

## مدل‌سازی و تحلیل فضایی دورنمای نیاز سرمایشی ایران

کمال امیدوار\* - استاد آب‌وهواشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

رضا ابراهیمی - دانشجوی دکتری مخاطرات آب‌وهوایی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

عباسعلی داداشی رودباری - دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی شهری، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین، تهران، ایران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱/۷ تأیید نهایی: ۱۳۹۵/۹/۳

### چکیده

در این پژوهش، با توجه به نیازسنجی انجام‌شده در حوزه انرژی، به مدل‌سازی و تحلیل فضایی دورنمای نیاز سرمایشی (CDD) ایران پرداخته شد. نخست داده‌های دمای روزانه مدل EHSOM مؤسسه ماکس پلانک طی دوره آماری ۲۰۱۵ - ۲۰۵۰، تحت سناریوی A1B، با تفکیک ۱۷۵ درجه قوسی، برای گستره ایران بارگیری شد. سپس، داده‌های نام‌برده، با تفکیک مکانی  $27 \times 27$  قوسی، به وسیله مدل REGCM4 ریزمقیاس شدند. درگام بعدی دمای روزانه به‌دست‌آمده از خروجی مدل منطقه‌ای REGCM4 با استفاده از روش زمین‌آمار کریجینگ در پهنه‌ای به ابعاد  $15 \times 15$  کیلومتر بر ایران گسترانیده شد و نیاز سرمایشی کشور برای هر ماه به ازای هر یاخته (در مجموع ۷۲۰۰ یاخته) محاسبه شد. نتایج خودهمبستگی فضایی برای دورنمای نیاز سرمایشی ایران با استفاده از موران محلی نشان می‌دهد که نیاز سرمایشی ایران در دهه‌های آتی دارای ساختار فضایی است و به شکل خوشه‌ای توزیع خواهد شد. شاخص محلی همبستگی مکانی (LISA) نشان می‌دهد که بیشترین نیاز سرمایش کشور در ماه‌های آوریل تا سپتامبر خواهد بود؛ بر این اساس، پهنه جنوبی کشور بیشترین نیاز و نوار کوهستانی کمترین نیاز سرمایشی را تجربه خواهند کرد. مقایسه دورنمای نیاز سرمایشی با دوره مشاهداتی نیز نشان از جابه‌جایی مکانی نیاز سرمایشی کشور به ارتفاعات بلندتر را دارد.

کلیدواژه‌ها: ایران، مدل‌سازی فضایی، مدل EHSOM، مدل منطقه‌ای REGCM4، نیاز سرمایشی...

### مقدمه

اقلیم و تغییرپذیری آن به یکی از موضوعات مهم علوم محیطی تبدیل شده است؛ به موجب آن، نظر بسیاری از پژوهشگران به پدیده گرمایش جهانی و تغییر اقلیم جلب شده است. شواهد زیادی دال بر گرمایش جهانی وجود دارد که عبارت‌اند از: افزایش دمای اندازه‌گیری‌شده؛ تغییر در میزان انرژی ورودی به زمین؛ افزایش دمای اقیانوس‌ها؛ تغییر در ذوب دریاچه‌ها و تغییر در الگوی سکوتی گیاهان و جانوران به سمت عرض‌های بالاتر (کاسپر، ۲۰۱۰). بنابراین، بررسی و شناسایی اثرهای تغییر اقلیم در بخش‌های صنعتی، اقتصادی و اجتماعی جامعه و ارائه راهکارها و پیش‌هشدارها به تصمیم‌گیرندگان و برنامه‌ریزان برای آمادگی مقابله با این تأثیرات بسیار حائز اهمیت است. مدل‌سازی گذشته، حال و آینده فراسنج‌های آب‌وهوایی، به ویژه درجه روز، در زمینه تغییر اقلیم و تغییرپذیری جو اهمیت زیادی دارد (الگیوندی و

همکاران، ۲۰۱۰). تاکنون پژوهشگران مدل‌های بی‌شماری به منظور مدل‌سازی شرایط اقلیمی در سه مقیاس زمانی اشاره شده ارائه کرده‌اند؛ در حالت کلی، این مدل‌ها در دو رسته قابل تقسیم‌اند: ۱. آماری؛ ۲. دینامیکی. بررسی‌های گسترده برخی پژوهشگران و دانشگاهیان نشان‌دهنده قدرت و ضعف این مدل‌ها در مناطق مختلف است. ولی آنچه مقبولیت گسترده‌تری داشته و نتایج مناسب‌تری نشان داده مدل‌های اقلیم منطقه‌ای است؛ و RegCM نیز یکی از آن‌هاست. این مدل‌ها، به لطف لحاظ نمودن روابط دینامیک و ترمودینامیک جو، لایه مرزی، توپوگرافی سطح زمین، شیمی جو، هواویزها، شار جریان‌ات اقیانوسی، پوشش آبی، گیاه و خاک سطح زمین و ریزگردانی محلی داده‌های اقلیمی با تفکیک پایین‌تر، نسبت به مدل‌های آماری، نتایج بهنجارتری را با سطح اطمینان بیشتر ارائه می‌دهند (جیورجی و همکاران، ۲۰۱۲). دما یکی از فراسنج‌های حساس آب‌وهوایی از وقوع گرمایش جهانی است. به دلیل اهمیت این فراسنج در علوم محیطی، انسانی و مهندسی تا کنون پژوهشگران شاخص‌ها و روش‌های بی‌شماری ارائه کرده‌اند که مهم‌ترین آن‌ها درجه روز است.

درجه روز عبارت است از اندازه‌گیری میانگین دمای روزانه هوا با استفاده از دمای آستانه؛ این آستانه‌های دمایی انتخاب شده برای محاسبه درجه روز سرمایه و گرمایش به اهداف ویژه بستگی دارند (مسعودیان و همکاران، ۱۳۹۳ الف). با توجه به اهمیت مباحث مرتبط با تغییر اقلیم و مدیریت انرژی که در حقیقت به نوعی تبیین‌کننده ساختار بنیادین دنیای مدرن‌اند، پژوهش‌های بی‌شماری به منظور شناسایی این دگرگونی‌ها و آثار جانبی آن‌ها انجام شده است. به برخی از این تحقیقات با هدف آشنایی مرز دانش تغییرات اقلیمی و انرژی با دو محور تغییر اقلیم و نیاز سرمایه‌ی یا بعضاً گرمایشی پرداخته شده است.

جیانگ و همکاران (۲۰۰۹) روند گرمایش و سرمایه‌ی اگزینجیانگ<sup>۱</sup> چین را با آستانه دمایی ۱۸ و از طریق آزمون آماری من-کندال محاسبه کردند. نتایج نشان داد در فصل پاییز درجه روز گرمایش روند کاهشی داشته است؛ در حالی که روند درجه روزهای سرمایه‌ی ایستگاه‌ها در فصل تابستان دارای روند افزایشی بوده است. اثر گرمایش جهانی بر تغییرات انرژی مورد نیاز گرمایش و سرمایه‌ی با استفاده از مدل گردش عمومی هوسپهر در پنج ناحیه استرالیا بررسی شد (وانگ و همکاران، ۲۰۱۰)؛ نتایج این پژوهش با استفاده از دو سناریوی A1B و A1FI نشان‌دهنده تغییر ۲۶- تا ۱۰۱ درصدی در دهه ۲۰۵۰ و ۴۶- تا ۳۵۰ درصدی در دهه ۲۱۰۰ بوده است. وانگ و چن (۲۰۱۴) در پژوهشی به واکاوی اثر گرمایش جهانی در تغییرات میزان نیاز گرمایش و سرمایه‌ی ساختمان‌ها در چندین شهر ایالات متحده با استفاده از مدل Hadcm3 تحت سناریوهای A1، A1B، و B1 پرداختند. نتایج نشان داد در دوره زمانی ۲۰۸۰ میزان نیاز به سرمایه‌ی در برخی از شهرها از جمله فرانسیسکو و ایلی نویز افزایش می‌یابد. ارزیابی روند درجه روزهای گرمایش و سرمایه‌ی در ایتالیا (دروسا و همکاران، ۲۰۱۴) نیز بیانگر روند افزایشی میزان مصرف انرژی برای سرمایه‌ی محیط است.

از جمله مطالعات داخلی نیز می‌توان به پژوهش مسعودیان و همکاران (۱۳۹۳ ب) اشاره کرد. آنان روند ماهانه درجه روز گرمایش ایران را با استفاده از آزمون ناپارامتریک من-کندال و شیب روند طی دوره آماری ۴۴ساله (۱۳۴۰-۱۳۸۳)

واکاوی کردند. نتایج پژوهش حاکی از روند مثبت نیاز گرمایشی در شمال کردستان و زنجان در فصل بهار و پاییز است. شاخص‌ترین پژوهشی که به نقش تغییر اقلیم و نیاز سرمایش و گرمایش ایران پرداخته پژوهش روشن و جاراب (۲۰۱۲) است. نام‌برندگان در واکاوی اثر تغییر اقلیم بر مصرف انرژی (گرمایش و سرمایش) ایران با استفاده از مدل MAGICC برای دوره ۲۰۲۵ تا ۲۱۰۰ میلادی تحت دو سناریوی A1 و B1 به این نتیجه رسیدند که بیشترین نیاز به گرمایش محیط در ماه ژانویه و بیشترین میزان نیاز به سرمایش در ماه ژوئیه است. همچنین، بخش دیگری از پژوهش آنان نشان‌دهنده افزایش میزان نیاز به سرمایش در دوره‌های ۲۰۲۵ تا ۲۰۷۵ در نواحی مرکزی و جنوب شرقی کشور بوده است.

همچنین، می‌توان به پژوهش‌های دیگری نیز اشاره کرد: ارزیابی اثر گرمایش جهانی در انرژی مصرفی زوریخ (فرانک، ۲۰۰۵)؛ اثر گرمایش جهانی در درجه روز سرمایش و گرمایش مناطق شهری سوئیس (کریستنسون و همکاران، ۲۰۰۶)؛ واکاوی تغییرات اقلیمی بر روی تغییرات مصرف انرژی برای گرمایش و سرمایش در ایرلند (سملر و همکاران، ۲۰۰۹) و ارزیابی روند درجه روز گرمایش در کشور آرژانتین (کاستاندا و کالس، ۲۰۱۳).

جمع‌بندی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد: ۱. مطالعات تغییرات اقلیمی و نیاز انرژی در کشور بسیار ضروری است، زیرا با بحران انرژی در جهان، کاهش مخازن سوخت‌های فسیلی، و افزایش دما که به تبع آن نیازمند افزایش انرژی برای سرمایش خواهد بود در آینده نزدیک کشور وارد عرصه‌ای نو از انرژی خواهد شد؛ ۲. مطالعات سنتی با استفاده از داده‌های ایستگاهی و پایگاه‌های داده با تفکیک مکانی زیاد نمی‌تواند دورنمای مناسبی برای کشور و جهان ارائه دهد. در این پژوهش، با رویکرد استفاده از توابع آمار فضایی، به شناسایی مناطقی با درجه روزهای سرمایشی کشور پرداخته شده است. آنچه پژوهش حاضر را نسبت به سایر مطالعات مرور شده و همچنین یگانه پژوهش انجام‌شده در زمینه تغییر اقلیم و انرژی کشور (روشن و همکاران، ۲۰۱۲) شاخص می‌کند بدین شرح است: ۱. استفاده از بانک داده دمایی مرکز فیزیکی ماکس پلانک برای نخستین بار در کشور؛ ۲. استفاده از مدل منطقه‌ای *REGCM 4* ریزمقیاس‌شده؛ ۳. استفاده از یاخته‌ای به ابعاد  $15 \times 15$  کیلومتر برای کشور؛ ۴. کاربرد به‌روزترین متد آماری دنیا (آمار فضایی). پژوهش روشن و همکاران (۲۰۱۲) به دلایلی که در پی می‌آید نمی‌تواند تعریف درستی از تغییر اقلیم و نیاز انرژی کشور در آینده ارائه دهد: ۱. MAGICC یک مدل یک‌بعدی یا تلفیقی از مدل‌های مختلف اقلیمی، چرخه گازهای جوئی، ذوب یخ، و غیره است (شمسی‌پور، ۱۳۹۳)؛ ۲. مدل چرخه کربن به‌کارگرفته‌شده در این مدل شامل یک بخش اقیانوس است؛ ۳. بزرگ‌مقیاس بودن مدل MAGICC.

## روش تحقیق

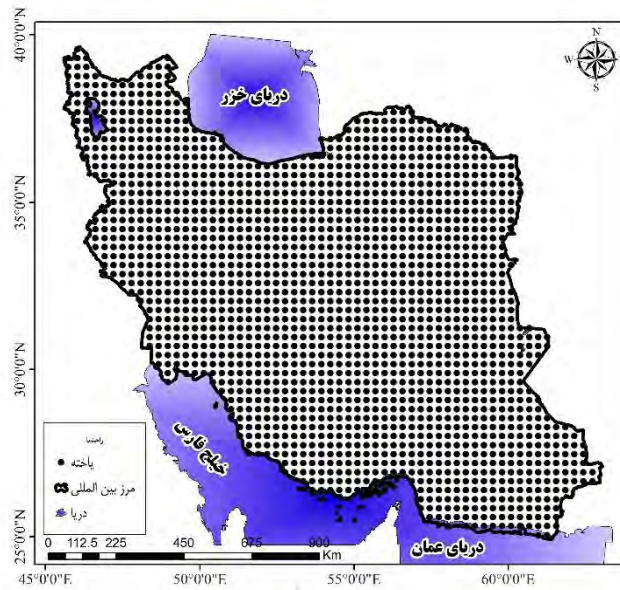
در این پژوهش، به منظور واکاوی اثر گرمایش جهانی بر نیاز سرمایشی ایران (*CDD*)، از میانگین دمای روزانه پایگاه داده EH5OM استفاده شد. EH5OM یک مدل گردش کلی جو-اقیانوس<sup>۱</sup> از سری پنجم مدل‌های گردش عمومی جو

با هسته دینامیکی طیفی است که در مؤسسه ماکس پلانک به صورت روزانه از تاریخ ۱۹۶۰/۱/۱ تا ۲۱۰۰/۱۲/۳۱ تحت سناریوهای مختلف پنل بین‌المللی تغییر اقلیم<sup>۱</sup> تولید می‌شود (روکنر و همکاران، ۲۰۰۶؛ ریچارد و کیپ، ۲۰۰۸؛ امیدوار و همکاران، ۱۳۹۴). جدول ۱ طرحواره‌های مورد استفاده مدل یادشده را نشان می‌دهد.

جدول ۱. طرحواره‌های مورد استفاده در مدل EH5OM (منبع: نیلین، ۲۰۱۰)

نام مدل	ارائه‌دهنده
شرایط ثانویه مرزی	Holtslag et la. (1990)
شرایط اولیه مرزی	Holtslag et la. (1990)
شرایط همرفتی	Emanuel (1991)
گرل، طرح خوشه‌بندی (کومولوس)	Arakawa and Schubert (1974)
رطوبت	pal et al (2000)
نیروی گرادیان فشار	Arakawa and Schubert (1974)

در این پژوهش از داده‌های بازه زمانی ۲۰۱۵ - ۲۰۵۰ تحت سناریوی A1B استفاده شد. تدبیر به کارگیری سناریوی A1B از بین سایر سناریوهای موجود بدین سبب است که بر اساس این سناریو در آینده از منابع سنگواره‌ای و غیر سنگواره‌ای به طور متعادل استفاده می‌شود (شمسی‌پور، ۱۳۹۳). با توجه به بزرگ‌مقیاس بودن مدل‌های گردش عمومی هوا و قدرت تفکیک پایین، از مدل اقلیم منطقه‌ای که برای فرایندهای کوچک‌مقیاس و منطقه‌ای مناسب‌تر است؛ جهت ریزمقیاس‌نمایی داده‌ها استفاده شد (امیدوار و همکاران، ۱۳۹۴). این مدل در مرکز فیزیک نظری عبدالسلام طراحی شد و برای اجرای آن از داده‌های توپوگرافی (GTOPO)، پوشش سطح زمین (GLCC)، دمای سطح دریا (SST)، و شرایط اولیه و مرزی استفاده شد و در سازمان هواشناسی به شکل کلاستر ریزمقیاس گردید. خروجی دمای روزانه مدل ریزگردانی شده در بازه زمانی ۳۶ ساله (۲۰۱۵ - ۲۰۵۰) با ابعاد ۰/۲۷×۰/۲۷ درجه قوسی است که حدوداً یاخته‌هایی با ابعاد ۳۰×۳۰ کیلومتر ایران را پوشش می‌دهد. ابعاد یاخته‌ها ۱۳۱۴۰×۲۱۴۰ است. در این ماتریس سطرها (۱۳۱۴۰) نشان‌دهنده زمان (ساعت، روز، و سال) است و ستون‌ها یاخته‌های میان‌یابی شده با ابعاد ۳۰×۳۰ کیلومتر است. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه و یاخته‌های خروجی مدل را نشان می‌دهد.



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه

با توجه به اینکه داده‌های مزبور در گستره  $0.27 \times 0.27$  درجه قوسی می‌باشند و این تفکیک مکانی نمی‌تواند رفتاری پهنجار از تغییرات مکانی نیاز سرمایشی ایران ارائه دهد، دمای روزانه به‌دست‌آمده از خروجی مدل منطقه‌ای  $REGCM4$ ، با استفاده از روش زمین‌آمار کریجینگ، در پهنه‌ای به ابعاد  $15 \times 15$  کیلومتر بر ایران گسترانیده شد (ماتریسی به ابعاد  $7200 \times 13140$ ). سپس، دمای هر روز هر ایستگاه از آستانه دمایی مورد نظر برای تخمین نیاز سرمایش کسر شد. و در نهایت، جمع ماهانه نیاز سرمایش هر یاخته در بازه زمانی یادشده محاسبه گردید.

### محاسبه درجه روز سرمایش

در این پژوهش برای واکاوی مکانی-زمانی بیلان نیاز سرمایشی ماهانه ایران از رابطه ۱ استفاده شده است (مسعودیان و همکاران، ۱۳۹۰).

$$CDD = \sum_{i=1}^n (T_{meani} - T_{bc})^+ \quad (1)$$

در رابطه ۱،  $T_{meani}$  میانگین دمای روزانه (حاصل درون‌یابی با روش زمین‌آمار کریجینگ) و  $T_{bc}$  آستانه دمایی نیاز سرمایشی ایران است که  $23/9$  درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است؛ آستانه حاضر به پیشنهاد انجمن استاندارد علوم ایالات متحده آمریکا<sup>۱</sup> (۲۰۰۹) به کار برده شد. سرانجام، خروجی نهایی ماتریسی به ابعاد  $7200 \times 12$  است. در ماتریس حاضر سطرها معرف دوازده ماه سال و ستون‌ها معرف یاخته‌های درون‌یابی شده به ابعاد  $15 \times 15$  کیلومتر هستند. در گام بعدی، ماتریس حاضر به منظور تحلیل فضایی وارد محیط نرم‌افزار ARCGIS10.3 شد. از تفکیک مکانی حاضر، با توجه

به پیشنهاد مسعودیان و همکاران (۱۳۹۰، ۱۳۹۳ الف) که به واکاوی نیاز سرمایش ایران در دوره‌های مختلف سال با استفاده از پایگاه اسفزاری پرداخته‌اند استفاده شد.

## آماره‌های فضایی

به منظور ارزیابی خودهمبستگی فضایی نیاز سرمایشی ایران در دهه‌های آینده از روش موران جهانی، موسوم به *Global Moran I*، برای ترسیم خوشه‌ها و ناخوشه‌ها از شاخص انسلین محلی موران *Anselin Local Moran's I* یا همان شاخص محلی همبستگی مکانی (*LISA*) و در نهایت برای تحلیل الگوهای مکانی نیاز سرمایشی از شاخص لکه‌های داغ یا آماره گتیس-ارد جی (*Getis - Ord Gi*) با استفاده از امکانات *ARCGIS 10.3* استفاده شد. جزئیات کامل این روش‌ها را اسکات و جیکانس (۲۰۱۰) و فلاح قاهری و همکاران (۲۰۱۶) ارائه کرده‌اند.

آنچه آماره حاضر ارائه می‌دهد کمیتی بین -۱ تا +۱ با در نظر گرفتن مقدار نیاز سرمایشی محاسبه شده است که مبین الگوی خوشه‌ای یا پراکنده است (اسکات و جیکانس، ۲۰۱۰). برای محاسبه آماره یا شاخص موران، نخست نمره استاندارد  $Z$  و  $P$ -Value محاسبه می‌شود. سپس، به ارزیابی و معنادار بودن شاخص پرداخته می‌شود (فلاح قاهری و همکاران، ۱۳۹۴). برای محاسبه خودهمبستگی فضایی با استفاده از شاخص موران جهانی از رابطه ۲ استفاده می‌شود.

$$I = \frac{n}{s_0} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{i,j} Z_i Z_j}{\sum_{i=1}^n Z_i^2}, \quad (2)$$

در رابطه ۲،  $Z_i$  تفاضل بین مقدار خصیصه عارضه  $i$  با میانگین آن  $(x_i - \bar{x})$  است.  $W_{i,j}$  وزن موجود بین عارضه  $i$  و  $j$  است.  $n$  تعداد کل عوارض جغرافیایی موجود در لایه مورد استفاده است و  $s_0$  جمع کل وزن‌های فضایی است (فلاح قاهری و همکاران، ۱۳۹۴؛ ۲۰۱۶).

تحلیل خوشه و ناخوشه الگویی بهینه برای نمایش توزیع آماری پدیده‌ها در فضا (داداشی رودباری، ۱۳۹۴؛ فلاح قاهری و همکاران، ۱۳۹۴؛ علی‌آبادی و داداشی رودباری، ۱۳۹۴). برای تحلیل خوشه و ناخوشه برای هر عارضه موجود در لایه، مقدار شاخص موران محلی نمره  $Z$  و  $P$ -Value را، که بیانگر معناداری شاخص است، محاسبه می‌نماید (انسلین و همکاران، ۲۰۰۹). آماره محلی موران  $I$  بر اساس رابطه ۳ محاسبه می‌شود.

$$I_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s_i^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{i,j} w_{i,j} (x_i - \bar{x}) \quad (3)$$

در رابطه ۳،  $x_i$  خصیصه عارضه  $i$ ،  $\bar{x}$  میانگین خصیصه مربوطه، و  $w_{i,j}$  وزن فضایی بین عارضه  $i$  و  $j$  است. مقدار  $s_i$  از رابطه ۴ محاسبه می‌شود (انتظاری و همکاران، ۱۳۹۴ به نقل از انسلین و همکاران، ۲۰۰۹).

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij}}{n-1} - \bar{x}^2 \quad (4)$$

در رابطه ۴،  $n$  برابر با تعداد کل عارضه‌هاست.

در تحلیل لکه‌های داغ از آماره گتیس-ارد جی (Getis - Ord Gi) برای کلیه عوارض موجود در داده‌ها استفاده می‌شود (روگرسون، ۲۰۰۶). نمره  $Z$  محاسبه شده نشان می‌دهد که در کدام مناطق داده‌ها با مقادیر زیاد یا کم خوشه‌بندی شده‌اند. امتیاز  $Z$  برای خروجی نهایی زمانی به دست خواهد آمد که مجموع محلی (Local sum) عارضه و همسایه آن به طور نسبی با جمع کل عارضه‌ها مقایسه شود (اسکات و جیکانس، ۲۰۱۰؛ فلاح قاله‌ری و همکاران، ۱۳۹۴). آماره گتیس-ارد جی به صورت رابطه ۵ محاسبه می‌شود.

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} - x_j \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{\sqrt{\frac{[n \sum_{j=1}^n w_{i,j}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{i,j})^2]}{n-1}}} \quad (5)$$

در رابطه ۵،  $x_j$  مقدار خصیصه برای عارضه  $j$ ،  $w_{i,j}$  وزن فضایی بین عارضه  $i$  و  $j$ ، و  $n$  تعداد کل عارضه‌هاست. برای محاسبه  $G_i^*$  از رابطه ۶ استفاده می‌شود.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{x})^2} \quad (6)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n} \quad (7)$$

با توجه به اینکه  $G_i^*$  خود نوعی نمره  $Z$  محسوب می‌شود، از محاسبه دوباره  $Z$  پرهیز شده است (کرمی و داداشی رودباری، ۱۳۹۳؛ فلاح قاله‌ری و همکاران، ۱۳۹۴؛ انتظاری و همکاران، ۱۳۹۴).

### یافته‌های تحقیق

به منظور ارزیابی مقادیر خودهمبستگی فضایی نیاز سرمایش ایران برای دوره آتی (۲۰۱۵ - ۲۰۵۰) از روش خودهمبستگی فضایی موران جهانی استفاده شد؛ جدول ۲ نتایج به دست آمده از آن را نشان می‌دهد. بر این اساس، نیاز سرمایش ایران دارای خودهمبستگی فضایی معنی‌دار مثبت در آینده است. همسنجی آماره محاسباتی با آستانه معنی نشان می‌دهد که در همه ماه‌های مورد مطالعه مقدار آماره در سطح  $\alpha = 0.01$  معنی‌دار است. بر این اساس، فرضیه صفر مبنی بر عدم ارتباط فضایی نیاز سرمایشی آینده ایران مبتنی بر برون‌داد سناریوی AIB رد می‌شود و وابستگی فضایی نیاز سرمایشی تأیید می‌شود. حال که مشخص شد نیاز سرمایشی ایران دارای ساختار فضایی است، می‌توان نتیجه

گرفت که، ضمن رفتار خوشه‌ای این فراسنج اقلیمی، نیازهای سرمایشی بالا یا پایین به متمرکز شدن یا به عبارتی دیگر خوشه‌ای شدن در فضای جغرافیایی کشور تمایل دارند.

جدول ۲. خروجی آماره موران به صورت ماهیانه برای نیاز سرمایشی آینده ایران مبتنی بر برون‌داد سناریوی A1B

ماه	شاخص موران	شاخص موران مورد انتظار	وارianس	z-score	p-value	مفهوم سازی رابطه فضایی	روش اندازه‌گیری
ژانویه	۰/۳۹۷۵۷۳	-۰/۰۰۰۱۳۹	۰/۰۰۰۰۱۱	۱۱۸/۶۴	۰	مربع معکوس فاصله	اقلیدسی
فوریه	۰/۶۱۶۲۲۷	-۰/۰۰۰۱۳۹	۰/۰۰۰۰۱۳	۱۷۰/۵۷	۰	مربع معکوس فاصله	اقلیدسی
مارس	۰/۹۰۷۱۳۳	-۰/۰۰۰۱۳۹	۰/۰۰۰۰۱۴	۲۴۵/۰۵	۰	مربع معکوس فاصله	اقلیدسی
آوریل	۰/۹۵۸۱۶۲	-۰/۰۰۰۱۳۹	۰/۰۰۰۰۱۴	۲۵۸/۵۵	۰	مربع معکوس فاصله	اقلیدسی
مه	۰/۹۷۲۵۹۸	-۰/۰۰۰۱۳۹	۰/۰۰۰۰۱۴	۲۶۲/۳۹	۰	مربع معکوس فاصله	اقلیدسی
ژوئن	۹۷۲۶۹۱	-۰/۰۰۰۱۳۹	۰/۰۰۰۰۱۴	۲۶۲/۴۱	۰	مربع معکوس فاصله	اقلیدسی
ژوئیه	۰/۹۶۸۵۳۱	-۰/۰۰۰۱۳۹	۰/۰۰۰۰۱۴	۲۶۱/۲۹	۰	مربع معکوس فاصله	اقلیدسی
اوت	۰/۹۶۰۱۶۳	-۰/۰۰۰۱۳۹	۰/۰۰۰۰۱۴	۲۵۹/۰۴	۰	مربع معکوس فاصله	اقلیدسی
سپتامبر	۰/۹۳۷۹۲۵	-۰/۰۰۰۱۳۹	۰/۰۰۰۰۱۴	۲۵۳/۰۶	۰	مربع معکوس فاصله	اقلیدسی
اکتبر	۰/۸۳۳۴۸۰	-۰/۰۰۰۱۳۹	۰/۰۰۰۰۱۴	۲۲۵/۰۰	۰	مربع معکوس فاصله	اقلیدسی
نوامبر	۰/۵۸۶۳۲۷	-۰/۰۰۰۱۳۹	۰/۰۰۰۰۱۴	۱۵۹/۱۵	۰	مربع معکوس فاصله	اقلیدسی
دسامبر	۰/۴۳۶۵۲۳	-۰/۰۰۰۱۳۹	۰/۰۰۰۰۱۴	۱۲۳/۰۵	۰	مربع معکوس فاصله	اقلیدسی

چنانکه در جدول ۲ نیز مشاهده می‌شود، با گرم شدن هوا و پایان فصل زمستان مقدار شاخص موران جهانی به ۰/۹۰ رسیده است. این نوع از توزیع داده‌ها مبین این امر است که الگوی پراکنش فضایی درجه روز سرمایش در فواصل و مقیاس‌های چندگانه از فاصله‌ای به فاصله دیگر و مقیاسی به مقیاس دیگر تغییر می‌کند. بنابراین، از آنجا که نیاز سرمایش در ماه‌های گرم سال برای کل کشور افزایش می‌یابد، تغییر اندازه این فراسنج در کل کشور برای واحدهای همسایگی حاصل شده است. ولی در ماه‌های سرد سال نیاز سرمایش در کشور کاهش محسوسی می‌یابد. در ماه‌های آوریل، می، و ژوئن (فصل بهار) این فراسنج از بالاترین مقدار ارزشی برخوردار است.

به منظور ارزیابی توزیع فضایی الگوی حاکم بر پراکنش فضایی درجه روز سرمایش کشور، طی دوره مورد مطالعه از موران محلی استفاده شد؛ جدول ۳ و شکل ۲ نتایج آن را نشان می‌دهد. بر این اساس، در ماه‌های ژانویه و فوریه در ۹۹ درصد از وسعت کشور، به جز جلگه‌ها و سواحل دریای عمان، الگوهای معنی‌داری از لحاظ نیاز سرمایش بین نقاط کشور مشاهده نمی‌شود (شکل ۲). به عبارتی دیگر، می‌توان ابراز کرد که در ماه‌های فصل زمستان (ژانویه، فوریه، و مارس) نیاز سرمایش به نوار ساحلی جنوب، به ویژه سواحل هرمزگان و چابهار، منحصر شده است. این در حالی است که بقیه مناطق



کشور در این فصل فاقد نیاز سرمایه‌ی است. در ماه ژانویه ۰/۱ و در فوریه ۳/۴ درصد از مناطق کشور، که غالباً نواحی ساحلی دریای عمان است، دارای الگوی خوشه‌ای با ارزش بالا (خودهمبستگی فضایی مثبت) است. در ماه‌های مارس و آوریل الگوی خوشه‌ای بالا، علاوه بر سواحل دریای عمان، بخش‌های پس‌کرانه‌ای را در ناحیه‌ی جازموریان و سواحل خلیج فارس و جلگه‌ی خوزستان به‌ترتیب با ۱۰ و ۱۸/۵ درصد در بر گرفته است. این در حالی است که بقیه‌ی مناطق کشور طی این دو ماه فاقد الگوی خاصی هستند (شکل ۲). در ماه‌های می، ژوئن، و ژوئیه - که گرم‌ترین ماه‌های سال نیز می‌باشند - علاوه بر ناحیه‌ی ساحلی، بخش‌های پس‌کرانه‌ای جلگه‌ها و سواحل جنوبی، دشت لوت و دشت سیستان دارای الگوی خوشه‌ای مثبت‌اند. میزان نواحی تحت پوشش این الگو نیز در سه ماه یادشده ۲۵ درصد از وسعت کشور است. الگوی منفی (خودهمبستگی فضایی منفی) نیز در فلات آذربایجان و توده‌های کوهستانی زاگرس، البرز، و بلندی‌های خراسان نمایان است که به‌ترتیب در ماه می ۳۶، ژوئن ۳۲، و ژوئیه ۳۰ درصد از کل مساحت کشور را به خود اختصاص داده‌اند. نوار کوهپایه‌ای و چاله‌های داخلی نیز فاقد الگوی خاصی در ماه‌های نام‌برده‌اند (شکل ۲). در ماه‌های اوت و سپتامبر نیز بخش‌های جنوبی به‌ترتیب با ۲۴ و ۲۱ درصد از وسعت کشور دارای الگوی خوشه‌ای مثبت‌اند و نوار کوهستانی کشور نیز با ۳۱ درصد دارای الگوی خوشه‌ای منفی است. بدین ترتیب، می‌توان گفت که نوار کوهستانی کشور در نیمه‌ی اول سال شاهد الگوی خودهمبستگی منفی (خوشه‌ای پایین) است و جلگه‌ها و سواحل جنوبی و پس‌کرانه‌ای دارای الگوی خودهمبستگی مثبت‌اند (خوشه‌ای مثبت). در ماه‌های سرد سال نیز بیشتر مناطق کشور، به‌جز ناحیه‌ی ساحلی جنوب، فاقد الگوی خاصی است. نواحی‌ای که فاقد الگوی معنی‌داری‌اند به این معنا نیست که این مناطق نیازمند نیاز سرمایه‌ی نیستند، بلکه این آماره مهر تأییدی بر یک واقعیت مسلم اقلیمی کشور زده است و آن هم تنوع بالای اقلیمی کشور است؛ به طوری که ارتفاعات و چاله‌های داخلی کشور با تفکیک مکانی ارائه‌شده (۱۵×۱۵ کیلومتر) دارای بی‌نظمی‌های زیادی هستند و همین بی‌نظمی‌های مکانی برای آمار مورد مطالعه دلیلی شده است تا این مناطق را فاقد الگوی معنی‌داری نشان دهد.

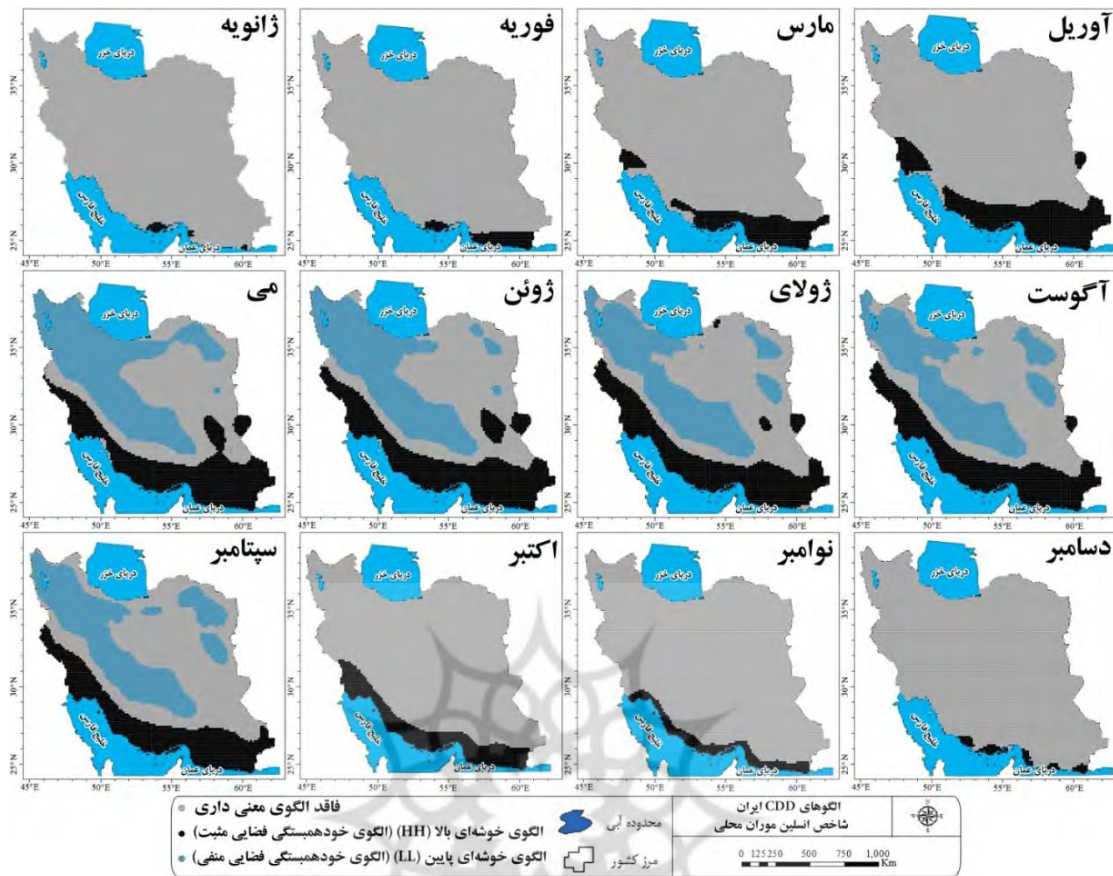
آنچه از ارزیابی آماره‌ی حاضر برای دورنمای نیاز سرمایه‌ی کشور قابل تصور خواهد بود بدین شرح است: ۱. بیشترین نیاز سرمایه‌ی کشور در ماه‌های آوریل تا سپتامبر خواهد بود. در طی ماه‌های ذکرشده، ایران، بر حسب نیاز سرمایه‌ی، به سه پهنه تقسیم می‌شود: کلان‌اقلیمی کوهستانی و کوهپایه‌ای؛ چاله‌های داخلی؛ و جلگه‌ها و سواحل جنوبی؛ ۲. بیشترین نیاز سرمایه‌ی را پهنه‌ی جنوبی کشور و کمترین آن را نوار کوهستانی داراست؛ ۳. دشت لوت، دشت زابل، و دشت ترکمن در ماه‌های گرم سال، به دلیل نیاز سرمایه‌ی، بیشتر دارای نقش خرده‌اقلیمی‌اند؛ ۴. با شروع فصل پاییز از نیاز سرمایه‌ی مناطق کوهستانی، چاله‌های داخلی، و نوار کوهپایه‌ای کاسته می‌شود و نوار یک سوم جنوبی کشور، به سبب دماهای بالاتر از آستانه‌ی دمایی انتخابی، دارای نیاز سرمایه‌ی است؛ ۵. دورنمای نیاز سرمایه‌ی ایران حاکی از وجود دو پهنه‌ی اقلیمی هموار و ناهموار در کشور است و با مطالعات مسعودیان و همکاران (۱۳۹۰) که نیاز سرمایه‌ی ایران را برای دوره‌ی مشاهداتی ۱۳۴۰ تا ۱۳۸۱ خورشیدی با استفاده از پایگاه داده‌ی یاخته‌ای اسفزاری ارزیابی کردند همخوانی دارد. بنابراین، آنچه پژوهش حاضر برای دورنمای نیاز سرمایه‌ی کشور (۲۰۱۵ - ۲۰۵۰) به‌دست آورده نشان‌دهنده‌ی جابه‌جایی مکانی نیاز سرمایه‌ی کشور بوده است؛ به طوری که مناطقی با فقدان نیاز سرمایه‌ی یا نیاز سرمایه‌ی خیلی کم به ارتفاعات بلندتر و عرض‌های جغرافیایی

بالتر در حال جابه‌جایی است که این امر می‌تواند زنگ خطری برای انرژی کشور، به‌خصوص مصرف برق، باشد؛ زیرا با همه‌گیر شدن لوازم سرمایشی گازی، همچون چیلر و اسپلیت، و مصرف بسیار زیاد برق این لوازم در آینده نزدیک باید شاهد افزایش قیمت تمام‌شده برق و کمبود و حتی قطعی آن در برخی از نقاط کشور باشیم؛ عم وجود نیاز سرمایش در همه ماه‌های سال در نوار جنوبی حاکی از گرم‌تر شدن دمای این مناطق در دهه‌های آتی است؛ این نتایج با نتایج روشن و گراب (۲۰۱۲) که بیان می‌کنند بیشترین نیاز سرمایش کشور در دهه‌های آتی در نوار جنوبی است - همراستاست. تفاوت زمانی - مکانی نیاز سرمایشی در نواحی مختلف کشور از یک سو و افزایش نیاز سرمایش در ناحیه دشت کویر و نواحی جنوبی و کاهش نیاز سرمایش در ناحیه کوهستانی شمال غرب کشور با نتایج امیدوار و همکاران (۱۳۹۴) که به واکای زمانی - مکانی فرین‌های سرد ایران تحت واداشت گرمایش جهانی پرداخته‌اند؛ همخوانی زیادی دارد و صحه‌ای است بر نتایج ارائه‌شده.

جدول ۳. درصد مساحت تحت پوشش الگوی حاصل از موران محلی

نوع الگوی درجه روز سرمایش	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن
الگوی خوشه‌ای بالا (HH)	۰/۶۳	۳/۴۱	۱۰/۵۹	۱۸/۵۲	۲۵/۵۱	۲۶/۸۶
الگوی خوشه‌ای پایین (LL)	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۳۶/۰۴	۳۲/۱۳
فاقد الگو	۹۹/۳۶	۹۶/۵۸	۸۹/۴۰	۸۱/۴۷	۳۸/۴۴	۴۱
نوع الگوی درجه روز سرمایش	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
الگوی خوشه‌ای بالا (HH)	۲۴/۸۰	۲۴/۱۵	۲۱/۴۰	۱۲/۷۵	۵/۳۰	۱/۷۲
الگوی خوشه‌ای پایین (LL)	۳۰/۵۹	۳۱/۶۳	۳۱/۰۸			
فاقد الگو	۴۴/۵۹	۴۴/۲۰	۴۷/۵۱	۸۷/۲۵	۹۴/۶۹	۹۸/۲۸

در قرن بیستم، متوسط دما در سطح جهانی حدود ۰/۶ ع ۰/۲ افزایش یافته است (IPCC, 2001). همگام با گرم‌شدن کره زمین، دمای ایران نیز با میزان دمای جهانی افزایش یافته است. در مجموع، دمای شبانه‌روزی ایران دو درجه در هر صد سال افزایش یافته است. بنابراین، افزایش دمای ایران نسبت به میانگین گرمایش جهانی نزدیک به دو برابر است (مسعودیان، ۱۳۸۳). با توجه به گزارش‌های IPCC، متوسط دمای جهانی در قرن بیست‌ویکم ۱/۴ تا ۵/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت (IPCC, 2001). بر اساس این پیش‌بینی، گرمایش جهانی و جابه‌جایی تقویم اقلیمی کشور و کاهش دوره سرد سال (زمستان) و افزایش دوره گرم سال (تابستان) و تمایل افزایش مقدار CDDs در آینده، بدون شک برای نیاز گرمایش و کاهش مصرف انرژی در دوره سرد سال مفید خواهد بود. از طرف دیگر، با افزایش دما و گرمایش جهانی نیاز انرژی برای سرمایش افزایش خواهد یافت.



شکل ۲. نتایج حاصل از پراکنش الگوی موران محلی پراکنش درجه روز سرمایش در ایران

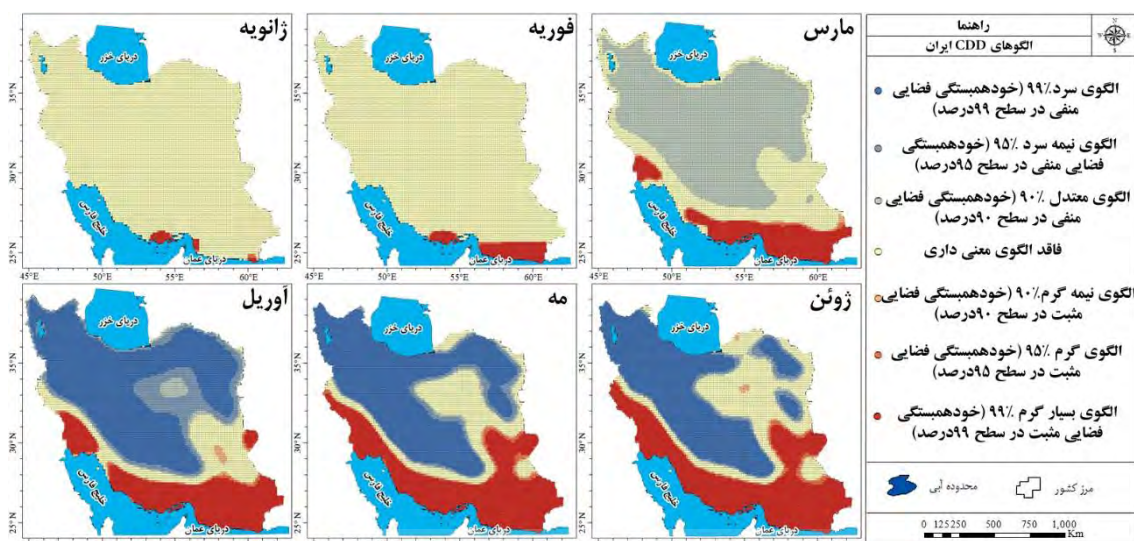
میزان نیاز سرمایش ماهانه کشور با مدل EH5OM طی دهه‌های آتی تحت سناریوی A1B با استفاده از آماره گتیس- اردجی (Getis - Ord Gi) محاسبه شد. در ماه‌های ژانویه و فوریه الگوی معنی‌داری در بیش از ۹۰ درصد از وسعت کشور مشاهده نمی‌شود و فقط در ماه فوریه الگوی نیاز سرمایشی (در سطح معناداری ۹۹ درصد) در سواحل دریای عمان و هرمزگان مشاهده می‌شود که موجب افزایش نیاز سرمایش این بخش از کشور شده است. در ماه مارس، در نوار کوهستانی و دشت کویر (حدود ۶۰ درصد از وسعت کشور) الگوی معتدل یا همبستگی منفی (در سطح معناداری ۹۰ درصد) حاکم است. این در حالی است که جلگه‌ها و سواحل جنوبی و پس‌کرانه‌ای با ۱۲ درصد وسعت نیاز سرمایشی دارند (شکل ۳). در فصل بهار جلگه‌ها و سواحل جنوبی، دشت لوت، نوار جنوب شرق، و چاله جازموریان (در سطح معناداری ۹۹ درصد) دارای الگوی بسیار گرم (در سطح معناداری ۹۹ درصد) با همبستگی مثبت (نیاز سرمایشی قطعی) می‌باشند که این نقاط در ماه‌های آوریل ۲۰ درصد، می ۲۸ درصد، و ژوئن ۲۹ درصد از گستره کشور را دربر می‌گیرند. عرض پایین و هوای گرم و مرطوب از عوامل پیشینه‌بودن نیاز به این فراسنج در مناطق یادشده است. نوار کوهستانی، کوهپایه‌های داخلی و جلگه‌ها و سواحل شمالی نیز در ماه‌های آوریل با ۴۷ درصد، می با ۴۳ درصد، و ژوئن با ۳۶ درصد (در سطح معناداری ۹۹ درصد) دارای الگوی سرد یا همبستگی منفی‌اند که نسبت به مناطق جنوبی به سرمایش کمتری نیاز دارند. کوهپایه‌های بیرونی و دشت کویر در این فصل فاقد الگوی معنی‌داری دارند (شکل ۳). در فصل تابستان (ژوئیه، اوت، و

سپتامبر) نیز، همانند فصل بهار، الگوهای موجود در مناطق یادشده تکرار می‌شود با این تفاوت که در چاله لوت و دشت ترکمن از الگوی همبستگی مثبت به تدریج کاسته می‌شود و این مناطق در ماه اوت و سپتامبر فاقد الگو هستند. کوهپایه‌های بیرونی و دشت کویر نیز، همانند ماه‌های قبل، فاقد الگوی خاصی هستند. در ماه اکتبر، الگوی خودهمبستگی مثبت یا بسیار گرم (در سطح معنی‌داری ۹۹ درصد) در جلگه‌ها و سواحل جنوبی (حدود ۱۵ درصد از وسعت کشور) منحصر شده است. این در حالی است که به جز باریکه‌ای از نوار کوهپایه‌ای بیرونی و دشت لوت، که با ۱۵ درصد فاقد الگوی معنی‌دارند، در بقیه مناطق کشور الگوی خودهمبستگی منفی (در سطح معنی‌داری ۹۵ و ۹۰ درصد) با حدود ۷۰ درصد از وسعت کشور نمایان است (شکل ۴). در ماه‌های نوامبر و دسامبر نیز، همانند فصل زمستان، در بیش از ۹۰ درصد از وسعت کشور الگوی معنی‌داری مشاهده نمی‌شود.

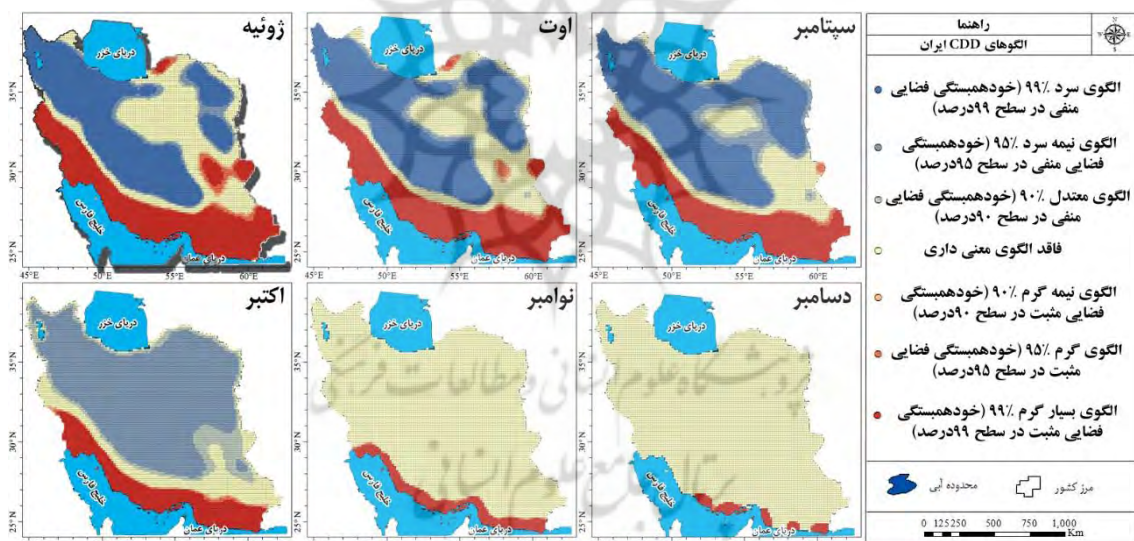
جدول ۴. درصد مساحت تحت پوشش الگوی حاصل از آماره لکه داغ

ژوئن	مه	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه	نوع الگوی درجه روز سرمایش
۳۶/۵۹	۴۳/۳۳	۴۷/۲۹	۵۹/۶۵			الگوی سرد (خودهمبستگی فضایی منفی در سطح ۹۹ درصد)
۴/۵۶	۵/۴۸	۱۳/۳۴				الگوی نیمه سرد (خودهمبستگی فضایی منفی در سطح ۹۵ درصد)
۲/۴۰	۲/۵۵	۳/۷۰				الگوی معتدل (خودهمبستگی فضایی منفی در سطح ۹۰ درصد)
۲۳/۲۵	۲۵/۶۶	۱۳/۴۴	۲۶/۶۹	۹۵/۷۲	۹۸/۹۳	فاقد الگوی معنی‌داری
۱/۱۱	۰/۹۱	۱/۱۲	۰/۶۳	۰/۵۵	۰/۶۹	الگوی نیمه گرم (خودهمبستگی فضایی مثبت در سطح ۹۰ درصد)
۲/۱۸	۱/۹۱	۱/۰۸	۱/۰۸	۰/۲۵	۰/۱۵	الگوی گرم (خودهمبستگی فضایی مثبت در سطح ۹۵ درصد)
۲۹/۸۸	۲۸/۳۰	۲۰	۱۱/۹۳	۳/۹۷	۰/۸۴	الگوی بسیار گرم (خودهمبستگی فضایی مثبت در سطح ۹۹ درصد)
دسامبر	نوامبر	اکتبر	سپتامبر	اوت	ژوئیه	نوع الگوی درجه روز سرمایش
بر	بر	بر	بر	بر	بر	
			۴۵/۰۲	۳۹/۸۰	۳۶/۷۷	الگوی سرد (خودهمبستگی فضایی منفی در سطح ۹۹ درصد)
		۵۸/۰۸	۹/۱۳	۵/۷۹	۵/۲۵	الگوی نیمه سرد (خودهمبستگی فضایی منفی در سطح ۹۵ درصد)
		۱۱/۰۴	۴/۰۲	۳/۰۹	۲/۲۲	الگوی معتدل (خودهمبستگی فضایی منفی در سطح ۹۰ درصد)
		۹۲/۹۳	۱۵/۰۴	۱۷/۱۲	۲۲/۴۰	فاقد الگوی معنی‌داری
		۰/۳۳	۰/۸۱	۰/۶۲	۱/۲۰	الگوی نیمه گرم (خودهمبستگی فضایی مثبت در سطح ۹۰ درصد)
		۰/۴۵	۰/۸۸	۱/۴۱	۲/۰۵	الگوی گرم (خودهمبستگی فضایی مثبت در سطح ۹۵ درصد)
		۶/۲۷	۱۴/۱۲	۲۲/۶۳	۲۵/۶۳	الگوی بسیار گرم (خودهمبستگی فضایی مثبت در سطح ۹۹ درصد)

تجزیه و تحلیل‌های ناحیه‌ای برای دورنمای نیاز سرمایشی نشان می‌دهد تقاضای انرژی در فصول مختلف سال متفاوت خواهد بود و بسیار تغییر خواهد کرد. آنچه مشخص است اینکه درجه روزهای گرمایش در ایران کاهش و درجه روزهای سرمایش افزایش خواهد یافت.



شکل ۳. نتایج حاصل از پراکنش الگوی لکه داغ برای درجه روزهای سرمایش طی دوره مورد مطالعه



شکل ۴. نتایج حاصل از پراکنش الگوی لکه داغ برای درجه روزهای سرمایش طی دوره مورد مطالعه

آنچه از تحلیل لکه‌های داغ برای دورنمای نیاز سرمایشی ایران به دست آمده بدین شرح است:

۱. بروز اقلیم سرد در ماه‌های ژانویه و فوریه موجب شده که کشور فاقد نیاز سرمایش (سردکردن محیط) در این ماه باشد. سواحل چابهار و هرمزگان نیز در این فصل شاهد بروز دماهایی بیشتر از آستانه آسایش است که موجب نیاز سرمایش جزئی در این مناطق به دلیل اثر تعدیلی رطوبت دریا و دوری از مسیر توده‌های هوایی شده است (مسعودیان و همکاران، ۱۳۹۳ ب).

۲. در ماه‌های مارس تا سپتامبر، کشور از لحاظ نیاز سرمایش به سه بخش پهنه‌بندی می‌شود: جلگه‌ها و سواحل

جنوبی و پس کرانه‌ای؛ نوار کوهستانی و کوهپایه‌ای؛ و دشت‌ها و چاله‌های داخلی و بیرونی. پهنه جلگه‌ها و سواحل جنوبی و پس کرانه‌ای در همه ماه‌های سال، به‌ویژه در فصل بهار و تابستان، طی دهه‌های آتی از نیاز سرمایش بیشتری در کشور برخوردار خواهند بود که گویای گرم‌تر شدن هوا در این بخش گرم و مرطوب کشور است. این نتایج با نتایج روشن و گراب (۲۰۱۲) نیز، که از طریق مدل Hadcm3 بیان کردند طی دهه‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ نیاز سرمایش جلگه‌ها و سواحل جنوبی، به نسبت سایر نقاط کشور افزایش کمی داشته، همراستاست.

۳. نیاز سرمایش بیشتر در بخش مرکزی لوت، دشت زابل، و دشت ترکمن- که به شکل خرده‌ناحیه اقلیمی در دل ناحیه بزرگ‌تر جای گرفته- بیش از هر چیز نقش ارتفاع را در تغییرات نیاز سرمایش گویا می‌سازد. در طی ماه‌های یادشده نیز پهنه کوهستانی و کوهپایه‌ای کشور از کمترین نیاز سرمایش برخوردارند. در این پهنه نیز، بسته به تغییرات ارتفاعی، شیو نیاز سرمایش تغییر می‌کند و با حرکت به سمت چاله‌های داخلی بر میزان آن افزوده می‌شود و بالعکس با پیشروی به سمت بلندی‌های کشور میزان آن کاهش می‌یابد.

۴. در فصل پاییز نیز با تغییرات شرایط دمایی نیاز سرمایش در بیشتر مناطق کشور به میزان زیادی، نسبت به فصل تابستان، کاهش خواهد یافت. اما همچنان سواحل چابهار و هرمزگان از بیشینه این فراسنج در کشور برخوردارند.

## نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت روزافزون انرژی و مدیریت آن در زندگی انسان و لزوم به‌روزر کردن مطالعات نیازسنجی انرژی، این پژوهش با هدف مدل‌سازی و تحلیل فضایی نیاز سرمایش در ایران طی دهه‌های آتی به رشته تحریر درآمد. اهمیت مطالعه حاضر، با توجه به افزایش مقدار گازهای گلخانه‌ای، به‌ویژه  $CO_2$  جو و تغییرات دمای هوا، که موجب افزایش مصرف انرژی برای سرمایش محیط، به‌ویژه در ماه‌های گرم، خواهد شد، بیش از پیش احساس می‌شود. به منظور دستیابی به هدف مطروحه، نخست داده‌های دمای روزانه مدل EH50M مؤسسه ماکس پلانک طی دوره آماری ۲۰۱۵ - ۲۰۵۰ تحت سناریوی A1B با تفکیک ۱/۷۵ درجه قوسی، برای گستره ایران، با ریزمقیاس ۱/۳۱۴۰×۲۱۴۰ کیلومتر، نام‌برده با تفکیک مکانی ۰/۲۷×۰/۲۷ قوسی به وسیله مدل REGCM4 ریزمقیاس شدند. بعد از ریزمقیاس‌نمایی، داده‌های دمای هوای روزانه در بازه زمانی ۳۶ ساله (۲۰۱۵ - ۲۰۵۰) در ماتریسی به ابعاد ۱۳۱۴۰×۲۱۴۰ قرار گرفتند. از آنجا که این تفکیک مکانی نمی‌تواند رفتاری بهنجار از تغییرات مکانی نیاز سرمایشی ایران ارائه دهد، در گام بعدی از پیش‌پردازش داده‌ها، قبل از محاسبه نیاز سرمایشی، با استفاده از روش زمین‌آمار کریجینگ داده‌های روزانه، دمایی در پهنه‌ای به ابعاد ۱۵×۱۵ کیلومتر بر ایران گسترانیده شد که نتیجه آن ماتریسی بود به ابعاد ۱۳۱۴۰×۷۲۰۰. نیاز سرمایشی کشور برای دوره آتی بر روی این ماتریس محاسبه شد. نتایج خودهمبستگی فضایی برای دورنمای نیاز سرمایشی در ایران با استفاده موران محلی نشان داد که نیاز سرمایشی در ایران برای دهه‌های آتی دارای ساختار فضایی است و به شکل خوشه‌ای توزیع خواهد شد. شاخص محلی همبستگی مکانی (LISA) نشان داد که بیشترین نیاز سرمایش کشور در ماه‌های آوریل تا سپتامبر خواهد بود؛ بر این اساس، پهنه جنوبی کشور بیشترین نیاز و نوار کوهستانی کمترین نیاز سرمایشی را تجربه خواهند کرد. ایران، بر حسب نیاز سرمایش، به سه پهنه - کلان اقلیمی کوهستانی و

کوهپایه‌ای؛ چاله‌های داخلی؛ و جلگه‌ها و سواحل جنوبی-پهنه‌بندی می‌شود. همچنین، دورنمای نیاز سرمایشی ایران حاکی از وجود دو پهنه اقلیمی هموار و ناهموار برای کشور است که با مطالعات مسعودیان و همکاران (۱۳۹۰) نیز همخوانی دارد. ولی در دوره‌های آتی شاهد جابه‌جایی مکانی نیاز سرمایشی در کشور هستیم؛ به طوری که مناطقی با عدم نیاز سرمایشی یا نیاز سرمایشی خیلی کم، نیاز سرمایشی، به ارتفاعات بلندتر و عرض‌های جغرافیایی بالاتر در حال جابه‌جایی است. نتایج به‌دست‌آمده از آماره گتیس-ارد جی نیز نشان داد که بروز اقلیم سرد در ماه‌های ژانویه و فوریه دلیلی است بر عدم نیاز سرمایش (سردکردن محیط) در بخش اعظمی از کشور. نیاز سرمایش بیشتر در بخش مرکزی لوت، دشت زابل، و دشت ترکمن- که به شکل خرده‌ناحیه اقلیمی در دل ناحیه بزرگ‌تر جای گرفته- مبین اثر عامل ارتفاع در نیاز سرمایشی است. پهنه کوهستانی و کوهپایه‌ای کشور کمترین نیاز سرمایش را دارد که، بسته به تغییرات ارتفاعی، شیو نیاز سرمایش تغییر می‌کند و با حرکت به سمت چاله‌های داخلی بر میزان آن افزوده می‌شود و بالعکس با پیشروی به سمت بلندی‌های کشور میزان آن کاهش می‌یابد. سواحل چابهار و هرمزگان قطب بیشینه نیاز سرمایشی کشور در آینده‌اند. مقایسه نتایج این پژوهش با حلیمی برده زرد (۱۳۹۰) نشان می‌دهد که با افزایش هر درجه روز میانگین نیاز سرمایشی روزانه کشور پتانسیل بار مصرفی در حدود ۰/۱۴ کل بار مصرفی روزانه هر سال بالا می‌رود. همچنین، تغییر اقلیم از طریق افزایش نیاز به سردکردن محیط مسکونی و ساختمان در دوره گرم سال در کل موجب تحمیل Kwh 106×53 بار اضافی به شبکه سراسری برق مصرفی بخش خانگی کشور می‌شود. بنابراین، پیشنهاد می‌شود با امکان‌سنجی نیروگاه‌های بادی و فتوولتایک در منطقه، ضمن ایجاد فرصت‌های شغلی نو و اشاعه سیاست‌های انرژی پاک و پایدار، از هزینه‌های تمام‌شده انرژی نیز کاسته شود.

## منابع

- امیدوار، ک.؛ ابراهیمی، ر.؛ داداشی رودباری، ع. و ملک‌میرزایی، م. (۱۳۹۴). واکاوی زمانی- مکانی فرین‌های سرد ایران تحت تأثیر گرمایش جهانی به منظور کاهش مخاطرات، دانش مخاطرات، ۲(۴): ۴۲۳-۴۳۷.
- انتظاری، ع.؛ داداشی رودباری، ع. و اسدی، م. (۱۳۹۴). ارزیابی خودهمبستگی تغییرات زمان، شماره مکانی جزایر گرمایی در خراسان رضوی، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۶: ۱۲۵-۱۴۶.
- داداشی رودباری، ع. (۱۳۹۴). ارزیابی سیل‌خیزی با استفاده از مدل ریاضی HEC-HMS، تحلیل‌های آماری، و GIS در حوضه آبخیز هراز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی دانشگاه حکیم سبزواری، سبزواری.
- شمسی‌پور، ع. (۱۳۹۳). مدل‌سازی آب و هوایی نظریه و روش، ج ۲، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- علی‌آبادی، ک. و داداشی رودباری، ع. (۱۳۹۴). بررسی تغییرات الگوهای خودهمبستگی فضایی دمای بیشینه ایران، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۲۱(۶): ۸۶-۱۰۴.
- فلاح‌قاله‌ری، غ.؛ اسدی، م. و داداشی رودباری، ع. (۱۳۹۴). تحلیل فضایی پراکنش رطوبت در ایران، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، ۴۷(۴): ۶۳۷-۶۵۰.
- کریمی، م. و داداشی رودباری، ع. (۱۳۹۳). ارزیابی الگوهای بارشی استان خراسان رضوی با استفاده از روش‌های نوین آمار فضایی، مجله علمی-ترویجی سامانه و سطوح آبگیر باران، ۴(۳): ۶۱-۷۲.
- مسعودیان، س. (۱۳۸۳). بررسی روند دمای ایران در نیم سده گذشته، مجله جغرافیا و توسعه، ۲: ۸۹-۱۰۶.

- حلیمی برده زرد، م. (۱۳۹۰). بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر مصرف انرژی برق بخش خانگی ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس، به راهنمایی دکتر منوچهر فرج‌زاده اصل.
- مسعودیان، س.؛ علیجانی، ب. و ابراهیمی، ر. (۱۳۹۰). واکاوی میانگین درجه/ روز مورد نیاز (گرمایش و سرمایش) در قلمرو ایران، پژوهش‌نامه جغرافیایی، ۱: ۲۳-۳۶.
- مسعودیان، س.؛ ابراهیمی، ر. و محمدی، م. (۱۳۹۳ الف). پهنه‌بندی مکانی- زمانی نیاز گرمایش و سرمایش فصلی و سالانه ایران، فصل‌نامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سپهر، ۲۳(۹۰): ۸۳-۹۰.
- مسعودیان، ا.؛ ابراهیمی، ر. و یاراحمدی، ا. (۱۳۹۳ ب). واکاوی مکانی- زمانی میزان روند ماهانه درجه روز گرمایش در قلمرو ایران زمین، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، ۱۲(۱۰).
- Aliabadi, K. and Dadashi Roudbari, A. (2015). Assessing changes patterns of spatial autocorrelation of maximum temperature of Iran, *Arid Regions Geographic Studies*, 6(21): 86-104. [In Persian].
- Anselin, L.; Syabri, I. and Kho, Y. (2009). GeoDa: an introduction to spatial data analysis. In Fischer MM, Getis A (Eds) *Handbook of applied spatial analysis*, Springer, Berlin, Heidelberg and New York, pp.73-89.
- Arakawa, A., & Schubert, W. H. (1974). Interaction of a cumulus cloud ensemble with the large-scale environment, Part I. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 31(3), 674-701.
- Casper, J.K. (2010). *Global warming cycles: ice ages and glacial retreat*, Infobase Publishing.
- Castañeda, M.E. and Claus, F. (2013). Variability and trends of heating degree-days in Argentina, *International Journal of Climatology*, 33(10): 2352-2361.
- Christenson, M.; Manz, H. and Gyalistras, D. (2006). Climate warming impact on degree-days and building energy demand in Switzerland, *Energy Conversion and Management*, 47(6): 671-686.
- Dadashi Roudbari, A. (2015). Assessment of flooding using a mathematical model HEC-HMS, statistical analysis and GIS in watershed Haraz, Master's Thesis, Hakim Sabzevari University, Sabzevar. [In Persian].
- De Rosa, M.; Bianco, V.; Scarpa, F. and Tagliafico, L.A. (2014). Heating and cooling building energy demand evaluation; a simplified model and a modified degree days approach, *Applied energy*, 128: 217-229.
- Elguindi, N.; Bi, X.; Giorgi, F.; Nagarajan, B.; Pal, J.; Solmon, F. ... and Zakey, A. (2010). RegCM Version 4.0 User's Guide. Trieste, Italy.
- Emanuel, K. A. (1991). A scheme for representing cumulus convection in large-scale models. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 48(21), 2313-2329.
- Entezari, A.; Dadashiroudbari, A. and Asadi, M. (2016). Assessment of spatial autocorrelation of spatial-temporal alteration of temperature heat islands in Khorasan Razavi province, *Geography and Environmental Hazards*, 16: 125-146. [In Persian].
- Fallah Ghalhari, G.; Asadi, M. and Dadashi Roudbari, A. (2016). Spatial Analysis of Humidity Propagation over Iran, *Physical Geography Research Quarterly*, 47(4): 637-650. [In Persian].
- Fallah Ghalhari, G.; Dadashi Roudbari, A. and Asadi, M. (2016). Identifying the spatial and temporal distribution characteristics of precipitation in Iran, *Arabian Journal of Geosciences*, 9(12): 1-12. doi: 10.1007/s12517-016-2606-4
- Frank, T. (2005). Climate change impacts on building heating and cooling energy demand in Switzerland, *Energy and buildings*, 37(11): 1175-1185.
- Giorgi, F.; Coppola, E.; Solmon, F.; Mariotti, L.; Sylla, M.B.; Bi, X. ... and Turuncoglu, U.U. (2012). RegCM4: model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains, *Climate Research*, 52: 7-29.
- Halimi Bardeh Zard, M. (2011). The effect of climate change on the household sector's energy consumption around Iran, Master's Thesis, Tarbiat Modares University, Tehran. [In Persian].
- Handbook, A.S.H.R.A.E. (2009). *ASHRAE handbook-fundamentals*, Atlanta, GA.
- Holtslag, A. A. M., De Bruijn, E. I. F., & Pan, H. L. (1990). A high resolution air mass transformation model for short-range weather forecasting. *Monthly Weather Review*, 118(8), 1561-1575.



- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2001) Impacts, adaptation, and vulnerability climate change 2001, Third Assessment Report of the IPCC. University Press, Cambridge.
- Jiang, F.; Li, X.; Wei, B.; Hu, R. and Li, Z. (2009). Observed trends of heating and cooling degree-days in Xinjiang Province, China, *Theoretical and applied climatology*, 97(3-4): 349-360.
- Karami, M. and Dadashi Roudbari, A. (2015). Evaluation of Rain Patterns in Khorasan Razavi Province Using Spatial Statistical Modern Methods, *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, 4(3): 61-72. [In Persian].
- Massodian, M.A. (2004). Evaluating the trend of Iran temperature in the past half century, *Geography and Developmant Iranian Journal*, 2: 89-106. [In Persian].
- Massodian, M.A.; Alijani, B. and Ebrahimi, R. (2011). Spatiotemporal analysis of the monthly heating degree days Trend in the territory of Iran, *Journal Management system*, 1: 23-36. [In Persian].
- Massodian, M.A.; Ebrahimi, R. and Mohammadi, M. (2014). Analysis of the mean Degree/ day required (heating and cooling) in the territory of Iran, 23(90): 83-90. [In Persian].
- Massodian, M.A.; Ebrahimi, R. and Yarahmadi, E. (2015). Spatiotemporal Analysis of the Monthly Heating Degree Days in Iran, *Journal of Geography and Regional Development*, 12(23): 111-127. [In Persian].
- NEELIN, J. (2010). Climate Change and Climate Modeling, Cambridge *University Press the Edinburgh Building*, Cambridge CB2 8RU, UK.
- Omidvar, K.; Ebrahimi, R.; Dadashiroudbari, A. and Malekmirzaie, M. (2015). Analyzed the effects of global warming on the occurrence of in Iran the extreme cold temperatures, *Enviromental Hazards Management*, 2(4): 423-437. [In Persian].
- Pal, J. S., Eltahir, E. A., & Small, E. E. (2000). Simulation of regional-scale water and energy budgets- Representation of subgrid cloud and precipitation processes within RegCM. *Journal of Geophysical Research*, 105(D24), 29579-29594.
- Reichler, T. and Kim, J. (2008). How well do coupled models simulate today's climate?, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 89(3): 303.
- Roeckner, E.; Brokopf, R.; Esch, M.; Giorgetta, M.; Hagemann, S.; Kornblueh, L.; Manzini, E.; Schlese, U; Schulzweida, U. (2006). Sensitivity of simulated climate to horizontal and vertical resolution in the ECHAM5 atmosphere model, *J. Clim.*, 19: 3771-3791.
- Rogerson, P.A., (2006), *Statistics Methods for Geographers: students Guide*, SAGE Publications. Los Angeles, California.
- Roshan, G.R. and Grab, S.W. (2012). Regional climate change scenarios and their impacts on water requirements for wheat production in Iran, *Int J Plant Prod*, 6(2): 239-266.
- Scott, L.M. and Janikas, M.V. (2010). Spatial statistics in ArcGIS, In *Handbook of applied spatial analysis* (pp. 27-41), Springer Berlin Heidelberg.
- Semmler, T.; McGrath, R.; Steele-Dunne, S.; Hanafin, J.; Nolan, P. and Wang, S. (2010). Influence of climate change on heating and cooling energy demand in Ireland, *International Journal of Climatology*, 30(10): 1502-1511.
- Shamsipour, A. (2014). *Climate Modeling (Theory and Method)*. 2nd Edition, University of Tehran Press, tehran.298p. [In Persian].
- Wang, H. and Chen, Q. (2014). Impact of climate change heating and cooling energy use in buildings in the United States, *Energy and Buildings*, 82: 428-436.
- Wang, X.; Chen, D. and Ren, Z. (2010). Assessment of climate change impact on residential building heating and cooling energy requirement in Australia, *Building and Environment*, 45(7): 1663-1682.