

## ارائه روشی نو برای پهنه‌بندی روند درجه روز سرمایه‌های کشور

کمال امیدوار - استاد آب‌وهواشناسی، دانشگاه یزد

رضا ابراهیمی\* - دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی، دانشگاه یزد

تیمور علیزاده - دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۸/۳۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۴/۱۲/۲۶

### چکیده

هدف از این پژوهش ارائه روشی نو برای واکاوی مکانی-زمانی تغییرات نیاز سرمایه‌های کشور در دهه‌های آینده است. برای اجرای این پژوهش از داده‌های گردش کلی جو EHSOM استفاده شد. این داده‌ها تحت سناریوی AIB<sup>۱</sup> کمیته بین‌المللی تغییر اقلیم است و با تفکیک ۱٫۷۵ درجه طولی و عرضی اجرا شده است. با مدل ریزمقیاس نمایی، داده‌های میانگین دمای روزانه طی دوره آماری (۲۰۱۵ - ۲۰۵۰) به تفکیک عبارت است از:  $۰٫۲۷ \times ۰٫۲۷$  درجه طول و عرض جغرافیایی، که حدوداً نقاطی با ابعاد  $۳۰ \times ۳۰$  می‌باشند. سرانجام، آستانه دمایی پهنه‌ها مشخص و به یاخته‌ها تعمیم داده شد و درجه روز سرمایه‌های کشور در ماتریسی به ابعاد  $۱۲ \times ۲۱۳۸$  در نرم‌افزار MATLAB استخراج شد. روند و شیب روند درجه روز سرمایه‌های کشور نیز طی دوره مورد مطالعه از طریق آزمون من-کندال و روش حداقل مربعات محاسبه شد. نتایج نشان داد بیشترین گستره مکانی مناطق دارای روند مثبت نیاز سرمایه‌ها در ماه‌های فصل بهار، به‌ویژه در ماه می، است. این سناریو نوید می‌دهد که در آینده در ایران فصل بهار گرم‌تر خواهد شد. بیشترین میزان گرمایش در این فصل مختص جلگه‌ها و سواحل جنوبی با شیب روند  $۲ - ۴$  درجه روز در دهه است.

کلیدواژه‌ها: آزمون من-کندال، ایران، شیب روند، مدل EHSOM مدل RegCM4

### مقدمه

نگرانی گسترده درباره گرمایش جهانی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای در جو زمین حس کنجکاو دانشمندان را برای بررسی سری‌های زمانی متغیرهای اقلیمی برانگیخته است؛ در این زمینه مطالعاتی در مقیاس‌های مختلف جهانی، منطقه‌ای، و محلی انجام شده است. یکی از مشکلات اساسی کاربرد الگوهای گردش عمومی جوی (GCM) برای ارزیابی‌های منطقه‌ای تفکیک مکانی پایین آن‌هاست و لازم است با استفاده از الگوهای دینامیکی یا آماری ریزگردانی شوند. در عین حال، با توجه به خطای نظام‌مند در برون‌داد این الگوها، اعمال پس‌پردازش ضروری است. اگرچه تاکنون در زمینه ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم تحقیقاتی انجام پذیرفته، در بیشتر این تحقیقات فقط از یک روش کوچک مقیاس

\* E-mail: ebrahimireza7679@yahoo.com

کردن<sup>۱</sup> استفاده شده است (ویلیبی و هریس، ۲۰۰۶). این در حالی است که نادیده گرفتن تأثیر روش‌های دیگر در مراحل متفاوت ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم باعث می‌شود تا از میزان قطعیت خروجی نهایی سامانه کاسته شود. بنابراین، در این تحقیقات لازم است تأثیر روش‌های گوناگون بر سامانه مورد تحقیق بررسی شود. بهترین وسیله برای بررسی و تحقیق تأثیر گازهای گلخانه‌ای بر جو زمین در مقیاس منطقه‌ای کاربرد مدل‌های ترکیبی AOGCM است (ویلیبی و هریس، ۲۰۰۶). یکی از فراسنج‌های آب‌وهوایی درجه روز است و تغییرات آن در مسائل زیست‌محیطی از جمله مصرف انرژی برای گرمایش و سرمایش محیط در آینده نقش مهمی خواهد داشت. فرانک (۲۰۰۵) اثر گرمایش جهانی را بر انرژی مصرفی مورد نیاز برای گرمایش و سرمایش در زوریخ بررسی کرد. محاسبات انجام‌یافته بیانگر کاهش تدریجی مصرف انرژی برای گرمایش ساختمان‌ها به میزان ۳۳ - ۴۴ درصد در طی سال‌های ۲۰۵۰ - ۲۱۰۰ است. برخلاف این امر، انرژی مورد نیاز برای سرمایش مسکن و ساختمان‌ها ۲۰ - ۳۰ کیلووات ساعت روند افزایشی را نشان می‌دهد. لی و همکاران (۲۰۰۷) به واکاوی اثر گرمایش جهانی بر انرژی مصرفی در چین با استفاده از میانگین دمای روزانه و ماهانه طی دوره آماری بیست‌ساله (۱۹۸۰ - ۲۰۰۴) پرداختند. در واقع، انرژی سوخت ذخیره‌شده و مصرف کمتر برای فصول سرد سال ناشی از تغییرات اقلیم جهانی است. آرتمان و همکاران (۲۰۰۸) در پژوهشی روند گرمایش جهانی و اثر آن بر مصرف انرژی سرمایش مورد نیاز شب‌ها را در هشت منطقه اروپا بررسی کردند. سناریوهای A و B سال‌های ۲۰۷۱ - ۲۱۰۰ را سال‌هایی با روند کاهشی برای میانگین سرمایش به میزان ۲۰ - ۶۰ کیلووات ساعت شبیه‌سازی می‌کنند. در مرکز و شمال اروپا یک روند افزایشی مثبت سرمایش حداقل طی دهه‌های آتی پیش‌بینی می‌شود. سیملر و همکاران (۲۰۰۹) به واکاوی تغییرات اقلیمی بر روی تغییرات مصرف انرژی برای گرمایش و سرمایش در ایرلند در طی دوره آماری چهل‌ساله پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده از این واکاوی‌ها بیانگر آن است که در جنوب این کشور طی دوره آماری ۱۹۸۱ - ۲۰۰۰، در مقایسه با دوره ۱۹۶۱ - ۱۹۸۰، تقاضای انرژی برای گرمایش تقریباً به میزان ناچیزی روند کاهشی داشته است. جیانگ و همکاران (۲۰۱۰) روند درجه روز گرمایش و سرمایش اگزینجیانگ چین را با آستانه دمایی ۱۸ محاسبه کردند. نتایج نشان داد در فصل پاییز درجه روز گرمایش روند کاهشی و روند درجه روزهای سرمایش ایستگاه‌ها در فصل تابستان روند افزایشی داشته است. تاسسکا و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی اثر تغییر اقلیم و تأثیر آن بر انرژی مصرفی پرداختند. نتایج بیانگر افزایش تقاضای مصرف انرژی الکتریکی برای سرمایش طی سال‌های ۲۰۲۰ به بعد است. در واقع، دماهای تابستان و زمستان دارای روندی افزایشی است. روشن و گراب (۲۰۱۲) به واکاوی اثر تغییر اقلیم بر مصرف انرژی (گرمایش و سرمایش) ایران پرداختند. مدل مورد استفاده برای شبیه‌سازی MAGICC است. برای شبیه‌سازی نیازهای گرمایش و سرمایش در دوره‌های ۲۰۲۵، ۲۰۵۰، ۲۰۷۵، و ۲۱۰۰ از سناریوهای A1 و B1 استفاده شد. واکاوی‌ها نشان‌دهنده آن است که بیشترین نیاز به گرمایش محیط در ماه ژانویه و بیشترین میزان نیاز به سرمایش در ماه ژوئیه است. همچنین، نیاز به سرمایش در دوره‌های ۲۰۲۵ - ۲۰۷۵ در نواحی مرکزی و جنوب شرقی رو به افزایش است. الیزابت و فدریکو (۲۰۱۳) روند درجه روز گرمایش در کشور آرژانتین را واکاوی کردند. نتایج این پژوهش گویای آن است

که در مناطق ساحلی روند منفی نیاز گرمایش محیط می‌تواند به دلیل اثر رطوبت دریا بر این منطقه باشد. وانگ و کواینگیان (۲۰۱۴) در پژوهشی به واکاوی اثر گرمایش جهانی بر تغییرات میزان نیاز گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها در چندین شهر ایلات متحده پرداختند. آنان میزان نیاز به فراسنج‌های سرمایش و گرمایش را در دوره‌های زمانی ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان داد در دوره زمانی ۲۰۸۰ میزان نیاز به سرمایش در برخی از شهرها، از جمله فرانسیسکو و ایلی‌نویز، افزایش می‌یابد. در میزان نیاز گرمایش برخی شهرها در فصل زمستان نیز روند افزایشی مشاهده شد. روسا و همکاران (۲۰۱۴) روند درجه روزهای گرمایش و سرمایش را در ایتالیا واکاوی کردند. نتایج بیانگر روند افزایشی میزان مصرف انرژی برای سرمایش محیط است. در ایران نیز مطالعات معدودی درباره تغییرات زمانی- مکانی روند درجه روز انجام یافته است؛ می‌توان به باباییان و همکاران (۱۳۹۳) اشاره کرد؛ ایشان به شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر مصرف برق کشور در دوره ۲۰۱۱ - ۲۱۰۰ با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی برون‌داد مدل گردش عمومی جو پرداختند. ایشان در مطالعات خود، با استفاده از آمار دما و برق مصرفی سالانه کشور و برون‌داد ریزمقیاس‌شده پیش‌بینی دمای مدل گردش عمومی جو، دمای کشور را تا سال ۲۱۰۰ میلادی پیش‌بینی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد میانگین دمای کشور در دوره‌های ۲۰۱۱ - ۲۰۴۰، ۲۰۴۱ - ۲۰۷۰، و ۲۰۷۱ - ۲۱۰۰ در مقایسه با دوره پایه ۱۹۶۱ - ۱۹۹۰ افزایش یافته است. این افزایش دما موجب می‌شود میزان برق مصرفی افزایش یابد. مسعودیان و همکاران (۱۳۹۳) به واکاوی مکانی- زمانی میزان روند ماهانه درجه روز گرمایش در ایران پرداختند. در این مطالعه روند و شیب روند ماهانه درجه روز گرمایش ایران با پایه دمایی ۱۸ درجه در طی دوره آماری ۴۴ ساله (۱۳۴۰ - ۱۳۸۳) محاسبه شد و با آزمون من-کندال روند و شیب روند جمع ماهانه درجه روز گرمایش در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ برای هر یک از یاخته‌ها در نرم‌افزار متلب محاسبه شد. نتایج نشان داد در فصل بهار و پاییز روند مثبت نیاز گرمایشی در شمال کردستان و زنجان نمایان است. روند منفی نیاز گرمایشی نیز در چاله‌های داخلی، دامنه‌های زاگرس شمالی و جنوبی و کوهپایه‌های غرب شهرکرد، ارتفاعات ماکو، و کوهپایه‌های غربی بجنورد است.

با توجه به اینکه ایران دارای تنوع ارتفاعی و اقلیمی است و مهم‌ترین عامل مؤثر در تغییرات نیاز سرمایشی تغییرات ارتفاع و رطوبت جو در کنار تغییرات اقلیمی ناشی از اثرهای گرمایش جهانی است، در مطالعات محدود انجام‌شده در ایران- بدون توجه به آستانه آسایش حرارتی متفاوت هر نقطه از کشور- به محاسبه میزان نیاز سرمایشی و تغییرات آن اقدام شد. ممکن است، به سبب یکسان در نظر گرفتن آستانه آسایش حرارتی، به پاسخی قانع‌کننده دست نیابیم، بنابراین، در این پژوهش نخست کشور ایران بر حسب شیب ارتفاعی و رطوبت پهنه‌بندی شد. سپس، برای هر نقطه از هر پهنه آستانه دمایی مناسب انتخاب و تغییرات این فراسنج واکاوی شد.

## داده‌ها و روش‌ها

### محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه کشور ایران است. کشور ایران با مساحت ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومتر مربع میان ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی و ۴۴ تا ۶۳ درجه طول شرقی واقع شده است.

در این پژوهش به منظور آشکارسازی اثر گرمایش جهانی بر درجه روزهای سرمایش از پایگاه داده‌های EH5OM استفاده شد. این پایگاه به منزله داده‌های مدل گردش کلی جو و اقیانوس است و از داده‌های مدل جوی و مدل اقیانوسی تشکیل شده است. این داده‌ها پنجمین نسخه داده‌های ECHAM مدل گردش کلی جو با طیف هسته دینامیکی برای پروژه‌ای اقلیمی با تفکیک T63 (۱,۸۷ درجه طولی و عرضی) و ۳۱ سطح جو تا نزدیک ۱۰ هکتوپاسکال هستند و در مؤسسه پلانک در دانشگاه هامبورگ تولید شده‌اند (روکنر و همکاران، ۲۰۰۶: ۱۸). این داده‌ها از تاریخ ۱۹۶۰ - ۲۱۰۰ اجرا شده‌اند و به صورت داده‌های گردش کلی جو هستند و تحت سناریوی AIB، پنل بین‌المللی تغییر اقلیم، اجرا شده‌اند. مدل ترکیبی EH5OM یکی از موفق‌ترین مدل‌های CMIP3 در شبیه‌سازی آب‌وهوا، نسبت به مدل‌های قرن بیستم، است. EH5OM یکی از مدل‌های ترکیبی جو-اقیانوس است (AOGCMs) و ECHAM5 مربوط به مدل اتمسفری و MPI-OM مربوط به مدل اقیانوسی است. ECHAM با هسته دینامیکی طیفی است (ریچارد و کیم، ۲۰۰۸؛ روکنر و همکاران، ۲۰۰۶). داده‌های این سناریو از سال ۱۹۵۰ - ۲۱۰۰ اجرا شده است. در این پژوهش از داده‌های سال‌های ۲۰۱۵ - ۲۰۵۰ این سناریو استفاده شد. با توجه به اینکه این پژوهش بُعد منطقه‌ای (کشور ایران) دارد، داده‌ها در نسخه چهارم مدل‌های اقلیم منطقه‌ای RegCM4، که برای فرایندهای کوچک‌مقیاس و منطقه‌ای مناسب‌ترند، ریزمقیاس می‌شوند (روشن و گراب، ۲۰۱۲؛ راندال، ۲۰۰۷). داده‌های خروجی مدل ریزگردانی شده با ابعاد  $0.27 \times 0.27$  درجه طول و عرض جغرافیایی است و حدوداً نقاطی با ابعاد  $30 \times 30$  کیلومتر مساحت ایران را پوشش می‌دهند. پس از شبیه‌سازی، میانگین دمای روزانه هوا در بازه زمانی ۳۶ ساله (۲۰۱۵ - ۲۰۵۰) در ماتریسی به ابعاد  $13140 \times 2140$  به وسیله مدل استخراج شد؛ سطرها بیانگر روزهای سال است و ستون‌ها بیانگر تعداد یاخته‌هاست. با توجه به اینکه ایران تنوع ارتفاعی و اقلیمی متفاوتی دارد و مهم‌ترین عامل مؤثر در تغییرات نیاز سرمایشی و گرمایشی تغییرات ارتفاع، عرض، و رطوبت جو است (مسعودیان و همکاران، ۱۳۹۱)، در این پژوهش کشور ایران نخست بر حسب شیب ارتفاعی و رطوبت به چهار ناحیه کلان اقلیمی دسته‌بندی شد: ۱. کوهستانی و کوهپایه‌ای؛ ۲. دشت؛ ۳. سواحل شمالی؛ ۴. سواحل و جلگه‌های جنوبی. برای گروه‌بندی یاخته‌های ایران نخست تصاویر ماهواره‌ای ASTER<sup>۱</sup> از تارنمای اینترنتی پایگاه علوم زمین آمریکا (<http://glovis.usgs.gov>) بارگیری شد. پس از بارگیری، زوج تصاویر و داده‌ها وارد نرم‌افزار پردازش تصویر ENVI شد و DEM با تفکیک مکانی ۳۰ متر برای کل ایران استخراج شد. سپس، تصاویر وارد نرم‌افزار ARCGIS شد و با استفاده از نزدیک‌ترین همسایه هر یاخته بر اساس موقعیت قرارگیری آن روی DEM دوباره نمونه‌گیری شد. سرانجام، یاخته‌های جدید با DEM تولیدشده از هم جدا شدند. رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی<sup>۲</sup> (GWR) و حداقل مربعات معمولی<sup>۳</sup> (OLS) روش‌های پذیرفته‌شده جهانی‌اند و برای تخمین ارتباط بین یک متغیر وابسته و مجموعه‌ای از یک یا چند متغیر مستقل‌اند. رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی در یک حالت پذیرفته‌شده می‌تواند به صورت رابطه<sup>۱</sup> نوشته شود (چندر و گرونولد، ۲۰۰۹). مدل GWR به جای گسترش پارامترهای معمولی به شناسایی و برآورد یک مدل از طریق رابطه<sup>۲</sup> می‌پردازد:

1. advanced space borne thermal emission and reflection radiometer
2. geographically weighted regression
3. ordinary least squares

$$y_i = \beta_0 + \sum_K \beta_k x_{ik} + \varepsilon_i \quad \text{رابطه ۱}$$

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_k \beta_k(u_i, v_i) x_{ik} + \varepsilon_i \quad \text{رابطه ۲}$$

در رابطه‌های ۱ و ۲،  $y$  متغیر وابسته،  $x_i$  متغیر مستقل، و  $\beta_0$  و  $\beta_1$  ضرایبی هستند که باید تخمین زده شوند،  $\varepsilon$  جزء خطاست،  $u_i$  و  $v_i$  طول و عرض جغرافیایی نقطه  $i$  ام است و  $\beta_k(u_i, v_i)$  پیاده‌سازی فاکتور مورد بررسی روی یک سطح پیوسته است (سان و همکاران، ۲۰۰۴). به منظور مشخص کردن آستانه دمایی هر پهنه برای محاسبه درجه روز سرمایش، نخست میانگین دمای روزانه ۱۸۰ ایستگاه سینوپتیک و کليما تولوژی- که دارای آمار ۴۴ ساله (۱۹۷۰ - ۲۰۱۴) بودند- انتخاب شد. بنابراین، میانگین دماهای بین ۱۸ - ۲۴ هر ایستگاه استخراج و صدک ۹۰ درصد یعنی آستانه دمایی گرم تا مرز دماهای بیش از حد گرم برای نیاز سرمایش و صدک ۱۰ درصد یعنی آستانه دمایی سرد تا بیش از حد سرد برای نیاز گرمایشی روی آن‌ها اعمال و آستانه‌های سرمایش و گرمایش ۱۸۰ ایستگاه استخراج شد. سرانجام، در نرم‌افزار GIS آستانه‌های هر ایستگاه به یاخته‌های اطراف خود تعمیم داده شد و درجه روز سرمایش ماهانه در ماتریسی به ابعاد  $432 \times 2140$  - که سطرها (۴۳۲) تعداد ماه‌های دوره آماری و ستون‌ها (۲۱۴۰) تعداد نقاط است- طبق رابطه ۳ محاسبه شد.

درجه روز سرمایش با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد.

رابطه ۳

$$T_b \text{ then } T_c = T_d - T_b \text{ if } T_d > D_c = \sum_{j=1}^N (T_c) \{ \text{else} = T_c = 0 \}$$

$T_b$  آستانه دمایی مورد استفاده برای محاسبه درجه روز سرمایش و  $T_d$  میانگین دمای هر روز هر یاخته است (وانگ و کوانینگیان، ۲۰۱۴؛ بورا و همکاران، ۲۰۱۵). سرانجام، روند جمع ماهانه درجه روز سرمایش به وسیله آزمون من- کندال و شیب روند جمع ماهانه به وسیله روش حداقل مربعات در ماتریسی به ابعاد  $12 \times 2138$  محاسبه شد و نقشه‌های روند و شیب روند ماهانه درجه روز سرمایش ترسیم شد.

## آزمون من - کندال

الف) نخست بر اساس آماره S اختلاف بین تک تک مشاهدات (درجه روز) با یکدیگر محاسبه می‌شود.

$$s = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{i=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad \text{رابطه ۴}$$

ب) که  $i > j$  است و n تعداد کل مشاهدات،  $x_j$  و  $x_k$  به ترتیب مقادیر z و k سری است. خروجی تابع بالا علامت هر سری را به صورت رابطه ۵ روشن می‌کند.

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1(x_j - x_k) > \\ 0. (x_j - x_k) = 0 \\ -1(x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه ۵}$$

پ) بعد از تعیین علامت، واریانس هر یک از مشاهدات با استفاده از رابطه ۶ محاسبه می‌شود. تعداد مشاهدات باید بزرگ‌تر از ۱۰ باشد ( $n > 10$ ).

$$V(S) = \sqrt{n(n-1)(2n+5)/18} \quad \text{رابطه ۶}$$

ج) مرحله بعد محاسبه آماره Z است.

$$z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}}} & s > 0 \\ 0 & s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{var}}} & s < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه ۷}$$

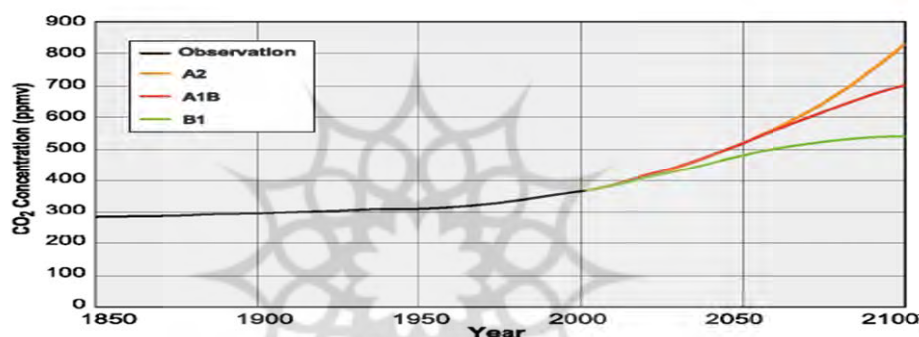
د) مرحله بعد آزمون فرض است. فرض صفر بر فقدان روند و تصادفی بودن آن دلالت دارد و بدین معنی است که Z آماری معنی‌داری نیست (مثلاً، گرمایش یا سرمایش و دوره تر و خشک وجود ندارد). هنگامی این فرض تأیید می‌شود که  $-Z\alpha/2 < Z < Z\alpha/2$  باشد (رابطه ۵). مقادیر  $Z\alpha/2$  انحراف نرمال استاندارد (Z جدول) است. فرض مقابل یا فرض یک بر وجود روند دلالت دارد و بدین معنی است که Z به لحاظ آماری معنی‌دار است. هنگامی این فرض تأیید می‌شود که  $Z < -Z\alpha/2$  است (مسعودیان و همکاران، ۱۳۹۳).

## یافته‌های پژوهش

یکی از مباحث اصلی در بحث شبیه‌سازی فراسنج‌های آب‌وهوایی میزان دقت این پیش‌بینی‌هاست. امروزه، ایستگاه‌های مختلفی در سطح دنیا همچون مرکز هادلی انگلیس و مؤسسه ماکس پلانک آلمان به انتشار مدل‌ها و سناریوهای انتشار اقدام می‌کنند که، بر حسب استفاده از نوع مدل و سناریو، میزان نتایج به‌دست‌آمده یک فراسنج متفاوت است. در این پژوهش از داده‌های سناریوی A1B طی بازه زمانی ۲۰۱۵ - ۲۰۵۰ استفاده شد. بر اساس سناریوی A1B، یکی از سناریوهای تغییر اقلیم، در آینده از سوخت‌های فسیلی با حفظ تعادل استفاده می‌شود؛ همچنین، در کنار آن از سوخت‌های غیرفسیلی استفاده می‌شود. جدول ۱ سناریوهای مدل EH5OM تحت شرایط گازهای گلخانه‌ای (دی‌اکسید کربن و سولفورجو) را - که مؤسسه ماکس پلانک آن را منتشر کرده - نشان می‌دهد. این سناریوها برای دوره زمانی ۲۰۰۰ - ۲۱۰۰ شبیه‌سازی شده‌اند. در واقع، نگارندگان در این پژوهش به دنبال شناسایی تغییرات فراسنج درجه روز سرمایش طبق سناریوی تعریف‌شده این مدل‌اند. همان گونه که نمودار ۱ نشان می‌دهد، در بیشتر سناریوها میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای از قرن بیستم به بعد سیر صعودی داشته است و بیشترین آن در سناریوهای خانواده A است.

جدول ۱. میزان شبیه‌سازی شده دی‌اکسید کربن و سولفور جو طبق سناریوهای انتشار دوره زمانی ۲۰۰۰ - ۲۱۰۰ (انتشارات مؤسسه ماکس پلانک المان، ۲۰۰۶)

Year	CO <sub>2</sub> -Emissions (PgC/Year)			SO <sub>2</sub> -Emissions (TgS/Year)		
	A2	A1B	B1	A2	A1B	B1
2000	8	8	8	69	69	69
2020	12	13	11	100	100	75
2040	16	15	12	109	69	79
2060	19	16	10	90	47	56
2080	23	15	7	65	31	36
2100	29	13	4	60	28	25

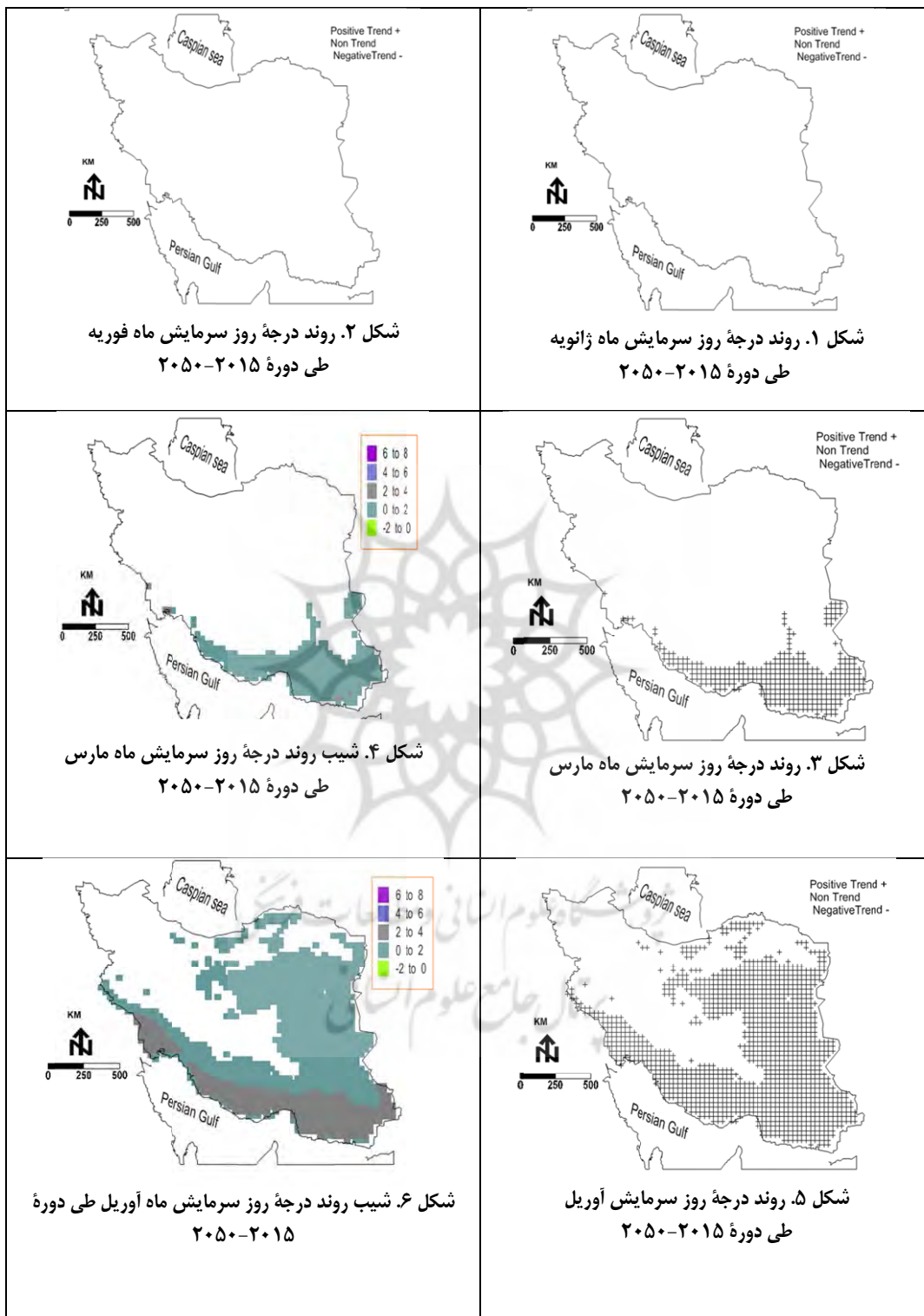


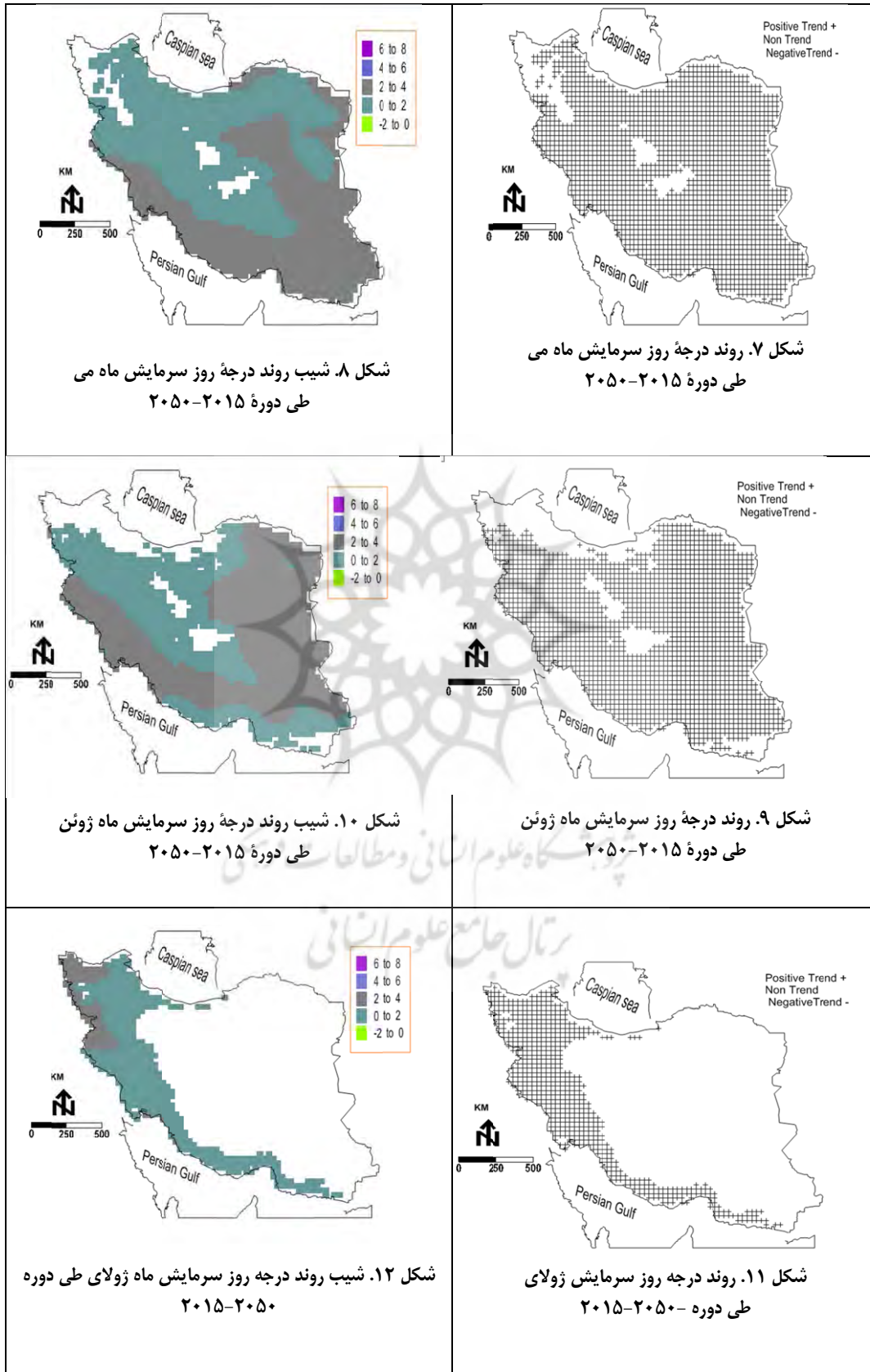
نمودار ۱. روند تغییرات میزان دی‌اکسید کربن موجود در جو طی دوره زمانی ۱۸۵۰ - ۲۱۰۰ تحت سناریوهای انتشار (انتشارات مؤسسه ماکس پلانک المان، ۲۰۰۶)

در این بخش تغییرات زمانی - مکانی میزان روند و شیب روند درجه روزهای نیاز سرمایه‌های در کشور طی دهه‌های آینده واکاوی شد. در طول ماه‌های گرم سال مصرف بالای انرژی برای سرمایه‌های محیطی یکی از معضلات بسیاری از کشورهاست؛ به‌ویژه اینکه در شرایط گرمایش جهانی این مصرف بالا نه تنها ماه‌های گرم، بلکه برخی ماه‌های منتهی به این فصول را نیز در بر می‌گیرد (اوکتای و همکاران، ۲۰۱۱: ۴۸۵۵). در ماه‌های سرد سال (دسامبر، ژانویه، و فوریه) کشور از لحاظ نیاز سرمایه‌های فاقد روند است (شکل‌های ۱ و ۲). در ماه مارس روند مثبت و افزایشی نیاز سرمایه‌های در ۱۵/۹۰ درصد از وسعت کشور - که شامل سواحل خلیج فارس، سواحل و پس‌کرانه‌های دریای عمان، بخش‌هایی از زاهدان، زابل، و بخش‌های غربی بلوک لوت است - مشاهده می‌شود. در بقیه مناطق با ۸۰ درصد از وسعت کشور نیاز سرمایه‌های فاقد روند است (شکل ۳). شیب روند مناطقی که در ماه مارس دارای روند می‌باشند به میزان ۰ - ۲ درجه در دهه است؛ به عبارتی، به این میزان بر نیاز سرمایه‌های آن‌ها در این ماه در دهه‌های آینده افزوده خواهد شد (شکل ۴). در ماه آوریل بر گستره مناطق دارای روند مثبت نیاز سرمایه‌های افزوده می‌شود؛ به گونه‌ای که در این ماه، علاوه بر سواحل جنوبی، بخش‌هایی از نوار کوهپایه‌ای بیرونی، چاله‌های داخلی، نوار شرق و جنوب شرق، و باریکه شرقی دریای خزر با ۵۷/۴۳ از وسعت کشور دارای روند مثبت‌اند؛ این در حالی است که نوار کوهستانی البرز، زاگرس، فلات آذربایجان، و بخش‌های غربی سواحل خزر با ۴۲ درصد فاقد روندند (شکل ۵). میزان شیب روند سواحل و جلگه‌های جنوبی و پس‌کرانه‌ای با

وسعت ۳۷/۵ درصد از مناطق دارای روند در ماه آوریل به میزان ۲ - ۴ درجه روز در دهه است و افزایش دمای ماه آوریل را در بخش‌های جنوبی منعکس می‌کند. شیب روند نوار کوهپایه‌ای بیرونی، چاله‌های داخلی، نوار شرق و جنوب شرق و بخش‌های شرقی سواحل خزر نیز با وسعت ۷۲/۵ درصد از مناطق دارای روند به میزان ۰ - ۲ درجه روز در دهه است (شکل ۶). بیشترین گستره مکانی مناطق دارای روند در ماه می است. در این ماه به‌جز بخش کوچکی از جنوب یزد، شمال اصفهان، باریکه ساحلی شمال، و بخش‌هایی از شمال غرب - که با هفت درصد فاقد روندند - بقیه مناطق با وسعت ۹۳ درصد دارای روند مثبت نیاز سرمایشی‌اند (شکل ۷). میزان شیب روند ۴۷/۵ درصد از وسعت مناطق دارای روند - که شامل نوار جنوبی و چاله‌های داخلی است - به میزان ۲ - ۴ درجه روز در دهه است و میزان افزایش نیاز سرمایش در پهنه کوهستانی، کوهپایه‌های داخلی، و سواحل شمالی کشور به میزان ۰ - ۲ درجه روز در دهه است. به عبارتی، در ماه‌های فصل بهار بر شدت گرمایش مناطق گرم کشور افزوده خواهد شد (شکل ۸). در ماه ژوئن نیز، همانند ماه می، نیاز سرمایش نزدیک به ۸۸ درصد از وسعت کشور دارای روند مثبت است. نوار ساحلی شمال، بخش‌های شمال غرب، و بخش‌هایی از یزد و شمال اصفهان با ۱۲ درصد از وسعت کشور فاقد روندند (شکل ۹). در این ماه شیب روند ۵۶ درصد از وسعت مناطق دارای روند - که شامل بخش‌های غربی نوار کوهستانی زاگرس، چاله‌های داخلی، و نوار شرق و جنوب شرق کشور است - به میزان ۲ - ۴ درجه روز است و بقیه مناطق دارای شیب روند ۰ - ۲ درجه روز در دهه است (شکل ۱۰). این نتایج با نتایج واکاوی روند درجه روز سرمایش در دوره‌های گذشته (مسعودیان و همکاران، ۱۳۹۳) - که نشان می‌داد بیشترین گستره روند افزایشی نیاز سرمایش در فصل تابستان مشاهده می‌شود - متفاوت است، اما با نتایج روشن و گراب (۲۰۱۲) - که گرم‌تر شدن مناطق ایران را در نیمه اول سال در دوره‌های آتی به‌ویژه در نوار جنوبی بیان کردند - همخوانی دارد. این نکته گویای گرم‌تر شدن مناطق گرم کشور در فصل بهار است. با شروع فصل تابستان از میزان مناطق دارای روند کاسته می‌شود. در ماه جولای روند سرمایش در بخش‌های غربی، شمال غرب، و سواحل و جلگه‌های جنوبی با ۲۸ درصد از وسعت کشور مشاهده می‌شود. بقیه مناطق کشور در این ماه (۷۲ درصد) فاقد روندند (شکل ۱۱). بخش‌هایی از کردستان، ارومیه، و شمال تبریز با وسعت ۱۸ درصد از مناطق دارای روند شیب روند ۲ - ۴ درجه روز هستند و بقیه مناطق - که ۸۲ درصد را شامل می‌شوند - دارای شیب روند ۰ - ۲ درجه روز در دهه‌اند (شکل ۱۲). در ماه اوت روند مثبت نیاز سرمایش فقط در باریکه ساحلی خلیج فارس و بخش کوچکی از کردستان با ۶ درصد از کشور نمایان است و بقیه مناطق ایران (۹۴ درصد) در این ماه فاقد روندند (شکل ۱۳). سپتامبر با ۱ درصد کمترین وسعت مناطق دارای روند در فصل تابستان را داراست. بخش کوچکی از سواحل چابهار دارای روند منفی است و بخش کوچکی از بلوک لوت دارای روند مثبت نیاز سرمایش است (شکل ۱۴). شیب روند این مناطق نیز ۰ - ۲ درجه روز در دهه است (شکل ۱۵). در ماه‌های اکتبر و نوامبر نیز کشور از لحاظ نیاز سرمایش فاقد روند است.







شکل ۸. شیب روند درجه روز سرمایش ماه می طی دوره ۲۰۱۵-۲۰۵۰

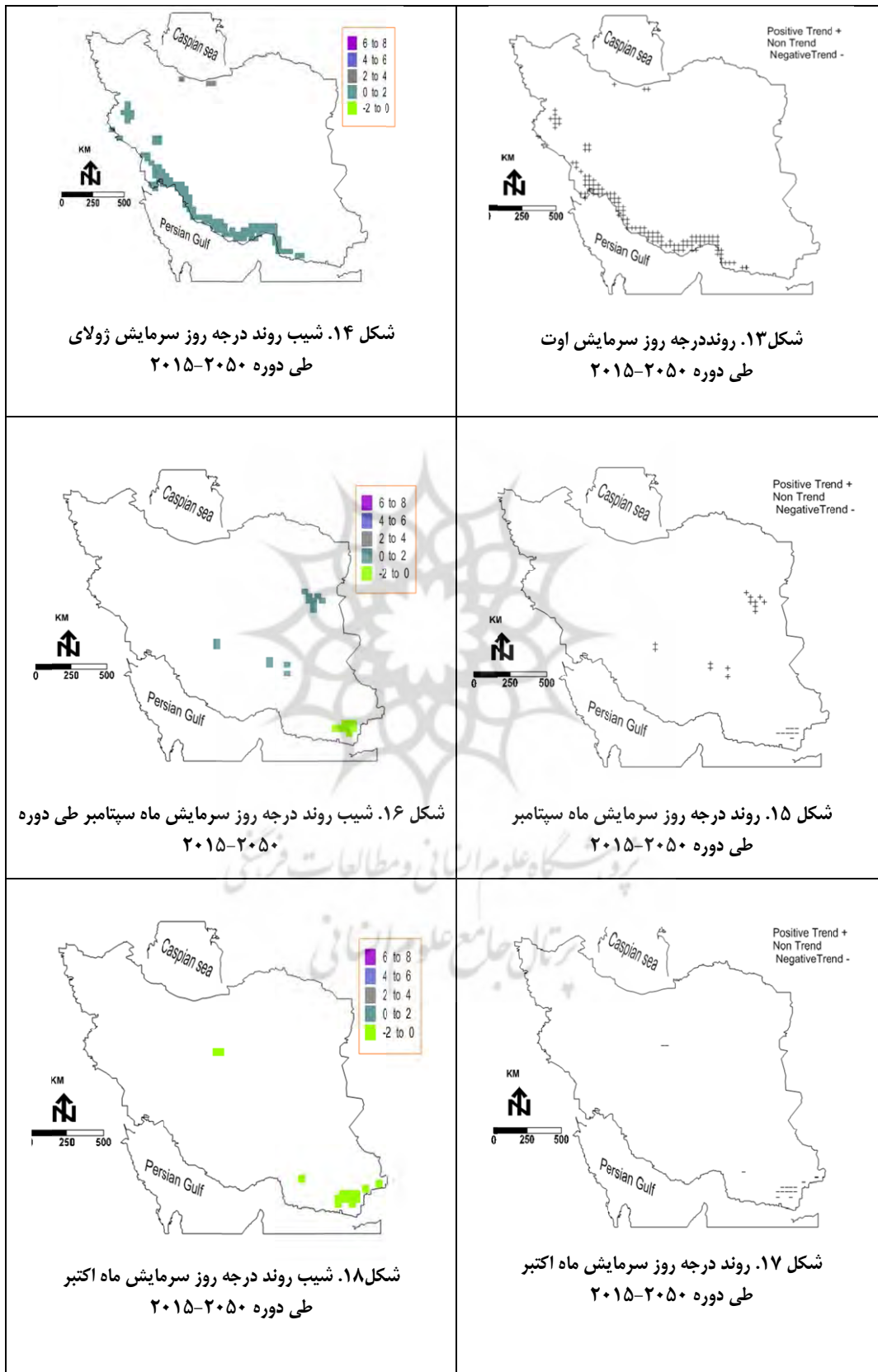
شکل ۷. روند درجه روز سرمایش ماه می طی دوره ۲۰۱۵-۲۰۵۰

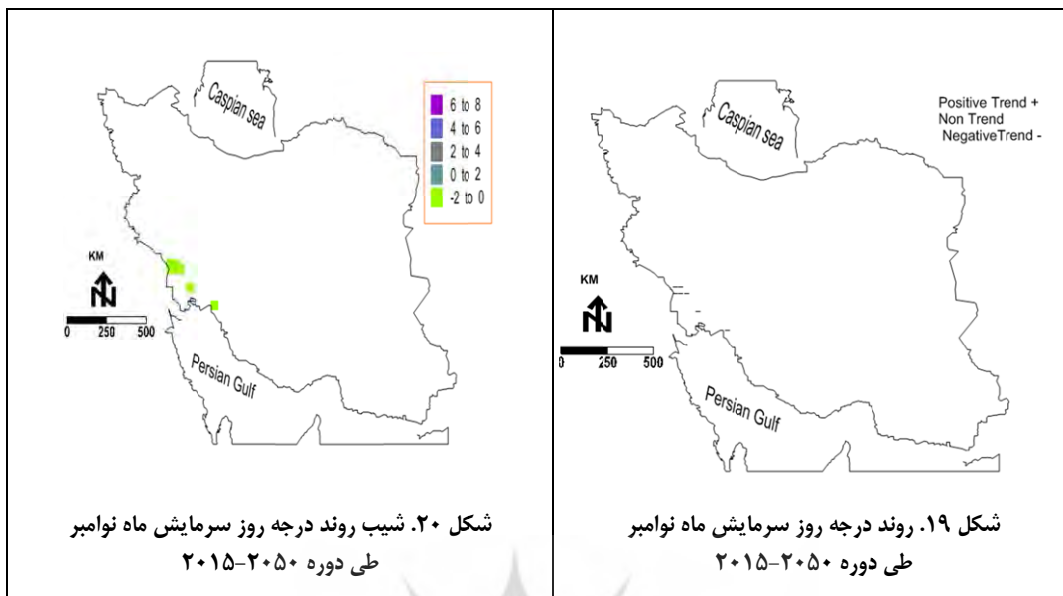
شکل ۱۰. شیب روند درجه روز سرمایش ماه ژوئن طی دوره ۲۰۱۵-۲۰۵۰

شکل ۹. روند درجه روز سرمایش ماه ژوئن طی دوره ۲۰۱۵-۲۰۵۰

شکل ۱۲. شیب روند درجه روز سرمایش ماه ژوئای طی دوره ۲۰۱۵-۲۰۵۰

شکل ۱۱. روند درجه روز سرمایش ژوئای طی دوره ۲۰۱۵-۲۰۵۰





منبع شکل‌ها (نویسندگان، ۱۳۹۳)

میزان وسعت مناطق دارای روند در جدول ۲ نمایان است. بیشترین گستره کشور، که در مصرف انرژی برای سرمایه‌ش محیط روند افزایشی را خواهند داشت، ماه‌های می با ۹۳ درصد و ژوئن با ۸۷ درصد است. این در حالی است که در ماه‌های تابستان میزان روند سرمایه‌ش در کشور بسیار کمتر از بهار است. از لحاظ شیب روند نیز (جدول ۳) بیشترین شیب روند نیاز سرمایه‌ش در ماه‌های می و ژوئن، به‌ویژه در نوار جنوب کشور، به میزان ۲ - ۴ درجه روز در دهه است و گویای روند افزایشی دمای مناطق جنوبی کشور در فصل بهار است.

جدول ۲. میزان وسعت مناطق دارای روند (مثبت، منفی، و فاقد) نیاز سرمایه‌ش در دهه‌های آینده بر حسب درصد

ماه‌های سال	روند مثبت به درصد	روند منفی به درصد	فاقد روند به درصد
ژانویه	۰	۰	۱۰۰
فوریه	۰	۰	۱۰۰
مارس	۱۵/۹۰	۰	۸۴/۸۰
آوریل	۵۷/۴۳	۰	۴۲/۵۰
می	۹۳	۰	۶/۹۰
ژوئن	۸۷/۸۰	۰	۱۲/۲۰
جولای	۲۸	۰	۷۲/۰۷
اوت	۵/۴۷	۰	۹۴/۵۲
سپتامبر	۰/۰۵	۰/۰۵	۹۸/۹۲
اکتبر	۰	۰/۰۷	۹۹/۶۰
نوامبر	۰	۰/۰۴	۹۹/۲۰

ادامه جدول ۲. میزان وسعت مناطق دارای روند (مثبت، منفی، و فاقد) نیاز سرمایه‌های آینده بر حسب درصد

ماه‌های سال	روند مثبت به درصد	روند منفی به درصد	فاقد روند به درصد
دسامبر	۰	۰	۱۰۰
ژانویه	۰	۰	۱۰۰
فوریه	۰	۰	۱۰۰
مارس	۱۵٫۹۰	۰	۸۴٫۸۰
آوریل	۵۷٫۴۳	۰	۴۲٫۵۰
می	۹۳	۰	۶٫۹۰
ژوئن	۸۷٫۸۰	۰	۱۲٫۲۰
جولای	۲۸	۰	۷۲٫۰۷
اوت	۵٫۴۷	۰	۹۴٫۵۲
سپتامبر	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۹۸٫۹۲
اکتبر	۰	۰٫۰۷	۹۹٫۶۰
نوامبر	۰	۰٫۰۴	۹۹٫۲۰
دسامبر	۰	۰	۱۰۰

جدول ۳. میزان وسعت مناطق دارای شیب روند نیاز سرمایه‌های آینده بر حسب درصد

ماه‌های سال	۲-۴	۰-۲	-۰	-۲
ژانویه	۰	۰	۰	۰
فوریه	۰	۰	۰	۰
مارس	۰	۹۹	۰	۰
آوریل	۲۷٫۵	۷۲٫۵	۰	۰
می	۴۷٫۵	۵۲٫۵	۰	۰
ژوئن	۵۶٫۳	۴۳٫۷	۰	۰
جولای	۱۸٫۱	۸۱٫۹	۰	۰
اوت	۹۳	۰	۰	۰
سپتامبر	۰	۱۰۰	۳۹٫۱	۰
اکتبر	۰	۶۰٫۰۹	۱۰۰	۰
نوامبر	۰	۰	۱۰۰	۰
دسامبر	۰	۰	۰	۰

## نتیجه‌گیری

نگرانی گسترده درباره گرمایش جهانی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای در جو زمین حس کنجکاوای دانشمندان را برای بررسی سری‌های زمانی متغیرهای اقلیمی برانگیخته است؛ در این زمینه، در مقیاس‌های مختلف جهانی، منطقه‌ای، و محلی مطالعاتی انجام یافته است. یکی از فراسنج‌های تغییرپذیر بر اثر گرمایش جهانی درجه روز است. گرم‌تر شدن هوا در برخی ماه‌ها افزایش نیاز مصرف انرژی برای خنک‌کردن محیط را در پی دارد. به منظور آگاهی از تغییرات مکانی-زمانی نیاز سرمایش محیط در کشور در دوره‌های آتی به شبیه‌سازی این فراسنج بر حسب سناریوهای انتشار نیاز است؛ در این پژوهش از سناریوی AIB استفاده شد. نکته مهم در این زمینه برآورد دقیق‌تر تغییرات نیاز سرمایش هر نقطه از کشور است؛ بنابراین، به شناخت آستانه دمایی مناسب برای هر مکان نیاز است. در پژوهش‌های انجام‌یافته، برای واکاوی سرمایش یا گرمایش کشور، فقط از یک آستانه دمایی استفاده شده است. تنوع اقلیمی در کشور ایران و آستانه‌های آسایشی متفاوت در هر مکان این پژوهش‌ها را با چالشی بزرگ روبه‌رو ساخته است. در این پژوهش پس از محاسبه آستانه آسایش هر ایستگاه از کشور و انطباق آن با یاخته‌های اطراف آن ایستگاه درجه روز سرمایش و تغییرات آن محاسبه شد. نتایج حاصل از این پژوهش گرم‌تر شدن ماه‌های مارس، آوریل، و به‌ویژه می و ژوئن را در دهه‌های آینده در کشور ایران، نسبت به دیگر ماه‌های سال، نشان می‌دهد. در واقع، بر حسب تخمین این سناریو و میزان مصرف سوخت‌های فسیلی، چالش بزرگ کشور در ماه‌های فصل بهار گرم‌تر شدن هوا و افزایش تقاضای میزان مصرف انرژی است؛ این موضوع می‌تواند نشانه‌ای باشد از مصرف زود هنگام انرژی برای سرمایش کشور در دهه‌های آینده. بیشترین میزان گرم‌شدگی هوا در جلگه‌ها و سواحل جنوبی در فصل بهار با شیب روند ۲ - ۴ درجه روز در سال است. همچنین، روند مثبت نیاز سرمایش در ماه‌های مارس تا ژوئن در نوار ساحلی و پس‌کرانه‌ای جنوب و چاله‌های داخلی گویای گرم‌تر شدن هوای مناطق گرم کشور در فصل بهار است.

## منابع

- بابایان و همکاران (۱۳۹۳). شبیه‌سازی آسایش اقلیم استان خراسان رضوی تحت سناریوهای تغییر اقلیم، *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۱۱۲-۹۵: (۱۸)۵.
- مسعودیان، ا.؛ علیجانی، ب. و ابراهیمی، ر. (۱۳۹۱). واکاوی میانگین مجموع درجه/روز نیاز (گرمایش و سرمایش) در قلمرو ایران، *پژوهش‌نامه جغرافیایی*، ۱: ۲۳ - ۳۶.
- مسعودیان، س. ا.؛ ابراهیمی، ر. و یاراحمدی، ا. (۱۳۹۳). واکاوی مکانی-زمانی میزان روند ماهانه درجه روز گرمایش در قلمرو ایران زمین، *مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*، ۱۲(۲۳).
- Artmann, N.; Gyalistras, D.; Manzi, H. and Heiselberg, P. (2008). Impact of climate warming on passive night cooling potential, *Building Research Information*, 36: 111-128.
- Babaian, E.; Modirian, R. and Karimian, M. (2014). Simulation of climatic comfort in Khorasan Razavi province under climate change scenarios, *Geographical Studies drought regions*, 5(18): 95-112.
- Borah, P.; Manoj, K. and Sadhan, M. (2015). Estimation of degree-days for different climatic zones of North-East India, *Sustainable Cities and Society*, 14: 70-81.
- Chander, G. and Groeneveld, D.P. (2009). Intra-annual NDVI validation of the Landsat 5 TM radiometric calibration, *International Journal of Remote Sensing*, 30(6): 1621-1628.

- Elizabeth, M. and Federico, C. (2013). Variability and trends of heating degree-days in Argentina, *International Journal of Climatology*, 33(10): 2352-2361.
- Frank, T. (2005). Climate change impacts onbuilding heating and cooling energy demand in Switzerland, *Energy and Buildings*, 37: 1175-1185.
- Jiang, F.; Xuemei, Li.; Binggan, W. and Ruji Hu, Z. (2010). Observed trends of heating and **cooling** degree-days in Xinjiang Province, *China. Theor Appl Climatol*, 97: 349-360.
- Li, Z.; Miller, H; Scott, N.; Edward, T. and Schmidtman, A. (2007). *GIS Tool to Estimate West Nile Virus Risk Based on a Degree-Days Model*.
- Masoudian, S.A.; Alijani, B. and Ebrahimi, R. (2012). Analysis average total degree/ day need (heating and cooling) in the territory of Iran, *Geographical Journal*, 1: 36-23.
- Masoudian, S.A; Ebrahimi, R. and Yarahmadi, E. (2014). The process . analysis spatial temporal monthly heating degree days in the territory of Iran, *Journal of Geography and Regional Development*, 12(23).
- Oktay, Z.; Coskun, C. and Dincer, I. (2011). A new approach for predicting cooling degree-hours and energy requirements in buildings, *Energy*, 36: 4855-4863.
- Randall, DA.; Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, KB.; Tignor, M. and Miller, HL. (eds) Climate change. (2007). *The physical science basis*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Reichard, T. and Kim, J. (2008). How well do coupled models simulate today's climate, *Bull Am Meteorol Soc*, 89: 303-311.
- Roeckner, E.; Brokopf, R.; Esch, M.; Giorgetta, M.; Hagemann, S.; Kornblueh, L.; Manzini, E.; Schlese, U. and Schulzweida, U. (2006). Sensitivity of simulated climate to horizontal and vertical resolution in the ECHAM5 atmosphere model, *J. Clim*, 19: 3771-3791.
- Rosa, M; Vincenzo, B; Federico, S. and Luca, Tagliafico A. (2014). *Heating and cooling building energy demand evaluation; a simplified model and a modified degree days approach*.
- Roshan, Gh.R. and Grab, S.W. (2012). Regional Climate Change Scenarios and Their Impacts on Water Requirements for Wheat Production in Iran, *International Journal of Plant Production*, 2: 239-265.
- Semmler, T.; Ray, M.; Susan, S.; Jenny, H.; Paul, N. and Shiyu, Wang (2009). *Influence of climate change on heating and cooling energy*.
- Sun , Y.J.; Wang, J.F.; Zhang, R.H.; Gillies, R.R.; Xue, Y. and Y.C., Bo (2004). Air Temperature retrieved from remote sensing data based on thermodynamics, *Theor. Appl. Climatol.*, Published Online.
- Taseska, V.; Markovska, N. and Callaway, J.M. (2012). Evaluation of climate change impacts on energy demand, *Energy*, 48(1): 88-95.
- Wang, H. and Qingyan, C. (2014). Impact of climate change heating and cooling energy use in buildingsin the United State, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 29(2): 141-153.
- Wilby, R.L. and Heris, D. (2006). *A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts*, SDSM manual version 4.2, Environment Agency of England and Wales, PP, 1-94.