دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

تأثیر گرادیان‌های موضعی در افزایش دقت درون‌یابی داده‌های اقلیمی به روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی

خلیل قربانی[۱] و زهرا آقاشریعتمداری[۲]

۱- استادیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، (نویسنده مسوول: ghorbani.khalil@yahoo.com)
۲- استادیار، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۱/۶/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۷

چکیده

وجود روابط مکانی بین متغیرهای اقلیمی با عوارض طبیعی مانند ارتفاع باعث شده تا جستجوی گرادیان‌ها اولین گزینه در پهنه‌بندی آنها باشد. اما در مناطق بزرگ وجود گرادیان‌های متعدد و نبود شناختی از آنها باعث می‌شود تا پژوهشگران از روش‌های درون‌یابی قطعی و زمین‌آمار استفاده کنند. رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی یکی از روش‌هایی است که می‌تواند گرادیان‌های موضعی را به خوبی شناسایی کند و درصورت وجود گرادیان، دقت درون‌یابی را افزایش دهد. بر این اساس پژوهشی انجام شد تا با در نظر گرفتن میانگین ۳۰ ساله دمای هوا و رطوبت نسبی ۲۴۰ ایستگاه همدیدی و اقلیم‌شناسی در ایران، دقت این روش با سایر روش‌های درون‌یابی در پهنه‌بندی این دو پارامتر اقلیمی ارزیابی شود. نتایج این بررسی در مورد دمای هوا که تحت تأثیر ارتفاع می‌باشد نشان داد که نتایج دورون‌یابی به کمک روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی با دیگر روش‌های درون‌یابی اختلاف معنی‌داری دارد در حالی که این اختلاف در مورد رطوبت نسبی مشاهده نشد و این می‌تواند به دلیل نبود رابطه مشخصی بین ارتفاع و رطوبت نسبی باشد.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی، درون‌یابی، دمای هوا، رطوبت نسبی، رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی

مقدمه

اولین گام در تهیه نقشه‌های هم‌دما، استفاده از رابطه گرادیان دما با ارتفاع می‌باشد، اما این گرادیان گرمایی در مناطق مختلف عدد ثابتی نیست. بنابراین در مناطق بزرگ تعمیم یک رابطه گرادیانی به کل منطقه، نتایج خوبی را بهمراه ندارد. در چنین مواردی استفاده از روش‌های درون‌یابی قطعی و زمین‌آمار مورد توجه قرار می‌گیرد. در روش‌های درون‌یابی با استناد به قانون جغرافیایی ارتباط مقادیر پدیده‌ها در نقاط مختلف و وابستگی بیشتر بین نقاط نزدیک نسبت به نقاط دورتر، مقادیر نقاط مجهول با استفاده از یکسری نقاط با مقادیر معلوم در اطراف آنها برآورد می‌شوند (۱۴). اما چگونگی مشارکت نقاط معلوم در تخمین مقادیر مجهول سبب می‌شود تا

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

روش‌های درون‌یابی به دو دسته سراسری و موضعی تقسیم‌بندی شوند. کلیه نقاط مشاهده‌ای در روش سراسری در محاسبات نقطه یا نقاط مجهول دخالت داده می‌شوند. در حالی که در روش موضعی فقط از نقاط مشاهده‌ای موجود در یک محدوده (همسایه نزدیک یا پنجره) استفاده می‌شود. سپس، کلیه نقاط مجهول در محدوده مورد مطالعه با حرکت پنجره‌ها به‌صورت گام به گام در کل پهنه تخمین‌زده می‌شوند. برخی از روش‌های درون‌یابی با برقراری روابط آمار کلاسیک بین مقادیر نقاط معلوم اقدام به تخمین مقادیر مجهول می‌کنند که آنها را درون‌یاب‌های قطعی می‌نامند. اما برخی از روش‌ها با استفاه از ویژگی‌های وابستگی مکانی متغیر مورد نظر اقدام به تخمین مقادیر نقاط مجهول می‌کنند. آنها را درون‌یاب‌های زمین آماری می‌نامند. مطالعات زیادی در زمینه مقایسه روش‌های مختلف درون‌یابی در ترسیم نقشه‌های هم‌مقدار انجام شده است. مهدی‌زاده (۱۱) از روش‌های زمین آماری کریجینگ[1]، کوکریجینگ[2]، اسپلاین[3] و روش وزنی عکس فاصله[4] برای درون‌یابی داده‌های دمای سالانه در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه استفاده کرد. نتایج این مطالعه نشان داد که روش اسپیلاین توان دو و با متغیر کمکی در مقایسه با دیگر روش‌ها از دقت بالاتری برخوردار است. روش‌های کوکریجینگ، کریجینگ و وزن عکس فاصله در مراتب بعدی اهمیت قرار می‌گیرند. رودریگز-لادو و همکاران (۹) در مدل‌سازی مکانی بیشینه، کمینه و میانگین دمای هوا در ایالت سائوپائولو، دو روش کریجینگ و رگرسیون چند متغیره را مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه گرفتند روش رگرسیون چند متغیره نتایج دقیق‌تری را نسبت به روش کریجینگ ارائه می‌کند. کاو و همکاران (۳) در مقایسه روش‌های مختلف درون‌یابی شامل کریجینگ، وزن عکس فاصله و اسپیلاین برای درون‌یابی میانگین ماهانه دمای هوا در چین به این نتیجه رسیدند که روش کریجینگ با مقدار خطایی کمتر بهترین دقت و روش اسپیلاین کمترین دقت را در درون‌یابی دارد.

اما در مورد استفاده از روش‌های رگرسیونی نیز خلیلی (۸) نشان داد که گرادیان تغییرات دمای هوا یک بردار در فضای سه بعدی است که می‌توان تغییرات مؤلفه های قائم، نصف النهاری و مداری آن را با الگوهای رگرسیونی ساده خطی بیان نمود. در الگوهای رگرسیونی نیز استفاده از روش‌های موضعی باعث شده تا جزئیاتی که در روش‌های سراسری نادیده گرفته می‌شوند تا حدی به تصویر کشیده شود. بوستان و آکیورک (۲) برای آشکارسازی توزیع مکانی میانگین سالانه بارش و دمای هوا از روش‌های درون‌یابی کوکریجینگ و رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی استفاده کردند و با مقایسه همبستگی مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده به این نتیجه رسیدند که روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی با ضرایب تبیین ۹۶ و ۶۶ درصد به ترتیب برای دما و بارش نسبت به روش کوکریجینگ با ضرایب تبیین ۸۲ و ۵۴ درصد، درون‌یابی با دقت بالاتری را ارائه

1- Kriging 2- CoKriging 3- Spline
4- IDW: Inverse Distance Weighted

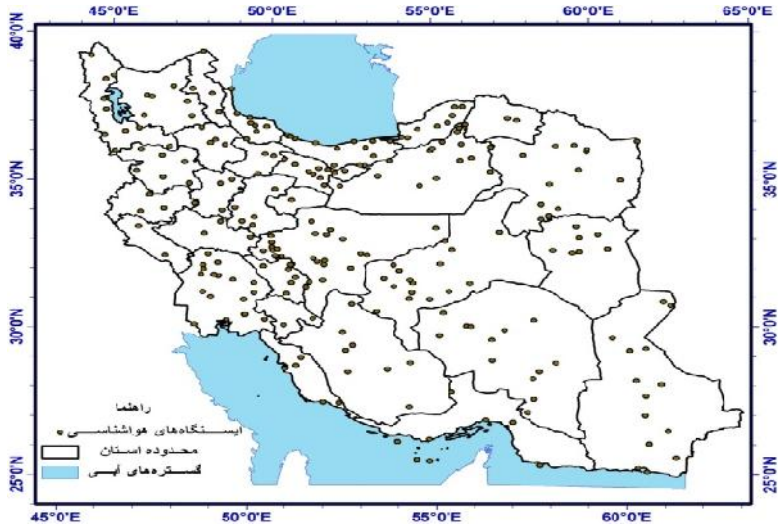
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

می‌کند. گاندو و ایسن (۶) نیز سه روش کریجینگ، کوکریجینگ و رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی[1] را برای پهنه‌بندی میانگین ۲۵ ساله بارش سالانه در ترکیه بررسی کردند. آنها با محاسبه ضریب همبستگی بین مقدار پیش‌بینی شده و الگو شده نتیجه گرفتند که روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی با ضریب تبیین ۸۶٪ در مقایسه با روش کریجینگ و کوکریجینگ به ترتیب با ضرایب تبیین ۵۱٪ و ۶۷٪ درصد کمترین مقدار خطای پیش‌بینی را به‌خود اختصاص می‌دهد. قربانی (۵) روش‌های مختلف درون‌یابی قطعی و زمین‌آمار را با روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی برای پهنه‌بندی و ترسیم نقشه هم‌بارش در استان گیلان مورد ارزیابی قرار داد و نتیجه گرفت روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی در مقایسه با روش کریجینگ (در رتبه دوم کمترین خطا قرار داشت) به ترتیب با ریشه میانگین مربعات خطای برابر با ۱۴۷ و ۱۸۷ میلی‌متر با مقدار خطای کمتر می‌تواند در درون‌یابی و پهنه‌بندی میانگین بارش سالانه مورد استفاده قرار گیرد. در این مطالعه با وارد کردن دو پارامتر ارتفاع و دوری از دریا به عنوان عوامل مؤثر در تغییرات مکانی بارش، دقت درون‌یابی به روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی افزایش یافت. بر این اساس در این پژوهش سعی بر آن شده است تا دقت روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی با روش‌های درون‌یابی قطعی و زمین‌آمار در پهنه‌بندی و درون‌یابی میانگین سالانه دما و رطوبت نسبی هوا در پهنه ایران ارزیابی شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش از آمار میانیگن ۳۰ ساله دمای هوا و رطوبت نسبی ۲۴۵ ایستگاه همدیدی (سینوپتیک) در کل ایران استفاده شد. شکل (۱) موقعیت ایستگاه‌های مطالعاتی را در پهنه ایران نشان می‌دهد.



شکل ۱- شبکه ایستگاه‌های مطالعاتی

1- GWR: Geographically Weighted Regression

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

روش‌های درون‌یابی و ترسیم نقشه‌های هم‌مقدار بارش

روش چندجمله‌ای سراسری و موضعی: درون‌یابی به روش چندجمله‌ای سراسری برای سطوحی که تغییرات پیوسته و هموار دارند مناسب است. یک سطح هموار در این روش با استفاده از یک تابع ریاضی (یک چندجمله‌ای با درجه‌های مختلف) به تمام نقاط نمونه ورودی برازش داده می‌شود. درون‌یابی به روش چندجمله‌ای موضعی توانایی بیشتری دارد. این روش تعدادی تابع چندجمله‌ای را به نقاط واقع در یک همسایگی تعیین شده برازش می‌دهد. این کار سبب می‌شود که سطوح با دقت بیشتری ارائه شود.

روش وزن عکس فاصله: مقدار یک متغیر در نقطه‌ای که نمونه‌برداری انجام نشده باشد از روی نقاط مجاورش با استفاده از رابطه (۱) برآورد می‌شود:

$$\hat{Z} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{z_i}{d_i^{\,a}}}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{d_i^{\,a}}} \qquad (۱)$$

که در آن $\hat{Z}$ مقدار بارش برآورد شده، Z_i: مقدار مشاهده شده بارش در پیرامون نقطه مورد نظر، d_i: فاصله بین نقطه مشاهده‌ای تا نقطه برآوردی، a: عدد صحیحی (بین ۱ تا ۵) و n: تعداد نقاط مشارکت داده شده در درون‌یابی است (۱).

روش اسپیلاین: اسپلاین‌ها توابع پیچیده‌ای، شامل قطعاتی از چند جمله‌هایی با درجه‌های مختلف بین هر دو نقطه از فضا، هستند که در محل پیوند، نرم شده‌اند و بهترین روش برای نشان دادن تغییرات تدریجی سطوح مانند ارتفاع، عمق سطح ایستابی یا غلظت آلودگی می‌باشد. نتیجه درون‌یابی با این روش سطحی نرم و هموار است (۱).

در روش اسپیلاین نقاط مجهول بر پایه معادله زیر برآورد می‌شوند:

$$\hat{Z}(S_0) = \sum_{i=1}^{n} \omega_i \phi(\|S_i - S_0\|) + \omega_{n+1} \qquad (۲)$$

$\Phi(r)$: تابع پایه شعاعی، $r=\|s_i-s_0\|$ فاصله اقلیدسی بین پیش‌بینی مکان s_0 و هر داده مکانی S_i و$\{\omega_i=1,2,\ldots,n+1\}$ وزن‌هایی که تخمین زده می‌شوند.

روش کریجینگ: کریجینگ یک روش تخمین آماری است که مقادیر مجهول را با استفاده از مقادیر معلوم و یک نیم‌تغییرنما، برآورد می‌کند. کریجینگ علاوه بر تخمین مقادیر مجهول، خطای مرتبط با آن تخمین را نیز حساب می‌کند. بنابراین می‌توان فاصله اطمینان تخمین را برای هر مقدار برآورد شده محاسبه کرد (۱).

$$\hat{Z}(x_i) = \sum_{i=1}^{n} a_i . Z(x_i) \qquad (۳)$$

$z^*(x_i)$: مقدار برآورد در نقطه x_i، a_i: وزن مربوط به متغیر z، $z(x_i)$: مقدار مشاهده شده متغیر اصلی است.

نرمال بودن متغیر Z شرط استفاده از این تخمینگر است. از آنجا که تخمینگر کریجینگ بهترین تخمینگر خطی نااریب است، لذا باید عاری از خطای سیستماتیک باشد و واریانس تخمین آن نیز حداقل باشد (۱).

روش کوکریجینگ: اگر هدف تخمین با چند متغیر باشد، می‌توان از روش کوکریجینگ

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

استفاده کرد. همچنین در شرایطی مانند اینکه از یک متغیر به اندازه کافی داده در دسترس نباشد که بتوان بر اساس آنها تخمین را با دقت مورد نظر انجام داد، در چنین مواردی با در نظر گرفتن متغیرهای کمکی که داده‌های کافی از آن وجود دارد و بر اساس همبستگی متقابل بین متغیرهای اصلی و ثانویه، به روش کوکریجینگ می‌توان فرآیند تخمین را انجام داد (۱۰).

$$\hat{Z}(x_i) = \sum_{i=1}^{n} a_i . Z(x_i) . \sum_{k=1}^{n} a_k . y(x_k) \qquad (۴)$$

a_k: وزن مربوط به متغیرکمکی و $y(x_k)$: مقدار مشاهده شده متغیرکمکی می‌باشد.

روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی

رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی یک فن رگرسیون موضعی است که به‌طور معنی‌داری رگرسیون معمولی را برای استفاده در داده‌های مکانی بهبود داده است. برخلاف الگوهای رگرسیون معمول که یک معادله رگرسیونی را برای توصیف روابط کلی بین متغیرها برقرار می‌کنند، GWR اطلاعات مکانی تولید می‌کند که تغییرات مکانی بین روابط متغیرها را بیان می‌کند. بنابراین نقشه‌های تولید شده از این تحلیل‌ها نقش کلیدی در توصیف غیرایستایی مکانی بین متغیرها بازی می‌کند (۱۲). جزئیات کامل GWR ارائه شده است (۴).

تحلیل‌های رگرسیونی برای الگوبندی رابطه بین یک متغیر با یک یا چند متغیر دیگر مطابق روابط (۵) و (۶) می‌باشد.

(۵)

$$y_i = \beta_{0i} + \beta_{1i}x_{1i} + \beta_{2i}x_{2i} + \ldots + \beta_{kn}x_{kn} + \varepsilon_i$$

$$y_i = \beta_0 + \sum_k \beta_k x_{ik} + \varepsilon_i \qquad (۶)$$

y_i بارش درون‌یابی شده در موقعیت i، مقدار β_o: عرض از مبدأ، β_{ik} برابر است با k^{th} پارامتر موضعی در i^{th} موقعیت، X_{iK} نشان‌دهنده k^{th} متغیر مستقل در i^{th} موقعیت و n بیانگر موقعیت قبلی است. وزن اختصاص داده شده به هر یک از مشاهدات در GWR بر اساس یک تابع تنزل فاصله در مرکز مشاهده i است.

الگوی رگرسیون وزنی جغرافیایی موقعیت مکانی نمونه‌ها را در نظر می‌گیرد و این امکان را می‌دهد تا پارامترهای تخمین‌زده شده به‌صورت موضعی تغییر کند. یک الگوی GWR می‌تواند به‌صورت رابطه (۷) نوشته شود (۷):

(۷)

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

بردار (u_i , v_i) مختصات i امین موقعیت و β_0 (u_i , v_i) و $\beta_k (u_i , v_i)$ پارامترهای تخمین زده شده برای i امین موقعیت هستند که مقادیر آنها با موقعیت تغییر می‌کند. x_{ik} و ε_i به ترتیب متغیرهای مستقل و میزان خطا در موقعیت i می‌باشند. پارامترهای الگوی رگرسیون چند متغیره خطی بر اساس حداقل مربعات معمولی به‌صورت ماتریس (۸) تخمین زده می‌شود (۴):

$$\hat{\beta} = \left(X^T X\right)^{-1} X^T Y \qquad (۸)$$

X ماتریس مشاهدات و Y بردار پاسخ است. پارامترها در GWR با استفاده از یک تابع وزنی به‌صورت رابطه (۹) تخمین زده می‌شود:

(۹)

$$\hat{(u_i, v_i)} = \left(X^T W((u_i, v_i)) X\right)^{-1} X^T W((u_i, v_i)) Y$$

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

$W(u_i, v_i)$ وزن‌هایی انتخاب شده‌اند به‌طوری‌که آنهایی که به نقطه مورد مطالعه نزدیک‌تر هستند نسبت به نقاط دورتر تأثیر بیشتری بر نتایج داشته باشند.

معیارهای ارزیابی روش‌های درون‌یابی

در ارزیابی دقت و اعتبار روش‌های درون‌یابی از روش اعتبارسنجی متقابل (حذفی) استفاده شد. این روش بر این اساس است که هر بار یک نقطه مشاهده‌ای حذف شده و برای آن از روی نقاط مجاور مقداری برآورد شود، سپس مقدار واقعی به محل قبلی برگردانده و برای کلیه نقاط شبکه این عمل صورت می‌گیرد. در نهایت در هر روش با توجه به مقادیر مشاهده شده و برآورد شده میانگین خطای مطلق، میانگین خطای اریبی و ریشه مجذور مربعات خطا از روابط (۱۰) تا (۱۲) محاسبه می‌شود:

$$MBE = \sum_{i=1}^{n} (\hat{Z}(x_i) - Z(x_i)) / n \qquad (۱۰)$$

$$MAE = \sum_{i=1}^{n} \left| \hat{Z}(x_i) - Z(x_i) \right| / n \qquad (۱۱)$$

$$RMSE = \left(\sum_{i=1}^{n} (\hat{Z}(x_i) - Z(x_i))^2 / n \right)^{1/2} \qquad (۱۲)$$

نتایج و بحث

نتایج روش‌های مختلف درون‌یابی مورد مطالعه در این تحقیق با استفاده از فن اعتبارسنجی متقابل ارزیابی و مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج این بررسی به صورت زیر است:

ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی میانگین سالانه دمای هوا

دما یکی از عوامل اقلیمی است که وابستگی زیادی به ارتفاع دارد. نتایج حاصل از بررسی روابط رگرسیون‌های موضعی بین میانگین سالانه دمای هوا و ارتفاع ایستگاه‌های مطالعاتی نشان می‌دهد کمتر از ۱۴ درصد از ایستگاه‌ها دارای ضرایب تبیین کمتر از ۵۰ درصد می‌باشند. در بررسی نتایج روش‌های مختلف درون‌یابی نیز مشخص می‌شود روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی با کمترین مقدار خطا، بهترین دقت را در درون‌یابی میانگین سالانه دمای هوا بدست می‌دهد و نتایج آن با دیگر روش‌های درون‌یابی قطعی و زمین آمار در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری دارد. اختلاف میانگین‌ها بر اساس آزمون t-Student انجام شد. در این آزمون با فرض صفر با این بیان که میانگین خطاها با هم اختلاف ندارند در نظر گرفته می‌شود و از معیار P-Value برای رد کردن فرض صفر استفاده شد به طوری که P-Value کمتر از ۵٪ با خطای کمتر از ۵ درصد برابر بودن میانگین‌ها را رد می‌کند و اختلاف بین آنها را نشان می‌دهد (جدول ۱).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

جدول ۱- نتایج ارزیابی خطا روش‌های مختلف درون‌یابی دمای هوا

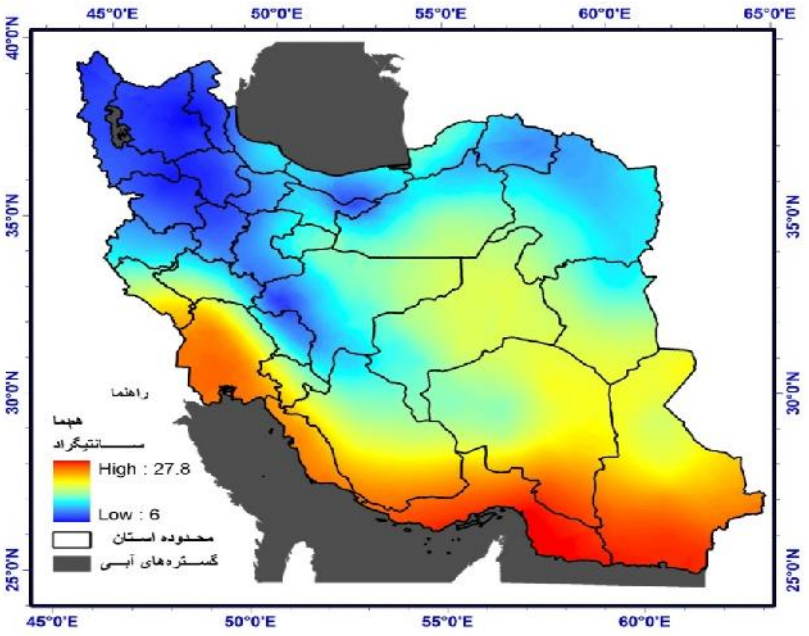
الگو	علامت اختصاری الگو	متغیرهای دخالت داده شده در درون‌یابی	معیارهای ارزیابی خطا			ضریب‌تبیین	
			RMSE	MAE	MBE	R^2	P-Value
چندجمله‌ای سراسری با درجه‌های ۱، ۲ و ۳	GP1	دمای هوا	۳/۷۶	۳/۱۱	-۰/۰۱	۴۸	۰
	GP2	دمای هوا	۳/۵۶	۲/۹۸	۰	۵۴	۰
	GP3	دمای هوا	۳/۳۵	۲/۷۵	-۰/۰۲	۵۹	۰
چندجمله‌ای موضعی با درجه‌های ۱، ۲ و ۳	LPI1	دمای هوا	۲/۱۷	۱/۶۴	۰/۰۶	۸۳	۰
	LPI2	دمای هوا	۲/۳۲	۱/۶۷	-۰/۰۷	۸۰	۰
	LPI3	دمای هوا	۸/۹۷	۲/۷	۰/۲۶	۷۳	۰
اسپیلاین	RBF	دمای هوا	۲/۱۱	۱/۵۴	-۰/۲	۸۴	۰
وزن عکس فاصله	IDW	دمای هوا	۲/۱۲	۱/۵۴	-۰/۲۷	۸۴	۰
کریجینگ معمولی	OK	دمای هوا	۲/۳۴	۱/۸۱	-۰/۰۱	۸۰	۰
کوکریجینگ	CO_Kriging	دمای هوا+ارتفاع	۲/۳۳	۱/۸	-۰/۰۱	۸۱	۰
رگرسیون وزن دار جغرافیایی	GWR_Z	دمای هوا+ ارتفاع	۰/۸۹	۰/۶۹	۰/۰۶	۹۷	-
	GWR_ZD	دمای هوا+ ارتفاع+ فاصله از دریا	۱	۰/۷۹	۰/۰۷	۹۷	۰/۶۷
	GWR_ZA	دمای هوا+ ارتفاع+ سمت دریا	۱/۱۷	۰/۹۲	۰/۰۸	۹۶	۰/۳۲۲
	GWR_ZDA	دمای هوا+ ارتفاع+ فاصله و سمت دریا	۱/۰۹	۰/۸۶	۰/۱	۹۵	۰/۴۶

GP: global Polynomial, LP: Local Polynomial, IDW: Inverse Distance Weighted, GWR: Geographically Weighted Regression, RBF: Radial Basis Function, OK: Ordinary Kriging

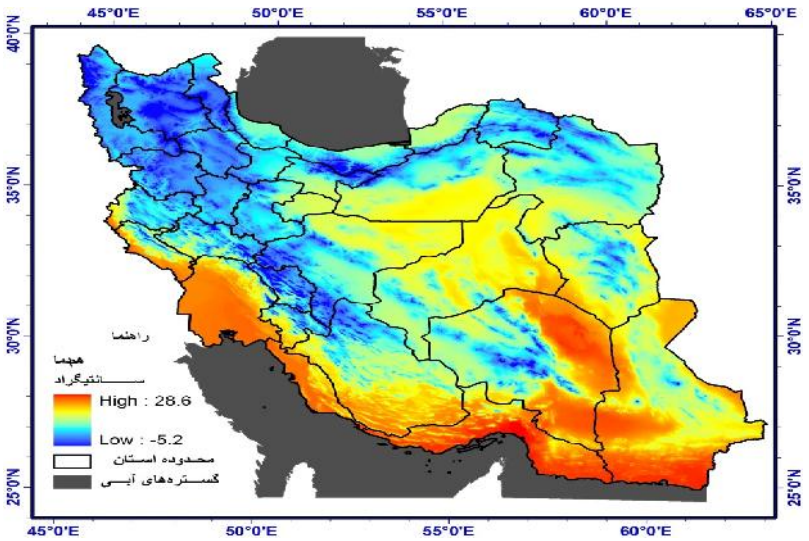
پارامترهای ارتفاع (Z)، فاصله از دریا (D)، زاویه آزیموت سمت دریا (A) در معادله‌های رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی وارد شدند تا نتایج آنها در تخمین میانگین سالانه دمای هوا در منطقه مطالعاتی ارزیابی شوند. نتایج این بررسی نشان داد که پارامتر ارتفاع از مؤثرترین عوامل در تغییرات مکانی میانگین سالانه دمای هوا می‌باشد، به‌طوری‌که الگوی رگرسیونی وزن‌دار جغرافیایی حاصل از آن (GWR_Z) کمترین مقدار خطا با RMSE=۰/۸۹ و بیشترین همبستگی با ضریب تبیین ۹۷ درصد را بین مقادیر مشاهده شده و درون‌یابی شده دارا می‌باشد. دخالت دادن پارامتر زاویه آزیموت سمت دریا و دوری از دریا نه تنها باعث کاهش خطای پیش‌بینی بلکه باعث افزایش خطای پیش‌بینی شده است (الگوهای GWR_ZA، GWR_ZD و GWR_ZDA) (جدول ۱). همچنین بررسی شکل‌های ۲ و ۳ به ترتیب حاصل از درون‌یابی به روش‌های کریجینگ و رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی نشان می‌دهد که در روش کریجینگ و بطور کلی روش‌های درون‌یابی قطعی و زمین آمار، بدلیل نبود پراکنش مناسب شبکه ایستگاه‌های مطالعاتی و نبود یا کمبود ایستگاه‌ها در ارتفاعات، اثر ارتفاع بر دما دیده نشده است و اختلاف دمایی بین مناطق کوهستانی با مناطق غیر کوهستانی را نشان نمی‌دهد. در حالیکه در روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

این امر به خوبی دیده می‌شود. همچنین تأثیر مستقیم ایستگاه‌های مجاور در برآورد مقدار دما در یک نقطه باعث شده است تا در روش‌های درون‌یابی قطعی و زمین آمار در مناطقی که ایستگاه کم است یا فاصله ایستگاه‌ها زیاد است (مناطق کویری ایران)، دقت برآورد کاهش یابد و دمای این مناطق را که گرمترین نقطه ایران می‌باشند (کویر لوت) سردتر از نوار سواحل جنوبی کشور نشان دهد.



شکل ۲- نقشه هم‌مقدار میانگین سالانه دمای هوا ترسیم شده با استفاده از روش کریجینگ



شکل ۳- نقشه هم‌مقدار میانگین سالانه دمای هوا ترسیم شده با استفاده از روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

ارزیابی روش‌های درون‌یابی رطوبت نسبی هوا

بررسی روابط رگرسیونی موضعی بین رطوبت نسبی و ارتفاع ایستگاه‌های مطالعاتی نشان می‌دهد که در بیش از ۸۰ درصد ایستگاه‌ها ضرایب تبیین کمتر از ۵۰ درصد حاکم است که نشان‌دهنده همبستگی ضعیف بین رطوبت نسبی و ارتفاع در منطقه مطالعاتی می‌باشد. همچنین مقایسه نتایج روش‌های مختلف درون‌یابی نیز نشان می‌دهد اختلاف زیادی بین روش‌های قطعی، زمین آمار و رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی در درون‌یابی رطوبت نسبی وجود ندارد.

جدول ۲- نتایج ارزیابی خطا روش‌های مختلف درون‌یابی رطوبت نسبی

الگو	علامت اختصاری الگو	متغیرهای دخالت داده شده در درون‌یابی	معیارهای ارزیابی خطا RMSE	MAE	MBE	ضریب تبیین R^2	P-Value
چندجمله‌ای سراسری با درجه‌های ۱، ۲ و ۳	GP1	رطوبت نسبی	۱۲/۵۲	۹/۴۱	-۰/۰۳	۱۷	۰
	GP2	رطوبت نسبی	۹/۱۳	۷	۰/۰۱	۵۶	۰
	GP3	رطوبت نسبی	۸/۲۳	۶/۵۵	۰/۰۲	۶۴	۰/۰۰۹
چندجمله‌ای موضعی با درجه‌های ۱، ۲ و ۳	LPI1	رطوبت نسبی	۵/۶۲	۴/۶۱	۰/۶۲	۸۳	۰/۷۱۱
	LPI2	رطوبت نسبی	۵/۹۷	۴/۸۷	۰/۱۶	۸۱	۰/۹۷۵
	LPI3	رطوبت نسبی	۲۴/۷۵	۸/۲۴	-۱/۲۸	۱۲	۰
اسپیلاین	RBF	رطوبت نسبی	۶/۱۵	۴/۹۵	۰/۲	۸۰	۰/۸۷۷
وزن عکس فاصله	IDW	رطوبت نسبی	۶/۳۹	۵/۰۹	۰/۵	۷۹	۰/۷۱۱
کریجینگ معمولی	OK	رطوبت نسبی	۵/۷۴	۴/۷۳	۰/۱۲	۸۳	۰/۸۵۳
کوکریجینگ	CO_Kriging	رطوبت نسبی + ارتفاع	۵/۷	۴/۷۲	۰/۱۵	۸۳	۰/۸۶۵
رگرسیون وزن دار جغرافیایی	GWR_Z	رطوبت نسبی + ارتفاع	۶/۱۷	۴/۸۳	-۰/۳۷	۸۰	-
	GWR_ZD	رطوبت نسبی + ارتفاع+ فاصله از دریا	۴/۹۸	۳/۹۶	-۰/۴۶	۸۷	۰/۱۷۵
	GWR_ZA	رطوبت نسبی + ارتفاع+ سمت دریا	۵/۶۹	۴/۳۷	-۰/۲۴	۸۳	۰/۴۶۸
	GWR_ZDA	رطوبت نسبی + ارتفاع + فاصله و سمت دریا	۵/۴۴	۴/۲	-۰/۶۷	۸۵	۰/۳۰۸

GP: global Polynomial, LP: Local Polynomial, IDW: Inverse Distance Weighted, GWR: Geographically Weighted Regression, RBF: Radial Basis Function, OK: Ordinary Kriging

در مقایسه نتایج این تحقیق با دیگران می‌توان بیان کرد که در مورد روش‌های درون‌یابی با وجود شباهت‌هایی که در نتایج مطالعات مختلف بدست آمده، اختلافات زیادی نیز در آنها به چشم می‌خورد. در دو منطقه متفاوت، مهدی‌زاده (۱۱) در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه و پرایس و همکاران (۱۳) در غرب و شرق کانادا به این نتیجه رسیدند که روش اسپلاین با مقدار خطایی کمتر، نتایج بهتری را در درون‌یابی دمای هوا ارائه می‌کند

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

ولی رودریگز-لادو و همکاران (۹) روش رگرسیون چند متغیره و کاو و همکاران (۳) روش کریجینگ را برای درون‌یابی دمای هوا مناسب‌تر تشخیص دادند. لذا انتخاب یک روش درون‌یابی مناسب بستگی به متغیر مورد نظر دارد و عوامل دیگری همچون منطقه مورد مطالعه، تعداد نقاط مشاهده، تراکم و پراکندگی داده‌ها، همگن یا ناهمگن بودن نقاط و سایر عوامل فیزیکی و شیمیایی در انتخاب روش بهینه برآورد، مؤثرند (۱). در مورد روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی، دخالت دادن عوامل مؤثر بر تغییرات مکانی دما باعث می‌شود تا دقت درون‌یابی افزایش یابد. بطوریکه در این تحقیق استفاده از متغیر ارتفاع به عنوان عامل مؤثر در تغییرات مکانی دما باعث شده است تا روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی برآورد بهتری نسبت به روش‌های قطعی و زمین آمار در درون‌یابی میانگین سالانه دمای هوا داشته باشد. از بین مطالعاتی که روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی را با دیگر روش‌های درون‌یابی مورد مقایسه قرار داده‌اند می‌توان به مطالعات گاندوجو و اسن (۶) در ترکیه اشاره کرد که برتری روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی را نسبت به روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ در درون‌یابی دما نشان می‌دهد و با نتایج این تحقیق نیز کاملاً همخوانی دارد.

روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی یک روش آماری است که برای مطالعه الگوهای موضعی سازگار شده است، بنابراین این روش در مناطقی که روابط رگرسیونی خوبی بین عامل اقلیمی با عوامل جغرافیایی حاکم باشد برآورد بهتری را نسبت به دیگر روش‌های درون یابی ارائه می‌کند. نتایج این تحقیق درباره درون‌یابی رطوبت نسبی و میانگین سالانه دمای هوا نشان داد که در مورد رطوبت نسبی که روابط رگرسیونی موضعی خوبی با عوامل جغرافیایی مانند ارتفاع نداشت دقت نتایج مختلف درون‌یابی اختلاف چندانی ندارد، درحالی‌که درمورد میانگین سالانه دمای هوا که همبستگی خوبی با ارتفاع دارد اختلاف زیادی بین دقت درون‌یابی به روش رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی با دیگر روش‌های درون‌یابی قطعی و زمین آمار مشاهده می‌شود و این روش مناسب‌ترین روش در ترسیم نقشه‌های هم‌دمای سالانه معرفی می‌گردد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

منابع

1. Aghdasi, F. 2004. Study of some geostatistical methods for mapping of daily and annual precipitation (case study: Borkhar plain), A thesis submitted for degree of Master of Science in Agrometeorology. University of Tehran. (In Persian)
2. Bostan, P.A. and Z. Akyürek. 2007. Exploring the mean annual precipitation and temperature values over Turkey by using environmental variables. In ISPRS Joint Workshop "Visualization and Exploration of Geospatial Data". University of Applied Sciences, Stuttgart
3. Cao, W., J. Hu and X. Yu. 2009. A study on temperature interpolation methods based on GIS. In Geoinformatics, 2009 17th International Conference on Geoinformatics, Fairfax, VA. IEEE Press.
4. Fotheringham, A.S., C. Brunsdon and M. Charlton. 2003. Geographically weighted regression: the analysis of spatially varying relationships. John Wiley & Sons.
5. Ghorbani, Kh. 2012. Geographically weighted regression: A method for mapping isohyets in Gilan Province. Journal of water and soil. 26(3): 743-752. (In Persian)
6. Gundogdu, I. and O. ESEN. 2010. The importance of secondary variables for mapping of meteorological data. The 3rd international conference on cartography and GIS. 15-20 June, 2010, Nessebar, Bulgaria.
7. Hartkamp, A.D., K.D. Beurs, A. Stein and J.W. White. 1999. Interpolation Techniques for climate variables. http://www.Cimmyt. org/.
8. Khalili, A. 1996. Three variations of long-term mean air temperature over Iran. Journal of Nivar. No. 32.
9. Rodríguez-Lado, L., G. Sparovek, P. Vidal-Torrado, D. Dourado-Neto and Macías-F. Vázquez. 2007. Modelling air temperature for the state of São Paulo, Brazil. Scientia Agricola, 64(5): 460-467.
10. Madani, H. 1994. Geostatistical basics. Amirkabir University publication. (In Persian)
11. Mehdizadeh, H. 2002. Evaluation of Geostatistical methods to estimate temperature and rainfall in Ourmieh lake basin. A thesis submitted for degree of master of science in agrometeorology. University of Tehran. (In Persian)
12. Mennis, J. 2006. Mapping the Results of Geographically Weighted Regression. The Cartographic Journal. 43(2): 171-179.
13. Price, D.T., D.W. McKenney, I.A. Nalder, M.F. Hutchinson and J.L. Kesteven. 2000. A comparison of two statistical methods for spatial interpolation of Canadian monthly mean climate data. Agricultural and Forest meteorology, 101(2): 81-94.
14. Tobler, W.R. 1970. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region, Economic Geography, 46: 234-240.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-15]

The Effect of Local Gradients on Increasing of Climatic Data Interpolation Accuracy by Geographically Weighted Regression (Case Study: Air Temperature and Relative Humidity)

Khalil Ghorbani[1] and Zahra AghaShariatmadary[2]

1- Assistant Professor, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Gorgan
(Corresponding author: ghorbani.khalil@yahoo.com)
2- Assistant Professor, University of Tehran
Received: August 31, 2012 Accepted: February 25, 2013

Abstract

Due to spatial correlations between climatic variables and natural features like altitude, the gradients finding is the first option in zoning of them. Various gradients in large area and lack of knowledge of them is resulted in applying of geostatistical and deterministic interpolation techniques by researchers. Geographically Weighted Regression (GWR) is a method which can identify local regressions as well and in spite of gradient increases interpolation accuracy. Accordingly, this research was conducted in order to evaluation of GWR's accuracy than another interpolation methods based on 30 years average of air temperature and relative humidity data of 240 synoptic and climatologically station in Iran. The results of this research on air temperature which was a function of altitude showed that GWR method had significant difference than other methods, while there was no significant difference on relative humidity and These results may be due to no specific correlation between altitude and relative humidity.

Keywords: Zoning, Interpolation, Air temperature, Relative humidity, Geographically weighted regression

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-15]