

# بررسی دمای سطح زمین و روند آن در ایران طی فصل زمستان مبتنی برونداد پروژه CORDEX

محمود احمدی\*

گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

(پژوهشی)

پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۲/۱۸ تأیید نهایی مقاله: ۱۴۰۱/۹/۲۹

## چکیده

دمای سطح زمین (LST) متغیری مهم در مطالعات محیطی و مدل‌های هیدرولوژیکی است. هدف از این پژوهش، بررسی تغییرات زمانی-مکانی، روند و شیب روند دمای سطح زمین طی دوره سرد سال در ایران است. برای این منظور پس از بررسی مدل‌های در دسترس با استفاده از پروژه CORDEX در منطقه WAS با تفکیک افقی ۰/۴۴ درجه قوسی با در نظر گرفتن دو سنجه آماری ضریب تعیین و اریبی، مدل NOAA-GFDL-ESM2M به عنوان مدل کارا برای بررسی دمای سطح زمین ایران طی دوره تاریخی (۱۹۷۵-۲۰۰۵) انتخاب شد. برای بررسی روند و شیب روند داده‌ها، به ترتیب از دو آزمون ناپارامتریک من-کندال و سنس استفاده شد. نتایج نشان داد، دمای سطح زمین تحت‌تاثیر توپوگرافی و عرض جغرافیایی است. نواحی شمال غربی ایران از عرض جغرافیایی ۳۴ تا حدود ۴۰ درجه شمالی در دوره مورد مطالعه، کمینه دمای سطح زمین را دارند و نواحی ساحلی خلیج فارس و دریای عمان بیشینه دمای سطح را طی فصل زمستان نشان دادند. آزمون ناپارامتریک من کندال با سطح اطمینان ۵٪ نشان داد دمای سطح زمین در ماه ژانویه در کرانه‌های ساحلی خلیج فارس در حوالی مناطق غربی استان هرمزگان و استان ایلام دارای روند افزایشی معنی‌دار است. روند دمای سطح زمین ایران در ماه فوریه در نواحی شمال غربی، غرب و جنوب غربی ایران کاهش یافته است. شیب روند در نواحی داخلی حوالی دشت کویر و چاله جازموریان ۰/۱ درجه سلسیوس برآورد شد. به‌طور کلی دمای سطح زمین به ازای هر سال در متوسط کشور بین ۰/۱۷ تا ۰/۱۹ درجه سلسیوس افزایش پیدا کرده است.

**واژه‌های کلیدی:** ایران، پروژه مقیاس کاهی شده CORDEX، دمای سطح زمین (LST)، روند دمای سطح زمین.

## مقدمه

دما یکی از مهم‌ترین متغیرهای اقلیمی است که تغییرپذیری آن می‌تواند ساختار اقلیمی هر منطقه را دگرگون سازد و این تغییرپذیری تأثیرات معناداری بر محیط زیست دارد، به گونه‌ای که می‌توان به نقش آن در یخبندان، ذوب برف، رشد گیاه، گل‌دهی گیاهان و برداشت محصول، تغییر شکل ازت خاک (Reiter et al, 2015) اشاره کرد. شاخص‌های بسیاری را می‌توان از دما به دست آورد که بی‌هنجاری یکی از آنها است. بی‌هنجاری مثبت نشانگر آن است که دمای مشاهده شده گرم‌تر از مقدار دمای مرجع است. بی‌هنجاری دما یک ابزار تشخیص اقلیمی در مقیاس جهانی است و نمایی کلی از میانگین دمای جهانی را در مقایسه با مقدار دمای مرجع فراهم می‌کند. سیل، طوفان، خشکسالی و از این قبیل پدیده‌ها، در نوسان‌های اقلیمی و مخصوصاً تشدید ناهنجاری‌های دمایی کره زمین ریشه دارند (قوبدل رحیمی و همکاران، ۱۳۹۲). بی‌هنجاری اقلیمی جهانی در حال حاضر موضوعی است که از نظر علمی و عمومی مورد توجه قرار گرفته است و پیامدهای بالقوه‌ای برای سامانه‌های اکولوژیکی زمین و سیاست‌های حاکم بر اقتصاد جهانی دارد (Norden et al, 2019) با روند افزایشی دما در سال‌های اخیر به علت پدیده گرمایش جهانی شاهد افزایش رخداد و شدت بی‌هنجاری‌های دمایی هستیم که بر کشاورزی، منابع آب، تقاضای انرژی و مرگ‌ومیر انسان‌ها تأثیرگذار بوده است (شاهکویی و همکاران، ۱۳۹۴). در مطالعات مرتبط با دما، ضروری است تا دمای سطح زمین (LST) و روند آن به‌طور دقیق مورد مطالعه قرار گیرد، تا بتوان نسبت به برنامه‌های آتی گامی مناسب برداشت. الگوهای ناسازگار، اغلب به‌عنوان بی‌هنجاری، مشاهدات متضاد، استثناء، انحرافات و ... در حوزه‌های کاربردی مختلف اشاره دارند.

اهمیت تشخیص بی‌هنجاری‌ها به دلیل این واقعیت است که بی‌هنجاری‌ها در داده‌ها به اطلاعات قابل توجه (اغلب بحرانی) در حوزه‌های گسترده از برنامه‌های کاربردی تبدیل می‌شوند (Chandola et al, 2009). بی‌هنجاری دمایی به‌ویژه در دوره سرد سال، می‌تواند آثار مخربی بر محصولات کشاورزی، از بین رفتن حیات گیاهی و جانوری، بوم‌شناسی، تأسیسات و سازه‌ها و امنیت غذایی و غیره داشته باشد. از این رو مطالعه و پژوهش در زمینه دما و تغییرات آن به خصوص در دوره‌های سرد سال، به بحثی مهم تبدیل شده است. توزیع زمانی-مکانی نامناسب ایستگاه‌های هواشناسی و نقص ابزار اندازه‌گیری به خصوص در شرایط سطح زمین چالشی اساسی برای دمای سطح زمین است. با توسعه ماهواره‌های سنجش از دور و مدل‌های عددی می‌توان ادعان داشت که این مشکل تا حدودی برطرف گردید. ماهواره‌های سنجش از دور پوشش جهانی بی‌سابقه‌ای از پارامترهای سطح همچون دمای سطح زمین، پوشش گیاهی، تبخیر و تعریق و ... را در اختیار ما قرار می‌دهند (Zhu et al, 2013). همگام با توسعه فناوری سنجش از دور، مدل‌های عددی بسیاری نیز در مطالعات مرتبط با علوم جوی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. بر این اساس کاربرست مدل‌های عددی با داده‌های ماهواره‌ای روزآمد می‌تواند گامی سازنده برای مطالعات مربوط به تغییر اقلیم باشد. در این راستا می‌توان به تحقیقات زیر اشاره نمود. دای و همکاران (Dai et al, 2015) به مدل‌سازی تغییرات دهه‌ای دمای سطح زمین به‌منظور آشکارسازی تغییرپذیری اقلیم پرداختند. آن‌ها افزایش مداوم گازهای گلخانه‌ای (GHG) را به‌عنوان یک عامل اساسی در افزایش دمای سطح زمین دانسته‌اند. هرچند وقفه‌هایی در افزایش دمای سطح زمین در سطح جهانی دیده می‌شود اما از سال ۲۰۰۰ به بعد

به ارزیابی آن پرداختند. در این تحقیق از دو روش مقیاس گاهی آماری SDSM و MarkSimGCM و روش مقیاس گاهی دینامیکی CORDEX برای شبیه‌سازی دمای کمینه و بیشینه ایران تحت مدل‌های CanESM2، GFDL-ESM2M و MPI-ESM-LR استفاده شد. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که بیشینه تغییرات افزایشی دمای کمینه و بیشینه ایران طی دوره ۲۰۷۱ تا ۲۱۰۰ تحت سناریو RCP8.5 اتفاق می‌افتد. کارایی مدل HadGEM2-ES در ارزیابی بی‌هنجاری فصلی دمای ایران تحت سناریوهای واداشت تابشی با استفاده از روش CORDEX توسط احمدی و همکاران (۱۳۹۸) مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد؛ بی‌هنجاری فصلی در تمام فصول، سناریوها و دوره‌های زمانی مورد مطالعه مثبت و فصل زمستان بیشینه بی‌هنجاری دما را در بین فصول نشان داد که یک تهدید بزرگ برای منابع آب کشور تلقی می‌شود. بیشینه نابهنجاری فصلی دمای ایران در فصول زمستان و بهار منطبق بر ارتفاعات و عرض‌های جغرافیایی بالاست که شمال غرب به‌عنوان کانون بی‌هنجاری شناخته شد. ایران کشوری خشک و کم آب است که بخش قابل توجهی از آب این کشور از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود. افزایش دمای سطح زمین باعث افزایش تبخیر و تعرق از سطح، کاهش سطح و عمق برف، تغییر فنولوژی محصول و در نهایت یک تهدید جدی برای امنیت غذایی در کشور خواهد بود. تاکنون پژوهشی در رابطه با توانمندی مدل‌های دینامیکی در ایران برای بررسی متغیر دمای سطح صورت نگرفته و تمامی این دست از مطالعات دمای هوا را کانون توجه خود قرار دادند. هدف اصلی از این پژوهش بررسی پراکنش فضایی دمای سطح زمین و روند آن در ایران با کاربست

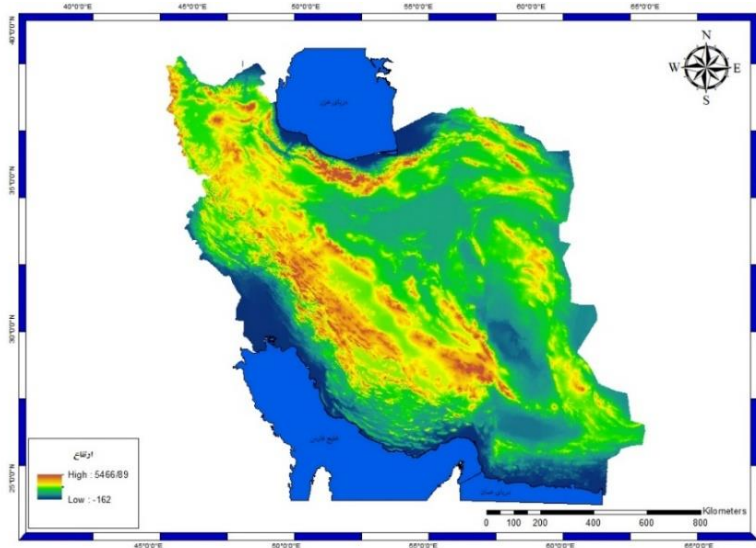
روند دمای سطح زمین سراسر افزایشی بوده است. تغییرات دهه‌ای دمای سطح زمین جهانی توسط ژو و همکاران (Zhou et al, 2018) با استفاده از مجموعه مدل‌های CMIP5 مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد دمای سطح زمین در سطح جهانی از ۱۸۶۰ تا ۲۰۱۴ شش مرحله را پشت سر گذاشته است. به غیر از دهه اول ۱۹۰۰ که یک مرحله سرمایشی در دمای سطح زمین دیده شد در سایر دهه‌ها این روند افزایشی بوده است. مشخصه‌های دمای هوا و سطح زمین با استفاده از شبیه‌سازی‌های تاریخی و آینده ۳۲ مدل CMIP5، در آمریکای شمالی توسط گارسیا و همکاران (García et al, 2019) مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد دمای سطح زمین ارتباط تنگاتنگی با الگوهای جوی دارد همچنین آن‌ها نشان دادند دمای سطح زمین در آمریکای شمالی روندی افزایشی داشته است. در ایران نیز کامیار و همکاران (۱۳۹۷) دقت خروجی مدل‌های منطقه‌ای اقلیمی در ایران را ارزیابی کرده‌اند که نتایج آن‌ها نشان داد مدل‌های HadRM3P و RegCM4.1 برآورد نسبتاً بهتری از دمای بیشینه و کمینه دارند. دمای بیشینه ۷ ایستگاه ایران با استفاده از دو مدل HADCM3 و CGCM3 و روش ریزمقیاس نمایی SDSM مبتنی بر گزارش چهارم IPCC (AR4) توسط عباس‌نیا و همکاران (۲۰۱۶) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد، حداکثر دما در آینده افزایش خواهد داشت و این افزایش دما برای مدل HADCM3 شدیدتر خواهد بود. همچنین حداکثر دمای ایران در اواسط و پایان قرن بیست یکم بین ۰/۵ تا ۳/۵ درجه سلسیوس نسبت به دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۱۰) افزایش خواهد داشت. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر دمای بیشینه و کمینه ایران پژوهشی است که فلاح قاهره و همکاران (۲۰۱۹)

دوره سرد با هوای بسیار سرد و خشکی بر روی کشور پدید می‌آورد (مسعودیان و همکاران، ۱۳۸۶). کم‌فشار گنگ در اوایل اردیبهشت شکل می‌گیرد و اوج فعالیت آن مربوط به اول تیرماه است. در دوره سرد سال با پیش روی بادهای غربی راه برای ورود سامانه‌های بارش زا باز و شرایط ناپایداری را در ایران فراهم می‌شود (مسعودیان و همکاران، ۱۳۸۶). اساساً دما در ایران از غرب به شرق و از شمال به جنوب افزایش پیدا می‌کند.

پروژه مقیاس کاهی شده CORDEX در ایران است.

### منطقه مورد مطالعه

ایران با مساحت حدود ۱۶۴۸۰۰۰ کیلومترمربع در جنوب غربی آسیا قرار گرفته است. میانگین ارتفاع آن از سطح آب‌های آزاد تقریباً ۱۳۰۰ متر است. وجود ناهمواری‌های متنوع سبب شده که ایران اقلیم‌های متنوعی را داشته باشد. پرفشار سیبری به‌عنوان یک عامل بیرونی نقش دمایی مهمی را در



شکل ۱: نقشه پراکندگی ارتفاعات ایران

فارس ۳ ایستگاه نماینده، از اقلیم کوهپایه‌های شرقی ۷ ایستگاه نماینده، از اقلیم فلات شرقی ۸ ایستگاه و اقلیم کرانه‌های عمان ۴ ایستگاه نماینده انتخاب شد.

ب- پروژه مقیاس کاهی شده دینامیکی مبتنی

اقدام هماهنگ مقیاس کاهی منطقه‌ای

(CORDEX)

طی سال‌های اخیر پژوهشگران اقلیمی از مدل‌های اقلیم منطقه‌ای مختلف به منظور تولید مجموعه چندگانه از داده‌های مقیاس کاهی شده پروژه CMIP5 توسط WCRP<sup>۱</sup> در اقدامی هماهنگ با

### مواد و روش‌ها

#### الف- ایستگاه‌های هواشناسی همدید

داده‌های هواشناسی همدید برای متغیرهای دمای سطحی برای ۴۵ ایستگاه طی دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۷۵ اخذ گردید. در انتخاب ایستگاه‌ها افزون بر لحاظ نمودن مناطق اقلیمی گوناگون کشور سعی شد تا از هر استان یک ایستگاه انتخاب شود. از اقلیم کرانه‌های خزری ۵ ایستگاه نماینده، از اقلیم دامنه‌های شمالی البرز ۲ ایستگاه نماینده، از اقلیم بلندی‌ها ۱۳ ایستگاه نماینده، از اقلیم کوهپایه‌های غربی ۳ ایستگاه نماینده، از اقلیم کرانه‌های خلیج

داده‌های ایستگاهی مورد بررسی قرار گرفتند. بررسی اولیه دو سنجه اریبی و همبستگی بین مدل‌های NOAA-GFDL، HadGEM2-CC، MIROC-ESM و ESM2M نشان داد که مدل NOAA-GFDL-ESM2M برای متوسط پهنه‌ای کشور با مقدار اریبی ۱/۱۲ درجه سلسیوس و ضریب تعیین ۰/۹۳ بالاترین کارایی را از بین مدل‌های مورد بررسی دارد که بر این اساس از نتایج مدل برای بررسی تغییرات زمانی- مکانی و روند دمای سطح زمین (LST) استفاده شده است.

### ج- بررسی روند و شیب روند

برای بررسی روند دمای سطح زمین و شیب روند آن در ایران از آزمون ناپارامتریک من-کندال (Mann, Kendall, 1945) و سپس توسط کندال<sup>۳</sup> (Kendall, 1975) تکامل یافت. این روش نیز همانند آزمون شیب خط Sen's<sup>۴</sup> در مباحث علوم محیطی به‌طور گسترده‌ای کاربرد دارد (داداشی رودباری و همکاران، ۱۳۹۴). در آزمون Mann-Kendall نمره Z از رابطه ۱ محاسبه می‌گردد.

رابطه (۱)

$$Z = \begin{cases} x = \frac{S-1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } S > 0 \\ x = \frac{S+1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } S < 0 \\ \text{if } S = 0 \end{cases}$$

S نشانه تفاوت مقادیر با یکدیگر و  $\text{VAR}(s)$  واریانس S می‌باشد:

رابطه (۲)

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_j^n = k + \text{sgn}(x_j - x_k)$$

رابطه (۳)

$$\text{VAR}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \beta}{18}$$

در این رابطه n تعداد مشاهدات سری،  $x_j$  و  $x_k$  به ترتیب داده‌های j ام و k ام سری هستند،  $\text{sgn}$  تابع علامت و  $\beta$  عامل مربوط به تصحیح پراش است. اگر داده‌های تکراری در اطلاعات وجود داشته باشد از رابطه ۴ استفاده می‌شود.

انجمن بین‌المللی مقیاس کاهی منطقه‌ای<sup>۲</sup> (CORDEX) با هدف پیش‌نگری تغییر اقلیم به‌عنوان ورودی مطالعات پیامدهای تغییر اقلیم و راهکارهای سازگاری با آن ایجاد گردید (Giorgi et al, 2009). هدف اصلی این پژوه بین‌المللی به منظور درک بهتر پدیده‌های محلی و منطقه‌ای اقلیم و بهبود کارایی مدل‌ها و روش‌های مقیاس کاهی است. همان‌طور که توضیح داده شد در این پژوهش از RCM های تولید شده توسط اقدام هماهنگ مقیاس کاهی منطقه‌ای (CORDEX) استفاده شد. در این راستا از پیشنهادات گزارش پنجم هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم (IPCC) در خصوص استفاده از داده‌های کنترل کیفی شده و کاربست خروجی مدل‌های گزارش پنجم کارگروه هماهنگ‌کننده مدل‌های جفت شده اقلیمی و جدیدترین سناریوهای تغییر اقلیم بر مبنای خط سیر انتشار گازهای گلخانه‌ای (RCPs) و در نهایت پس پردازش خروجی داده‌های مقیاس کاهی شده به منظور کاهش حداکثری عدم قطعیت استفاده شده است. مجموعه مدل‌های CORDEX در یک شبکه استاندارد، دامنه‌های ثابت و فرمت‌های گوناگون در اختیار پژوهشگران قرار گرفته‌اند که امکان مقایسه مستقیم نتایج خروجی‌های مختلف را فراهم می‌آورد (Nikulin et al, 2012). در این چارچوب از سناریوهای خط سیر انتشار گازهای گلخانه‌ای (RCPs) RCP4.5 و RCP8.5 انتخاب شدند، چراکه این دو سناریو برای تحقیق بیشتر در زمینه آسیب‌پذیری‌های ناشی از تغییرات آب‌وهوایی و پاسخ‌های بعدی تغییرات آب‌وهوایی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Warnatzsch and Reay, 2019). در تحقیق حاضر از داده‌های محدوده CORDEX-WAS با قدرت تفکیک مکانی ۰/۴۴ درجه قوسی که ایران را نیز پوشش می‌دهد استفاده شد. سپس خروجی‌های GCM های منتخب جهت ارزیابی با

رابطه ۴)

$$\beta = \sum_{t=1}^m t(t-1)(2t-5)$$

در این رابطه  $t$  تعداد داده‌های مشاهده شده و  $m$  بیانگر تعداد سری‌های زمانی است که در آن‌ها حداقل یک داده‌های تکراری وجود دارد. جهت برآورد شیب روند در سری زمانی فرین‌های سرد ایران از روش ناپارامتریک Sen's استفاده شده است. این روش نیز ابتدا توسط (Thiel, 1950) ارائه سپس (Sen, 1968) بسط و گسترش داده شد. روش حاضر همانند بسیاری دیگر از روش‌های ناپارامتریک همچون Mann-Kendall بر تحلیل تفاوت بین مشاهدات سری زمانی استوار است (داداشی رودباری و همکاران، ۱۳۹۴). این روش زمانی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد که روند موجود در سری زمانی یک‌روند خطی باشد. این بدین معناست که  $f(t)$  در معادله رابطه ۵ برابر است با:

رابطه ۵)

$$f(t) = Qt + B$$

که  $Q$ ، شیب خط روند و  $B$ ، مقدار ثابت است. جهت محاسبه شیب خط روند یعنی  $Q$ ، ابتدا بایستی شیب بین هر جفت داده مشاهداتی، با استفاده از معادله رابطه ۶ محاسبه گردد:

رابطه ۶)

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k}$$

در این معادله  $x_k$  و  $x_j$  به ترتیب داده‌های مشاهداتی در زمان‌های  $k$  و  $j$  است و  $k > j$  است با اعمال این رابطه برای هر جفت از داده‌ها ما یک شیب خواهیم داشت و با قرار دادن این‌ها در کنار هم یک سری زمانی از شیب‌های محاسبه شده به دست می‌آید. میانه این  $N$  مقدار از  $Q_i$  تخمین شیب سن است. اگر  $n$  مقدار  $x_j$  در سری زمانی وجود داشته باشد به مقدار رابطه ۷ برآوردهای  $Q_i$  شیب را خواهیم داشت.

رابطه ۷)

$$N = \frac{n(n-1)}{2}$$

در ادامه باید میانه سری زمانی مورد مطالعه را به دست آوریم بدین منظور از کوچک به بزرگ  $N$  تعدادی از  $Q_i$  (مرتب‌سازی شده و سپس اقدام به تعیین میانه سری زمانی از طریق معادلات روابط ۸ و ۹ می‌کنیم و با توجه به این که تعداد مشاهدات سری زمانی فرد باشد از معادله رابطه ۸ و اگر زوج باشد از معادله رابطه ۹ بایستی استفاده شود (محمودی و همکاران، ۱۳۹۱).

رابطه ۸)

$$Q = \left[ \frac{N+1}{2} \right] Q$$

رابطه ۹)

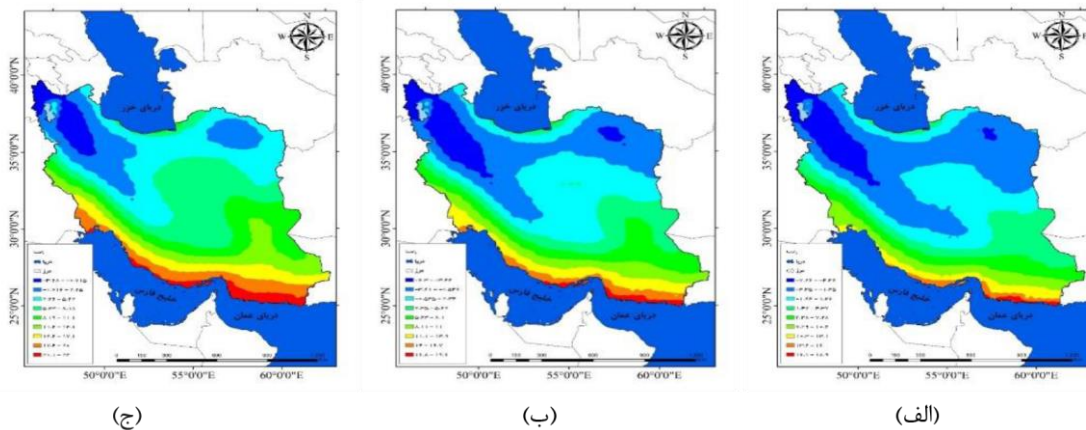
$$Q = \frac{1}{2} \left( \left[ \frac{N}{2} \right] Q + \left[ \frac{(N+2)}{2} \right] Q \right)$$

### بحث و نتایج

تغییرات دمای سطح زمین ایران طی دوره تاریخی NOAA- (۱۹۷۵-۲۰۰۵) با استفاده از مدل GFDL-ESM2M برای ماه ژانویه در شکل ۲ الف نشان داده شد. کمینه دما در نواحی مرتفع و کوهستانی ایران از جمله؛ رشته کوه‌های البرز و زاگرس، نواحی شمال غربی و شرقی دیده می‌شود. دلیل این امر را می‌توان به موقعیت فصلی این ماه نسبت داد زیرا در این ماه با انقلاب زمستانی کمینه دما رخ می‌دهد. با فاصله گرفتن از این نواحی هر چقدر که به سمت جنوب ایران پیش می‌رویم به میزان دمای سطح زمین افزوده می‌شود تا جایی که در سواحل دریای عمان و خلیج فارس به بیشترین میزان خود می‌رسد، البته این افزایش بیشتر به کرانه‌های ساحلی دریای عمان مربوط می‌شود. دمای سطح زمین در این ماه بین  $(-7/2)$  تا  $18/9$  درجه سلسیوس برآورد شده است. استان‌های جنوبی کشور در ماه ژانویه از شرایط دمایی مناسبی نسبت به دیگر مناطق کشور برخوردارند. در شکل ۲ ب دمای سطح زمین ایران برای ماه فوریه براساس

نواحی شمال غربی کشور دمای سطح زمین به کمترین مقدار ( $۳/۶۸-$  درجه سلسیوس) رسیده است. به‌طور کلی کانون اصلی کمینه دمای سطح زمین در فصل سرد سال در مناطق شمال غربی کشور وجود دارد. استان‌های حاشیه ساحلی خلیج فارس و دریای عمان از جمله مناطقی هستند که بیشینه دمای سطح را به خود اختصاص داده‌اند، با گذر از عرض‌های پایین به عرض‌های بالا به تدریج دمای سطح زمین کاهش پیدا کرده و کمینه دما در قسمت‌های شمال غربی نمایان شده است.

برونداد مقیاس کاهی شده مدل NOAA-GFDL-ESM2M با پروژه نشان داده شد. دما طی دوره آماری موردنظر از  $۶/۳-$  تا  $۱۹/۶$  درجه سلسیوس در نوسان است. بیشینه دمای سطح زمین شامل سواحل جنوبی به‌ویژه سواحل مکران می‌شود و دما در این نواحی  $۱۹/۶$  درجه سلسیوس برآورد شده است، مناطق شمالی، شمال غربی، شمال شرقی و نواحی کوهستانی البرز و زاگرس از جمله مناطقی هستند که کمینه دما در ماه فوریه در آن‌ها مشاهده شد. در ماه مارس با افزایش جغرافیایی از شدت دمای سطح زمین کاسته می‌شود به گونه‌ای که در



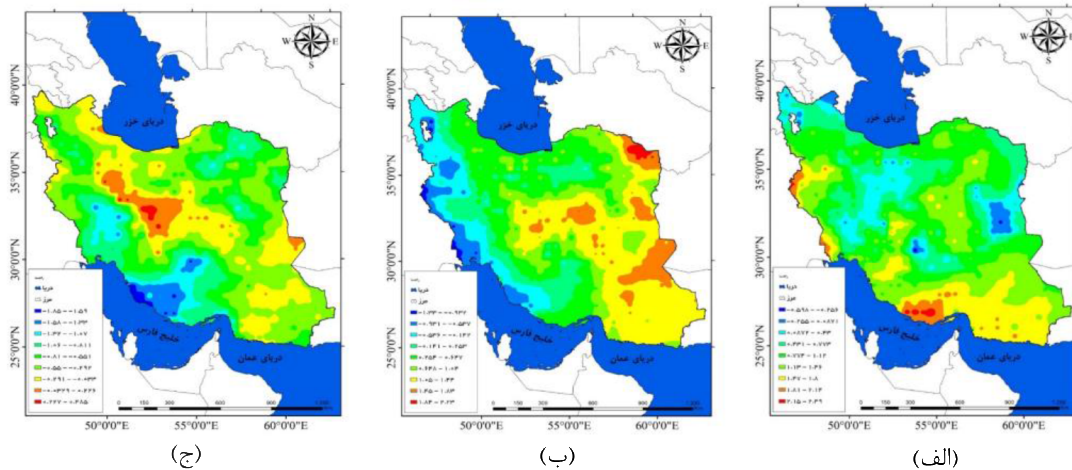
شکل ۲: برونداد مقیاس کاهی شده (مبتنی بر پروژه CORDEX) دمای سطح زمین (LST) براساس مدل کارای NOAA-GFDL-ESM2M طی فصل زمستان در ایران؛ الف: ژانویه، ب: فوریه، ج: مارس.

فاقد معناست کمینه روند کاهشی  $۰/۵۹-$  برآورد شد. براساس شکل ۳ ب روند دمای سطح زمین ایران در ماه فوریه طی دوره آماری  $۱۹۷۵-۲۰۰۵$  در نواحی شمال غربی، غرب و جنوب غربی کشور کاهشی بوده و میزان این روند کاهشی بین  $۱/۳۳-$  و  $۰/۹۳-$  است که این مقدار از نظر آماری فاقد معنی‌داری است. طبق نتایج شکل، نواحی شمال شرقی و شمال خراسان رضوی دارای روند افزایشی است و این افزایش در سطح آماری ۵ درصد معنی‌دار است. بیشینه روند در این مناطق بین  $۱/۸۴$  تا  $۲/۲۳$  محاسبه شد. در ماه مارس روند افزایشی

شکل ۳ الف روند دمای سطح زمین ایران را برای ماه ژانویه طی دوره تاریخی ( $۱۹۷۵-۲۰۰۵$ ) با استفاده از مدل NOAA-GFDL-ESM2 براساس آزمون ناپارامتریک من کندال نشان می‌دهد. همانطور که از شکل پیداست کرانه‌های ساحلی خلیج فارس حوالی مناطق غربی استان هرمزگان و استان ایلام دارای روند افزایشی معنی‌دار با سطح اطمینان  $۵/۱$  است. بیشینه روند افزایشی در مناطق مذکور براساس نمره Z من کندال  $۲/۴$  محاسبه شد. در مناطقی از جمله استان خراسان جنوبی و نواحی جنوبی یزد دارای روند کاهشی بوده اما این روند

افزایشی مشاهده شد در این مناطق بین ۰/۲۲ تا ۰/۴۲ است که از نظر آماری فاقد معناست. همان-طور که در شکل ۳ می‌توان مشاهده نمود، کرانه-های ساحلی خلیج فارس حوالی استان بوشهر و فارس در ماه مارس دارای روند کاهشی معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد هستند.

دمای سطح زمین در مناطقی از جمله نواحی غربی استان اصفهان و قسمت‌های جنوبی استان مرکزی مشاهده شد، استان اصفهان در مرکز فلات ایران واقع شده است و نواحی غربی این استان را قسمت-های شرقی رشته کوه‌های زاگرس در برگرفته است که از گلپایگان شروع شده و در نواحی جنوبی استان تا ارتفاعات دنا در سمیرم امتداد می‌یابد. روند



شکل ۳: روند دمای سطح زمین (LST) با آزمون ناپارامتریک من کندال از برون داد مقیاس کاهی شده (مبتنی پروژه CORDEX) با مدل کارای NOAA-GFDL-ESM2M طی فصل زمستان در ایران؛ الف: ژانویه، ب: فوریه، ج: مارس.

سطح زمین بین مقادیر ذکر شده کاهش پیدا می-کند. مناطق شمالی خراسان رضوی، نواحی شرقی سیستان و بلوچستان و نواحی شمالی دشت لوت از جمله مناطقی هستند که در ماه فوریه طی دوره آماری ۱۹۷۵-۲۰۰۵ شیب روند در آن‌ها افزایشی است و به ازای هر سال بین ۰/۱۷ تا ۰/۱۹ درجه سلسیوس افزایش پیدا می‌کند. براساس شکل ۴ ب در نواحی اطراف دریاچه ارومیه، استان‌های غربی و جنوب غربی ایران شیب روند کاهشی مشاهده شد که به ازای هر سال بین ۰/۰۸- تا ۰/۰۵- درجه کاهش یافته است. شیب روند افزایشی در ماه مارس بر بخش‌هایی از استان اصفهان علی‌الخصوص در حوالی زاگرس شرقی منطبق است در این مناطق دمای سطح زمین به ازای هر سال طی دوره مورد بررسی بین ۰/۰۳ تا ۰/۰۶ درجه سلسیوس افزایش

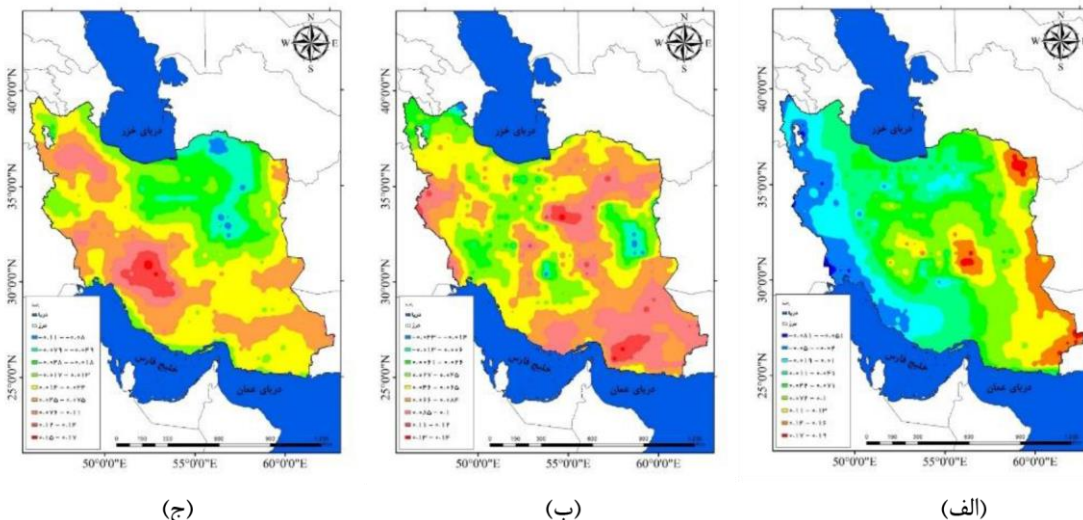
#### شیب روند دمای سطح زمین (LST)

به منظور بررسی شیب روند دمای سطح زمین برای داده‌های شبیه‌سازی شده ایران براساس مدل NOAA-GFDL-ESM2 طی دوره تاریخی (۲۰۰۵-۱۹۷۵) از روش ناپارامتریک سنس استفاده شد. شکل ۴ الف شیب روند دمای سطح زمین در ماه ژانویه را نشان می‌دهد، طبق نتایج شکل شیب روند در نواحی داخلی کشور حوالی دشت کویر و چاله جازموریان ۰/۱ درجه سلسیوس برآورد شده است این بدین معناست که دمای سطح زمین در ماه ژانویه طی دوره موردنظر به ازای هر سال ۰/۱ در مناطق مذکور افزایش پیدا می‌کند. در مناطق مرتفع خراسان جنوبی و قسمت‌های شمالی استان فارس شیب روند ۰/۰۳- تا ۰/۰۱- درجه سلسیوس است این روند کاهشی بوده و به ازای هر سال دمای



روش ناپارامتریک سنس در حوالی زاگرس مرکزی بین ۰/۱۵ تا ۰/۱۷ درجه سلسیوس محاسبه شد، شیب روند در این مناطق افزایشی بوده و به ازای هر سال دمای سطح بین ۰/۱۵ تا ۰/۱۷ درجه سلسیوس طی دوره تاریخی (۱۹۷۵-۲۰۰۵) در حال افزایش است.

یافته است. براساس آنچه در شکل ۴ آمده است شیب روند در حوالی ارتفاعات کرمان و قسمت‌های غربی استان سمنان کاهش یافته و به ازای هر سال دمای سطح زمین بین ۰/۱۹ تا ۰/۱۶ - کاهش پیدا کرده است. در ماه آوریل شیب روند براساس



شکل ۴: شیب روند دمای سطح زمین (LST) با آزمون ناپارامتریک سنس از برونداد مقیاس کاهی شده (مبتنی بر پروژه CORDEX) با مدل کارای NOAA-GFDL-ESM2M طی فصل زمستان در ایران؛ الف: ژانویه، ب: فوریه، ج: مارس.

سرد سال طی دوره آماری مورد بررسی کمینه دمای سطح زمین را دارند و نواحی ساحلی خلیج فارس و دریای عمان بیشینه دمای سطح را طی دوره مورد مطالعه داشتند. به طور کلی کمینه دما در ماه ژانویه ۷/۲۹- و بیشینه دما در ماه جولای ۴۰/۹ درجه سلسیوس برآورد شد. روند دمای سطح زمین براساس داده‌های مقیاس کاهی شده مدل NOAA-GFDL-ESM2M با استفاده از آزمون ناپارامتریک من کندال محاسبه شد و نتایج نشان داد براساس نمره Z مناطق جنوب شرقی ایران حوالی استان سیستان و بلوچستان دارای روند افزایشی معنی‌دار در سطح اطمینان ۵ درصد بودند و سایر مناطق ایران در ماه مختلف روندهای متفاوتی را نشان دادند. روند دمای سطح زمین

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی دمای سطح زمین و روند آن استفاده از برونداد مقیاس کاهی شده (مبتنی بر پروژه CORDEX) با مدل کارای NOAA-GFDL-ESM2M در فصول سرد ایران پرداخته شده و سپس روند و شیب روند آن مورد بررسی قرار گرفت. درستی سنجی مدل‌های HadGEM2-CC، NOAA-GFDL-ESM2M و MIROC-ESM با دو سنجه آماری ضریب تعیین و اریبی نشان داد که مدل NOAA-GFDL-ESM2M با توجه به ضریب تعیین ۰/۹۳ و اریبی ۱/۱۲ درجه سلسیوسی کارایی مناسبی را برای دمای سطح زمین در متوسط پهنه-ای ایران دارد. نواحی شمال غربی کشور از عرض جغرافیایی ۳۴ تا حدود ۴۰ درجه شمالی در فصول

در مناطقی از جمله نواحی زاگرس جنوبی حوالی مناطق شمالی استان فارس در محدوده ارتفاعات دنا بین ۱/۶۲ تا ۱/۹۶ برآورد شده است که این روند افزایشی و در سطح آماری ۵ درصد معنی‌دار است. روند دمای سطح مناطق شمال شرقی کشور و استان خراسان جنوبی بین ۱/۲ - تا ۰/۸۴ - محاسبه شد این روند کاهش یافته و از نظر آماری فاقد معنی‌داری است. نتایج مربوط به شیب روند دمای سطح زمین در نواحی داخلی کشور حوالی دشت کویر و چاله جازموریان ۰/۱ درجه سلسیوس برآورد شده است. در ماه فوریه طی دوره آماری ۱۹۷۵-۲۰۰۵ شیب روند در آن‌ها افزایشی است و دما به ازای هر سال بین ۰/۱۷ تا ۰/۱۹ درجه سلسیوس افزایش پیدا می‌کند، شیب روند افزایشی در ماه مارس بر بخش‌هایی از استان اصفهان علی‌الخصوص در حوالی زاگرس شرقی منطبق است در این مناطق دمای سطح زمین به ازای هر سال طی دوره زمانی ۱۹۷۵-۲۰۰۵ بین ۰/۰۳ تا ۰/۰۶ درجه سلسیوس افزایش یافته است. افزایش دمای سطح زمین طی فصل زمستان یک تهدید جدی برای ماندگاری برف در مناطق کوهستانی و مدیریت آب ورودی به سدها است که لازم تدابیر لازم در این زمینه برای جلوگیری از خسارات احتمالی همچون افزایش سیلاب‌های ناگهانی در نتیجه ذوب سریع برف‌ها اتخاذ شود.

ایران را برای ماه ژانویه براساس آزمون ناپارامتریک من کندال نشان می‌دهد کرانه‌های ساحلی خلیج-فارس حوالی مناطق غربی استان هرمزگان و استان ایلام دارای روند افزایشی معنی‌دار با سطح اطمینان ۵٪ است. بیشینه روند افزایشی در مناطق مذکور براساس نمره Z من کندال ۲/۴ محاسبه شد. در مناطقی از جمله استان خراسان جنوبی و نواحی جنوبی یزد دارای روند کاهش یافته اما این روند فاقد معناست کمینه روند کاهش یافته ۰/۵۹ - برآورد شد. روند دمای سطح زمین در ماه فوریه در نواحی شمال غربی، غرب و جنوب غربی کشور کاهش یافته و میزان این روند کاهش یافته بین ۱/۳۳ - و ۰/۹۳ - است که این مقدار از نظر آماری فاقد معنی‌داری است. نواحی شمال شرقی و شمال خراسان رضوی دارای روند افزایشی است و این افزایش در سطح آماری ۵ درصد معنی‌دار است. بیشینه روند در این مناطق بین ۱/۸۴ تا ۲/۲۳ است. در ماه مارس روند افزایشی دمای سطح زمین در مناطقی از جمله نواحی غربی استان اصفهان و قسمت‌های جنوبی استان مرکزی است. روند افزایشی مشاهده شد در این مناطق بین ۰/۲۲ تا ۰/۴۲ است که از نظر آماری فاقد معناست. کرانه‌های ساحلی خلیج-فارس حوالی استان بوشهر و فارس در ماه مارس دارای روند کاهش یافته معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد است. روند دمای سطح زمین در ماه آوریل

### پانوشت

1-World Climate Research Program (WCRP)  
2-COordinated Regional Climate Downscaling Experiment (CORDEX)

3-Kendall  
4-Sen's Slope Estimator Nonparametric Method

### منابع

سناریوهای واداشت تابشی، فیزیک زمین و فضا، شماره ۳، ص ۶۲۵-۶۴۴.  
-احمدی، م.، داداشی رودباری، ع.ا. و احمدی، ح.، ۱۳۹۷. واکاوی دمای روز هنگام سطح زمین مبتنی

-احمدی، م.، داداشی رودباری، ع.ا.، اکبری ازیرانی، ط. و کرمی، ج.، ۱۳۹۸. کارایی مدل HadGEM2-ES در ارزیابی ناپهنجاری فصلی دمای ایران تحت

- علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، شماره ۵۹، ص ۲۴۳-۲۶۱.
- کامیار، ا.، یزدان پناه، ح. و موحدی، س.، ۱۳۹۷. ارزیابی دقت خروجی مدل‌های منطقه‌ای آب و هوا در ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۵۰، ص ۱۶۱-۱۷۶.
- مرادی، م.، صلاحی، ب. و مسعودیان، ا.، ۱۳۹۵. پهنه‌بندی دمای رویه ایران با داده‌های مودیس، مجله مخاطرات محیط طبیعی، شماره ۷، ص ۱۰۱-۱۱۶.
- Kaufmann, R.K., Zhou, L., Myneni, R.B., Tucker, C.J., Slayback, D., Shabanov, N.V. and Pinzon, J., 2003. The effect of vegetation on surface temperature: A statistical analysis of NDVI and climate data. *Geophysical research letters*, v. 30(22), p. 1-4.
- Kendall, M., 1975. *Multivariate analysis*. Charles Griffin.
- Nikulin, G., Jones, C., Giorgi, F., Asrar, G., Büchner, M., Cerezo-Mota, R. and Sushama, L., 2012. Precipitation climatology in an ensemble of CORDEX-Africa regional climate simulations, *Journal of Climate*, v. 25(18), p. 6057-6078.
- Huang, N.E., Wu, Z., Pinzón, J.E., Parkinson, C.L., Long, S.R., Blank, K. and Chen, X., 2009. Reductions of noise and uncertainty in annual global surface temperature anomaly data, *Advances in adaptive data analysis*, v. 1(03), p. 447-460.
- Reiter, R.J., Tan, D.X., Zhou, Z., Cruz, M.H.C., Fuentes-Broto, L. and Galano, A., 2015. Phytomelatonin: assisting plants to survive and thrive, *Molecules*, v. 20(4), p. 7396-7437.
- Warnatzsch, E.A. and Reay, D.S., 2019. Temperature and precipitation change in Malawi: Evaluation of CORDEX-Africa climate simulations for climate change
- Abbasnia, M., Tavousi, T. and Khosravi, M., 2016. Assessment of future changes in the maximum temperature at selected stations in Iran based on HADCM3 and CGCM3 models, *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, v. 52(4), p. 371-377.
- Chandola, V., Banerjee, A. and Kumar, V., 2009. Anomaly Detection: A Survey”, *ACM Computing Surveys*, v. 41(15), p. 1-58.
- Dai, A., Fyfe, J.C., Xie, S.P. and Dai, X., 2015. Decadal modulation of global surface temperature by internal climate variability, *Nature Climate Change*, v. 5(6), p. 555-559.
- García-García, A., Cuesta-Valero, F.J., Beltrami, H. and Smerdon, J.E., 2019. Characterization of air and ground temperature relationships within the CMIP5 historical and future climate simulations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v. 124(7), p. 3903-3929.
- Giorgi, F., Jones, C. and Asrar, G.R., 2009. Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework. *World Meteorological Organization (WMO) Bulletin*, v. 58(3), p. 175-183.

impact assessments and adaptation planning. *Science of the Total Environment*, v. 654, p. 378-392.

-Zhu, W., Lü, A. and Jia, S., 2013. Estimation of Daily Maximum and Minimum Air Temperature Using MODIS Land Surface Temperature Products, *Remote Sensing of Environment*, v. 130, p. 62-73.

-Zhu, X., Dong, W., Wei, Z., Guo, Y., GAO, X., Wen, X. and Chen, J., 2018. Multi-decadal evolution characteristics of global surface temperature anomaly data shown by observation and CMIP5 models, *International Journal of Climatology*, v. 38(3), p. 1533-1542.