

ارزیابی دقت روش‌های مختلف درون‌یابی در تخمین مقادیر بارش جهت انتخاب بهینه‌ترین الگوریتم (مطالعه موردی: استان کردستان)

آرش زندکریمی - دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور دانشگاه تبریز
داود مختاری* - دانشیار گروه ژئومورفولوژی دانشگاه تبریز

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۱۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۳/۱۵

چکیده

برآورد دقیق خصوصیات کمی و کیفی پدیده‌های طبیعی مستلزم صرف زمان و هزینه زیاد است. در این راستا، درون‌یابی روشی کارآمد شناخته شده است که، با ارائه و تعمیم مقادیر نقطه‌ای به سطح، صرفه‌جویی در وقت و هزینه را فراهم کرده است. الگوریتم‌های مختلف درون‌یابی مدل‌سازی مقادیر را مقدور می‌سازد که گام مهمی در مدیریت منابع محسوب می‌شود. با توجه به اینکه صحت داده‌های ورودی در تحلیل‌ها و تصمیم‌گیری‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است، در تحقیق حاضر به ارزیابی دقت حاصله استفاده از ۱۰ الگوریتم مختلف درون‌یابی در تخمین مقادیر بارش پرداخته شده است. در این تحقیق از Cross - Validation به منظور مقایسه الگوریتم‌های مختلف استفاده شده است. همچنین، مدل‌ها با استفاده از ریشه متوسط مربع خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE)، معیار اریب خطا (MBE)، و ضریب تبیین (R^2) مقایسه آماری شده‌اند. نتایج به دست آمده از ارزیابی دقت نشان می‌دهد که روش Ordinary Kriging با مدل تابع Circular با $MAE=53.37$ ، $MBE=-0.05$ ، $MAE=53.37$ ، $MBE=-0.05$ و $R^2=0.70$ نسبت به سایر مدل‌ها از اعتبار بیشتری برخوردار است و مناسب‌ترین روش درون‌یابی پراکنش مقادیر بارش در استان کردستان است. با توجه به ماهیت مقایسه‌ای این تحقیق، نتایج آن برای شناسایی روش‌های بهینه درون‌یابی پراکنش بارش در مناطق کوهستانی از اهمیت بسیاری زیادی برخوردار است.

کلیدواژه‌ها: ارزیابی دقت، استان کردستان، تخمین مقادیر بارش، درون‌یابی.

مقدمه

مدیریت محیط زیست به اطلاعات فضایی پیوسته از متغیرهای محیطی نیاز دارد؛ با این حال، بسیاری از این اطلاعات به صورت نقطه‌ای و گسسته برداشت می‌شود. بنابراین، امروزه روش‌های تبدیل داده‌های نقطه‌ای به پیوسته به ابزاری ضروری تبدیل شده است (لی و اندرو، ۲۰۱۴: ۱۷۳). درون‌یابی فضایی با پیش‌بینی مقادیر یک متغیر اصلی نقطه‌ای در ناحیه‌ای که نمونه‌برداری صورت گرفته (باروف و مک دونل، ۱۹۹۸: ۲۴۴) تبدیل داده‌های نقطه‌ای به داده‌های پهنه‌ای را ممکن می‌کند (چانگ، ۲۰۰۴: ۲۷۵).

الگوریتم‌های متفاوتی برای درون‌یابی فضایی وجود دارد که به طور کلی در دو دسته قطعی^۱ و زمین‌آمار^۲ قرار می‌گیرند (باروف و مک دونل، ۱۹۹۸). در روش‌های قطعی (روش وزنده عکس فاصله (IDW) و توابع پایه شعاعی

(RBF و ...) درون‌یابی براساس تعیین سطح از نقاط نمونه‌گیری شده و بر پایه شباهت‌ها انجام می‌شود؛ اما روش‌های زمین‌آمار (مانند Kriging و ...) کمیت همبستگی مکانی نقاط نمونه‌برداری شده را مد نظر قرار می‌دهد و تخمین را بر اساس موقعیت قرارگیری مکان نمونه‌های اندازه‌گیری نشده انجام می‌دهد (تازه و همکاران، ۱۳۸۷: ۸).

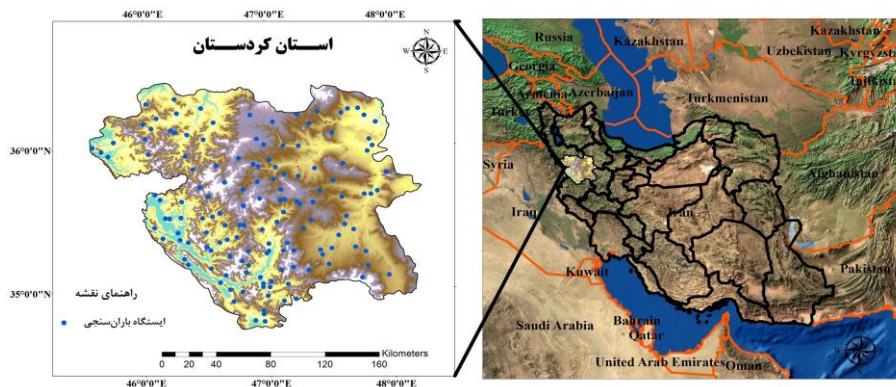
بیشترین توسعه درون‌یابی در اواخر دهه ۱۹۷۰ با کاربرد در رشته‌های زمین‌شناسی، محیط زیست، و ... انجام گرفت (جورنیل و هویجبریگت، ۱۹۷۸؛ ایساک و سریواستوا، ۱۹۸۹؛ ویبستر و اولیور، ۱۹۹۲؛ کریسی، ۱۹۹۳؛ گووارتز، ۱۹۹۷؛ واکرنگل، ۲۰۰۳؛ هنگل و همکاران، ۲۰۰۹؛ فردل و ایواشیتا، ۲۰۱۳؛ سیستن و تومبو، ۲۰۱۵). در ایران، هم‌زمان با توسعه روش‌های جدید درون‌یابی، پژوهشگران متعددی (شمس‌الدینی، ۱۳۷۹؛ صفری، ۱۳۸۱؛ مهدی‌زاده، ۱۳۸۱؛ رحیمی بندرآبادی و مهدیان، ۱۳۸۲؛ مسعودیان، ۱۳۸۲؛ سلطانی و مدرس، ۱۳۸۵؛ تازه و همکاران، ۱۳۸۷؛ ناد و همکاران، ۱۳۹۱) میزان دقت برآورد این شیوه‌ها را مقایسه کردند.

در روش‌های قطعی از توابع ریاضی بر حسب فاصله دوری یا نزدیکی نقاط همسایه‌ها (IDW) یا درجه صافی و همواری (Spline) استفاده می‌شود؛ اما در روش‌های غیرقطعی، علاوه بر استفاده از توابع ریاضی، از آمار نیز برای پیش‌بینی نقاط نامعلوم استفاده می‌شود (صفری، ۱۳۸۶: ۳۳). نکته حائز اهمیت این است که برای حالات مختلف از نظر توزیع مکانی هیچ‌گاه یک روش به عنوان مدل بهینه پیشنهاد نمی‌شود (رنگزن و همکاران، ۱۳۸۴: ۷).

بررسی نقشه‌های توپوگرافی استان کردستان نشان می‌دهد که ارتفاع این منطقه بین ۷۰۸ تا ۳۲۰۷ متر نوسان دارد؛ این در حالی است که ایستگاه‌های هواشناسی آن در محدوده ۸۳۰ تا ۲۳۹۲ متر قرار دارد. بنابراین، با توجه به کوهستانی بودن منطقه و تغییرات شدید توپوگرافی و نبود پراکنش مناسب ایستگاه‌های باران‌سنجی، ضرورت استفاده از روش مناسب درون‌یابی پراکنش مقادیر بارش انکارناپذیر است. تحقیق حاضر با هدف ارزیابی دقت حاصله استفاده از الگوریتم‌های مختلف درون‌یابی پراکنش مقادیر بارش و انتخاب بهترین الگوریتم در سطح استان کردستان انجام گرفته است.

موقعیت منطقه مورد مطالعه

استان کردستان، با مساحت ۲۹۱۷۳ کیلومتر مربع، در غرب کشور ایران واقع شده است (شکل ۱). این استان با دارا بودن ۵۰۰ میلی‌متر (بیش از دو برابر بارندگی متوسط ایران) یکی از پرباران‌ترین استان‌های ایران است؛ به طوری که با ۱۰۷ درصد مساحت ۳۵ درصد حجم بارندگی‌های کشور را دریافت می‌کند و با توجه به قرارگیری چهار حوضه آبریز مهم کشور در این ناحیه (استاندارد کردستان، ۱۳۹۲) نقش مهمی در معادلات آبی کشور ایفا و ضرورت مطالعات را در این زمینه ایجاب می‌کند.

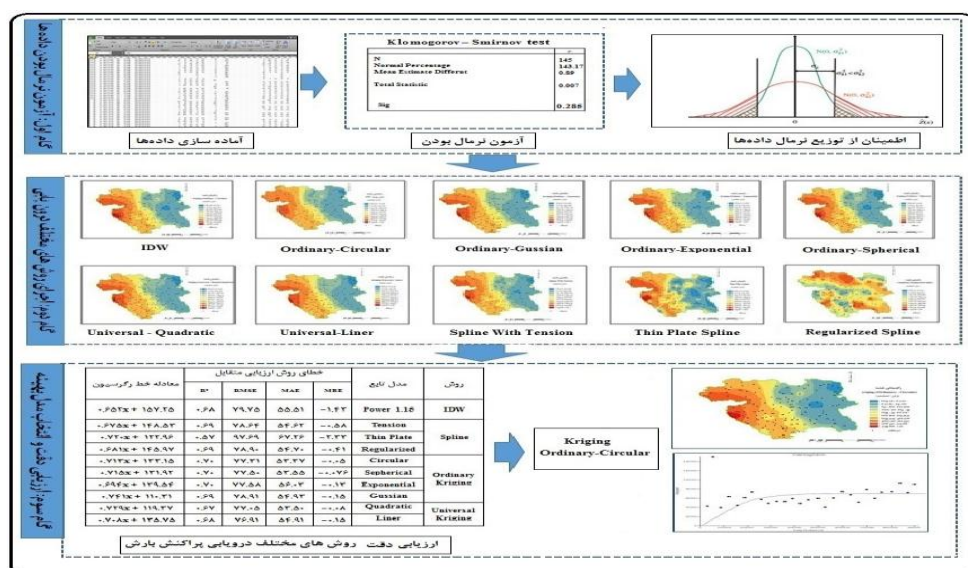


شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مورد مطالعه

مواد و روش

در این تحقیق و در راستای ارزیابی دقت روش‌های مختلف درون‌یابی مقادیر بارش استان کردستان از داده‌های بارش ایستگاه‌های باران‌سنجی، سینوپتیک، و کلیماتولوژی استفاده شده است. پس از بررسی وضعیت آماری ایستگاه‌ها، دوره آماری ۲۰۰۱-۲۰۱۳ برای مطالعه انتخاب شد. از میان کلیه ایستگاه‌های داخل حوضه، ایستگاه‌هایی که تا سال ۱۳۹۲ دارای دوازده سال آمار کامل یا قابل بازسازی بودند برای مطالعه برگزیده شدند. ذکر این نکته لازم است که انتخاب ایستگاه‌ها بر اساس امکان بازسازی آمار آن‌ها با به‌کارگیری روش بیشترین همبستگی خطی با ایستگاه‌های مجاور بوده است و سرانجام کیفیت داده‌ها و نرمال بودن سری داده‌های ثبت‌شده با استفاده از آزمون‌های آماری کولموگراف-اسمیرنوف^۱ ارزیابی شده است. علاوه بر این، از داده‌های مدل رقومی ارتفاع منطقه، برداشت‌شده توسط سنجنده‌های ماهواره SRTM با دقت مکانی ۳۰ متر، و همچنین از توابع تحلیلی نرم‌افزارهای ArcGIS 10.2.2، Surfer 11، و IBM SPSS Statistics 22 استفاده شده است.

پس از بررسی داده‌های ایستگاه‌های موجود (۷۷ ایستگاه باران‌سنجی، ۲۲ ایستگاه سینوپتیک و کلیماتولوژی سازمان هواشناسی، و ۷۶ ایستگاه باران‌سنجی و تبخیرسنجی وزارت نیرو)، با توجه به دوره آماری ایستگاه‌ها و با در نظر گرفتن اینکه در بازسازی داده‌های بارندگی مفقود حداقل طول دوره مشترک آماری آن‌ها نباید کمتر از ده سال باشد (سان و پترسون، ۲۰۰۶: ۱۹۹۰)، آزمون نرمال بودن داده‌ها انجام گرفت و سرانجام ۱۴۵ ایستگاه برای آنالیز روش‌های درون‌یابی و انتخاب بهترین روش برگزیده شد. روش‌های مورد استفاده در این پژوهش عبارت‌اند از: Inverse Distance، Spline، Weighting (با تابع‌های Tension، Thin Plate، Completely Regular)، Ordinary Kriging (با تابع‌های Spherical، Circular، Exponential، Gaussian)، و Universal Kriging (با تابع‌های Rational، Quadratic و Liner). شکل ۲ مراحل اجرای پژوهش برای انتخاب داده‌ها و بهینه‌ترین روش را نشان می‌دهد. پس از انتخاب مناسب‌ترین روش درون‌یابی با بررسی نیم‌تغییرنما، ویژگی‌های مهم آن از جمله همسان‌گردی، پیوستگی، و ایستایی مکانی تحلیل شده است.



شکل ۲. فلوجارت مراحل اجرای پژوهش

ویژگی‌های متغیر در منطقه مورد مطالعه

بر اساس داده‌های بارش ایستگاه‌های همدید استان کردستان، میانگین بارش سالانه حدود ۵۰۰ میلی‌متر و انحراف معیار ۱۴۱.۴۶ است که بیانگر پراکنش ریزش سالیانه در این منطقه است. توزیع مکانی بارش به این صورت است که هسته‌های پُربارش در غرب و هسته‌های کم‌بارش در شرق استان جای گرفته‌اند و هرچه از جانب غرب به سمت شرق استان کردستان حرکت می‌کنیم از مقدار بارش کاسته می‌شود. به طور کلی، می‌توان سه پهنه کم‌بارش شرقی (۳۶۸ میلی‌متر)، میان‌بارش مرکزی (۵۳۷.۷ میلی‌متر)، و پُربارش غربی (۷۰۶ میلی‌متر) را تفکیک کرد که به ترتیب ۴۷، ۳۶، و ۱۷ درصد سطح استان را به خود اختصاص داده‌اند (محمودی و علیجانی، ۱۳۹۲: ۲۱۱). از لحاظ زمانی نیز فصل تابستان با ۵.۹ و زمستان با ۲۰۶.۹ میلی‌متر به ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر بارش را دارا هستند. نتایج آزمون‌های ناپارامتری برای آشکار ساختن روند بلندمدت بارش حاکی است از روند معنی‌دار بارش سالانه و فصلی بلندمدت در ایستگاه‌های هواشناسی استان کردستان. به طور کلی، بارش سالانه استان کردستان روند کاهشی معنی‌داری را نشان می‌دهد (محمودی، ۱۳۹۱: ۱۲). با توجه به ویژگی داده‌های بارش در منطقه مورد مطالعه، انتخاب روش مناسب درون‌یابی توزیع این داده‌ها بسیار ضروری است.

آزمون نرمال بودن داده‌ها

پیش از اجرای درون‌یابی، نرمال بودن داده‌ها باید بررسی شود (نادی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۲۲). در این تحقیق، با استفاده از کولموگراف-اسمیرنوف، نرمال بودن داده‌ها در دو سطح ۹۵ درصد آزمون شده است.

اجرای روش‌های مختلف درون‌یابی

با توجه به اینکه هر یک از روش‌های درون‌یابی مزایا و معایبی دارند و کاربرد با توجه به نیاز خود و در نظر گرفتن میزان دقت و سایر ویژگی این روش‌ها از میان آن‌ها بهترین روش را انتخاب می‌کند (فرجی سبکبار و عزیزی، ۱۳۸۵: ۲)، در این پژوهش، از روش‌های مختلف درون‌یابی برای ارزیابی دقت آن‌ها در تخمین مقادیر بارش استان کردستان استفاده شده است.

عکس فاصله وزنی^۱

از مهم‌ترین روش‌های درون‌یابی روش عکس فاصله وزنی (IDW) است (عباسی جندانی و ملکی نژاد، ۱۳۹۳: ۴) که روشی کاملاً ریاضی است (واقفی و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۹) و اساس جغرافیایی دارد (بیانچینی و همکاران، ۲۰۱۵: ۴۶۸۰). این روش را اولین بار شپارد^۲ در سال ۱۹۶۸ ارائه کرد (شپارد، ۱۹۶۸). در این روش، با توان‌دهی به داده‌های اطراف نقطه مورد برآورد، کمیت مجهول به دست می‌آید و درون‌یابی انجام می‌شود (رستمی و همکاران، ۱۳۹۳: ۵۸). به عبارت دیگر، در این روش از وزن متوسط نقاط اندازه‌گیری شده (معادله ۱) برای به دست آوردن نقاط پیش‌بینی شده و بر اساس معکوس فاصله استفاده می‌شود (کانگ، ۲۰۱۴: ۶). بنابراین، انتخاب تعداد همسایه‌ها در دقت این روش بسیار تأثیرگذار است (احمد و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۱۴۴).

$$z(x) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\omega_i(x) z_i}{\sum_{j=1}^n \omega_j(x)} \right) \quad \omega_i(x) = \frac{1}{d(x, x_i)^p} \quad (1)$$

ضریب وزنی و ω_i که در آن Z_i مقادیر اندازه‌گیری شده است.

1. Inverse Distance Weighting
2. Shepard

اسپلاین^۱

در دهه‌های اخیر، استفاده از توابع پایه‌ای شعاعی (RBFs)^۲ در تخمین داده‌ها کاربرد بسیار زیادی یافته است (لوسر و همکاران، ۲۰۱۴: ۱۸). در این روش از معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی برای برآورد نقاط مجهول استفاده می‌شود (بوهمان، ۲۰۰۳: ۱۵۴؛ ویندلند و ریگر، ۲۰۰۵: ۷۳۶؛ فمشاور، ۲۰۰۷: ۳۱۶) و روی داده‌هایی که به طور نامنظم در یک منطقه پخش شده‌اند اعمال می‌شود و یک درون‌یابی چندمتغیره هموار روی داده‌ها انجام می‌شود (محمدی، ۱۳۸۵: ۱۴۵). توابع پایه‌ای شعاعی که در این پژوهش بررسی شده‌اند عبارت‌اند از: اسپلاین کششی^۳، منظم^۴، و صفحه نازک^۵. روش اسپلاین با استفاده از معادله ۲ اجرا می‌شود.

$$Z(x, y) = T(x, y) + \sum_{i=1}^n \lambda_j R(r_j) \quad (2)$$

که در آن N تعداد نقاط نمونه، λ_j ضریب راه‌حل معادلات خطی، r_j فاصله از نقطه نمونه j ام است، $T(x, y)$ و $R(r_j)$ با توجه به نوع گزینه توسط کاربر تعیین می‌شوند. با توجه به نوع تابع مورد استفاده تغییراتی در این فرمول انجام خواهد گرفت.

روش کریجینگ^۶

روش کریجینگ یکی از روش‌های پیشرفته زمین‌آمار است (گل محمدی و همکاران، ۱۳۸۶: ۵۰۷). این روش تخمینگر خطی ناریب با کمترین واریانس است (نورزاده حداد و همکاران، ۱۳۹۲: ۷۴) که در ابتدا برای ارزیابی منابع طبیعی پیشنهاد شد (ژو و همکاران، ۲۰۱۳: ۳۳). در واقع، روش کریجینگ یک میانگین متحرک وزن‌دار است (جلالی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۹۷) که بهترین تخمینگر خطی ناریب شناخته می‌شود (مهرشاهی و خسروی، ۱۳۸۷: ۲۳۶). مطلق بودن تخمین در درون‌یابی از ویژگی‌های عمده این روش است (میرموسوی، ۱۳۸۸: ۱۱۲). برای برآورد مقادیر بر اساس کریجینگ روش‌های مختلفی وجود دارد؛ در این تحقیق از دو روش کریجینگ معمولی و کریجینگ عمومی استفاده شده است:

کریجینگ معمولی^۷

در این روش، همانند سایر روش‌های کریجینگ، برای درون‌یابی تغییرات فضایی از واریوگرام استفاده می‌شود و خطای مقادیر پیش‌بینی شده را با توجه به توزیع فضایی داده‌ها کمینه می‌کنند (فرجی سبکیار و همکاران، ۱۳۸۵: ۶). معادله ۳ متغیرهای این روش را نشان می‌دهد (مایر، ۱۹۸۲: ۱۵۶).

$$Z^* = \sum_{i=1}^n W_i Z_i \quad (3)$$

در معادله ۳، Z_0 برابر با مقادیر برآوردشده، W_i برابر با وزن، و Z_i برابر با مقادیر نمونه است. وزن‌ها به درجه همبستگی بین نقاط نمونه و نقاط برآوردشده بستگی دارد و همیشه جمع آن‌ها برابر با ۱ است. مدل تابع‌های کریجینگ معمولی که در این پژوهش ارزیابی شده است عبارت‌اند از: Gaussian، Spherical، Circular، Exponential.

1. Spline
2. Radial Basis Functions
3. spline- tension
4. regular
5. spline-thin plate
6. Kriging
7. Ordinary Kriging

کریجینگ عمومی^۱

روش کریجینگ عمومی تلفیق روش کریجینگ معمولی با روند محلی است. بر اساس فرضیات نظریه تغییرپذیری ناحیه‌ای، تغییرات فضایی هر متغیر Z با جمع دو مؤلفه اصلی بیان می‌شود. در معادله ۴، $m(x)$ مؤلفه همبستگی فضایی است که به عنوان متغیر ناحیه‌ای $\epsilon'(x)$ شناخته می‌شود. اگر مکانی در یک فضای دوبعدی باشد، متغیر Z در x به صورت معادله ۴ تعریف خواهد شد (فرجی سبکیار و همکاران، ۱۳۸۵: ۷).

$$Z(x) = m(x) + \epsilon'(x) \quad (4)$$

در این پژوهش روش کریجینگ عمومی توابع کوادراتیک^۲ و خطی^۳ بررسی شده است.

ارزیابی دقت و انتخاب مدل بهینه

بررسی‌ها نشان می‌دهد که نوع متغیر و تغییرپذیری مکانی آن روش مناسب درونیابی را مشخص می‌کند. برای ارزیابی دقت متقابل یک نقطه به صورت موقتی حذف می‌شود و با اعمال درونیابی مورد نظر برای آن نقطه مقداری برآورد می‌شود. سپس، مقدار حذف‌شده به جای خود برگردانده می‌شود و برای بقیه نقاط به صورت مجزا این برآورد انجام می‌گیرد؛ به طوری که در پایان یک جدول با دو ستون، که نشان‌دهنده مقادیر واقعی و برآوردشده است، حاصل می‌شود. با داشتن این مقادیر، می‌توان میانگین خطای مطلق (MAE)^۴ و معیار اریب خطا (MBE)^۵ را به دست آورد. هر چه دو مقدار مقدار فوق به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده بالا بودن دقت مدل است. سایر آزمون‌ها برای ارزیابی کارایی روش‌های درونیابی عبارت‌اند از: روش ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE)^۶ و ضریب همبستگی (R^2) بین مقادیر محاسبه‌شده و مشاهده‌ای؛ هرچه مقدار RMSE کمتر و میزان R^2 بیشتر باشد، مدل اعمال‌شده دارای دقت آماری بیشتری خواهد بود (میرموسوی و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۱۱).

$$MAE = 1/n \sum_{i=1}^n |z(x_i) - z'(x_i)| \quad (5)$$

$$MBE = 1/n \sum_{i=1}^n (z(x_i) - z'(x_i)) \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{1/n \sum_{i=1}^n (z(x_i) - z'(x_i))^2} \quad (7)$$

که در آن $z^*(x_i)$ مقادیر پیش‌بینی‌شده و $z(x_i)$ مقادیر اندازه‌گیری‌شده است.

بررسی نیم‌تغییرنما

نیم‌تغییرنما اساسی‌ترین ابزار در زمین‌آمار است که برای تشریح ارتباط مکانی یک متغیر به کار می‌رود (بیانو و همکاران، ۱۹۹۹: ۱۰۷۲). با استفاده از آن می‌توان کیفیت نتایج را سنجید. همچنین، همبستگی مکانی داده‌ها را نمایش داد (کاراتالا و همکاران، ۱۹۸۸: ۱۶). داده‌های مکانی، که نیم‌تغییرنمای آن با افزایش فاصله به طور منظم افزایش می‌یابد و به مقدار

1. Universal Kriging
2. rational quadratic
3. liner
4. Mean Absolute Error
5. Mean Bias Error
6. Root Mean Square Error

آستانه می‌رسد، دارای همبستگی مکانی است. از طرفی، هر چه شیب بخش پرش نیم‌تغییرنا (میانی) بیشتر باشد، محیط ناهمگن تر خواهد بود و پیوستگی مکانی در فاصله کمتری وجود خواهد داشت (کریسی، ۱۹۸۵: ۵۸۱). از ویژگی‌های مهم دیگری که نیم‌تغییرنا نشان می‌دهد ناهمسان‌گردی مکانی داده‌هاست (زیمرن، ۱۹۹۳: ۴۵۳). نیم‌تغییرنا را می‌توان در راستاهای مختلف ترسیم کرد؛ در صورتی که در دامنه تأثیر یا سقف نیم‌تغییرنا در جهات مختلف تفاوت داشته باشد، اصطلاحاً به آن ناهمسان‌گردی^۱ اطلاق می‌شود (اولیور و زیمرن، ۱۹۹۳: ۴۵۹) که نشان از ناهمگنی‌هایی است که در جهات مختلف وجود دارد (تقفیان و همکاران، ۱۳۹۱: ۳۸).

یکی از روش‌های تشخیص ایستایی در داده‌های مکانی و روش‌های زمین‌آمار تحلیل نیم‌تغییرناست؛ به این صورت که اگر نیم‌تغییرنا به سقف معینی نرسد و ثابت نشود، داده‌ها ایستایی ندارند (کریسی و زیمرن، ۱۹۹۲: ۴۹) که می‌تواند بیانگر روند یا تناوب در داده‌ها باشد (تقفیان و همکاران، ۱۳۹۱: ۳۹). در این پژوهش، به دلیل اهمیت نیم‌تغییرنا در تحلیل‌های زمین‌آمار، پس از تعیین دقت روش‌های مختلف و انتخاب مناسب‌ترین آن‌ها، نیم‌تغییرنمای مربوطه ترسیم و بررسی شده است.

مشخصات نیم‌تغییرنا (لگ سایز، تعداد لگ، و ...) و نحوه انتخاب آن در همه مراحل درون‌یابی تأثیرگذار است. نقش انتخاب مقدار گام یا کوچک‌ترین واحد فاصله (lag) در به‌تصویر کشیدن واقعیت‌های ساختار مکانی یک کمیت در یک محیط بسیار اهمیت دارد که می‌توان با تحلیل میانگین فاصله بین نقطه مورد نظر و نقاط همسایه مناسب‌ترین فاصله را انتخاب کرد. همچنین، انتخاب هر یک از مدل‌های تتوریک نیم‌تغییرنا به حرکت نیم‌تغییرنمای تجربی در نزدیکی مبدأ بستگی دارد. اگر پدیده مورد نظر کاملاً پیوسته باشد، نیم‌تغییرنمای تجربی دارای حرکت سهمی‌گونه در نزدیکی مبدأ خواهد بود. در چنین شرایطی، معمولاً مدل گوسی مناسب است. اگر نیم‌تغییرنمای تجربی در نزدیکی مبدأ حرکت خطی داشته باشد، هم مدل کروی و هم مدل نمایی مناسب خواهد بود. اگر یک خط مستقیم، که از مبدأ نقاط اولیه نیم‌تغییرنا را پوشش می‌دهد، آستانه را در فاصله یک‌پنجم قطع کند، در این حالت مدل نمایی کاربرد بهتری نسبت به مدل کروی دارد و اگر این خط در حدود فاصله دوسوم دامنه را قطع کند، مدل کروی ترجیح دارد. روش‌ها نیز بر اساس پیشینه پژوهش و کاربرد آن‌ها در مناطق کوهستانی انتخاب شده‌اند.

یافته‌های پژوهش

آزمون نرمال بودن داده‌ها

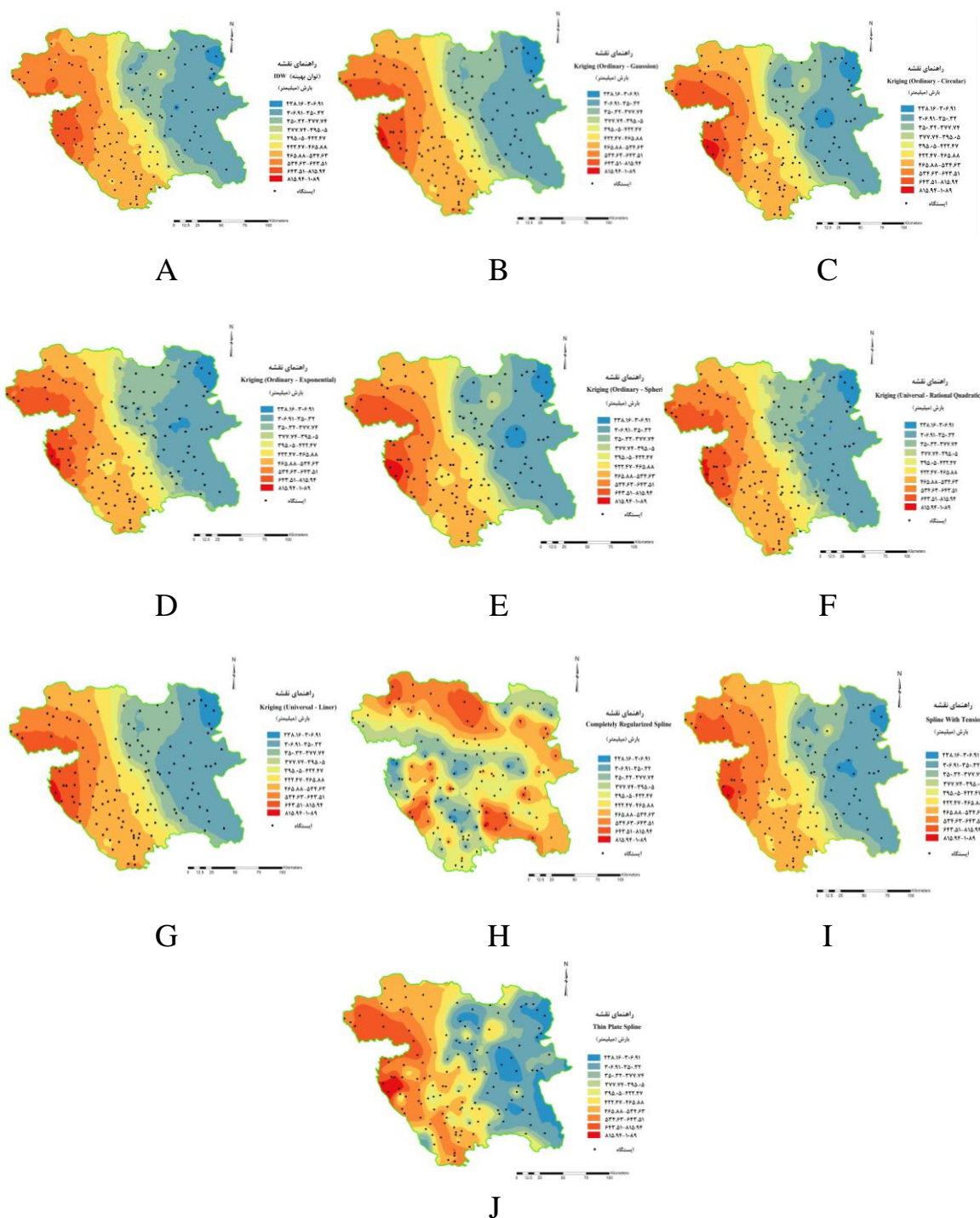
پس از مکانی کردن داده‌های بارندگی، نرمال بودن توزیع آن‌ها به وسیله آزمون‌های کولموگراف-اسمیرنوف در سطح ۹۵ درصد بررسی شد. همان‌طور که در جدول ۱ آمده است، با توجه به اینکه سطح معنی‌داری بالاتر از ۰.۰۵ است، نشان از نرمال بودن توزیع داده‌ها دارد.

جدول ۱. بررسی نرمال بودن توزیع داده‌های بارش به وسیله آزمون K-S

سطح معنی‌داری (دوطرفه)	چولگی	کشیدگی	میانگین	تعداد	پارامترهای آماری
۰.۲۴	۰.۴۴	۱.۳۸	۴۶۰.۴۸	۱۴۵	مقادیر

اجرای روش‌های مختلف درون‌یابی برای ارزیابی دقت

به منظور تحلیل دقت روش‌های مختلف درون‌یابی، به اجرای این مدل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS اقدام شده است. با اعمال هر یک از این مدل‌ها بر روی داده‌های میانگین بارش، نقشه‌هایی به دست آمد (شکل ۳) که برای ارزیابی و تعیین بهترین مدل، صحت و دقت هر یک از نقشه‌های تولیدشده ارزیابی شده است.



شکل ۳. روش‌های مختلف درون‌یابی پراکنش بارش: (a) IDW، (b) Gaussian، (c) Circular، (d) Exponential، (e) Spherical، (f) Rational Quadratic، (g) Linear، (h) Regular، (i) Tension، و (j) Thin Plate

ارزیابی دقت و انتخاب مدل بهینه

همان‌طور که در بخش قبل نیز به آن اشاره شد، هر چه مقادیر میانگین خطای مطلق (MAE) و معیار اریب خطا (MBE) به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهندهٔ بالا بودن دقت مدل است. از طرفی، هرچه ریشهٔ دوم میانگین مربع خطا (RMSE) کمتر و ضریب همبستگی (R^2) بیشتر باشد، خطای مدل کمتر است. جدول ۲ میزان خطای حاصل از اجرای روش‌های مختلف درون‌یابی را نشان می‌دهد. بر اساس یافته‌های این تحقیق، کمترین خطای مشاهدات مربوط به روش درون‌یابی کریجینگ معمولی با تابع دایره‌ای است؛ بعد از آن روش کریجینگ عمومی با واریوگرام کوادراتیک قرار دارد؛ به‌طور کلی، روش کریجینگ نسبت به سایر روش‌ها دقت بیشتری فراهم آورده است.

جدول ۲. ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی پراکنش بارش استان کردستان

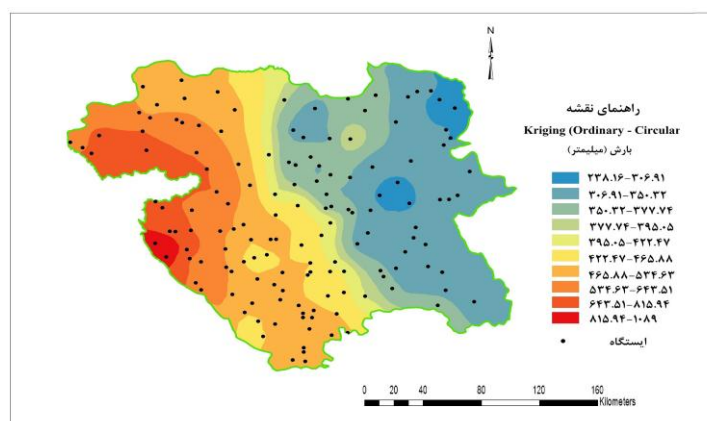
معادلهٔ خط رگرسیون	خطای روش ارزیابی متقابل				مدل تابع	روش
	R^2	RMSE	MAE	MBE		
$0.652x + 157.25$	0.68	79.75	55.51	-1.43	Power 1.15	IDW
$0.675x + 148.53$	0.69	78.64	54.62	-0.58	Tension	
$0.720x + 122.96$	0.57	97.69	67.26	-2.33	Thin Plate	Spline
$0.681x + 145.97$	0.69	78.90	54.70	-0.41	Regularized	
$0.713x + 133.15$	0.70	77.31	52.37	-0.05	Circular	
$0.715x + 131.92$	0.70	77.50	52.55	-0.76	Spherical	Ordinary Kriging
$0.694x + 139.54$	0.70	77.58	56.03	-0.13	Exponential	
$0.741x + 110.31$	0.69	78.91	54.93	-0.15	Gaussian	
$0.729x + 119.37$	0.67	77.05	52.50	-0.08	Quadratic	Universal Kriging
$0.708x + 135.75$	0.68	76.91	54.91	-0.15	Liner	

بررسی نیم‌تغییرنمای روش‌های مختلف درون‌یابی

با توجه به اینکه انتخاب پارامترهای نیم‌تغییرنما (لگ سایز، تعداد لگ، و ...) در نتیجهٔ آن تأثیر مستقیم دارد، باید اجرای آن با دقت کامل انجام گیرد. مثلاً، اگر اندازهٔ گام‌ها بسیار بزرگ باشد، خودهمبستگی دامنه‌های کوتاه نادیده گرفته می‌شود. اگر نمونه‌برداری‌ها به صورت شبکه‌ای برداشت شده باشد، فاصلهٔ بین شبکه‌ها (نمونه‌ها) معیار مناسبی برای اندازهٔ گام‌هاست. اما در صورتی که داده‌ها به صورت نامنظم یا تصادفی برداشت شده باشند، تعیین اندازهٔ گام به این سادگی نیست و باید مقدار آن حدوداً برابر با نصف بیشترین فاصله بین تمام نمونه‌ها در نظر گرفته شود. در این پژوهش، به منظور در نظر گرفتن خودهمبستگی ایستگاه‌ها در کل منطقه، ۱۲ گام در فاصلهٔ ۰.۲۲۳ متر در نظر گرفته شده است. در جدول ۳، نتایج نیم‌تغییرنمای حاصل از اجرای مدل‌های مختلف روش Ordinary Kriging به عنوان روشی با کمترین خطای درون‌یابی آمده است. ذکر این نکته لازم است که در اجرای سایر روش‌ها (IDW و ...) مناسب‌ترین توان و تعداد همسایه برای دست‌یابی به کمترین خطای انتخاب شده است.

جدول ۳. تحلیل نیم‌تغییرنما در روش Ordinary Kriging

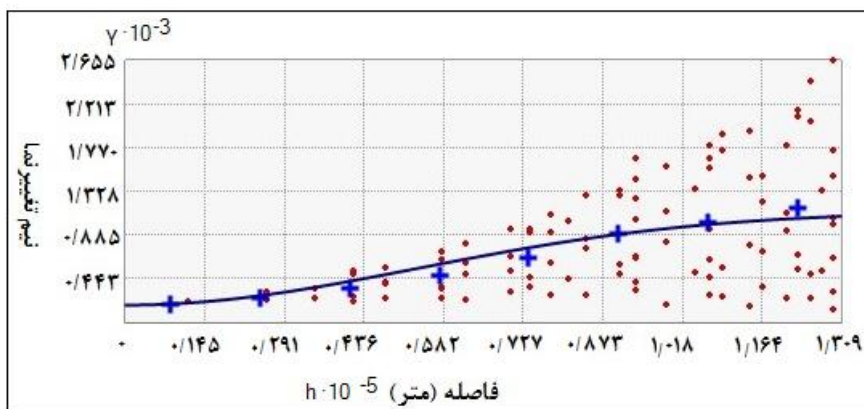
$C / (C_0+C)$	اثر قطعه‌ای (C0)		آستانه (C0+C)		شعاع تأثیر (m)	روش	
	میلی‌متر	میلی‌متر	میلی‌متر	میلی‌متر			
0.808	0.018	0.094	0.094	0.094	130908.4	Circular	
0.395	0.029	0.048	0.048	0.048	12602.3	Spherical	Ordinary Kriging
0.424	0.042	0.073	0.073	0.073	10131.5	Exponential	
0.271	0.054	0.074	0.074	0.074	97556.5	Gaussian	



شکل ۴. مدل بهینه درون‌یابی پراکنش بارش استان کردستان و نیم‌تغییرنمای تجربی آن

تحلیل نیم‌تغییرنمای مدل بهینه

پس از تعیین مناسب‌ترین روش درون‌یابی داده‌های بارش استان کردستان، با توجه به اهمیت نیم‌تغییرنما در تحلیل ارتباط مکانی متغیر، این ابزار در ارتباط با روش بهینه بررسی شده است (شکل ۵). با توجه به افزایش منظم و شیب ملایم در بخش میانی منحنی، می‌تواند همبستگی را در داده‌های بارش نشان دهد. از طرفی، با رسیدن سقف نیم‌تغییرنما به آستانه، تا حد بالایی ایستایی در داده‌ها توجیه‌شدنی است. همچنین، با ترسیم نیم‌تغییرنما در جهات مختلف، تغییرات ناگهانی در سقف و اثر قطعه‌ای و سایر شاخصه‌های نیم‌تغییرنمای داده‌های بارش استان کردستان به‌وجود نیامده است که دلالت بر عدم ناهمسان‌گردی در داده‌های بارش این استان دارد و نشان‌دهنده همگن بودن داده‌هاست.



شکل ۵. مدل بهینه درون‌یابی پراکنش بارش استان کردستان و نیم‌تغییرنمای تجربی آن

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق، دقت الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی در درون‌یابی پراکنش مقادیر بارش استان کردستان مقایسه شد. برای مقایسه عملی نتایج، از شرایط یکسان برای ارزیابی دقت استفاده شد. سپس، مهم‌ترین روش‌های ارزیابی صحت شامل میانگین خطای مطلق (MAE)، معیار اریب خطا (MBE)، ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE)، و ضریب

همبستگی (R^2) استخراج و مشخص شد که روش درون‌یابی Ordinary Kriging با مدل تابع Circular، در مقایسه با سایر روش‌ها، دارای بیشترین دقت است (جدول ۲). یکی از مهم‌ترین دلایل دستیابی به دقت بالا در این روش توانایی آن در تخمین خطی ناریب است؛ البته، سایر روش‌ها، خصوصاً Universal Kriging، با مدل تابع Quadratic، به دلیل بهره‌گیری از روندهای محلی دقت قابل قبولی ارائه می‌دهند.

مقایسه نتایج تحقیق با پژوهش‌های انجام‌گرفته در این زمینه نشان می‌دهد که در مطالعات قبلی (صفرراد و همکاران، ۱۳۹۱) عموماً از متغیرهای کمکی (ارتفاع، عرض جغرافیایی، و ...) به دلیل وسعت زیاد منطقه مورد پژوهش و ناهمسان‌گردی در داده‌های بارش استفاده و سپس دقت روش‌های مختلف سنجیده شد. همچنین، از الگوریتم‌های محدودتری برای ارزیابی دقت درون‌یابی استفاده شد.

در راستای نتایج این تحقیق و با توجه به دقت بالایی که روش Ordinary Kriging با مدل تابع Circular در مقابل سایر روش‌های درون‌یابی ارائه داده است، پژوهش آتی بر مبنای استفاده از این الگوریتم برای رسیدن به دقت بالاتر در درون‌یابی پراکنش مقادیر بارش استان کردستان استوار خواهد بود. همچنین، در پژوهش‌های آینده آزمون روش در محدوده بزرگ‌تر (چند استان) به منظور بررسی دقت روش‌های مختلف در سطح منطقه‌ای انجام خواهد گرفت. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، پیشنهاد می‌شود پژوهشگران از سایر داده‌های اقلیمی و همچنین الگوریتم‌های مناسب برای مدل‌سازی و پیش‌بینی مقادیر استفاده کنند. نتایج این تحقیق برای سازمان‌های اجرایی (نظیر سازمان جهاد کشاورزی، اداره کل منابع طبیعی، و سازمان آب منطقه‌ای) به منظور برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب و خاک قابل استفاده است.

منابع

- تازه، م.؛ کوثری، م.ر.؛ بخشایی، م. و خسروی، ی. (۱۳۸۷). پهنه‌بندی خشکی براساس نمایه ترانسو با استفاده از زمین‌آمار و GIS (مطالعه موردی: بخش غربی استان اصفهان)، کنفرانس بین‌المللی گیاه‌شناسی درختی و تغییر اقلیم در اکوسیستم‌های خزری، ساری، پژوهشکده اکوسیستم‌های خزری، ص ۱-۱۲.
- تقیان، ب.؛ دانش‌کار آراسته، پ.؛ رحیمی بندرآبادی، س.؛ فتاحی، ا. و محمدزاده، م. (۱۳۹۱). راهنمای روش‌های توزیع مکانی عوامل اقلیمی با استفاده از داده‌های نقطه‌ای، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور، ۵۸۵: ۱-۱۳۳.
- جلالی، ق.؛ طهرانی، م.؛ برومند، ن. و سنجری، ص. (۱۳۹۲). مقایسه روش‌های زمین‌آمار در تهیه نقشه پراکنش مکانی برخی عناصر غذایی در شرق استان مازندران، فصل‌نامه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، ۲۷: ۱۹۶-۲۰۴.
- رحیمی بندرآبادی، س. و مهدیان، م.ح. (۱۳۸۲). بررسی تغییرات مکانی بارندگی ماهانه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جنوب شرق ایران، سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم، ۲۹ مهر تا اول آبان، دانشگاه اصفهان. ص ۸-۱.
- رستمی، م.؛ صالحقه، ع.؛ صانعی، م. و مهدوی، م. (۱۳۹۳). ارزیابی برخی روش‌های درون‌یابی در مطالعه مورفولوژی بستر رودخانه‌ها و کانال‌های آبی، مجله علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران، ۸(۲۵): ۵۷-۶۷.
- رنگزن، ک.؛ مختاری، م. و شایگان، م. (۱۳۸۴). ارزیابی دقت مدل‌های IDW و Kriging جهت درون‌یابی داده‌های سطح آب زیرزمینی دشت میان آب شوستر، همایش ژئوماتیک ۱۳۸۴، ص ۱-۱۵.
- سلطانی، س. و مدرس، ر. (۱۳۸۵). تحلیل فراوانی و شدت خشک‌سالی هواشناسی استان اصفهان، مجله منابع طبیعی ایران، ۱: ۱۵-۲۶.
- شمس‌الدینی، ع. (۱۳۷۹). تغییرات منطقه‌ای بارندگی با استفاده از روش کریجینگ در استان‌های شمالی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.
- صفری، ه. (۱۳۸۶). مقایسه دو روش درون‌یابی Kriging و IDW، مجله شهرنگار، ۷(۴۰): ۳۳-۳۹.
- صفری، م. (۱۳۸۱). تعیین شبکه بهینه اندازه‌گیری سطح آب زیرزمینی با کمک روش‌های زمین‌آمار، مطالعه موردی: دشت چمچال، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
- صفرراد، ط.؛ فرجی سبکبار، ح.؛ عزیزی، ق. و عباسپور، ر.ع. (۱۳۹۱). تحلیل مکانی تغییرات بارش در زاگرس میانی از طریق روش‌های زمین‌آمار (۱۹۹۵-۲۰۰۴)، جغرافیا و توسعه، ۳۱: ۱۴۹-۱۶۴.
- عباسی جندانی، ش. و ملکی‌نژاد، ح. (۱۳۹۳). ارزیابی روش‌های زمین‌آمار مبتنی بر GIS برای پهنه‌بندی مکانی بارش (مطالعه موردی: دشت کوهپایه-سگزی)، دومین همایش ملی بیابان با رویکرد مدیریت مناطق خشک و کویری، دانشکده کویرشناسی دانشگاه سمنان، ص ۱-۱۰.
- فرجی سبکبار، ح.ع. و عزیزی، ق. (۱۳۸۵). ارزیابی میزان دقت روش‌های درون‌یابی فضایی مطالعه موردی: الگوسازی بارندگی حوضه کارده مشهد، فصل‌نامه پژوهش‌های جغرافیایی، ۵۸: ۱-۱۵.
- گل‌محمدی، گ.؛ معروفی، ص. و محمدی، ک. (۱۳۸۶). منطقه‌ای‌نمودن ضریب رواناب در استان همدان با استفاده از روش‌های زمین‌آمار و GIS، فصل‌نامه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۲(۴۶): ۵۰۱-۵۱۴.
- مسعودیان، س.ا. (۱۳۸۲). تحلیل ساختار دمای ماهانه ایران، مجله پژوهشی علوم‌انسانی دانشگاه اصفهان، ۱۵: ۸۷-۹۶.

- محمودی، پ. و علیجانی، ب. (۱۳۹۲). مدل‌بندی رابطه بارش‌های سالانه و فصلی با عوامل زمین‌اقلیم در کردستان، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۳(۳۱): ۹۳-۱۱۲.
- محمودی، ب. (۱۳۹۱). تحلیل روند بارش استان کردستان، پانزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، ص ۱-۱۱.
- محمودی، ج. (۱۳۸۵). پدومتری (آمار مکانی)، تهران: انتشارات پلک.
- مهدی‌زاده، م. (۱۳۸۱). ارزیابی زمین‌آمار برای برآورد دما و بارندگی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.
- مهرشاهی، د. و خسروی، ی. (۱۳۸۷). ارزیابی روش‌های میان‌یابی کریجینگ و رگرسیون خطی بر پایه مدل ارتفاعی رقومی جهت تعیین توزیع مکانی بارش سالانه (مطالعه موردی استان اصفهان)، فصل‌نامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا، ۱۴(۴): ۲۳۳-۲۴۹.
- میرموسوی، س.ح؛ مزیدی، ا. و خسروی، ی. (۱۳۸۸). تعیین بهترین روش زمین‌آمار جهت تخمین توزیع بارندگی با استفاده از GIS (مطالعه موردی: استان اصفهان)، مجله علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی، ۱۰(۳۰): ۱۰۵-۱۲۰.
- نادی، م؛ جامعی، م؛ بذرافشان، ج، و جنت رستمی، س. (۱۳۹۱). ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی داده‌های بارندگی ماهانه و سالانه، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، ۴۴(۴): ۱۱۷-۱۳۰.
- نورزاده حداد، م؛ مهدیان، م.ح. و ملکوتی، م.ج. (۱۳۹۲). مقایسه کارایی برخی روش‌های زمین‌آمار به منظور بررسی پراکنش مکانی عناصر ریزمغذی در اراضی کشاورزی، مطالعه موردی: استان همدان، نشریه دانش آب و خاک، ۲۳(۱): ۷۱-۸۱.
- واقفی، م؛ احمدآبادی، ع؛ فتح‌نیا، ا.ا. و قدسیان، م. (۱۳۸۸). مقایسه روش‌های درون‌یابی در بررسی توپوگرافی بستر کانال‌های قوسی، فصل‌نامه علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران، ۳(۶): ۱۷-۲۶.
- Abasi Jondani, Sh. and Malikinejad, H. (2014). Evaluate geostatistical methods based on GIS for spatial zoning of precipitation (Case Study: Plain Kvhpayh- Segzi). The second national conference wilderness on approach of management Regions Arid and desert, Faculty Desert Studies Semnan University, pp. 1-10.
- Biau, G.; Zorita, E.; Storch, H.V. and Wackernagel, H. (1999). Estimation of Precipitation by Kriging in the EOF Space of the Sea Level Pressure Field, *Journal of Climate*, 12: 1070-1085.
- Bianchini, S.; Fabio, P.; Teresa, N. and Casagli, N. (2015). Building Deformation Assessment by Means of Persistent Scatterer Interferometry Analysis on a Landslide- Affected Area: The Volterra (Italy) Case Study, *Remote Sens*, 7: 4678-4701.
- Buhmann, M.D. (2003). *Radial Basis Functions, Theory and Implementations*, Cambridge University Press.
- Burrough, P.A. and McDonnell, R.A. (1998). *Principles of Geographical Information Systems*, Oxford University Press, Oxford.
- Carratala, A.; Gomez, A. and Bellot, J. (1998). Mapping Rain Composition in the East of SPAIN by Applying Kriging, *Water, Air, and Soil Pollution*, 104(1-2): 9-27.
- Chang, K.T. (2004). *Introduction to Geographic Information System*, 2nd edition, Boston; London: McGraw-Hill Higher Education, Book, pp. 1-400.
- Cressie, N. (1993). *Statistics for Spatial Data (revised edition)*, John Wiley & Sons, Inc., New York. pp. 1-928.
- Cressie, N. (1985). Fitting variogram models by weighted least squares, *Mathematical Geology*, 22(3): 239-252.

- Cressie, N. and Zimmerman, L. (1992). On the Stability of the Geostatistical Method, *Mathematical Geology*, 24(1): 45-58.
- Eldeiry, A. and Garcia, L. (2011). Using Deterministic and Geostatistical Techniques to Estimate Soil Salinity at the Sub-Basin Scale and the Field Scale. *Remote Sensing*. 6(1): 1137-1157.
- Faraje Sabokbar, H.A. and Azizi, Gh. (2006). To compare the accuracy of spatial interpolation methods Case study: modeling rainfall catchment Kardu Mashhad, *Journal of Geographical Research*, 58: 1-15.
- Fasshauer, G.M. (2007). Approximation Methods with MATLAB, ser. Interdisciplinary mathematical sciences. Vol. 6. *World Scientific Publishers*, Singapore, pp. 1-500.
- Friedel, M.J. and Iwashita, F. (2013). Hybrid modelling of spatial continuity for application to numerical inverse problems *Environ, Model. Softw.*, 43: 60-79.
- Gang, M. (2014). Evaluating the Power of GPU Acceleration for IDW Interpolation Algorithm. Hindawi Publishing Corporation, *e Scientific World Journal*, Article ID 171574, pp.1-8.
- Gholmohamadi, G.; Marofi, S. and Mohammadi, K. (2007). Regional of runoff coefficient in Hamedan province using geostatistical methods and GIS, *Journal of Science and Technology Agriculture and Natural Resources*, 12(46): 501-514.
- Goovaerts, P. (1997). *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*, Oxford University Press, New York. 0-19-511-538-4. pp. 1-477.
- Hengl, T.; Minasny, B. and Gould, M. (2009). A geostatistical analysis of geostatistics, *Scientometric*, 80(2): 491-514.
- Isaaks, E.H. and Srivastava, R.M. (1989). *Applied Geostatistics*, Oxford University Press, New York.
- Jalali, Gh.; Tehrani, M.; Boromand, N. and Sanjeri, S. (2013). Comparison of the Geostatistics method to map the spatial distribution of some nutrient elements in the East Mazandaran province, *Journal of Soil Research (Soil and Water)*, 27: 196-204.
- Journel, A.G. and Huijbregts, C.J. (1978). *Mining Geostatistics*, Academic Press, London.
- Li, J. and Andrew, D. (2014). Heap Spatial interpolation methods applied in the environmental sciences: A review, *Environmental Modelling & Software*, 53: 173-189.
- Lossner, T.; Li, L. and Piltner, R. (2014). A Spatiotemporal Interpolation Method Using Radial Basis Functions for Geospatiotemporal Big Data, *Fifth International Conference on Computing for Geospatial Research and Application*, pp. 17-24.
- Masodian, S.A. (2003). Analysis of monthly temperature Iran, *The research Journal of Human sciences*, Isfahan University, 15: 87-96.
- Meyer, P.A. (1982). Interpolation entre espaces d'Orlicz, *Seminar on Probability, XVI, Lecture Notes in Mathematics*, New York, 920: 153-158.
- Mehdizadeh, M. (2002). Geostatistical analysis to estimate the temperature and precipitation in the drainage basin of Lake Urmia, Thesis Master of Agricultural meteorology, Faculty of Agriculture. Tehran University, Supervisor: Dr. Mohammad Hossein Mahdian.
- Mehrshahi, D. and Khosravi, E. (2008). Evaluation of Methods Kriging interpolation and Linear regression based on Digital Elevation Model to determine the spatial distribution of rainfall (Case Study: Isfahan Province), *Journal of Scheduled And Spatial Planning*, 14(4):233-249.
- Mirmosavi, S.H; Mazidi, A. and Khosravi, Y. (2009). Determine the best geostatistics method for estimating the distribution of rainfall using GIS (Case Study: Isfahan Province), *Journal of geographic space*, 10(30): 105-120.
- Mohammadi, J. (2006). *Pedometer (Spatial Statistics)*, Published Pelk, Tehran, Iran.

- Nadi, M.; Jamie, M.; Bazrafshan, J. and Janatrostami, S. (2012). Evaluation Various methods Interpolation Monthly and annual rainfall data, *Journal of natural geographical research*, 44(4): 117- 130.
- Naghefi, M.; Ahmadabadi, A.; Fathnia, A.A. and Ghodsian, M. (2009). Comparison of interpolation methods in the study Topographic base Curved channels, *Journal of Management and Engineering Science Iranian*, 3(6): 17-26.
- Norzadeh Hadad, M.; Mehdian, M.H. and Malekoti, M.J. (2013). Compare the performance of some Geostatistical methods To investigate the spatial distribution of micronutrients in Agricultural land, Case Study: Hamedan Province, *Journal of Soil and Water*, 23(1): 71-81.
- Rahimi Bandarabadi, S. and Mahdian, M.H. (2003). Spatial analysis of monthly rainfall in arid and semi-arid South East Iran, *Third Regional Conference and first National Conference on Climate Change. 29 September to 1 October*, Isfahan University, pp. 1-8.
- Rangzan, K.; Mokhtari, M. and Shaigan, M. (2005). Assess the accuracy IDW and Kriging models of interpolation to data on Plain Groundwater levels between Shushtar water, *Geomatics Conference*, pp. 1-15.
- Rostami, M.; Saljagheh, A.; Saneei, M. and Mahdavi, M. (2014). Evaluation of interpolation in the study of morphology the river and water channel, *Jornal of Management and Engineering Science Iranian*, 8(25): 57-67.
- Safari, H. (2007). Comparison of two interpolation method Kriging and IDW, *Shhrngar Journal*, 30(40): 33-39.
- Safari, M. (2002). Determine the optimum network of measuring groundwater levels using geostatistical methods. Case study: Plain Chmchal, Irrigation and Drainage Master's thesis. Faculty of Agriculture, Tarbiat Modarres University. Supervisor: Dr. Syed Majid Merlatifi.
- Sistena, S. and Tumbobc, M. (2015). Interpolation of daily rain gauge data for hydrological modeling in data sparse regions using pattern information from satellite data, *Hydrological Sciences Journal*, pp. 1-27.
- Shamsadin, A. (2000). Changes in regional rainfall using kriging method in northern provinces. The Irrigation and Drainage Master's thesis, College of Agriculture, Shiraz University, Supervisor: Dr. Syed Ali Abtahi.
- Shepard, D. (1968). A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. In: *Proceedings of the 1968 23rd ACM National Conference*, pp. 517-524.
- Soltani, S. and Modares, R. (2006). Analysis of frequency and intensity Meteorological drought Isfahan Province, *Journal of Natural Resources Iran*, 1: 15-26.
- Sun, B. and Petreson, T.C. (2006). Estimating precipitation normal for USCRN stations, *Journal of Geophysical Research*, 111(D9): 1984-2012.
- Tazeh, M.; Kavari, M.R.; and Khosravi, E. (2008). Zoning, drought based index of Transv using geostatistical and GIS (Case Study: the western part of the province), *International Conference on botany trees and climate change on the ecosystems of Caspian*, Sari, Caspian ecosystems Research Center, pp. 1-12.
- Wackernagel, H. (2003). *Multivariate Geostatistics: An Introduction with Applications*, third ed., Springer, Berlin.
- Webster, R. and Oliver, M.A. (1992). Sample adequately to estimate variograms of soil propert-ies, *J.Soil Sci.*, 43: 177-192.
- Wendland, H. and Rieger, CH. (2005). Wendland. H Approximate Interpolation with Applications to Selecting Smoothing Parameters, *Numerische Mathematik*, 101(4):729-748.

- Zhu, P.; Zhang, L.W. and Liew, K.M. (2013). Geometrically nonlinear thermomechanical analysis of moderately thick functionally graded plates using a local Petrov-Galerkin approach with moving Kriging interpolation, *Composite Structures*, 107: 298-314.
- Zimmerman, L. (1993). Another look at anisotropy in geostatistics. *Mathematical Geology*, 25, (4): 453-470.