ارزیابی روش‌های میان‌یابی کریجینگ و رگرسیون خطی برپایهٔ مدل ارتفاعی رقومی جهت تعیین توزیع مکانی بارش سالانه (مطالعهٔ موردی استان اصفهان)

داریوش مهرشاهی[1*]، یونس خسروی[2]

۱- استادیار جغرافیا، دانشگاه یزد، یزد، ایران
۲- کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

دریافت: ۸۷/۹/۴ پذیرش: ۸/۴/۲۳

چکیده

یکی از مهم‌ترین متغیرهای ورودی برای محاسبه‌های بیلان آب و تهیهٔ مدل‌های هیدرولوژیکی، توزیع مکانی بارش می‌باشد؛ بنابراین، خطای ناشی از آن، اثرهای مستقیمی در برنامه‌ریزی منابع آب خواهد داشت. از طرفی دیگر، به‌دلیل عدم پوشش کامل ایستگاه‌های اندازه‌گیری باران، برآورد بارش منطقه‌ای و یا تخمین بارش در منطقه‌های میان ایستگاه‌ها ضروری است. در این مطالعه، دو روش کریجینگ (ساده و معمولی) و رگرسیون خطی برپایهٔ مدل ارتفاعی رقومی زمین را برای برآورد بارش سالانه، با استفاده از آمار بیست‌ساله (۱۹۸۶-۲۰۰۵) داده‌های بارش در ۲۳ ایستگاه باران‌سنجی در استان اصفهان، ارزیابی کرده‌ایم. بدین منظور، نخست به‌ازای هر مدل در روش کریجینگ، نیم‌پراش‌نگار آن را محاسبه کردیم؛ و با استفاده از تکنیک ارزیابی متقابل، خطای نقشه‌ها را برآورد کردیم و ازمیان چهارده نقشه، یک نقشه را به‌عنوان نقشه بهینه برگزیدیم؛ سپس داده‌های بارش و ارتفاع ایستگاه‌های مورد نظر را با استفاده از مدل رگرسیون خطی در محیط نرم‌افزار **Curve Expert** فراخوانی کردیم و با شانزده مدل برازش دادیم تا مدل بهینه مشخص شود؛ درنهایت، به‌منظور تعیین توزیع مکانی بارش و انجام میان‌یابی، مدلهای برتر هردو روش را با یکدیگر مقایسه کردیم. بررسی‌های صورت‌گرفته نشان می‌دهند که تابع رگرسیونی کسینوسی برای میان‌یابی بارش در استان اصفهان، مناسب است.

واژه‌های کلیدی: کریجینگ، رگرسیون خطی، مدل ارتفاعی رقومی (DEM)، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، اصفهان.

---

* نویسندهٔ مسئول مقاله: E-mail: daryoushm.geo@yahoo.com

١- مقدمه

با توجه به تغییرهای قابل ملاحظهٔ بارندگی در زمان و مکان از یک سو و کم‌بودن ایستگاه‌های باران‌سنجی برای ثبت میزان بارندگی روزانه از سوی دیگر، ضرورت تبیین مدل‌های تخمین بارندگی در زمان و مکان، اجتناب‌ناپذیر است. تعیین مناسب‌ترین روش میان‌یابی درسطح یک منطقه و تبیین چگونگی توزیع فضایی و مکانی آن، برای برآورد توزیع مکانی بارش ضروری است. برای برآورد و تخمین متغیرهایی از این دست، روش‌های مختلفی وجود دارد. به‌عنوان نمونه می‌توان روش‌های کلاسیک، همچون تیسن[1] و میانگین حسابی را نام برد. همه این روش‌ها ازنظر محاسبه‌ها، سریع و آسان می‌باشند؛ ولی به‌دلایلی ازجمله درنظر نگرفتن موقعیت، آرایش و همبستگی بین مشاهده‌ها، از دقت کافی برخوردار نیستند؛ البته روش‌های دیگری نیز وجود دارند که به‌دلیل درنظر گرفتن همبستگی و ساختار مکانی داده‌ها اهمیت زیادی دارند. ازجمله این روش‌ها می‌توان روش زمین‌آمار[2] را نام برد. در این شیوه، نخست بودن یا نبودن ساختار مکانی بین داده‌ها بررسی می‌شود و سپس درصورت وجود ساختار مکانی، داده‌ها تحلیل می‌گردد؛ البته ممکن است نمونه‌های مجاور با فاصلهٔ معینی درقالب ساختار مکانی به هم وابسته باشند، در این حالت، بدیهی است که میزان تشابه مقادیر مربوط به نمونه‌های نزدیک‌تر بیشتر است؛ زیرا درصورت وجود ساختار مکانی، تغییرهای ایجادشده در فضای معین، امکان بیشتری را برای تأثیرگذاری بر فضاهای نزدیک به خود در مقایسه با فضاهای دورتر دارند (لشنی‌زند، ١٣٨١: ٨٢). تاکنون پژوهش‌های بسیاری درزمینهٔ میان‌یابی داده‌های اقلیمی در جهان و ایران صورت گرفته است. کولینز و بولستاد روش‌های مختلفی را برای درون‌یابی داده‌های درجهٔ حرارات حداقل و حداکثر در آمریکا ارزیابی و مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که انتخاب بهترین شیوه برای درون‌یابی، تحت تأثیر مستقیم دامنهٔ تغییرها در درجهٔ حرارت، واریانس آنها و میزان همبستگی درجهٔ حرارت با ارتفاع منطقه است (Collins and

1. Thissen
2. Geostatistic

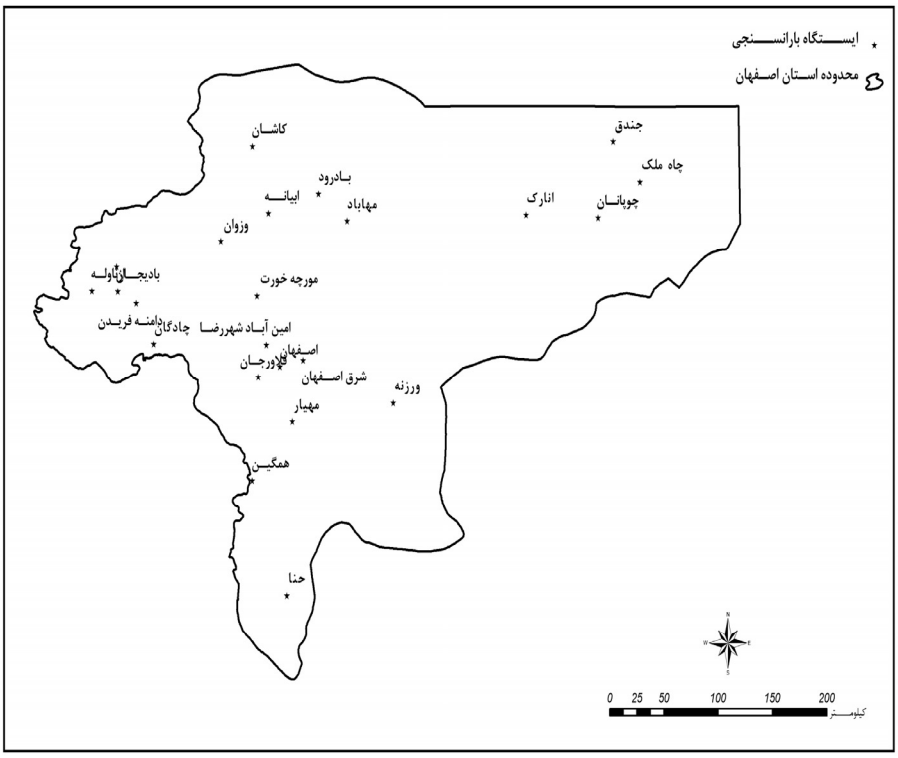
(Bolstad, 1996: 44). گوارتز از بین روش‌های عکس مجذور فاصله، رگرسیون خطی با ارتفاع، تیسن و کریجینگ برای میان‌یابی بارندگی و دمای سالانهٔ منطقه‌ای به‌وسعت پنج‌هزار کیلومتر مربع از کشور پرتقال، روش کریجینگ ساده را در مقایسه با دیگر روش-های یادشده مناسب‌تر دانسته است (Goovaerts, 2000: 130). همزمان با توسعهٔ روش-های جدید درون‌یابی، پژوهشگرانی همچون هارگرو (2001: 122)، زیکریس و ونجلس (2004: 8)، نااوم و سانیس (2004: 18)، شمس‌الدینی (۱۳۷۹: ٦۹)، صفری (۱۳۸۱ک ۱۲۳)، مهدی‌زاده (۱۳۸۱:۱۵۱)، رحیمی بندرآبادی و مهدیان (۱۳۸۲: ۱۹٦)، مسعودیان (۱۳۸۲: ۱۵)، سلطانی و مدرس (۱۳۸۵: ۱۵) و تازه و همکاران (۱۳۸۷: ۳٦) میزان دقت برآورد این شیوه‌ها را در داده‌های اقلیمی، مقایسه کردند. هرکدام از این افراد ازمیان روش‌های مختلف زمین‌آماری با درنظر گرفتن میزان دقت آنها، بهترین روش را برگزیدند. در این پژوهش، نتایج حاصل از روش‌های میان‌یابی کریجینگ و رگرسیون خطی برپایهٔ مدل ارتفاعی رقومی[1] را برای میان‌یابی بارش سالانه در استان اصفهان ارزیابی می‌کنیم.

۲- داده‌ها و روش تحقیق

۲-۱- مشخصات منطقه و ایستگاه‌های مورد مطالعه

برای انجام دادن این پژوهش، از دورهٔ آماری مشترک بیست‌ساله (۱۹۸٦-۲۰۰۵)، داده‌های بارش ۲۳ ایستگاه باران‌سنجی را در استان اصفهان استفاده کردیم (شکل ۱)؛ پس از تعیین ایستگاه‌ها، بازسازی آمار آنها را با به‌کارگیری روش بیشترین همبستگی خطی با ایستگاه‌های مجاور تکمیل کردیم؛ درنهایت، برای اطمینان از کیفیت داده‌ها و همگن‌بودن سری داده‌های ثبت‌شده، آزمون همگنی داده‌ها را به‌روش ران‌تست انجام دادیم.

1. Digital Elavational Model (DEM)



شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

۲-۲- روش‌های میان‌یابی مورد استفاده

۱-۲-۲- روش کریجینگ[1]

کریجینگ یک روش تخمین زمین‌آماری است که بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار می‌باشد. می‌توان گفت این روش، بهترین تخمین‌گر خطی نااریب[2] است و درقالب رابطهٔ زیر بیان می‌شود:

$$Z^* = \sum_{i=1}^{n} w_i z(x_i) \qquad \text{رابطهٔ (۱)}$$

1. Kriging
2. Best Linear Unbiased Estimator

در این رابطه، Z^* مقدار متغیر مکانی برآوردشده، $Z(x_i)$ مقدار متغیر مکانی مشاهده‌شده در نقطهٔ X_i و W_i وزن آماری است که به نمونهٔ X_i نسبت داده می‌شود و بیانگر اهمیت نقطهٔ iام در برآورد است (حسنی‌پاک، ۱۳۸۰: ۳۱٤). شرط استفاده از این تخمین‌گر، آن است که متغیر توزیع نرمال داشته باشد. همان‌طور که گفتیم، کریجینگ بهترین تخمین‌گر ناریب است؛ بنابراین باید عاری از خطای سیستماتیک باشد؛ همچنین واریانس تخمین نیز باید حداقل باشد؛ بنابراین، برای شرط عاری از خطا بودن، باید میانگین خطای تخمین صفر باشد؛ یعنی:

$$E[Z(x_i)-Z^*(x_i)]=0 \qquad \text{رابطهٔ ۲}$$

در رابطه (۲)، $Z(x_i)$ مقدار مشاهده‌شدهٔ متغیر در نقطهٔ i با مختصات معلوم، $Z^*(x_i)$ مقدار تخمینی در همان نقطه i و E امید ریاضی می‌باشد (صفری، ۱۳۸۱: ۵۱). کریجینگ برحسب مشخصات ساختار مکانی، انواع مختلفی دارد و مهم‌ترین انواع آن، کریجینگ ساده و معمولی است (Hevesi, 1992: 667). از شرط‌های اساسی در استفاده از روش کریجینگ، نرمال‌بودن داده‌ها است؛ بنابراین، برای محاسبهٔ نقشهٔ هم‌بارش به روش یادشده، داده‌های بارش با استفاده از تبدیل‌های شبه‌نرمال باکس-کاکس[1] با متغیر ۰/۱ دوباره نرمال گردید.

۲-۲-۲- رگرسیون خطی

تحلیل رگرسیون این امکان را فراهم می‌آورد که تغییرهای متغیر وابسته ازطریق متغیرهای مستقل پیش‌بینی شود و سهم هریک از متغیرهای مستقل در تبیین متغیر وابسته تعیین گردد (کلانتری، ۱۱۳۸۵: ۱۷٦). برای انجام میان‌یابی، معادله‌های رگرسیونی مختلفی وجود دارد که با توجه به مقدار همبستگی متغیر اصلی و ثانویه انتخاب می‌شود. بدین منظور، با استفاده از مدل رگرسیون خطی، نخست داده‌های بارش و ارتفاع ایستگاه‌های مورد بررسی، در محیط نرم-افزار Curve Expert ver4.1 فراخوانی می‌شود و سپس داده‌های مورد نظر با بهترین توابع نظری رگرسیونی برازش داده می‌شود.

1. BOX-COX

۳-۲-۲- تحلیل پراش‌نگار

واریانس مقدار عناصر بین نقاطی به فاصلهٔ h از یکدیگر می‌تواند همبستگی متقابل مقدار دو نقطه به فاصلهٔ h را بیان کند. درصورت وجود ساختار فضایی، طبیعی است که وابستگی مقادیر نقاط نزدیک به هم بیشتر از وابستگی مقادیر نقاط دور از هم می‌باشد. این واریانس وابسته به فاصله را پراش‌نگار می‌نامند (مدنی، ١٣٧٧: ٦٥٩). از مشخصات واریانس می‌توان سقف آستانه[1] واریوگرام و اثر قطعه‌ای[2] را نام برد. به مقدار ثابتی که واریوگرام در دامنهٔ تأثیر به آن می‌رسد، آستانه، گفته می‌شود. مقدار آستانه برابر با واریانس کل همهٔ نمونه‌هایی است که در محاسبهٔ پراش‌نگار به‌کار رفته‌اند (حسنی پاک، ١٣٨٠: ٣١٤). برای تحلیل مکانی داده‌ها از نیم‌تغییرنگار[3] استفاده گردید که با استفاده از نرم‌افزار +GS محاسبه شده است. مهم‌ترین گام در میان‌یابی، به‌دست دادن مدلی مناسب بر نیم‌پراش‌نگار است تا به‌وسیلهٔ آن بتوان بهترین میان‌یابی را انجام داد (عساکره، ١٣٨٧: ٣٥). مدلهای مورد استفاده در این پژوهش برای برازش عبارت‌اند از: مدل کروی[4]، مدل نمایی[5]، مدل گوسی[6]، مدل دایره‌ای[7]، درجهٔ دو منطقی[8]، کروی چهاروجهی[9] و کروی پنج‌وجهی[10] که با دو شیوه کریجینگ ساده (SK) و کریجینگ معمولی (OK)، صورت گرفته است.

۴-۲-۲- روش و معیار ارزیابی

روش‌های مختلف میان‌یابی براساس روش ارزیابی متقابل[11]؛ بررسی و ارزیابی می‌شود. در این روش، یک نقطه به‌صورت موقت حذف می‌گردد و با اعمال میان‌یابی مورد نظر، برای آن نقطه مقداری برآورد می‌شود؛ سپس مقدار حذف‌شده به‌جای خود برگردانده می‌شود و این برآورد

1. Sill
2. Nugget Effect
3. Semivariogram
4. Spherical Model
5. Exponential Model
6. Gaussian Model
7. Circular Model
8. Rational Quadratic
9. Tetraspherical
10. Pentaspherical
11. Cross-Validation

برای بقیهٔ نقاط به‌صورت جداگانه صورت می‌گیرد؛ در پایان، یک جدول با دو ستون به‌دست می‌آید که نشان‌دهندهٔ مقادیر واقعی و برآوردشده است. با داشتن این دو مقدار می‌توان دقت[1] و انحراف[2] مدل را برآورد کرد. هرچه دو مقدار یادشده به صفر نزدیک‌تر باشد، دقت مدل بیشتر خواهد بود.

جدول ۱ نتایج ارزیابی روش‌های درون‌یابی برای برآورد میانگین سالانهٔ بارندگی

		مشخصات مدل		خطای روش ارزیابی متقابل				
روش	مدل - تابع	Sill	Nugget	MBE	MAE	RMS	RMSS	R2
	کروی	۳۲۵۳۵	۹۵۳/۰۵	۳/۰٤	۵۰/۲٦	٦۸/۷٤	۱/۰۰۳	۰/۷۲۷
	دایره‌ای	۳۵۰۷٤	٦/۱۵٦۷	۲/۲	٤۸/۷۱	٦۷/٦۳	۰/۹۱	۰/۷۳۲
	نمایی	۲۷۳۵۸	۰	۳/۷۱	۵۳/۹۹	۷۳/۷۸	۱/۰۳	۰/٦۹۱
	گوسی	۲۳۵۱٤	۳۱/٤۲۳	۱۲/۷۳	۵۹/٤۳	۸۱/٦۲	۲/۳٦	۰/٦۷
OK	درجه دو منطقی	۲۳٤۷۹	۲۲٤٦/۷	۲/۳۱	۵۰/۳۹	۷۰/۸٤	۱/۰۱۵	۰/۷۱
	کروی چهاروجهی	۳۰۸۷۵	٤۸٤/۷۵	۳/۸٤	۵۱/۸۰	۷۰/٦۲	۱/۰۹۵	۰/۷۱٦
	کروی پنج‌وجهی	۲٤۵۸۳	۰	۳/۹٦	۵۳/۸۷	۷٤/۱۷	۱/۱۷	۰/٦۹۵
	کروی	۱۷۳۸۷	۲۵٦۸/۵	۳/۸۸	۵۱/٦۸	٦٦/۵	۰/۷۷	۰/۷٤۲
	دایره‌ای	۱۸۸۵۲	۲۷٦۲	۲/۵۳	٤۸/٦٦	٦۵/٦٤	۰/۷٦	۰/۷٤۹
	نمایی	۲۰۱۵۳	۰	٦/۳۵	۷۱/۸۸	۷۱/۸۸	۰/۸٤	۰/٦۹۸
	گوسین	۹۹۸۹/۸	٦۲۸۹/۷	-۰/۹٦	٤۸/۳٤	٦۷/۸۵	۰/۷۱	۰/۷۵٤
SK	درجه دو منطقی	۱۱۸٦٦	۵۱۷۷	۵/۱۷	۵۷/۹۵	۷۳/۲۷	۰/۷۱	۰/۷۰۱
	کروی چهاروجهی	۱٦۷۹۸	۲۳۳۷/۳	۳/۸۸	۵۱/٦۸	٦۷/۵۳	۰/۷۸	۰/۷۳٤
	کروی پنج‌وجهی	۱٦٤۸۲	۲۱۲۰/٤	٤/٦٦	۵۳/۲٤	٦۹/۵۷	۰/۷۹	۰/۷۲٦

ازجمله روش‌های دیگر برای ارزیابی کارآیی شیوه‌های میان‌یابی می‌توان روش ریشهٔ دوم مربع خطا (RMSE)[3] و مقدار استانداردشدهٔ آن (RMSS)[4] و ضریب همبستگی بین مقادیر

1. Mean Bias Error (MBE)
2. Mean Absolute Error (MAE)
3. Root Mean Square Error
4. Root Mean Square Standard

محاسبه‌شده و مشاهده‌ای (R^2) را نام برد. هرچه مقدار RMS و RMSS کمتر و میزان R^2 بیشتر باشد، الگوی اعمال‌شده دارای دقت آماری بیشتری خواهد بود. معادله‌های محاسبهٔ روش‌های ارزیابی عبارت است از:

رابطهٔ (٣)
$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|Z^*(x_i) - Z(x_i)\right|$$

رابطهٔ (٤)
$$MBE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Z^*(x_i) - z(x_i))$$

رابطهٔ (٥)
$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(z^*(x_i) - z(x_i))^2}$$

رابطهٔ (٦)
$$RMSS = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{(z^*(x_i) - z(x_i))^2}{S^2}} = \frac{RMS}{S}$$

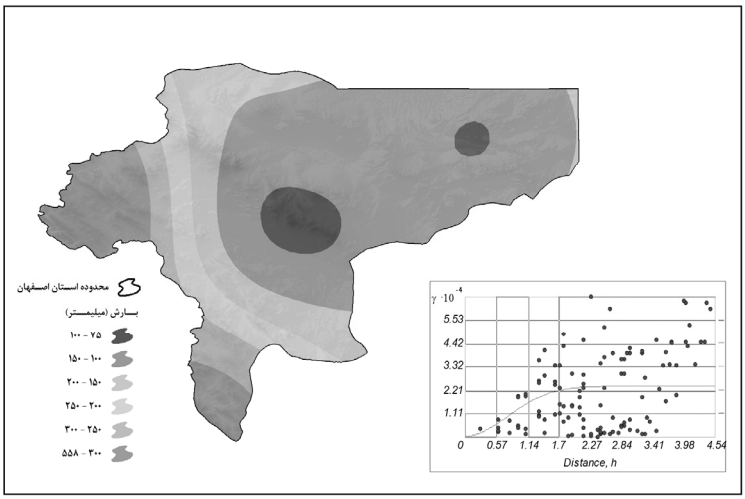
در این معادله‌ها، $Z^*(x_i)$: مقدار برآوردشدهٔ متغیر مورد نظر، $Z(x_i)$: مقدار اندازه‌گیری‌شدهٔ متغیر مورد نظر، N: تعداد داده‌ها، S: واریانس خطا، MAE: میانگین مطلق خطا و MBE: میانگین خطای انحراف، می‌باشد.

٣- نتایج بحث

تعیین مقادیر عددی بسیاری از شاخص‌ها در نقاط فاقد ایستگاه، برای ایجاد و توسعهٔ مدل‌هایی که در مقیاس وسیع، یک مشخصه یا فرایند اکولوژیکی را پیش‌بینی می‌کنند، دارای اهمیت می‌باشد. گفتنی است که مدل‌های انتخابی، فقط برای همان منطقه قابل اعتماد هستند؛ اما چنانچه یک مدل خاص برای چندین محل، مناسب تشخیص داده شود، می‌توان با اطمینان زیادی آن را در موقعیت‌های مشابه دیگر نیز به‌کار گرفت.

الف)تحلیل مدل میان‌یابی کریجینگ در میان‌یابی بارش: برای تعیین مدل بهینه جهت تخمین توزیع بارندگی، هرکدام از مدل‌های ذکرشده را بر روی داده‌های میانگین بارندگی اعمال کردیم و درستی و دقت هریک از نقشه‌های تولیدشده را با روش ارزیابی متقابل

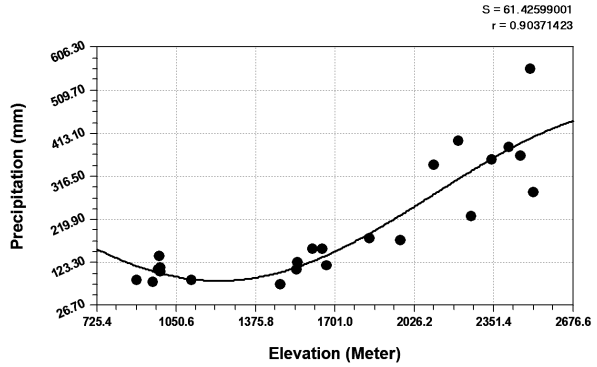
محاسبه کردیم. نتایج این بررسی در جدول (۱) قابل مشاهده است. با توجه به این جدول، بهترین مدلی که قادر به توجیه مکانی توزیع بارندگی می‌باشد، مدل گوسی از روش کریجینگ ساده است. با توجه به این یافته، نقشهٔ پهنه‌بندی بارش استان اصفهان را همراه نیم‌پراش‌نگار آن به‌عنوان مدل برتر ترسیم کردیم (شکل ۲)؛ بر این اساس، با اطمینان زیادی می‌توان این مدل را برای برازش و تخمین متغیرهای دیگر بارندگی در منطقه، با استفاده از روش کریجینگ، به‌کار برد.



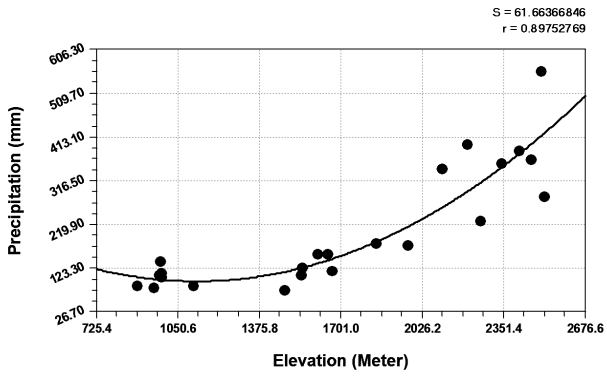
شکل ۲ نقشهٔ تخمین سطح میانگین سالانهٔ بارندگی در استان اصفهان طی دورهٔ آماری بیست‌ساله (۱۹۸۶- ۲۰۰۵) با استفاده از شیوهٔ کریجینگ به‌روش گوسی

ب) ارزیابی رگرسیون خطی برپایهٔ مدل ارتفاعی رقومی برای میان‌یابی بارش: برای انجام میان‌یابی به‌وسیلهٔ تحلیل‌های رگرسیونی، معادله‌های گسترده‌ای وجود دارد و انتخاب معادلهٔ مناسب ازمیان آنها منوط به میزان همبستگی متغیر ثانویه و اصلی می‌باشد. بدین منظور، نخست داده‌های بارش و ارتفاع ایستگاه‌های مورد بررسی را با استفاده از مدل رگرسیون خطی در محیط نرم‌افزار Curve Expert ver1.4 فراخوانی کردیم؛ سپس داده‌های مورد نظر را با

شانزده مدل برازش دادیم. نتایج تحلیل باقی‌مانده‌ها مناسب‌بودن دو تابع کسینوسی و لگاریتمی را نشان می‌دهد و مقادیر درجهٔ همبستگی در این دو تابع، به‌ترتیب ۰/۹۰ و ۰/۸۹ است (شکل-۳). برای تهیهٔ نقشه، با استفاده از تحلیل مکانی و قراردادن مدل رقومی ارتفاعی در دو تابع رگرسیونی برتر، نقشهٔ هم‌باران منطقه را ترسیم کرده‌ایم (شکل٤).

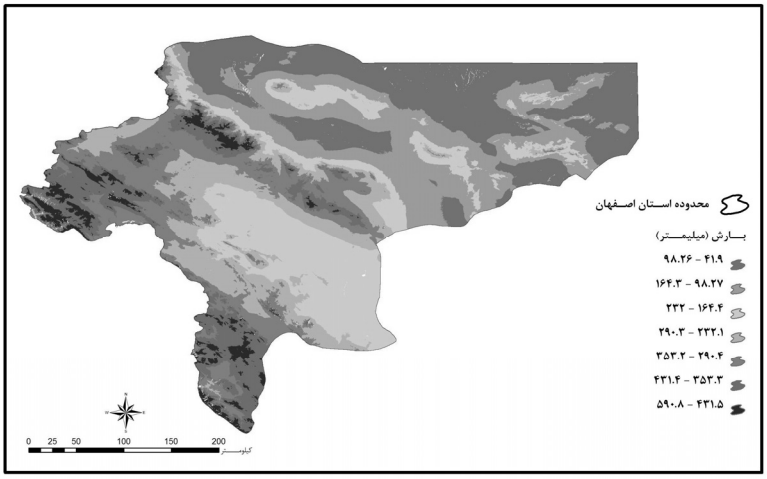


الف) تابع کسینوسی به‌دست آمده: y=a+bcos (cx+d)

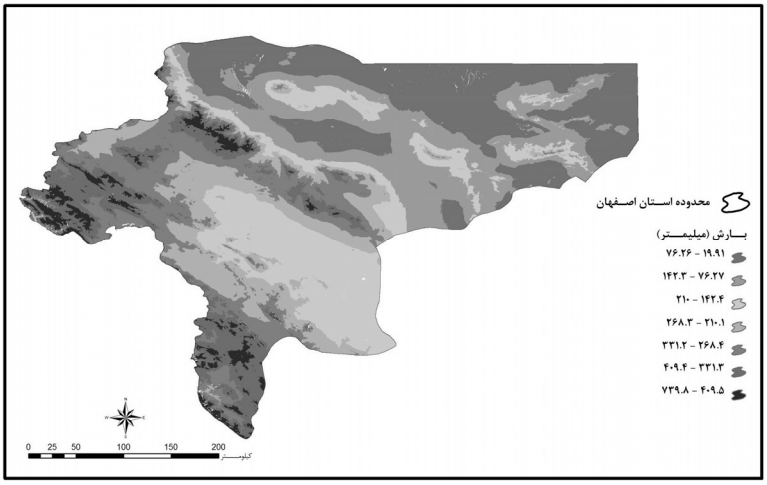


ب) تابع لگاریتمی به‌دست آمده: y=a+b lnx

شکل ۳ مدل رگرسیون خطی برازش داده شدG بارش سالانه و ارتفاع با دو تابع کسینوسی (الف) و رگرسیونی ()



الف) روش رگرسیون خطی با تابع کسینوسی



ب) روش رگرسیون خطی با تابع لگاریتمی

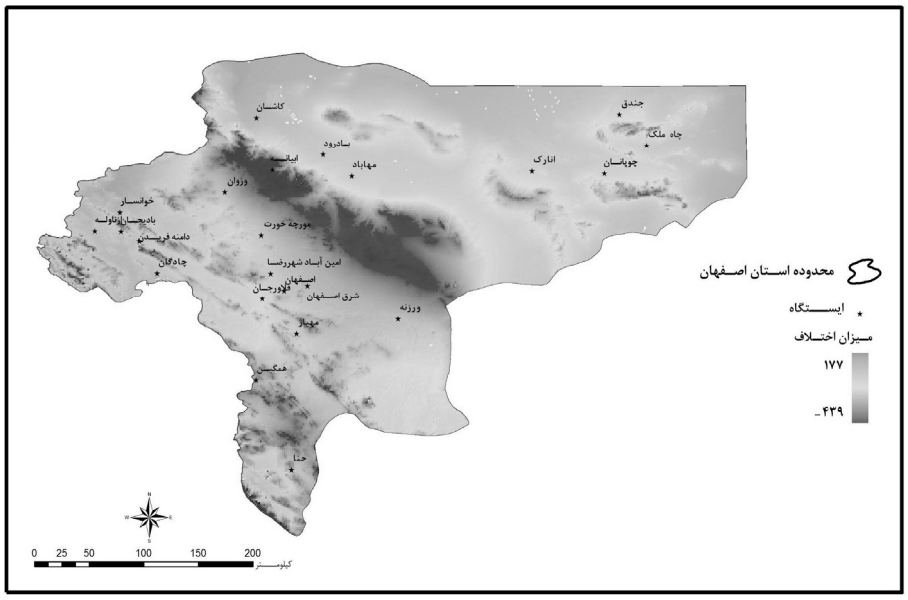
شکل ۴ نقشهٔ بارش سالانه به دو روش رگرسیون خطی با تابع کسینوسی (الف) و تابع لگاریتمی (ب)

با توجه به این نتایج، برای انتخاب بهترین روش جهت میان‌یابی داده‌های بارش، از شیوهٔ ارزیابی متقابل و ضریب همبستگی استفاده کردیم (جدول ۲). مقادیر همبستگی مکانی بین

توپوگرافی و روش‌های میان‌یابی نشان می‌دهد که بیشترین همبستگی به‌ترتیب به روش کسینوسی، تابع لگاریتمی و کریجینگ ساده با مدل گوسی مربوط است. مقدار ضریب همبستگی روش کریجینگ ساده با مدل گوسی با توپوگرافی نشان‌دهندهٔ آن است که مقادیر بارش با ارتفاع، رابطه‌ای مثبت دارد؛ اما این رابطه در مقایسه با دو روش دیگر، ضعیف‌تر است. این مسئله خود به‌نوعی رابطهٔ بارش و ارتفاع را در میان‌یابی بارش آشکار می‌کند. با توجه به این نتایج، درمی‌یابیم که روش رگرسیون خطی با تابع کسینوسی در مقایسه با دیگر روش‌ها ازنظر دقت و انحراف، نتایج بهتری برای میان‌یابی بارش نشان می‌دهد. حال با مشخص شدن مدل بهینه و با استفاده از تحلیل مکانی، به‌راحتی می‌توان ازطریق تفاضل‌گیری هر نقشه با نقشهٔ بهینه، میزان خطای آن را محاسبه کرد. در اینجا به‌عنوان نمونه، نقشهٔ تفاضل بین دو روش رگرسیون خطی کسینوسی به‌عنوان روش بهینه و روش کریجینگ ساده با مدل گوسی را آورده‌ایم (شکل ٥). با توجه به شکل، میزان اختلاف این دو نقشه در مرکز استان، در مقایسه با نواحی دیگر بیشتر و درست بر مناطقی منطبق است که دارای ارتفاع بیشتر می‌باشند. دلیل عمدهٔ این اختلاف، میان‌یابی به‌روش کریجینگ ساده با مدل گوسی می‌باشد؛ زیرا در ارتفاع‌های یادشده، ایستگاه‌های کمتری برای اندازه‌گیری میزان نزولات جوی وجود دارد؛ بنابراین، برای میان‌یابی باید این نکته را درنظر بگیریم که وجود ایستگاه‌های اندازه‌گیری به تعداد کافی و مناسب، و همچنین پراکنش درست و اصولی آنها در عملیات میان‌یابی نقشی تعیین‌کننده دارد.

جدول ٢ ماتریس همبستگی مکانی مقادیر میان‌یابی با توپوگرافی

روش میان‌یابی	ضریب همبستگی	خطای روش ارزیابی متقابل	
	(R^2)	MBE	MAE
روش کریجینگ ساده با مدل گوسی	٠/٧٥	-٠/٩٦	٤٨/٣٤
روش رگرسیون خطی کسینوسی	٠/٩٠	-٧/١٥	٥٤/٧١
روش رگرسیون خطی با تابع لگاریتمی	٠/٨٩	٤/٧٣	٥٦/٠٦



شکل ۵ نقشهٔ تفاضل بین روش رگرسیون خطی کسینوسی (مدل بهینه) با روش کریجینگ ساده با مدل گوسی

پس از مشخص‌شدن نتایج ارزیابی‌ها، لازم است نتایج این تحقیق را با نتایج پژوهش‌های مشابه مقایسه کنیم. نااوم و سانیس (18 ;2004) در سوئیس، بهترین مدل را برای درون‌یابی داده‌های بارندگی سالانه در آن منطقه، مدل‌های کریجینگ نمایی[1] و کریجینگ عمومی[2] معرفی کرده‌اند (Naoum and Tsanis, 2004: 18)؛ در تحقیق دیگر، شمس‌الدینی روش کریجینگ را برای مشاهدهٔ تغییرهای منطقه‌ای بارندگی در استان‌های شمالی ایران مناسب تشخیص داده است (شمس‌الدینی،۱۳۷۹: ٦٩)؛ مهدیان و همکاران روش TPSS با توان دو را به‌عنوان بهترین روش برای میان‌یابی داده‌های ماهیانهٔ بارندگی در ناحیهٔ مرکزی ایران انتخاب کرده‌اند (مهدیان وهمکاران، ۱۳۸۲: ۳۳)؛ فرجی سبکبار و عزیزی روش‌های تیسن و کریجینگ را برای درون-یابی داده‌های بارندگی درحوزهٔ کارده مشهد مناسب تشخیص داده‌اند (فرجی و عزیزی، ۱۳۸۵: ١٤)؛ همچنین عساکره (۱۳۸۷: ۲۵) با بررسی بارش ٢٦ اسفند ١٣٧٦، بهترین مدل برای میان-

1. Exponential Kriging
2. Universal Kriging

یابی بارش در ایران را برای ایـن روز، مـدل خطـی از روش کریجینـگ تـشخیص داده اسـت (عساکره،١٣٨٧: ٢٥)؛ بنابراین، می‌توان چنین نتیجه گرفت کـه روش مناسـب بـرای میـان‌یـابی متغیرهای اقلیمی، در منطقه‌های مختلف، با یکدیگرمتفاوت می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

پس از بررسی‌های انجام‌شده، نتیجه می‌گیریم که:

الف) روش رگرسیون خطی کسینوسی در مقایسه با دیگر روش‌ها ازنظر دقـت و انحـراف، نتایج بهتری را برای میان‌یابی بارش در استان اصفهان نشان می‌دهد.

ب) استفاده از روش‌های رگرسیون خطی و اعمال آن در مدل ارتفاعی رقومی زمین، رفتـار بارش را در مکان‌هایی که با نبود و یا کمبود ایستگاه مواجه هستند، بهتر نـشان مـی‌دهـد. ایـن مسئله، ارزشمندی این روش را در مطالعه‌های محیطی بهتر مشخص می‌کند.

ج) یکی از اصول میان‌یابی به‌روش کریجینـگ، وجـود اطلاعـات نقطـه‌ای پایـه اسـت کـه ارزش‌های مربوط به یک متغیر را دربردارد. این امر با توجه به چگونگی پراکنـدگی مناسـب و کافی ایستگاه‌های هواشناسی، موجب کاهش خطا و افزایش دقت در میان‌یابی می‌شود.

د) توجه‌نکردن به درستی مدل انتخاب‌شده برای میان‌یابی هرگونه دادهٔ اقلیمـی، بـه رخ‌دادن هرگونه اشتباه در بحث‌های اجرایی خواهد انجامید.

ه) برای میان‌یابی باید به این نکته توجه کرد که تعداد کافی و مناسب و همچنین پراکنش درست و اصولی ایستگاه‌های سنجش و اندازه‌گیری، نقش تعیین‌کننده‌ای در عملیات میان‌یابی ایفا مـی‌کننـد؛ بنابراین، در زمان ساخت ایستگاه‌های جدیـد، نـواحی‌ای کـه از توزیـع مناسـب و یـا تعـداد کـافی ایستگاه‌ها برخوردار نیستند، باید در مقایسه با نواحی دیگر در اولویت قرار گیرند.

و) هدف نهایی از بررسی تغییرهای مکانی بارش، شبیه‌سازی مطمئن دگرگونی‌های داده‌های بارش در بعد مکان است؛ به‌گونـه‌ای کـه جهـت هـدف‌هـای بعـدی ازجملـه پـیش‌بینـی‌هـای کوتاه‌مدت و بلندمدت بارش در هر منطقه فراهم شود.

۵- منابع

- تازه، مهدی، محمدرضا کوثری، مهسا بخشایی و یونس خسروی (۱۳۸۷). «پهنه‌بندی خشکی براساس نمایهٔ ترانسو با استفاده از زمین‌آمار و GIS. مطالعهٔ موردی: بخش غربی استان اصفهان». ***کنفرانس بین‌المللی گیاهش‌ناسی درختی و تغییر اقلیم در اکوسیستم‌های خزری***. ساری: پژوهشکدهٔ اکوسیستم‌های خزری ساری. ص۳٦.
- حسنی پاک، علی‌اصغر (۱۳۸۰). ***تحلیل داده‌های اکتشافی***. تهران: دانشگاه تهران.
- رحیمی بندرآبادی، سیما و محمدحسین مهدیان (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. ص۱۹٦.
- سلطانی، سعید و رضا مدرس (۱۳۸۵). «تحلیل فراوانی و شدت خشک‌سالی هواشناسی استان اصفهان». ***مجلهٔ منابع طبیعی ایران***. ص ۱۵.
- شمس‌الدینی، علی (۱۳۷۹). ***تغییرات منطقه‌ای بارندگی با استفاده از روش کریجینگ در استان‌های شمالی***. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد آبیاری و زه‌کشی. دانشکدهٔ کشاورزی. دانشگاه شیراز.
- صفری، مجید (۱۳۸۱). ***تعیین شبکهٔ بهینهٔ اندازه‌گیری سطح آب زیرزمینی با کمک روش‌های زمین‌آماری. مطالعهٔ موردی: دشت چمچال***. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد آبیاری و زه‌کشی. دانشکدهٔ کشاورزی. دانشگاه تربیت مدرس.
- عساکره، حسین (۱۳۸۷). «کاربرد روش کریجینگ در میان‌یابی بارش. مطالعهٔ موردی: میان‌یابی بارش ۲٦/ ۱۲/ ۱۳۷٦ در ایران زمین». ***مجلهٔ جغرافیا و توسعه***. ش۱۲. صص ۲۵-٤۲.
- فرجی سبکبار، حسن‌علی و قاسم عزیزی (۱۳۸۵). «ارزیابی میزان دقت روش‌های درون‌یابی فضایی. مطالعهٔ موردی: مدلسازی بارندگی حوزهٔ کارده مشهد». ***پژوهش‌های جغرافیایی***. ش۵۸، صص۱- ۱۵.
- کلانتری، خلیل (۱۳۸۵). ***پردازش و تحلیل داده‌ها در تحقیقات اجتماعی- اقتصادی با استفاده از نرم‌افزار SPSS***. تهران: نشر شریف.

- لشنی زند، مهران (١٣٨١). ***بررسی اقلیم خشک‌سالی‌های ایران و راه‌کارهای مقابله با آن مطالعهٔ موردی: شش حوضهٔ واقع در غرب و شمال غرب ایران***. پایان‌نامهٔ دکتری. دانشکدهٔ علوم انسانی. دانشگاه اصفهان.
- مدنی، حسن (١٣٧٧). ***مبانی زمین‌آمار***. تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- مسعودیان، سید ابوالفضل.(١٣٨٢). «تحلیل ساختار دمای ماهانهٔ ایران». ***مجلهٔ پژوهشی علوم انسانی دانشگاه اصفهان***.
- مهدیان، محمدحسین و نجفقلی غیاثی و سیدمحمود موسوی‌نژاد (١٣٨٢).«بررسی روش‌های مختلف میان‌یابی در تخمین داده‌های بارندگی ماهیانه در ناحیهٔ مرکزی ایران». ***علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی***. س٧. ش ١. صص٣٣-٤٤.
- مهدی‌زاده، محمد (١٣٨١). ***ارزیابی زمین‌آماری برای برآورد دما و بارندگی در حوضهٔ آب‌ریز دریاچهٔ ارومیه***. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی. دانشکدهٔ کشاورزی. دانشگاه تهران.
- Collins, Jr. F. C. and P. V. Bolstad (1996). «A Comparison of Spatial Interpolation Techniques in Temperature Estimation». *Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling*. Santa Fe: New Mexico. January 21-2:38-52.
- Goovaerts, P (2000) «Geostatistical Approach for Incorporating Elevation into Spatial Interpolation Rainfall». *Journal of Hydrology. Amsterdam*. 228 (1-2):133-129.
- Hargrove, W (2001). «Interpolation of Rainfall in Switzerland Using a Regularized Spline with Tension». *Geographic Information and Spatial*. Technologies Group, Book Ridge National laboratory. 1:122-125.
- Hevesi JA, JD Istok and AL Flint. (1992). «A Precipitation Estimation in Mountainous Terrain Using Multivariate Geostatistics. Part I: *Structural Analysis*. Journal Applied Meteorology 31: 661–676.

- Naoum, S. and I.K. Tsanis (2004). «Ranking Spatial Interpolation Techniques Using a Gis-based DSS». *Journal of Global Nest*: 6: 1-20.
- Tsakiris G, H Vangelis Y. (2004). «Towards a Drought Watch System Based on Spatial SPI». Water Resour Manag, 18(1):1–12.