Archive of SID

نشریه هواشناسی کشاورزی
جلد ۳، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۴، صص.۲۳- ۱۴

Journal of Agricultural Meteorology
Vol. 3, No. 2, Autumn &Winter 2015, pp. 14-23

مقایسه روش‌های برآورد منطقه‌ای دمای کمینه هوا (مطالعه موردی: استان اصفهان)

قمر فدوی[۱]، جواد بذرافشان[۲*]، نوذر قهرمان[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۷/۰۴

چکیده

در این پژوهش ارزیابی و مقایسه میزان خطای مدل‌های مختلف در تخمین درون‌یابی منطقه‌ای دمای کمینه روزانه در استان اصفهان در دو سال مختلف با تعداد ایستگاه‌های متفاوت صورت گرفته است. سال ۱۹۹۲ به‌عنوان سال با تعداد ایستگاه کم (۱۹ ایستگاه همدیدی و ۱۱ ایستگاه اقلیم‌شناسی) و سال ۲۰۰۷ به‌عنوان سالی با تعداد ایستگاه‌های بیش‌تر (۳۱ ایستگاه همدیدی و ۲۳ ایستگاه اقلیم‌شناسی) انتخاب شدند. از هر ماه این دو سال به‌طور تصادفی دو روز (هر سال ۲۴روز) انتخاب و عملیات درون‌یابی روی داده‌های منتخب انجام شد. برای منطقه‌ای نمودن داده‌های نقطه‌ای دمای کمینه روزانه شش روش درون‌یابی به کار گرفته شد. نتایج نشان می‌دهند که در سال۱۹۹۲ روش وایازی چندگانه خطی (ریشه میانگین مربعات خطا از ۲/۳۳ تا ۵/۱۲ و ضریب همبستگی از ۰/۳۷ تا ۰/۸۵) و در سال ۲۰۰۷ روش کریجینگ- وایازی و روش وایازی چندگانه خطی (ریشه میانگین مربعات خطا از ۲/۳۶ تا ۵ و ضریب همبستگی از ۰/۳۸ تا ۰/۸۳) دارای کم‌ترین خطا و بیش‌ترین ضریب همبستگی بوده و روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ، وزنی عکس فاصله و اسپیلاین در مراتب بعدی قرار گرفتند. افزایش تعداد ایستگاه سبب بهبود دقت روش‌های درون‌یابی شده است.

واژه‌های کلیدی: درون‌یابی، دمای کمینه روزانه، اصفهان

مقدمه

اقلیم نقش مهمی در پراکنش گیاهان و جانوران یک سرزمین داشته و کلیدی برای فهم روابط بین فاکتورهای محیطی و بیولوژیکی است که در توسعه مناطق اکولوژیکی و تنوع گونه‌ها نقش مهمی ایفا می‌کند. رشد گیاه تحت تأثیر تمامی عواملی که در محیط زیست بر یکدیگر اثر متقابل دارند می‌باشد. دمای هوا به‌عنوان یک متغیر اقلیمی در حیات گیاه نقش مهمی دارد و دماهای کمینه مطلق که در مراحل معینی از رشد گیاه اتفاق می‌افتند، می‌توانند در بازده محصول تأثیر مهمی بگذارند. درجه حرارت‌های پایین و همچنین تداوم آن‌ها به گیاهان آسیب‌های جدی وارد می‌کنند بنابراین لازم است تا برای مقابله با این پیشامدها زمان وقوع آن‌ها را تخمین زد و اقدامات لازم را برای محافظت از گیاهان انجام داد. اغلب داده‌های مربوط به متغیرهای محیطی (خواص خاک و پارامترهای آب و هوایی) در یک منطقه مطالعاتی به‌صورت نقطه‌ای تهیه و جمع‌آوری می‌شوند که در واقع همان نقاط اندازه‌گیری شده می‌باشند. برای به‌دست آوردن مقادیری از متغیرهای مربوطه در مکان‌هایی که در آن‌ها اندازه‌گیری انجام نمی‌شود تخمین قابل قبولی از مقادیر مذکور را می‌توان به کمک روش‌های درون‌یابی برآورد نمود. روش‌های مختلف درون‌یابی، در مناطق هموار و مسطح که در آن تغییرات مکانی متغیرهای محیطی کم‌تر دیده می‌شود، نتایج تقریباً مشابهی را می‌دهند، در حالی که در مناطق کوهستانی که تغییرات مکانی مقادیر متغیر بیشتر است، نتایج روش‌های درون‌یابی متفاوت بوده و به همین دلیل انتخاب نوع روش درون‌یابی حائز اهمیت می‌باشد (کولینس و بولستاد[۳]، ۱۹۹۶؛ بوروف و مک‌دونل[۴]، ۱۹۹۸). در پژوهش‌های داخلی، مهدی‌زاده (۱۳۸۱) نشان داد که در رابطه با برآورد سالانه و ماهانه دما، روش اسپیلاین با متغیر کمکی ارتفاع و توان۲ از دقت بیشتری

[۱] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
[۲] دانشیار پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
(*نویسنده مسئول: jbazr@ut.ac.ir)

[3] Collins and Bolstad
[4] Burrough and Mc Donnell

www.SID.ir

Archive of SID

برخوردار است. نادی (۱۳۸۹) با استفاده از روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ، اسپیلاین، وزنی عکس فاصله، گرادیان خطی سه‌بعدی، کریجینگ- رگرسیون و کریجینگ با روند خارجی[1] به‌منظور تخمین دمای ماهانه (سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۳) در قسمت جنوب شرقی شهر گرگان و منطقه جنگلی چهارباغ گرگان نشان داد که برای تخمین دمای ماهانه روش گرادیان خطی سه‌بعدی خطای کم‌تری را دارا می‌باشند و در پژوهش‌های خارجی، دنیل و همکاران[2] (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای به مقایسه چهار روش درون‌یابی وایازی، کریجینگ، کریجینگ- وایازی و وایازی محلی که به‌نام وایازی کرنل[3] (محاسبه سطوح روند محلی با داده‌های وزن‌دار شده توسط فاصله است که فادرینگهام[4] آن را وایازی وزنی جغرافیایی[5] نامیده است) می‌باشد، پرداختند. این بررسی روی داده‌های میانگین دمای ماهانه از سال ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۰ با استفاده از ۶۵۱ ایستگاه هواشناسی فرانسه انجام گرفت و نشان دادند که روش کریجینگ- وایازی برآورد دقیق‌تری از میانگین دمای ماهانه می‌دهد. کاریرا هرناندز و گاسکین[6] (۲۰۰۷) با مطالعه‌ای روی داده‌های دمای روزانه هوای به‌دست آمده از ۲۰۰ ایستگاه قرار گرفته در حوضه مکزیک (ژوئن ۱۹۸۵ و ژوئن ۱۹۷۸) نشان دادند که استفاده از ارتفاع باعث افزایش دقت درون‌یابی داده‌های دمای روزانه هوا می‌شود حتی اگر همبستگی کمی بین آن‌ها باشد و از بین روش‌های مختلف کریجینگ، روش کریجینگ با روند خارجی کم‌ترین خطا را نشان داده است. استرنل و سزکیردا[7] (۲۰۰۵) در پژوهشی برای تخمین داده‌های میانگین دمای ماهانه و روزانه هوای۲۲۳ ایستگاه (۱۹۵۱-۲۰۰۰) در لهستان به مقایسه روش‌های مختلف کریجینگ پرداختند و بهترین روش را کریجینگ باقیمانده‌ها یافتند. هونگ و همکاران[8] (۲۰۰۵) در تحقیقی در چین نشان دادند که اولین قدم در تخمین پارامترهای اقلیمی تهیه مدل رقومی زمین است. این مدل نه تنها به‌عنوان یک داده کمکی سه‌بعدی بلکه به‌عنوان یک داده کلیدی در تخمین شرایط اقلیمی نیز به‌کار می‌رود و روش‌های اسپیلاین و کوکریجینگ دقیق‌تر از دیگر روش‌ها می‌باشند. چان یان و همکاران[9] (۲۰۰۵) مطالعه‌ای روی میانگین ماهانه دمای هوا در منطقه کوهستانی کیلیان[10] در شمال غرب چین انجام دادند و روش کریجینگ معمولی را برای دوره رشد پیشنهاد کرده‌اند زیرا تخمین دقیق دمای هوا در طول دوره رشد برای مدل کردن مراحل اکولوژیکی بعدی بسیار مهم می‌باشد. تاسکنین و همکاران[11] (۲۰۰۳) در پژوهشی که روی داده‌های میانگین دمای روزانه سال‌های ۱۹۶۱-۲۰۰۲ به انجام دادند، دریافتند که مدل معادلات وایازی کالیبره شده برای هر روز بهترین نتایج را در بر دارد. یانگ و همکاران[12] (۲۰۰۴) نشان دادند که بیش‌ترین خطای روزانه درون‌یابی در صبح زود و کم‌ترین خطا در ساعات حدود ۶ عصر رخ می‌دهد و روش کریجینگ را برای درون‌یابی دمای سطح زمین در هنگامی‌که داده‌های تابش سطح موجود نباشد، پیشنهاد کردند. هاتکینسون و گسلر[13] (۱۹۹۴) نشان دادند که روش‌های کوکریجینگ و اسپیلاین بهترین روش برای درون‌یابی پارامترهای اقلیمی می‌باشند. در این روش‌ها پارامترهای اقلیمی به کمک توابعی از طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع به توپوگرافی مرتبط می‌شوند. پس از مطالعه پژوهش‌های انجام‌شده توسط محققین می‌توان گفت که در مورد برآورد دمای حداقل روزانه تاکنون در مطالعات داخلی روش‌های مختلف درون‌یابی مورد بررسی و مقایسه قرار نگرفته‌اند. به هر حال، در اکثر مطالعات درون‌یابی داده‌های دما در مقیاس‌های مختلف زمانی (به‌ویژه ماهانه و سالانه) مدل‌های وایازی کم‌ترین مقدار خطا را دارا می‌باشند. برای ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی دمای کمینه روزانه عدم قطعیت‌های مختلفی از قبیل فراوانی ایستگاه‌ها و تغییرات فصلی لحاظ شده است. هدف این مطالعه پر کردن خلاء تحقیقاتی در زمینه ارزیابی دقت روش‌های مختلف درون‌یابی در تخمین منطقه‌ای دمای کمینه روزانه می‌باشد و منطقه مطالعاتی این پژوهش استان اصفهان است.

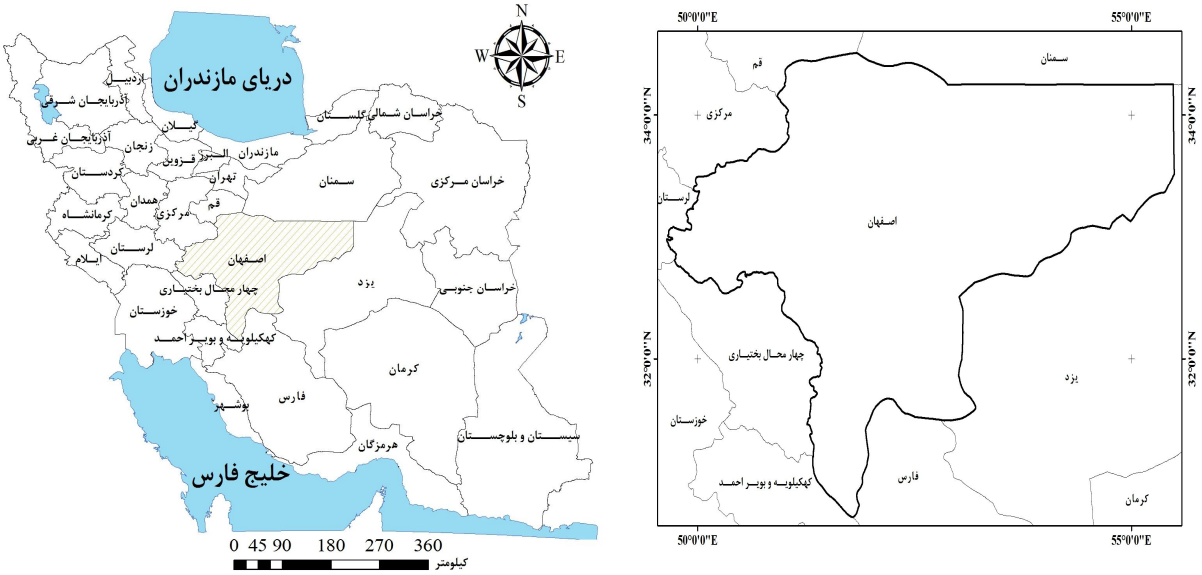
[1] Kriging With External Drift
[2] Daniel et al.
[3] Kernel
[4] Fotheringham
[5] Geographically Weighted Regression
[6] Carrera-Herna´ndez & Gaskin
[7] Ustrnul and Czekierda
[8] Hong et al.
[9] Chuanyan et al.
[10] Qilian
[11] Taskinen et al.
[12] Yang et al.
[13] Hutchinson and Gessler

www.SID.ir

Archive of SID

مواد و روش‌ها

استان اصفهان با مساحتی حدود ۹۳۷،۱۰۵ کیلومتر مربع بین ۳۰ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی خط استوا و ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۵۵ درجه و۳۱ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد. شکل(۱) موقعیت استان اصفهان را در کشور نشان می‌دهد. این استان در مرکز ایران واقع شده است و قسمت غربی آن به دامنه‌های شرقی رشته کوه‌های زاگرس ختم می‌شود. تحقیق حاضر با استفاده از داده‌های روزانه دمای کمینه ایستگاه‌های هواشناسی همدیدی و اقلیم‌شناسی مربوط به سازمان هواشناسی کشور در استان اصفهان و استان‌های هم‌جوار آن در سال‌های ۱۹۹۲ و ۲۰۰۷ انجام شده است که در محدوده ارتفاعی بین ۸۴۵ تا ۲۴۹۰ متر قرار گرفته است. آمار کلیه ایستگاه‌ها از نظر کمی مورد ارزیابی قرار گرفت و مشخص شد که از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۷ در هر سال، چه تعداد ایستگاه واجد آمار بودند و در نهایت سال ۲۰۰۷ با تعداد ۵۴ ایستگاه به‌عنوان یک سال با بیش‌ترین تعداد ایستگاه واجد آمار و سال ۱۹۹۲ با تعداد ۳۰ ایستگاه به‌عنوان یک سال با تعداد کم‌تر ایستگاه واجد آمار برای محاسبات درون‌یابی انتخاب شد. شکل (۲) پراکنش و موقعیت ایستگاه‌های داخل و خارج از استان اصفهان را در سال‌های ۱۹۹۲ و ۲۰۰۷ نشان می‌دهد.

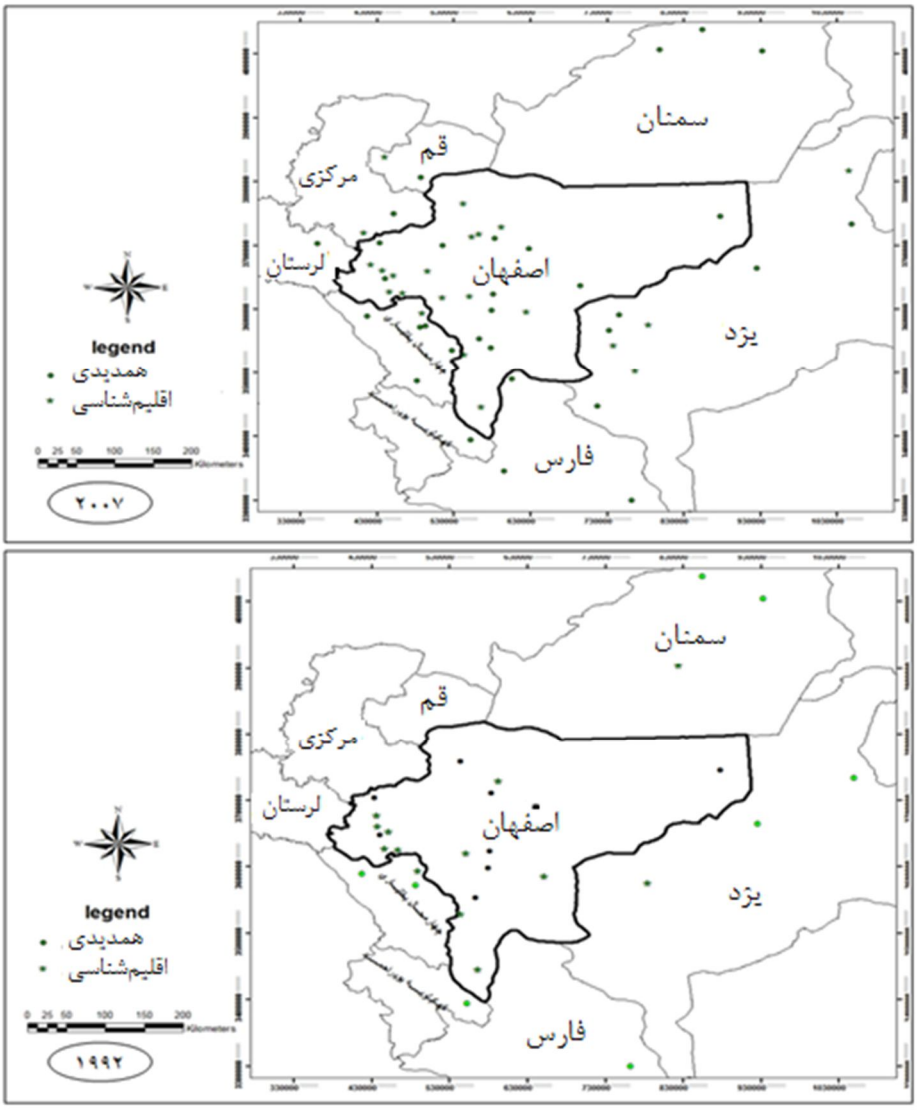


شکل ۱- موقعیت استان اصفهان در کشور

برای دستیابی به نتایج مؤثر و مفید از روزهای دو سال مورد نظر، به دلیل تعداد زیاد داده‌ها در مقیاس روزانه سعی گردید که نمونه‌های انتخابی نماینده تغییرات دمای کمینه روزانه هوا بوده و روزهای مختلفی از ماه‌های سال در فرایند تحلیل مکانی دخالت داده شوند. به همین دلیل، میانگین و انحراف معیار و ضریب تغییرات منطقه‌ای دمای هوا در هر یک از روزهای سال‌های ۱۹۹۲ و ۲۰۰۷ محاسبه و ضریب تغییرات منطقه‌ای دما در برابر متوسط منطقه‌ای دمای روزانه ترسیم گردید. در انتها به‌طور تصادفی و در بازه‌های مشخص ضریب تغییرات منطقه‌ای، تعداد ۲۴ نمونه از ۱۲ ماه سال انتخاب شد (۲ روز از هر ماه) برای سال ۱۹۹۲ نیز به همین ترتیب ۲۴ روز انتخاب گردید. در کل محاسبات بر روی ۴۸ روز صورت گرفت. بررسی وضعیت نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگراف-اسمیرنوف در سطح اطمینان ٪۹۵ در محیط نرم‌افزار MiniTab انجام شد و مشاهده شد که در بین توزیع داده‌های دمای کمینه روزانه هر دو سال با توزیع نرمال تفاوت معناداری وجود ندارد و پس از آن به کمک شش روش وزنی عکس فاصله، کریجینگ، کوکریجینگ، کریجینگ- وایازی و وایازی چندگانه خطی و اسپیلاین عملیات درون‌یابی انجام گرفت که توضیح مختصری از این روش‌ها در ادامه آمده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۲- توزیع جغرافیایی ایستگاه‌های همدیدی و اقلیم‌شناسی داخل و خارج از استان اصفهان در سال‌های ۱۹۹۲ و ۲۰۰۷

پایه تمامی روش‌های به‌کار گرفته‌شده در این پژوهش این است که هر نقطه اندازه‌گیری شده دارای یک محدوده تأثیر است که با فاصله کم‌تر می‌شود بنابراین نقاط اندازه‌گیری شده‌ای که به موقعیت نقطه مجهول نزدیک‌ترند تأثیر بیشتری نسبت به مقادیر دورتر بر روی مقدار پیش‌بینی دارند. کریجینگ روش تخمینی است که بر پایه «میانگین متحرک وزن‌دار» است و بهترین تخمین‌گر خطی ناریب است و یکی از ویژگی‌های مهم کریجینگ این است که به ازای هر تخمینی خطای مرتبط با آن را می‌توان محاسبه کرد. معادله (۱) رابطه کلی کریجینگ را نشان می‌دهد.

$$Z^* = \sum_{i=1}^{N} \lambda_i Z_{(X_i)} \qquad (۱)$$

که در آن n تعداد داده ها، Z^* مقدار داده مکانی تخمین زده‌شده، $Z_{(x_i)}$ مقدار داده مکانی مشاهده‌شده در نقطه iام و λ_i وزن نمونه x_i می‌باشد که نشان‌دهنده اهمیت نقطه iام در محاسبات کریجینگ می‌باشد. کریجینگ یک تخمین‌گر ناریب با پایین‌ترین واریانس تخمین است. از ویژگی‌های دیگر کریجینگ این است که خطای کریجینگ تابع مشخصات نیم‌تغییرنمای آن می‌باشد ولی تابع مقادیر واقعی داده‌ها نمی‌باشد. به همین دلیل خصوصیاتی مثل فاصله نمونه‌ها تا نقطه تخمین و نحوه پراکندگی نقاط نمونه‌برداری بر نیم‌تغییرنما و در نتیجه آن بر روی خطای تخمین تأثیر می‌گذارند. ویژگی دیگر این که کریجینگ موجب نرم شدن تغییرات (کاهش نوسانات) می‌شود یعنی توزیع نمونه‌ها نسبت به مقدار واقعی آن‌ها، تغییرات کم‌تری دارد. به همین دلیل در-صورتی‌که نباید تغییرات نرم شوند کریجینگ روش

www.SID.ir

Archive of SID

مناسبی نمی‌باشد (حسنی‌پاک، ۱۳۷۷). در روش کریجینگ، ابتدا با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف برازش داده‌ها بر توزیع نرمال در سطح اطمینان ٪۹۵ در محیط نرم‌افزار MiniTab انجام شد و سپس از بین مدل‌های کروی، نمایی، خطی، خطی دارای حد آستانه و گوسی برازش داده‌شده بر داده‌ها نیم‌تغییرنمای بهینه بر اساس مجموع مربعات خطای کم‌تر (RSS)[1] و ضریب همبستگی بالاتر انتخاب شد. در شرایطی که از یک متغیر به‌اندازه کافی نمونه‌برداری نشده باشد و با نمونه‌های موجود نتوان تخمین با دقت موردنظر را انجام داد. به‌کار بردن روش کوکریجینگ پیشنهاد می‌شود و با در نظر گرفتن رابطه مکانی بین متغیر موردنظر و متغیر کمکی که نمونه‌برداری آن به‌خوبی انجام‌شده است، می‌توان تخمین بهتری را انجام داد. معادله (۲) رابطه کلی کوکریجینگ را نشان می‌دهد.

$$Z^*_{(x_i)} = \sum_{i=1}^{n}\left(\lambda_k Z_{(x_i)}\right)\sum_{k=1}^{n}\left(\lambda_k . y(x_k)\right) \qquad (۲)$$

که در آن $Z^*_{(x_i)}$ مقدار تخمین زده‌شده متغیر اصلی برای نقطه x_i، λ_i وزن مربوط به متغیر Z، λ_k وزن مربوط به متغیر کمکی y، $Z_{(x_i)}$ مقدار مشاهده‌شده متغیر اصلی $y_{(x_i)}$ مقدار مشاهده شده متغیر کمکی است (حسنی‌پاک، ۱۳۷۷). روش کوکریجینگ بر پایه همبستگی بین متغیر اصلی و کمکی، استوار است. شرط استفاده از این روش داشتن ضریب همبستگی نسبتاً بالا (بیش‌تر از ۰/۵) و فراوانی متغیر کمکی در منطقه می‌باشد. از آن‌جا که افت‌آهنگ دمای هوا با ارتفاع همبستگی داشته، در این تحقیق برای درون‌یابی دمای کمینه روزانه، ارتفاع به‌عنوان بهترین انتخاب برای متغیر کمکی در نظر گرفته شد. در تمامی روزها ضریب همبستگی دما و ارتفاع بیش از ۰/۵ و برای روزهای مختلف ضریب همبستگی در سطح یک درصد معنادار به‌دست آمد ($p<۰/۰۰۰۱$). همچنین داده‌های متغیر کمکی نیز باید از توزیع نرمال پیروی کند و نیم‌تغییرنمای آن نیز باید ساختاردار باشد. به همین علت توزیع داده‌های ارتفاع در سطح احتمال ٪۹۵ توسط آزمون کلموگروف-اسمیرنوف در نرم‌افزار MiniTab مورد آزمون قرار گرفت و معلوم شد که داده‌های ارتفاع از توزیع نرمال تبعیت می‌کند و سپس توسط نرم‌افزار Gs^+ آنالیز ساختاری داده‌های ارتفاع محاسبه شد. برای استفاده از روش کریجینگ- وایازی باید متغیرهای مستقل در منطقه مطالعاتی موجود باشد. متغیرهای مستقل مورد استفاده برای درون‌یابی دمای کمینه، طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌ها می‌باشند و رابطه بین متغیرهای مستقل و وابسته به‌صورت یک رابطه وایازی خطی سه‌گانه توسط نرم‌افزار MiniTab برای هر یک از روزهای سال‌های ۲۰۰۷ و ۱۹۹۲ محاسبه شد و مقادیر باقی‌مانده(R) در هر ایستگاه از طریق معادلات (۳ و ۴) محاسبه گردید.

$$R=T-T^* \qquad (۳)$$

$$T^*=a+bx+cy+dh \qquad (۴)$$

که در آن x ,y طول و عرض جغرافیایی، h ارتفاع، d، c، b و a ضرایب معادله و T و T^* به‌ترتیب دمای کمینه روزانه تخمینی و واقعی می‌باشد و در ادامه مقادیر باقی‌مانده به‌دست آمده مجدداً با روش کریجینگ در نرم‌افزار Gs^+ درون‌یابی شد و مقادیر جدید فوق به مقادیر تخمینی توسط معادله وایازی خطی چندگانه اضافه و به‌عنوان مقادیر تخمینی نهایی برای ارزیابی مورد استفاده قرار گرفت. روش وزنی عکس فاصله برمبنای نسبت فاصله مقادیر مشاهداتی همسایه از نقطه اندازه‌گیری نشده، وزنی به هر یک از نقاط می‌دهد و از آن‌ها در معادلات استفاده می‌کند. واضح است که وزن نقاط نزدیک‌تر بیش‌تر است و از معادله (۵) می‌توان آن را محاسبه نمود.

$$Z(x,y) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i Z_i \qquad (۵)$$

که Z (x,y) مقدار نقطه مجهول و λ_i وزن مربوط به نقطه iام در تعیین مقدار نقطه مجهول است و از معادله (۶) به‌دست می‌آید.

$$\lambda_i = \frac{\frac{1}{d_i^P}}{\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{d_i^P}} \qquad \sum \lambda_i = 1 \qquad (۶)$$

که Z_i مقدار مربوط به نقطه iام، n تعداد مشاهدات، d فاصله نقطه مجهول تا نقطه iام و p توان یا ضریبی است که وزن را تعیین می‌کند (جامعی، ۱۳۸۸). در روش اسپیلاین از چندجمله‌ای‌ها استفاده می‌شود و از برازش یک تابع چندجمله‌ای بر مبنای داده‌های نمونه، مقادیر

[1] Residual Sums of Squares

www.SID.ir

Archive of SID

مجهول تخمین زده می‌شود. در این روش، در سطح تغییرات ناگهانی وجود ندارد. ولی به شدت از دقت مدل کاسته می‌شود معادله کلی اسپیلاین به‌صورت معادله (۷) است.

$$Z_{(x,y)} = T_{(x,y)} + \sum_{j=1}^{n} \lambda_j R_{(r_j)} \qquad (۷)$$

که n تعداد نقاط نمونه، λ_i ضریب راه حل معادلات خطی، r_j فاصله از نمونه iام و $T_{(x,y)}$ و $R_{(rj)}$ با توجه به نوع اسپیلاین تعیین می‌شوند (فرجی سبکبار و عزیزی، ۱۳۸۵). در این پژوهش برای اجرای روش اسپیلاین از نرم‌افزار ArcGIS 9.2 استفاده شد. در روش وایازی چندگانه خطی بین متغیرهای مستقل که شامل طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌ها می‌باشند و متغیر وابسته (دمای کمینه روزانه) یک رابطه وایازی چندگانه خطی برقرار می‌شود. برای انجام این روش از نرم‌افزار MiniTab استفاده شد و معادلات وایازی چندگانه خطی برای داده‌های دمای کمینه روزهای منتخب سال‌های ۱۹۹۲ و ۲۰۰۷ محاسبه شد. برای ارزیابی دقت روش‌های مذکور، روش اعتبارسنجی حذفی به‌کار گرفته شد و از چهار سنجه ریشه میانگین مربعات خطا [1](RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE)[2]، میانگین خطای اریب (MBE)[3] و ضریب همبستگی (r)[4] استفاده شده است. معادلات (۸، ۹، ۱۰ و ۱۱) روابط این سنجه‌ها هستند (ویلموت[5]، ۱۹۸۲). بر اساس سنجه‌های فوق، بهترین روش درون‌یابی روشی است که کم‌ترین خطا را داشته باشد. سنجه‌های MAE و RMSE بیان‌کننده دقت روش درون‌یابی به‌کار رفته می‌باشند و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشند نشان‌دهنده نزدیک‌تر بودن مقادیر تخمین زده‌شده به مقادیر واقعی و بالاتر بودن دقت مدل می‌باشد. سنجه MBE بیان‌گر متوسط اختلاف مقادیر تخمین زده‌شده از مقادیر اندازه‌گیری شده است که هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد بیان‌گر دقت بیش‌تر در برآورد مقادیر واقعی است به بیان دیگر، اختلاف بین مقادیر تخمینی و اندازه‌گیری شده کم‌تر می‌باشد. البته قابل ذکر است که در مواردی که مجموع مقادیر مثبت و منفی اختلاف‌های مقادیر تخمینی و اندازه‌گیری شده برابر باشد استفاده از این سنجه ایجاد اشتباه می‌نماید. به دلیل اینکه مقدار این سنجه به صفر نزدیک شده که این مسئله گمراه‌کننده است چرا که مقادیر مثبت و منفی در اطراف میانگین برابر بوده است (ویلموت، ۱۹۸۲). به همین دلیل در پژوهش حاضر سنجه MBE محاسبه ولی برای ارزیابی مدل‌های درون‌یابی از سنجه‌های RMSE، MAE و r استفاده شده است.

$$RMSE = \left[\sum_{i=1}^{n} \left(Z^*(x_i) - z(x_i)\right)^2 / n\right]^{1/2} \qquad (۸)$$

$$MAE = |Z^*(x_i) - Z(x_i)| / n \qquad (۹)$$

$$MBE = |Z^*(x_i) - Z(x_i)| / n \qquad (۱۰)$$

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}} \qquad (۱۱)$$

که درآن‌ها $Z^*(x_i)$ مقدار تخمینی در نقطه x_i، $Z(x_i)$ مقدار واقعی در نقطه x_i، n تعداد نقاط، $\bar{x}$ میانگین مقادیر واقعی، x مقادیر واقعی، $\bar{y}$ میانگین مقادیر تخمینی و y مقادیر تخمینی است.

نتایج و بحث

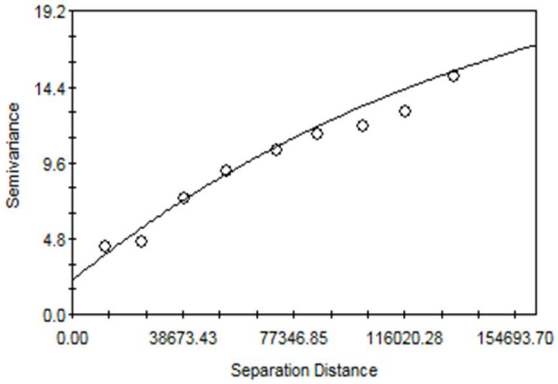
با بررسی نتایج در روش کریجینگ مشاهده می‌شود که در مورد دمای کمینه سال ۲۰۰۷ در ٪۶۷ موارد مدل نیم‌تغییرنما، مدل کروی، در ٪۲۱ موارد مدل نمایی و در ٪۱۲ موارد مدل گوسی به‌عنوان بهترین مدل انتخاب شده است. دامنه تأثیر داده‌ها بین ۳/۲ تا ۹۸/۱ کیلومتر می‌باشد و بررسی نسبت قسمت ساختاردار به بی‌ساختار نشان می‌دهد که در همه موارد نسبت فوق بالای ٪۶۲ و در ٪۸۰ موارد بالای ۸۰ درصد بوده است. در مورد دمای کمینه روزانه سال ۱۹۹۲ در ٪۳۳ موارد مدل نیم‌تغییرنما، مدل کروی، در ٪۱۷ موارد مدل نمایی و در٪۵۰ موارد مدل گوسی به‌عنوان بهترین مدل انتخاب شده است. دامنه تأثیر داده‌ها بین ۹/۶ تا ۹۸/۷ کیلومتر است و بررسی نسبت قسمت ساختاردار به بی‌ساختار نشان می‌دهد که در همه موارد نسبت فوق بالای ٪۵۰ و در ٪۷۰ موارد بالای ۷۰ درصد است. شکل ۳ یک نمونه از نیم‌تغییر نمای تجربی ومدل نمایی برازش داده‌شده بر آن

[1] Root Mean Square Error
[2] Mean Absolute Error
[3] Mean Bias Error
[4] Correlation Coefficient
[5] Willmott

www.SID.ir

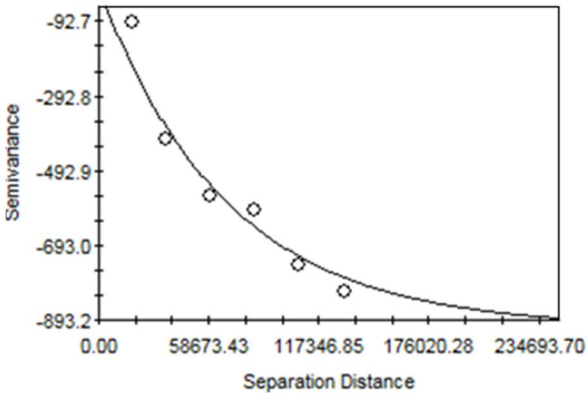
Archive of SID

مربوط به دمای کمینه روز ۲۶ نوامبر سال ۲۰۰۷ نشان داده‌شده است.



شکل۳- نیم‌تغییرنمای تجربی ومدل نمایی داده‌های دمای کمینه روز ۲۶ نوامبر ۲۰۰۷

در روش کوکریجینگ نتایج آنالیز ساختاری داده‌های ارتفاع نشان می‌دهد که در سال ۲۰۰۷ دارای اثر قطعه‌ای ۱۰۰ مترمربع در دامنه تأثیر ۴۸/۹ کیلومتر و آستانه ۹۶۲۰۰ مترمربع و نسبت بخش ساختار دار به کل ۰/۹۹ به‌دست آمد. در سال ۱۹۹۲، اثر قطعه‌ای ۱۰۰ مترمربع در دامنه تأثیر ۱۱/۵ کیلومتر و آستانه ۲۰۹۹۰۰ مترمربع و نسبت بخش ساختار دار به کل ۱ محاسبه گردید. این نتایج بیان‌گر این می‌باشد که در هر دو سال داده‌های ارتفاع از ساختار مکانی خوبی برخوردار بوده است. در این روش تغییرات هم‌زمان دو متغیر اصلی و کمکی (نیم‌تغییرنمای متقابل) نیز باید ساختاردار باشد. در شکل (۴) یک نمونه از نیم تغییر نمای متقابل تجربی و مدل نمایی برازش داده شده مربوط به دمای کمینه روز ۲۶ نوامبر سال ۲۰۰۷ نشان داده شده است.



شکل۴- نیم‌تغییرنمای تجربی و مدل نمایی داده‌های دمای کمینه روز ۲۶ نوامبر ۲۰۰۷

با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که در مورد دمای کمینه روزانه سال ۲۰۰۷ در ٪۳۳ موارد مدل نیم‌تغییرنمای متقابل، مدل کروی، در ٪۳۳ موارد مدل نمایی و در٪۲۹ موارد مدل گوسی به‌عنوان بهترین مدل انتخاب‌شده است. دامنه تأثیر داده‌ها بین ۳ تا ۹۷/۵ کیلومتر است و بررسی نسبت قسمت ساختاردار به بی‌ساختار نشان می‌دهد که در همه موارد نسبت فوق بالای ٪۹۸ می‌باشد. در مورد دمای کمینه روزانه سال ۱۹۹۲ در ٪۵۴/۲ موارد مدل نیم‌تغییرنمای متقابل، مدل کروی بوده و در ٪۴۱/۶ موارد مدل گوسی به‌عنوان بهترین مدل انتخاب شده است. دامنه تأثیر داده‌ها بین ۲/۴ تا ۹۶/۸ کیلومتر می‌باشد و بررسی نسبت قسمت ساختاردار به بی‌ساختار نشان می‌دهد که در همه موارد نسبت فوق بالای ٪۹۹ می‌باشد. در روش وزنی عکس فاصله برای تعیین تعداد نقاط و توان بهینه در برآورد منطقه‌ای دمای کمینه روزهای منتخب داده‌های سال‌های ۱۹۹۲ و ۲۰۰۷، تعداد نقاط همسایگی ۵،۱۰، ۱۵ و ۲۰ و توان‌های ۱ تا ۵ مورد بررسی قرار گرفت که در ٪۵۰ موارد توان ۱، در ٪۲۱ موارد توان ۳، در ٪۲۰ موارد توان ۱ و در ٪۱۷ موارد توان ۲ به‌عنوان توان بهینه و در خصوص تعداد ایستگاه‌های بهینه در ٪۳۷ موارد تعداد ۱۰ ایستگاه، در ٪۳۰ موارد تعداد ۵ ایستگاه و در ٪۳۳ تعداد ۲۰ ایستگاه به‌عنوان تعداد ایستگاه بهینه در سال ۲۰۰۷ شناخته شدند. همچنین روزهای ۲۹ نوامبر و۱۷ ژوئیه با کم‌ترین مقدار RMSE دارای کم‌ترین مقدار خطا و روزهای ۱۲و ۲۹ ژانویه با بیش‌ترین مقدار RMSE دارای بیش‌ترین مقدار خطا می‌باشند. برای سال۱۹۹۲در ٪۷۵ موارد توان ۱، در ٪۱۷ موارد توان ۳ و در ٪۸ موارد توان ۲ و در ٪۶۳ موارد تعداد ۵ ایستگاه و در ٪۳۷ تعداد ۱۰ ایستگاه به‌عنوان توان و تعداد ایستگاه بهینه شناخته شدند. همچنین روزهای ۲۸ سپتامبر و ۱۴ دسامبر با کم‌ترین مقدار RMSE دارای کم‌ترین مقدار خطا و روزهای ۲ می و ۲۰ ژانویه با بیش‌ترین مقدار RMSE دارای بیش‌ترین مقدار خطا می‌باشند. پس از بررسی معادلات وایازی چندگانه خطی در روزهای متفاوت مشاهده شد که ضرایب ارتفاع (h) و عرض جغرافیایی (y) تقریباً در تمامی ماه‌ها منفی و ضرایب طول جغرافیایی (x) نیز مثبت است که نشان می‌دهد تغییرات دما با افزایش ارتفاع و عرض

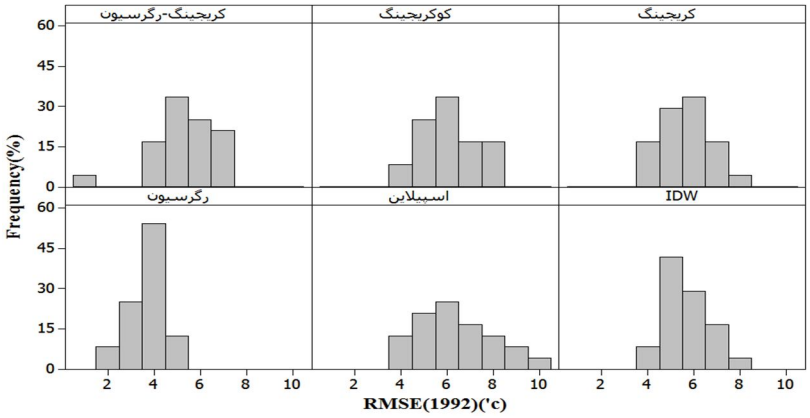
www.SID.ir

Archive of SID

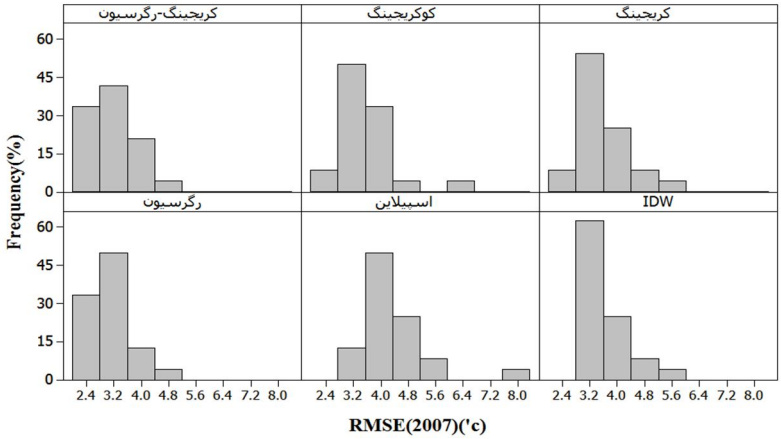
جغرافیایی کاهش می‌یابد و با افزایش طول جغرافیایی افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

ارزیابی سنجه‌های خطای دمای کمینه سال ۱۹۹۲ که در این پژوهش به‌عنوان یک سال با تعداد کم ایستگاه انتخاب شده بود (اشکال ۵ و ۷)، نشان می‌دهد بهترین روش درون‌یابی دمای کمینه روزانه در ٪۱۰۰ موارد روش وایازی چندگانه خطی است و ارزیابی سنجه‌های خطای دمای کمینه سال ۲۰۰۷ (سال با تعداد ایستگاه‌های بیش‌تر) نشان می‌دهد (اشکال ۶ و ۸). بهترین روش درون‌یابی دمای کمینه روزانه در ٪۵۸ موارد روش وایازی چندگانه خطی و در ٪۴۲ موارد روش کریجینگ- وایازی می‌باشد و نمی‌توان یک روش درون‌یابی خاص را برای همه روزهای یک ماه یا سال استفاده کرد. به بیان دیگر دقت روش‌های درون‌یابی در روزهای مختلف یک ماه متفاوت می‌باشد. افزایش تعداد ایستگاه در سال ۲۰۰۷ باعث افزایش دقت تخمین دمای کمینه روزانه در همه روش‌ها نسبت به سال ۱۹۹۲ شده است. نتایج به‌دست آمده از سنجه‌های آماری ارزیابی مدل‌ها، با آنچه ویلموت (۱۹۸۲) در خصوص کیفیت و اعتماد به این سنجه‌ها بیان نموده، مشابه است. یان و همکارانش در مطالعه‌ای که در سال۲۰۰۵ انجام دادند به نتایجی مشابه دست یافته بودند به این ترتیب که خطای مدل در روش وایازی که در آن از متغیرهای ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی استفاده شده بود کم‌ترین و بیش‌ترین خطا را روش اسپیلاین داشته و البته کریجینگ معمولی در بین روش‌های زمین‌آمار کم‌ترین خطا را داشته است. نادی نیز در پژوهشی در سال ۱۳۸۹ نشان داده است که روش وایازی خطی سه‌گانه که در آن متغیرهای ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی به‌عنوان متغیرهای مستقل برای تخمین دمای ماهانه دو سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۳ به‌کار رفته است بهترین نتیجه را داشته است و روش اسپیلاین دارای بالاترین مقدار خطا بوده است.



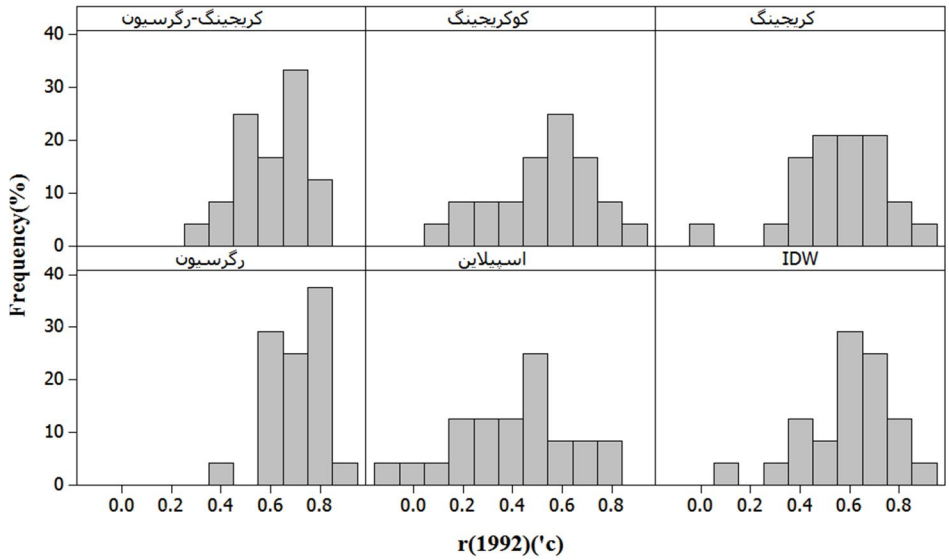
شکل۵- درصد فراوانی مقادیر ریشه میانگین مربعات خطای دمای کمینه در سال۱۹۹۲



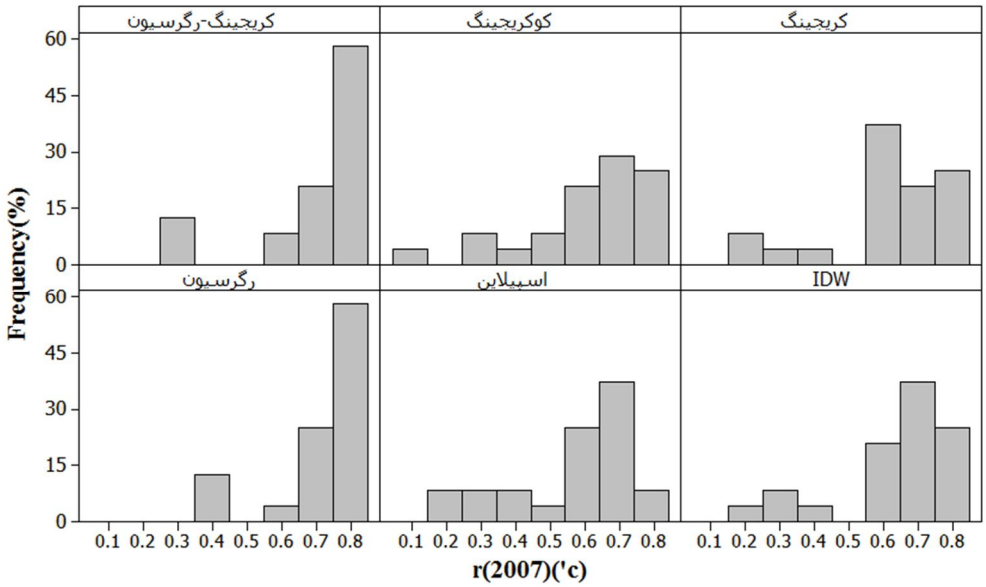
شکل۶- درصد فراوانی مقادیر ریشه میانگین مربعات خطای دمای کمینه در سال۲۰۰۷

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۷- درصد فراوانی مقادیر ضریب همبستگی دمای کمینه در سال۱۹۹۲



شکل ۸- درصد فراوانی مقادیر ضریب همبستگی دمای کمینه در سال۲۰۰۷

یک مدل خاص درون‌یابی، بسته به توپوگرافی منطقه مطالعاتی، تراکم و پراکنش ایستگاه‌ها در شرایط مختلف دقت‌های متفاوتی دارد و برای اطمینان از اینکه دقت مکانی تا چه اندازه نشان‌دهنده اقلیم واقعی منطقه می‌باشد، باید از یک اقلیم‌شناس تجربی کمک گرفت (کریستفر[1]، ۲۰۰۶). دما در مناطق کوهستانی به شدت تحت تأثیر شیب، جهت و ... منطقه می‌باشد و برای بهبود دقت نتایج درون‌یابی دما، لازم است روش‌هایی را به کار برد که شیب، جهت و ... منطقه مطالعاتی در آن آمده باشد ((دنیل و همکاران، ۲۰۱۰) وایازی محلی) و حتی‌الامکان از تعداد ایستگاه‌های بیش‌تری استفاده شود.

[1] Christopher

منابع

حسنی پاک، ع. ۱۳۷۷. زمین‌آمار (ژئواستاتیستیک). انتشارات دانشگاه تهران.

جامعی، م. ۱۳۸۸. ارزیابی روش‌های درون‌یابی در برآورد منطقه‌ای تبخیر و تعرق مرجع و مقایسه با نتایج موجود حاصل از تصاویر ماهواره‌ای در دشت‌های مرکزی و شمالی خوزستان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. هواشناسی کشاورزی. دانشگاه آزاد اسلامی. واحد علوم و تحقیقات تهران.

www.SID.ir

Archive of SID

فرجی‌سبکبار، ح.، عزیزی، ق. ۱۳۸۵. ارزیابی میزان دقت روش‌های درون‌یابی فضایی (مطالعه موردی الگوسازی بارندگی حوزه کارده مشهد). پژوهش‌های جغرافیایی، ۵۸: ۱۵-۱.

مهدی‌زاده، م. ۱۳۸۱. ارزیابی روش‌های زمین‌آماری برای برآورد دما و بارندگی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، هواشناسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

نادی، م. ۱۳۸۹. استفاده از تکنیک‌های مختلف پهنه‌بندی داده‌های اقلیمی برای تعیین مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر بر رویش درختان ناحیه مرتفع چهارباغ گرگان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، هواشناسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

Burrough, P. A., McDonnell, R. A. 1998. Principles of geographical information systems. NewYork: Oxford University Press.

Christopher, D. 2006. Guidelines for assessing the suitability of spatial climate data sets. Int. J. Climatol., 26:707-721.

Carrera-Herna´ndez J. J., Gaskin, S. J. 2007. Spatio temporal analysis of daily precipitation and temperature in the Basin of Mexico. J. Hydrol., 336, 231– 249

Collins, F. C., Bolstad, P. V. 1996. A comparison of spatial interpolation techniques in temperature estimation. In. Proceedings of the third international conference on integrating GIS and Environmental modeling, Santa Fe, New Mexico, January: 21-25.

Daniel, J., Thierry, B., Herv´e C., Jean C., Hilal, M., Pierre, W. 2010. Temperature interpolation based on local information: the example of France. Int. J. Climatol., 31(14): 2141-2153.

Hutchinson, M. F., Gessler, P. E. 1994. Splines more than just a smooth interpolator. Geoderma, 62:45-67.

Hong, Y., Nix, H. A., Hutchinson, M. F., Booth, T. 2005. Spatial interpolation of monthly mean climate data f or China. Int. J. clim., 25: 136-137.

Taskinen, a., Sirvio, H., Vehvilainen, B. 2003. Interpolation of daily temperature in Finland. Nordic hydrol., 34(5): 413-426.

Willmott, C. J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. Bulletin American Meteorol. Soc., 63(11): 1309-1313.

Chuanyan, Z., Zhongren, N., Guodong, C. 2005. Methods for modelling of temporal and spatial distribution of air temperature at landscape scale in the southern Qilian mountains, China. Ecological Modelling, 189: 209–220.

Yang J. S., Wang Y. Q., August P. V. 2004. Estimation of Land Surface Temperature Using Spatial Interpolation and Satellite-Derived Surface Emissivity. J. Environ. Informatics, 4(1): 37-44.

Ustrnul. Z., Czekierda. D. 2005. Application of GIS for the development of climatological air temperature maps.an example from Poland. Meteorol. Appl. 12, 43–50

www.SID.ir

Archive of SID

Journal of Agricultural Meteorology
Vol. 3, No. 2, Autumn &Winter 2015, pp. 14-23

نشریه هواشناسی کشاورزی
جلد ۳، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۴، صص.۲۳- ۱۴

Comparison of different regional estimation methods for daily minimum temperature (A case study of Isfahan province)

Gh. Fadavi[1], J. Bazrafshan[2*], N. Ghahreman[2]

Received: 02/11/2013
Accepted: 26/09/2015

Abstract

The main objective of this study is to evaluate different interpolation methods for estimation of regional minimum temperature in Isfahan province, Iran. In order to explore the effect of stations number on the accuracy of the interpolation methods, two years 1992 and 2007 with different number of meteorological stations have been selected. The daily minimum temperature (T_{min}) data of 30 meteorological stations (17 synoptic and 13 climatological stations) for year 1992 year and 54 meteorological stations (31 synoptic and 23 climatological stations) for 2007 year were collected from Isfahan and neighboring provinces. In order to regionalize the point data of T_{min}, several interpolation methods, including inverse distance weighted (IDW), Kriging, Co-Kriging, Kriging-Regression, Multiple Regression and Spline were worked out. To evaluate the performance of these methods, 2 days from each month, i.e. total 24 days for both years were chosen randomly. The obtained results were compared using statistical measures including: RMSE, MBE, MAE and correlation coefficient (r). The findings revealed that the application of multiple regression method for interpolation produced the least error in estimation of minimum temperature in 1992 (with RMSE ranging from 2.33 to 5.12 and r from 0.38 to 0.85). For 2007 year, the best estimation was achieved by multiple regression and Kriging-Regression (RMSE from 2.36 to 5 and r ranging from 0.38 to 0.83) respectively. The overall performance of Kriging, Co-Kriging, IDW, and Spline methods was also acceptable and they were in next ranks respectively. In general, with increasing number of study the overall accuracy of model performance in estimation of daily minimum temperature has been improved.

Keywords: Interpolation, minimum temperature, Isfahan, Iran

[1] M. Sc. Graduate, Agrometeorology, University of Tehran
[2] Associate Prof. University of Tehran
(*Corresponding author email address: jbazr@ut.ac.ir)

www.SID.ir