

مدل‌سازی روابط فضایی اثر توپوگرافی بر دورنمای نیاز گرمایشی ایران با استفاده از مدل میان‌مقیاس منطقه‌ای RegCM4

محمود احمدی^{۱*}، عباسعلی داداشی رودباری^۲، رضا ابراهیمی^۳

۱. دانشیار آب و هواشناسی، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین، تهران، ایران.
۲. دانشجوی دکتری آب و هواشناسی شهری، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین، تهران، ایران.
۳. دانشجوی دکتری مخاطرات آب و هوایی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

دریافت: ۹۶/۰۱/۰۵ پذیرش: ۹۶/۰۷/۰۶

چکیده

تأثیر تغییرات آب‌وهوایی بر تقاضای انرژی برای نیاز گرمایش ساختمان‌ها امری غیرقابل‌اجتناب خواهد بود؛ لذا بایسته است به پیش‌بینی آب‌وهوای آینده پرداخته شود تا زمینه توسعه، انطباق و استراتژی‌های مناسب انرژی فراهم گردد. در این پژوهش به‌منظور ارزیابی نقش توپوگرافی بر دورنمای نیاز گرمایشی ایران از داده‌های دمای روزانه مدل EH5OM موسسه ماکس پلانک طی دوره آماری (۲۰۱۵-۲۰۵۰ میلادی)، تحت سناریو A1B با تفکیک ۱/۷۵ درجه قوسی، برای گستره ایران بارگیری گردید. در گام بعدی داده‌های نامبرده با تفکیک مکانی 0.27×0.27 قوسی توسط مدل (RegCM4) ریزمقیاس شدند. سپس با استفاده از روش زمین‌آمار کریجینگ داده‌های روزانه دمایی در پهنه‌ای به ابعاد 15×15 کیلومتر بر ایران گسترانیده شد که نتیجه آن ماتریسی به ابعاد 13140×7200 به‌دست‌آمده و نیاز گرمایشی کشور برای دوره آتی بر روی این ماتریس با استفاده از مدل UKMO محاسبه گردید. نتایج نشان داده است که نیاز گرمایشی در ایران دارای الگوی خوشه‌ای بالا می‌باشد. واسنجی مدل‌های رگرسیونی کلاسیک (OLS) و وزن‌دار جغرافیایی (GWR) نشان داد که در مناطق وسیعی که دارای افت‌وخیز ارتفاعی زیادی می‌باشند مدل‌های رگرسیونی کلاسیک نمی‌تواند روابط نیاز گرمایشی را با ارتفاع مدل‌سازی نماید. به‌طور کلی کشور از لحاظ دورنمای نیاز گرمایشی به سه بخش جلگه‌ها و سواحل جنوبی و پسرانه‌ای، نوار کوهستانی و کوهپایه‌ای و بالاخره دشت‌ها و چاله‌های داخلی و بیرونی قابل‌پهنه‌بندی است و وردایی فضایی نیاز گرمایشی برآورد شده مبتنی بر ارتفاع نشان داده است که افزایش مقدار نیاز گرمایشی رابطه مستقیمی توپوگرافی پیچیده محلی دارد.

واژگان کلیدی: مدل EH5OM، مدل RegCM4، مدل GWR، ایران.

ahmadi44@gmail.com

* نویسنده مسئول:

۱- مقدمه

انرژی یکی از نهاده‌های تولیدی مهم است که در اکثر فعالیت‌های اقتصادی استفاده می‌شود به طوری که امروزه امنیت ملی کشورها را نیز تحت تأثیر خود قرار داده است. در این راستا آینده تولید و مصرف انرژی موضوعی است که بیش‌ازپیش باید مورد توجه قرار گیرد. لذا یافتن راهکاری جهت کاهش مصرف انرژی یا در نقطه مقابل کاهش شدت مصرف انرژی باید در اولویت برنامه‌های مرتبط با انرژی و مدیریت آن قرار گیرد. نرخ میزان مصرف انرژی ایران در حال افزایش است؛ در سال ۱۳۹۲، با ۴/۳ درصد افزایش نسبت به سال قبل، مصرف نهایی انرژی به میزان ۱۲۲۹/۷ میلیون بشکه معادل نفت خام بوده است (آئینی، ۱۳۹۵). گزارش‌های آژانس بین‌المللی انرژی نشان می‌دهد که انتشار جهانی CO_2 در سال ۲۰۱۰ میلادی ۳۰۳۲۶ MT ارزیابی شده که این مقدار در آینده نیز روندی افزایشی خواهد داشت (جانگیمر و همکاران^۱، ۲۰۱۵) این وضعیت محیطی موجب بروز تغییرات چشمگیری در ساختار و عملکرد اکوسیستم خواهد شد. با شناسایی و پیش‌بینی تقاضای انرژی و مکان‌مند کردن آن به‌عنوان مکمل بخش برنامه‌ریزی، می‌توان با اعمال صحیح مدیریت تقاضا تصحیح مصرف انرژی، صرفه‌جویی قابل توجهی در مصرف انرژی به عمل آورد. شناسایی مکان‌مند انرژی، بخصوص در کشور مرتفع و کوهستانی کشور و پیش‌بینی آن در آینده، می‌تواند به تحلیل بازار انرژی در یک رویکرد کلی از طریق شناخت اهمیت نقش انرژی (گرمایش) و کاربرد آن در مناطق مختلف کشور منتهی گردد.

تغییرات آب‌وهوایی اثرات قابل توجهی بر بسیاری از ابعاد جامعه بشری از جمله بهداشت عمومی، مدیریت منابع آب، کشاورزی و توان تولید انرژی دارد (جیانگ و همکاران^۲، ۲۰۰۹؛ شن و لیو^۳، ۲۰۱۶). تأثیر بالقوه تغییرات آب‌وهوایی بر تقاضای انرژی برای نیاز گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها به‌ویژه برای کشورهای در حال توسعه چشمگیرتر خواهد بود (بویوکالاکا و همکاران^۴، ۲۰۰۱). با آشکار شدن پدیده گرمایش جهانی اتفاق نظر کلی وجود دارد که حتی با کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای فرایند انطباق لازم است؛ چراکه اثرات گرمایش جهانی حداقل در کوتاه‌مدت غیرقابل اجتناب خواهد بود (بیسبراک و همکاران^۵، ۲۰۱۰). کاهش قابل توجه انتشار گاز CO_2 می‌تواند یک دستاورد بهینه در مدیریت مصرف انرژی ساختمان‌ها در حال و آینده تلقی شود

1. Jungmeier et al.
2. Jiang and et al.
3. Shen & Liu
4. Büyükalaca and et al.
5. Biesbroek and et al.

(موزر و اکستروم^۱، ۲۰۱۰؛ دیولد و کولی^۲، ۲۰۱۲). لذا بایسته است به پیش‌بینی آب‌وهوایی آینده پرداخته شود تا زمینه توسعه، انطباق و استراتژی‌های مناسب ارائه گردد. در این راستا صاحبان اماکن و تسهیلات ملزم خواهند شد تا پاسخی بهنجار به دورنمای تقاضای نیاز گرمایشی و سرمایشی ارائه دهند.

تقاضای انرژی ساختمان‌ها در شرایط فعلی و آینده با روش‌های گوناگونی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. درجه روز به‌عنوان یک روش کارا و شناخته‌شده برای مدیریت انرژی به‌طور گسترده‌ای مورد ارزیابی قرار گرفته است (لی و همکاران^۳، ۲۰۱۱؛ اسپینونی و همکاران^۴، ۲۰۱۵؛ دو روزا و همکاران^۵، ۲۰۱۵). درجه روز گرمایش (HDD) و سرمایش (CDD) معمول‌ترین این روش‌هاست (کرالی^۶، ۲۰۰۷) که مصرف سوخت به‌طور مستقیم از آن استنباط می‌شود (بلچر و همکاران^۷، ۲۰۰۵)؛ به‌عبارت‌دیگر تقاضای انرژی تابعی مستقیم از نیاز گرمایشی و سرمایشی است (نیک و کالاجاسیدس^۸، ۲۰۱۳). همچنین نسبت تغییر در تقاضای انرژی (گوآن^۹، ۲۰۱۲)، انتشار گاز CO₂ (استراچن و بنفیل^{۱۰}، ۲۰۱۲)، عملکرد مصرف انرژی و تأمین آن (کاکس و همکاران^{۱۱}، ۲۰۱۴) عواملی هستند که به‌طور مستقیم منتج از درجه روز می‌باشند. دگرگونی تقاضای انرژی موردنیاز ساختمان‌ها (واتکینس و لورمور^{۱۲}، ۲۰۱۰)، اوج تقاضای شبکه (رامچورن و همکاران^{۱۳}، ۲۰۱۱) خطر گرمای بیش‌ازحد در انواع مختلف ساختمان‌ها (ایمس و همکاران^{۱۴}، ۲۰۱۰؛ کرشو و همکاران^{۱۵}، ۲۰۱۱) از جمله دیگر عواملی هستند که با تغییر نسبی تقاضای انرژی و درجه روز مرتبط‌اند.

رشد عظیم جمعیت در مناطق شهری کشور چالش‌های عمده‌ای را خصوصاً تأمین و استفاده از انرژی در کشور پدید آورده است، آمارها نشان می‌دهد که تقاضای ساخت‌وساز مسکن در ایران سالیانه ۱/۵ واحد مسکونی است (روشن و همکاران، ۲۰۱۷). بر این اساس نیاز جدی به راه‌حل‌های

1. Moser & Ekstrom
2. De Wilde & Coley
3. Li and et al.
4. Spinoni and et al.
5. De Rosa and et al.
6. Crawley
7. Belcher and et al.
8. Nik & Kalagasidis
9. Guan
10. Strachan & Banfill
11. Cox and et al.
12. Watkins & Levermore
13. Ramchurn and et al.
14. Eames and et al.
15. Kershaw and et al.



توسعه شهری کارآمد و منعطف‌پذیر از تغییرات آب‌وهوایی یک نیاز جدی تلقی می‌شود. در ایران، مصرف انرژی در بخش ساختمان بنا بر گزارشات ۴۶ درصد از کل انرژی مصرفی کشور است (آرمن و زارع، ۱۳۸۸؛ ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۲، ۱۳۹۴). از سوی دیگر ایران به‌عنوان یک کشور رو به رشد از منابع انرژی غنی و گسترده‌ای برخوردار است که یکی از مصادیق الگوی رشد با فشار بر منابع طبیعی محسوب می‌شود؛ بنابراین برنامه‌ریزی برای تولید و مصرف انرژی در کشور اهمیت شایان توجهی دارد. بیش از ۸۵ درصد انرژی مصرفی کشور (ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۲، ۱۳۹۴) به‌طور عمده توسط سوزاندن منابع سنگواره‌ای تأمین می‌شود که می‌تواند آلودگی جدی هوا و تهدیدات زیست‌محیطی فراوانی را به همراه داشته باشد.

مصرف انرژی جهت گرمایش محیط یکی از دغدغه‌های اساسی کشور در دوره سرد سال می‌باشد چراکه کوهستانی بودن بخش اعظم کشور از یکسو و تأثیر سامانه‌های آب‌وهوایی مختلف ازسوی دیگر یک چالش عمده مدیریت انرژی در کشور هستند. این پژوهش با هدف شبیه‌سازی و مدل‌سازی فضایی اثر توپوگرافی بر میزان درجه روزهای گرمایش ایران در آینده نگاشته شد. دستاوردهای این پژوهش می‌تواند در راستای شناسایی مناطق مختلف کشور از لحاظ نیازهای گرمایشی و سرمایشی به‌عنوان شاخص اقلیمی معرف پتانسیل مصرف انرژی در راستای اصل ۱۹ مقررات ملی ساختمان و مسکن مفید واقع شود.

۲- مبانی نظری

میانگین دما در سطح جهانی بین $0/74 \pm 0/18$ درجه سانتی‌گراد در صدسال گذشته (۱۹۰۶-۲۰۰۵) افزایش یافته است (تول^۱، ۲۰۰۹). یکی از نتایج اقتصادی افزایش دمای جهان تأثیر در مصرف انرژی است که بخش بزرگی از تأثیرات اقتصادی کل تغییرات آب‌وهوایی را به خود اختصاص می‌دهد. پژوهش حاضر حول دو محور اساسی درجه روز و تغییرات آب‌وهوایی تکیه دارد.

درجه روز که محور نخست این پژوهش را تشکیل می‌دهد عبارت است از اندازه‌گیری میانگین دمای روزانه هوا (با توزیع نرمال) با استفاده از دمای آستانه؛ این آستانه‌هایی دمای منتخب برای محاسبه درجه روز (گرمایش/سرمایش) به اهداف ویژه پژوهش از جمله مکان، بستگی دارد (مسعودیان و همکاران، ۱۳۹۳). این شاخص نخستین بار توسط توماس در سال ۱۹۵۲ میلادی

1. Tol

ارائه (امیدوار و همکاران، ۱۳۹۵) و پس‌از آن توسط پژوهشگران بسیاری در سرتاسر جهان بسط و توسعه داده شده است.

محور دوم پژوهش پیش‌رو را تغییرات آب‌وهوایی تشکیل می‌دهد؛ در یک تعریف کلی و پذیرفته شده، تغییرات آب‌وهوایی به هر تغییر مشخص در الگوهای مورد انتظار برای وضعیت میانگین آب‌وهوایی گفته می‌شود که در طولانی‌مدت در یک منطقه خاص یا برای کل اقلیم جهانی، رخ دهد. تغییر اقلیم در طول زمان رخ می‌دهد و درجه تغییر به مقیاس زمانی که برای بررسی انتخاب شده است، بستگی دارد. به منظور مدل‌سازی تغییرات آب‌وهوایی مدل‌های رایانه‌ای بسیاری تولید و توسعه داده شده‌اند تا به پیش‌بینی چگونگی انتشار گازهای گلخانه‌ای و اثرات آن بر اقلیم جهانی و منطقه‌ای بپردازند. مدل‌های سیاره‌ای آب‌وهوا (GCM^۱) مهم‌ترین و شاخص‌ترین نوع مدل‌های آب‌وهوایی هستند (شمسی‌پور، ۱۳۹۳). مدل‌های سیاره‌ای آب‌وهوا (GCM) حاکی از آن‌اند که با بالا رفتن غلظت گازهای گلخانه‌ای کارایی درخور نگرشی در سطوح جهانی و منطقه‌ای رخ خواهد داد. متأسفانه، GCMها به واسطه اینکه کیفیت پایینی به لحاظ بعد جایگاهی^۲ دارند؛ (معمولاً تا ۵۰۰۰۰ کیلومتر مربع) نمی‌توانند به‌عنوان ابزار سودمندی به منظور آینده‌پژوهشی آب‌وهوا محلی و منطقه‌ای باشند؛ چراکه قادر به حل‌وفصل کارایی عوامل در حد زیرمقیاس شبکه (ابر و توپوگرافی) نمی‌باشند (احمدی و داداشی رودباری، ۱۳۹۵). به منظور ارزیابی دورنمای آب‌وهوا در آینده از دو گروه روش‌های آماری و دینامیکی استفاده می‌شود. در این پژوهش از روش ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی با استفاده از مدل آب‌وهوای منطقه‌ای RegCM، به منظور ارزیابی واداشت تغییرات آب‌وهوایی آینده، سنجه نیاز گرمایشی کشور استفاده شده است. مدل آب‌وهوایی منطقه‌ای RegCM برای مدل‌سازی‌ها و پیش‌بینی‌های بلندمدت منطقه‌ای طراحی شده و در واقع شکل تکامل‌یافته مدل عددی MM4 است (مدیران و همکاران، ۱۳۸۶ نقل در شمسی‌پور، ۱۳۹۳).

اهمیت انرژی و نقش آن در مدیریت کارآمد امروزه تمامی جنبه‌های زندگی مدرن را تحت شعاع قرار داده در نتیجه آن پژوهش‌های زیادی نیز به رشته تحریر درآمده که در ادامه برخی از آن‌ها اشاره خواهد شد.

چن و همکاران^۳ (۲۰۰۷) به واکاوی اثر گرمایش جهانی بر انرژی مصرفی در چین با استفاده از میانگین دمای روزانه در طی دوره آماری ۲۰ ساله (۲۰۰۴ - ۱۹۸۰) پرداختند. آن‌ها اذعان

-
1. Global Circulation Model (GCM)
 2. Local
 3. Chen and et al.



داشتند میزان انرژی ذخیره‌شده و میزان مصرف کمتر برای فصول سرد سال ناشی از تغییرات اقلیم است و همبستگی بالایی بین دو پارامتر برقرار است. آرتمان و همکاران^۱ (۲۰۰۸) در پژوهشی روند گرمایش جهانی و اثر آن را بر مصرف انرژی سرمایه‌ش مورد نیاز شب‌ها در ۸ منطقه اروپا تحت سناریوی‌های A و B طی سال‌های ۲۰۷۱ تا ۲۱۰۰ را بررسی کردند. شبیه‌سازی آن‌ها نشان داده است که در مرکز و شمال اروپا یک روند افزایشی مثبت سرمایه‌ش حداقل طی دهه‌های آتی پیش‌بینی می‌شود. پیش‌بینی مصرف انرژی ساختمان‌ها با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در مناطق مختلف آب هوایی چین، با استفاده از درجه روزهای گرمایش و سرمایه‌ش، پژوهشی است که توسط چنگ ون و جیان^۲ (۲۰۱۰) انجام گردیده و مشخص کرد که ارتفاع، نقش تعیین‌کننده‌ای را در نیاز گرمایشی و سرمایه‌ش چین دارد به طوری که با لحاظ نمودن این پارامتر در پیش‌بینی نرخ موفق آمیزی پیش‌بینی مدل به بیش از ۹۶ درصد رسیده است. وربای و همکاران^۳ (۲۰۱۰) به پیش‌بینی تقاضای انرژی برای گرمایش ساختمان‌های مسکونی شهر دبرسن مجارستان پرداختند و مناطق گرمایشی این شهر را با دو دیدگاه انحراف مصرف از مقدار استاندارد و جزیره حرارتی شهری تحلیل کردند. تأثیر جهت‌گیری مناطق مسکونی در بهینه‌سازی انرژی شهر سلیمانیه عراق نیز پژوهشی است که جلال و بانی^۴ (۲۰۱۶) به آن پرداختند. نامبردگان ضمن ارزیابی نیاز گرمایش و سرمایه‌ش جهت قرارگیری ساختمان در مناطق مختلف ارتفاعی شهر را مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که جهت‌گیری درست ساختمان‌ها می‌تواند تا ۲۲ درصد از اتلاف انرژی در این شهر بکاهد.

بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر مصرف انرژی برق بخش خانگی ایران پژوهشی که توسط حلیمی برده‌زرد (۱۳۹۰) انجام شده است وی داده‌های مربوط به نیازهای سرمایه‌ش در بازه زمانی ۱۹۶۵ تا ۲۰۰۵ برای ۳۰ ایستگاه همدید مراکز استانی کشور و داده‌های برق مصرفی همین مراکز را اخذ و روند آن‌ها با استفاده از آزمون من-کندال مورد ارزیابی قرار داد نتایج حاصل از مدل‌سازی بیان‌گر آن بود که با افزایش هر درجه روز میانگین نیاز سرمایه‌ش روزانه کشور پتانسیل بار مصرفی در حدود ۰/۰۱۴ کل بار مصرفی روزانه هر سال بالا می‌رود. رضانی و کاظم نژاد (۱۳۹۳) به واکاوی و اقلیم بندی مجموع میانگین نیاز (گرمایش و سرمایه‌ش) در قلمرو گیلان با تأکید بر مصرف گاز طبیعی خانوار پرداختند نتایج پژوهش آنان حاکی از این امر بوده است که درجه روزهای گرمایشی و سرمایه‌ش استان گیلان تابع دو پارامتر مهم ارتفاع و درجه حرارت روزانه

1. Artmann and et al.
2. Cheng-wen & Jian
3. Verbai and et al.
4. Jalal & Bani

می‌باشد به طوری که شهرستان رودبار با ۱۷۸۰ متر ارتفاع بیشینه نیاز گرمایشی را با ۳۲۶۶ درجه روز، به خود اختصاص داده است. راه چمنی (۱۳۹۴) به ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر نیازهای سرمایش و گرمایش در استان خراسان رضوی در دو دوره زمانی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و ۲۰۶۵-۲۰۴۶، با استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی Hadcm3 تحت دو سناریوهای انتشار A1B و B1 پرداخت. سپس با استفاده از معادله رگرسیونی چندگانه ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی را در برآورد نیاز گرمایش و سرمایش فصلی و سالانه بکار برد. نتایج این پژوهش نشان داد که بر اساس سناریوی A1B و B1 اکثر ایستگاه‌های مورد بررسی کاهش معنی‌داری در نیاز گرمایش تجربه خواهند کرد. این در حالی است که درجه-روزهای نیاز سرمایشی برای دهه‌های آتی افزایش خواهد داشت. تحلیل درجه روزهای گرمایش و سرمایش در گستره‌ی استان لرستان پژوهشی دیگری است که امرایی (۱۳۹۴) بدان اهتمام ورزیده است نتایج پژوهش وی نشان داده است ارتفاع نقش بسزایی در مقادیر HDD و CDD دارد ولی عرض و طول جغرافیایی بر این نیازها اثر چندانی ندارند.

ارزیابی پیشینه نشان داده است که تاکنون مطالعه‌ای در کشور انجام نشده که به طور خاص به نقش ارتفاع و درجه روز گرمایش بپردازد، معدود مطالعات انجام‌شده نیز هرچند که نتایج ارزشمندی را در مقیاس منطقه‌ای ارائه داده‌اند ولی به جهت: ۱- تکیه بر داده‌های ایستگاهی (پراکنش مکانی نامناسب)، ۲- استفاده از روش‌های ریزمقیاس‌کننده آماری، ۳- کاربست روش‌های آماری کلاسیک (این روش تنها یک رابطه برای کل پهنه ارائه می‌دهند برخلاف روش‌های رگرسیون فضایی که برای هر یاخته یک رابطه می‌دهند) آن‌طور که بایسته است نمی‌توانند الگوی درستی از نیاز گرمایشی کشور (به واسطه وجود کوه‌ها، چاله‌های داخلی و تأثیر سامانه‌های بزرگ‌مقیاس جوی) ارائه دهند. این پژوهش ضمن استفاده از داده‌های شبکه‌ای و مدل میان‌مقیاس دینامیکی از یکسو و کاربست روش‌های رگرسیون فضایی از طرف دیگر ضمن ارائه دورنمای نیاز گرمایشی کشور به مدل‌سازی رفتار این مشخصه آب‌وهوایی با توپوگرافی پرداخته است.

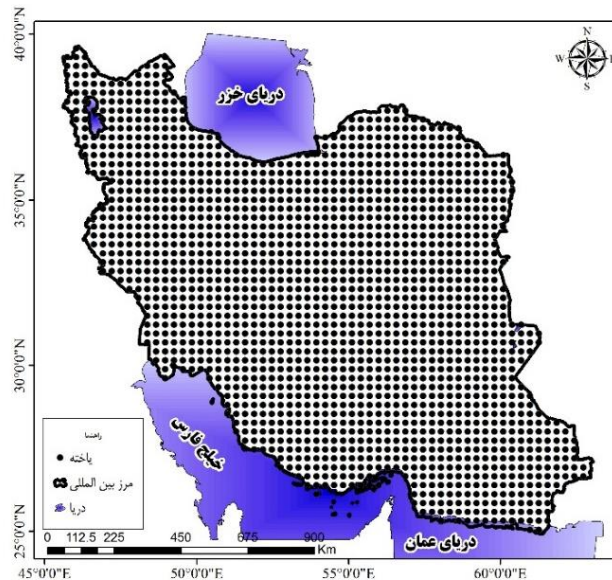


۳- روش تحقیق

۳-۱- داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش به منظور ارزیابی دورنمای نیاز گرمایشی (*HDD*) ایران تحت اثر گرمایش جهانی از دمای ساعتی روزانه پایگاه داده EH50M استفاده گردید. EH50M یک مدل گردش کلی جو-اقیانوس^۱؛ از سری پنجم مدل گردش عمومی جو با هسته دینامیکی (ECHAM)، پروژه اقلیمی T63 برای ۳۱ سطح جو تا نزدیک ۱۰ هکتوپاسکال موجود بوده که در موسسه پلانک به صورت روزانه از تاریخ ۱۹۶۰/۰۱/۰۱ تا ۲۱۰۰/۱۲/۳۱ تحت سناریو A1B پنل بین‌المللی تغییر اقلیم^۲ تولید شده‌اند (روکنر و همکاران، ۲۰۰۶؛ ریچارد و کیم، ۲۰۰۸؛ امیدوار و همکاران، ۱۳۹۴؛ امیدوار و همکاران، ۱۳۹۵). تدبیر بکارگیری سناریو (A1B) از بین سایر سناریوهای موجود بدین جهت است که این سناریو بر این عقیده است که در آینده، استفاده از منابع سنگواره‌ای و غیر سنگواره‌ای به طور متعادل استفاده می‌شود (شمسی‌پور، ۱۳۹۳) لذا فرض‌های این سناریو با واقعیت موجود و آینده نزدیک همخوانی بیشتری داشته است و نتایج حاصل از آن را می‌تواند با اطمینان بیشتری مورد بحث قرار داد. در گام بعدی به منظور آشکارسازی بهتر مرز تغییرات نیاز گرمایشی (*HDD*) کشور از مدل ریزمقیاس‌نمایی منطقه‌ای *REGCM4* استفاده گردید. داده‌های خروجی مدل ریزگردانی شده (دمای ساعتی روزانه) با ابعاد ۲۷×۰/۲۷، درجه قوسی که حدوداً یاخته‌هایی با ابعاد ۳۰×۳۰ کیلومتر ایران را پوشش می‌دهند به دست آمده است. بعد از شبیه‌سازی، داده‌های دمای هوا ساعتی در بازه زمانی ۳۶ ساله (۲۰۵۰-۲۰۱۵) توسط مدل استخراج گردید. ابعاد یاخته‌ها ۲۱۴۰×۱۳۱۴۰ می‌باشد. در این ماتریس سطرها (۱۳۱۴۰) نشان‌دهنده زمان (ساعت، روز، سال) و ستون‌ها یاخته‌های میان یابی شده با ابعاد ۳۰×۳۰ کیلومتر می‌باشند. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه و یاخته‌های خروجی مدل را نشان می‌دهد.

1. AOGCM
2. International panel of climate change



شکل ۱ محدوده مورد مطالعه

با توجه به اینکه داده‌های مزبور در گستره 0.27×0.27 درجه قوسی می‌باشند و این تفکیک مکانی نمی‌تواند رفتاری بهنجار از تغییرات مکانی نیاز گرمایشی ایران را ارائه دهد؛ دامای روزانه از خروجی مدل منطقه‌ای *REGCM4* با استفاده از روش زمین‌آمار کریجینگ در پهنه‌ای به ابعاد 15×15 کیلومتر بر ایران گسترانیده شد (ماتریسی به ابعاد 13140×7200). تفکیک مکانی حاضر با توجه پیشنهاد مسعودیان و همکاران (۱۳۹۰، ۱۳۹۳) که به واکاوی نیاز سرمایش و گرمایش ایران در دوره‌های مختلف سال با استفاده از پایگاه اسفزاری پرداخته‌اند مورد استفاده قرار گرفت.

۳-۲- آستانه دمایی محاسبه نیاز گرمایش (*HDD*)

جهت محاسبه درجه روزهای گرمایش از آستانه‌های دمایی متفاوتی بسته به اهداف و ویژگی‌های اقلیمی منطقه استفاده می‌شود. لذا در این پژوهش برای محاسبه درجه روز گرمایش از آستانه‌های دمایی $18/3$ درجه سانتی‌گراد طبق تعریف انجمن استاندارد علوم آمریکا (انجمن استاندارد علوم ایالات متحده آمریکا، ۲۰۰۹؛ روشن و گرب، ۲۰۱۲) استفاده شد.

۳-۳- محاسبه درجه روز گرمایش (HDD) با استفاده از مدل UKMO

مدل UKMO با استفاده از دمای روزانه حداقل و حداکثر به محاسبه نیاز گرمایش و سرمایشی می‌پردازد. در این مدل چهار سناریو مختلف برای درجه حرارت پایه و تغییرات درجه حرارت روزانه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. با توجه به این چهار سناریو، درجه روزانه گرمایش (HDDd) مطابق با رابطه (۱) محاسبه می‌شود (موسسه خدمات مهندسیین خبره ساختمان بریتانیا، ۲۰۰۶).

$$HDD_d = \begin{cases} T_b - 0.5(T_{max} + T_{min}), & T_{max} \leq T_b; \\ 0.5(T_b - T_{min}) - 0.25(T_{max} - T_b), & T_{min} < T_b, \text{ and } (T_{max} - T_b) < (T_b - T_{min}); \\ 0.25(T_b - T_{min}), & T_{max} > T_b, \text{ and } (T_{max} - T_b) > (T_b - T_{min}); \\ 0, & T_{max} \leq T_b. \end{cases} \quad (1)$$

ضرایب ۰/۵ و ۰/۲۵ در این معادله مبتنی بر اصل آزمون و خطا تعیین می‌شوند. دقت محاسبات با استفاده از این ضرایب مشخص، از محلی به محل دیگر متفاوت است و هر کدام ارزش‌های محلی خاص خود را دارند. بررسی اثر ضریب دقت این معادلات توسط موسسه خدمات مهندسیین خبره ساختمان بریتانیا (۲۰۰۶) انجام شده و به ورا و همکاران (۲۰۱۵) نیز آن تأیید نموده‌اند.

۳-۴- مدل‌سازی نیاز گرمایشی با ارتفاع

در پژوهش حاضر برای مدل‌سازی روابط فضایی نیاز گرمایشی با ارتفاع از روش‌های *GWR* و *OLS* استفاده شده است. رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی^۲ (*GWR*) و حداقل مربعات معمولی^۳ (*OLS*) یا حداقل مربعات خطی روش‌های پذیرفته جهانی می‌باشند که برای تخمین ارتباط بین یک متغیر وابسته و مجموعه‌ای از یک یا چند متغیر مستقل می‌باشند. رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی در یک حالت پذیرفته شده می‌تواند به صورت رابطه شماره (۲) نوشته شود (چارلتون و همکاران، ۲۰۰۹). مدل (*GWR*) بجای گسترش پارامترهای معمولی به شناسایی و برآورد یک مدل از طریق رابطه شماره (۲) می‌پردازد (مینس، ۲۰۰۶):

$$y_i = \beta_0 + \sum_K \beta_K x_{ik} + \varepsilon_i$$

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_k \beta_k(u_i, v_i) x_{ik} + \varepsilon_i \quad (2)$$

1. The Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE)
2. Geographically Weighted Regression
3. Ordinary least squares
4. Charlton
5. Mennis

در روابط فوق y متغیر وابسته، x_i متغیر مستقل، β_0 و β_1 ضرایبی هستند که باید تخمین زده شوند، ε جزء خطا و u_i, v_i به ترتیب طول و عرض جغرافیایی نقطه i ام می‌باشد و $\beta_k(u_i, v_i)$ پیاده‌سازی فاکتور مورد بررسی روی یک سطح پیوسته است (مینس، ۲۰۰۶؛ فاترگیتیم^۱ و همکاران، ۲۰۰۱). انواع مختلف آماره‌ها نیز وجود دارند که به کمک آن‌ها می‌توان برای بررسی خوبی مدل رگرسیون برآورد شده از آن‌ها استفاده نمود. تاکنون از سوی محققین آماره‌های گوناگونی ارائه شده که از جمله می‌توان به آماره‌های (LSE, LMI, AIC, \dots) اشاره کرد. به‌طور کلی مشاهدات مجاور یکدیگر اثر بیشتر و از سوی دیگر تخمین بهنجارتری روی یکدیگر خواهند داشت (مینس، ۲۰۰۶). به‌منظور تعیین وزن جغرافیایی یک عارضه در مدل (GWR) نیاز به تعیین محاسبه هسته و پهنای باند مدل خواهیم داشت (فرج زاده و همکاران، ۱۳۹۵). به‌طور کلی اگر مشاهدات اندازه‌گیری شده یک عارضه به‌طور منظم در فضا توزیع شده باشند پهنای باند ثابت می‌تواند انتخابی بهینه برای کالیبره کرده مدل باشد. ولی حال اگر مشاهدات اندازه‌گیری شده به‌صورت خوشه‌ای و منظم در فضا توزیع نشده باشند؛ باید از پهنای باند تطبیقی استفاده کرد. روش تعیین پهنای باند با سه روش کلی مورد ارزیابی قرار خواهند گرفت که عبارتند از: تابع تعیین شده توسط کاربر، به‌حداقل رساندن تابع اعتباری متقاطع و معیار اطلاعاتی آکائیک (AIC)^۲. برازشی که به‌طور گسترده از سوی محققین مورد استفاده قرار می‌گیرد معیار اطلاعاتی آکائیک (AIC) می‌باشد (چارلتون و همکاران، ۲۰۰۹). معیار اطلاعاتی آکائیک (AIC) با استفاده از رابطه شماره (۳) محاسبه می‌شود (هورویچ و همکاران، ۱۹۹۸):

$$AIC_c = 2n \log_e(\hat{\sigma}) + n \log_e(2\pi) + n \left\{ \frac{n + tr(S)}{n - 2 - tr(S)} \right\} \quad (3)$$

نقش ماتریس وزنی در GWR برای نشان دادن اهمیت مشاهدات فردی در مکان است؛ به‌منظور برازش بهترین ماتریس وزنی چهار تابع گاوسی^۴، $Bisquare$ ثابت، $Bisquare$ انطباقی و تابع وزن برابر^۵ با استفاده از دو آماره R و RHO برای هر ۷۲۰۰ یاخته مورد آزمون قرار گرفتند نتایج این پیش‌آزمون برای مدل (GWR) نشان داده است که تابع گاوسی بهترین تابع است که در پژوهش حاضر از این تابع استفاده شده است (به دلیل حجم بسیار بالای ماتریس‌های حاصله

1. Fotheringham
2. Akaike Information Criterion
3. Hurvich and et al.,
4. Gaussian
5. Equal weights



امکان گنجاندن آن‌ها در متن مقاله برای نویسندگان وجود نداشته است) این تابع به شکل رابطه (۴) نوشته می‌شود.

$$w_{ij} = \exp(-d_{ij}^2 / h^2) \quad (۴)$$

در این رابطه اگر h منفی نباشد به با در نظر گرفتن فاصله تا نزدیک‌ترین عارضه به عنوان ضریبی از پهنای باند در نظر گرفته می‌شود (برونسدون^۱ و همکاران، ۱۹۹۸؛ بیواند و برنستاد^۲، ۲۰۰۵).

برای مدل‌سازی روابط فضایی هر عارضه در یک فضای مشخص نیاز است تا پژوهشگر اطمینان حاصل نماید تا آن عارضه در فضای مشخصه از الگوی خوشه‌ای تبعیت می‌نماید لذا به این منظور می‌توان از شاخص جهانی موران که به (*Global Moran I*) معروف است؛ استفاده نمود. این آماره فضایی عددی را به دست می‌دهد (نمره استاندارد یا *Z-Score*) که با استفاده از آن می‌توان درجه پخش بودن و یا متمرکز بودن عوارض و یا داده‌های فضایی در فضا اندازه‌گیری نمود (فلاح قاهری و همکاران، ۲۰۱۶). در طی روند محاسباتی آماره یا شاخص موران (*Moran*) ابتدا امتیاز استاندارد Z و P -Value محاسبه شد و سپس به ارزیابی و معنادار بودن شاخص پرداخته شده است. شاخص موران برای خودهمبستگی فضایی به صورت رابطه (۶) محاسبه شده است. در رابطه (۶) Z_i تفاضل بین مقدار خصیصه عارضه i با میانگین آن $(x_i - \bar{x})$ هست. W_{ij} و وزن‌هایی بین عارضه i و j می‌باشد، n تعداد کل عوارض جغرافیایی موجود در لایه مورد استفاده می‌باشد و S_0 جمع کل وزن‌های فضایی می‌باشد که بر اساس رابطه (۵) محاسبه شده است.

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{i,j} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{i,j} \right) \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j} z_i z_j}{S_0 \sum_{i=1}^n z_i^2} \quad (۵)$$

در رابطه (۵)، z_i تفاضل بین مقدار خصیصه عارضه x_i با میانگین $(x_i - \bar{x})$ و z_j تفاضل بین مقدار خصیصه عارضه x_j با میانگین $(x_j - \bar{x})$ می‌باشد. $W_{i,j}$ وزن موجود بین عارضه i و j می‌باشد که عکس فاصله بین دو عارضه i و j است (به عبارت دیگر، $W_{i,j} = \frac{1}{d_{i,j}}$).

1. Brunsdon
2. Bivand & Brunstad

معمولاً وزن بین عوارض را از طریق رابطه $W_{i,j} = \frac{unit}{unit + d_{i,j}}$ نرمال می‌نمایند که منظور از $unit$ واحد اندازه‌گیری فاصله است (میتچل^۱، ۲۰۰۵). تعداد کل عوارض جغرافیایی موجود در لایه مورد استفاده است و S_0 جمع کل وزن‌های فضایی می‌باشد که بر اساس رابطه (۶) محاسبه می‌شود:

$$S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{i,j} \quad (6)$$

نمره استاندارد Z_i برای آماره موران از طریق رابطه (۷) به‌طور جداگانه محاسبه می‌شود و در رابطه (۶) قرار داده می‌شود:

$$Z_i = \frac{i - E[I]}{\sqrt{V[I]}} \quad (7)$$

$$E[I] = -\frac{1}{n_1} \quad (8)$$

$$S[I] = \left[\frac{n^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{i,j}^2 + 3 \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{i,j} \right)^2 - n \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^n W_{i,j} \right)^2}{(n^2 - 1) \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{i,j} \right)^2} \right]^{1/2} = E[I^2] - E[I]^2 \quad (9)$$

به‌طور کلی اگر مقدار شاخص موران نزدیک عدد ۱+ باشد، داده‌ها دارای خودهمبستگی فضایی و دارای الگوی خوشه‌ای بوده و اگر مقدار شاخص موران نزدیک به عدد ۱- باشد، آنگاه داده‌ها از هم‌گسسته و پراکنده می‌باشند (ایلان و همکاران^۲، ۲۰۰۸).

۴- نتایج و بحث

خروجی‌های تحلیل خودهمبستگی فضایی موران جهانی، در جدول (۱) ارائه شده است. همان‌طور که از جدول برمی‌آید مقدار شاخص موران برای تمامی ماه‌های مورد مطالعه مثبت و بالای ۰/۸۵ می‌باشد، این نکته نشان می‌دهد که بر اساس شاخص موران جهانی، شاخص نیاز گرمایش (HDD) در ایران دارای الگوی خوشه‌ای بالا در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد می‌باشد. بالاترین شاخص موران جهانی با مقدار ۰/۹۷ مربوط به ماه‌های آوریل، سپتامبر و اکتبر در فصل بهار و پاییز می‌باشد؛ این مقدار نشان می‌دهد که در این سه ماه از سال شاخص نیاز گرمایش در ایران دارای

1. Mitchell
2. Illian



تنوع بالای مکانی می‌باشد. ماه‌های مارس و می نیز با ۰/۹۶۵۹۸۱ بیشترین میزان شاخص را بعد از سه ماه مذکور دارا می‌باشند. ماه‌های ژولای با ۰/۸۶۰۲۰۶ و ژوئن با میزان شاخص ۰/۹۳۲۵۰۴ کمترین مقادیر را به خود اختصاص می‌دهند که نشان‌دهنده نظم نسبی شاخص نیاز گرمایش (HDD) و همچنین اختلاف مکانی کمتر نیاز گرمایش در ایران می‌باشد. آماره Z برای هر دوازده ماه مورد مطالعه، بالا و بین ۲۳۰ تا ۲۶۲ می‌باشد. بنابراین در مجموع بر اساس موران جهانی می‌توان استنباط نمود که تغییرات درون سالی نیاز گرمایش در ایران از الگوی خوشه‌ای بالا تبعیت می‌کند. بنابراین با توجه به بالا بودن مقدار Z و پایین بودن مقدار ارزشی p -value می‌توان فرضیه عدم وجود خودهمبستگی فضایی بین داده‌ها در هر دوازده ماه مورد مطالعه را رد نمود. اگر قرار بود شاخص نیاز گرمایش برای ماه‌های مختلف در ایران طور نرمال در فضا پخش شده باشد، شاخص موران جهانی مقدار ۰/۰۰۰۱۳۹- را اختیار می‌نمود.

جدول ۱ خروجی آماره موران برای ماه‌های مورد مطالعه برای دورنمای نیاز گرمایشی (HDD)

ماه	روش اندازه‌گیری	مفهوم‌سازی رابطه فضایی	p-value	z-score	پراش	موران مورد انتظار	موران اندازه‌گیری شده
ژانویه	اقلیدسی	معکوس فاصله	۰	۲۵۲/۴۷۰۲۲۱	۰/۰۰۰۰۱۴	-۰/۰۰۰۱۳۹	۰/۹۳۵۷۶۷
فوریه	اقلیدسی	معکوس فاصله	۰	۲۵۸/۱۵۳۵۷۰	۰/۰۰۰۰۱۴	-۰/۰۰۰۱۳۹	۰/۹۵۶۸۸۸
مارس	اقلیدسی	معکوس فاصله	۰	۲۶۱/۱۷۶۹۴۸	۰/۰۰۰۰۱۴	-۰/۰۰۰۱۳۹	۰/۹۶۸۱۲۰
آوریل	اقلیدسی	معکوس فاصله	۰	۲۶۳/۳۱۱۰۵۸	۰/۰۰۰۰۱۴	-۰/۰۰۰۱۳۹	۰/۹۷۵۹۸۱
مه	اقلیدسی	معکوس فاصله	۰	۲۶۱/۱۴۸۵۸۱	۰/۰۰۰۰۱۴	-۰/۰۰۰۱۳۹	۰/۹۶۷۶۸۰
ژوئن	اقلیدسی	معکوس فاصله	۰	۲۵۳/۳۱۱۶۲۵	۰/۰۰۰۰۱۴	-۰/۰۰۰۱۳۹	۰/۹۳۸۰۴۶
ژولای	اقلیدسی	معکوس فاصله	۰	۲۳۳/۰۷۹۵۸۲	۰/۰۰۰۰۱۴	-۰/۰۰۰۱۳۹	۰/۸۶۰۲۰۶
آگوست	اقلیدسی	معکوس فاصله	۰	۲۶۰/۵۱۸۰۲۳	۰/۰۰۰۰۱۴	-۰/۰۰۰۱۳۹	۰/۹۶۵۱۰۶
سپتامبر	اقلیدسی	معکوس فاصله	۰	۲۶۲/۴۴۵۹۶۷	۰/۰۰۰۰۱۴	-۰/۰۰۰۱۳۹	۰/۹۷۲۷۸۴
اکتبر	اقلیدسی	معکوس فاصله	۰	۲۶۲/۵۲۵۵۸۰	۰/۰۰۰۰۱۴	-۰/۰۰۰۱۳۹	۰/۹۷۳۱۴۳
نوامبر	اقلیدسی	معکوس فاصله	۰	۲۵۷/۶۳۸۶۱۰	۰/۰۰۰۰۱۴	-۰/۰۰۰۱۳۹	۰/۹۵۴۹۷۲
دسامبر	اقلیدسی	معکوس فاصله	۰	۲۵۲/۳۲۲۵۵۹	۰/۰۰۰۰۱۳	-۰/۰۰۰۱۳۹	۰/۹۳۵۲۱۶

در جدول (۲) مقادیر محاسبه شده RMS ، $R2$ ، $Adjusted R2$ و $AICc$ تمامی ماه‌های مورد مطالعه با روش‌های رگرسیون کلاسیک (OLS) و رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی (GWR) ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در تمامی ماه‌های مورد مطالعه به‌جز ماه می RMS و $AICc$ مدل GWR نسبت به مدل OLS کمتر و $Adjusted R2$ ، $R2$ و مدل GWR نسبت به مدل OLS بیش‌تر است. که این امر نشان‌دهنده کاهش خطا و افزایش دقت در برآورد متغیر

وابسته (نمرات HDD ماه‌های مختلف) نسبت به متغیر مستقل (ارتفاع) و همچنین بیانگر برتری مدل رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی (GWR) در این خصوص می‌باشد.
جدول ۲ مقایسه نتایج حاصل از مدل OLS و GWR برای متغیر وابسته (HDD) و متغیر مستقل (ارتفاع)

GWR		OLS		RMS GWR	RMS OLS	AICc GWR	AICc OLS	ماه
R ²	R ² تعدیل شده	R ²	R ² تعدیل شده					
۰/۹۸۷۴۸۸	۰/۹۸۶۵۹۴	۰/۳۹۲۴۳۴	۰/۳۹۲۳۵۰	۱۳/۰۷۲۶۴	۳۳/۰۹۶۱	۶۱۷۴۵/۶	۸۹۰۱۱/۳	ژانویه
۰/۹۹۰۹۴۷	۰/۹۹۰۳۰۱	۰/۳۹۷۸۱۷۵	۰/۳۷۸۰۸۹	۱۰/۹۸۷۷۸	۳۱/۸۹۱۷	۵۹۱۴۸/۱	۸۸۹۱۱/۰	فوریه
۰/۹۹۰۱۴۲	۰/۹۸۹۴۳۹	۰/۳۸۵۳۴۹	۰/۳۸۵۳۶۳	۱۱/۲۵۷۴۶	۳۱/۷۳۸۱	۴۹۵۵۶/۴	۸۸۶۳۲/۶	مارس
۰/۹۸۵۸۹۶	۰/۹۸۴۸۸۹	۰/۳۵۴۵۱۸	۰/۳۵۴۴۲۹	۷/۵۰۹۴۸۳	۱۷/۹۶۳۳	۵۴۵۳۹/۷	۸۱۳۷۹/۱	آوریل
۰/۹۷۴۷۶۱	۰/۹۷۲۹۵۸	۰/۲۱۹۳۰۱	۰/۲۱۹۱۹۲	۱/۸۶۷۷۴۶	۳/۶۱۵۴	۳۹۱۰۲/۳	۶۳۱۲۲/۰	مه
۰/۹۴۶۳۰۲	۰/۹۴۲۴۶۸	۰/۱۴۰۸۲۱	۰/۱۴۰۷۰۲	۰/۱۲۰۳۹۶	۰/۱۷۰۷	۳۷۶۶/۴	۲۸۸۲۹/۱	ژوئن
۰/۷۸۸۸۴۷	۰/۷۷۳۷۶۸	۰/۰۶۹۱۷۸	۰/۰۶۹۰۴۸	۰/۰۳۰۳۸	۰/۰۰۳۱	۳۸۵۵۵/۷	۳۹۵۶۴/۷	ژوئیه
۰/۹۳۳۰۴۲	۰/۹۲۸۲۶	۰/۱۹۴۲۳۹	۰/۱۹۴۱۲۷	۰/۰۹۳۶۶۵	۰/۱۵۷۰	۱۸۳۶/۶	۱۹۰۵۸/۱	آگوست
۰/۹۶۴۸۲۳	۰/۹۶۳۲۱۱	۰/۳۳۳۶۲۸	۰/۳۳۳۵۳۵	۱/۵۹۳۳۰۳	۳/۲۶۶۸	۳۷۰۱۲/۶	۵۷۵۰۱/۰	سپتامبر
۰/۹۸۳۹۸۹	۰/۹۸۲۸۴۶	۰/۳۷۱۶۷۹	۰/۳۷۱۵۹۲	۷/۵۴۶۷۳۲	۱۸/۳۴۹۱	۵۵۴۱۸/۴	۸۱۱۵۰/۷	اکتبر
۰/۹۸۸۷۹۲	۰/۹۸۷۹۹۲	۰/۳۸۲۳۳۰	۰/۳۸۲۲۴۵	۱۰/۹۲۵۴۳	۲۷/۸۲۷۲	۵۸۶۴۳/۵	۸۶۸۲۰/۸	نوامبر
۰/۹۸۷۹۷۴	۰/۹۸۷۱۱۵	۰/۳۷۴۷۱۵	۰/۳۷۴۶۲۸	۱۲/۳۸۰۴۱	۳۱/۱۵۴۸	۶۰۹۲۲/۶	۸۸۶۸۰/۵	دسامبر

تفاوت در مقدار معیاره AICs دو مدل OLS و GWR شاهدهی قوی از بهینگی در برازش داده‌ها به مدل را برای GWR نشان می‌دهد. همان‌طور که گفته شد در مدل GWR برای برآورد پهنای باند^۱ از روش (AICc) انتخاب شد. هسته ثابت^۲ بجای هسته تطبیقی^۳ برای برازش پهنای باند انتخاب شد؛ (ویلر^۴، ۲۰۱۴) چراکه یاخته‌های مورد استفاده در این پژوهش به‌طور منظم و همگن توزیع شده‌اند. سپس با استفاده از نتایج روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی (GWR) که در جدول (۳) ارائه شده است، و ارتباط معنی‌دار نمرات محاسبه شده نیاز سرمایه‌گذاری بر پایه مدل رقومی ارتفاع ایران (DEM)، پهنه‌های مختلف نمرات شاخص نیاز گرمایش ترسیم گردید که در ادامه مورد تحلیل قرار می‌گیرند.

1 Bandwidth
2 Fixed Kernel
3 ADAPTIVE
4 Wheeler

جدول ۳ روش رگرسیونی مورد استفاده (GWR) در برآورد مقدار HDD مبتنی بر ارتفاع (P-value<0.05)

ماه	R ² تعدیل شده	R ²	سیگما	توان مؤثر	همبستگی	AICc
ژانویه	۰/۹۸۶۵۹۴	۰/۹۸۷۴۸۸	۱۷/۳۷۷۴۱۶	۴۸۰/۸۲۰۳۱۱	۰/۶۲۶	۶۱۷۴۵/۶۲۶۲
فوریه	۰/۹۹۰۳۰۱	۰/۹۹۰۹۴۷	۱۴/۵۰۹۳۳۱	۴۸۰/۸۲۰۳۱۱	۰/۶۱۵	۵۹۱۴۸/۱۶۱۲
مارس	۰/۹۸۹۴۳۹	۰/۹۹۰۱۴۲	۱۴/۹۲۶۵۸۱	۴۸۰/۸۲۰۳۱۱	۰/۶۲۱	۴۹۵۵۶/۴۲۵۲
آوریل	۰/۹۸۴۸۸۹	۰/۹۸۵۸۹۶	۱۰/۵۳۵۶۴۵	۴۸۰/۸۲۰۳۱۱	۰/۵۹۵	۵۴۵۳۹/۷۶۲۱
مه	۰/۹۷۲۹۵۸	۰/۹۷۴۷۶۱	۳/۶۰۶۶۸۹	۴۸۰/۸۲۰۳۱۱	۰/۴۶۸	۳۹۱۰۳/۳۳۴۶
ژوئن	۰/۹۴۲۴۶۸	۰/۹۴۶۳۰۲	۰/۳۱۰۰۰۸	۴۸۰/۸۲۰۳۱۱	۰/۳۷۵	۳۷۶۶/۴۷۲۷
ژولای	۰/۷۷۳۷۶۸	۰/۷۸۸۸۴۷	۰/۰۱۶۴۰۴	۴۸۰/۸۲۰۳۱۱	۰/۲۶۳	۳۸۵۵۵/۷۹۳۸
آگوست	۰/۹۲۸۲۶	۰/۹۳۳۰۴۲	۰/۲۷۱۱۲۶	۴۸۰/۸۲۰۳۱۱	۰/۴۴۱	۱۸۳۶/۶۶۵۷
سپتامبر	۰/۹۶۲۳۱۱	۰/۹۶۴۸۲۳	۳/۱۱۹۲۹۵	۴۸۰/۸۲۰۳۱۱	۰/۵۷۸	۳۷۰۱۲/۶۹۸۵
اکتبر	۰/۹۸۲۸۴۶	۰/۹۸۳۹۸۹	۱۱/۱۹۸۵۶	۴۸۰/۸۲۰۳۱۱	۰/۶۱۰	۵۵۴۱۸/۴۶۴۵
نوامبر	۰/۹۸۷۹۹۲	۰/۹۸۸۷۹۲	۱۱/۰۰۹۷۲۲	۴۸۰/۸۲۰۳۱۱	۰/۶۱۸	۵۸۶۴۳/۵۷۹۳
دسامبر	۰/۹۸۷۱۱۵	۰/۹۸۷۹۷۴	۱۶/۴۱۲۱۵۴	۴۸۰/۸۲۰۳۱۱	۰/۶۱۲	۶۰۹۲۲/۶۷۶۳

۴-۱- روابط فضایی نیاز گرمایش کشور در ماه‌های مختلف تحت سناریو AIB

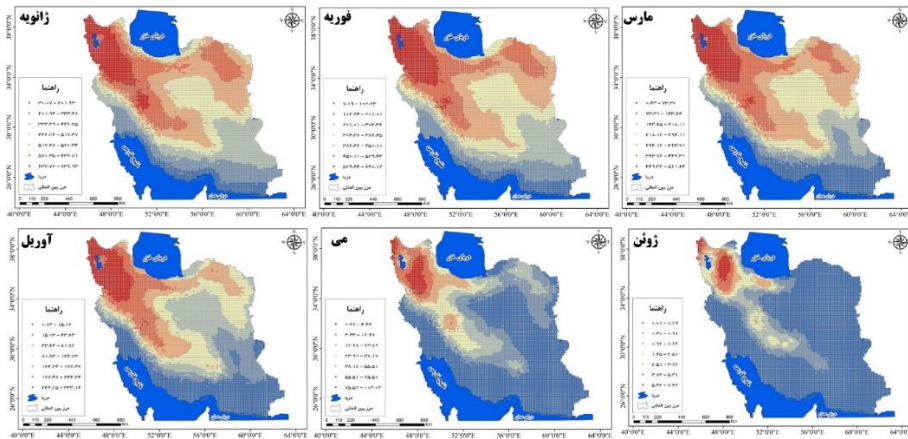
مدل‌سازی نیاز گرمایشی ماهانه با ارتفاع برحسب سناریو AIB طی دهه‌های آتی محاسبه و نتایج آن در غالب نقشه در شکل‌های ۲ و ۳ ارائه شده‌اند. در ماه‌های بهار و پاییز الگوی پراکنش فضایی درجه روز گرمایش برحسب تغییرات ارتفاعی در فواصل و مقیاس‌های چندگانه از فاصله‌ای به فاصله دیگر و یا مقیاسی به مقیاس دیگر تغییر می‌کند. پس نتیجه‌ای که از افزایش این مقدار ارزشی حاصل خواهد شد، خوشه‌بندی فضایی عوارض همراه با تغییر اندازه در واحد همسایگی می‌باشد. لذا از آنجاکه نیاز گرمایش در ماه‌های سرد سال برای کل کشور افزایش می‌یابد، تغییر اندازه این فراسنج برحسب تغییرات ارتفاعی در کل کشور برای واحدهای همسایگی حاصل شده است. در ماه‌های سرد سال (دسامبر، ژانویه و فوریه) نیاز گرمایش کشور بیشترین میزان را خواهد داشت به گونه‌ای که بیشترین میزان این فراسنج را بامه آذربایجان و توده‌های کوهستانی زاگرس مرکزی و شمالی به میزان ۷۳۰ درجه روز در ماه ژانویه و ۶۳۰ درجه روز در ماه فوریه خواهند داشت. وجود زیر ناحیه‌های متعدد از لحاظ نیاز گرمایش در نوار جنوبی و نوار کوهستانی کشور، گواه بر تنوع مکانی نیاز این فراسنج در این دو ماه از سال به دلیل تغییرات ارتفاعی بوده که موجب تغییر نیاز گرمایش گردیده است. کمترین میزان نیاز گرمایش را سواحل و جلگه‌های

جنوبی به میزان ۲۰۰ درجه روز در ماه ژانویه و ۱۰۰ درجه روز در ماه فوریه خواهند داشت. در ماه‌های مارس و آوریل سواحل، جلگه‌های جنوبی و پسرکانه‌ای دارای یکنواختی نسبی در میزان نیاز گرمایش بوده و کمترین میزان را در کشور داراست. این فراسنج در نوار کوهپایه‌ای بیرونی و نوار کوهستانی دارای تغییرات می‌باشد به‌گونه‌ای که هر چه از سمت نوار کوهپایه‌ای به سمت ارتفاعات و قله‌های کوهستانی پیشروی کنیم برحسب افزایش ارتفاع نیاز گرمایش نیز افزایش می‌یابد. وجود خرده ناحیه‌های اقلیمی دشت لوت، دشت زاهدان، دشت ترکمن، بلندی‌های تفتان نیز نقش ارتفاع را در تغییرات این فراسنج بیش از هر عامل اقلیمی دیگر گویاست. در دهه‌های آتی ماه آوریل به نسبت ماه مارس شاهد کاهش محسوس میزان گرمایش مورد نیاز بوده که بیشترین کاهش را توده‌های کوهستانی کشور خواهند داشت و نیاز گرمایش این مناطق از ۵۰۰ درجه روز در ماه مارس به ۳۰۰ درجه روز در ماه آوریل کاهش می‌یابد. فلات آذربایجان و بلندی‌های زاگرس در فصل زمستان بیشترین نیاز گرمایش را خواهند داشت. در ماه‌های می، ژوئن و ژولای که نیاز گرمایش کشور به کمترین میزان خواهد رسید نظم و عدم تنوع مکانی به‌ویژه در جلگه‌ها و سواحل جنوبی، نوار کوهپایه‌ای و دشت‌ها و چاله‌های کشور به چشم می‌خورد به عبارتی با کاهش نیاز گرمایش تنوع مکانی نیز در مناطق گرم و خشک کاهش می‌یابد. اما بخش‌های کوهستانی و کوهپایه‌ای دارای شیب تغییرات زیاد در میزان نیاز به این فراسنج می‌باشند هرچند در طی ماه‌های نامبرده میزان گرمایش موردنیاز در نقاط ارتفاعی کمتر از ۱۰۰ درجه روز خواهد بود. نیاز گرمایش بیشتر نوار زاگرس جنوبی در ماه‌های ژوئن و ژولای نسبت به سایر نقاط ارتفاعی در ماه‌های تابستان گویای خنک‌تر شدن دما در این نقاط خواهد بود. در ماه سپتامبر نوار یک‌سوم جنوبی کشور با ۱۰ درجه روز کمترین و بخش‌های کوهستانی کشور با ۶۰ درجه روز بیشترین میزان گرمایش را در این ماه خواهند داشت. با شروع فصل پاییز نیاز گرمایش در اکثر مناطق کشور افزایش خواهد یافت در این فصل نیز به‌مانند زمستان بامه آذربایجان و بلندی‌های زاگرس بیشترین و سواحل و جلگه‌های جنوبی کمترین میزان گرمایش را خواهند داشت.

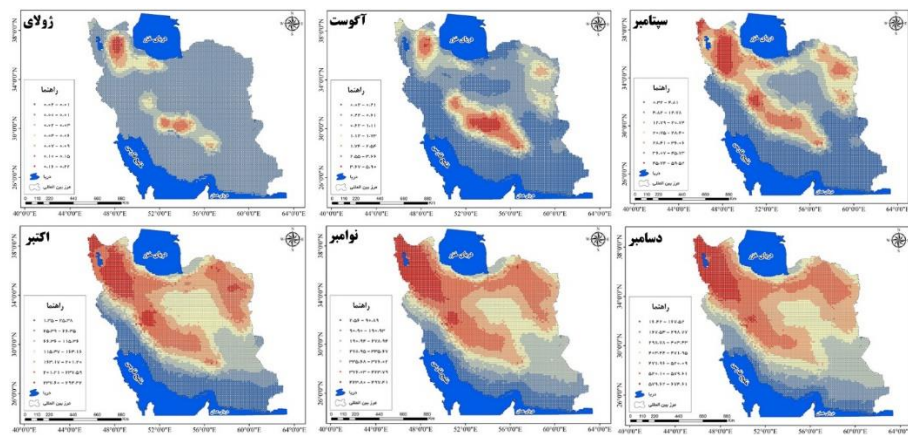
وردایی زمانی-مکانی دورنمای نیاز گرمایشی تابع فیزیوگرافی پیچیده کشور هستند این امر را می‌توان در پیش کوه‌های البرز و بلندهای زاگرس مشاهده کرد. نتایج مدل برای سواحل شمالی، جنوب شرق کشور بخصوص در زمان فعالیت سامانه مونسون و ارتفاعات داخلی و جدا افتاده کشور همچون ارتفاعات جنوب شرق همچون تفتان و خاش در اکثر ماه‌های مورد مطالعه پراش غیرقابل توضیح وجود دارد که استنباط می‌شود سایر متغیرها از قبیل نزدیکی به منبع رطوبتی، دوری و نزدیکی به دریا، سامانه‌های هواسپهری، دما و فشار نیز در مدل گنجانده شود تا بتوان



بهرتر به نقش خرد اقلیم و لانه‌گزینی اقلیمی پرداخت. وردایی فضایی نیاز گرمایشی برآورد شده مبتنی بر ارتفاع نشان داده است که افزایش مقدار نیاز گرمایشی رابطه مستقیمی توپوگرافی پیچیده محلی دارد و می‌توان اذعان نمود که حتی سامانه‌های بزرگ‌مقیاس جوی نیز نقشی به پرنگی ارتفاعات در وردایی نیاز گرمایشی کشور ندارند. فراوانی نیاز گرمایشی در فصل بهار بیشترین همبستگی را در زاگرس و به‌ویژه دامنه‌ی غربی و میانی نشان داده است. در این فصل اتمسفر سرد است و به سبب تابش نسبتاً عمودی آفتاب دامنه‌های مرتفع، اختلاف حرارتی شدید بین دامنه و اتمسفر مجاور به وجود می‌آید که سبب صعود هوا و ایجاد بارش بیشتر در ارتفاعات می‌شود که باعث کاهش شدید دما می‌گردد. از طرفی دیگر چون نواحی کوهستانی به‌عنوان مانعی در برابر توده‌های هوا عمل می‌کنند، به دلیل ایجاد وقفه زمانی در میزان جابجایی باد و صعود اجباری توده‌های هوا سبب کاهش دما می‌گردند که در بامه آذربایجان، ارتفاعات زاگرس و البرز قابل مشاهده است. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت ناهمواری‌ها بر توده‌های وارد شده تأثیر مکانیکی دارند و ضمن صعود، سبب سرمایش آن توده هوا و به‌تبع آن افزایش نیاز گرمایشی می‌گردد.



شکل ۲ مدل‌سازی روابط فضایی ارتفاع با دورنمای نیاز گرمایشی (HDD) ایران مبتنی بر پرونداد مدل EH5OM تحت سناریو A1B (۲۰۱۵-۲۰۵۰) با استفاده از مدل GWR



شکل ۳ مدل‌سازی روابط فضایی ارتفاع با دورنمای نیاز گرمایشی (HDD) ایران مبتنی بر پرونداد مدل EH5OM تحت سناریو A1B (۲۰۱۵-۲۰۵۰) با استفاده از مدل GWR



۵- نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داده است که نیاز گرمایشی در ایران دارای الگوی خوشه‌ای بالا می‌باشد. بالاترین شاخص موران جهانی با مقدار ۰/۹۷ مربوط به ماه‌های آوریل، سپتامبر و اکتبر در فصل بهار و پاییز به دلیل فصول انتقالی سرد و گرم سال می‌باشد و که دارای تنوع بالای مکانی نیاز گرمایشی هستند. علت افزایش مقدار خودهمبستگی فضایی بخصوص در فصل بهار در زاگرس سرمایه‌های اتمسفر است. چراکه به سبب تابش نسبتاً عمودی آفتاب دامنه‌های مرتفع، اختلاف حرارتی شدید بین دامنه و اتمسفر مجاور به وجود می‌آید و موجب صعود هوا و ایجاد بارش بیشتر در ارتفاعات می‌شود که باعث کاهش شدید دما می‌گردد. واسنجی مدل‌های رگرسیونی کلاسیک (OLS) و وزن‌دار جغرافیایی (GWR) نشان داد که در مناطق وسیعی که دارای افت‌وخیز ارتفاعی زیادی می‌باشند مدل‌های رگرسیونی کلاسیک نمی‌تواند روابط نیاز گرمایشی را با ارتفاع مدل‌سازی نماید که مدل GWR بهترین گزینه برای مدل‌سازی نیاز گرمایشی و ارتفاع در پیکره ایران است.

با توجه به نقش پررنگ ارتفاعات در پیکره طبیعی ایران بررسی شرایط تأثیرپذیری بر دورنمای نیاز گرمایشی از ویژگی‌های توپوگرافی که به کمک مدل (UKMO) انجام گرفت حاکی از نقش مثبت ارتفاعات در افزایش مقدار نیاز گرمایشی در دوره سرد سال بود که این نتیجه توسط رضانی و کاظم نژاد (۱۳۹۳) در استان گیلان، راه چمنی (۱۳۹۴) در استان خراسان رضوی و امرایی (۱۳۹۴) در استان لرستان تأیید شده است؛ همچنین چنگ و ون و جیان (۲۰۱۰) در ارزیابی نیاز گرمایشی و سرمایه‌های چین نیز به نقش پررنگ ارتفاع در تغییرات مکانی نیاز گرمایشی پرداختند.

مدل‌سازی روابط فضایی دورنمای نیاز گرمایشی ایران مبتنی بر ارتفاع بدین شرح قابل دسته‌بندی است:

۱- بروز اقلیم سرد ماه‌های ژانویه و فوریه موجب شده که کشور فاقد نیاز سرمایه‌های (سردکردن محیط) چندانی در این ماه‌ها باشد. سواحل چابهار و هرمزگان نیز در این فصل شاهد بروز دماهای بالاتر از آستانه آسایش بوده که موجب نیاز گرمایش جزئی در این مناطق به دلیل اثر تعدیلی رطوبت دریا و دوری از مسیر توده‌های هوایی شده و مناطق بالاتر از مدار ۳۰ درجه نیاز گرمایشی بالایی دارد.

۲- در ماه‌های مارس تا سپتامبر کشور از لحاظ نیاز گرمایشی به سه بخش جلگه‌ها و سواحل جنوبی و پسران‌های، نوار کوهستانی و کوهپایه‌ای و بالاخره دشت‌ها و چاله‌های داخلی و بیرونی قابل پهنه‌بندی است این پهنه‌ها توسط امیدوار و همکاران (۱۳۹۵) که درجه ساعت

نیاز گرمایشی و سرمایشی کشور را در دهه‌های آتی مورد بررسی قرار دادند همخوانی دارد. پهنه جلگه‌ها و سواحل جنوبی و پسرکانه‌ای در تمام ماه‌های سال به‌ویژه فصل بهار و تابستان طی دهه‌های آتی از نیاز گرمایش کمتری در کشور برخوردار خواهند بود که گویای گرم‌تر شدن هوا در این بخش گرم و مرطوب کشور می‌باشد این نتایج با نتایج روشن و همکاران (۲۰۱۲) 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 گرمایش بیشتر ارتفاعات داخلی کشور همچون تفتان، کرکس، هزار و لاله‌زار، جوپار (کرمان) که به شکل خرده ناحیه اقلیمی در دل ناحیه بزرگ‌تر جای گرفته بیش از هر چیز نقش ارتفاع را در تغییرات نیاز گرمایش گویا می‌سازد. در طی ماه‌های مذکور نیز پهنه کوهستانی و کوهپایه‌ای کشور از بیش‌ترین نیاز گرمایش برخوردار می‌باشند در این پهنه نیز بسته به تغییرات ارتفاعی شیو نیاز گرمایش تغییر کرده و با حرکت به سمت چاله‌های داخلی از میزان آن کاسته می‌شود.

۴- در فصل پاییز نیز با تغییرات شرایط دمایی نیاز گرمایش در اکثر مناطق کشور به میزان قابل‌توجهی افزایش خواهد یافت اما همچنان سواحل چابهار و هرمزگان از کمینه این فراسنج در کشور برخوردار می‌باشند.

۵- به‌طور کلی بیشترین نیاز به گرمایش محیط را فلات آذربایجان و ارتفاعات زاگرس به‌ویژه در ماه‌های دسامبر و ژانویه به خود اختصاص می‌دهند. نوار ساحلی جنوب تقریباً در اکثر ماه‌های سال از تنوع مکانی بسیار کم از لحاظ نیاز گرمایش برخوردار بوده و میزان گرمایش این نقاط کمترین میزان را در کشور دارا می‌باشند.



منابع

- احمدی، م.، داداشی رودباری، ع. (۱۳۹۵) دستورالعمل اجرایی ریز پیمانه نمایی آماری سری‌های روزانه آب‌وهوا، تهران: انتشارات نوید مهر.
- امرای، ف. (۱۳۹۴) تحلیل درجه روزهای گرمایش و سرمایش در گستره‌ی استان لرستان، به راهنمایی دکتر بهروز نصری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه لرستان، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، گروه جغرافیا.
- امیدوار، ک.، ابراهیمی، ر.، مزیدی، ر. (۱۳۹۵) واکاوی اثر گرمایش جهانی بر درجه ساعت‌های گرمایش و سرمایش ماهانه ایران، برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره بیستم، شماره ۲، صص ۴۱-۶۲.
- امیدوار، ک.؛ ابراهیمی، ر.؛ داداشی رودباری، ع.؛ ملک میرزایی، م. (۱۳۹۴) واکاوی زمانی-مکانی فرین‌های سرد ایران تحت تأثیر گرمایش جهانی به‌منظور کاهش مخاطرات، دانش مخاطرات، دوره ۲، شماره ۴، صص ۴۲۳-۴۳۷.
- آرمن، س.ع.، زارع، ر. (۱۳۸۸) مصرف انرژی در بخش‌های مختلف و ارتباط آن با رشد اقتصادی در ایران: تحلیل علیت بر اساس روش تودا و یاماموتو، فصل‌نامه‌ی مطالعات اقتصاد انرژی، سال ششم، شماره ۲۱، صص ۶۷-۹۲.
- آئینی، م. (۱۳۹۵) سنجش اثر بازگشتی از افزایش کارایی انرژی در سطح کلان اقتصادی (مطالعه موردی ایران)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقتصاد انرژی، دانشگاه علامه طباطبایی، به راهنمایی دکتر مرتضی خورسندی، دانشکده اقتصاد.
- ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۲ (۱۳۹۴) معاونت امور برق و انرژی (دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی)، سازمان بهره‌برداری انرژی ایران (سایا)، تهران، ایران.
- حلیمی برده‌زرد، م. (۱۳۹۰) بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر مصرف انرژی برق بخش خانگی ایران، به راهنمایی دکتر منوچهر فرج‌زاده اصل، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، گروه جغرافیا.
- راه چمنی، م. (۱۳۹۴) تأثیر تغییر اقلیم بر نیازهای سرمایش و گرمایش در استان خراسان رضوی، به راهنمایی دکتر محمد باعقیده، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه حکیم سبزواری، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، گروه جغرافیای طبیعی.
- رمضانی، ب.، کاظم نژاد، ز. (۱۳۹۳) واکاوی و اقلیم بندی مجموع میانگین نیاز (گرمایش و سرمایش) در قلمرو گیلان با تأکید بر مصرف گاز طبیعی خانوار، مجله مطالعات برنامه‌ریزی سکونتگاه‌های انسانی، دوره ۹، شماره ۲۶، صص ۱-۱۶.
- شمسی‌پور، ع. (۱۳۹۳) مدل‌سازی آب‌وهوایی نظریه و روش، چاپ دوم، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- فرج‌زاده، م.، قویدل رحیمی، ی.، شریفی، ن. (۱۳۹۵) مدل‌سازی فضایی تولید سیب‌درختی در ایران با رویکرد اقلیمی، برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره بیستم، شماره ۱، صص ۱۲۷-۱۴۷.

مدیران، ر؛ بابائیان، ا؛ کریمیان، م. (۱۳۸۶) شبیه‌سازی عددی بارش و دمای جنوب شرق ایران با استفاده از مدل اقلیمی RegCM3، *مجله نیوار*، دوره ۳۲، شماره ۶۶ و ۶۷، صص ۷-۲۵.

مسعودیان، س.ا؛ ابراهیمی، ر؛ محمدی، م. (۱۳۹۳) پهنه‌بندی مکانی-زمانی نیاز گرمایش و سرمایش فصلی و سالانه ایران، *فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سپهر*، دوره ۲۳، شماره ۹۰، صص ۸۳-۹۰.

مسعودیان، س.ا؛ علیجانی، ب؛ ابراهیمی، ر. (۱۳۹۰) واکاوی میانگین درجه/روز موردنیاز (گرمایش و سرمایش) در قلمرو ایران، *پژوهش‌نامه‌ی جغرافیایی*، شماره ۱، صص ۲۳-۳۶.

Aeini, m. (2016) *Measuring the Return Effect of Increasing Energy Efficiency at the Macroeconomic Level (Case Study of Iran)*, Master's Degree in Energy Economics, Allameh Tabataba'i University, led by Dr. M. Khorsandi, Faculty of Economics [In Persian].

Ahmadi, M., DadashiRoudbari, A. (2016) *Tutorial Statistical downscaling daily weather series*, Navid Mehr Publications, Tehran [In Persian].

Amraee, F (2015) *Analysis of the degrees of heating and cooling days in the Lorestan province*, led by Dr. Behrouz Nasri, Master's thesis at Lorestan University, Faculty of Literature and Humanities, Department of Geography [In Persian].

Arman, S.A., Zare, R. (2009) "Energy consumption in different sectors and its relation to economic growth in Iran: causality analysis based on the methodology of Toda and Yamamoto", *Journal of Energy Economics*, Vol. 6, No. 21, pp. 67-92 [In Persian].

Artmann, N., Gyalistras, D., Manz, H., & Heiselberg, P. (2008) "Impact of climate warming on passive night cooling potential", *Building Research & Information*, 36(2), 111-128.

ASHRAE (2009) "Energy Standard for Buildings except Low-Rise Residential Buildings", *American Society of Heating Refrigeration and Air-Conditioning Engineers*, Atlanta, GA.

Belcher, S. E., Hacker, J. N., & Powell, D. S. (2005) "Constructing design weather data for future climates", *Building Services Engineering Research and Technology*, 26(1), 49-61.

Biesbroek, G. R., Swart, R. J., Carter, T. R., Cowan, C., Henrichs, T., Mela, H., & Rey, D. (2010) "Europe adapts to climate change: comparing national adaptation strategies", *Global environmental change*, 20(3), 440-450.

Bivand R, Brunstad R (2005) "Further explorations of interactions between agricultural policy and regional growth in Western Europe: approaches to nonstationarity in spatial econometrics", *45th Congress of the European Regional Science Association*, Amsterdam 23-27 August, 2005.

Borah, P., Singh, M. K., & Mahapatra, S. (2015) "Estimation of degree-days for different climatic zones of North-East India", *Sustainable Cities and Society*, 14, 70-81.



- Brunsdon C, Fotheringham AS, Charlton M (1998) "Geographically weighted regression-Modeling spatial non-stationarity" *The Statistician* 47-3, 431-443.
- Büyükalaca, O., Bulut, H., & Yılmaz, T. (2001) "Analysis of variable-base heating and cooling degree-days for Turkey", *Applied Energy*, 69(4), 269-283.
- Charlton, M., Fotheringham, S., & Brunsdon, C. (2009) "Geographically weighted regression", White paper. National Centre for Geocomputation. National University of Ireland Maynooth.
- Chen, L., Fang, X., & Li, S. (2007) "Impacts of climate warming on heating energy consumption and southern boundaries of severe cold and cold regions in China", *Chinese Science Bulletin*, 52(20), 2854-2858.
- Cheng-wen, Y., & Jian, Y. (2010, May) "Application of ANN for the prediction of building energy consumption at different climate zones with HDD and CDD" In *Future Computer and Communication (ICFCC)*, 2010 2nd International Conference on (Vol. 3, pp. V3-286). IEEE.
- CIBSE (The Chartered Institution of Building Services Engineers). (2006) *TM41 degree-days: Theory and application*. London, UK.
- Cox, R. A., Drews, M., Rode, C., & Nielsen, S. B. (2015) "Simple future weather files for estimating heating and cooling demand", *Building and Environment*, 83, 104-114.
- Crawley, D. B. (2007, September) "Creating weather files for climate change and urbanization impacts analysis" In *Building Simulation* (pp. 1075-1082). IBPSA Beijing.
- De Rosa, M., Bianco, V., Scarpa, F., & Tagliafico, L. A. (2015) "Historical trends and current state of heating and cooling degree days in Italy", *Energy Conversion and Management*, 90, 323-335.
- De Wilde, P., & Coley, D. (2012) "The implications of a changing climate for buildings", *Building and Environment*, 55, 1-7.
- Eames, M., Kershaw, T., & Coley, D. (2010) "On the creation of future probabilistic design weather years from UKCP09", *Building Services Engineering Research and Technology*, 0143624410379934.
- Energy balance sheet 2013 (2015) "Deputy Head of Electricity and Energy Affairs (Office of Planning of Electricity and Energy)", *Iran Energy Utilization Organization (Saba)*, Tehran, Iran [In Persian].
- Fallah Ghalhari, G. A., Dadashi Roudbari, A. A., & 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
- Farajzadeh, M., Ghavidel rahimi, Y., Sharifi, N. (2016) "Spatial modeling of apple produce with a climatic approach", *journal of spatial Planning (Scientific research quarterly)*, Vol. 20, Issue 1, pp. 127-148 [In Persian].
- Fotheringham, A. S., Charlton, M. E., & Brunsdon, C. (2001) "Spatial variations in school performance: a local analysis using geographically weighted regression", *Geographical and Environmental Modelling*, 5(1), 43-66.
- Guan, L. (2012) "Energy use, indoor temperature and possible adaptation strategies for air-conditioned office buildings in face of global warming", *Building and Environment*, 55, 8-19.

- Halimi bardeh zard, d. (1390) "Investigating the Impact of Climate Change on Iran's Electric Energy Consumption", led by Dr. Manouchehr Fardzadeh ASL, Master's Thesis, Tarbiat Modarres University, Faculty of Literature and Humanities, Department of Geography [In Persian].
- Hurvich, C. M., Simonoff, J. S., & Tsai, C. L. (1998) "Smoothing parameter selection in nonparametric regression using an improved Akaike information criterion", *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)*, 60(2), 271-293.
- Illian, J., Penttinen, A., Stoyan, H., and Stoyan, D. (2008) "Statistical Analysis and Modelling of Spatial Point Patterns", John Wiley and Sons, Chichester.
- Jalal, S. J., & Bani, R. K. (2016) "Impact of orientation of residential neighborhoods on optimizing sustainable and equitable exposure of insolation—Case study of Sulaimani, Iraq" *Energy for Sustainable Development*, 31, 170-177.
- Jiang, F., Li, X., Wei, B., Hu, R., & Li, Z. (2009) "Observed trends of heating and cooling degree-days in Xinjiang Province, China", *Theoretical and applied climatology*, 97(3-4), 349-360.
- Jungmeier, G., Dunn, J., Elgowainy, A., Ehrenberger, S., & Widmer, R. (2015) "Estimated Environmental Effects of the Worldwide Electric Vehicle Fleet—A Life Cycle Assessment in Task 19 of the International Energy Agency (IEA) on Hybrid and Electric Vehicles (HEV)."
- Kershaw, T., Eames, M., & Coley, D. (2011) "Assessing the risk of climate change for buildings: A comparison between multi-year and probabilistic reference year simulations", *Building and Environment*, 46(6), 1303-1308.
- LI, Y., HE, R., DU, Y., & LU, H. (2011) "Spatio-temporal Variation Characteristics of Cooling Degree Days and Heating Degree Days in South China" [*J. Tropical Geography*, 1, 005.
- Masoudian, S.A., Alijani, B., Ebrahimi, R. (2011) "Analysis of the average degree / day required (heating and cooling) in the territory of Iran", *Geographical Research*, No. 1, pp. 23-36 [In Persian].
- Masoudian, S.A., Ebrahimi, R., Mohammadi M. (2014) "Spatial-temporal zoning of seasonal and annual cooling demand of Iran", *Journal of Geographic Information Science and Technology*, Sepehr, Vol. 23, Issue 90, Pages 83-90 [In Persian].
- Mennis, J. (2006) "Mapping the results of geographically weighted regression", *The Cartographic Journal*, 43(2), 171-179.
- Mitchel, A. (2005) *The ESRI Guide to GIS analysis*, Volume 2: Spatial measurements and statistics. *ESRI Guide to GIS analysis*.
- Modiran, R., Babaian, A., Karimian, M. (2007) "Numerical simulation of precipitation and temperature in southeast of Iran using the RegCM3 climatic model", *Nivar Magazine*, Vol. 32, Issue 66 and 67, pp. 25-25 [In Persian].
- Moser, S. C., & Ekstrom, J. A. (2010) "A framework to diagnose barriers to climate change adaptation" *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(51), 22026-22031.

- Nik, V. M., & Kalagasidis, A. S. (2013) "Impact study of the climate change on the energy performance of the building stock in Stockholm considering four climate uncertainties" *Building and Environment*, 60, 291-304.
- Omidvar, K., Ebrahimi, R., Dadashi Roudbari, A., Malek Mirzayi, M. (2016) "Evaluation of Extreme cold temperatures spatio-temporal Iran under the effects of global warming to reduce risks", *Environmental Hazards Management*, Vol.2, Issue 4, pp.423-437 [In Persian].
- Omidvar, K., Ebrahimi, R., Mazidi, A. (2016) "The Analysis of the Effect of Global Warming on the Monthly Heating and Cooling Degree-Hours of Iran", *journal of spatial Planning (Scientific research quarterly)*, Vol.20, No.2, pp 41-62 [In Persian].
- Rahchamani, M. (2015) "The Impact of Climate Change on Cooling and Heating Requirements in Khorasan Razavi Province", led by Dr. Mohammad Baqaeed, Master's Thesis, Hakim Sabzevari University, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Natural Geography Group [In Persian].
- Ramchurn, S. D., Vytelingum, P., Rogers, A., & Jennings, N. (2011, May) "Agent-based control for decentralised demand side management in the smart grid", In *The 10th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*-Volume 1 (pp. 5-12). International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems.
- Ramezani, B., Kazemnejad, Z. (2014) "Analysis and climate zoning of the total average demand (heating and cooling) in the territory of Guilan with an emphasis on the consumption of natural gas by the household", *Journal of Planning Human Resources*, Vol. 9, Issue 26, Pages 1-16 [In Persian].
- Reichler, T., & 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.
- Roshan, G. R., & 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.
- Roshan, G. R., Ghanghermeh, A. A., & Attia, S. (2017) "Determining new threshold temperatures for cooling and heating degree day index of different climatic zones of Iran" *Renewable Energy*, 101, 156-167.
- Shamsipour, A. (2014) *Climate Modeling Theory and Method*, Second Edition, Tehran University Press, 278 pp [In Persian].
- Shen, X., & Liu, B. (2016) "Changes in the timing, length and heating degree days of the heating season in central heating zone of China" *Scientific Reports*, 6.
- Spinoni, J., Vogt, J., & Barbosa, P. (2015) "European degree-day climatologies and trends for the period 1951–2011", *International Journal of Climatology*, 35(1), 25-36.

- Strachan, M., & Banfill, P. (2012) "Decision support tools in energy-led, non-domestic building refurbishment: towards a generic model for property professionals" *Facilities*, 30(9/10), 374-395.
- Tol, R. S. (2009) "The economic effects of climate change" *The Journal of Economic Perspectives*, 23(2), 29-51.
- Verbai, Z., Lakatos, Á., & Kalmár, F. (2014) "Prediction of energy demand for heating of residential buildings using variable degree day" *Energy*, 76, 780-787.
- Watkins, R., & Levermore, G. J. (2010) "Quantifying the effects of climate change and risk level on peak load design in buildings" *Building Services Engineering Research and Technology*.
- Wheeler, D. C. (2014) "Geographically weighted regression" In *Handbook of Regional Science* (pp. 1435-1459). Springer Berlin Heidelberg.