

جغرافیا و توسعه - شماره ۱۲ - پاییز و زمستان ۱۳۸۷

صص: ۲۵ - ۴۲

وصول مقاله: ۱۳۸۶/۱/۲۸

تأیید نهایی: ۱۳۸۷/۴/۱۱

کاربرد روش کریجینگ در میان‌یابی بارش مطالعه موردی: میان‌یابی بارش ۱۳۷۶/۱۲/۲۶ در ایران زمین

دکتر حسین عساکره^۱
استادیار جغرافیا دانشگاه زنجان

چکیده

میان‌یابی یکی از مهم‌ترین تکنیک‌هایی است که اقلیم‌شناسان در مطالعات پهنه‌ای - مکانی از آن بهره می‌گیرند. روش‌های میان‌یابی برحسب ملاک‌های مختلف قابل تقسیم‌بندی هستند. در این تحقیق تلاش برای این بوده ضمن معرفی روش میان‌یابی کریجینگ به عنوان یکی از روش‌های دقیق و پرکاربرد، مراحل انجام این فرآیند با ذکر مثالی انجام گیرد. در این راستا میانگین بارش ماهانه ایران زمین در روز ۱۳۷۶/۱۲/۲۶ بر اساس داده‌های ۶۵۴ ایستگاه مورد تحلیل قرار گرفت.

به منظور میان‌یابی بارش در ابتدا نیمه‌پراش نگار تجربی محاسبه و ترسیم شد. سپس یازده مدل بر این نیمه‌پراش نگار برازش یافت. به ازای هر مدل نیم‌پراش نگار و با سه فرض عدم وجود روند در داده‌ها، وجود روند خطی و روند درجه ۲ مجموعاً سی و سه نقشه برای بارش روز مورد مطالعه حاصل شد. سپس با استفاده از تکنیک ارزیابی متوالی (Cross-Validation) خطای نقشه‌ها برآورد شد و از میان سی و سه نقشه، دو نقشه به عنوان کاندیدهای مناسب اختیار شدند. آزمون‌های بعدی شامل بررسی میزان خطای برآوردی و درصد آن و نیز انحراف استاندارد نقشه‌ها نشان داد که برازش مدل خطی بر نیمه‌پراش نگار بهترین الگو برای میان‌یابی بارش ۲۶ اسفندماه ۱۳۷۶ ایران زمین بر اساس روش کریجینگ است. براساس این نقشه میانگین بارش کشور طی روز مزبور ۷/۳ میلی‌متر برآورد شده است.

کلیدواژه‌ها: میانگین موزون، میان‌یابی، کریجینگ، همبارش، نیمه‌پراش نگار.

مقدمه

به فرآیند برآورد ارزش‌های کمی، برای نقاط فاقد داده، به کمک نقاط مجاور و معلوم (که به نام پیمونگه، نمونه و یا مشاهده موسوم‌اند) میان‌یابی گویند. این فرآیند به دلیل محدودیت

داده‌های نقطه‌ای و ضرورت تدوین نقشه از کل یک پهنه، به منظور تهیه نقشه‌های هم‌ارزش (همباران، هم‌دما و...) انجام می‌گیرد. برای مثال می‌توان مقدار بارش مناطق فاقد ایستگاه‌های اندازه‌گیری را به کمک نقاط مجاور که مقدار بارش آنها اندازه‌گیری شده است، برآورد نمود. این کار معمولاً برای یک شبکه یا گره یا تمامی سلول‌های یک پهنه انجام می‌شود. بنابراین میان‌یابی به معنای تبدیل داده‌های نقطه‌ای به داده‌های پهنه‌ای است (Chang, 2004:275).

در تعیین ارزش یک نقطه تمامی نقاط مجاور و معلوم به طور یکسان و همسان مؤثر نیستند. بدین دلیل هر یک از نقاط مزبور به تناسب تأثیرشان بر ارزش نقطه مجهول، حامل وزنی خواهند بود. برای مثال اگر مجموع نقاط ایستگاهی از یک گستره به شکل $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ باشد، برای یک نقطه مثل q ، ارزش عنصری مانند بارش بر اساس ارزش

$$f(q) = \sum_{i=1}^n w_i f(s_i)$$

نقاط اطراف و به صورت $f(q)$ تعریف می‌گردد.

در اینجا w_i وزن‌های s_i است. این رویه تعیین ارزش کمی برای نقاط نامعلوم به نام میانگین وزنی (موزون)^۱ موسوم است (Rajagopalan and Loll, 1998:45). روش تعیین وزن موجب تکوین روش‌های مختلفی در میان‌یابی شده است. سه رکن اساسی در انجام میان‌یابی موزون را می‌توان به شرح زیر برشمرد (Chang, 2004:275):

الف- تعیین پیمونگاه: پیمونگاه نقاطی است که متغیر مکانی در آن اندازه‌گیری شده، دارای ارزش معلوم می‌باشند. از این رو شرایط را برای میان‌یابی فراهم می‌کنند. تعداد و آرایش مکانی پیمونگاه می‌تواند صحت و ارزش مقادیر را در میان‌یابی متأثر سازد. فرض منطقی در میان‌یابی این است که مقادیر برآورد شده از همسایگان نزدیک‌تر، بیش از همسایگان دورتر متأثر می‌شود.

ب- تعیین شبکه: تعیین شبکه به معنی تشخیص اندازه بهینه برای یاخته‌های نقشه است به طوری که کیفیت و توان تفکیک نقشه به بهترین نحو نمود یابد. در این راستا بهتر و معمول‌تر است که یاخته‌های مربعی برای نقشه طراحی شود. اندازه هر یاخته نیز بر اساس آزمون‌های معتبر و با آزمایش و خطا قابل دستیابی است (برای مثال به مسعودیان (۲۰۰۳) مراجعه کنید). یکی از ابزارهای مناسب برای این کار استفاده از نیمه‌پراش نگار^۳ است که در بخش‌های بعدی معرفی می‌شود.

1-Weighted Average Interpolation
2-Masoodian(2003)
3-Semivariogram

روش میان‌یابی

میان‌یابی را به چند روش می‌توان انجام داد. در ابتدا می‌توان این روش‌ها را به دو گروه همگانی (منطقه‌ای)^۱ و محلی^۲ طبقه‌بندی نمود. میان‌یابی همگانی تمامی نقاط معلوم (پیمونگاه) را جهت برآورد ارزش نقطه یا نقاط نامعلوم به کار می‌گیرد. در روش محلی جهت برآورد هر نقطه‌ی نامعلوم تنها نمونه‌هایی از نقاط معلوم به کار می‌رود. در طبقه‌بندی دیگر، دقت روش، ملاک طبقه‌بندی است. در روش رسا^۳ مقادیر برآورد شده به مشاهدات (اندازه‌گیری‌ها) نزدیک‌تر است در حالی که روش نارسا^۴ تقریبی از ارزش‌ها و سطحی را برآورد می‌کند که از پیمونگاه می‌گذرد.

سومین ملاک طبقه‌بندی روش‌های میان‌یابی مبتنی بر قطعی^۵ یا احتمالی^۶ بودن تخمین است. در روش قطعی مقادیر تخمینی فاقد خطا ولی در روش احتمالی برآورد حاوی خطا است (Collins and Bolstad, 1996).

روش‌های میان‌یابی از هر نوع که باشند، می‌تواند به صورت معادله‌ای خطی یا غیرخطی باشد. جدول (۱) عمده‌ترین روش‌های میان‌یابی را بر اساس تلفیق سه تیپ طبقه‌بندی یاد شده نشان می‌دهد.

روش تحقیق

این نوشتار به منظور معرفی روش و مراحل میان‌یابی کریجینگ است. روش کریجینگ برای داده‌هایی که پراکنش نامنظم دارند، به کار می‌رود و روشی محلی-احتمالی، رسا، خطی، نارایب و با واریانس کمینه در یک نقطه به شمار می‌آید. میان‌یابی کریجینگ با شرط احراز صلاحیت‌های اولیه و لازم می‌تواند بهترین میانگین موزون از یک پهنه را ارائه نماید. در این روش برای هریک از ایستگاه‌های درون و بیرون یک پهنه برحسب فاصله و موقعیت آن وزن آماری مشخصی در نظر گرفته می‌شود به گونه‌ای که واریانس تخمین کمینه شود (Isaaks and Srinivasta, 1989: 125).

1-Global
2-Local
3-Exact
4-Inexact
5-Deterministic
6-Stochastic

جدول ۱: طبقه‌بندی روش‌های عمده میان‌یابی

محلی		همگانی	
قطعی	احتمالی	احتمالی	قطعی
تی سن (رسا)	کریجینگ (رسا)	رگرسیون (نارسا)	سطح‌روند (رسا)
برآورد چگالی (نارسا)	(Collins and Bolstad, 1996)		
عکس مربع فاصله (رسا)			
Spline (رسا)			

در روش کریجینگ فرض بر این است که تغییرات مکانی پدیده‌هایی مانند بارش در یک گستره، از توزیع تصادفی برخوردار بوده، حاوی سه مؤلفه‌ی همبستگی مکانی، روند و خطای تصادفی است.

وجود یا فقدان و نیز نوع هر یک از این مؤلفه‌ها منجر به تکوین انواع روش‌های کریجینگ شده است. مؤلفه همبستگی مکانی و میزان آن براساس نیمه‌پراش نگار تعریف می‌شود. از تحلیل این مؤلفه و نیمه‌پراش نگار مربوط، ضرایب وزنی پیمونگانه جهت تخمین ارزش نقطه‌ی مجهول به دست می‌آید (Tabios and Salas, 1985: 370).

الف- کاربرد نیمه‌پراش نگار در میان‌یابی

پراش نگار تابعی است که به وسیله‌ی آن تغییرپذیری مکانی متغیرها اندازه‌گیری می‌شود و اندازه‌ای از شباهت بین گره‌های شبکه برای فاصله‌ای معین را نشان می‌دهد (برای مباحث نظری به رندو ترجمه خدایاری (۱۳۷۱) و مدنی (۱۳۷۳) مراجعه کنید). با تقسیم پراش نگار بر عدد ۲ (که فهم آن آسان‌تر است)، نیمه پراش نگار به دست می‌آید. نیمه‌پراش نگار به شکل تابع زیر تعریف می‌شود (Biau et.al, 1999: 1071):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [z(x_i) - z(x_{i+h})]^2$$

که در آن:

$Y(h)$: مقدار نیمه تغییرنا برای جفت نقاطی که به فاصله‌ی h از هم قرار دارند؛

$n(h)$: تعداد زوج نقاطی است که به فاصله h از هم قرار دارند؛

$z(x_i)$: مقدار مشاهده شده متغیر در نقطه X ؛

$z(x_i+h)$: مقدار مشاهده شده متغیری که به فاصله h از x قرار دارد؛

تابع فوق نشان می‌دهد که برای محاسبه‌ی نیمه‌پراش‌نگار در ابتدا مجذور اختلاف ارزش دو نقطه به فاصله‌ی h محاسبه می‌شود. برای تعمیم تفاوت ارزش دو نقطه، محاسبه در مورد تمامی نقاطی که به فاصله‌ی h از هم قرار دارند، انجام می‌گیرد و میانگین مجذور اختلاف‌ها محاسبه می‌گردد. بدین ترتیب با تکرار محاسبه در فاصله‌ی h می‌توان نموداری ترسیم نمود که محور افقی آن h و محور عمودی آن $\gamma(h)$ را نشان دهد. اگر نقاط در شبکه‌های منظم و با فواصل مساوی قرار داشته باشند، نیمه‌پراش‌نگار براساس میانگین حسابی فواصل محاسبه و برآورد می‌گردد. در حالت دیگر که وضعیت معمول است و بر ایستگاه‌های هواشناسی صدق می‌کند، پراکندگی نقاط فاقد نظم می‌باشد. لذا معادلات تعدیل یافته و میانگین موزون نقاط برآورد می‌شود. تغییر یکنواخت نیمه‌پراش‌نگار در امتدادهای مختلف را همسانگردی^۱ و نایکنواختی آن را ناهمسانگردی^۲ گویند.

از آنجا که نیمه‌پراش‌نگار تجربی بر اساس تعدادی نقاط نمونه حاصل شده است، می‌بایست آن را با یک تابع نظری تقریب زد به طوری که در هر فاصله نیمه‌پراش‌نگار به‌وسیله‌ی این تابع برآورد گردد. این تابع به مدل نیمه‌پراش‌نگار موسوم است. برخی از این مدل‌ها در جدول (۲) ارایه شده است. این مدل‌ها در دو گروه فاقد آستانه و حاوی آستانه قرار دارند. در مدل‌های فاقد آستانه با افزایش فاصله، مقدار نیمه‌پراش‌نگار نیز اضافه می‌شود و هیچ‌وقت به حد ثابتی نمی‌رسد ولی در مدل‌های حاوی آستانه با افزایش فاصله مقدار نیمه‌پراش‌نگار نیز تا فاصله‌ای معین زیاد و پس از آن به حد ثابتی می‌رسد (ملنی، ۱۳۷۳: ۲۳۲-۲۲۸).

ب- انواع میان‌یابی کریجینگ

روش میان‌یابی کریجینگ بسته به کیفیت همبستگی و نحوه‌ی تغییرات مکانی پدیده‌ها و برحسب ارزش‌های مورد جستجو و همچنین ارتباط بین متغیر مورد بررسی و متغیرهای توضیحی دیگر به انواع مختلفی تقسیم می‌شوند. در دنباله‌ی بحث به این روش‌ها خواهیم پرداخت:

- کریجینگ معمولی^۳: با فرض غلبه‌ی مؤلفه‌ی همبستگی مکانی و به‌کارگیری مستقیم

نیمه‌پراش‌نگار، ارزش مقداری (Z) در یک نقطه مثل Z_0 به شکل $Z_0 = \sum_{i=1}^s w_x z_x$ است.

1-Isotropy

2-An isotropy

3-Ordinary Kriging

وزن‌ها از حل مجموعه‌ای از معادلات همزمان و با حداقل کردن واریانس $\text{var}\{\sum w_i z(x_i, y_i) - z(x_0, y_0)\}$ به دست می‌آید. برای مثال به منظور برآورد ارزش نقطه

z_0 بر اساس نقاط معلوم (3,2,1) می‌بایست معادلات زیر را حل نمود (Cressie, 1993: 420).

$$w_1 \gamma(h_{11}) + w_2 \gamma(h_{12}) + w_3 \gamma(h_{13}) + \lambda = \gamma(h_{10})$$

$$w_1 \gamma(h_{21}) + w_2 \gamma(h_{22}) + w_3 \gamma(h_{23}) + \lambda = \gamma(h_{20})$$

$$w_1 \gamma(h_{31}) + w_2 \gamma(h_{32}) + w_3 \gamma(h_{33}) + \lambda = \gamma(h_{30})$$

$$w_1 + w_2 + w_3 + 0 = 1$$

در اینجا $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ و $\gamma(h_i)$ نیمه‌پراش نگار بین نقطه‌های معلوم i و z_0 نیمه‌پراش

نگار بین i آمین نقطه معلوم و نقطه‌ای که باید برآورد نمود، می‌باشد. شایان یادآوری است که این مقادیر از مدل برازش یافته بر پراش نگاری تجربی قابل دستیابی است. ضریب لاگرانژ^۱ است که برای به حداقل رساندن خطای برآورد محتمل اضافه می‌شود (برای آشنایی با نحوه محاسبه ضریب لاگرانژ به مدنی (۱۳۷۳) صفحه ۴۹۸-۴۹۲ مراجعه کنید). شکل کلی معادلات فوق به صورت زیر است:

$$\sum_{i=1}^n w_i \gamma(h_{i,j}) + \lambda = \gamma(h_i, 0), j = 1, \dots, n$$

معادلات مربوط به مثال بالا را می‌توان به شکل ماتریس زیر بازنویسی نمود:

$$\begin{bmatrix} r(h_{11}) & r(h_{12}) & r(h_{13}) & 1 \\ r(h_{21}) & r(h_{22}) & r(h_{23}) & 1 \\ r(h_{31}) & r(h_{32}) & r(h_{33}) & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r(h_{10}) \\ r(h_{20}) \\ r(h_{30}) \\ 1 \end{bmatrix}$$

بنابراین برای برآورد ارزش نقطه صفر (z_0) معادله‌ی زیر حاصل می‌شود:

$$z_0 = w_1 z_1 + w_2 z_2 + w_3 z_3$$

- کریجینگ عام^۲: در این روش فرض بر این است که علاوه بر مؤلفه‌ی همبستگی مکانی بین نقاط، انحراف یا روند نیز در مقادیر Z وجود دارد. در این صورت، کریجینگ با یک چندجمله‌ای مرتبه اول یا دوم ترکیب می‌شود.

1-Lagrange

2-Universal Kriging

برای مثال چند جمله‌ای مرتبه اول به صورت $M = b_1x_i + b_2y_i$ و یک چند جمله‌ای مرتبه دوم به صورت $M = b_1x_i + b_2y_i + b_3x_i^2 + b_4x_iy_i + b_5y_i^2$ به مدل اضافه می‌شود. در اینجا M روند، x_i و y_i مختصات نقاط نمونه i ، و b_i ضرایب روند می‌باشند (Stein and Corsten, 1991: 580).

از آنجا که کریجینگ بعد از محاسبه و حذف روند، بر پایه‌ی باقیمانده‌ها میان‌یابی را انجام می‌دهد، معمولاً چند جمله‌ای مراتب بالاتر پیشنهاد نمی‌شود. لذا چند جمله‌ای مراتب بالاتر تغییرات محدودی را برای برآورد قطعی‌تر به جا می‌نهند. همچنین ضرایب افزون‌تر b_i در چند جمله‌ای‌های مراتب بالاتر، نیازه حل معادلات همزمان بیشتری دارد.

- **کریجینگ قطعه‌ای^۱**: در این روش ارزش میانگین یک متغیر به جای نقاط در نواحی کوچک یا پهنه‌ها محاسبه می‌شود. در حالت ساده می‌توان میانگین ارزش نقاط که بر اساس کریجینگ نقطه‌ای حاصل شده است را برای یک پهنه حساب نمود و با پهنه‌ها مشابه نقاط رفتار نمود.

- **کو کریجینگ (کریجینگ همبسته)^۲**: در این روش یک یا چند متغیر ثانوی که با متغیر مورد نظر در ارتباط است، برای میان‌یابی به کار می‌رود. این روش ضمن اینکه برای پهنه‌های فاقد ایستگاه مناسب است، بر این فرض استوار است که همبستگی بین متغیرها می‌تواند دقت برآورد را افزایش دهد. برای مثال می‌توان با میان‌یابی بارش بر اساس عامل ارتفاع دقت بهتری برای میان‌یابی حاصل نمود (Stein and Corsten 1991: 580 و Weterings, 1989: 392). این روش به دلیل وجود همخطی^۳ بین متغیرهای کمکی عاری از ایراد نیست. لذا تنها زمانی که بتوان همخطی را کشف و حذف نمود از این روش استفاده می‌شود (عساکره، ۱۳۸۴: ۲۳۱-۲۱۳).

ج- مراحل میان‌یابی کریجینگ

به طور کلی تحلیل کریجینگ از هر نوع که باشد بر اساس گام‌های زیر عملی می‌شود. این مراحل طی این پژوهش در معرض توجه قرار گرفته است:

- **ترسیم نیمه‌پراش‌نگار**: اگر شباهت نقاط نزدیک به هم بیشتر از مقدار شباهت نقاط دور از هم باشد، نیمه‌پراش‌نگار برای مقادیر h نزدیک کوچک خواهد بود و خود همبستگی مکانی از نیمه‌پراش‌نگار استنباط خواهد شد.

1-Block Kriging
2-Cokriging
3-Colinearity

- برازش مدل مناسب به نیمه پراش نگار: این مدل نیمه پراش نگار را به عنوان تابعی از فاصله بیان می‌دارد.

- کاربرد فرآیند کریجینگ مناسب: به منظور تولید یک شبکه از مقادیر تخمینی، فرآیند کریجینگ بر اساس مدل ارائه شده در مرحله ۲ به کار گرفته می‌شود.

- ترسیم نقشه‌ی هم ارزش بر اساس شبکه‌ی برآورد شده

- تعیین صحت برآورد: اگر روش‌های مختلف میان‌یابی را بر داده‌های مشابه به کار گیریم، نتایج متفاوتی به دست می‌آید. کما اینکه مقادیر مختلف و روش‌های مشابه نتایج متفاوتی را در پی خواهد داشت (Dubrule, 1983:250). برای انجام میان‌یابی موزون (از هر روشی که باشد)، در ابتدا می‌بایست پهنه‌ی مورد بررسی به طور منظم شبکه‌بندی شود. سپس با تکرار عمل میان‌یابی برای نقاط تلاقی شبکه، ارزش مقداری نقاط مجهول برآورد شود. بنابراین برای مقایسه‌ی نتایج حاصل از میان‌یابی روش‌های متعددی وجود دارد. یکی از روش‌های معتبر به نام روش ارزیابی متوالی (Cross-Validation) موسوم است. این روش بر اساس تکرار مراحل زیر انجام می‌پذیرد:

الف) حذف یک نقطه‌ی معلوم از مجموع داده‌ها؛

ب) به کارگیری نقاط باقیمانده برای برآورد نقطه حذف شده؛

ج) محاسبه خطای برآورد؛

د) تکرار مراحل فوق برای تمامی نقاط معلوم؛

آماره‌های تشخیصی شامل ریشه دوم مربعات خطا (RMS)^۱ و مقدار استاندارد شده‌ی آن ($SRMS$)^۲ به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z_{i,act} - z_{i,est})^2}$$

$$SRMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(z_{i,act} - z_{i,est})^2}{S^2}} = \frac{RMS}{s}$$

در اینجا: n، تعداد نقاط، $z_{i,act}$ ، ارزش و $z_{i,est}$ ، برآورد نقطه معلوم i و S، واریانس خطا است. بهترین برآورد باید کم‌ترین RMS را داشته باشد و SRMS باید به ۱ نزدیک‌تر باشد. اگر SRMS برابر ۱ باشد به این معنی است که RMS برابر S است. بنابراین خطای استاندارد برآورد

اندازه‌های مناسب و موثق از عدم قطعیت برآورد است. شایان توضیح است که RMS در تمامی روش‌های رسا محلی، قابل برآورد است اما SRMS تنها در روش کریجینگ قابل محاسبه و برآورد است (De Beurs, 1998:110).

داده‌ها

جعفری (۱۳۶۸: ۱۹-۷۱) در یک محاسبه‌ی دقیق و جامع بر روی پوشش نقشه‌های

کل کشور، محدوده‌ی ایران زمین را بین مختصات زیر تشخیص داده است:

E: 44° 2' - 63° 9'

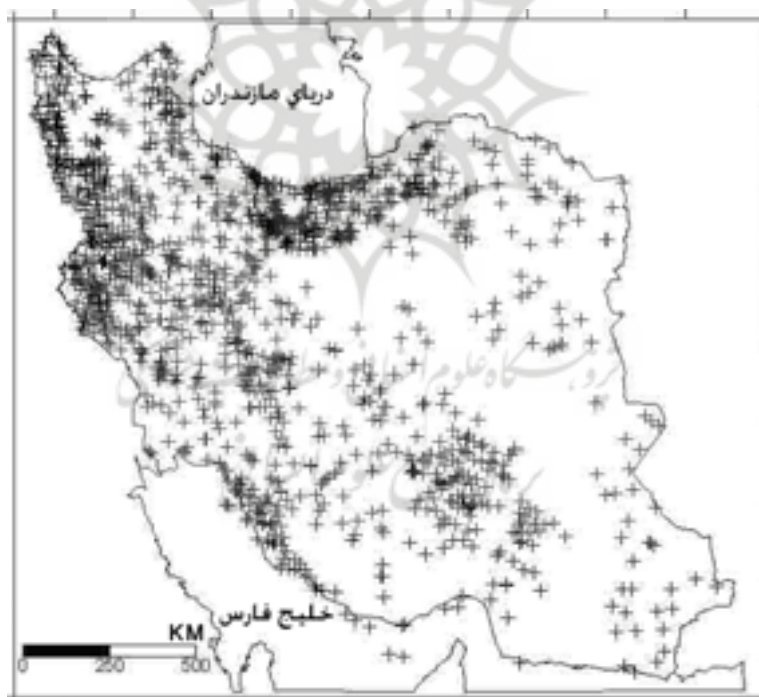
N: 25° 3' 45" - 39° 46' 30"

در این تحقیق از بارش ۱۳۷۶/۱۲/۲۶ مربوط به ۶۵۴ ایستگاه هواشناسی کشور (ایستگاه‌های سینوپتیک، کلیماتولوژی و باران‌سنجی) که در محدوده‌ی فوق قرار گرفته‌اند، استفاده شده است. در این روز در ۴۶۲ ایستگاه بارش رخ داده است. یعنی در قریب به ۷۰/۶ درصد ایستگاه‌های کشور بارش داشته‌اند. بنابراین روزی با بارش فراگیر در ایران بوده است. داده‌ها به صورت یک فایل ASCII در کاربرد نرم‌افزار Surfer/Win قرار گرفت. این نرم‌افزار مرجع اصلی تهیه‌ی نقشه و تحلیل نیمه‌پراش نگار بوده است. جهت تحلیل‌های آماری و برازش مدل‌های مربوط به نیمه‌پراش نگار از بسته نرم‌افزاری Curve Expert/Win (که جهت برازش انواع مدل برداده‌ها طراحی شده) بهره گرفته شده است.

موقعیت ایستگاه‌های مورد بررسی در نقشه‌ی شماره‌ی ۱ دیده می‌شود. اولین مشخصه‌ی قابل رؤیت بر روی این نقشه توزیع نامتقارن ایستگاه‌ها است. واضح است که نیمه‌ی شمالی-غربی کشور از تراکم بیشتری نسبت به نیمه‌ی جنوبی برخوردار است. بخش بزرگی از شرق کشور (از سواحل دریای عمان تا شمال کویر لوت) و نیز بخش وسیعی مشتمل بر کویر مرکزی ایران، فاقد ایستگاه‌های سنجش عناصر اقلیمی می‌باشد. همچنین تراکم زیاد ایستگاه‌ها در پیشکوه‌های زاگرس مرکزی و البرز شمالی از مشخصات پراکنش ایستگاه‌ها می‌باشد. بر اساس بررسی مسعودیان (۲۰۰۳) حدود ۵۰ هزار کیلومتر مربع از نواحی سردکوهستانی که کانون‌های آبخیز کشور به شمار می‌آیند و نیز ۱۵۰ هزار کیلومتر مربع از بیابان‌های داخلی (مجموعاً ۲۰۰ هزار کیلومتر مربع)، فاقد ایستگاه‌های سنجش می‌باشند. مرتفع‌ترین ایستگاه کشور بالاتر از ۲۶۰۰ متر نمی‌باشد. برای تهیه‌ی نقشه‌ی بارش یک شبکه مربعی بر کشور برازش یافت که در آن اندازه یاخته‌ها طوری انتخاب شده که کیفیت و توان تفکیک نقشه را بیان دارد. بر اساس

یافته‌های ارزشمند مسعودیان (۲۰۰۳) حداقل اندازه‌ی یاخته‌ها برای نمایش واقعی‌تر بارش 14×14 کیلومتر است. بنابراین به منظور دستیابی به یاخته‌های هم‌اندازه و با استفاده از نرم‌افزار Didger3 سیستم مختصات کروی به سیستم مختصات مسطحاتی (مخروطی لامبرت) تبدیل یافت. چرا که در سیستم مختصات کروی یاخته‌های شمالی مساحت کمتر و یاخته‌های جنوبی مساحت بیشتری پیدا می‌کنند و میانگین بارش نواحی جنوبی با وزن بیشتری در میانگین پهنه‌ای بارش دخالت خواهند کرد.

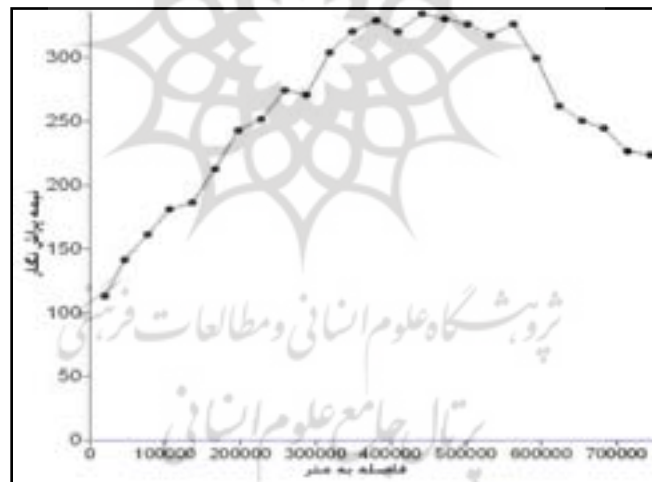
برای دستیابی به پیکسل‌های 14×14 کیلومتر محور طول‌ها به ۱۵۹ بخش و محور عرض‌ها به ۱۰۱ بخش تقسیم گردید. پس از آن یاخته‌های خارج از کشور حذف و مجموعاً ۹۶۶۶ سلول داخل کشور باقی ماند. این شبکه‌بندی مبنای تحلیل‌های بعدی قرار گرفت. بدیهی است که این عملیات و عملیات بعدی بدون بهره‌گیری از نرم‌افزارهای کامپیوتری منتج نخواهد بود. لذا چنان که پیش‌تر نیز اشاره شد، جهت تهیه نقشه‌های این پژوهش از نرم‌افزار Surfer استفاده شد.



نقشه ۱: موقعیت ایستگاه‌های مورد بررسی

نتایج بحث

به منظور بررسی نحوه ارتباط ایستگاه‌های مورد بررسی در ابتدا نیمه‌پراش نگار بارش کشور برای روز ۱۳۷۶/۱۲/۲۶ محاسبه و نمودار آن ترسیم گردید. شکل ۱ نیمه‌پراش نگار بارش این روز ایران را نشان می‌دهد. چنانکه قبلاً نیز اشاره شد، مهم‌ترین گام در میان‌یابی کریجینگ، ارایه مدلی مناسب بر نیمه پراش نگار است تا به وسیله آن بتوان بهترین میان‌یابی را انجام داد. در راستای ارایه مدل مزبور با استفاده از نرم‌افزار Curve Expert/Win ضمن به کارگیری یازده مدل به شرح جدول (۲)، بر اساس ملاک حداقل مربعات خطا و نیز با به‌کارگیری روش تکرار و آزمون-خطا، سی و سه نقشه برای بارش ۱۳۷۶/۱۲/۲۶ تهیه گردید. هر سه نقشه بر اساس مدل نیمه‌پراش نگار مورد نظر و نیز با استفاده از تکنیک‌های کریجینگ معمولی، کریجینگ عام با روند خطی و نیز کریجینگ عام با روند درجه‌ی ۲ تهیه گردید. سپس برای هر یک از نقشه‌ها میزان خطای برآوردی از طریق تکنیک ارزیابی متوالی Cross-Validation محاسبه شد. نتایج محاسبات در جدول (۲) ارایه شده است.



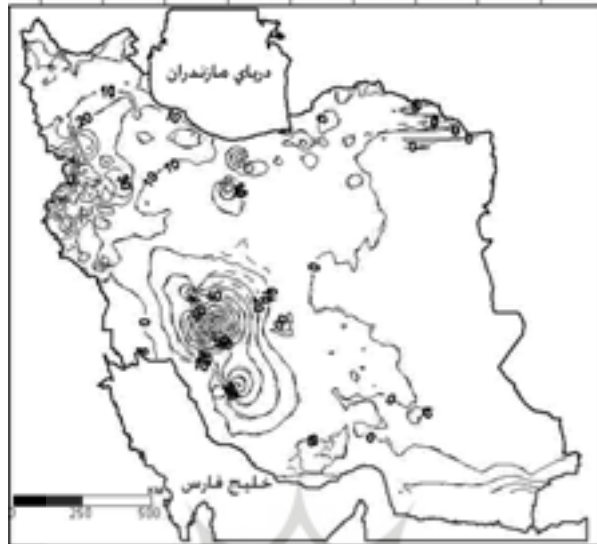
شکل ۱: نیمه تغییرنمای تجربی بارش در تاریخ ۱۳۷۶/۱۲/۲۶

چنانکه می‌بینیم مدل‌های خطی و نمایی برازش یافته بر نیمه‌پراش نگاری تجربی امکانات بهتری برای تهیه نقشه‌ها به وجود می‌آورند. درحالی که مدل‌های کروی، مکعبی، کروی پنج‌وجهی و سینوسی (موجی) نامناسب‌ترین الگوهای برازش یافته بر مدل نیمه‌پراش نگار به شمار می‌آیند. شایان توضیح است که مدل خطی بدون به‌کارگیری مؤلفه‌های روند و مدل

نمایی با به‌کارگیری روند خطی در تولید نقشه به کار رفته‌اند. نقشه‌ی ۲ توزیع بارش روز ۱۳۷۶/۱۲/۲۶ را با استفاده از مدل‌های خطی و نمایی نیمه‌پراش نگار نشان می‌دهد. در این روز حاشیه‌ی غربی - جنوبی کشور تحت تأثیر توده‌های باران‌زایی که از این نواحی می‌گذشتند، پرباران‌تر از نیمه شرقی کشور بوده است.

جدول ۲: میزان خطای ترسیم نقشه برای مدل‌های پراش‌نگاری برازش یافته بر پراش‌نگاری تجربی بارش ایران در ۱۳۷۶/۱۲/۲۶

مدل تغییر نما	مدل برازش یافته	کریجینگ معمولی	کریجینگ عام با روند خطی	کریجینگ عام با روند دو جمله‌ای
نمایی	$268.2(1 - e^{-h})$	۱۳۴۱۲/۴	۱۳۴۱۰/۱	۱۳۴۱۵/۸
گوسی (نرمال)	$268.2(1 - e^{-h^2})$	۱۳۴۱۲/۴	۱۳۴۱۰/۱	۱۳۴۱۵/۸
خطی	$0.0005h$	۱۲۸۷۹/۱	۱۳۶۶۷/۹	۱۳۶۷۳/۴
لگاریتمی	$19(\log_e(h)), h > 0$	۹۶۴۰۱/۲	۸۸۰۹۶/۵	۹۳۱۲۰/۲
توانی	$20(h^{0.175})$	۴۱۱۴۳	۴۰۴۳۲/۵	۴۰۲۷۰/۳
درجه دو	$268.2(2h - h^2)$	۱۰۴۱۷۹/۵	۹۳۶۱۱/۹	۹۹۱۳۸/۱
درجه دو منطقی	$323(\frac{h^2}{1+h^2})$	۳۲۱۹۲/۷	۳۲۲۰۰/۷	۳۲۲۰۳/۸
کروی	$268.2(1.5h - 0.5h^3)$	۱۰۴۱۷۹/۴	۹۳۶۱۱/۹	۹۹۱۳۸/۱
موجی	$268.2(1 - \frac{\sinh}{h})$	۱۰۳۳۸۲/۱	۹۲۸۶۲/۴	۹۸۶۰۱/۷
مکعبی	$2682(7h^2 - 8.75h^3 + 3.5h^5 - 0.75h^7)$	۱۰۴۱۷۹/۴	۹۳۶۱۱/۹	۹۹۱۳۸/۱
کروی پنج وجهی	$2682(1.875h - 1.25h^3 + 0.375h^5)$	۱۰۴۱۷۹/۴	۹۳۶۱۱/۹	۹۹۱۳۸/۱



نقشه ۲: نقشه همباران در تاریخ ۱۳۷۶/۱۲/۲۶

خطوط متصل بر اساس مدل تغییر نمای خطی و خطوط منفصل بر اساس تغییر نمای مدل نمایی تهیه شده است.

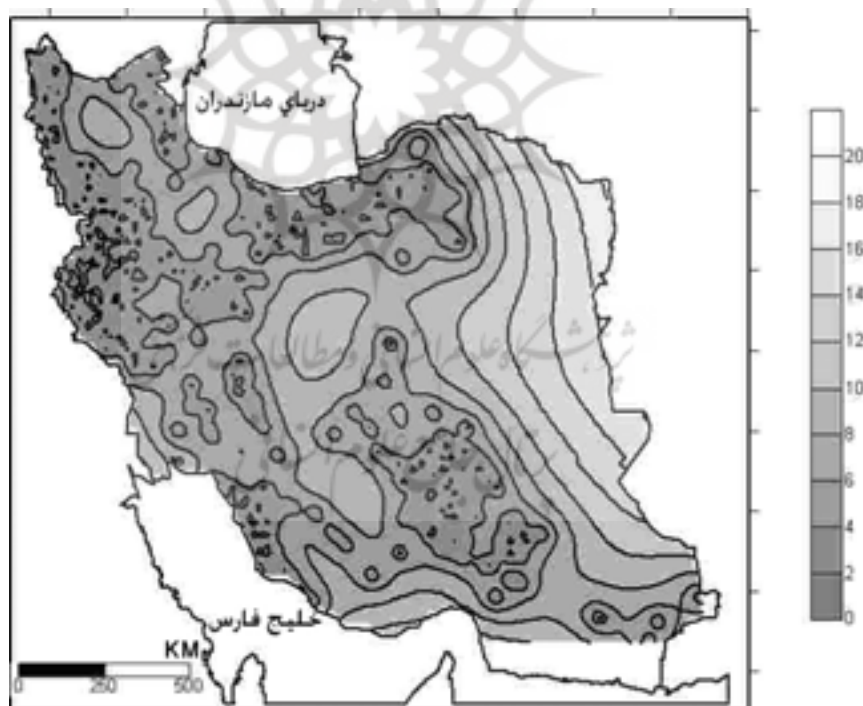
اگرچه نقشه‌های ارایه شده بر مبنای دو روش خطی و نمایی الگوی همباران مشابه و با رفتار همسانی را نشان می‌دهد و در بسیاری نواحی دیگر همباران‌های دو روش منطبق بر یکدیگر می‌شود. با این وصف گستره‌ی هم باران‌ها در ناحیه‌ی پربارش زاگرس میانی تفاوت نسبتاً چشم‌گیری را نشان می‌دهند. جدول (۳) اختلاف پهنه‌های همباران در دونقشه را نشان می‌دهد.

جدول ۳: پهنه‌های بارشی در نقشه‌های همباران تولید شده بوسیله مدل خطی و توانی نیمه پراش نگار

بیش از ۴۰	۳۰-۴۰	۲۰-۳۰	۱۰-۲۰	۸-۱۰	۶-۸	۴-۶	۲-۴	۰-۲	صفر	بارش (میلیمتر)	
۲/۴	۱/۸	۳/۹	۷/۹	۹	۶	۷/۱	۸/۶	۱۴/۵	۴۱/۸	خطی	درصد مساحت کشور بر اساس مدل نیمه تغییر نمای
۲/۷	۲/۳	۴/۷	۱۱/۱	۳/۸	۴/۵	۵/۷	۷	۱۱/۳	۴۶/۹	توانی	

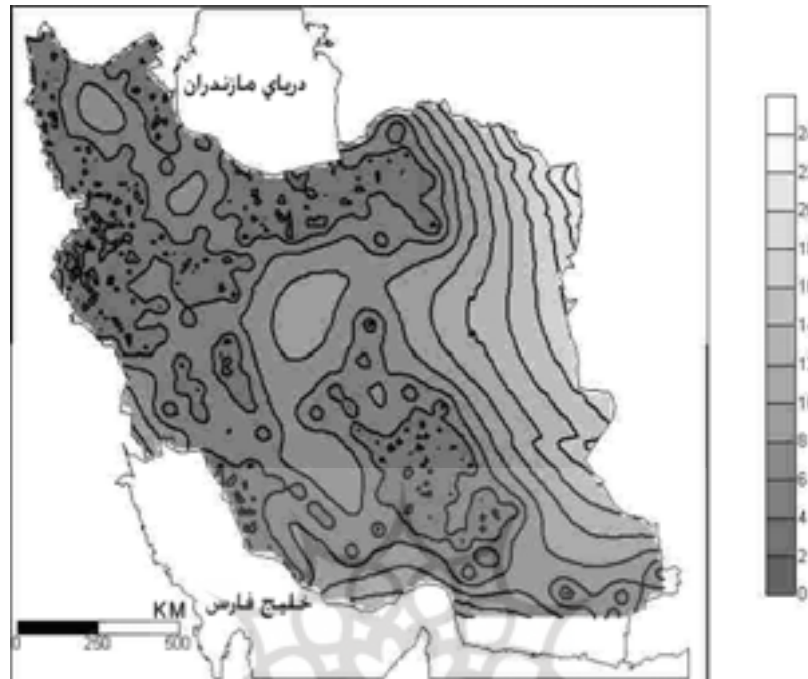
اگرچه میانگین موزون بارش کشور بر اساس دو روش بسیار به هم نزدیک است (برای روش خطی و توانی میانگین بارش روز ۱۳۷۶/۱۲/۲۶ به ترتیب ۷/۳ و ۷/۴ میلی‌متر است). اما اولاً این اختلاف ناچیز برای پهنه‌ی بسیار گسترده‌ی کشور ایران رخ داده است. در ثانی ارزش مقادیر در مقیاس‌های ناحیه‌ای بسیار متفاوت است. برای مثال مقایسه‌ی بارش دو استان یا دو

ناحیه جغرافیایی علیرغم آنچه از میانگین کل استنباط می‌شود، اختلاف قابل توجهی را متحمل می‌گردد. میزان انحراف استاندارد این دو رویه که گویای میزان بی‌ثباتی برآورد است در روش توانی بیش از روش خطی است. متوسط انحراف استاندارد برآورد در روش توانی $6/8$ و در روش خطی $6/6$ است. بنابراین فاصله‌ی اطمینان بارش برآوردی در روش خطی کوچک‌تر از فاصله‌ی اطمینان روش توانی خواهد بود. انحراف استاندارد برآورد به عنوان ملاک تشخیصی مناسب در میان‌یابی کریجینگ است. نقشه‌های ۳ و ۴ انحراف استاندارد برآورد برای دو روش خطی و توانی را نشان می‌دهد. با مقایسه‌ی این دو نقشه می‌توان دید که دامنه‌ی کوچک تغییرات انحراف استاندارد برآورد بارش در روش خطی (۱ تا ۱۹) نسبت به روش توانی (۲۳/۹ تا ۴۵)، برتری روش خطی را نشان می‌دهد. از این‌رو استفاده از نیمه‌پراش نگار با روش خطی نقشه بارش دقیق‌تری برای ۱۳۷۶/۱۲/۲۶ ارائه می‌دهد. در هر دو روش بیشترین انحراف استاندارد در نواحی دیده می‌شود که ایستگاه‌های کمتری داشته‌اند. مقایسه این نقشه‌ها با نقشه (۱) گواهی بر این ادعاست.



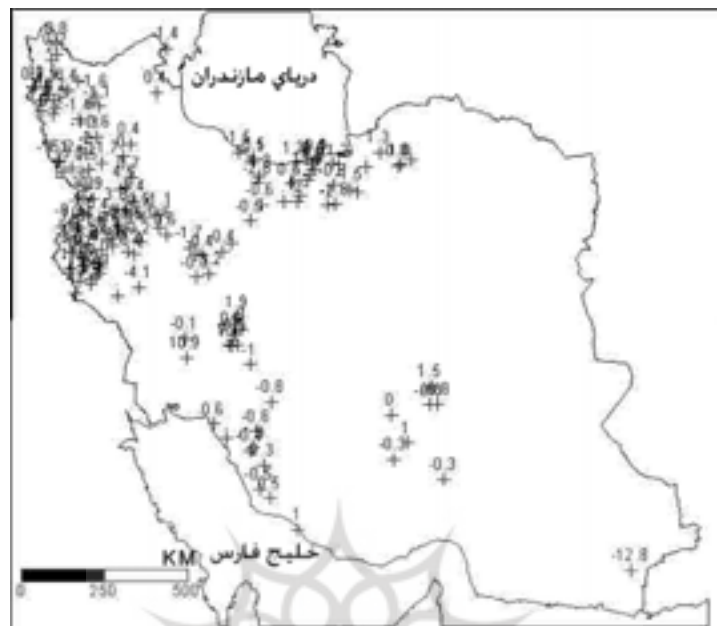
نقشه ۳: انحراف استاندارد نقشه همباران در تاریخ ۱۳۷۶/۱۲/۲۶

براساس مدل خطی نیمه‌پراش نگار

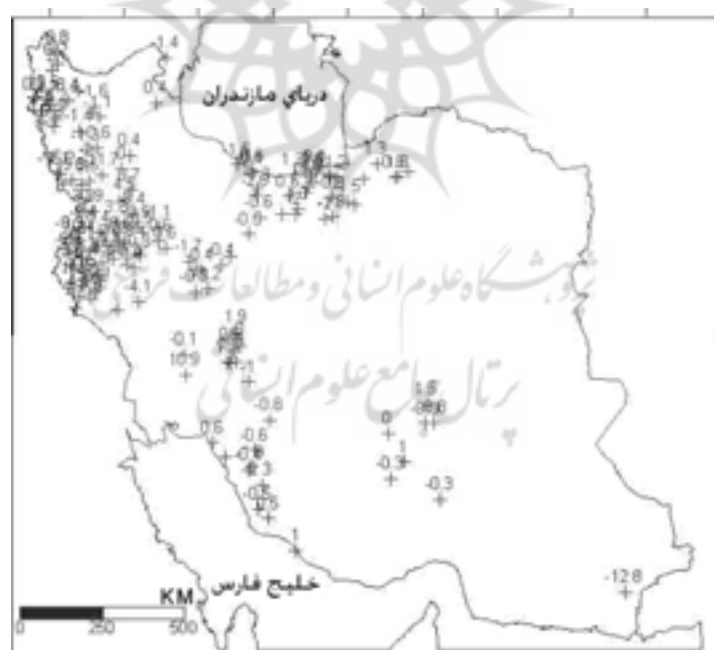


نقشه ۴: انحراف استاندارد نقشه همباران در تاریخ ۱۳۷۶/۱۲/۲۶
براساس مدل نمایی نیمه‌پراش‌نگار

نمونه‌های تصادفی از یک چهارم ایستگاه جهت نمایش اختلاف مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر میان‌یابی در نقشه‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است. مقادیر مثبت گویای این است که داده‌های اندازه‌گیری شده بزرگتر از داده‌های برآورد شده در ایستگاه‌هاست و مقادیر منفی نیز گویای برآوردی بزرگتر از مقادیر واقعی است. بر پایه‌ی این نقشه‌ها اختلاف مقادیر برآورد شده از مقادیر واقعی بارش برای بسیاری نقاط در دو مدل برابر است. اما این مقادیر در برخی نقاط شمال‌غربی کشور در مدل خطی کمتر است. لذا این نقشه‌ها را نیز می‌توان تأیید دیگری بر برازش بهتر مدل خطی بر نیمه‌پراش‌نگار تلقی کرد. با عنایت به این نقشه‌ها، بیشترین انحرافات را می‌توان در نیمه‌ی شرقی کشور بخصوص نواحی با تراکم ایستگاهی کم، و نیز در حاشیه‌ی باریکی از سواحل خلیج فارس - دریای عمان دید. شایان توضیح مجدد است که روش میان‌یابی با استفاده از ایستگاه‌های مجاور، صورت می‌پذیرد. چون این نواحی حاوی تباین اقلیمی - بارشی شدید بوده، نوعی ناهمسانگردی و در نتیجه عدم توانایی در برآورد دقیق را در پی دارد.



نقشه ۵: انحراف مقادیر برازش یافته براساس مدل خطی نیمه تغییرنا
برای ۲۵ درصد ایستگاه های مورد بررسی



نقشه ۶: انحراف مقادیر برازش یافته براساس مدل نمایی نیمه تغییرنا
برای ۲۵ درصد ایستگاه های مورد بررسی

نتیجه‌گیری

میان‌یابی از بنیادهای الزامی در مطالعات و بررسی‌های پهنه‌ای- مکانی اقلیم است. این ضرورت حاصل عدم الزام و فقدان امکان در تاسیس ایستگاه‌های سنجش عناصر اقلیمی است. با این وصف مکانیابی ایستگاه‌های سنجش و اندازه‌گیری می‌بایست با استمداد از اصول و روش‌های عینی و علمی صورت گیرد به طوری که پوشش کافی و مناسب از گستره‌ی کشور حاصل آید. فقدان یا کمبود ایستگاه‌هایی که به طور کامل حاوی چنین مشخصه‌هایی باشند، اقلیم‌شناسان را ملزم به رعایت اصولی معین در میان‌یابی می‌سازد.

در این پژوهش ضمن بهره‌گیری از تکنیک میان‌یابی کریجینگ، اصول بنیادی در میان‌یابی، روش‌های مقایسه مدل‌های میان‌یابی و آزمون صحت روش‌ها به طور عملی و با مثالی از بارش برای تعداد ۶۵۴ ایستگاه سینوپتیک، کلیماتولوژی و باران‌سنجی ایران زمین ارایه شده است. مهم‌ترین یافته‌های این پژوهش را می‌توان به شرح زیر بیان نمود:

- روش کریجینگ مبتنی بر برازش مدل مناسب بر پراش‌نگار تجربی است. بر اساس مدل برازش یافته می‌توان شعاعی که در میان‌یابی مورد استفاده قرار می‌گیرد را برآورد نموده عملیات محاسباتی کمتر و دقت بیشتری در میان‌یابی را حاصل نمود. همچنین شعاع عمل و محل نصب ایستگاه‌ها را نیز می‌توان با خطای کمینه تعیین کرد. بدیهی است که توفیق در انجام این محاسبات به دلیل پیچیدگی، حجم و تکرار زیاد محاسبات تنها با استفاده از امکانات نرم‌افزاری میسر خواهد بود. تحلیل‌های ارایه شده در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار Surfer/Win Ver8.05 انجام گرفته است. این نرم‌افزار یکی از قوی‌ترین نرم‌افزارهایی است که می‌توان از آن جهت میان‌یابی و تهیه نقشه‌های هم‌ارزش بهره گرفت.

- بسیاری نواحی کشور به خصوص بیابان‌ها و کویرهای داخلی، نواحی با ارتفاع بیش از ۲۶۰۰ متر (که کانون‌های آبگیر کشور به شمار می‌آیند) فاقد ایستگاه‌های سنجش و اندازه‌گیری هستند. همچنین نواحی مجاوری که از تباین اقلیمی بالایی برخوردارند (مثل دامنه‌های شمالی- جنوبی البرز و دامنه‌های شرقی- غربی زاگرس) از توزیع متناسب و تعداد مناسب ایستگاه‌ها برخوردار نیستند. شایسته است این نواحی از تعداد و تراکم ایستگاهی مناسب و متناسبی برخوردار شوند تا برآوردهای میان‌یابی قرین دقت و صحت افزون‌تری گردد.

منابع و مأخذ

- ۱- جعفری، عباس (۱۳۶۸). شناسنامه جغرافیای طبیعی ایران، تهران. انتشارات گیتاشناسی.
- ۲- رحیمی بندرآبادی، سیما؛ مهدیان، محمدحسین (۱۳۸۲). بررسی تغییرات مکانی بارندگی ماهانه در مناطق خشک و نیمه خشک جنوب شرق ایران، سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم. ۲۹ مهر تا اول آبان ۱۳۸۲. دانشگاه اصفهان.
- ۳- رندو، جی. ام (۱۳۷۱). اصول زمین آماری، ترجمه علی اصغر خدایاری. انتشارات جهاد دانشگاهی. دانشگاه صنعتی اصفهان.
- ۴- سازمان هواشناسی کل کشور. آمار بارش ژانویه سال ۲۰۰۰ برای ایستگاه های سینوپتیک و کلیماتولوژی، اخذ شده از سایت اینترنتی سازمان با آدرس www.irimet.net.
- ۵- عساکره، حسین (۱۳۸۴). مدل سازی تغییرات مکانی عناصر اقلیمی، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. شماره ۷۴.
- ۶- غیور، حسنعلی؛ مسعودیان، ابوالفضل (۱۳۷۵). بررسی نظام تغییرات مجموع بارش سالانه در ایران زمین، مجله نیو. شماره ۲۹.
- ۷- مدنی، حسن (۱۳۷۳). مبانی زمین آمار، انتشارات دانشگاه امیرکبیر.
- ۸- مسعودیان، سیدابوالفضل (۱۳۸۲). تحلیل ساختار دمای ماهانه ایران، مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان. جلد پانزدهم. شماره ۱ و ۲.
- 9-Biau, Gerard, Zorita Ednardo, Von Storch Hans and Wackernagel Hanse (1999). "Estimation of presipitation by kriging in the EOF space the sea level pressure field". Journal of climate. Vol. 12.
- 10-Chang.Kang -Tssung (2004). Introduction to Geographic Information System. 2nd edition. McGrow Hill. New Yourk.
- 11- Collins, F.C., and P.V. Bolstad (1996). A comparison of spatial interpolation techniques in temperature estimation. In: Proceedings of the Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling, Santa Fe, New Mexico.
- 12- Cressie, N.O.A (1993). Statistics for spatial data. Second revised edition. New York: John Wiley and Sons.
- 13- De Beurs, K (1998). Evaluation of spatial interpolation techniques for climate variables: Case study of Jalisco, Mexico. MSc thesis. Department of Statistics and Department of Soil Science and Geology, Wageningen Agricultural University, The Netherlands.
- 14- Dubrule, O (1983). Two methods with different objectives: Splines and Kriging. Mathematical Geology 15.
- 15- Isaaks E. H., and Srinivasta R. M (1989). Applied Geostatistics. Oxford University Press: Oxford.
- 16-Masoodian, Abolfazl (2003). On Precipitation Mapping in Iran, EGS-AGU-EUG joint Assembly, Nice, France, 6-11 April 2003. Available on www.ui.ac.ir/red/RCGSSS
- 17-Rajagopalan, Balaji and Lall, Upmanu (1998). Locally Weighted Polynomial Estimation of Spatial Precipitation. Journal of Geographic Information and Decision Analysis, Vol 2 , No 2.
- 18- Stein, A., and L.C.A. Corsten (1991). Universal kriging and cokriging as regression procedures. Biometrics 47: 575 -587.
- 19- Tabios, G.Q., and J.D. Salas (1985). A comparative analysis of techniques for spatial interpolation of precipitation. Water Resources Bulletin 21:365-380.
- 20- Weterings (1989). Using cokriging in variability studies to predict physical land qualities of a level river terrace. Soil Technology 2:385-402.