

ارزیابی و دقت سنجی روش های درونیابی مکانی در برآورد نیازهای گرمایشی و سرمایشی ایران

منصور حلیمی^{۱*}، اشرف تخت اردشیر^۲، شاه بختی رستمی^۳

۱- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۲- کارشناسی ارشد اقلیم شناسی دانشگاه تهران، تهران

۳- استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور تهران

تاریخ وصول: ۱۳۹۰/۱۰/۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۲/۱۳

چکیده

امروزه با توجه به اهمیت مباحث مربوط به الگوها و روش های بهینه سازی مصرف انرژی، شناسایی عوامل تاثیرگذار بر مصرف انرژی از مهمترین رویکردهای رشته های مرتبط با علوم محیطی می باشد. هدف این تحقیق، گزینش بهترین روش درونیابی برای پهنه بندی نیازهای گرمایشی و سرمایشی ایران به عنوان شاخص اقلیمی معرف پتانسیل مصرف انرژی هر منطقه است. در این راستا ابتدا با استفاده از داده های درجه روزهای گرم و سرد ۳۰ ایستگاه همدید مراکز استان های کشور، در دوره آماری ۱۹۶۵-۲۰۰۵ از طریق به کارگیری روش ارزیابی متقابل موجود در ابزار زمین آمار سامانه اطلاعات جغرافیایی، اقدام به مقایسه ۳ مدل درون یاب اسپیلاین کششی، کریجینگ معمولی با نیم تغییرنمای کروی و وزن دهی عکس فاصله با توان وزنی ۲ و دخالت ۸ همسایه نزدیک، گردید. از طریق تحلیل شاخص های دقت سنجی مقادیر میانگین خطای مطلق، میانگین خطای اریب و ریشه مربع میانگین خطاها و در نهایت شاخص قابلیت پذیرش ویلموت و ضریب تعیین، به مقایسه و دقت سنجی ۳ روش درون یابی مذکور در تخمین نیازهای گرمایشی و سرمایشی ایران پرداخته شد. نتایج تحقیق گویای آن بود اولاً همه مدل ها در تخمین نیازهای گرمایشی دچار خطای بیش برآورد و در تخمین نیازهای سرمایشی دچار خطای کم برآورد شدند. مدل اسپیلاین برای برآورد روند های کلی متغیر مورد نظر مانند میانگین کل، نسبت به دو مدل دیگر به مقدار واقعی بسیار نزدیکتر بود. اما از لحاظ دقت برآورد فضایی و ساختار فضایی و جزئیات تغییرات مکانی نیازهای سرمایشی و گرمایشی مدل زمین آماری کریجینگ معمولی با نیم تغییرنمای کروی به عنوان مدل بهینه درون یابی این متغیر اقلیمی انتخاب شد. خروجی کار می تواند در شناسایی مناطق مختلف کشور از لحاظ نیازهای گرمایشی و سرمایشی به عنوان شاخص اقلیمی معرف پتانسیل مصرف انرژی در راستای اصل ۱۹ مقررات ملی ساختمان و مسکن بسیار مفید واقع شود.

واژگان کلیدی: نیازهای گرمایشی و سرمایشی، روش های درونیابی، ارزیابی متقابل، ایران.

مقدمه

میزان مصرف انرژی با روند کنونی آن به زودی در جهان تبدیل به یکی از بزرگترین معضلات و تهدیدات جوامع انسانی خواهد شد. علاوه بر مباحث و تنگنایهای مربوط به محدودیت کلی انرژی، الگوهای نابسامان مصرف انرژی در ایران، مشکل را بسیار حادتر کرده است. در صورتی که روند مصرف کنونی انرژی در کشور ادامه یابد، ایران به زودی از گروه کشورهای صادر کننده انرژی خارج شده و مصرف داخلی انرژی از میزان تولید آن بالاتر می‌رود. عدم استفاده از ساخت و سازهای منطبق بر توان‌ها و پتانسیل‌های طبیعی و اقلیم شناختی کشور، موجب تحمیل هزینه‌های کلانی بر ساختار مصرف انرژی کشور گردیده است. شناسایی عوامل اقلیمی تاثیرگذار در مصرف انرژی از مهمترین بسترسازی‌ها، برای بهینه‌سازی و اصلاح الگوی مصرف انرژی است. نیازهای گرمایشی و سرمایشی یا درجه روزهای سرد و گرم^۱ یکی از مهمترین شاخص‌های اقلیمی در تعیین پتانسیل آب و هوایی مصرف انرژی هر منطقه به حساب می‌آید. درجه روزهای سرد و گرم که بیانگر میزان انحراف میانگین دمای روزانه از آستانه آسایش حرارتی انسان است را می‌توان به عنوان یک شاخص اقلیمی معرف پتانسیل مصرف انرژی گرماساز و سرماساز (گاز طبیعی و برق در ایران) به حساب آورد. مباحث مربوط به اصل ۱۹۲ مقررات ملی ساختمان و مسکن، نیز در راستای بررسی شرایط مصرف انرژی در ساختمان، در پهنه‌های اقلیمی مختلف کشور توسعه یافته است. لذا در این راستا، شناسایی مناطق اقلیمی کشور از لحاظ پتانسیل اقلیمی مصرف انرژی گرماساز و سرماساز و ارائه یک پهنه بندی صحیح در سطح کشور براساس نیازهای گرمایشی و سرمایشی که شاخص مصرف انرژی در کشور می‌باشند، از جمله مهم‌ترین پیش‌نیازهای هر نوع برنامه‌ریزی در مدیریت مصرف انرژی

می‌باشد. شناسایی روش‌های درون‌یابی و گزینش بهترین روش برای تعمیم صحیح داده‌های ایستگاهی یا نقطه‌ای به سطح یا پهنه، از مهم‌ترین راهکارهای شناسایی دقیق نواحی مختلف کشور از لحاظ پتانسیل مصرف انرژی خواهد بود. روش تخمین و برآورد میزان متغیر پیوسته را در مناطق نمونه‌گیری نشده در داخل ناحیه‌ای که مشاهدات نقطه‌ای پراکنده شده‌اند، درون‌یابی می‌گویند (قهرودی تالی، ۱۳۸۱). به طور کلی مدل‌های درون‌یابی براساس دو روش عمل می‌کنند، روش اول برپایه شباهت‌ها (مانند روش وزن دهی عکس فاصله^۲) یا درجه هموارسازی (توابع پایه شعاعی^۳) بوده و روش دوم مدل‌های زمین آماری^۴ هستند که مبتنی ویژگی‌های آماری نقاط نمونه‌گیری شده هستند. تکنیک‌های درونیابی زمین آماری کمیت همبستگی مکانی نقاط نمونه برداری شده را مدنظر قرار داده و تخمین را براساس موقعیت قرارگیری نمونه‌های اندازه‌گیری نشده انجام می‌دهد. به منظور پهنه‌بندی داده‌های اقلیمی از طریق روش‌های آمار کلاسیک و زمین آماری کارهای زیادی صورت گرفته است که می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد: ویلموت^۵ و همکاران (Willmott et al., 1985) روش‌های درون‌یابی را از طریق شاخص‌های آماری مورد دقت‌سنجی قرار دادند که بعدها کار ایشان مبنای بسیاری از تحقیقات دیگر در این زمینه گردید. بنستاد (۲۰۰۸) در راستای بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر نیازهای گرمایشی و سرمایشی و بارش ماهانه کل اروپا به تخمین فضایی این شاخص‌های اقلیمی از طریق مدل‌های درون‌یاب چندجمله‌ای خطی اقدام نمود. چای و همکاران (Chai, et al., 2011) به مقایسه مدل‌های درون‌یاب در پهنه‌بندی و برآورد دمای ناحیه خینجیانگ چین اقدام نمودند نتایج تحقیق ایشان نشان داد که مدل IDW و اسپیلاین کشتی با توجه به توپوگرافی منطقه مورد مطالعه دارای نتایج واقعی تری می‌باشد. نایک و همکاران

1. Cooling and Heating Degree Day (CDD& CDD)

۳. Inverse Distance Weighted (IDW)

5. Geostatistic (Gstat)

۲. میحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان در ایران به موضوع صرفه جویی در مصرف انرژی در ساختمان می‌پردازد.

4. Radial Basis Functions(BRF)

6. Willmott

کشف رود پرداختند. نتایج کار آنها بیانگر آن بود که روش های تیسن و کریجینگ نتیجه درون یابی بهتری در برداشته اند. همانگونه که دیده شد، تحقیقات داخلی اکثرا به تحلیل و دقت سنجی روش های درون یابی فضایی در مورد بارش پرداخته اند که شاید دلیل اصلی آن، تهدید خشکسالی باشد اما همانطور که اشاره شد امروز بحث مربوط به انرژی و راهکارهای بهینه سازی مصرف به هیچ وجه دارای اهمیت کمتر از خشکسالی نمی باشد. لذا شناسایی مناطق مختلف کشور از لحاظ پتانسیل مصرف انرژی که از طریق پهنه بندی نیازهای سرمایشی و گرمایشی کشور دارای اهمیتی حیاتی است.

داده ها و روش ها

در این تحقیق از داده های درجه روزهای سرد و گرم ۳۰ ایستگاه همدید مراکز استان های کشور، در دوره آماری ۱۹۶۵ تا ۲۰۰۵، که از سایت سازمان هواشناسی کشور (بر مبنای ۲۱ و ۱۸ درجه سلسیوس) گرفته شد، استفاده گردید (شکل ۱).

(Nynke et al., 2008) به مقایسه و اعتبارسنجی ۶ روش درونی یابی در برآورد داده های روزانه دما و درجه روزهای سرد و گرم اروپا اقدام نمودند. نتایج تحقیق ایشان گویای آن بود که مدل کریجینگ عام در تعمیم داده های اقلیمی مورد نظر دارای کارایی واقعی تری می باشد. اما در داخل کشور در راستای گزینش روش درون یابی بهینه برای برآورد متغیرهای اقلیمی کارهای زیادی صورت نگرفته است اما می توان به کارهای زیر که تاحدودی مرتبط به موضوع تحقیق هستند اشاره نمود: فرجی و همکاران (۱۳۸۷)، به پهنه بندی نیازهای گرمایشی و سرمایشی یا درجه روزهای گرم و سرد ماهانه و سالانه آذربایجان در ارتباط با مصرف انرژی های گرماساز و سرماساز اقدام نمودند. بندرآبادی و مهدیان (۱۳۸۴)، برای بررسی تغییرات مکانی بارش ماهانه مناطق خشک و نیمه خشک جنوب شرق ایران از روش های کریجینگ معمولی میانگین متحرک وزنی و اسپیلاین استفاده کردند. نتایج کار آنها روش اسپیلاین با توان ۲ را به عنوان دقیق ترین روش پیشنهاد کرد. فرجی سبکبار و عزیزی (۱۳۸۵)، با استفاده از دو شاخص خطای مطلق میانگین و خطای اریب میانگین به مقایسه روش های درون یابی فضایی در بارش حوضه آبریز



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه های مورد مطالعه

از مجموع تفاضل های میانگین روزانه دما، از آستانه آسایشی در دوره مشخصی از سال، که از روابط او ۲ محاسبه

براساس تعریف، مقدار نیاز به گرم کردن محیط در فصل سرد و سرد کردن محیط در فصل گرم، عبارت است

می‌شود:

وزن دهی عکس فاصله (IDW)

روشی کاملاً ریاضی است که بر پایه فاصله بین موقعیت‌های مشاهده شده و موقعیتی که باید مقدار متغیر در آن برآورد شود، وابسته است. این روش یک روش پیشرفته نزدیک‌ترین همسایه است که اجازه می‌دهد تعدادی از نقاط همجوار در برآورد وزن‌های درونیابی سایر نقاط شرکت کنند و بدین ترتیب به نقاط نزدیک به موقعیت مورد برآورد، وزن بیشتر و به نقاط دورتر وزن کمتری اختصاص می‌یابد. از نظر ریاضی این مدل به صورت رابطه ۳ بیان می‌شود:

$$Z_j = \sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{h_{ij}^\beta} / \sum_{i=1}^n \frac{1}{h_{ij}^\beta} \quad (3)$$

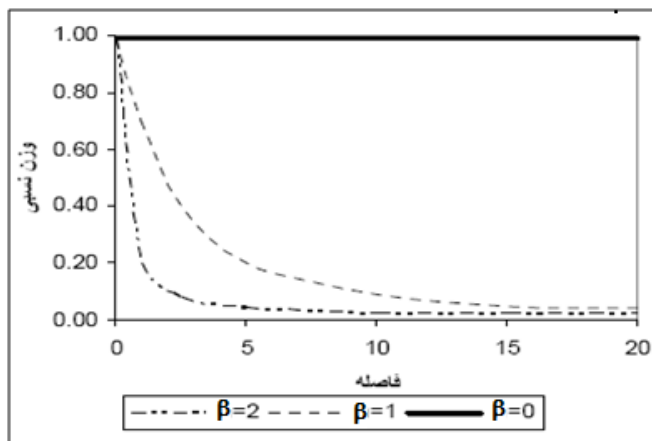
Z_j ارزش برآورد شده Z در نقطه j ، i مختصات نقاط همسایه، Z_i ارزش Z در نقطه i ، j مختصات نقاط برآورد شده، h_{ij} مسافت بین نقطه برآورد شده و نقاط همسایه β توان وزنی بوده که نسبت کاهش وزن بستگی به این مولفه دارد. اگر مقدار آن برابر صفر گردد وزن تمام نقاط همسان فرض می‌شود. اما با افزایش مقدار β شتاب کاهش وزن، برای نقاط دورتر افزایش می‌یابد (Murphy, et al 2011). تاثیر این مولفه بر وزن نسبی نقاط دور در برآورد نقطه مجهول در شکل ۲ نشان داده شده است.

می‌شود (Rasmus, 2008):

$$HDD = \sum (\theta_1 - T) \quad \text{if} \quad \theta_1 > T \quad (1)$$

$$CDD = \sum (\theta_2 - T) \quad \text{if} \quad T > \theta_2 \quad (2)$$

در این روابط T میانگین دمای روزانه و $\theta_{1,2}$ آستانه دمایی است که بالاتر از آن نیاز به سرد کردن محیط و پایینتر از آن نیاز به گرم کردن محیط احساس می‌شود. که این آستانه‌ها توسط سازمان هواشناسی، برای نیازهای گرمایشی ۱۸ و برای نیازهای سرمایشی ۲۱ درجه سلسیوس در نظر گرفته شده است. میانگین ۴۰ ساله درجه روزهای سرد و گرم ۳۰ ایستگاه مورد بررسی محاسبه و به عنوان یک لایه اطلاعاتی مکانمند، وارد محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی شد. در مرحله دوم کار با استفاده از روش ارزیابی متقابل که در آن هر بار مقدار متغیر در یک موقعیت معلوم یا ایستگاهی حذف شده و با استفاده از نقاط مجاور، در هر مدل مقدار آن برآورد می‌گردد سپس نقطه حذف شده مجدداً در فرایند برآورد وارد شده و این عمل برای تمامی ایستگاه‌ها انجام می‌گیرد (Muhammad et al 2010). در نهایت به ازاء تمام موقعیت‌های معلوم یا نمونه برداری شده مقادیر برآوردی خواهیم داشت که می‌توان با استفاده از شاخص‌های ارزیابی و دقت‌سنجی، به تحلیل سری‌های برآوردی هر مدل درونیابی، براساس مقادیر مشاهداتی پرداخت که به معرفی مختصری از این روش‌ها پرداخته



شکل ۲- تاثیر مولفه β بر شتاب افزایش کاهش وزن نقاط دورتر (فرجی سبکبار و عزیزی، ۱۳۸۵)

کریجینگ

کریجینگ روشی زمین آماری بوده که اساساً مبتنی بر میانگین متحرک وزنی است و به دلیل اینکه اولاً فاقد خطای سامانمند است (که در این صورت باید میانگین خطای برآورد آن صفر باشد) و نیز اینکه دارای کمینه واریانس برآورد است، می توان گفت بهترین تخمین گر نااریب است (Dobesch et al, 2007). در این روش، هر نمونه معلوم در تخمین نقطه مجهول، بستگی کامل به ساختار فضایی محیط مربوطه دارد. در حالی که در روش های دیگر، وزن ها فقط به یک مشخصه هندسی مانند فاصله بستگی دارد و با تغییر ساختار فضایی نمونه ها، تغییری نمی کند. به عبارت دیگر، دامنه تأثیر متغیر معلوم بر متغیر مجهول به حداکثر و حداقل فاصله نمونه ها از همبستگی دارد. لذا در استفاده از این روش باید به توزیع فضایی نمونه ها و دامنه تأثیر آن ها توجه شود (قهرودی تالی، ۱۳۸۱). در این روش وزن هر ایستگاه بر حسب فاصله و موقعیت آن به گونه ای برآورد می گردد که واریانس تخمین کمینه گردد. در روش کریجینگ با استفاده از تحلیل نیم تغییر نما می توان ساختار فضایی تغییرات یا روابط فضایی متغیر مورد بررسی را بین موقعیت های نمونه برداری شده مدل سازی نمود (Luo et al, 2008). نیم تغییر نما (رابطه ۴) کمیتی برداری است که درجه همبستگی مکانی و شباهت بین نقاط اندازه گیری شده را بر حسب مربع تفاضل مقدار دو موقعیت را با توجه به جهت و فاصله آن ها نشان می دهد و می توان وزن همسایه ها را با استفاده از آن ارایه نمود (Akkala et al 2010).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (\gamma(x_i + h) - \gamma(x_i))^2 \quad (4)$$

در این رابطه $\gamma(h)$ ، مقدار نیم تغییر نما در فاصله (h) ، $\gamma(x_i + h)$ مقدار اندازه گیری شده متغیر در مکان $(x_i + h)$ ، N تعداد جفت نمونه های به کار رفته در محاسبه که در فاصله h از یکدیگر قرار دارند (Li, et al, 2000). نیم تغییر نماها به طور کلی از سه مولفه اصلی به نام های اثر قطعه ای، شعاع تأثیر و حد آستانه تشکیل شده اند. مقدار نیم تغییر نما در نقطه $h=0$ اثر قطعه ای گویند که غالباً

مربوط به آنالیز داده ها یا خطای نمونه گیری می باشد. با افزایش h مقدار نیم تغییر نما تا فاصله معینی افزایش یافته و نهایتاً تثبیت می گردد. که این فاصله را شعاع تأثیر می گویند و مقدار نیم تغییر نما را که ثابت شده است، حد آستانه گویند که معادل واریانس مکانی متغیر مورد بررسی می باشد. در این تحقیق از مدل کریجینگ معمولی با نیم تغییر نمای کروی استفاده گردید.

اسپیلین

در این مدل براساس برازش یک تابع چند جمله ای براساس مقادیر معلوم به برآورد مقدار متغیر در نقطه مجهول اقدام می گردد. در این روش دو مولفه کشیدگی و پیرایشی به کاربر این امکان را می دهد که با تغییر آن ها بهترین مدل را به نقاط برازش دهد. با افزایش پیرایش داده نرم تر می شود، ولی با افزایش کشیدگی (کاهش پیرایش) سطح برآورد شده به سمت داده های واقعی میل می کند (واقفی و همکاران، ۱۳۸۸). اسپیلین انوعی دارد که معروفترین آن ها اسپیلین کششی است. برای برآورد اسپیلین کششی مشتق اول در معیار کمینه سازی دخالت داده می شود. رابطه ۷ مدل درون یابی اسپیلین را نشان می دهد:

$$Z_{(xy)} = T_{(xy)} + \sum_{j=1}^N \lambda_j R(r_j) \quad (7)$$

در این رابطه N تعداد نقاط نمونه، λ_j ضریب معادله خطی R_j فاصله از نقطه نمونه j ام اما دو مولفه $T_{(xy)}$ و $R(r)$ در اسپیلین کششی براساس روابط ۸ و ۹ به دست می آید و مقادیر را براساس رابطه زیر برآورد می کنند:

$$T(x,y) = a_1 \quad (8)$$

$$R(r) = 1/2\pi\phi \left[\ln \left(\frac{r\phi}{2} \right) + c + k_0(r\phi) \right] \quad (9)$$

ϕ و τ مولفه های کنترل کننده مشتق اول در معیار کمینه سازی، r فاصله بین نقطه نمونه و نقطه برآورد شده، k تابع تعدیل شده بسل C ثابتی معادل با 0.577215 و a ضریبی است که از طریق حل مجموعه ای از معادلات خطی بدست می آید. نوع دیگر اسپیلین گونه منظم آن است که در این گونه، مشتق سوم در معیار کمینه سازی دخیل می شود. روش

روش مورد نظر مناسب‌تر است. مقدار ME بیانگر میانگین انحراف است که می‌تواند مثبت و یا منفی باشد. این شاخص می‌تواند نشان دهد، مدل به کار گرفته شده، در تخمین متغیر مورد نظر، دچار خطای بیش برآورده شده است، یا کم برآورده^۶. از نظر تئوری هر گاه این دو مقدار برابر صفر شوند، نمایانگر این مطلب است که دقت روش صد درصد بوده و مقدار تخمین شده یک کمیت برابر مقدار واقعی، می‌باشد (فرجی سبکبار و عزیزی، ۱۳۸۵).

مقادیر خطای جذر مربع میانگین نیز از رابطه ۱۲ محاسبه می‌گردد که مقدار اختلاف بین مقدار پیش‌بینی شده و مقادیر مشاهداتی را نشان می‌دهد (Willmott et al, 1985).

$$RMSE = N^{-1} \sum_{i=1}^n ((x_o - x_p)^2)^{1/2} \quad (12)$$

شاخص دیگری که در اینجا بر روی داده‌ها اعمال گردید شاخص قابلیت پذیرش ویلموت است که بین صفر و ۱ قرار داشته و در واقع میزان همسویی^۷ مقادیر مشاهداتی و مقادیر برآوردی هر مدل درون‌یاب را نشان می‌دهد (Anderson, 2004). مقادیر بالای این شاخص (نزدیک به ۱) بیانگر هم‌جهتی کامل مقدار مشاهداتی و برآوردی و مقادیر پایین آن (نزدیک صفر) بیانگر عدم همسو بودن دو مقدار است. این شاخص از رابطه ۱۳ محاسبه می‌گردد که مولفه‌های این رابطه نیز همانند روابط فوق می‌باشد (Willmott et al, 1984):

$$d = 1 - n(RMSE^2)/PE \quad (13)$$

$$PE = \sum_{i=1}^n (|x_p - \bar{x}_o| + |x_o - \bar{x}_o|)^2$$

بحث

با بکارگیری روش ارزیابی متقابل براساس ۳ روش درون‌یاب کریجینگ، اسپیلاین و IDW به ازای تمام ایستگاه‌ها یا موقعیت‌های معلوم، مقادیر برآوردی متغیر که

استفاده شده در این مدل یک سطح با حداقل انحنای بر روی نقاط استفاده شده در فرایند درون‌یابی برازش داده می‌شود. این سطح مانند یک سطح پوششی است که امکان اتصال کلیه نقاط در فضا را با حداقل انحنای مهیا می‌کند، لذا یک تابعی ریاضی را طوری بر سطح برازش می‌دهد که از نقاط کنترل بگذرد.

گزینش روش بهینه

برای ارزیابی و مقایسه مدل‌های درون‌یابی، الگوریتم ارزیابی متقابل روشی مناسب می‌باشد. در این روش برابر ارزش‌های مشاهداتی، ارزش‌های معادل آن‌ها در هر مدل درون‌یابی تخمین زده شده و در نهایت با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده، براساس شاخص‌های آماری که در این زمینه توسعه داده شده، می‌توان به ارزیابی و مقایسه روش‌های درون‌یاب اقدام کرد. این شاخص‌ها عبارتند از: میانگین خطای مطلق^۱، میانگین خطا^۲، ریشه میانگین مربع خطاها^۳ که به دو بخش خطاهای سامانمند و غیرسامانمند مدل تقسیم می‌گردد و شاخص همسویی یا قابلیت پذیرش ویلموت^۴.

شاخص‌های خطای مطلق و اریب میانگین که به ترتیب دقت و انحراف هر مدل درون‌یابی را مورد سنجش قرار می‌دهند در روابط ۱۰ و ۱۱ ارائه شده‌اند (Willmott et al, 1985):

$$MAE = N^{-1} \sum_{i=1}^n |x_o - x_p| \quad (10)$$

$$ME = N^{-1} \sum_{i=1}^n (x_o - x_p) \quad (11)$$

در رابطه‌های بالا: x_o مقدار متغیر در موقعیت‌های نمونه برداری شده یا موقعیت‌های ایستگاهی است، x_p مقدار برآورد شده متغیر برای همان موقعیت توسط مدل درون‌یاب بوده و N تعداد کل مشاهدات است. MAE معرف خطا است که هر چه به صفر نزدیکتر باشد، دقت

1. Mean Absolute Error (MAE)

3. Root Mean Square Error (RMSE, RMSEs & RMSEu)

5. Overestimate

7. Agreement

2. Mean Bias Error (MBE, ME)

4. Acceptability Index (d-Willmott)

6. Underestimate

همان درجه روزهای گرم و سرد بود محاسبه و استخراج گردید که این مقادیر در جدول ۱ ارائه شده است. در مرحله بعد با اعمال شاخص های اعتبارسنجی بر روی مقادیر

برآوردی مدل های درونیاب نتایج زیر به دست آمد که در جدول ۲ این نتایج ارائه گردیده است.

جدول ۱- نیازهای سرمایشی و گرمایشی ۳۰ ایستگاه سینوپتیک مراکز استان ها و مقادیر برآورد شده توسط مدل های درون یاب

ایستگاه	درجه روزهای گرم			درجه روزهای سرد		
	مقادیر		مقادیر مشاهداتی	مقادیر برآوردی مدل های درون یاب		مقادیر مشاهداتی
	IDW	کریجینگ		IDW	کریجینگ	
تهران	۳۵۰	۳۸۴	۳۷۱	۴۳۷	۲۲۰	۱۸۱
اصفهان	۳۵۶	۴۷۹	۴۴۳	۵۰۱	۱۷۰	۵۳
ارومیه	۴۶۲	۵۰۷	۵۱۹	۵۰۹	۵۱	۹۳
تبریز	۵۰۵	۴۹۰	۵۰۲	۶۴۸	۱۰۰	۳۹
خرم اباد	۳۱۳	۴۴۰	۴۴۱	۳۷۷	۱۸۹	۱۱۸
زاهدان	۲۳۹	۲۴۵	۲۲۷	۱۹۸	۱۶۵	۱۹۸
کرمانشاه	۴۱۰	۳۸۸	۳۷۵	۳۶۸	۱۱۷	۱۵۸
کرمان	۳۲۶	۱۹۸	۱۹۸	۱۷۸	۱۱۶	۲۷۹
مشهد	۴۱۲	۳۸۰	۳۶۵	۴۷۳	۱۰۳	۱۱۱
شیراز	۲۸۶	۲۸۶	۲۴۳	۱۶۶	۱۸۹	۱۹۴
بایلسر	۲۷۲	۳۱۹	۳۱۸	۱۸۱	۱۲۸	۲۱۶
بوشهر	۶۸	۲۶۱	۲۴۶	۲	۳۳۸	۲۴۲
یزد	۲۷۷	۳۲۸	۳۳۰	۸۲	۲۵۸	۱۴۰
همدان	۵۳۲	۴۷۳	۴۷۹	۵۵۲	۵۴	۱۰۰
گرگان	۲۶۶	۳۲۳	۳۴۵	۳۴۳	۱۶۶	۱۸۶
اراک	۴۵۸	۴۲۰	۴۱۳	۴۵۶	۱۲۵	۱۷۴
زاهدان	۵۲۷	۳۲۹	۳۷۶	۳۸۱	۴۶	۳۳
بیرجند	۳۲۷	۳۳۲	۳۳۳	۴۰۵	۱۴۴	۱۲۶
شهرکرد	۴۸۵	۳۶۰	۳۸۸	۳۴۸	۴۷	۱۶۶
اهواز	۱۰۸	۳۰۷	۲۷۹	۴۴۹	۴۳۸	۱۸۰
بندر عباس	۱۴	۳۱۸	۲۹۷	۳۰۲	۳۹۴	۱۳۵
سنندج	۴۵۵	۴۴۸	۴۲۸	۵۱۵	۱۱۲	۱۰۰
قزوین	۴۳۶	۲۳۰	۳۰۱	۲۳۲	۱۱۳	۸۸
سمنان	۳۳۸	۲۸۳	۲۹۳	۲۱۳	۲۵۴	۱۰۶
اردبیل	۵۳۷	۳۶۸	۳۵۹	۱۰۵	۴	۵۳
بجنورد	۴۳۷	۳۵۱	۳۴۹	۳۱۹	۷۹	۱۵۱
ایلام	۳۴۴	۴۰۱	۳۹۲	۳۷۸	۱۹۷	۱۳۰
قم	۴۰۵	۴۰۲	۴۱۳	۳۷۱	۲۴۵	۱۶۸
یاسوج	۳۷۱	۳۷۳	۳۶۷	۴۸۷	۱۱۹	۱۳۶
رشت	۵۰	۴۸۱	۴۸۶	۴۴۷	۳۷	۷۴
میانه	۳۴۵/۵	۳۶۳	۳۶۳	۳۴۶	۱۵۷/۳	۱۳۸

جدول ۲- شاخص‌های دقت سنجی مدل‌های درونیابی در برآورد نیازهای سرمایشی و گرمایشی ایران

شاخص‌های دقت سنجی	درجه روزهای گرم			درجه روزهای سرد		
	IDW	کریجینگ	اسپیلاین	IDW	کریجینگ	اسپیلاین
مدل درون یاب						
خطای مطلق میانگین	۹۴/۱۸	۸۹/۷۳	۱۲۸/۶۶	۷۲/۱۰	۶۲/۲۰	۸۲/۲۶
خطای اریب میانگین	۱۷/۸۵	۱۷/۰۲	۱/۹۱	-۱۹/۷	-۱۵/۱۷	-۱۵/۱۰
جذر مربع خطای میانگین	۱۳۶/۷۷	۱۲۸/۰۱	۱۶۶/۹۵	۹۶/۸	۹۰/۲۵	۱۱۶/۶۹
شاخص همسویی	۰/۵۴۴	۰/۶۱۳	۰/۶۱۳	۰/۵۷۵	۰/۶۳۴	۰/۶۶۶
ضریب تعیین	۰/۱۰۹	۰/۱۸۹	۰/۱۷۷	۰/۱۶۰	۰/۲۴۴	۰/۱۸۷

میانگین خطاهای مطلق: شاخص میانگین خطای مطلق،

قدر مطلق خطاهای برآورد را نشان می‌دهد، لذا هر اندازه که مقدار عددی این شاخص بالاتر باشد، مدل خطاهای بیشتری را به همراه داشته است و مقادیر برآوردی از مقادیر واقعی فاصله بیشتری دارند لذا این شاخص صحت برآورد را نشان می‌دهد. در برآورد نیازهای سرمایشی از لحاظ صحت روش، مدل کریجینگ، با $۶۹/۲$ درجه روز سرد، دارای کمترین خطا و بالاترین صحت بود. بعد از آن مدل‌های وزن‌دهی عکس فاصله، با ۷۲ درجه روز سرد و سپس اسپیلاین با $۸۱/۲$ درجه روز مقدار مطلق خطا قرار داشتند. اما در مورد برآورد نیازهای گرمایشی مدل کریجینگ، با $۸۹/۷$ درجه روز گرم، دارای کمترین خطا و بالاترین دقت بود. بعد از آن مدل‌های وزن‌دهی عکس فاصله، با ۹۴ و سپس اسپیلاین با $۱۲۸/۶$ درجه روز گرم مقدار مطلق خطا قرار داشتند. بنابراین به نظر می‌رسد که به لحاظ شاخص صحت‌سنجی یا مقدار مطلق خطاها مدل‌هایی که به جزئیات توجه بیشتری دارند مانند کریجینگ و IDW نتایج واقعی‌تری را ارائه می‌دهند در حالی که مدل‌هایی که بیشتر مبتنی بر هموارسازی و در نظرگیری الگوهای عمومی و کلی هستند مانند چندجمله‌ای‌ها، صحت کمتری را به همراه دارند.

میانگین خطاهای اریب: این شاخص دقت مدل‌ها یا به

عبارت دیگر اما از لحاظ شاخص انحراف سنجی یا شاخص میانگین خطاهای اریب، در واقع این شاخص میزان انحراف برآوردها را نمایش می‌دهد بنابراین می‌تواند مقادیر منفی

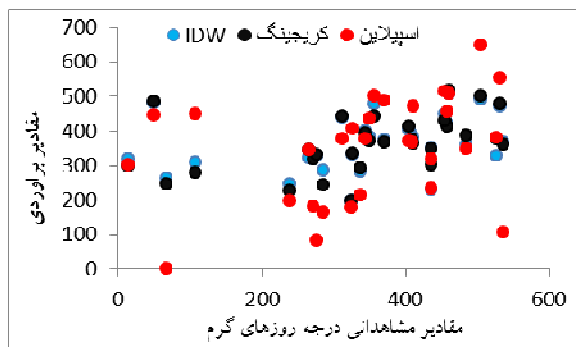
و مثبت داشته باشد. براساس این شاخص اعتبارسنجی، برای نیازهای سرمایشی، مدل اسپیلاین با $۱۰/۱$ - درجه روز سرد دارای کمترین میزان انحراف بود مدل‌های کریجینگ و وزن‌دهی عکس فاصله به ترتیب دارای ۱۵ - و $۱۹/۷$ - درجه روز سرد انحراف بودند. همانگونه که مشاهده می‌گردد هر سه مدل در برآورد نیازهای سرمایشی کشور، دچار خطای کم برآورد شده‌اند. برای برآورد نیازهای گرمایشی نیز مدل اسپیلاین با $۱/۹$ درجه روز گرم دارای کمترین میزان انحراف بود. مدل‌های کریجینگ و به ترتیب دارای ۱۷ و $۱۷/۸$ درجه روز گرم انحراف بودند. شایان ذکر است که هر سه مدل در برآورد نیازهای گرمایشی دچار خطای بیش برآورد شده‌اند. همانگونه که دیده می‌شود از لحاظ خطاهای اریب، مدل اسپیلاین نتایج بهتری را در بر داشت که این به ماهیت هموارسازی این مدل مرتبط می‌گردد همانطور که اشاره گردید مدل اسپیلاین که زیر مجموعه درونیاب‌های چند جمله‌ای است مبتنی بر برازش صفحه‌ای بر مشاهدات از طریق کمینه‌سازی انحرافات مثبت و منفی می‌باشد. مدل‌های کریجینگ و IDW که ماهیتاً مبتنی بر یک میانگین وزن دار هستند برآوردهای اریب‌تری را ارائه خواهند داد.

ریشه میانگین مربع خطاها: این شاخص در حقیقت

مشابه انحراف معیار است. مدل کریجینگ معمولی با نیم تغییرنمای کروی با $۹۰/۲$ درجه روز سرد، دارای بالاترین دقت و به دنبال آن وزن‌دهی عکس فاصله و اسپیلاین به ترتیب $۹۶/۸$ و $۱۱۶/۷$ درجه روز سرد قرار دارند از لحاظ برآورد نیازهای گرمایشی یا درجه روزهای گرم نیز مدل

شاخص بیانگر این است روندهای عمومی مقادیر برآوردی و مشاهداتی تا چه اندازه به هم نزدیک بوده و هم جهت هستند. از آنجا که مدل اسپیلاین برآورد را بر اساس برازش سطح بهینه انجام می‌دهد لذا به نظر می‌رسد که با توجه به رفتار مکانی این متغیر اقلیمی که نسبت به برخی متغیرهای مانند بارش از رفتار نرمال‌تری برخوردار است مقادیر برآوردی مدل‌های اسپیلاین دارای الگوهای عمومی مشابه‌تری با مقادیر مشاهداتی باشند. اما مدل‌های کریجینگ و به ویژه IDW تا حدودی ملاحظات منطقه‌ای را در نظر گرفته و برآورد را براساس چند همسایه و یا یک شعاع جستجوی خاص انجام می‌دهند لذا الگوهای عمومی مقادیر برآوردی این مدل‌ها مشابهت کمتری با الگوهای عمومی مقادیر مشاهداتی نشان داد.

مقادیر برآوردی و مشاهداتی مدل‌های درون‌یاب به کار گرفته شده در این تحقیق به ترتیب برای درجه روزهای سرد و گرم در نمودارهای شکل‌های ۳ و ۴ ارائه شده است.



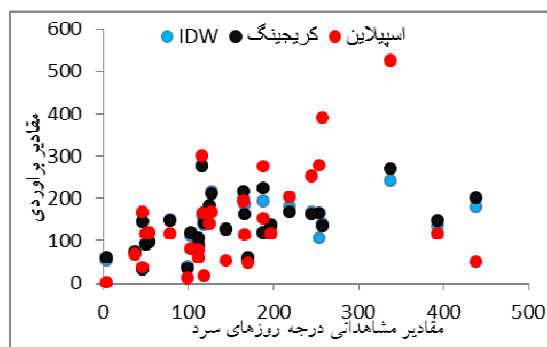
شکل ۴- مقایسه مقادیر برآوردی با مقادیر مشاهداتی نیازهای گرمایشی

سپس اسپیلاین و وزندهی عکس فاصله به ترتیب با ضریب تعیین ۰/۱۲ و ۰/۱۰، قرار دارند.

نتایج تحقیق نشان داد که در درون‌یابی نیازهای سرمایشی و گرمایشی مدل زمین آماری کریجینگ با نیم تغییرنمای کروی و در نظرگیری ۸ همسایه معلوم، از لحاظ شاخص‌های میانگین خطاهای مطلق، ریشه میانگین مربع خطاها، و ضریب تبیین که بیانگر میزان واریانس تبیین شده

کریجینگ با ۱۲۸ درجه روزگرم دارای بالاترین دقت و به دنبال آن وزندهی عکس فاصله و اسپیلاین به ترتیب ۱۳۶/۸ و ۱۶۷ درجه روز قرار دارند. مقایسه مدل‌های درون‌یاب بر اساس این شاخص که معمولاً رواج بیشتری نیز دارد نتایج مشابهی را با شاخص میانگین خطاهای مطلق به دست داد.

شاخص قابلیت پذیرش: با اعمال این شاخص بر روی داده‌های استخراج شده از سه مدل، نتایج عکسی نسبت به دو شاخص قبل به دست آمد. بدین ترتیب که مدل اسپیلاین با ۰/۶۷ دارای بالاترین مقدار کارایی بوده یا به عبارت دیگر مقادیر برآوردی مدل اسپیلاین دارای بالاترین همسوی با داده‌های مشاهداتی بود و به دنبال آن کریجینگ و سپس وزندهی عکس فاصله، به ترتیب با ۰/۶۴ و ۰/۵۷ قرار دارند. برای درجه روزهای سرد نیز چنین روند مشابهی مشاهده گردید به گونه‌ای که مدل اسپیلاین و کریجینگ با ۰/۶۱۳ دارای بالاترین مقدار کارایی بوده و به دنبال آن‌ها وزندهی عکس فاصله، با ۰/۵۴ قرار دارد. شاخص همسویی جهت کلی برآوردها را نشان می‌دهد به عبارت دیگر این



شکل ۳- مقایسه مقادیر برآوردی با مقادیر مشاهداتی نیازهای سرمایشی

براساس این شکل‌ها می‌توان از شاخص آماری دیگری به نام ضریب تعیین (R^2) برای تحلیل ارتباط بین داده‌ها استفاده کرد از لحاظ این شاخص نیز برای درجه روزهای سرد کریجینگ با ضریب تعیین ۰/۲۵ دارای بالاترین دقت و سپس اسپیلاین و وزندهی عکس فاصله به ترتیب با ضریب تعیین ۰/۱۹ و ۰/۱۶ قرار دارند و برای درجه روزهای گرم نیز کریجینگ با ضریب تعیین ۰/۱۹ دارای بالاترین دقت و

مقادیر مشاهداتی توسط مقادیر برآوردی است، توانایی بالاتری در توجیه و مدل‌سازی ساختار فضایی و تغییر پذیری مکانی داده‌ها دارد.

اما مدل اسپیلاین از لحاظ شاخص‌هایی که روندهایی کلی را مورد ارزیابی قرار می‌دادند مانند میانگین خطاهای اریب یا شاخص قابلیت پذیرش ویلموت و یا مقایسه میانگین‌های مقادیر برآوردی و مشاهداتی، این نتیجه به دست آمد که مدل اسپیلاین کششی که زیر مجموعه درون‌یاب‌های چندجمله‌ای است، کارایی بالاتری از خود نشان می‌دهد. مقایسه نتایج این تحقیق برخلاف نتایج تحقیقات افرادی مانند چای و همکاران (Chai et al 2011) بود. ایشان در کار خود به مقایسه مدل‌های درون‌یاب مکانی در برآورد میانگین دمای روزانه ناحیه خپچیانگ چین اقدام نمودند نتایج تحقیق ایشان نشان داد که بر خلاف متغیر بارش که رفتار فضایی آن پیچیده‌تر بود و بیشتر تحت تأثیر شرایط محلی قرار می‌گیرد یا به عبارت دیگر رفتار فضایی بارش در فواصل کوتاه متغیرتر از رفتار فضایی دما است، مدل اسپیلاین کششی و IDW به عنوان مدل بهینه انتخاب گردیدند. در حالی که در تحقیق حاضر مدل کریجینگ معمولی برای توجیه تغییرات فضایی نیازهای گرمایشی و سرمایشی (که از مشتقات دما می‌باشند) مدل بهینه بود.

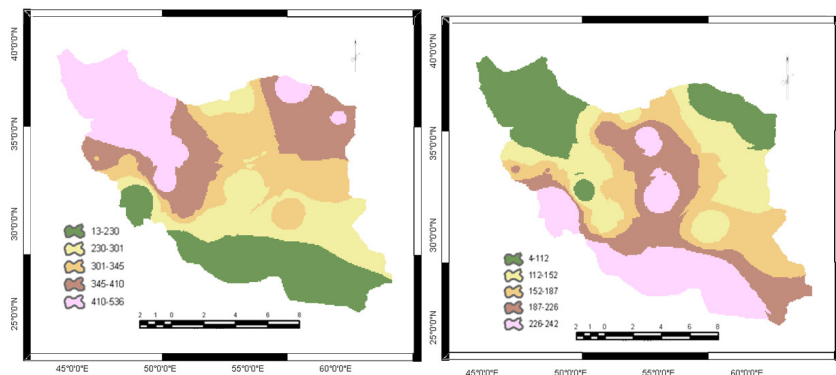
اما برای برآورد روندهای کلی مانند میانگین کل، مدل اسپیلاین کششی نزدیکترین برآوردها را نسبت به مقدار مشاهداتی ارائه داد. میانگین برآوردی مدل اسپیلاین هم در برآورد نیازهای سرمایشی و هم نیازهای گرمایشی نسبت به دو مدل دیگر بسیار به مقدار واقعی نزدیکتر است میانگین نیازهای گرمایشی کشور از طریق داده‌های سازمان هواشناسی ۳۴۵/۵ درجه روز گرم بود در حالی که مدل‌های درون‌یابی اسپیلاین، کریجینگ و وزن‌دهی عکس فاصله این میانگین را به ترتیب ۳۴۶، ۳۶۳ و ۳۶۳ درجه روز برآورد کردند برای نیازهای سرمایشی میانگین کل کشور ۱۵۷ درجه روز به دست آمد که مدل‌های درون‌یابی اسپیلاین، کریجینگ و وزن‌دهی عکس فاصله‌ای میانگین را به ترتیب ۱۵۳، ۱۴۲ و

۱۳۸ درجه روز بیان کردند که در هر دو متغیر میانگین برآوردی مدل اسپیلاین نزدیک‌تر به مقدار واقعی است. که این نتیجه در کار مورفی و همکاران (Mourphy et al., 2011) نیز مشاهده گردید. ایشان نیز مشاهده کردند که در برآورد میانگین‌های بلندمدت عناصر آلاینده آب بندر جاسبیک آمریکا مدل اسپیلاین دارای واقعی‌ترین نتیجه است در حالی که برای برآورد تغییرات فضای عناصر آلاینده به ویژه شوری و اکسیژن محلول، مدل کریجینگ معمولی دارای بالاترین دقت بود. بنابراین می‌توان گفت مدل اسپیلاین برای مشخص نمودن روندهای کلی و الگوهای عمومی و غالب منطقه، بسیار کارتر از دو مدل دیگر می‌باشد. اما برای تحلیل فضایی و نشان دادن جزئیات موقعیتی و تغییرپذیری مکانی، که در پهنه‌بندی و درون‌یابی‌های فضایی مدنظر است، مدل زمین آماری کریجینگ به عنوان مدل بهینه پیشنهاد می‌گردد. نتایج مقایسه و دقت سنجی مدل‌ها، در جدول ۲ گزارش شده است. نقشه پهنه‌بندی نیازهای سرمایشی و گرمایشی کشور که در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه گردید در شکل ۵ تا ۷ ارائه شده است.

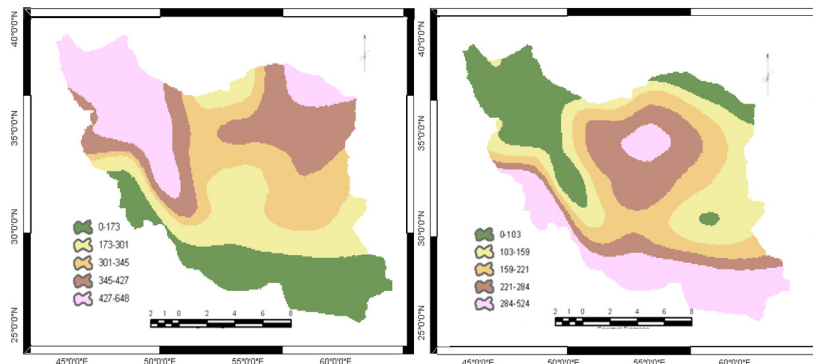
از کارهای داخلی که در این زمینه وجود دارد می‌توان به کار فرجی و همکاران (۱۳۸۷) اشاره نمود که ایشان بدون اشاره به یک مدل درون‌یاب خاص اقدام به پهنه‌بندی نیازهای گرمایشی و سرمایشی ناحیه آذربایجان نموده اند در حالی که هدف این تحقیق اعتبارسنجی آماری مدل‌های درون‌یاب در زمینه برآورد نیازهای گرمایشی و سرمایشی کشور بود. نتایج کار ایشان نشان داد اولویت حرارتی اصلی منطقه آذربایجان نیازهای گرمایشی است و شدت نیازهای سرمایشی این منطقه از کشور بسیار کمتر از نیاز به گرمایش است که این نکته در تحقیق حاضر نیز مشاهده گردید به طوری که میانگین فصل سرد نیازهای گرمایشی سه ایستگاه تبریز ارومیه و اردبیل براساس مدل‌های درون‌یاب به ۵۰۰ درجه روز گرم می‌رسد در حالی که میانگین نیازهای سرمایشی فصل گرم این ۳ ایستگاه در حدود ۵۰ درجه روز گرم می‌باشد. نکته دیگری که در کار ایشان مشاهده گردید

که از ۴۰۰ تا ۵۵۰ درجه روز متغیر است منطبق است بر منطقه آذربایجان و نواحی مرتفع زاگرس و کردستان که این نکته نیز در راستای تحقیق فرجی و همکاران می باشد.

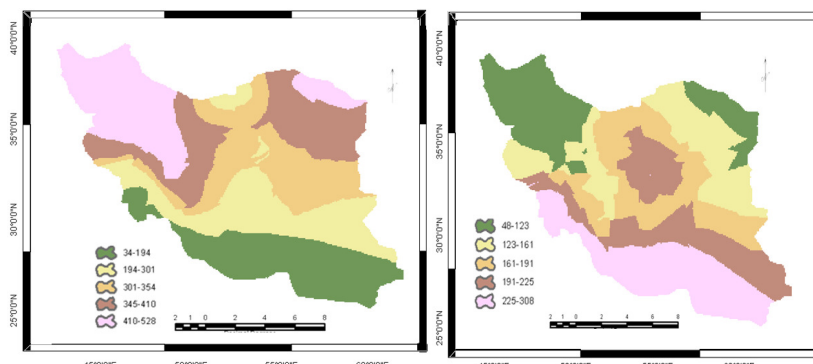
همبستگی بالای بین نیازهای گرمایشی و ارتفاع ایستگاه های مورد استفاده بود که در این تحقیق نیز همانطور که در نقشه های ارائه شده مشاهده می گردد براساس تمام مدل های درون یاب به کارگرفته شده بالاترین میزان نیازهای گرمایشی



شکل ۵- نقشه پهنه بندی نیازهای گرمایشی (چپ) و سرمایشی (راست) از طریق مدل درون یاب IDW



شکل ۶- نقشه پهنه بندی نیازهای گرمایشی (چپ) و سرمایشی (راست) از طریق مدل درون یاب اسپیلین



شکل ۷- نقشه پهنه بندی نیازهای گرمایشی (چپ) و سرمایشی (راست) از طریق مدل درون یاب کریجینگ

نشان داد که مدل اسپیلین کشتی برای برآورد روندهای عمومی مانند میانگین کل نتایج واقعی تری ارائه نمود. اما از لحاظ دقت برآورد فضایی جزئیات تغییرات مکانی نیازهای سرمایشی و گرمایشی مدل زمین آماری کریجینگ معمولی

نتیجه گیری

در این تحقیق اقدام به ارزیابی ۳ مدل درون یابی مکانی برای پهنه بندی نیازهای گرمایشی و سرمایشی ایران به عنوان یک متغیر اقلیمی معرف پتانسیل مصرف انرژی گردید. نتایج

- and Wales. *International Journal of Climatology*, 28, 947-99
9. Mahdavi M., Mehdian M.H., Rahimi Bandarabadi S., Hosseini Chegini A., 2006, Comparison of geostatistical methods for estimating the spatial distribution of annual rainfall in Iran south arid and semi-arid regions of the south, *natural resources of Iran*, 57, N. 1
 10. Muhammad, W. A., Zhao, C., Ni, J. and Muhammad, A., 2010, GIS-based high-resolution spatial interpolation of precipitation in mountain-plain areas of Upper Pakistan for regional climate change impact studies. *Theoretical and Applied Climatology*, 99, 239-253
 11. Murphy, R. R., Curriero, F. C., Ball, W. P. and Asce, M., 2010, Comparison of spatial interpolation methods for water quality evaluation in the chesapeake bay. *Journal of Environmental Engineering*, 136, 160-171
 12. Nynke Hofstra, Malcolm Haylock, Mark New, Phil Jones, and Christoph Fre, 2008, Comparison of six methods for the interpolation of daily European climate data, *Journal Of Geophysical Research*,. 113
 13. Price, D. T., McKenney, D.W., Nalder, I.A., Hutchinson, M. F. and Kesteven, J. L., 2000, A comparison of two statistical methods for spatial interpolation of Canadian monthly mean climate data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 101, 81-94.
 14. Rasmus E. B, 2008, Heating degree days, Cooling degree days and precipitation in Europe analysis for the CELECT-project, Norwegian Meteorological Institute (NMI), Report no. 4/2008
 15. Sabokbar F , Azizi G., 2008, Assessing the accuracy of spatial interpolation methods, Case Study: modeling of Mashhad Kardh basin rainfall, *Geographical Studies*, No. 35, pp. 1-15
 16. Sharolyn A , 2004, An Evaluation of Spatial Interpolation Methods on Air Temperature in Phoenix, AZ. G. Lorentz, and e. al, pp. 203-67. New York: Academic Press
 17. Vaqfi M, Ahmedabadi A. S, Fatahnia A., Godsian M., 2011, Comparison of interpolation methods in the study of curved channel bed topography, *Iranian Science and Engineering of watershed*, No. 6, pp. 17-26
 18. Willmott C, Ackleso S, Davis1 O, Feddema J, Klink K, Legate D and et al., 1985, statistics for the evaluation and comparison of models, *journal of geophysical research*, vol. 90, no. c5, pages 8995-9005
 19. Willmott, C., 1984., On the evaluation of model performance in physical geography, in *Spatial Statistics and Models*, edited by G. L. Gaile and C. J. Willmott, D. Reidel, Hingham, Mass., pp. 443-460.
- با نیم تغییرنمای کروی به عنوان مدل بهینه درونیابی این متغیر اقلیمی انتخاب شد. بنابراین با توجه به کارایی مختلف روش‌های درونیابی توصیه می‌گردد محققین قبل از استفاده از این مدل‌ها، با توجه به هدف تحقیق خود و اینکه اولویت با صحت و جزئیات مکانی است یا اینکه روندها و الگوهای عمومی متغیر از اهمیت بیشتری برخوردار است، با به کارگیری شاخص‌های معرفی شده به مقایسه مدل‌های درونیاب اقدام نموده و مدل بهینه را برای متغیر مورد بررسی گزینش نمایند. تحقیق حاضر می‌تواند در شناسایی مناطق مختلف کشور از لحاظ نیازهای گرمایشی و سرمایشی به عنوان شاخص اقلیمی معرف پتانسیل مصرف انرژی، در راستای اصل ۱۹ مقررات ملی ساختمان و مسکن، مفید واقع شود.
- ### منابع
1. Akkala, A., Devabhaktuni, V., Kumar, A., 2010, Interpolation techniques and associated software for environmental data. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 29(2), 134-141.
 2. Chai, H., Cheng, W., Zhou, C., Chen, X., Ma, X. and Zhao, S., 2011, Analysis and comparison of spatial interpolation methods for temperature data in Xinjiang Uygur Autonomous Region, China. *Natural Science*, 3, 999-1010
 3. Dobesch, H., Dumolard, P. and Dyras, I., 2007, spatial interpolation for climate data: The use of GIS in climatology and meteorology. *ISTE Ltd.*, London
 4. Faraji A., Zahedi M., Rasouli, A.h, 2010, Zoning of Cooling and Heating Degree Days of the Azerbaijan region using GIS, *Geography Research*, No. 66, pp. 71-86
 5. Ghahroudi Tali M., 2004, assessing the Kriging interpolation, *Geographical Studies*, No. 43, pp. 95-108
 6. Li, X., Cheng, G. D. and Lu, L., 2000, Comparison of spatial interpolation methods. *Advance in Earth sciences*, 15, 260-265
 7. Lin, Z., Mo, X., Li, H. and Li, H., 2002, Comparison of three spatial interpolation methods for climat variables in China. *Acta Geographica Sinica* 17, 290-275
 8. Luo, W., Taylor, M.C. and Parker, S. R., 2008, a comparison of spatial interpolation methods to estimate continuous wind speed surfaces using irregularly distributed data from England