.*
- [18]. Krishna, L. V. (2014). Long term temperature trends in four different climatic zones of Saudi Arabia. *International Journal of Applied*, 4(5).
- [19]. Quante, M. (2010). The changing climate: past, present, future. In *Relict Species* (pp. 9-56). Springer Berlin Heidelberg.
- [20]. Reiss, R. D., Thomas, M., & Reiss, R. D. (2007). *Statistical analysis of extreme values* (Vol. 2). Basel: Birkhäuser.
- [21]. Rensch (2009). A tracking climatology for heat wave in southern, Australia University of Melbourne, Melbourne, Australia.vol.9, pp.20-34.
- [22]. Roeckner, E., Brokopf, R., Esch, M., Giorgetta, M., Hagemann, S., Kornbluh, L., & Schulzweida, U. (2006). Sensitivity of simulated climate to horizontal and vertical resolution in the ECHAM5 atmosphere model. *Journal of Climate*, 19(16), 3771-3791.
- [23]. Schwalm, C. R., Huntzger, D. N., Michalak, A. M., Fisher, J. B., Kimball, J. S., Mueller, B., ... & Zhang, Y. (2013). Sensitivity of inferred climate model skill to evaluation decisions: a case study using CMIP5 evapotranspiration. *Environmental Research Letters*, 8(2), 024028.

- [24]. Stephenson, D. B., Pavan, V., Collins, M., Junge, M. M., & Quadrelli, R. (2006). North Atlantic Oscillation response to transient greenhouse gas forcing and the impact on European winter climate: a CMIP2 multi-model assessment. *Climate Dynamics*, 27(4), 401-420.
- [25]. Zhang, S., Zhang, D., Wang, S., & Song, Y. (2006). Climatic characteristics of summer high temperature and assessment methods in the large cities of North China. *Journal of Geographical Sciences*, 16(1), 13-22.
- [26]. Zhao, C., Wang, W., & Xing, W. (2012). Regional analysis of extreme temperature indices for the Haihe river basin from 1960 to 2009. *Procedia Engineering*, 28, 604-607.