

مطالعه تطبیقی روش‌های برآورد منطقه‌ای دمای بیشینه روزانه (مطالعه موردی: استان اصفهان)

قمر فدوی^۱ - جواد بذرافشان^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۷/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۱۵

چکیده

تعیین توزیع منطقه‌ای دمای بیشینه روزانه نقش مهمی در اجرای منطقه‌ای مدل‌های اقلیم-محصول و به‌خصوص ارزیابی نواحی تحت تنش دمایی پوشش‌های گیاهی دارد. هدف تحقیق حاضر ارزیابی دقت روش‌های درون‌یابی در برآورد منطقه‌ای دمای بیشینه روزانه در استان اصفهان و نیز مقایسه دقت این روش‌ها در دو سال مختلف با تعداد ایستگاه‌های متفاوت و تأثیر آن در میزان دقت روش‌های درون‌یابی می‌باشد. در این پژوهش برای درون‌یابی دمای بیشینه روزانه استان اصفهان از داده‌های ایستگاه‌های سازمان هواشناسی کشور در سال‌های ۱۹۹۲ و ۲۰۰۷ استفاده شد. سال ۱۹۹۲ با تعداد ۳۰ ایستگاه (۱۹ ایستگاه همدیدی و ۱۱ ایستگاه اقلیم‌شناسی) به‌عنوان سال با تعداد ایستگاه کم و سال ۲۰۰۷ با تعداد ۵۴ ایستگاه (۳۱ ایستگاه همدیدی و ۲۳ ایستگاه اقلیم‌شناسی) به‌عنوان سال با تعداد ایستگاه‌های تقریباً دو برابر سال ۱۹۹۲ انتخاب شدند. جهت منطقه‌ای نمودن داده‌های نقطه‌ای دمای بیشینه روزانه روش‌های درون‌یابی شامل: وزنی عکس فاصله، کریجینگ، کوکریجینگ، کریجینگ-رگرسیون، روش رگرسیون چندگانه خطی و اسپیلاین بکار گرفته شد. ارزیابی نتایج درون‌یابی و انتخاب بهترین روش به کمک چهار آماره ریشه میانگین مربعات خطا، میانگین خطای مطلق و ضریب همبستگی انجام شد. بر اساس نتایج بدست آمده روش رگرسیون چندگانه خطی برای درون‌یابی داده‌های دمای بیشینه روزانه سال ۱۹۹۲ (با ریشه میانگین مربعات خطا از ۱/۴۱ تا ۴/۰۳، میانگین خطای مطلق از ۰/۹۸ تا ۲/۵۵ و ضریب همبستگی از ۰/۶۱ تا ۰/۹۵) و روش رگرسیون چندگانه خطی برای درون‌یابی داده‌های دمای بیشینه روزانه سال ۲۰۰۷ (با ریشه میانگین مربعات خطا از ۰/۹۹ تا ۳/۹۸، میانگین خطای مطلق از ۰/۷۷ تا ۲/۹۲ و ضریب همبستگی از ۰/۳۲ تا ۰/۹۷) با داشتن کمترین خطا به‌عنوان بهترین روش بوده و روش‌های کریجینگ-رگرسیون، کوکریجینگ، کریجینگ، وزنی عکس فاصله و اسپیلاین در مراتب بعدی قرار گرفتند. با توجه به نتایج به‌دست آمده از این مطالعه برای افزایش دقت تخمین پیشنهاد می‌شود نسبت به احداث ایستگاه‌های جدید به خصوص در مناطق با تنوع ارتفاعی، اقدام به عمل آید.

واژه‌های کلیدی: اصفهان، درون‌یابی، دمای بیشینه روزانه

مقدمه

مدل‌های محیطی مکانی سبب افزایش نیاز به روش‌های پیش‌بینی مکانی فراسنج‌های هواشناسی، از جمله دمای بیشینه هوا شده است. با توجه به کوتاه بودن طول دوره آماری، توزیع و پراکنش نامناسب ایستگاه‌های هواشناسی خصوصاً در مناطق کوهستانی، تعیین شرایط اقلیمی مناطق مختلف با پیچیدگی‌های خاصی همراه می‌باشد. از این رو طی سال‌های اخیر توجه ویژه‌ای به کاربرد تکنیک‌های درون‌یابی در ایجاد داده‌های اقلیمی پیوسته در مناطقی که امکان اندازه‌گیری آن‌ها وجود ندارد، صورت گرفته است (۱۲، ۱۳، ۱۸). در ادامه، برخی از مطالعات انجام شده در زمینه درون‌یابی داده‌های دمای هوا در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف ارائه می‌شود.

در مطالعات داخلی، ناد (۴) به منظور تخمین دمای متوسط

به‌دلیل اثرات اقلیم روی بوم سامانه‌ها و نیاز روزافزون بشر به تأمین مواد غذایی و ضرورت استفاده بهینه از اراضی کشاورزی و بهبود عملکرد سالانه گیاهان، تخمین توزیع مکانی متغیرهای اقلیمی بیشتر از گذشته برای مدیریت منابع طبیعی ضروری می‌باشد. نوسانات دمایی تأثیر مهمی در میزان عملکرد گیاهان، مخصوصاً هنگامی که دمای بیشینه هم‌زمان با گلدهی گیاه شود، دارد. روند توسعه و کاربرد

۱ و ۲- کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی و استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران

(Email: jbazr@ut.ac.ir)

(*- نویسنده مسئول)

۲۰۰۲ به‌دست آمده از ۸۱ ایستگاه در قسمت‌های مختلف فلاند انجام دادند، دریافتند که مدل معادلات رگرسیون کالیبره شده برای هر روز بهترین نتایج را در بر دارد. یانگ و همکاران (۲۱) نشان دادند که به منظور برآورد دمای سطح زمین در منطقه جنوب نیوانگلند، بیشترین خطای روزانه درون‌یابی دما در صبح زود و کمترین خطا در ساعات حدود ۶ عصر رخ می‌دهد و روش کریجینگ را برای درون‌یابی دمای سطح زمین در هنگامی که داده‌های تابش سطح موجود نباشد، پیشنهاد کردند. اسکروین و همکاران (۱۵) به جهت درون‌یابی میانگین سالانه دما در مطالعه‌ای به مقایسه چهار روش کریجینگ، کوکریجینگ، کریجینگ با روند خارجی و رگرسیون چندگانه خطی پرداختند و نشان دادند که روش کریجینگ با روند خارجی نتایج بهتری را در بردارد.

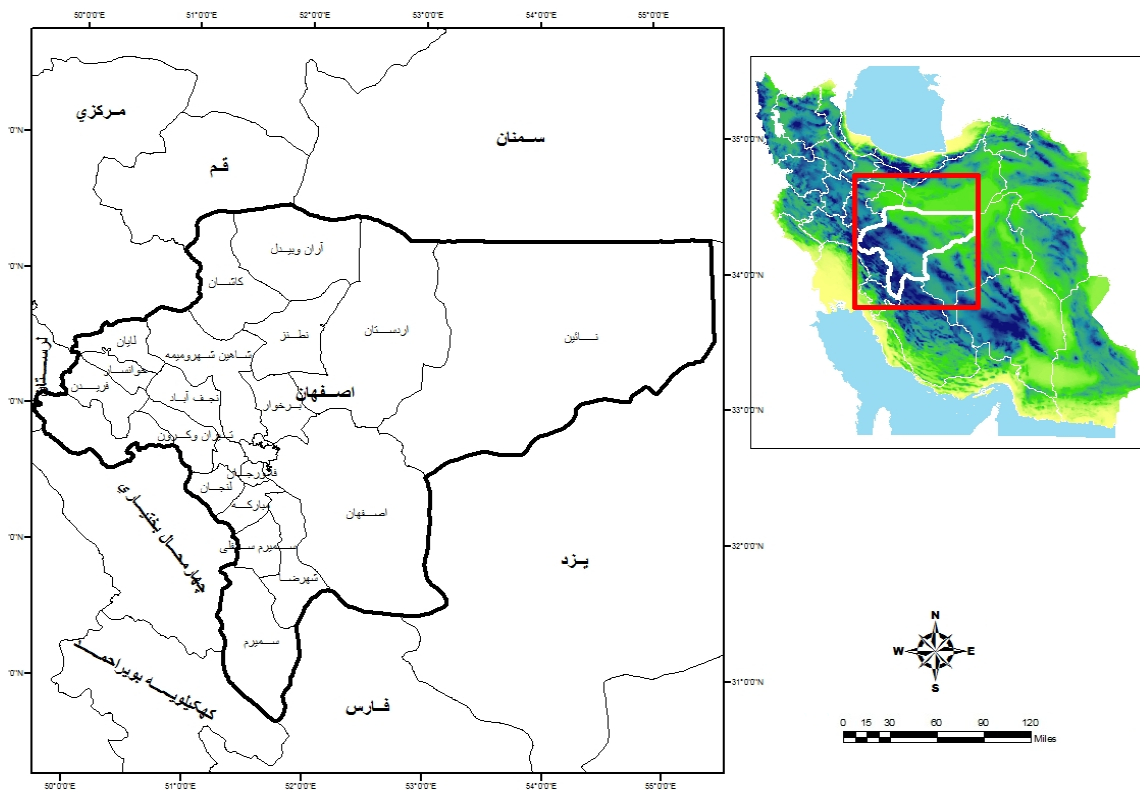
با توجه به اسناد و مدارک قابل دسترس در این مطالعه مشخص شد که تاکنون در مطالعات داخلی روش‌های مختلف درون‌یابی دمای بیشینه روزانه مورد بررسی و مقایسه قرار نگرفته‌اند. به هر حال، در اکثر مطالعات درون‌یابی داده‌های دما در مقیاس‌های مختلف زمانی (به ویژه ماهانه و سالانه) مدل‌های رگرسیون کمترین مقدار خطا را دارا می‌باشند. هدف تحقیق حاضر بر کردن خلاء تحقیقاتی در زمینه ارزیابی دقت روش‌های مختلف درون‌یابی در برآورد منطقه‌ای دمای بیشینه روزانه می‌باشد که به صورت موردی در استان اصفهان انجام می‌شود. برای ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی دمای بیشینه روزانه عدم قطعیت‌های مختلفی از قبیل فراوانی ایستگاه‌ها و تغییرات فصلی مورد توجه قرار گرفته‌اند.

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 و ۳۱ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار دارد. این استان در مرکز ایران واقع شده است و قسمت غربی آن به دامنه‌های شرقی رشته کوه‌های زاگرس ختم می‌شود. شکل (۱) موقعیت استان اصفهان را در کشور نشان می‌دهد. مطالعه حاضر با استفاده از داده‌های روزانه دمای بیشینه سال‌های ۱۹۹۲ و ۲۰۰۷ ایستگاه‌های هواشناسی همدیدی و اقلیم‌شناسی متعلق به سازمان هواشناسی کشور انجام شده است که این ایستگاه‌ها در محدوده ارتفاعی بین ۸۴۵ تا ۲۴۹۰ متر قرار گرفته است و آمار کلیه ایستگاه‌های منتخب (از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۷) از نظر کمی مورد ارزیابی قرار گرفت و مشخص شد که در هر سال، چه تعداد ایستگاه واجد آمار بودند.

ماهانه (سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۳) در قسمت جنوب شرقی شهر گرگان و منطقه جنگلی چهار باغ گرگان روش گرادیان خطی سه‌بعدی را جهت تخمین دمای متوسط ماهانه معرفی کردند. مهدی‌زاده (۲) نشان دادند که روش اسپیلاین با متغیر کمکی ارتفاع و توان ۲ نتیجه بهتری را برای برآورد سالانه و ماهانه دما ارائه می‌دهد اما باغبان‌باشی و سپاس‌خواه (۱) مناسب‌ترین روش را کریجینگ یافتند. در مطالعات خارجی، جولی و همکاران (۱۴) در پژوهشی به مقایسه چهار روش درون‌یابی رگرسیون، کریجینگ، کریجینگ-رگرسیون و رگرسیون محلی که بنام رگرسیون کرنل^۱ (این روش مانند محاسبه سطوح روند محلی با داده‌های وزن‌دار شده توسط فاصله می‌باشد که فادرینگهام^۲ آن را رگرسیون وزنی جغرافیایی^۳ نیز نام نهاده است) شناخته شده است، پرداختند. این بررسی روی داده‌های میانگین دمای ماهانه از سال ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۰ با استفاده از ۶۵۱ ایستگاه هواشناسی فرانسه انجام گرفت. ارزیابی دقت روش‌ها به کمک صحت سنجی متقابل انجام شد و نشان دادند که روش کریجینگ-رگرسیون تخمین دقیق‌تری از میانگین دمای ماهانه ارائه می‌دهد. وانگ وشاو (۱۹) در پژوهشی برای درون‌یابی داده‌های دمای سطح قطب جنوب از روش‌های رگرسیون چند گانه خطی، کریجینگ، وزنی عکس فاصله و اسپیلاین استفاده کرده و نشان دادند که ترکیب دو روش کریجینگ و رگرسیون چند گانه خطی نتایج بهتری را در بردارد. چن و همکاران (۸) در پژوهشی که روی نرمال‌های بلند مدت دمای ماهانه (۲۰۰۰-۱۹۷۱) داده‌های ۵۱۰ ایستگاه در سوئد انجام دادند و نشان دادند که نرمال‌های دما همبستگی قوی با عرض جغرافیایی در طول سال به‌خصوص در ماه‌های سرد دارد در صورتی که ارتفاع در ماه‌های ژوئن و ژوئیه فاکتور مهم‌تری می‌باشد. طول جغرافیایی تنها در ماه‌های آوریل و می نقش قابل توجهی دارد. استال و همکاران (۱۶) نیز در مطالعه‌ای به مقایسه ۱۲ مدل درون‌یابی بر پایه معادلات رگرسیون برای تخمین دمای بیشینه پرداختند. هونگ و همکاران (۱۲) به منظور درون‌یابی میانگین کمینه و بیشینه ماهانه دما (۲۰۰۰-۱۹۷۱) در چین روش اسپیلاین با متغیر کمکی ارتفاع را بعنوان روش برتر معرفی نمودند. یان و همکاران (۹) مطالعه‌ای روی میانگین ماهانه دمای هوا در منطقه کوهستانی کیلیان^۴ 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 سازی مراحل اکولوژیکی بعدی بسیار مهم می‌باشد. تاسکنین و همکاران (۱۷) در پژوهشی که روی داده‌های میانگین دمای روزانه سال‌های ۱۹۶۱-

- 1- Kernel
- 2- Fotheringham
- 3- Geographically Weighted Regression
- 4- Qilian



شکل ۱ - موقعیت استان اصفهان در کشور
Figure1- Situation of Isfahan province in the country

آن به کمک شش روش وزنی عکس فاصله، کریجینگ، کوکریجینگ، کریجینگ-رگرسیون و رگرسیون چند گانه خطی و اسپیلاین فرایند درون‌یابی انجام گرفت که در ادامه به‌طور مختصر این روش‌ها را شرح می‌دهیم.

روش وزنی عکس فاصله، یک روش یقینی است که در آن مقادیر برآورد شده تابعی از فاصله بین نقاط اندازه‌گیری شده بوده که مقدار آن‌ها با افزایش فاصله با خطای بیشتری برآورد می‌شود. روابط مربوطه به شرح زیر می‌باشد.

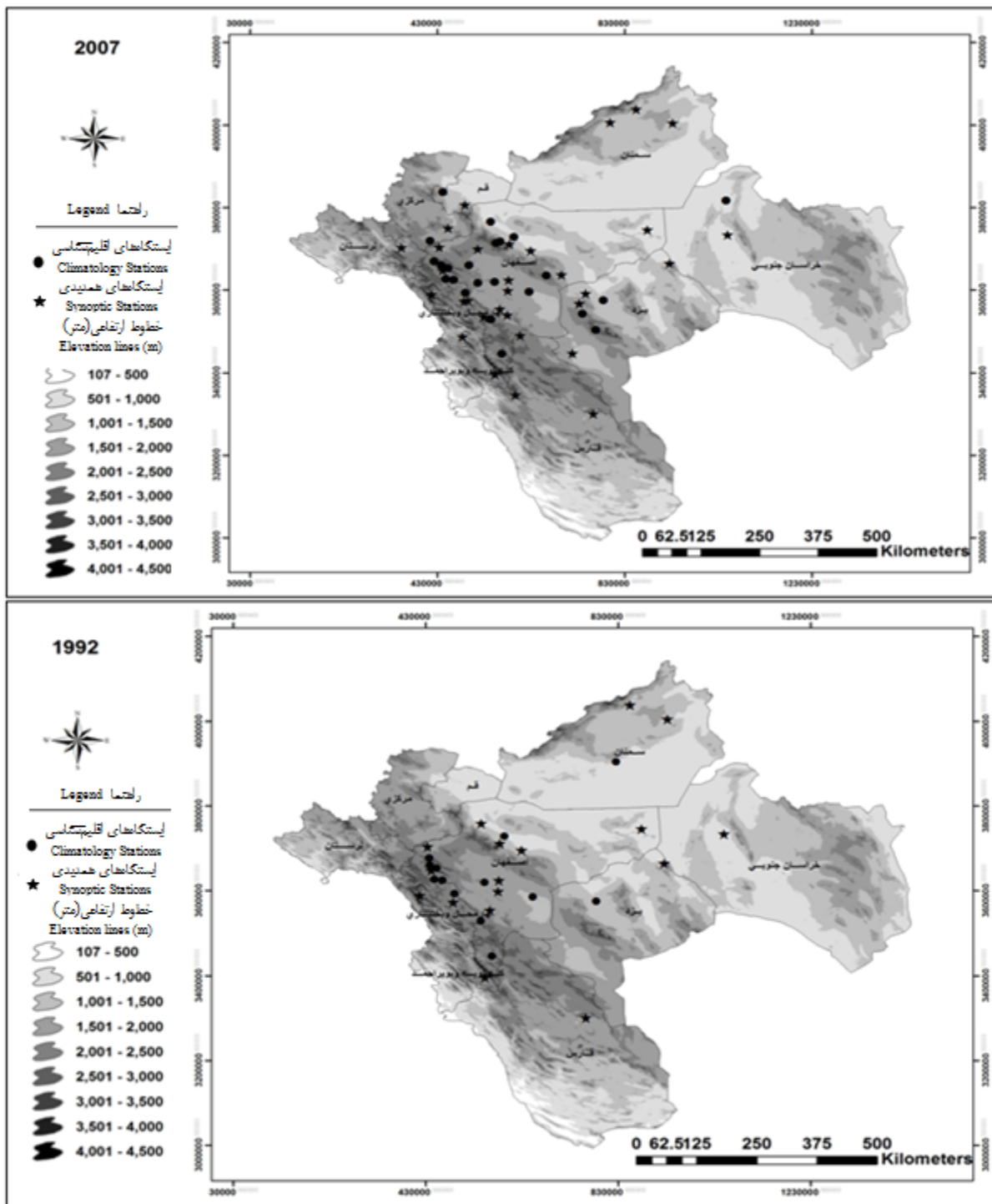
$$\hat{y}(x) = (x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i y(x_i) \quad (1)$$

$$\lambda_i = (1/d_i^p) / \sum_{i=1}^n (1/d_i^p) \quad (2)$$

در روابط مذکور $\hat{y}(x)$ مقدار برآورد شده، λ_i وزن مربوط به نقطه نام که از رابطه ۲ به‌دست می‌آید، $y(x_i)$ مقدار مشاهده شده d فاصله بین نقاط برآورد شده (مجهول) و مشاهده شده (معلوم) و p فاکتور توان که تابعی از فاصله بین نقاط می‌باشد. در روش معکوس وزنی فاصله به نقاط دارای فاصله یکسان از نقطه مورد تخمین، وزن یکسان داده می‌شود و موقعیت و آرایش آن‌ها در نظر گرفته نمی‌شود (۷) و (۱۱).

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.

به علت تعداد زیاد داده‌ها در مقیاس روزانه و به منظور دستیابی به نتایج مؤثر و مفید از روزهای سال‌های مورد نظر، سعی گردید که نمونه‌های انتخابی نماینده تغییرات دمای بیشینه روزانه هوا بوده و روزهای مختلفی از ماه‌های سال در فرایند تحلیل مکانی دخالت داده شوند. بنابراین، میانگین و انحراف معیار و ضریب تغییرات منطقه‌ای دمای هوا در هر یک از روزهای سال‌های ۱۹۹۲ و ۲۰۰۷ محاسبه و ضریب تغییرات منطقه‌ای در برابر متوسط منطقه‌ای دمای روزانه ترسیم گردید. در نهایت به‌طور تصادفی و در بازه‌های مشخص ضریب تغییرات منطقه‌ای دما، تعداد ۲۴ نمونه از ۱۲ ماه برای هر سال انتخاب شد (۲ روز از هر ماه) و در نهایت محاسبات درون‌یابی و ارزیابی روش‌های مختلف بر روی ۴۸ روز انجام شد. بررسی وضعیت نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگراف-اسمیرنوف در سطح اطمینان ۹۵ درصد در محیط نرم‌افزار MiniTab انجام شد و پس از



شکل ۲- توزیع جغرافیایی ایستگاه‌های هم‌دیدنی و اقلیم‌شناسی استان اصفهان در سال‌های ۱۹۹۲ و ۲۰۰۷
 Figear2- Geographical distribution of synoptic & climatology stations of Isfahan province in 1992 and 2007

دو روش، وزن و تعداد نقاط مشاهده شده در سطح ایجاد شده موثر می‌باشند. در این روش هر چه تعداد نقاط بیشتر باشد، تعداد نقاط استفاده شده در محاسبه هر یک از سلول‌های درون‌یابی بیشتر بوده و نتیجتاً سطح ایجاد شده هموارتر خواهد بود. اگر چه بایستی توجه

تخمین مقادیر نامعلوم در روش اسپیلاین به کمک یک تابع ریاضی می‌باشد که در آن انحناى سطح ایجاد شده به نحوی حداقل شده که به سطحی هموار که از کلیه نقاط می‌گذرد منتج می‌شود. این روش به دو دسته اسپیلاین منظم و کشتی تقسیم می‌شود که در هر

می‌باشد:

$$Z^*(x_i) = \sum_{i=1}^n (\lambda_i \cdot Z(x_i)) \sum_{j=1}^n (\lambda_j \cdot y(x_j)) \quad (5)$$

$Z^*(x_i)$ مقدار متغیر تخمین زده شده در نقطه x_i با وزن مربوط به متغیر Z ، $y(x_i)$ مقدار مشاهده شده متغیر کمکی، λ_j وزن مربوط به متغیر کمکی y ، $z(x_i)$ مقدار مشاهده شده متغیر اصلی است. شرط استفاده از این روش وجود ضریب همبستگی نسبتاً بالا (بزرگ‌تر از ۰/۵) و فراوانی متغیر کمکی در منطقه می‌باشد. همچنین داده‌های متغیر کمکی نیز باید از توزیع نرمال پیروی کند و نیم تغییر نمای آن نیز باید ساختاردار باشد و تغییرات هم‌زمان دو متغیر اصلی و کمکی (نیم تغییر نمای متقابل) نیز باید ساختاردار باشد.

برای استفاده از روش کریجینگ-رگرسیون باید متغیرهای مستقل در منطقه مطالعاتی موجود باشد. متغیرهای مستقل مورد استفاده برای درون‌یابی دمای بیشینه، طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌ها می‌باشند و رابطه بین متغیرهای مستقل و وابسته به صورت یک رابطه رگرسیون خطی سه‌گانه توسط نرم‌افزار MiniTab برای هر یک از روزهای سال‌های ۱۹۹۲ و ۲۰۰۷ محاسبه گردید و مقادیر باقیمانده (R) در هر ایستگاه از طریق معادلات زیر محاسبه گردید (۴).

$$R = T - T^* \quad (6)$$

$$T^* = a + bx + cy + dh \quad (7)$$

x, y طول و عرض جغرافیایی، h ارتفاع، a, b, c, d ضرایب معادله، T, T^* به ترتیب دمای بیشینه روزانه تخمینی و واقعی می‌باشد. در ادامه مقادیر باقیمانده به دست آمده مجدداً با روش کریجینگ در نرم-افزار GS+ درون‌یابی شد و مقادیر درون‌یابی شده فوق به مقادیر تخمین زده شده توسط معادله رگرسیون خطی چند گانه اضافه و به عنوان مقادیر تخمین زده شده نهایی برای ارزیابی به کمک سنجه-های RMSE، MAE، r مورد استفاده قرار گرفت.

برای ارزیابی دقت روش‌های مذکور، روش اعتبار سنجی حذفی بکار گرفته شد و از سه سنجه ریشه میانگین مربعات خطا $(RMSE)^2$ ، میانگین خطای مطلق (MAE) و ضریب همبستگی (r) استفاده شده است. روابط این سنجه‌ها به فرم زیر هستند (۲۰).

$$RMSE = \left[\sum_{i=1}^n (p_i - o_i)^2 / n \right]^{1/2} \quad (8)$$

داشت با افزایش تعداد نقاط، زمان لازم برای فرآیند ایجاد پهنه‌های رستری بیشتر خواهد بود. رابطه مورد استفاده در این روش به شرح زیر می‌باشد (۵ و ۶).

$$Z_{(x,y)} = T_{(x,y)} + \sum_{j=1}^n \lambda_j R_{(r_j)} \quad (3)$$

$Z_{(x,y)}$ مقدار نقطه مجهول، n تعداد نقاط نمونه، λ_j ضریب راه‌حل معادلات خطی، r_j فاصله از نمونه i ام، $T_{(x,y)}$ و $R_{(r_j)}$ بر اساس نوع اسپیلین از روابط خاصی محاسبه می‌شوند. در این پژوهش برای اجرای روش اسپیلین از نرم‌افزار Arc GIS استفاده شد و بر اساس مقادیر تخمین زده شده و مشاهده شده دما سنجه‌های r ، MAE، RMSE محاسبه گردید.

در روش رگرسیون چندگانه خطی بین متغیرهای مستقل که شامل طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌ها می‌باشند و متغیر وابسته (دمای بیشینه روزانه) یک رابطه رگرسیون چندگانه خطی برقرار می‌شود. برای انجام این روش از نرم‌افزار MiniTab استفاده گردید و معادلات رگرسیون چندگانه خطی برای داده‌های دمای بیشینه روزهای منتخب سال‌های ۱۹۹۲ و ۲۰۰۷ محاسبه و برای ارزیابی از تکنیک ارزیابی متقاطع استفاده گردید.

روش کریجینگ جزء روش‌های زمین‌آمار بوده که در آن‌ها اوزان داده شده به نقاط نه تنها بر اساس فاصله بین نقاط بلکه با توجه به جهت قرار گرفتن نقاط نسبت به یکدیگر (آرایش مکانی) نیز می‌باشند. رابطه مورد استفاده در روش کریجینگ عبارتست از:

$$Z^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (4)$$

Z^* مقدار متغیر برآورد شده، $Z(x_i)$ مقدار متغیر مشاهده شده در نقطه i ام، n تعداد نقاط مشاهده شده و λ_i وزن نمونه x_i می‌باشد. شرط استفاده از این روش این است که داده‌های مورد مطالعه دارای توزیع نرمال باشند. در غیر این صورت بایستی با تبدیل‌های مناسب توزیع متغیر را به نرمال تبدیل کرد (۳).

در این مطالعه، ابتدا با استفاده از آزمون کلموگراف-اسمیرنوف برازش توزیع نرمال بر داده‌ها در سطح اطمینان ۹۵٪ در محیط نرم افزار MiniTab انجام و سپس از بین مدل‌های کروی، نمایی، خطی، خطی دارای حد آستانه و گوسی برازش داده شده بر داده‌ها نیم تغییر نمای بهینه بر اساس مجموع مربعات خطای کمتر (RSS) و ضریب همبستگی بالاتر انتخاب شد.

در روش کوکریجینگ بر اساس همبستگی بین متغیرهای مختلف تخمین‌هایی انجام می‌شود. در شرایطی که از یک متغیر به اندازه کافی نمونه‌برداری نشده باشد در نظر گرفتن همبستگی مکانی بین متغیر مورد نظر و متغیر کمکی که دارای نقاط نمونه‌برداری مناسبی است، دقت تخمین را بهتر کرد. فرمول کوکریجینگ به قرار زیر

2- Root Mean Square Error

3- Mean Absolute Error

4- Correlation Coefficient

1- Residual Sums of Squares

معادلات استخراج شده توسط این دو نرم‌افزار مشاهده نشد.

نتایج روش کریجینگ نشان می‌دهد که در سال ۲۰۰۷ مدل گوسی بهترین مدل نیم تغییرنما و پس از آن مدل کروی و مدل نمایی نتایج بهتری را دارند. دامنه تأثیر داده‌ها بین ۴/۱ تا ۸/۸ کیلومتر می‌باشد و بررسی نسبت قسمت ساختاردار به بی‌ساختار نشان می‌دهد که در اکثر موارد نسبت فوق بالای ۹۰ درصد می‌باشد. در روز ۱۴ نوامبر ساختار مکانی داده‌ها کمترین مقدار می‌باشد که بیانگر تأثیر کمتر موقعیت مکانی داده‌ها در این روز می‌باشد. در سال ۱۹۹۲ بهترین مدل نیم تغییرنما، مدل کروی و پس از آن مدل گوسی می‌باشد. همچنین دامنه تأثیر داده‌ها بین ۹/۶ تا ۹۸/۷ کیلومتر می‌باشد و نسبت ساختاردار به بی‌ساختار در اکثر موارد بالای ۹۰ درصد می‌باشد. در روزهای ۳ آوریل و ۲۹ ژانویه ساختار مکانی داده‌ها کمترین مقدار می‌باشد. در شکل ۳ نمونه‌ای از نیم تغییر نمای تجربی و مدل نمایی برازش داده شده بر آن (دمای بیشینه روز ۱۶ فوریه سال ۲۰۰۷) نشان داده شده است.

برای استفاده از روش کوکریجینگ در این تحقیق، ارتفاع بعنوان بهترین گزینه برای متغیر کمکی در نظر گرفته شد زیرا بر اساس نتایج به دست آمده در تمامی روزها ضریب همبستگی دما و ارتفاع بیش از ۰/۵ می‌باشد. توزیع داده‌های ارتفاع در سطح احتمال ۹۵ درصد توسط آزمون کلموگراف-اسمیرنوف در نرم‌افزار MiniTab مورد آزمون قرار گرفت و مشخص شد که داده‌های ارتفاع از توزیع نرمال تبعیت می‌کند و سپس توسط نرم‌افزار G_s^+ آنالیز ساختاری داده‌های ارتفاع محاسبه شد. نتایج نشان می‌دهد که در سال ۲۰۰۷ دارای اثر قطعه‌ای ۱۰۰ مترمربع در دامنه تأثیر ۴۸/۹ کیلومتر و آستانه ۹۶۲۰۰ مترمربع می‌باشد و نسبت بخش ساختار دار به کل ۰/۹۹ می‌باشد و در سال ۱۹۹۲ اثر قطعه‌ای ۱۰۰ مترمربع در دامنه تأثیر ۱۱/۵ کیلومتر و آستانه ۲۰۹۹۰۰ مترمربع محاسبه و نسبت بخش ساختار دار به کل واریانس یک به دست آمد که بیانگر این می‌باشد که در هر دو سال داده‌های ارتفاع از ساختار مکانی خوبی برخوردار می‌باشند.

با توجه به نتایج به دست آمده سال ۲۰۰۷، بهترین مدل نیم تغییرنمای متقابل مدل کروی و پس از آن مدل نمایی و مدل گوسی می‌باشند. دامنه تأثیر داده‌ها بین ۱۷/۳ تا ۸۹/۴ کیلومتر می‌باشد و در سال ۱۹۹۲ بهترین مدل نیم تغییرنمای متقابل مدل خطی و پس از آن مدل‌های کروی و گوسی می‌باشند. دامنه تأثیر داده‌ها بین ۸/۲ تا ۹۳/۶ کیلومتر می‌باشد و بررسی نسبت ساختاردار به بی‌ساختار در هر دو سال نشان می‌دهد که در همه موارد نسبت فوق بالای ۹۹٪ می‌باشد. در شکل ۴ نمونه‌ای از نیم تغییر نمای متقابل تجربی و مدل نمایی برازش داده شده بر آن مربوط به دمای بیشینه روز ۱۶ فوریه سال ۲۰۰۷ نشان داده شده است.

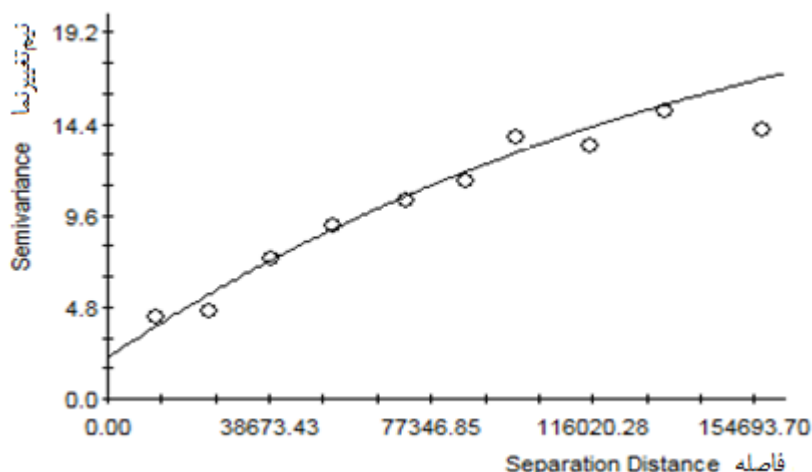
$$MAE = \sum_{i=1}^n |p_i - o_i| / n \quad (9)$$

p_i مقدار تخمین زده شده، o_i مقدار مشاهده شده، n تعداد نمونه‌ها می‌باشد. با مقایسه مقادیر تخمین زده شده دمای بیشینه روزانه و مقادیر واقعی آن‌ها، مقدار خطای هر یک از روش‌های درون‌یابی مورد بررسی قرار گرفت. هر چه مقادیر سنجه‌های مذکور به صفر نزدیک‌تر باشد بیانگر برآورد بهتر مدل خواهد بود و در مورد ضریب همبستگی، چنانچه این مقدار بزرگ‌تر باشد، شیب خط رگرسیون به عدد یک نزدیک‌تر خواهد بود که بیانگر خطای کمتر مدل می‌باشد. سنجه MBE نشان‌دهنده اختلاف بین مقادیر تخمینی و اندازه‌گیری شده 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 این که مقدار این سنجه به صفر نزدیک شده که این مسئله گمراه کننده می‌باشد چرا که مقادیر مثبت و منفی در اطراف میانگین برابر بوده است (۲۰). به همین دلیل در پژوهش حاضر از سنجه MBE برای ارزیابی مدل‌های درون‌یابی استفاده نشده است.

نتایج و بحث

بررسی وضعیت نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگراف-اسمیرنوف در سطح اطمینان ۹۵ درصد در محیط نرم‌افزار MiniTab انجام شد و مشاهده گردید که در بین توزیع داده‌های دمای بیشینه روزانه هر دو سال با توزیع نرمال تفاوت معناداری وجود ندارد. برای تخمین دمای بیشینه روزانه به روش وزنی عکس فاصله توان‌های ۱ تا ۵ و تعداد نقاط همسایگی ۵، ۱۵، ۲۰، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۵ در داده‌های سال‌های ۱۹۹۲ و ۲۰۰۷ جهت انتخاب بهترین ترکیب توان و تعداد نقاط همسایگی استفاده شد. ریشه میانگین مربعات خطا برای حالت‌های مختلف توان و تعداد ایستگاه محاسبه و بر اساس کمترین ریشه میانگین مربعات خطای به دست آمده، برای سال ۲۰۰۷ در توان ۲ و تعداد ۱۵ ایستگاه و برای سال ۱۹۹۲ توان ۱ و تعداد ۵ ایستگاه به عنوان توان و تعداد ایستگاه بهینه شناخته شد.

پس از بررسی معادلات رگرسیون، مشاهده شد که ضرایب ارتفاع (h) و عرض جغرافیایی (y) تقریباً در تمامی ماه‌ها منفی و ضرایب طول جغرافیایی (x) نیز مثبت می‌باشد و نشان‌دهنده کاهش دما با افزایش ارتفاع و عرض جغرافیایی و همچنین افزایش دما با افزایش طول جغرافیایی می‌باشد که با موقعیت و توپوگرافی منطقه مورد مطالعه هماهنگی دارد. برای مقایسه دقت معادلات حاصل از نرم‌افزار MiniTab برای برخی از روزهای منتخب به صورت تصادفی معادلات رگرسیون در محیط نرم‌افزار SPSS نیز محاسبه گردید که تفاوتی بین

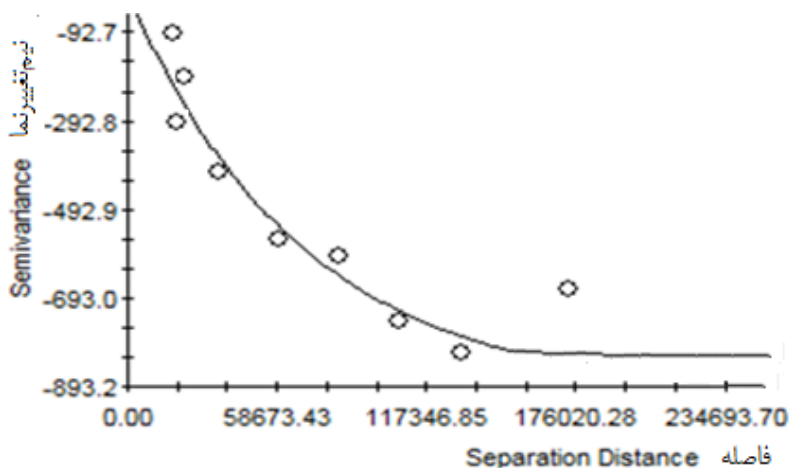


شکل ۳- نیم تغییرنمای تجربی و مدل نمایی داده‌های دمای بیشینه‌ی روز ۱۶ فوریه ۲۰۰۷

Figure3 - Semivariogram of experimental and exponential model of maximum temperature data on February 16th, 2007

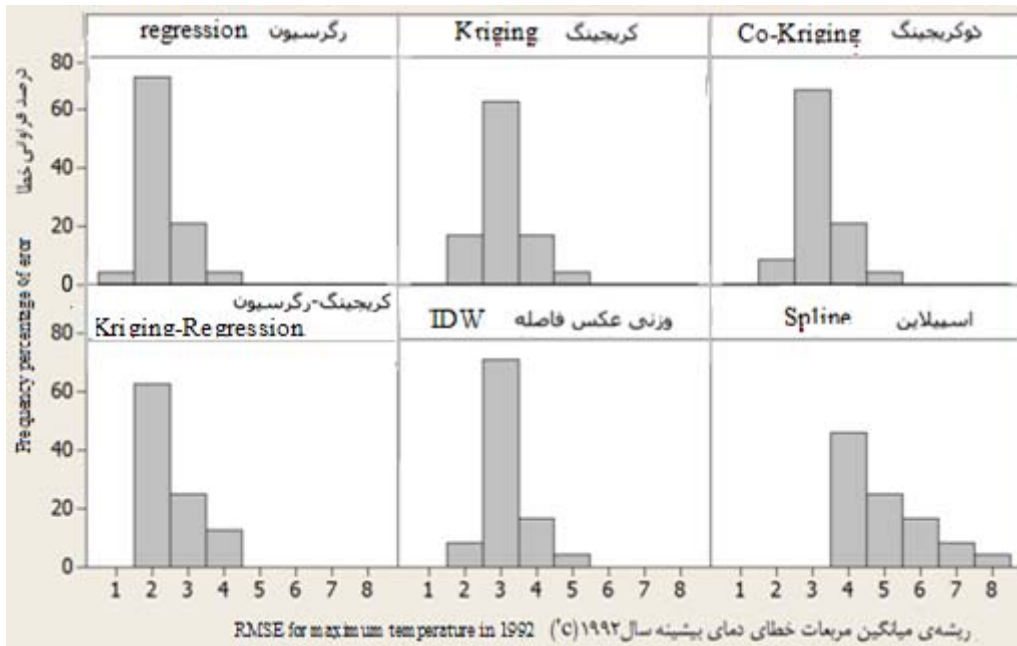
رگرسیون با درصد خطای کمتر روش بهتری نسبت به سایر روش‌ها می‌باشد. به دلیل این که مقادیر سنجه MAE همواره مقادیر سنجه RMSE را تأیید می‌کند (۲۱) و نتایج این پژوهش نیز این موضوع را نشان می‌دهد به همین دلیل از آوردن مقادیر سنجه MAE خودداری شده است. با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان گفت که در سال ۱۹۹۲ به‌عنوان یک سال با تعداد کم ایستگاه بهترین روش درون‌یابی دمای بیشینه روزانه روش رگرسیون چند گانه خطی می‌باشد و روش‌های دیگر برای درون‌یابی پیشنهاد نمی‌شوند (اشکال ۵ و ۷).

به منظور انتخاب بهترین روش درون‌یابی، نتایج بدست آمده برای مقادیر سنجه‌های RMSE، r ، در ۶ روش درون‌یابی به صورت نمودار ترسیم شده‌اند که محور افقی مقادیر سنجه‌ها را نشان می‌دهد و محور عمودی درصد فراوانی مقادیر خطا را نشان می‌دهد و هر میله نشان می‌دهد (اشکال ۵ تا ۸) که برای مثال در روش رگرسیون تقریباً ۷۲ درصد مقادیر تخمین زده شده با ۲ درجه سلسیوس خطا برآورد شده‌اند ولی در روش کریجینگ-رگرسیون تقریباً ۶۲ درصد مقادیر تخمین زده شده با ۲ درجه سلسیوس خطا برآورد شده‌اند بنابراین روش

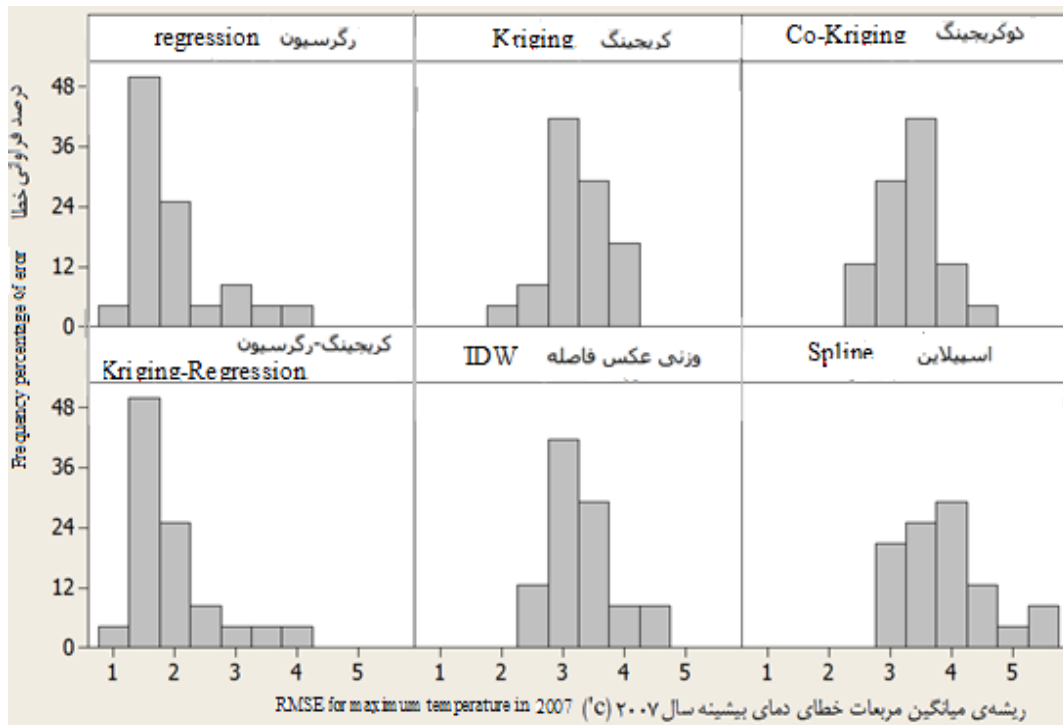


شکل ۴- نیم تغییرنمای متقابل تجربی و مدل نمایی داده‌های دمای بیشینه‌ی روز ۱۶ فوریه ۲۰۰۷

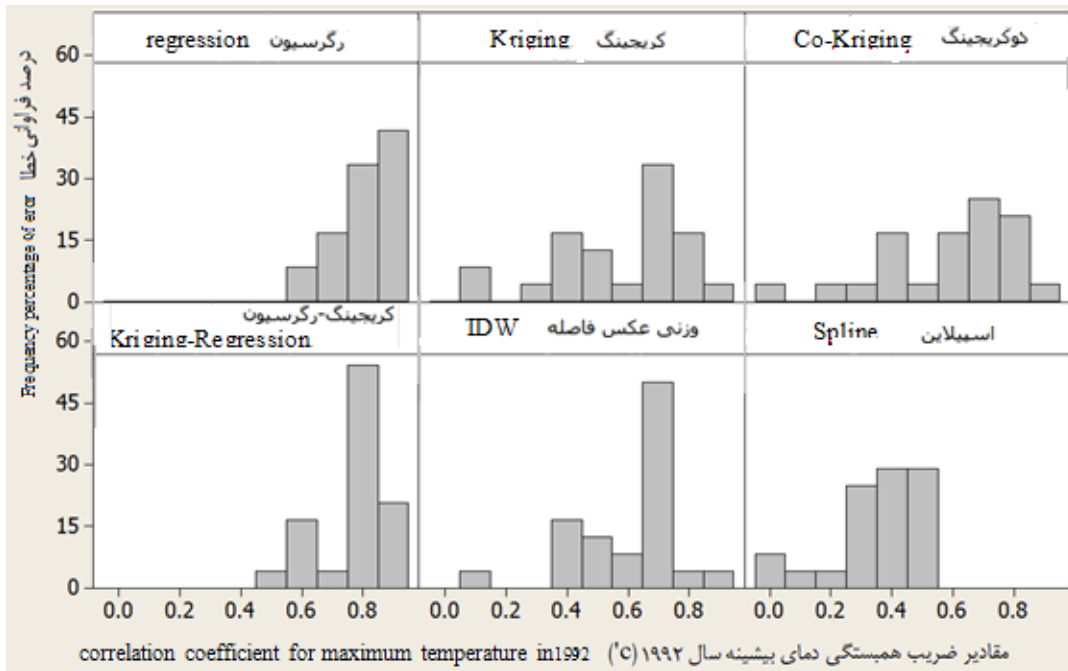
Figure4- Semivariogram of experimental and exponential model of maximum temperature data on February 16th, 2007



شکل ۵- درصد فراوانی مقادیر ریشه‌ی میانگین مربعات خطای دمای بیشینه در سال ۱۹۹۲
 Figure5- Frequency percentage of RMSE for maximum temperature in 1992

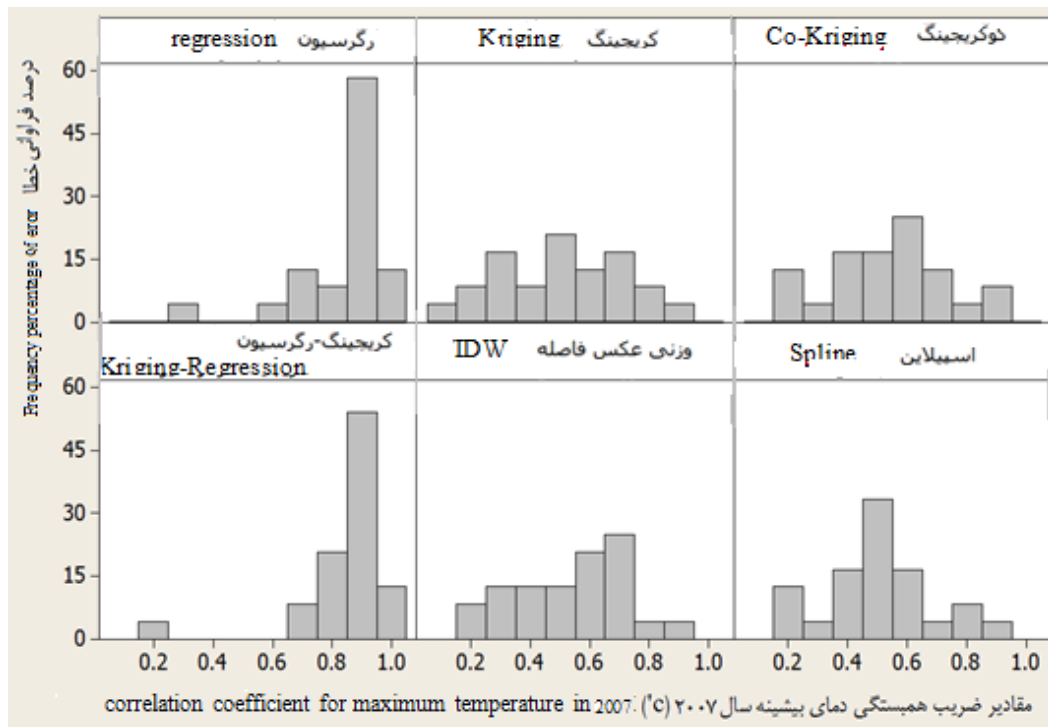


شکل ۶- فراوانی نسبی میانگین مربعات خطای دمای بیشینه در سال ۲۰۰۷
 Figure6- Frequency percentage of RMSE for maximum temperature in 2007



شکل ۷- درصد فراوانی مقادیر ضریب همبستگی دمای بیشینه در سال ۱۹۹۲

Figure7- Frequency percentage of correlation coefficient for maximum temperature in 1992



شکل ۸- درصد فراوانی مقادیر ضریب همبستگی دمای بیشینه در سال ۲۰۰۷

Figure8- Frequency percentage of correlation coefficient for maximum temperature in 2007

افزایش تعداد ایستگاه در سال ۲۰۰۷ باعث افزایش دقت تخمین دمای بیشینه روزانه در دیگر روش‌های درون‌یابی مورد استفاده در این پژوهش (کریجینگ، کوکریجینگ و اسپلاین) نسبت به سال ۱۹۹۲

در خصوص سال ۲۰۰۷ (سال با تعداد ایستگاه‌های بیشتر) بهترین روش درون‌یابی دمای بیشینه روزانه روش رگرسیون چند گانه خطی و پس از آن روش کریجینگ- رگرسیون می‌باشد (اشکال ۶ و ۸).

بهترین نتیجه را داشته است و روش اسپیلاین دارای بالاترین مقدار خطا بوده است. استال و همکاران (۱۶) نیز در مطالعه‌ای ۱۲ به مقایسه مدل درون‌یابی بر پایه معادلات رگرسیون برای تخمین دمای بیشینه پرداختند.

به دلیل این که در محاسبه روش‌های درون‌یابی، توپوگرافی منطقه مطالعاتی، تراکم و پراکنش ایستگاه‌ها نقش بسیار مهمی دارد و یک مدل خاص در شرایط مختلف دقت‌های متفاوتی دارد، پیشنهاد می‌شود برای پاسخ به این سؤال که دقت مکانی تا چه اندازه بیانگر اقلیم واقعی منطقه می‌باشد، از تجربه اقلیم شناس نیز استفاده نمود (۱۰). دما در مناطق کوهستانی بطور چشم‌گیری تحت تأثیر شیب، جهت و... منطقه می‌باشد بنابراین پیشنهاد می‌شود برای بالاتر بردن دقت نتایج درون‌یابی دما، از روش‌هایی استفاده گردد که شیب، جهت و... منطقه مطالعاتی در آن لحاظ شده باشد (مانند روش رگرسیون محلی که جولی و همکارانش (۱۴) بکار برده‌اند). همچنین برای بالا بردن دقت روش‌های برآورد منطقه‌ای داده‌های اقلیمی تا حد ممکن از تعداد ایستگاه‌های بیشتری استفاده گردد.

شده است و می‌توان گفت که با افزایش تعداد ایستگاه‌ها می‌توان از روش‌های دیگر درون‌یابی نیز انتظار نتایج بهتری را داشت. همچنین دقت روش‌های درون‌یابی در روزهای مختلف یک ماه متفاوت می‌باشد.

نکته قابل توجه دیگر در این پژوهش این است که نتایج به دست آمده از سنج‌های آماری ارزیابی مدل‌ها، با آنچه که ویلموت (۲۰) در خصوص کیفیت و اعتماد به این سنج‌ها بیان نموده، مشابه می‌باشد. نتایج این تحقیق با نتایج زائوچان‌یان و همکاران (۹) از نقطه نظرات زیر مشابه بوده است. خطای مدل در روش رگرسیون که در آن از متغیرهای ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی کمتر از روش‌های کریجینگ معمولی، اسپیلاین و وزنی عکس فاصله می‌باشد. بیشترین خطا را روش اسپیلاین داشته و البته کریجینگ معمولی در بین روش‌های زمین‌آمار کمترین خطا را داشته است. نادى (۴) نیز در پژوهشی نشان داده است که روش گردایان خطی سه‌بعدی که در آن متغیرهای ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی به‌عنوان متغیرهای مستقل برای تخمین دمای ماهانه دو سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۳ بکار رفته است

منابع

- 1- Anderson S. 2002. An evaluation of spatial interpolation methods on air temperature in Phoenix, AZ. <http://www.cobblestoneconcepts.com/ucgis2summer/anderson/anderson.htm>
- 2- Baghebanbashi M.V. and Sepaskhah A.R. 2001. Assessing the geostatistical methods for estimation of annual rainfall in Fars, Boushehr, Kohkilouieh va Bouirahmad provinces. *Journal of Shiraz university*, 25(4B):432.
- 3- Bazgeer S., Oskuee E.A., Hagigat M., and Darban Astane A.R. 2012. Assessing the Performance of Spatial Interpolation Methods for Mapping Precipitation Data: A Case Study in Fars Province, Iran. *Trends in Applied Sciences Research*, 7: 467-475
- 4- Burrough P.A., and Mc Donnell R.A. 1998. Creating Continuous Surfaces from Point Data. In: *Principles of Geographic Information Systems*, Burrough, P.A. and M.F. Goodchild, R.A. McDonnell, P. Switzer, M. Worboys (Eds.), Oxford University Press, Oxford, UK., pp: 535-550.
- 5- Chen D., Gong L., Xu C.-Y., and Halldin S. 2007. A high-resolution gridded dataset for monthly temperature normals (1971–2000) in Sweden. *Geogr. Ann.*, 89 A (4): 249–261.
- 6- Chuanyan Z., Zhongren N., and Guodong Ch. 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
- 7- Daly CH. 2006. Guidelines for assessing the suitability of spatial climate data sets. *International Journal of Climatology*, 26:707-721.
- 8- Goula Bi, T.A., Fadika V., and Soro G.E. 2011. Improved estimation of the mean rainfall and rainfall-runoff modeling to a station with high rainfall (Tabou) in South-Western Cote D'ivoire. *J. Applied Sci.*, 11: 512-519.
- 9- Hong Y. Nix H.A., Hutchinson M.F., and Booth T. 2005. Spatial interpolation of monthly mean climate data for China. *International J. of climatology*, 25:1369-1379.
- 10- Hassani pak A.A. 1998. *Geostatistics*. Tehran University, Tehran. (in Persian)
- 11- Jarvis C.H., and Stuart N. 2001. A comparison among strategies for interpolating maximum and minimum daily air temperatures. Part II: the interaction between number of guiding variables and the type of interpolation method. *J. Appl. Meteorol*, 40, 1075–1084.
- 12- Joly D., Brossard T., Cardot H., Cavailles J., Hilal M. and Wavresky M. 2010. Temperature interpolation based on local information: the example of France. *International Journal of Climatology*. (wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/joc.2220
- 13- Mehdizadeh M. 2002. Evaluation of geostatistical methods to estimate temperature and rainfall in Ourmieh lake basin. M.Sc. Thesis, University of Tehran. (in Persian with English abstract)
- 14- Nadi M. 2010. Application of various interpolation techniques of climatic data for determining the most important factors affecting the tree growth at the elevated areas of Chaharbagh, Gorgan. M.Sc. Thesis, University of Tehran. (in Persian with English abstract)

- 15- Skirvin S.M., Marsh S.E., McClaranw M.P., and Mekoz D.M. 2003. Climatepatial variability and data resolution in asemi-arid watershed, south-eastern Arizona. *Journal of Arid Environments*, 54: 667–686.
- 16- Stahl K., Moore R.D., Floyer J.A., Asplin M.G., and McKendry,I.G. 2006. Comparison of pproaches for spatial interpolation of daily airtemperature in a large region with complex topographyand highly variable station density. *Agricultural and Forest Meteorology*, 139: 224–236
- 17- Taskinena. Sirvio H., and Vehvilainen B. 2003.Interpolation of daily temperature in finland. *Nordic hydrology*, 34(5):413-426.
- 18- Vicente-Serrano S.M., Saz-Sanchez M.A., and Cuadrat J.M. 2003. Comparative analysis of interpolation methods in the middle Ebro Valley(Spain): application to annual precipitation and temperature. *Climate Research*, 24: 161–180.
- 19- Wang Y., and Hou SH. 2009. A new interpolation method for Antarctic surface temperature. *Progress in Natural Science*, 19:1843–1849.
- 20- Willmott C.J.1982. Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin American Meteorological Society*, 63(11):1309-1313
- 21- Yang J.S., Wang Y.Q., and August P.V. 2004. Estimation of Land Surface Temperature Using Spatial Interpolation andSatellite-Derived Surface Emissivity.*Journal ofEnvironmental Informatics*, 4 (1): 37-44.

Comparative Study of Regional Estimation Methods for Daily Maximum Temperature (A Case Study of the *Isfahan Province*)

Gh. Fadavi¹ - J. Bazrafshan^{2*}

Received: 30-09-2013

Accepted: 05-01-2015

Introduction: As the statistical time series are in short period and the meteorological station are not distributed well in mountainous area determining of climatic criteria are complex. Therefore, in recent years interpolation methods for establishment of continuous climatic data have been considered. Continuous daily maximum temperature data are a key factor for climate-crop modeling which is fundamental for water resources management, drought, and optimal use from climatic potentials of different regions. The main objective of this study is to evaluate different interpolation methods for estimation of regional maximum temperature in the Isfahan province.

Materials and Methods: Isfahan province has about 937,105 square kilometers, between 30 degree and 43 minutes to 34 degree and 27 minutes North latitude equator line and 49 degree and 36 minutes to 55 degree and 31 minutes east longitude Greenwich. It is located in the center of Iran and its western part extend to eastern footage of the Zagros mountain range. It should be mentioned that elevation range of meteorological stations are between 845 to 2490 in the study area. This study was done using daily maximum temperature data of 1992 and 2007 years of synoptic and climatology stations of I.R. of Iran meteorological organization (IRIMO). In order to interpolate temperature data, two years including 1992 and 2007 with different number of meteorological stations have been selected the temperature data of thirty meteorological stations (17 synoptic and 13 climatologically stations) for 1992 year and fifty four meteorological stations (31 synoptic and 23 climatologically stations) for 2007 year were used from Isfahan province and neighboring provinces. In order to regionalize the point data of daily maximum temperature, the interpolation methods, including inverse distance weighted (IDW), Kriging, Co-Kriging, Kriging-Regression, multiple regression and Spline were used. Therefore, for this allocated data (24 days for each year and 2 days for each month) were used for different interpolation methods. Using difference measures viz. Root Mean Square Error (RMSE), Mean Bias Error (MBE), Mean Absolute Error (MAE) and Correlation Coefficient (r), the performance and accuracy of each model were tested to select the best method.

Results and Discussion: The assessment of normalizing condition of data was done using Kolmogrov-Smirnov test at ninety five percent (95%) level of significance in Mini Tab software. The results show that distribution of daily maximum temperature data had no significant difference with normal distribution for both years. Weighed inverse distance method used for estimation daily maximum temperature, for this purpose, root mean square error (RMSE) for different status of power (1 to 5) and number of station (5,10,15 and 20) was calculated. According to the minimum RMSE, power for 2 and number of station for 15 in 2007 and power for 1 and number of station for 5 in 1992 were obtained as optimum power and number of station. The results also show that in regression equation the correlation coefficient were more than 0.8 for the most of the days. The regression coefficient of elevation (h) and latitude (y) were almost negative for all the month and the regression coefficient of longitude (x) was positive, showing that decreasing temperature with increasing elevation and increasing temperature with increasing longitude. The results revealed that for Kriging method the Gussian model had the best semivariogram and after that spherical and exponential were in the next order, respectively for 2007 year. In the year 1992, spherical and Gussian models had better semivariogram among others. Elevation was the best variable to improve Co-kriging method as auxiliary data. such that The correlation coefficient between temperature and elevation was more than 0.5 for all days. The results also show that for Co-Kriging method the spherical model had the best semivariogram and after that the exponential and Gussian were in the next order, respectively for 2007 year. In the year 1992, the best model of semivariogram was the linear model and after that the spherical and Gussian models had better semivariogram in the next order.

Conclusion: The results revealed that the application of multiple regression method for interpolation produced less errors between observed and estimated maximum temperature in 1992 (RMSE ranges from 1.41 to

1,2- M. Sc. Graduate and Assistant Professor Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tehran

(* - Corresponding Author Email: jbazr@ut.ac.ir)

4.03, MAE ranges from 0.98 to 2.55, and r ranges from 0.61 to 0.95). For 2007 year, the best estimation was performed by multiple regression and Kriging-Regression (RMSE=ranges from 0.99 to 3.98, MAE ranges from 0.77 to 2.92, and r ranges from 0.32 to 0.97). Kriging, Co-Kriging, IDW, Spline methods were also reasonably performed well and could be used as the second order of priority. In addition, with increasing number of stations in 2007 as compared to 1992, the overall accuracy of model performance in estimation of daily maximum temperature have been improved.

Keywords: Daily maximum temperature, Interpolation, Isfahan