فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۴، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، ص ۴۰-۲۴
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

عنوان مقاله: بررسی مدل‌های مختلف درون‌یابی در پهنه‌بندی مکانی بارش
دوره ۴ / شماره ۲ / تابستان ۱۳۹۹/ ص ۴۰-۲۴

بررسی مدل‌های مختلف درون‌یابی در پهنه‌بندی مکانی بارش

سعیده موسوی خواه *[۱]، حسن نوری[۲]، هدیه احمدپری*[۳]
[۱] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد هیدرولوژی و منابع آب دانشگاه شهیدچمران اهواز
[۲] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد منابع آب دانشگاه زابل
[۳] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی دانشگاه تهران
* نویسنده مسئول: h.ahmadpari@gmail.com

چکیده

هر سرزمینی در مرحله نخست به اعتبار توان‌ها و موهبت‌های طبیعی‌اش، پایداری و بقای ساکنین خود را تضمین می‌کند و شناخت و برنامه‌ریزی در زمینه آن پایداری زیست‌محیطی آن را دو چندان می‌نماید. به این لحاظ شناخت روند تغییرات بارش سالانه الگوی مناسب برنامه‌ریزی در امورات مختلف به خصوص در امر کشاورزی و توسعه پایدار محیط می‌باشد که با آشنایی آن می‌توان در جهت استفاده بهینه از آب در دسترس یا پیش‌بینی‌های لازم در راستای مقابله با کمبود بارش یا بهره‌گیری از آن استفاده نمود. در بررسی مسائل مربوط به منابع آب، تجزیه و تحلیل داده‌های بارندگی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به همین علت همواره توجه پژوهشگران بر روش‌هایی بوده است که بتوان با استفاده از آنها در نقاط فاقد اندازه‌گیری، داده‌های بارندگی را با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی موجود تولید نمایند. تغییرات قابل ملاحظه بارندگی در زمان و مکان از یک سو و کم بودن ایستگاه‌های باران‌سنجی در ثبت بارندگی از سوی دیگر ضرورت تبیین مدل‌های تخمین بارندگی را امری اجتناب ناپذیر می‌نماید. با توجه به مطالعات انجام شده مشخص شده است از آنجا که روش‌های درون‌یابی متعددی وجود دارد، تعیین بهترین روش درون‌یابی مشکل خواهد بود و انتخاب بهترین روش و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی بارش بستگی به شرایط جغرافیایی منطقه دارد و بایستی برای هر منطقه بصورت جداگانه بررسی شود. زیرا انتخاب و به کارگیری روش درون‌یابی مناسب می‌تواند منجر به تولید نقشه‌هایی دقیق‌تر و صحیح‌تر گردد.

واژگان کلیدی: بارندگی، مدل‌های تخمین بارندگی، روش‌های درون‌یابی، نقشه‌های پهنه‌بندی

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۴، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، ص ۴۰-۲۴
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

۱-مقدمه

یکی از پایه‌های برنامه‌ریزی برای بهره‌وری از منابع آب، بررسی کمی میزان آب موجود و تعیین پتانسیل‌های آبی کشور است. یکی از متغیرهای اساسی برای ارزیابی منابع آب کشور، بارش است ولی توزیع زمانی و مکانی بارش در کشور یکنواخت نیست و به همین علت توزیع منابع آب کشور نیز یکنواخت نخواهد بود. نگهداری و مدیریت منابع آب هم به بارش دریافتی و هم به تغییرپذیری بارش وابسته است. هرچه تغییرات مکانی بارش کمتر باشد همگنی و یکدستی منابع آب بیشتر می‌شود. از طرف دیگر، هرچه تغییرپذیری زمانی بارش کمتر باشد، منابع آب نیز با ثبات‌تر می‌شود و عرضه دائمی آب ممکن خواهد شد. از این‌رو آگاهی از توزیع جغرافیایی الگوهای بارش می‌تواند ما را در مدیریت منابع آبی کشور یاری کند. ولی به دلیل عدم امکان پوشش کامل منطقه توسط ایستگاه‌های اندازه‌گیری، برآورد داده‌های نقطه‌ای در مناطق بین ایستگاه‌ها مطرح می‌گردد. پس با استفاده از تکنیک‌های طبقه‌بندی و پهنه‌بندی می‌توان به شناخت قابل قبولی از رفتار پهنه‌ای بارش دست یافت. برآورد تغییرات مکانی داده‌های نقطه‌ای بدون توجه به چگونگی انتخاب روش مناسب می‌تواند از عوامل مهم ایجاد خطا در برآورد و انجام مطالعات آتی وابسته به آن باشد. درون‌یابی روشی ریاضی – آماری است برای پیدا کردن ارزش سلول‌هایی که دارای مقدار نامشخص هستند براساس ارزش سلول‌هایی که دارای مقادیر معلوم می‌باشند. شکل عمومی رابطه درون‌یابی خطی در یک نقطه فاقد اندازه‌گیری بصورت رابطه (۱) می‌باشد:

$$\hat{Z} = \sum_{i=1}^{n} W_i Z_i \qquad (1)$$

$\hat{Z}$ مقدار برآوردی متغیر در نقطه فاقد اندازه‌گیری با مختصات معلوم، W_i وزن نقطه i ام مشاهده‌ای، Z_i مقدار مشاهده شده متغیر در نقطه i (با مختصات معلوم) و n تعداد نقاط مشاهده‌ای می‌باشد.

تقسیم‌بندی‌های متعددی برای روش‌های درون‌یابی وجود دارد مانند روش سراسری[۱] در برابر روش‌های محلی[۲]. در روش‌های سراسری کلیه نقاط مشاهده‌ای در محاسبات نقطه مجهول دخالت داده می‌شوند مانند روش سطح روند[۳]. در حالیکه در روش‌های محلی فقط از نقاط مشاهده‌ای موجود در یک محدوده استفاده می‌کنند. نوع دیگر تقسیم‌بندی روش‌های درون‌یابی، تقسیم‌بندی به روش‌های دقیق[۴] و تقریبی[۵] می‌باشد. در روش‌های دقیق سطح درونیابی شده از نقاط مشاهده‌ای عبور می‌کند مانند روش عکس فاصله وزنی[۶]. در روش‌های تقریبی مقداری عدم قطعیت برای داده‌ها در نظر گرفته می‌شود و لذا سطح درون‌یابی ممکن است از نقاط مشاهده‌ای عبور نکند مانند روش سطح روند. در دیدگاه دیگر نیز، روش‌ها به دو دسته تدریجی[۷] و ناگهانی[۸] تقسیم‌بندی می‌شوند. نوع دیگر تقسیم‌بندی روش‌های قطعی[۹] و تصادفی[۱۰] می‌باشند.

1 Global
2 Local
3 Trend Surface
4 Exact
5 Approximate
6 Inverse Distance Weighting (IDW)
7 Gradual
8 Abrupt
9 Deterministic

تفاوت روش‌های مختلف درون‌یابی در نحوه محاسبه وزن‌ها می‌باشد. مقادیر مجهول بر این اصل استوار است که مقادیر معلوم که در اطراف و همسایگی نقطه فاقد اندازه‌گیری (مجهول) قرار دارند، همبستگی بیشتری با مقادیر متغیر در نقطه مجهول نسبت به نقاط دورتر دارند و لذا انتظار می‌رود وزن نقاط نزدیک‌تر بیشتر باشد. هدف این پژوهش، بررسی مدل‌های مختلف درون‌یابی در پهنه‌بندی مکانی بارش است.

۲-روش پژوهش

روش تحقیق در پژوهش حاضر تحلیلی توصیفی است. به منظور انجام این پژوهش به روش اسنادی به تهیه‌ی اطلاعات و تجزیه و تحلیل و تلفیق آنها اقدام شده است. در مرحله اسنادی به گردآوری اطلاعات، مطالعات، نشریات، اطلاعات از کتاب‌های تخصصی در مورد مدل‌های مختلف درون‌یابی در پهنه‌بندی مکانی بارش پرداخته شده است.

۳-بحث

به منظور انتخاب بهترین روش درون‌یابی لازم است مراحل زیر به ترتیب انجام شود(معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور، ۱۳۹۱).

۱) بررسی آمار توصیفی داده‌ها
۲) شناخت کلی و بررسی وضعیت پدیده مورد نظر
۳) بررسی همبستگی پارامتر موردنظر با عوامل محیطی
۴) انتخاب اولیه روش‌های درونیابی با توجه به فیزیک پدیده، تعداد نقاط مشاهده‌ای در دسترس، هدف، زمان اجرای روش و توجیه اقتصادی
۵) بررسی پراکنش داده‌ها از لحاظ تراکم
۶) بررسی توزیع فراوانی داده‌ها
۷) آنالیز نیم‌تغییرنما و بهینه‌سازی پارامترهای نیم تغییرنمای تجربی
۸) برازش مدل مناسب به نیم تغییرنمای تجربی
۹) ارزیابی نیم‌تغییرنمای متقابل بین بارندگی و متغیر کمکی و برازش مدل مناسب به آن
۱۰) ارزیابی متقاطع روش کریجینگ و کوکریجینگ و استخراج مقدار خطای هر روش
۱۱) بهینه‌سازی پارامترهای IDW با کمک روش ارزیابی متقاطع و استخراج مقدار خطای این روش با پارامترهای بهینه
۱۲) بهینه‌سازی پارامترهای روش‌های مختلف RBF با کمک روش ارزیابی متقاطع و انتخاب یک روش از بین روش‌های گروه
۱۳) مقایسه‌ی خطای هریک از روش‌ها و انتخاب اولیه روشی که دارای کمترین مقدار خطا باشد.
۱۴) مقایسه نمودار مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای هریک از روش‌ها به منظور تایید یا تغییر روش انتخابی
۱۵) رسم نقشه توزیع مکانی با استفاده از روش انتخابی
۱۶) بررسی مقادیر برآورد شده با توجه به وضعیت منطقه

بررسی آمار توصیفی داده‌ها شامل آمار توصیفی تک متغیره، آمار توصیفی دو متغیره و آمار توصیفی مکانی می‌شود. آمار توصیفی تک متغیره به بررسی هیستوگرام فراوانی، آماره‌ها (میانگین، میانه، مد، چندک‌ها، واریانس، انحراف معیار، ضریب تغییرات، ضریب چولگی و کشیدگی) و توزیع احتمال نرمال و لوگ نرمال می‌پردازد. در تشریح توزیع احتمال نرمال و لوگ نرمال می‌توان گفت که

10Stochastic

انتخاب یک مدل تئوری برای توزیع مقادیر داده‌ها معمولا یک گام مهم قبل از شروع فرآیند تخمین می‌باشد. توزیع گوسی یا نرمال یکی از اشکال توزیع است که می‌تواند با یک توصیف ریاضی دقیق بیان شود. فراوانی تجمعی توزیع نرمال به شکل یک خط راست در کاغذ نمودار احتمالی نرمال نشان داده می‌شود. در صورتیکه توزیع لگاریتم یک متغیر نرمال باشد، آن متغیر بصورت لوگ نرمال توزیع شده است. در تشریح آمار توصیفی دو متغیره می‌توان گفت که یکی از مهم‌ترین خصوصیات داده‌های علوم زمین ارتباط و وابستگی‌های موجود بین متغیرهای مختلف می‌باشد که می‌تواند در تخمین بهتر یکی از متغیرها در نقاط مجهول مفید باشد. روش‌های بیان ارتباط بین دو متغیر شامل مقایسه دو توزیع، دیاگرام‌های پراکنش و همبستگی متغیرها می‌باشد. پیوستگی مکانی، نمودار Scatter، نمودار H- scatter، توابع همبستگی، توابع کوواریانس و نیم تغییرنما در تشریح آمار توصیفی مکانی نقش مهمی ایفا می‌کنند. در تشریح پیوستگی مکانی می‌توان گفت که در بسیاری از داده‌های علوم زمین پیوستگی مکانی وجود دارد. مقدار نمونه‌هایی که در فاصله نزدیک‌تری به هم قرار دارند، نسبت به نمونه‌های دورتر شبیه‌ترند. Scatter یک نمودار دو بعدی است که رابطه‌ی بین دو متغیر را نشان می‌دهد. از این نمودار برای نشان دادن پراکندگی داده‌ها، مشاهده روابط بین متغیرها و ... استفاده می‌شود. یکی از اهداف نمودارهای scatter نشان دادن میزان ارتباط بین دو متغیر هست. هرچه نقاط بیشتری در امتداد یک خط مستقیم باشند، همبستگی دو متغیر بیشتر است. یک نمودار H-scatter تمام جفت نقاط ممکن از مقادیر داده‌ها که موقعیت آنها نسبت به یکدیگر در یک راستای مشخص دارای یک فاصله مکانی معین باشند را نشان می‌دهد. برای مثال به ازای h=(0,1) جفت نقاطی مورد نظر است که در مختصات طولی یکسان ولی در مختصات عرضی به اندازه یک متر فاصله دارند. h = (1,1) جفت داده‌هایی موردنظر است که در راستای شرقی یک متر و در راستای شمالی نیز یک متر از هم فاصله دارند (به عبارتی داده‌هایی که در راستای شمال شرقی از یکدیگر $\sqrt{۲}$ فاصله دارند). ابر نقاط در نمودار H-scatter معرف میزان پیوستگی مکانی مقادیر داده‌هایی است که در یک فاصله معین و در یک راستای مشخص از یکدیگر قرار گرفته‌اند. اگر مقادیر داده‌هایی که به اندازه h از یکدیگر فاصله دارند بسیار به هم شبیه باشند. آنگاه جفت نقاط نزدیک به خط ۴۵ درجه که از مبدا مختصات نمودار H-scatter عبور می‌کند، قرار می‌گیرند. زمانی که مقادیر داده‌ها شباهت کمتری نسبت به هم داشته باشند، آنگاه ابر نقاط در نمودار H-scatter پراکنده‌تر خواهد شد. ارتباط بین ضریب همبستگی نمودار H-scatter و h، تابع همبستگی یا کوریلوگرام[11] نامیده می‌شود. کوواریانس[12] شاخص دیگری برای بیان پیوستگی مکانی می‌باشد.تابع کوواریانس مانند ضریب همبستگی بصورت پیوسته با افزایش h کاهش پیدا میکند. رابطه بین کوواریانس حاصل از یک نمودار H-scatter با h تحت عنوان تابع کوواریانس خوانده می‌شود. یک شاخص مناسب دیگر برای بیان بزرگی ابر نقاط در نمودار H-scatter گشتاور اینرسی (MOI) حول خط ۴۵ درجه است که با رابطه (۲) بیان می‌شود.

$$MOI = \frac{۱}{۲n} \sum_{i=۱}^{n} (x_i - y_i)^۲ \qquad (۲)$$

11 Correlogram
12 Covariance

که در آن n تعداد جفت نقاط و x_i و y_i مختصات هریک از جفت نقاط بر روی H-scatter می‌باشد. ارتباط بین گشتاور اینرسی نمودار H-scatter و h موسوم به نیم‌تغییرنما[۱۳] است.

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (۳)$$

در رابطه (۳) $\hat{\gamma}(h)$، تغییرنمای تجربی و N(h)، تعداد زوج نقاطی است که به فاصله h از هم قرار گرفته‌اند. $Z(x_i)$ و $Z(x_i+ h)$ به ترتیب مقادیر مشاهده شده متغیر در نقاط x_i و $x_i +h$ می‌باشند. پس از محاسبه نیم‌تغییرنمای تجربی بهترین مدل تئوری برای استفاده در سیستم معادلات کریجینگ بر آنها برازش می‌شود. پارامترهای نیم‌تغییرنما به صورت زیر تعریف می‌شوند.

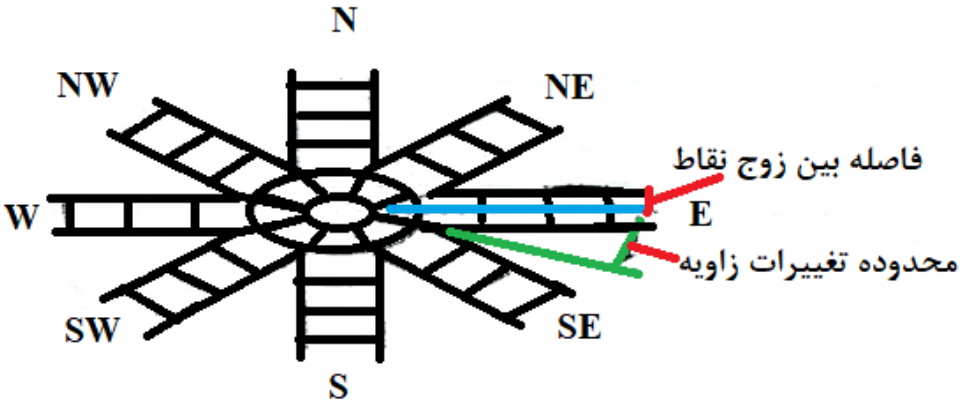
۱) **دامنه تاثیر:** فاصله‌ای را که در آن نیم‌تغییرنما به حد ثابتی می‌رسد و به خط افق نزدیک می‌شود، مقدار h در محل وقوع آستانه نیم تغییرنما را دامنه تأثیر[۱۴] می‌گویند. آگاهی از شعاع تأثیر در طراحی شبکه‌های پایش و شبکه‌های نمونه‌برداری بسیار مفید می‌باشد، زیرا با علم به این موضوع می‌توان فواصل بهینه نمونه‌گیری جدید را تعیین نمود و نمونه‌برداری را در فاصله‌ای انجام داد که نمونه‌ها بر هم تأثیر داشته باشند.

۲) **آستانه:** به مقدار ثابتی که نیم‌تغییرنما در دامنه تأثیر خود به آن می‌رسد، آستانه یا سقف[۱۵] گفته می‌شود. وقوع آستانه نشان‌دهنده این است که دیگر هیچ رابطه همبستگی بین داده‌ها وجود ندارد. بعضی از نیم‌تغییرنماها در محدوده‌ی فواصل موردنظر (نمونه‌برداری شده) تمایلی به نزدیک شدن به حد ثابتی را از خود نشان نمی‌دهند و با افزایش فاصله در محدوده موردمطالعه همواره افزایش می‌یابند. این‌گونه نیم‌تغییرنماها می‌توانند حاکی از وجود روند[۱۶] و یا عدم ایستایی داده‌ها در محدوده‌ی مورد مطالعه باشد و از این‌رو ممکن است برای تخمین زمین‌آماری مناسب نباشند. لذا در زمین‌آمار نیم‌تغییرنماهایی که به آستانه مشخصی می‌رسند اهمیت بیش‌تری دارند (حسنی‌پاک، ۱۳۷۷).

۳) **اثر قطعه‌ای:** ازنظر تئوری مقدار نیم‌تغییرنما در مبدأ مختصات، یعنی به ازاء h=0 را اثر قطعه‌ای (C_0)[۱۷] گویند. نیم‌تغییرنما را می‌توان در راستاهای مختلف ترسیم کرد. درروش کریجینگ ابتدا پیوستگی مکانی در راستاهای اصلی: شمالی- جنوبی، شرقی- غربی، شمال‌شرقی- جنوب‌غربی و شمال‌غربی- جنوب‌شرقی که به ترتیب در زاویه‌های ۰،۹۰، ۴۵ و ۴۵ درجه نسبت به افق واقع شده‌اند، کنترل می‌شود(شکل ۱).

13 Semivariogram
14- Range of Influence
15- Sill
16- Trend
17- Nugget Effect

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۴، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، ص ۴۰-۲۴
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com



شکل ۱: راستاهای اصلی در نیم‌تغییرنما

برای ترسیم تغییرنما باید در ابتدا مقادیر تغییرنما را بر اساس مقادیر مختلف h (طول گام) محاسبه کرده، سپس مقادیر به‌دست‌آمده به ازای فواصل مختلف h در یک نمودار رسم گردد. لازم به ذکر است که با افزایش فاصله h تعداد زوج نقاط شرکت‌کننده برای ترسیم تغییرنما کاهش پیدا می‌کند که درنتیجه باعث کاهش اعتبار تغییرنما می‌شود (نخعی، ۱۳۸۷).

۴)**ناهمسانگردی هندسی:** اگر نیم تغییرنماهای رسم شده برای یک متغیر مکانی در یک محیط خاص در جهات مختلف دارای آستانه یکسان ولی دامنه تاثیر متفاوت باشند، برای آن متغیر مکانی در آن محیط، ناهمسانگردی هندسی موجود می باشد. آنچه باعث بروز این تغییرات می شود، ناهمسانگردی هایی است که در جهات مختلف وجود دارد.

۵) **ناهمسانگردی منطقه ای:** این ناهمسانگردی در حالتی که سقف نیم تغییر نما در جهات مختلف متفاوت باشد ظاهر می‌شود.

۱-۳-روش‌های زمین آماری

در استفاده از روش‌های زمین‌آماری برای هر نوع تخمینی، ابتدا نیاز به محاسبه نیم تغییرنما می‌باشد. رسم نیم تغییرنما نیز مستلزم تعیین نوع توزیع داده‌ها و نرمال کردن آنها می‌باشد. مرحله بعد برای رسم نیم تغییرنما مستلزم بررسی همسانگردی داده‌ها می‌باشد. در واقع با مشخص کردن مدل نیم تغییرنمای مناسب برای داده‌ها و تعیین شاخص‌های آنها، ارتباط مکانی داده‌ها با هم و نحوه‌ی اختصاص عامل وزنی به آنها تعیین گردیده است و به فرمول‌های ریاضی مربوطه تبدیل شده و سپس عملیات تخمین انجام می‌شود. قبل از اینکه نیم تغییرنمای تجربی در تخمین بکار رود، لازم است که مناسب‌ترین مدل تئوری به آن برازش داده شود و سپس آن را در فرآیند تخمین بکار برد. در این راستا تعداد محدودی مدل تئوری شناخته شده است که می‌توان آنها را در دو گروه فاقد آستانه و حاوی آستانه تقسیم‌بندی کرد. گروه‌های فاقد آستانه شامل مدل خطی، مدل سهمی و مدل دویسن می‌باشند که در صورت وجود روند و یا عدم ایستایی در داده‌ها پدیدار می‌شوند. گروه‌های حاوی آستانه عبارتند از مدل کروی، مدل نمایی و مدل گوسی اشاره کرد. انتخاب هر یک از مدل‌های تئوریک نیم تغییرنما بستگی به حرکت نیم تغییرنما در نزدیکی مبدا دارد. اگر پدیده مورد کاملا پیوسته باشد، نیم تغییر نمای تجربی دارای حرکتی سهمی گونه در نزدیکی مبدا خواهد بود. در چنین شرایطی معمولا مدل گوسی مناسب است. اگر نیم تغییرنمای تجربی در نزدیکی مبدا حرکت خطی داشته باشد، هم مدل کروی و هم مدل نمایی مناسب خواهد بود.

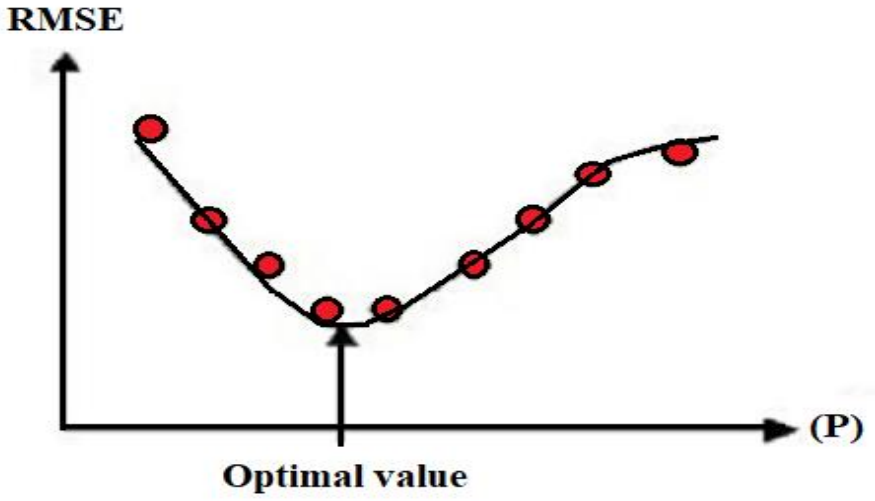
فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۴، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، ص ۴۰-۲۴
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

۱-۱-۳- روش وزن‌دهی عکس فاصله (IDW)

در این روش نیازی به نعیین الگوی تغییرات مکانی یعنی تغییرنما نیست. روش معکوس فاصله یک روش وزن‌دهی متوسط بوده که در آن داده‌ها از طریق رابطه انحراف معیار یک نقطه از سایر نقاط با استفاده از گره‌های شبکه‌بندی شده، وزن‌دهی می‌شوند (تقی‌زاده مهرجردی و همکاران، ۱۳۸۷). در این روش وزن‌ها تنها با توجه به فاصله هر نقطه معلوم نسبت به نقطه مجهول و بدون توجه به نحوه پراکندگی نقاط حول نقطه مورد تخمین، تعیین می‌شوند. این روش بر این فرض استوار است که تاثیر پدیده موردنظر با افزایش مسافت کاهش می‌یابد. در این روش از فاصله به عنوان وزن متغیر معلوم در پیش‌بینی نقاط اندازه‌گیری نشده استفاده می‌شود. به بیان دیگر فرض می‌شود که نقش متغیر پیوسته در تاثیرگذاری با فاصله از مکان نقطه مجهول کاهش می‌یابد. از طرف دیگر تاثیر شدت وابستگی مکانی در داده‌ها را با استفاده از توان در معکوس فاصله می‌توان اعمال کرد (شکل ۲). یعنی با انتخاب یک توان بزرگ‌تر، نقاط نمونه‌برداری نزدیک‌تر با وزن خیلی بیشتری نسبت به نقاط دورتر در برآورد مقدار ارزش سلول‌های خروجی تاثیر خواهد داشت. یکی دیگر از مشخصه‌های روش IDW تعیین شعاع جستجو است. به کمک شعاع جستجو می‌توان تعداد نقاطی که از آنها در محاسبات درون‌یابی استفاده می‌شود را کنترل نمود. شعاع جستجو براساس واحد نقشه تعیین و در دو حالت ثابت و متغیر تعریف می‌شود. درون‌یابی در این شیوه به این ترتیب برآورد می‌شود که محدوده‌ی مورد نظر تبدیل به ماتریسی با سلول‌های هم‌اندازه می‌شود. سلول‌هایی که ارزش آن نامعلوم است، سپس با استفاده از سلول‌های اطراف در یک شعاع مشخص براساس فرمول (۴) برآورد می‌شود(امینی و همکاران، ۱۳۹۷) .

$$\hat{Z} = \sum_{i=1}^{n} W_i Z_i \qquad (۴)$$

$\hat{Z}$ مقدار برآوردی متغیر در نقطه فاقد اندازه‌گیری با مختصات معلوم، W_i وزن نقطه i ام مشاهده‌ای، Z_i مقدار مشاهده شده متغیر در نقطه i (با مختصات معلوم) و n تعداد نقاط مشاهده‌ای می‌باشد. W_i تابعی از فاصله‌ی بین نقاط می‌باشد، یا به عبارتی هرچه فاصله کمتر باشد تاثیر نقطه مجهول بیشتر است. لذا مربع معکوس فواصل بین آنها به عنوان وزن در مدل بکار می‌رود.



شکل ۲-رابطه‌ی توان و میزان RMSE در مدل IDW

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۴، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، ص ۴۰-۲۴
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

۲-۱-۳- روش کریجینگ (KRIGING)

مهم‌ترین تخمین‌گر آمار فضایی به افتخار یکی از پیشگامان علم زمین آمار به نام دی جی کریگ[۱۸] که یک مهندس معدن آفریقای‌جنوبی بود، بنام کریجینگ نامگذاری شده است. کریجینگ تخمینگری ناااریب با کمترین مقدار واریانس تخمین است. شرط ناااریب بودن در سایر روش‌های تخمین نظیر روش چند ضلعی و عکس مجذور فاصله نیز اعمال می‌شود ولی ویژگی کریجینگ در آن است که در عین ناااریب بودن، واریانس تخمین نیز حداقل می‌باشد. بنابراین کریجینگ همراه هر تخمین مقدار خطای آن را نیز می‌دهد که با استفاده از این ویژگی منحصر به فرد کریجینگ می‌توان قسمت‌هایی که در آنجا خطا بالاست و برای کاهش آن به داده‌های بیشتری نیاز است را مشخص کرد (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۳). این مدل بر منطق ((میانگین متحرک وزنی)) استوار است و به صورت رابطه (۵) تعریف می‌شود:

$$\hat{Z} = \sum_{i=1}^{n} W_i Z_i \qquad (۵)$$

$\hat{Z}$ مقدار برآوردی متغیر در نقطه فاقد اندازه‌گیری با مختصات معلوم، W_i وزن نقطه i ام مشاهده‌ای، Z_i مقدار مشاهده شده متغیر در نقطه i (با مختصات معلوم) و n تعداد نقاط مشاهده‌ای می‌باشد. این نوع کریجینگ را کریجینگ خطی می‌نامند، زیرا ترکیب خطی از n داده است. در استفاده از این تخمینگر باید متغیر Z توزیع نرمال داشته باشد، در غیر اینصورت باید از کریجینگ غیرخطی استفاده نمود و یا با بهره‌گیری از از تبدیل‌های آماری، توزیع متغیر را نرمال نمود. در روش کریجینگ، هر نمونه معلوم در تخمین نقطه مجهول، بستگی کامل به ساختار فضایی محیط مربوطه دارد. در حالی‌که در روش‌های دیگر، وزن‌ها فقط به یک مشخصه هندسی مانند فاصله بستگی دارد و با تغییر ساختار فضایی نمونه‌ها تغییری نمی‌کند. با ضعیف شدن ساختار فضایی، نقش نمونه‌ها کمتر می‌شود تا آنجا که وزن تمام نمونه‌ها برابر خواهد شد. به عبارت دیگر، دامنه تاثیر متغیر معلوم بر متغیر مجهول به حداکثر و حداقل فاصله نمونه‌ها از هم بستگی دارد. لذا در استفاده از این روش باید به توزیع فضایی نمونه‌ها و دامنه تاثیر آنها توجه شود. گرچه این مدل از دقت بالایی برخوردار است، اما در اکثر تحلیل‌های جغرافیایی نتایجی دور از واقعیت می‌دهد (قهرودی تالی، ۱۳۸۱). در روش کریجینگ از واریوگرام‌ها و توابع کوواریانس (توابع کروی[۱۹]، دایره ای[۲۰]، نمایی[۲۱]، گاوس[۲۲]و خطی[۲۳]) برای برآورد همبستگی مکانی داده‌ها استفاده می‌کند.

۱-۲-۱-۳- کریجینگ معمولی

در این حالت مقدار میانگین مستقل از مختصات ولی مقدار آن مجهول است. این روش بیشتر در محل‌های خط‌الراس و خط‌القعر و در مواردی که تغییرات در دو طرف یک مکان متفاوت است به کار می‌رود. به عبارت دیگر زمانی از این روش استفاده می‌شود که مقدار میانگین ناشناخته باشد (سالاروند و همکاران، ۱۳۹۷). این مدل به صورت رابطه (۶) تعریف می‌شود.

18 D.G. Krig
19 Spherical
20 Circular
21 Exponential
22 Gaussian
23 Linear

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۴، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، ص ۴۰-۲۴
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

$$Z(i) = m(i) + \varepsilon(i) \quad (۶)$$

Z(i) متغیر برآورد شده، موقعیت مکانی و$\varepsilon(i)$ خطای همبستگی است.

۲-۲-۱-۳-کریجینگ ساده

در این روش علاوه‌بر فرض مستقل بودن میانگین مختصات و عدم روند فرض دیگر این است که مقدار میانگین جامعه مشخص است (فتحی زاده و همکاران، ۱۳۹۳).

۳-۱-۳- کوکریجینگ

روش کوکریجینگ یک حالت چند متغیره از کریجینگ است که براساس همبستگی موجود بین متغیر اصلی و سایر متغیرهای اندازه‌گیری شده که در اصطلاح متغیر کمکی نامیده می‌شوند، به تخمین متغیر مورد نظر می‌پردازد (فتحی هفشخانی و همکاران،۱۳۹۳). هنگامی که از متغیر اصلی به اندازه کافی داده موجود نباشد، اما داده‌های یک متغیر کمکی در منطقه موجود باشد، در صورتیکه اولا از این متغیر کمکی به تعداد زیاد در منطقه موجود باشد و ثانیا ضریب همبستگی آن با متغیر مورد نظر بیش از ۰,۵ باشد، می‌توان با استفاده از رابطه مکانی بین متغیر کمکی و اصلی در قالب روش کوکریجینگ دقت تخمین‌ها را افزایش داد. در مطالعات اقلیم‌شناسی از متغیر ارتفاع به عنوان متغیر کمکی استفاده می‌شود (Francisco,2010). تخمینگر کوکریجینگ هرگاه یک متغیر کمکی علاوه بر متغیر اصلی موجود باشد، مطابق رابطه (۷) محاسبه می‌شود (اربطانی و همکاران، ۱۳۸۸)

$$Z^*_v(u_o) = \sum_{i=1}^{n} [a_i Z_v(u_i) + \beta_i Z_w(u_i)] \quad (۷)$$

که در آن $Z^*_v(u_o)$، مقدار تخمین زده شده متغیر اصلی Z_v در موقعیت u_o، a_i وزن نسبت داده شده به مقدار مشاهده‌ای متغیر اصلی Z_v در موقعیت u_i، β_1 وزن نسبت داده شده به مقدار مشاهده شده متغیر کمکی Z_w در موقعیت u_i و n تعداد مشاهدات در اطراف نقطه مورد تخمین است. بنابراین یکی از بررسی‌های مقدماتی که قبل از درون‌یابی لازم است صورت گیرد، بررسی خصوصیات ذاتی متغیرها و نحوه‌ی عملکرد آنها در منطقه می‌باشد. تا کنون پژوهشگران زیادی کوشیده‌اند تا بر پایه مدل بارش – ارتفاع، توزیع مکانی بارش در حوضه‌ها را محاسبه کنند. این مطالعات از لحاظ تعداد سال‌های آماری، تعداد ایستگاه‌های مورد بررسی، پراکندگی جغرافیایی ایستگاه‌ها و دقت آماری محاسبات بسیار متفاوتند. در جدول (۱) نتیجه برخی از نتایج این مطالعات درج شده است.

جدول ۱: نتایج مطالعات مختلف در رابطه با توزیع مکانی بارش بر ۱ایه مدل بارش-ارتفاع

منبع	محل جغرافیایی	ضریب همبستگی	رابطه بارش – ارتفاع
مهندسین مشاور هامونیاد	ارتفاعات جنوب کرمان	۰/۸۹	P= 85.79 + 0.95 H ± 16.9
مهندسین مشاور هامونیاد	ارتفاعات جنوب غربی کرمان	۰/۷۶	P= 157.7 + 0.44 H ± 35.4

مهندسین مشاور هامونیاد	ارتفاعات مرکزی کرمان	۰/۵۹	P= 67.6 + 0.041 H ± 34
مهندسین مشاور هامونیاد	ارتفاعات شمال شرق کرمان	۰/۸۶	P= 1.7 + 0.06 H ± 24.4
حبیبی (۱۳۷۱)	ارتفاعات آبریز کارون و مارون در کهگیلویه و بویراحمد	۰/۸۸	P= 637.9 + 0.717 H
حبیبی	ارتفاعات آبریز زهره در کهگیلویه	۰/۹۷	P= 85.39 + 1.2 H
مسیبی	ارتفاعات آبریز گلپایگان	۰/۸۹	P= -132.38 + 0.202 H
نیک اندیش	شمال غرب کارون (منطقه چلگرد)	۰/۹۲	P= -1582.8 + 1.03 H
نیک اندیش	غرب کارون (منطقه لردگان)	۰/۷۵	P= 106.96 + 0.275 H
نیک اندیش	شرق کارون (منطقه شهرکرد)	۰/۷۲	P= -62.26 + 0.112 H
نیک اندیش	جنوب و جنوب شرق کارون (یاسوج)	۰/۸۸	P= -1314 + 1.19 H

مطالعات موحد دانش (۱۳۷۳) نشان می‌دهد اگر به جای ارتفاع مطلق در مدل‌های بارش – ارتفاع، میانگین وزنی ارتفاع حوضه به کار گرفته شود، نتیجه بسیار بهتری به دست می‌آید. عوامل گوناگونی سبب می‌شود تا از اعتبار روابط بارش سالانه و ارتفاع کاسته شود. برخی عوامل از دقت آماری این روابط می‌کاهند و برخی دیگر سبب می‌شوند که روابط بدست آمده به نواحی جغرافیایی کوچکی محدود شوند. این عوامل را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

۱)تراکم باران‌سنج‌ها در مناطق مرتفع کم است.

۲)وقوع بارش با منشاهای مختلف رابطه بارش – ارتفاع را پیچیده می‌سازد.

۳)تغییرات مکانی بارش در مناطق مرتفع شدید است.

۴)دقت اندازه‌گیری بارش در مناطق مرتفع کم است.

۵)شکل زمین در نواحی کوهستانی پیچیده است و رابطه بارش – ارتفاع تحت تاثیر عوامل موضعی مانند جهت دره‌ها قرار می‌گیرد.

۶)روابط بارش – ارتفاع به شدت موضعی است و به ویژه به جهت جریان توده‌های هوا بستگی دارد.

۷)در کوه‌های کم ارتفاع و گسسته رابطه بارش – ارتفاع نسبت به رشته کوه‌های پیوسته و بلند ضعیف‌تر است.

به واسطه دلایل فوق عدم قطعیت رابطه بارش – ارتفاع بسیار زیاد و نتایج مدل تقریبی می‌باشد.

۴-۱-۳-رگرسیون کریجینگ

در موقعیتی که در منطقه متغیر اصلی دارای روند باشد، می‌توان از روش رگرسیون - کریجینگ استفاده کرد. در این روش ابتدا با استفاده از یک رابطه رگرسیون خطی چندگانه، بین متغیر اصلی و متغیرهای کمکی طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌ها، روند موجود در داده‌ها محاسبه می‌شود و با کم کردن آن از مقادیر متغیر اصلی، جزء باقی مانده در هر ایستگاه بدست می آید. سپس باقی مانده‌ها را با روش کریجینگ درون‌یابی می‌کنند و مقادیر درون‌یابی شده‌ی خطاها در نقطه را به مقادیر برآورد شده از رابطه رگرسیونی اضافه می‌کنند که معادله نهایی آن بصورت رابطه (۸) است (Boer et all, 2001):

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۴، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، ص ۴۰-۲۴
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

$$\hat{f}(s_o) = \hat{a} + \hat{\beta}_1 x + y + \hat{\beta}_2 h + \sum_{i=1}^{n} w_i z^*(s_i) \quad (۸)$$

X، y و h به ترتیب طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع نقاط و پارامترهای معادله رگرسیونی $z^*(s_i)$ مقدار باقی مانده در نقطه s_i و مقدار متغیر مورد نظر در نقطه s_o است.

۳-۲- چند جمله‌ای عام

این روش (GPI) سطح پیوسته‌ای که به‌وسیله‌ی یک تابع ریاضی (چند جمله‌ای) تعریف شده است را به نقاط برازش می‌دهد. سطح چند جمله‌ای به‌تدریج تغییر می‌کند و بخش اعظمی از داده‌ها را در بر می‌گیرد (Johnston et al., 2001). روش‌های برازش جهانی، از تمام مشاهدات مربوط به ارزش مورد نظر استفاده می‌کنند و بر تحلیل سطح روند متکی می‌باشند (قهرودی‌تالی، ۱۳۸۴). مدل‌سازی سطوح روند، به مقیاس پدیده‌ها وابسته است. پدیده‌های بزرگ باید با سطوح روند درجه‌ی اول مدل‌سازی شوند.

۳-۳- چند جمله‌ای محلی

در این روش از توابع چندجمله‌ای برای میان‌یابی استفاده می‌شود؛ تعداد زیادی چندجمله‌ای بر داده‌های محدود در یک همسایگی معین برازش داده می‌شود. به‌طوری‌که حداقل مجذورات متناسب را بین نقاط شناسایی شده در محدوده بیضوی شکل، به‌عنوان وزن نقطه در نظر می‌گیرد. در این روش با بدست آوردن تابع درجه اول، دوم و یا سوم بین مقادیر متغیر در نقاط همسایگی میان‌یابی انجام می‌پذیرد (Ruppert, 1997). روش LPI شامل توابع نمایی (Exp)، گوسی (Gau)، سهمی ناپیوسته (Epa)، ثابت (Con)، چندجمله‌ای مرتبه چهارم (Qua) و چندجمله‌ای مرتبه پنجم (Poly) می‌باشد.

۳-۴- توابع پایه شعاعی

این روش از مجموعه تکنیک‌های دقیق میان‌یابی می‌باشد که سطح برازش شده ملزم به عبور از همه‌ی نقاط اندازه‌گیری شده، می‌باشد. مقادیر تخمین زده شده با این روش براساس توابع ریاضی است که با کاهش انحنای کلی سطح، نقشه‌های همواری را ایجاد می‌نماید (Zandi et al., 2011). این روش برای میان‌یابی داده‌های نویزداری که به‌طور نامنظم در یک منطقه پخش شده‌اند، استفاده می‌گردد و یک میان‌یابی چند متغیره‌ی هموار روی داده‌ها انجام می‌دهد. روش توابع شعاع محور، تابعی را می‌یابد که مشابه یک ورقه فلزی نازک است که به‌طور همواری خم شده است و مقید به گذشتن از تمامی داده‌ها می‌باشد. این روش نوعی از شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد. روش توابع پایه شعاعی شامل توابع اسپلاین کاملاً منظم (CRS)، اسپلاین کششی (SWT)، چندربعی (Mq)، عکس چندربعی (IMq) و اسپلاین صفحه نازک (TPS) می‌باشد. روش توابع پایه شعاعی هموارسازی بیش‌تری نسبت به روش IDW دارد. این روش، زمانی‌که تغییرات زیادی در یک فاصله‌ی افقی کوتاه وجود دارد و یا وقتی‌که داده‌های نمونه در معرض خطا هستند و یا عدم قطعیت در داده‌های نمونه وجود دارد؛ روش نامناسبی است (Johnston et al. 2001).

۳-۴-۱-روش اسپلاین

اسپلاین‌ها توابع غیرپارامتری با قابلیت ارتجاعی بالایی هستند و می‌توان آنها را یک تابع چند جمله‌ای تکه‌ای نامید. یعنی توابع پیچیده‌ای شامل قطعاتی از چند جمله‌ای‌ها با درجات مختلف بین هر دو نقطه از فضا که در محل اتصالات نرم شده‌اند. می‌توان گفت این روش نوع خاصی از روش کریجینگ عمومی[۲۴] است، با این تفاوت که برای محاسبه عامل‌های وزنی به جای آنالیز نیم تغییرنما به برآورد پارامتر هموارسازی نیاز دارد که با تغییر آن می‌توان بهترین مدل را بر داده‌ها برازش داد (Hutchinson,1994). در این روش ارزش محاسبه شده سلول‌ها در بین مقدار حداقل و حداکثر نقاط نمونه‌برداری شده ورودی قرار می‌گیرد و میزان

[24] Universal Kriging

خمیدگی و انحناء کلی سطح ایجاد شده کمتر بوده و برای برونیابی سطوحی بکار می‌رود که تغییرات ارزش‌های آن پارامتر در طبیعت به آرامی و تدریجی انجام شود.

۵-۳-مطالعات انجام شده در زمینه پهنه‌بندی مکانی بارش

روش‌های زمین آماری به دلیل در نظر گرفتن موقعیت و آرایش داده‌ها و همچنین همبستگی مکانی آنها معمولا دقت مناسبی را ارائه می‌کنند. اما بطور کلی داده‌های بارندگی در دسترس، غیرهمگن و یا دارای عدم قطعیت و اطمینان می‌باشند. ضمن آنکه پراکنش آنها نیز نامناسب می‌باشد و در بیشتر مناطق تعداد آنها کافی نمی‌باشد که باعث محدودیت در روش‌های زمین‌آماری می‌گردد. معمولا برای مقابله با این مشکل از داده‌های کارشناسی شده استفاده می‌گردد. این داده‌ها دارای درصدی خطا بوده و با داده‌های مشاهده‌ای هم ارزش نمی‌باشد. فازی کریجینگ در واقع اصلاح شده روش معمولی کریجینگ است. این روش از داده‌های اندازه‌گیری شده دقیق (داده‌های دارای درجه عضویت ۱) به همراه تخمین‌های غیردقیق، که به عنوان اعداد فازی معرفی شده‌اند، استفاده می‌کند (رحیمی و ثقفیان، ۱۳۸۶). امینی و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از آمار ۳۵۴ ایستگاه همدیدی اصلی و تکمیلی و فرودگاهی کشور در بازه زمانی تیر ۱۳۹۳ الی خرداد ۱۳۹۴ به پهنه‌بندی بارش با استفاده از روش‌های عکس مجذور فاصله، گرادیان به علاوه عکس مجذور فاصله، کریجینگ ساده، کریجینگ معمولی، کریجینگ جهانی، پهنه‌بندی بارش‌های میانگین ماهانه، فصلی و سالانه پرداختند. آنها نشان دادند روش گرادیان بعلاوه عکس مجذور فاصله نسبت به روش‌های دیگر از دقت بالاتری در برآورد بارش در نقاط مختلف کشور برخوردار است. همچنین روش عکس مجذور فاصله کمترین دقت را داشته است. در اندازه‌گیری بارش با مقادیر زیاد روش گرادیان بعلاوه عکس مجذور فاصله نسبت به سایر روش‌ها بهترین تخمین را داشته حال آنکه در مناطق یا فصول با بارش کم روش کریجینگ جهانی بهترین برآورد را داشته و بقیه روش‌ها تقریبا از یک میزان خطا برخوردار بوده‌اند. همچنین طبق نتایج پهنه‌بندی بارش تجمعی سالانه روی کشور نشان دادند بیشترین بارش روی مناطق شمالی، شمال‌غرب و سلسله جبال زاگرس بوده است. مهدوی و همکاران (۱۳۸۳) با استفاده از آمار ۲۲ ساله‌ی ایستگاه‌های باران‌سنجی در جنوب‌شرق ایران، سه روش کریجینگ (معمولی و کوکریجینگ) و (WMA) Weighted Moving Average و (TPSS) Thin Plate Smoothing Splines (با و بدون متغیرکمکی) برای برآورد بارش سالانه با یکدیگر مقایسه کردند. نتایج نشان داد روش TPSS با متغیر کمکی ارتفاع مناسب‌ترین روش تخمین بارندگی سالانه و روش کریجینگ و روش WMA با توان ۲ در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند. نادی و همکاران (۱۳۹۲) برای تعیین مهم‌ترین عامل‌های موثر بر رویش درختان ناحیه مرتفع چهارباغ گرگان به مقایسه‌ی تکنیک‌های مختلف پهنه‌بندی داده‌های اقلیمی پرداختند. آنها نشان دادند در بین روش‌های مختلف درون‌یابی، روش گرادیان خطی سه بعدی و روش هیبرید خطی و غیرخطی به ترتیب بهترین روش‌های درون‌یابی دما و بارندگی‌اند. شمس نیا و پیرمرادیان (۱۳۸۷) به ارزیابی روش‌های مختلف درونیابی در محیط GIS در پهنه‌بندی داده‌های بارندگی استان فارس پرداختند، نتایج نشان داد که در روش کریجینگ، درصد نسبی خطا در بیشتر موارد و میانگین خطاها کمتر از روش‌های IDW و Spline بوده و این روش درون‌یابی را با دقتی بالاتر انجام می‌دهد. نبی‌پور و وفا خواه (۱۳۹۵) به منظور مقایسه روش‌های مختلف زمین‌آمار برای برآورد بارندگی در حوزه آبخیز حاجی قوشان آمار بارندگی ۲۲ ایستگاه هواشناسی در داخل و اطراف حوضه با طول دوره آماری مشترک ۳۰ ساله انتخاب و از روش‌های کریجینگ ساده، کریجینگ معمولی، کوکریجینگ ساده، کوکریجینگ معمولی، کوکریجینگ معمولی استاندارد شده و میانگین متحرک وزنی به صورت عکس فاصله با توان یک تا پنج به منظور برآورد بارندگی ماهانه، سالانه و حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته استفاده کردند. نتایج حاصل نشان داد که برای بارش سالیانه در منطقه مورد مطالعه، روش کریجینگ معمولی با میانگین مطلق خطای برآورد ۳۴/۲۶ و برای بارش ماه‌های مختلف و همچنین بارش حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته، روش معکوس فاصله وزنی با توان پنج مناسب‌ترین روش و در رابطه با مدل واریوگرام، مدل گوسی برای تحلیل

داده‌های ماهانه و سالانه و حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته مناسب تشخیص داده شد. میر موسوی و همکاران (۱۳۸۹) به منظور تعیین بهترین روش زمین‌آمار از روش‌های کریجینگ ساده، معمولی و یونیورسال و توابع پایه شعاعی جهت تخمین پارامتر میانگین بارندگی سالانه استان اصفهان استفاده کردند. نتایج نشان داد برای درونیابی میانگین بارندگی سالانه، روش‌های کریجینگ معمولی، کریجینگ ساده، توابع پایه شعاعی و کریجینگ یونیورسال به ترتیب دقت‌های بالاتری را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهند. روش کریجینگ معمولی با مدل دایره‌ای مناسب‌ترین روش برای درون‌یابی مقادیر میانگین بارندگی سالانه از خود نشان می‌دهد. فاطمی‌قیری و یزدان‌پناه (۱۳۹۱) به ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی به منظور تهیه نقشه‌های همبارش استان اصفهان پرداختند. آنها از داده‌های نرمال بارش سالانه جهت مقایسه روش‌های Kriging، Spline، IDW، روش‌های رگرسیونی بارش – ارتفاع، بارش – ارتفاع – طول جغرفیایی و بارش – طول جغرافیایی و تعیین بهترین روش در تهیه نقشه همبارش سالانه استفاده شد. شاخص تعیین بهترین روش RMSE بود. نتایج نشان داد که روش بارش – ارتفاع – طول جغرافیایی دارای کمترین خطا و روش کریجینگ بیشترین خطا است. عیوضی و مساعدی (۱۳۹۱) به منظور بررسی الگوی گسترش مکانی بارش در سطح استان گلستان از داده‌های بارندگی ۳۲ ایستگاه باران‌سنجی با طول دوره آماری ۲۶ سال در سطح استان گلستان استفاده کردند. سپس به منظور تعیین بهترین الگوی توزیع مکانی بارش سالانه در سطح این استان از روش‌های درونیابی، فاصله وزنی معکوس (IDW)، چند جمله‌ای جهانی (GPI)، چند جمله‌ای محلی (LPI)، تابع پایه شعاعی (RBF)، کریجینگ (Kriging) و کوکریجینگ (Co – Kriging) استفاده کردند. نتایج نشان داد که روش زمین آمار کریجینگ و کوکریجینگ با مدل بیضوی و با میزان خطای ۶۰/۲۹ و ۶۴/۴۶ نسبت به روش‌های قطعی برتر بوده است. همچنین در بین روش‌های قطعی دو روش RBF و IDW با میزان خطای ۶۶/۸۶ و ۷۷/۲ نتایج نسبتا دقیق‌تری را در مقایسه با دو روش GPI و LPI داشته‌اند. فرجی سبکبار و عزیزی (۱۳۸۵) با استفاده از روش‌های تین، معکوس وزنی فاصله، اسپلاین و انواع کریجینگ به درونیابی داده‌های بارندگی حوضه آبریز کشف رود پرداختند. براساس نتایج حاصله روش‌های تین و کریجینگ نتیجه درونیابی بهتری در بر داشته‌اند. میثاقی و محمدی (۱۳۸۵) با استفاده از روش‌های آمار کلاسیک و زمین‌آمار، پهنه‌بندی بارندگی در حوضه آبریز مارون را انجام داده تا بتوان خطوط همباران را استخراج کرده. سپس از شبکه‌های عصبی مصنوعی به عنوان یک درونیاب مستقل استفاده شده و نتایج حاصل از الگوریتم و مدل‌های مذکور را با هم مقایسه کردند. نتایج نشان دهنده‌ی برتری روش‌های زمین‌آماری و تخمین‌گرهای کریجینگ و کوکریجینگ بود. مظفری و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از آمار بارندگی سال های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۷ ، ۵۷ ایستگاه باران‌سنجی استان بوشهر، سه روش کریجینگ ساده و معمولی و رگرسیون خطی بر پایه مدل ارتفاعی رقومی زمین را مورد ارزیابی قرار دادند. آنها نشان دادند مناسب‌ترین روش جهت میان‌یابی بارش سالانه در استان بوشهر، روش رگرسیون با تابع چند جمله‌ای درجه چهارم می‌باشد. مرادی و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از آمار ۹۷ ایستگاه در سطح استان ایلام به مقایسه روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ و IDW در تهیه نقشه هم بارش پرداختند. طبق نتایج حاصل از ارزیابی، روش کریجینگ با کمترین ریشه میانگین مربعات خطا و بالاترین ضریب تبیین، به ترتیب به میزان ۹۳/۹ و ۰/۴۱۴ به عنوان دقیق‌ترین روش انتخاب شد. مهرشاهی و خسروی (۱۳۸۹) روش‌های کریجینگ ساده و معمولی و رگرسیون خطی بر پایه مدل ارتفاعی رقومی زمین را برای برآورد بارش سالانه، با استفاده از آمار بیست ساله (۲۰۰۵-۱۹۸۶) داده‌های بارش در ۲۳ ایستگاه باران‌سنجی در سطح استان اصفهان ارزیابی کردند. آنها نشان دادند تابع رگرسیونی کسینوسی برای میانیابی بارش در سطح استان اصفهان مناسب است. ذبیحی و همکاران (۱۳۹۰) به منظور تعیین توزیع مکانی بارش سالانه حوضه‌آبخیز قم به مقایسه روش‌های زمین آماری پرداختند. آنها نشان دادند که تغییرات بارندگی سالانه بیشتر از مدل گوسی تبعیت می‌کند. در محدوده مورد مطالعه، روش کریجینگ با MAE برابر ۳۰/۲۲ میلی‌متر، مناسب‌ترین روش

تخمین بارندگی سالانه است و روش عکس فاصله با توان یک با MAE برابر ۳۲/۲۳ میلی‌متر و عکس فاصله با توان دو با MAE برابر ۳۳/۵۵ میلی‌متر و عکس فاصله با توان سه با MAE برابر ۳۵/۱ در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند.

۴-نتیجه‌گیری

امروزه مدل‌سازی مکانی متغیرهای اقلیمی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است زیرا اکثر متغیرهای محلی به اقلیم وابسته‌اند. از میان متغیرهای اقلیمی، اطلاعات مربوط به بارش در زمینه مدیریت منابع طبیعی، کشاورزی، برنامه‌ریزی آبیاری، مدل‌سازی اکوسیستم‌ها و مدل‌سازی هیدرولوژی کاربرد گسترده‌ای دارد. تفاوت‌های مکانی بارش در ایران بسیار زیاد است. این تفاوت‌ها از یکسو به طبیعت رفتار مکانی بارش باز می‌گردد که اساسا متغیر سرکش است و تغییرات مکانی شدیدی از خود نشان می‌دهد. از سوی دیگر تنوع منشا بارش در نقاط مختلف ایران سبب شده است تا در هر منطقه ریزش‌های جوی و زمان بارش متفاوت باشد. داده‌های مربوط به بارندگی در هر منطقه نقشی اساسی در بررسی مسائل آب‌شناسی و مطالعات منابع آبی دارند. در این میان مساله بررسی پراکنش مکانی بارش‌ها بایستی مورد مطالعه قرار گیرد. همچنین یکی از مسائل مهم در مطالعات هیدرولوژی و بخصوص مدیریت منابع آب، برآورد توزیع بارندگی در مناطقی است که مقادیر بارندگی اندازه‌گیری نشده است. به دلیل عدم پوشش کامل ایستگاه‌های اندازه‌گیری باران، تخمین بارش در مناطق میان ایستگاه‌ها ضروری است. تخمین داده‌های نامعلوم در نقاط مختلف با استفاده از روش‌های درون‌یابی بر روی داده‌های اندازه‌گیری شده در محدوده مورد مطالعه انجام می‌گیرد. روش‌های درون‌یابی متنوعی وجود دارند که به کمک آنها می‌توان خطوط هم باران را استخراج کرد اما به دلیل ناکافی بودن آمار و داده‌های موجود و دقت پایین اندازه‌گیری‌ها، تخمین حاصله در برخی روش‌ها چندان رضایت بخش نیست. روش‌های زمین‌آمار از جمله روش‌های تعیین توزیع مکانی بارش است که با توجه به در نظر گرفتن همبستگی، موقعیت و آرایش مکانی داده‌های نقطه‌ای، کاربرد گسترده‌ای یافته‌اند. هرچند که روش‌های متفاوتی برای تحلیل داده‌های مکانی وجود دارد ولی فقط انتخاب و بکارگیری روش درون‌یابی مناسب می‌تواند منجر به تولید نقشه‌هایی دقیق و صحیح گردد. در نهایت باید اذعان کرد که روش‌های درون‌یابی بسته به نوع متغیر و همچنین ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه، تراکم نقاط اندازه‌گیری و نحوه آرایش آنها دقت متفاوتی را ارائه می‌کنند و نمی‌توان نتایج یک منطقه را براحتی به منطقه‌ای دیگر تعمیم داد.

منابع

- امینی، محمد؛ هدایتی دزفولی، اکرم؛ آزادی، مجید. (۱۳۹۷). مقایسه پهنه‌بندی بارش بر روی ایران با استفاده از روش‌های مختلف درون‌یابی در یک حالت موردی، مجله علمی و ترویجی نیوار، ۴۲ (۱۰۱-۱۰۰)، ۷۴-۶۷.
- تقی‌زاده مهرجردی، روح الله؛ زارعیان جهرمی، مجتبی؛ محمودی، شهلا؛ حیدری، احمد؛ سرمدیان، فریدون. (۱۳۸۷). بررسی روش‌های درون‌یابی مکانی جهت تعیین تغییرات مکانی ویژگی‌های کیفی آب‌های‌زیرزمینی دشت رفسنجان، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۲(۵)، ۷۰-۶۳.
- حبیبی اربطانی، وحید؛ احمدی، عباس؛ فتاحی، محمد مهدی. (۱۳۸۸). مدل‌سازی تغییرات مکانی برخی از ویژگی‌های شیمیایی آب‌های زیرزمینی به کمک روش‌های زمین‌آماری، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۳(۷)، ۳۴-۲۳.
- حسنی پاک، علی اصغر. (۱۳۷۷). زمین‌آمار، انتشارات دانشگاه تهران.

- ذبیحی، علیرضا؛ سلیمانی، کریم؛ شعبانی، مرتضی. (۱۳۹۰). بررسی توزیع مکانی بارش سالانه با استفاده از روش‌های زمین‌آماری (مطالعه موردی: استان قم)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۳ (۷۸)، ۱۱۲-۱۰۲.
- رحیمی بندرآبادی، سیما؛ ثقفیان، بهرام. (۱۳۸۶). برآورد توزیع مکانی بارندگی با کمک تئوری مجموعه‌های فازی، مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۳ (۲)، ۳۸-۲۶.
- سالاروند، جواد؛ قاسمی آقباش، فرهاد؛ اسداللهی، زهرا. (۱۳۹۷). تهیه نقشه فرسایندگی باران استان لرستان با استفاده از روش زمین‌آماری کریجینگ، نشریه پژوهش‌های اقلیم شناسی، ۹ (۳۶)، ۷۲-۵۷.
- شمس‌نیا، سید امیر؛ پیرمرادیان، نادر. (۱۳۸۷). ارزیابی شبیه‌های درون‌یابی محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) در پهنه‌بندی داده‌های بارندگی استان فارس، مجله مهندسی آب، ۱ (۱)، ۵۸-۳۵.
- عیوضی، معصومه؛ مساعدی، ابوالفضل. (۱۳۹۱). بررسی الگوی گسترش مکانی بارش در سطح استان گلستان با استفاده از مدل‌های قطعی و زمین آماری، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۶ (۱)، ۶۴-۵۳.
- فاطمی قیری، سارا؛ یزدان‌پناه، حجت الله. (۱۳۹۱). ارزیابی روش‌های مختلف میان‌یابی به منظور برآورد داده‌های بارش استان اصفهان، فصلنامه علمی – پژوهشی فضای جغرافیایی، ۱۲ (۴۰)، ۶۳-۴۶.
- فتحی زاد، حسن؛ کریمی، حاجی؛ تازه، مهدی. (۱۳۹۳). بررسی الگوریتم‌های مختلف زمین آماری جهت پهنه‌بندی بارش سالیانه استان ایلام، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۴ (۳۵)، ۱۵۴-۱۳۹.
- فرجی سبکبار، حسنعلی؛ عزیزی، قاسم. (۱۳۸۶). ارزیابی میزان دقت روش‌های درون‌یابی فضایی (مطالعه موردی: الگوسازی بارندگی حوزه کارده مشهد)، پژوهش‌های جغرافیایی، ۳۸ (۶)، ۱۵-۱.
- قهرودی تالی، منیژه. (۱۳۸۱). ارزیابی درون‌یابی به روش کریجینگ، پژوهش‌های جغرافیایی، ۱ (۴۳)، ۹۵-۱۰۸.
- قهرودی‌تالی، منیژه. (۱۳۸۴). سیستم اطلاعات جغرافیایی در محیط سه‌بعدی. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد تربیت‌معلم.
- مرادی، حمیدرضا؛ شریفی مقدم، احسان؛ امیدی پور، رضا. (۱۳۹۲). مقایسه روش‌های مختلف زمین‌آمار در تهیه نقشه هم‌بارش در استان ایلام، فصلنامه علمی پژوهشی اکوسیستم‌های طبیعی ایران، ۴ (۲)، ۹۷-۸۷.
- مظفری، غلامعلی؛ میرموسوی، سید حسین؛ خسروی، یونس. (۱۳۹۱). ارزیابی روش‌های زمین‌آمار و رگرسیون خطی در تعیین توزیع مکانی بارش، جغرافیا و توسعه، ۱۰ (۲۷)، ۷۶-۶۳.
- معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور. (۱۳۹۱). راهنمای روش‌های توزیع مکانی عوامل اقلیمی با استفاده از داده‌های نقطه‌ای، نشریه شماره ۵۸۵.
- مهدوی، محمد؛ حسینی‌چگینی، ابراهیم؛ مهدیان، محمد حسین؛ رحیمی‌بندرآبادی، سیما. (۱۳۸۳). مقایسه روش‌های زمین‌آمار در برآورد توزیع مکانی بارش سالانه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جنوب شرقی ایران، مجله منابع طبیعی ایران، ۵۷ (۲)، ۲۲۴-۲۱۱.

- مهرشاهی، داریوش؛ خسروی، یونس. (۱۳۸۹). ارزیابی روش‌های میان‌یابی کریجینگ و رگرسیون خطی بر پایه مدل ارتفاعی رقومی جهت تعیین توزیع مکانی بارش سالانه (مطالعه موردی استان اصفهان). مدرس علوم انسانی – برنامه‌ریزی و آمایش فضا، ۱۴ (۴)، ۲۳۳-۲۴۹.
- میثاقی، فرهاد؛ محمدی، کوروش. (۱۳۸۵). پهنه‌بندی اطلاعات بارندگی با استفاده از روش‌های آمار کلاسیک و زمین‌آمار و مقایسه با شبکه‌های عصب مصنوعی. مجله علمی کشاورزی، ۲۹ (۴)، ۱۳-۱.
- میرموسوی، سید حسین؛ مزیدی، احمد؛ خسروی، یونس. (۱۳۸۹). تعیین بهترین روش زمین‌آمار جهت تخمین توزیع بارندگی با استفاده از GIS، مجله علمی – پژوهشی فضای جغرافیایی، ۱۰ (۳۰)، ۱۲۰-۱۰۵.
- نبی‌پور، یوسف؛ وفاخواه، مهدی. (۱۳۹۵). مقایسه روش‌های مختلف زمین‌آمار برای برآورد بارندگی در حوزه آبخیز حاجی قوشان، مجله منابع طبیعی ایران، ۶۹ (۲)، ۵۰۲-۴۸۷.
- نخعی، محمد. (۱۳۸۷). مقدمه‌ای بر زمین‌آمار. انتشارات کتاب آراد.
- Boer E. Beurs D, Kirsten M. Hartkamp A. Kriging and thin plate splines for mapping climate variables. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2001, 3(2): 146-154.
- Francisco JM. Comparison of different geostatistical approaches to map climate variables: application to precipitation. International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society, 2010, 30 (4): 620-631.
- Hutchinson MF. Gessler PE. Splines—more than just a smooth interpolator. Geoderma, 1994, 62.1-3: 45-67.
- Johnston K. Ver Hoef JM. Krivoruchko K. Lucas N. Using ArcGIS geostatistical analyst. Redlands: Esri, 2001, 380.
- Ruppert D. Local polynomial regression and its applications in environmental statistics. Cornell University Operations Research and Industrial Engineering, 1997, 3: 155-173.
- Zandi S. Ghobakhlou A. Sallis P. A comparison of spatial interpolation methods for mapping soil pH by depths. Geo-informatics Research Centre, Auckland University of Technology New Zealand, 2011.

فصلنامه علمی تخصصی ایده های نو در علوم، مهندسی و فناوری ، دوره ۴، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، ص ۴۰-۲۴
ISSN: 2588-3984
http://www.Tajournals.com

Investigation of Different Interpolation Models in Rainfall Spatial Zoning

Saeide Mousavikhah[1], Hasan Noori[2], Hedieh Ahmadpari[3*]
1-M.Sc. Graduate of Hydrology and Water Resources, Shahid Chamran University of Ahvaz
2-M.Sc. Graduate of Water Resources Engineering, University of Zabol
3-M.Sc. Graduate of Irrigation and Drainage, College of Aburaihan, University of Tehran
Corresponding Author: Hedieh Ahmadpari, h.ahmadpari@gmail.com

Abstract
In the first stage, each land ensures the sustainability and survival of its inhabitants by virtue of its natural abilities and gifts, and knowing and planning in the field doubles its environmental sustainability. Understanding the trend of annual rainfall changes is a good pattern for planning in various matters, especially in agriculture and sustainable development of the environment, by recognizing it, it can be used for optimal use of available water or necessary predictions in order to deal with the lack of rainfall or use it. Analysis of rainfall data is of particular importance in the study of water resources issues. For this reason, researchers have always focused on methods that can be used to generate rainfall data using data from existing rain gauge stations in places without rain gauge stations. Significant changes in rainfall in time and place, on the one hand, and the lack of rain gauge stations in recording rainfall, on the other hand, make the necessity of explaining rainfall estimation models inevitable. According to studies, since there are several interpolation methods, it will be difficult to determine the best interpolation method and the selection of the best method and preparation of rainfall zoning maps depends on the geographical conditions of the region and should be checked separately for each region. Because selecting and applying the appropriate interpolation method can lead to the production of excellent and more accurate maps.

Keywords: Rainfall, Estimation models of rainfall, Interpolation methods, Zoning maps