

مدل سازی درجه روز گرمایش و سرمایش در ایران

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

- ۱- استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی
 ۲- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی شهری، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی
 ۳- دانشجوی دکتری مخاطرات آب و هوایی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه یزد

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۳

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۱۹

چکیده

هدف از این مطالعه توسعه معادلات و ارزیابی دقت برای محاسبه درجه روز با استفاده از میانگین دمای روزانه هوا می باشد. در این پژوهش به این منظور درجه روز گرمایش (*HDD*) و سرمایش (*CDD*) از برونداد پایگاه داده اسفزاری با استفاده از دو مدل *ASHRAE* و *UKMO* با لحاظ نمودن آستانه انجمن استاندارد علوم آمریکا (۱۸/۳ درجه سانتی گراد) محاسبه شد. رابطه نیاز گرمایش و سرمایش ایران از روش وایازی غیرخطی چندگانه گام به گام با برازش معادلات کوبیک و کوادراتیک استفاده شد. نتایج نشان داد، تابع کوادراتیک پیش بینی های بسیار دقیق تری را نسبت تابع کوبیک برای نیاز گرمایشی و سرمایشی با انحراف استاندارد (*SD*) ۰/۳۲۸ و ۰/۳۷۰ ارائه می نماید. میزان ضریب بتا (β) و F بیانگر این است که به جز مقدار ثابت در معادلات (*bo*)، عامل درجه حرارت میانگین با توان سه درجه اهمیت بیشتری نسبت به بقیه عوامل ورودی به مدل ها برای نیاز گرمایشی دارد. همچنین برای نیاز سرمایشی توان درجه یک میانگین دمای هوا نسبت به سایر عوامل از اهمیت بیشتری برخوردار است. محاسبه ترکیب انحراف استاندارد (*SD*)، عرض جغرافیایی و ارتفاع نیز منجر به افزایش دقت پیش بینی مدل ($R^2 > .92$) گردید که مبین نقش تغییرات مکانی بالای این دو فراسنج و هم سوئی چند جانبه عوامل محیطی است. تحلیل های مکانی نیاز گرمایشی و سرمایشی چند مشخصه بارز آب و هوایی را برای این فراسنج در قلمرو ایران آشکار ساخته است: ۱- لانه گزینی آب و هوایی در قالب خرده نواحی آب و هوایی؛ ۲- ورودش مکانی بالای نیاز گرمایشی و سرمایشی با آرایش ناهمواری ها و تغییرات شدید ارتفاعی.

واژه های کلیدی: *HDD*، *CDD*، مدل *ASHRAE*، مدل *UKMO*، ایران.

مقدمه

اقدامات بهینه‌سازی در عرضه و تقاضای انرژی را بیش از پیش ضروری می‌سازد و نخستین گام در این عرصه محاسبات دقیق براساس شرایط آب و هوایی کشور است. چرا که در طی دوره نامبرده صادرات انرژی کشور ۶/۲ درصد کاهش داشته اما واردات، سالانه ۵/۹ درصد افزایش داشته است (ترازنامه انرژی ایران، ۱۳۹۴). ادامه این روند سبب وابستگی کشور به واردات انرژی می‌شود. در سال‌های اخیر سیاست‌های آب و هوایی در بخش انرژی بیشتر به کاهش انتشار آلاینده‌های ناشی از سامانه‌های انتشار محدود می‌گردید (میدکسا و کالبیکن، ۲۰۱۰؛ ابینجر، ۲۰۱۱). باین‌حال آگاهی از اقتباس و آسیب‌پذیری بخش انرژی از آب و هوا و تغییرات مکانی می‌تواند به درک درستی از مدیریت و بهره‌وری انرژی منتهی گردد (اسچيفر و همکاران، ۲۰۱۲). همان‌گونه که از دست دادن حرارت ساختمان به‌طور مستقیم متناسب با تفاوت بین هوا در محیط داخلی و فضای باز است. مصرف انرژی یک ساختمان در یک دوره از زمان مربوط به مجموع این اختلاف درجه حرارت در این دوره است. بر این اساس لازم است شناخت کافی از تغییرات مکانی نیاز گرمایش و سرمایش در کشور داشته باشیم تا بهتر بتوان به مدیریت انرژی پرداخت. تکنیک‌های محاسبه درجه روز وابسته به داده‌های مکانی می‌باشد از جمله مطالعات صورت گرفته می‌توان به یونگر و مکرا (۲۰۰۷)، به مطالعه میزان تقاضای گرمایش مورد نیاز برای نواحی شهری و روستایی در ایسلند پرداختند و رابطه میان تغییرات اقلیمی و میزان مصرف انرژی برای گرمایش این کشور را به صورت معادلات چندگانه ارائه دادند. بررسی تأثیر گرمایش جهانی و اثرات آن بر میزان انرژی مصرفی برای گرمایش برای چندین ناحیه سرد واقع در مرزهای جنوبی چین برای

درجه حرارت روزانه یک فراسنج کلیدی در کنترل تهویه هوای ساختمان‌ها (سرمایش و گرمایش) است. درحالی‌که دیگر پارامترهای هواشناسی نقش کمتری را به نسبت به دما دارند (انگل و همکاران، ۱۹۹۲؛ اورتیزیوا و همکاران، ۲۰۱۲). تنظیم شرایط دمایی محیط و استفاده منطقی از انرژی، همراه با مدیریت بهینه مسائل زیست‌محیطی مرتبط با آن می‌تواند منجر به کاهش هزینه‌های جاری و استفاده‌های حداکثری منافع جامعه منجر شود (آسری، ۲۰۰۱؛ ماتراکیس و بالفیرتیس، ۲۰۰۴؛ کریستون و همکاران، ۲۰۰۶). یکی از مهم‌ترین شاخص‌های آماری مرتبط با مدیریت انرژی درجه روز است. درجه روز یکی از شاخص‌های آب و هوایی مهم است که بیانگر شدت و مدت دمای محیط است (مورنو و همکاران، ۲۰۱۴؛ گوف، ۲۰۱۵؛ وی و همکاران، ۲۰۱۷). به عبارتی اندازه‌گیری میانگین دمای هوا با استفاده از دمای آستانه را درجه روز گویند. این آستانه‌های دمایی انتخاب شده برای محاسبه درجه روز سرمایش و گرمایش بستگی به اهداف ویژه‌ای دارد که متناسب با نوع پژوهش و مکان مورد مطالعه می‌تواند متغیر باشد (کدی اغلو و سن، ۲۰۰۱). مقایسه وضعیت انرژی ایران که بر اساس آخرین ترازنامه انرژی، توسط امور برق و انرژی کشور منتشر گردید؛ نشان داده است که وضعیت انرژی ایران در سال ۱۳۹۲ با ارقام مشابه در سال ۱۳۸۴ با رشد سالیانه ۴/۱ درصد از ۱۲۱۳/۴ میلیون بشکه نفت خام در سال ۱۳۸۴ به ۱۶۶۸/۳ میلیون بشکه معادل نفت خام رسیده است. کل مصرف انرژی با رشد سالانه ۳/۶ درصد از ۸۳۳/۸ به ۱۱۰۳/۳ میلیون بشکه معادل نفت خام افزایش یافته است (ترازنامه انرژی ایران، ۱۳۹۴). این افزایش چشمگیر در مصرف نهایی انرژی، ضرورت تداوم و شتاب در

استفاده از وایازی غیرخطی چندگانه پرداخت. نتایج نشان داد که رابطه بسیار قوی بین درجه حرارت سالانه و درجه روز وجود دارد. یلدیز و همکاران (۲۰۱۳) اشاره کرد که به بررسی توزیع فضایی میانگین درجه روز گرمایش و سرمایش ماهانه و سالانه مورد نیاز برای صنایع در ترکیه پرداختند و منابع عمده تخمین انرژی مورد نیاز برای گرمایش و سرمایش واحدهای مسکونی، صنعتی و تجاری این کشور را مشخص کردند. روش‌های سنتی درجه روز به لحاظ سادگی در محاسبات تاکنون از سوی طیف وسیعی از پژوهشگران استفاده شده است و تعداد کمی از پژوهش‌های انجام شده از مدل‌های بهنگام درجه روز بهره بردند در یکی از شاخص‌ترین و به‌روزترین این پژوهش‌ها بورا و همکاران (۲۰۱۵) به واکاوی، درجه روزهای گرمایش و درجه روزهای سرمایش برای شمال شرق هند با استفاده از معادلات $ASHRAE^2$ ، $UKMO^3$ و $Kehrig-Schoenau$ پرداختند و مناطق گرمایشی و سرمایشی شمال-شرق این کشور را تشریح کردند. مطالعات انجام شده در کشور نیز بیشتر بر پایه مطالعات سنتی درجه روز استوار است که به چند مورد از آن‌ها اشاره خواهد شد مسعودیان و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی به واکاوی درجه روزهای گرمایش و سرمایش ایران با استفاده از داده‌های میانگین دمای روزانه ایران در دوره آماری ۴۴ ساله (۱۳۸۴-۱۳۴۰) پرداختند. نتایج پژوهش آنان سه قلمرو گرمایشی و سرمایشی متفاوت را برای ایران آشکار ساخت که عبارت‌اند از: ۱- قلمرو کوهستانی، ۲- قلمرو کوهپایه‌ای و ۳- قلمرو جلگه‌ای، پست و بیابانی. پهنه‌بندی مکانی-زمانی نیاز گرمایش و سرمایش فصلی و سالانه ایران عنوان کار پژوهشی مسعودیان و همکاران (۱۳۹۳) است. نتایج پژوهش

طراحی ساختمان پژوهشی است که توسط چن و همکاران (۲۰۰۷) انجام شده است و به این نتیجه رسیدند که با افزایش دما نیاز سرمایشی ساختمان افزایش می‌یابد. سملر و همکاران (۲۰۰۹) به تجزیه و تحلیل تغییرات اقلیمی بر روی تغییرات مصرف انرژی برای گرمایش و سرمایش در ایرلند در طی دوره آماری ۴۰ ساله پرداختند. نتایج به دست آمده از این واکاوی‌ها بیانگر این است که در جنوب این کشور در طی دوره آماری ۲۰۰۰-۱۹۸۱ در مقایسه با دوره ۱۹۸۰-۱۹۶۱ تقاضای انرژی برای گرمایش تقریباً به میزان ناچیزی روند کاهشی داشته است. با وجود اینکه نیاز گرمایش و سرمایش برای مدیریت انرژی ارائه شده است اما تعداد پژوهش‌هایی، کمی مصرف انرژی را کانون توجه خود قرار دادند. در این بین پاپاکوستاس و همکاران (۲۰۰۹) به ارائه یک مدل جدید به منظور محاسبه درجه ساعت برای مصرف انرژی مورد نیاز گرمایش و سرمایش با استفاده از داده‌های دمای ۴۰ ایستگاه هواشناسی در سرتاسر یونان در طی دوره آماری ۲۰۰۴-۱۹۵۴ پرداختند و انرژی موردنیاز در بخش‌های مختلف کشور را تشریح کردند. زو و همکاران (۲۰۰۷) به بررسی تغییرات اقلیمی بر روی مصرف انرژی در هنگ‌کنگ پرداختند و نتایج بیانگر این امر بود که تغییرات مشخص و افزایشی در میزان مصرف انرژی الکتریسیته در نواحی تجاری و خانگی این بندر مهم تجاری وجود دارد. توسعه مدل‌های بومی درجه روز امروزه از مقبولیت بالایی برخوردار است به‌طوری که مورشد (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای به توسعه یک معادله برای محاسبه درجه روز از داده‌های درجه حرارت روزانه از طریق بررسی رابطه بین درجه روز و درجه حرارت متوسط سالانه از ۵۵۱۱ نقطه در سراسر جهان، با

3-United Kingdom Met Office (UKMO)

2-American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)

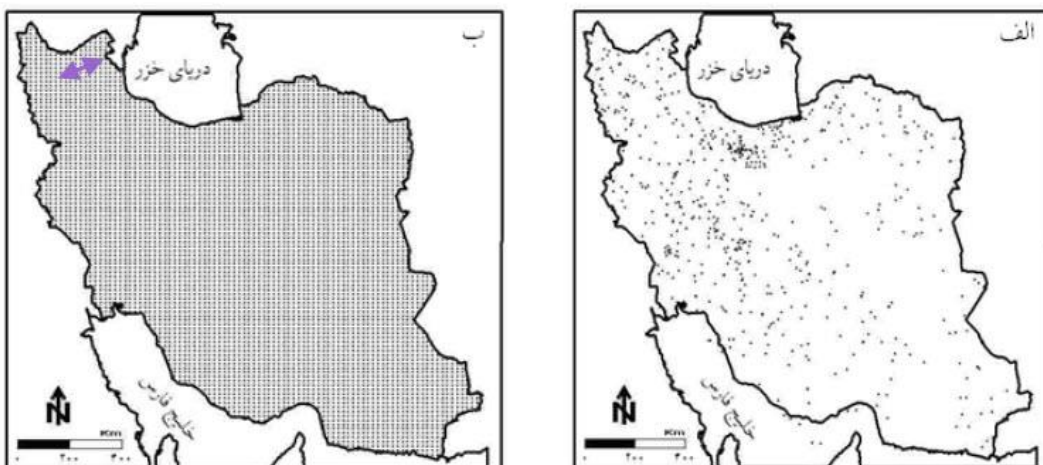
الف) داده‌های مورد استفاده

جهت محاسبه رابطه بین میانگین دمای روزانه و درجه روزهای گرمایش و سرمایش سالانه از پایگاه داده اسفزاری استفاده شد. میانگین دمای روزانه در پایگاه داده‌های اسفزاری آرایه‌ای است به ابعاد 7187×15992 که در آن سطرها بیانگر زمان و ستون‌ها برابر مکان می‌باشند؛ دقت این پایگاه در برآورد نیاز گرمایشی و سرمایشی کشور توسط مسعودیان و همکاران (۱۳۹۰، ۱۳۹۳، ۱۳۹۳b) مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج قابل قبولی را ارائه داده است. این پایگاه داده‌ها شامل میانگین روزانه دما از سال $1340/1/1$ تا $1381/12/29$ بر روی یاخته‌هایی به ابعاد 15×15 کیلومتر بر سراسر کشور است. به این ترتیب زمان (روز) و ستون‌ها بیانگر مکان (یاخته‌های 15×15 کیلومتر) هستند (شکل ۱). پایگاه داده اسفزاری توسط مسعودیان (۱۳۸۴) در دانشگاه اصفهان ایجاد شد این پایگاه از داده‌های روزانه ۱۴۳۷ ایستگاه همدید و آب و هواشناسی طی بازه زمانی $1961/01/01$ تا $2004/12/31$ فراهم شده است (شکل ۱ الف). درون‌یابی این پایگاه با استفاده از روش زمین‌آماری کریجینگ بر روی یاخته‌ای به ابعاد 15×15 کیلومتر برای ایران اعمال گردید. درجه روز سرمایش و گرمایش سالانه نیز از طریق میانگین دمای روزانه و با آستانه‌های دمایی ۱۸ درجه برای هریک از یاخته‌ها محاسبه و در نهایت آرایه‌ای به ابعاد 7187×44 به دست می‌آید که سطرها بیانگر سال و ستون‌ها بیانگر مکان می‌باشند. هدف نهایی به دست آوردن رابطه‌ای بین میانگین دمای روزانه و درجه روز گرمایش و سرمایش سالانه می‌باشد.

آنان نشان داد که بیش‌ترین میزان درجه روز سرمایش با آستانه ۱۱ درجه در فصل تابستان مربوط به سواحل دریای عمان است؛ و بیشینه نیاز گرمایش با آستانه ۱۴ درجه در فصل زمستان و متعلق به ناحیه شمال‌غرب و بلندهای ایران است. جمع‌بندی پیشینه حاضر نشان می‌دهد، رقم پیشرفت‌های حاصله در مطالعات درجه روز بسیار ولی تاکنون در کشور از این توانمندی‌ها استفاده نشده است و تمامی مطالعات انجام شده مبتنی بر یک محاسبه سنتی و ساده از درجه روز استوار بوده‌اند. لذا این پژوهش ضمن ارزیابی نیاز گرمایش و سرمایش ایران با استفاده از برون‌داد پایگاه اسفزاری دو هدف کلی را به شرح زیر دنبال می‌نماید: ۱- محاسبه درجه روز از طریق از معادلات UKMO, ASHRAE و ایجاد رابطه بین میانگین دمای هوا و درجه روز سرمایش و گرمایش. ۲- ارائه یک مدل برای پیش‌بینی درجه روز گرمایش و سرمایش از طریق ارتباط آن با میانگین دمای روزانه.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش رابطه درجه روز گرمایش و سرمایش در قلمرو ایران با دمای هوا مورد ارزیابی قرار گرفته است. شرایط جغرافیایی ایران مبتنی بر عرض جغرافیایی در نیم‌کره شمالی به دلیل جابجایی کمربندهای گرمایی در طول سال از تغییرات زاویه تابش خورشید و در نتیجه تغییر ترازمندی تابش خالص پیروی می‌کند لذا تاثیر ارتفاع نسبت به عرض جغرافیایی در پهنه سرزمین اهمیت بیشتری در زمینه انرژی کسب شده در سطح زمین دارد (مسعودیان، ۱۳۹۰). لذا روش پژوهش در این تحقیق به شرح ذیل دنبال گردید:



شکل ۱: موقعیت مکانی ایستگاه‌ها و یاخته‌های مورد استفاده در پژوهش؛ الف) ایستگاه‌های همدید و اقلیم‌شناسی مورد استفاده در پایگاه اسفزاری، ب) یاخته‌های ۱۵×۱۵ کیلومتری پایگاه اسفزاری (مسعودیان و همکاران، ۱۳۹۰)

رابطه ۱)

$$HDD_d = (T_b - T_d)^+$$

رابطه ۲)

$$CDD_d = (T_d - T_b)^+$$

در این روابط T_b آستانه دمایی در هوای آزاد است و علامت + بدان معنی است که تنها تفاوت بین اعداد مثبت در نظر گرفته می‌شود. T_d دمای روزانه است که از طریق جمع حداکثر و حداقل دمای روزانه به دست می‌آید، (T_{min} و T_{max}):

ج-۲) 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 (HDD_d) و سرمایش (CDD_d) محاسبه می‌شود (موسسه خدمات

ب) آستانه دمایی محاسبه نیاز سرمایش^۴)
(CDD) و گرمایش (HDD)^۵)

جهت محاسبه درجه روزهای گرمایش و سرمایش 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 ۱۸/۳ درجه سانتی‌گراد مبتنی بر تعریف انجمن استاندارد آمریکا (انجمن استاندارد علوم ایالات متحده آمریکا، ۲۰۰۹؛ روشن و گرب، ۲۰۱۲) استفاده شد.

ج) محاسبه درجه روز سرمایش (CDD) و گرمایش (HDD)

برای محاسبه درجه روز از دو مدل ASHRAE و UKMO استفاده شده است که شرح آن در ادامه آمده است.

ج-۱) مدل ASHRAE

در این مدل درجه روز از تفاوت بین میانگین درجه حرارت روزانه و آستانه دمایی موردنظر به دست می‌آید. محاسبه درجه روز گرمایش روزانه، HDD_d و درجه روز سرمایش روزانه، CDD_d از روابط ۱ و ۲ استفاده شده است.

5-Heating Dgree day (HDD)

4-Cooling Dgree day (CDD)

مهندسين خبره ساختمان بریتانیا، ۲۰۰۶). روابط

۳ و ۴.

رابطه ۳)

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

رابطه ۴)

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

آماري می‌باشند را می‌دهد (مورشد، ۲۰۱۲). در این مطالعه، مدل‌های جداگانه با استفاده از درجه روز گرمایش سالانه، (HDD) و درجه روز سرمایش سالانه (CDD) به‌عنوان متغیرهای وابسته ساخته شده است. درجه حرارت متوسط سالانه (T)، انحراف استاندارد از میانگین درجه حرارت ماهانه آن (sd°)، ارتفاع E (متر) و عرض جغرافیایی از محل به‌عنوان متغیرهای مستقل انتخاب شده‌اند.

بحث و نتایج

نتایج وایازی گام‌به‌گام برای درجه روز گرمایش (HDD_{18.3}) در جدول ۱ و ۲ آمده است. چهار مدل آماری و شاخص‌های آماری مانند ضریب تبیین، درجه آزادی و درجه معنی‌داری آن‌ها در جدول ۱ خلاصه شده است. از ضریب تبیین R² برای تفسیر نتایج استفاده شد. با توجه به بتای ۰/۹۵۳- و ضریب تبیین ۰/۹۰۹، توان سوم دمای میانگین (T³) یک شاخص پیش‌بینی کننده مهم در این مدل‌ها می‌باشد. با افزودن T⁴ به مدل ۲ و مدل ۳،

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

د) وایازی

وایازی چندگانه برای ساخت مدل‌های پیش‌بینی جهت بررسی رابطه بین درجه روز سالانه و پارامترهای آب و هوا استفاده شده است. این پژوهش از روش گام به گام که یک روش محبوب و بسیار مؤثر برای ساخت مدل‌های وایازی است (انجمن استاندارد علوم ایالات متحده آمریکا، ۲۰۰۹) استفاده شد. با توجه به معادلات دراپر و اسمیت (۲۰۱۴) وایازی گام‌به‌گام یکی از بهترین روش‌ها برای انتخاب متغیر است. تفاوت بین روش گام‌به‌گام و روش انتخاب روبه جلو این است که روش گام‌به‌گام نیز اجازه حذف متغیرهایی که غیر

وارد کردن توان دوم درجه حرارت میانگین میزان افزایش F اندک است و خطای استاندارد تا $۱۶/۰۰۶$ کاهش یافته ولی میزان ضریب تبیین $۰/۹۷$ است. بنابراین تفاوتی نسبت به مدل ۳ نشان نمی‌دهد. میزان ضریب بتا (β) و F در جدول ۱ و ۲ بیانگر این است که به جز مقدار ثابت در معادلات (bo)، عامل درجه حرارت میانگین با توان سه درجه اهمیت بیشتری نسبت به بقیه عوامل ورودی به مدل‌ها را دارد.

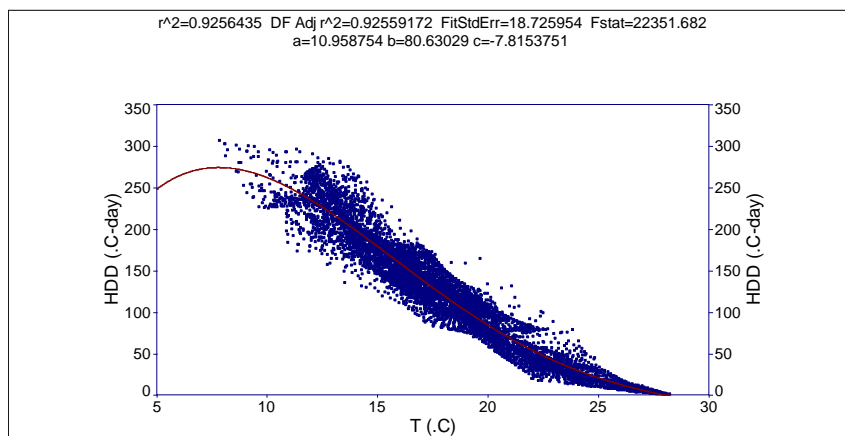
میزان ضریب تبیین به ترتیب $۰/۰۱۴$ و $۰/۰۱۹$ افزایش می‌یابد و در مدل بعدی میزان تغییر ضریب تبیین $۰/۰۰۳$ است. نمودار پراکنش HDD با استفاده از منحنی‌های کوپیک و کوادراتیک برازش داده شده است لذا به دلیل حجم بالای نمودارها، شباهت شکل‌شناسی نمودارها و دقت بالاتر معادله کوادراتیک تنها نتایج این معادله در ادامه ارائه شده است. همان‌طور که گفته شد این دو نمودار شباهت بالایی دارند به جز در نقاط انتهایی نمودار که شامل دماهای حداقل می‌شود با توجه به اینکه با

جدول ۱: وایزی گام به گام برای HDD₁₈

مدل	شاخص‌های پیش‌بینی	R	R ²	std.error	Change statistics				
					R ²	F	df1	df2	Sig
۱	bo, \bar{T}^3	۰/۹۵۳	۰/۹۰۹	۲۰/۷۰۰	۰/۹۰۹	۷۱۸۵۵/۲۵	۱	۷۱۸۵	۰/۰۰۰
۲	bo, \bar{T}^3, \bar{T}^4	۰/۹۶۱	۰/۹۲۳	۱۸/۹۹	۰/۰۱۴	۱۳۵۱/۷۴	۱	۷۱۸۴	۰/۰۰۰
۳	bo, $\bar{T}^3, \bar{T}^4, \bar{T}$	۰/۹۷۱	۰/۹۴۳	۱۶/۴۱	۰/۰۱۹	۲۴۳۲/۱۷	۱	۷۱۸۳	۰/۰۰۰
۴	bo, $\bar{T}, \bar{T}^4, \bar{T}^3, \bar{T}^2$	۰/۹۷۲	۰/۹۴۶	۱۶/۰۰۶	۰/۰۰۳	۳۷۳/۹۹	۱	۷۱۸۲	۰/۰۰۰

جدول ۲: ضرایب وایزی برای HDD₁₈

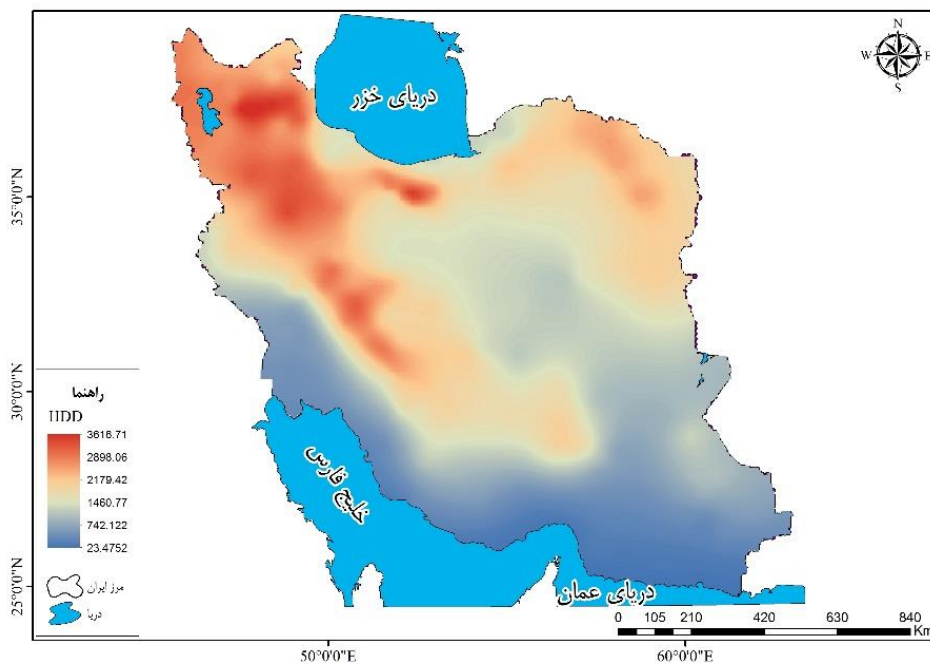
مدل	شاخص‌های پیش‌بینی	Unstandardized coefficients		Standardized coefficients	t	Sig
		b	Std.error	B		
۱	bo	۴۲۲/۴۸۸	۱/۱۳۱		۳۷۳/۶۱۵	۰/۰۰۰
	\bar{T}^3	-۱۶/۴۵	۰/۰۶۱	-۰/۹۵۳	-۲۶۸/۰۵۸	۰/۰۰۰
۲	bo	۴۹۷/۴۴۱	۲/۲۸		۲۱۷/۴۶	۰/۰۰۰
	\bar{T}^3	-۲۲/۰۸۶	۰/۱۶۳	-۱/۲۸	-۱۳۵/۲۴	۰/۰۰۰
	\bar{T}^4	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۳۴۸	۳۶/۷۶۶	۰/۰۰۰
۳	bo	۴۵۹/۸۹	۲/۱۱۹		۲۱۷/۰۶۶	۰/۰۰۰
	\bar{T}^3	-۲۳/۶۵	۰/۱۴۵	-۱/۳۷۱	-۱۶۳/۴۸	۰/۰۰۰
	\bar{T}^4	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۵۰۱	۵۷/۲۶	۰/۰۰۰
	\bar{T}	-۰/۲۲۴	۰/۰۰۵	-۰/۱۵۸	۴۹/۳۱۷	۰/۰۰۰
۴	bo	۲۷۰/۹۴	۹/۹۸۸		۲۷/۱۲۸	۰/۰۰۰
	\bar{T}^3	۴/۷۱۱	۱/۴۷	۰/۲۷۳	۳/۱۹	۰/۰۰۱
	\bar{T}^4	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۱/۴۴۷	۲۹/۱۴	۰/۰۰۰
	\bar{T}	۰/۲۳۲	۰/۰۰۴	۰/۱۶۴	۵۲/۱۹	۰/۰۰۰
	\bar{T}^2	-۱/۱۶۴	۰/۰۰۶	-۲/۵۵	-۱۹/۳۳	۰/۰۰۰



شکل ۲: رابطه بین میانگین دمای سالانه و درجه روز گرمایش با آستانه دمایی ۱۸ درجه در قلمرو ایران (معادله کوادراتیک)

و تفتان یک نمونه بارز از لانه‌گزینی اقلیمی نیاز گرمایشی هستند. هر دو منطقه در ناحیه گرم جنوب کشور قرار دارند ولی به دلیل سازوکار ارتفاعی‌شان نقش اقلیم سرد را در دل یک ناحیه گرم اقلیمی بازی می‌کنند. آنچه از رابطه بین میانگین دمای سالانه و درجه روز گرمایش با استفاده از معادله کوادراتیک به دست آمده است را می‌توان برای نیاز گرمایشی ایران به این شکل بازگو کرد: ۱- سامانه‌های هم‌دید بزرگ مقیاس الگوی زمانی نیاز گرمایشی را در کشور کنترل می‌کنند، ۲- اثر رطوبتی دریا موجب شده تا سواحل و پس‌کرانه‌های جنوب و شمال کشور شرایط متعادل دمایی داشته باشند (مسعودیان، ۱۳۹۰)، ۳- آشکارسازی وردش مکانی بالای نیاز گرمایشی با آرایش ناهمواری و تغییرات شدید ارتفاعی. شکل ۳ نشان داده است که با افزایش عرض جغرافیایی نیاز سرمایی ایران کاهش یافته و بر عکس نیاز گرمایشی کشور افزایش می‌یابد.

نیاز گرمایشی با ارتفاع و عرض جغرافیایی در ایران عجین شده است. نمود این امر را می‌توان در نواحی مرتفع و کوهستانی نسبت به نقاط پست و ساحلی مشاهده کرد که نیاز گرمایشی بیشتری را دارا می‌باشد. بامه آذربایجان، بلندی‌های زاگرس، البرز و خراسان، بیشینه نیاز گرمایشی را به خود اختصاص داده‌اند که در سمت چپ شکل ۲ نشان داده شد. پراکنش بالای نمودار گویای تغییرات مکانی بالای نیاز گرمایشی مناطق نامبرده است. این در حالی است که جنوب ایران از کرانه‌های عمان تا خلیج فارس فاقد نیاز گرمایشی است. همان‌طور که با معادله کوادراتیک نشان داده شد از ۱۵ درجه سانتی‌گراد یاخته‌های موجود در نمودار میل به تمرکز پیدا می‌کنند. البته یک استثنا در این بین وجود دارد زمانی که در راستای محور x حرکت کنیم (دمای سالانه به درجه سانتی‌گراد) به یک باره شاهد یک پراش در ۲۲ تا ۲۴ درجه سانتی‌گراد هستیم که سندی آشکار بر لانه‌گزینی اقلیمی در قلمرو ایران زمین است (شکل ۳). بلندی‌های کرمان



شکل ۳: درجه روز گرمایش با آستانه دمایی ۱۸ درجه سانتی گراد در قلمرو ایران

ارائه گردید. برخلاف HDD در نقاط انتهایی نمودار که شامل دماهای حداکثر می‌شود. با توجه به جدول مقدار R و R^2 در مدل‌های ۱ تا ۴ به صورت تدریجی افزایش می‌یابند. درحالی‌که میزان $\text{Sig}=0/00$ است ولی در مدل ۴ با وارد شدن sm^y (انحراف استاندارد میانگین دمای ماهانه) میزان تغییر نمی‌یابد و تغییرات خطای استاندارد برابر با $0/003$ می‌باشد که نشان‌دهنده این است که نباید این پارامتر در تخمین درجه روز سرمایش مورد توجه قرار گیرد. ضرایب وایازی برای CCD در جدول ۴ نمایش داده شده است، در مدل ۱ و ۲ ضریب استاندارد شده (بتا) برای \bar{T} بین $-0/508$ - $0/956$ است که از بین متغیرهای مستقل بیشترین مقدار را داراست ولی در مدل ۳ و ۴ بین $-2/49$ - $-2/53$ می‌باشد.

درجه روز سرمایش CCD_{18} : تفاوت مدل‌های مختلف وایازی گام‌به‌گام برای درجه روز سرمایش در جداول ۳ و ۴ آورده شد. تفاوت کلیدی در CDD نسبت به HDD این است که در مدل‌های ارائه شده برای پیش‌بینی CDD، توان درجه یک میانگین دمای ماهانه ولی در مدل‌های ارائه شده برای پیش‌بینی HDD توان سوم میانگین دمای ماهانه (T^3) نقش مهم‌تری را ایفا می‌کند. چرا که نیاز سرمایشی معمولاً در ارتفاعات و عرض‌های جغرافیایی بالا به وقوع می‌پیوندد و دما دارای نظم مکانی خاصی می‌باشد. اما بیشینه نیاز گرمایشی ایران در عرض جغرافیایی پایین، مناطق داخلی و ساحلی کشور حادث می‌شود و پیچیدگی خاصی بر این پارامتر آب و هوایی حاکم است. نمودار پراکنش CDD نیز همانند HDD برازش داده شد و مطابق با آنچه شرح آن برای HDD آمده است نتایج معادله کوادراتیک

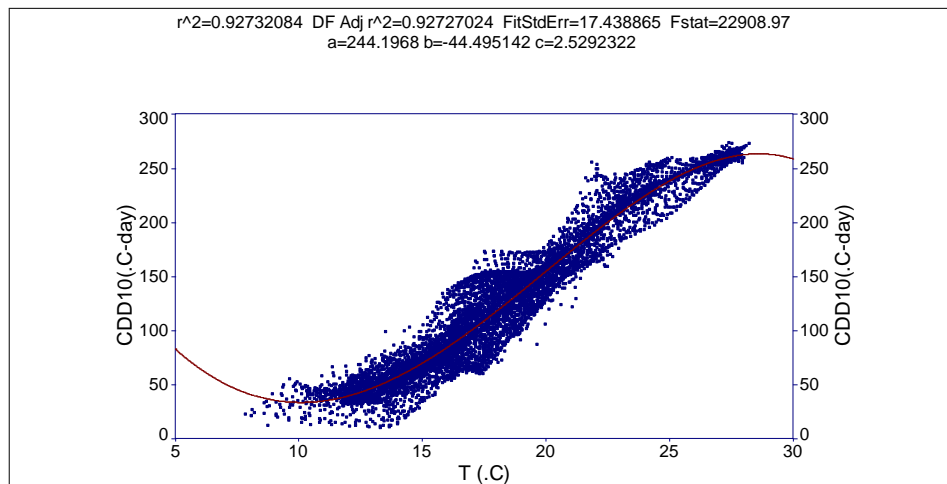
7-Standard Deviation of monthly mean temperature ($^{\circ}\text{C}$)

جدول ۳: وایازی گام به گام برای CDD₁₈

مدل	شاخص های پیش بینی	R	R ²	std.error	Change statistics				
					R ²	F	df1	df2	sig
۱	bo, \bar{T}	۰/۹۵۶	۰/۹۱۴	۱۹/۰۰۶	۰/۹۱۴	۷۶۰۰۲/۱۳	۱	۷۱۸۵	۰/۰۰۰
۲	bo, \bar{T} , \bar{T}^2	۰/۹۵۸	۰/۹۱۷	۱۸/۶۳	۰/۰۰۳	۲۹۲/۵۹	۱	۷۱۸۴	۰/۰۰۰
۳	bo, \bar{T} , \bar{T}^4 , \bar{T}^2	۰/۹۶۳	۰/۹۲۷	۱۷/۴۳	۰/۰۱۰	۱۰۱۹/۰۶۳	۱	۷۱۸۳	۰/۰۰۰
۴	bo, \bar{T} , \bar{T}^2 , \bar{T}^4 , Sm	۰/۹۶۳	۰/۹۲۸	۱۷/۴۰	۰/۰۰۰	۲۷/۸۵	۱	۷۱۸۲	۰/۰۰۰

جدول ۴: ضرایب وایازی برای CDD₁₈

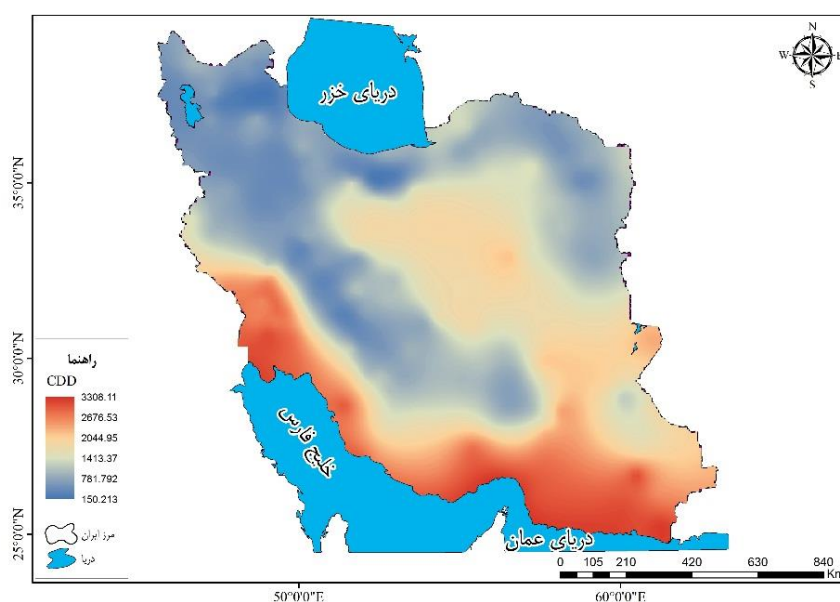
مدل	شاخص های پیش بینی	Unstandardized coefficients		Standardized coefficients	t	Sig
		b	Std.error	β		
۱	bo	-۱۵۶/۴۱۸	۱/۰۳۸		-۱۵۰/۶۵	۰/۰۰۰
	\bar{T}	۱۵/۵۳	۰/۰۵۶	۰/۹۵۶	۲۷۵/۶۸۵	۰/۰۰۰
۲	bo	-۹۱/۳۹۱	۳/۹۳		-۲۳/۲۲۲	۰/۰۰۰
	\bar{T}	۸/۲۵۷	۰/۴۲۰	۰/۵۰۸	۱۹/۲۵۰	۰/۰۰۰
	\bar{T}^2	۰/۱۹۴	۰/۰۱۱	۰/۴۵۱	۱۷/۱۰۵	۰/۰۰۰
۳	bo	۲۳۰/۲۶۸	۱۰/۷۲		۲۱/۴۶	۰/۰۰۰
	\bar{T}	-۴۱/۲۲	۱/۶۰۱	-۲/۵۳	-۲۵/۷۴	۰/۰۰۰
	\bar{T}^2	۲/۲۵۰	۰/۰۶۵	۵/۲۳	۳۴/۴۷	۰/۰۰۰
	\bar{T}^4	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	-۱/۸۱۱	-۳۱/۹۲	۰/۰۰۰
۴	bo	۲۲۰/۶۹	۱۰/۸۶		۲۰/۳۲	۰/۰۰۰
	\bar{T}	-۴۰/۵۹۷	۱/۶۰۲	-۲/۴۹	-۲۵/۳۳۵	۰/۰۰۰
	\bar{T}^2	۲/۲۱۷	۰/۰۶۵	۵/۱۵	۳۳/۸۷	۰/۰۰۰
	\bar{T}^4	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	-۱/۷۶	-۳۰/۷۸	۰/۰۰۰
	Sm	۰/۰۲۶	۰/۰۰۵	۰/۰۱۹	۵/۲۷	۰/۰۰۰



شکل ۴: محاسبه رابطه بین میانگین دمای سالانه و درجه روز سرمایش با آستانه دمایی ۱۸ درجه در قلمرو ایران (معادله کوادراتیک)

به دلیل اثر تعدیل کننده دریا و عرض جغرافیایی بالا با نواحی مرتفع ایران در یک الگوی سرمایشی قرار گرفته است. کمتر بودن نیاز سرمایشی چاله داخلی کشور نسبت به سواحل جنوبی به چند دلیل است: ۱- موقعیت بادپناهی چاله‌های داخلی، ۲- عرض بالاتر نسبت به مناطق جنوبی، ۳- رطوبت نسبی کمتر.

نیاز سرمایشی کشور نیز همچون نیاز گرمایشی ارتباط تنگاتنگی با ارتفاع و عرض جغرافیایی دارد. به طوری که نواحی مرتفع و کوهستانی کمینه نیاز سرمایشی و مناطق پست و ساحلی بیشینه نیاز سرمایشی را به خود اختصاص داده‌اند. تغییرات ارتفاع در غرب، شمال شرق، شمال و نواحی داخلی ایران مهم‌ترین عامل تغییرات سریع نیاز سرمایشی کشور می‌باشد. نیاز سرمایشی سواحل شمالی ایران



شکل ۵: درجه روز سرمایش با آستانه دمایی ۱۸ درجه سانتی‌گراد در قلمرو ایران

نتیجه‌گیری

درجه روز یک شاخص آب و هوایی چند منظوره است که به‌طور گسترده‌ای در مطالعات مرتبط با مدیریت و مصرف انرژی، طراحی و بهره‌برداری ساختمان و طیف وسیعی از طرح‌های و برنامه‌های توسعه‌ای مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. در این پژوهش به واکاوی رابطه بین میانگین دمای سالانه هوا و درجه روز گرمایش (HDD) و سرمایش (CDD) با استفاده از روش وایازی غیرخطی چندگانه گام‌به‌گام پرداخته شد. مقدار درجه روز گرمایش و سرمایش کشور مبتنی بر برون‌داد پایگاه اسفزاری با استفاده از دو مدل ASHRAE و UKMO با لحاظ نمودن آستانه انجمن استاندارد علوم ایالات متحده آمریکا محاسبه گردید. معادلات توسعه‌یافته با استفاده تابع کوادراتیک پیش‌بینی‌های بسیار دقیقی را با انحراف استاندارد $0/328$ و $0/370$ به ترتیب برای درجه روز گرمایش و سرمایش کشور ارائه دادند. نتایج برای درجه روز گرمایش (HDD) نشان داد که با بتای $-0/953$ و ضریب تبیین $0/909$ ، توان سوم دمای میانگین (T^3) یک شاخص پیش‌بینی کننده مهم در این مدل‌ها می‌باشد. با افزودن T^4 به مدل ۲ و مدل ۳، میزان ضریب تبیین به ترتیب $0/014$ و $0/019$ افزایش می‌یابد و در مدل بعدی میزان تغییر ضریب تبیین $0/003$ است. میزان ضریب بتا (β) و F بیانگر این است که به‌جز مقدار ثابت در معادلات (bo)، عامل درجه حرارت میانگین با توان سه درجه اهمیت بیشتری نسبت به بقیه عوامل ورودی به مدل‌ها را دارد. تفاوت کلیدی در درجه روز سرمایش

منابع

-ترانامه انرژی سال ۱۳۹۲، ۱۳۹۴. معاونت امور برق و انرژی (دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی)،

(CDD) نسبت به (HDD) این است که در مدل‌های ارائه شده برای پیش‌بینی CDD ، توان درجه‌یک میانگین دمای ماهانه ولی در مدل‌های ارائه شده برای پیش‌بینی HDD توان سوم میانگین دمای ماهانه (T^3) نقش مهم‌تری را ایفا می‌کند. تحلیل‌های مکانی نیاز گرمایش و سرمایش کشور مبتنی بر تابع کوادراتیک نشان داده است که نیاز گرمایشی و سرمایشی کشور با ارتفاع و عرض جغرافیایی عجین شده است. از سوی دیگر لانه-گزینی بارزترین ویژگی آب و هوایی نیاز گرمایشی و سرمایشی کشور است که در قالب خرده نواحی آب و هوایی نمود یافته‌اند. هم‌چنین وردش مکانی بالای نیاز گرمایشی و سرمایشی با آرایش ناهم‌واری و تغییرات شدید ارتفاعی دیگر مشخصه بارزی بود که در پژوهش حاضر آشکار گردید. هرچند که پژوهش پیش رو برای اولین بار به بسط و توسعه یک مدل آب و هوایی نیاز گرمایشی و سرمایشی کشور با استفاده از یک آستانه و مدل جدید پرداخته است اما نتایج ارائه شده با مطالعات مسعودیان و همکاران (۱۳۹۰ و ۱۳۹۳) و روشن و گرب (۲۰۱۲) هم‌خوانی دارد. نتایج این پژوهش می‌تواند کمک شایان توجهی بر مدیریت مصرف انرژی کشور داشته باشد چرا که ضمن ارائه یک مدل هوشمند، شدت و تأثیرات درجه حرارت نیز ارزیابی گردید. هم‌چنین پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی نیاز گرمایشی و سرمایشی کشور از معادلات ASHRAE، UKMO و Schoenau-Kehrig استفاده شود تا ضمن بهره‌وری از دانش روز گامی مؤثر در توسعه کشور برداشت.

سازمان بهره‌برداری انرژی ایران (سابا)، تهران، ایران.

- مسعودیان، س.ا.، علیجانی، ب. و ابراهیمی، ر.، ۱۳۹۰. واکاوی میانگین درجه/روز موردنیاز (گرمایش و سرمایش) در قلمرو ایران، پژوهش‌نامه‌ی جغرافیایی، شماره ۱، ص ۲۳-۳۶.
- مسعودیان، ا.، ابراهیمی، ر. و یاراحمدی، ا.، ۱۳۹۳. واکاوی مکانی- زمانی میزان روند ماهانه درجه روز گرمایش در قلمرو ایران زمین، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، سال ۱۲، شماره ۱۰، ص ۱۱-۱۲۷.
- مسعودیان، س.ا.، آب و هوای ایران، انتشارات شریعه توس، مشهد، ۲۸۸ ص.
- مسعودیان، س.ا.، ۱۳۸۴. شناسایی رژیم‌های بارش ایران به روش تحلیل خوشه‌ای، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۲، ص ۴۷-۵۹.
- مسعودیان، س.ا.، ابراهیمی، ر. و محمدی، م.، ۱۳۹۳. پهنه‌بندی مکانی- زمانی نیاز گرمایش و سرمایش فصلی و سالانه ایران، فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سپهر، دوره ۲۳، شماره ۹۰، ص ۸۳-۹۰.
- ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), 2009. ASHRAE handbook: Fundamentals, Atlanta, GA, USA.
- ASHRAE Fundamentals Handbook-SI Edition, 2001. Chapter 31: energy estimating and modeling methods, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA.
- Borah, P., Singh, M. K. and Mahapatra, S., 2015. Estimation of degree-days for different climatic zones of North-East India, Sustainable Cities and Society, v.14, p.70-81.
- Chen, L., Fang, X. and 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, v. 52(20), p. 2854-2858.
- Christenson, M., Manz, H. and Gyalistras, D., 2006. Climate warming impact on degree-days and building energy demand in Switzerland, Energy Conversion and Management, v. 47 (6), p. 671-686.
- CIBSE (The Chartered Institution of Building Services Engineers), 2006. TM41 degree-days: Theory and application, London, UK.
- Draper, N.R. and Smith, H., 2014. Applied Regression Analysis, John Wiley & Sons, 736 P.
- Ebinger, J.O., 2011. Climate impacts on energy systems: key issues for energy sector adaptation, World Bank Publications.
- Engle, R.F., Mustafa, C. and Rice, J., 1992. Modelling peak electricity demand, Journal of forecasting, v. 11(3), p. 241-251.
- Goff, J.M., 2015. A Value-Added Approach to Degree Day Calculation, National Weather Service: Burlington, VT.
- Kadioğlu, M., Şen, Z. and Gültekin, L., 2001. Variations and trends in Turkish seasonal heating and cooling degree-days, Climatic change, v. 49 (1-2), p. 209-223.
- Scott, N., Miller, E.T., Schmidtman, A. and Zou, L., 2007. GIS Tool to Estimate West Nile Virus Risk Based on a Degree-Days Model, Environmental monitoring and assessment, v.129, p. 413-425.
- Matzarakis, A. and Balafoutis, C., 2004. Heating degree-days over Greece as an index of energy consumption, International Journal of Climatology, v. 24(14), p.1817-1828.

- Mideksa, T.K. and Kallbekken, S., 2010. The impact of climate change on the electricity market: A review, *Energy Policy*, v. 38 (7), p. 3579-3585.
- Moreno, L.S., Pedreira, C.G., Boote, K.J. and Alves, R.R., 2014. Base temperature determination of tropical *Panicum* spp, grasses and its effects on degree-day-based models, *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 186, p. 26-33.
- Mourshed, M., 2012. Relationship between annual mean temperature and degree-days, *Energy and buildings*, v. 54, p. 418-425.
- OrtizBeviá, M.J., Sánchez-López, G., Alvarez-García, F.J. and RuizdeElvira, A., 2012. Evolution of heating and cooling degree-days in Spain: trends and interannual variability, *Global and Planetary Change*, v. 92, p. 236-247.
- Papakostas, K.T., Michopoulos, A.K. and Kyriakis, N.A., 2009. Equivalent full-load hours for estimating heating and cooling energy requirements in buildings: Greece case study, *Applied Energy*, v. 86 (5), p. 757-761.
- 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*, v. 6(2), p. 239-266.
- Schaeffer, R., Szklo, A.S., de Lucena, A.F.P., Borba, B.S.M.C., Nogueira, L.P.P., Fleming, F.P., ... and Boulahya, M.S., 2012. Energy sector vulnerability to climate change: a review, *Energy*, v. 38 (1), p. 1-12.
- 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*, v. 30(10), p. 1502-1511.
- Unger, J. and Makra, L., 2007. Urban-rural difference in the heating demand as a consequence of the heat island, *Acta Climatologica ET Chorologica*, 4041, 155162.
- Way, R.G., Lewkowicz, A.G. and Bonnaventure, P.P., 2017. Development of moderate-resolution gridded monthly air temperature and degree-day maps for the Labrador-Ungava region of northern Canada, *International Journal of Climatology*, v. 37(1), p. 493-508.
- Yildiz, I., Yue, J., Nguyen-Quang, T., Lowrey, J. and Yildiz, A.C., 2013. Spatial Correlations and Distributions of Heating and Cooling Degree-Day Normals in Turkey, In *Causes, Impacts and Solutions to Global Warming* (pp. 37-59), Springer New York.