بررسی توزیع مکانی بارندگی با روشهای میان یابی قطعی و زمین آماری (مطالعه موردی: استان اصفهان)

حسین شیرازی[1]، حسین اسلامی[2]

۱-گروه علوم آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران

۲-گروه علوم آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران ، eslamyho@gmail.com

تاریخ دریافت:۱۳۹۷/۰۵/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۲۹

چکیده

تغییرات مکانی بارندگی بدلیل تفاوت و تغییرات آب و هوایی بوده و برای تهیه نقشه های تغییرات مکانی و برآورد متوسط منطقه ای نیاز به میان یابی مقدار بارندگی بین ایستگاهها است. در تحقیق حاضر روشهای میان یابی زمین آماری و قطعی برای تهیه نقشه توزیع مکانی بارندگی متوسط سالانه استان اصفهان بررسی شد. اطلاعات ۲۰ ایستگاه هواشناسی استان اصفهان در دوره ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۷ استفاده شد. نتایج نشان دهنده دقت بالاتر روش میان یابی زمین آماری دارد. از این بین روش کوکریجینگ با مدل نمائی و متغیر کمکی ارتفاع ایستگاه بیشترین دقت را داراست. با توجه به نقشه توزیع مکانی بارندگی متوسط سالانه که از روش کوکریجینگ تهیه شد، بیشترین مقادیر بارندگی متوسط سالانه (Pt) در جنوب و غرب استان اصفهان دیده شد. کمترین مقادیر بارندگی در شرق و شمال استان اصفهان وجود دارد که به دلیل وجود دشت و اقلیم خشک می باشد.

واژه های کلیدی: میان یابی ، کریجینگ، بارندگی متوسط سالانه، زمین آمار.

مقدمه

خصوصیات بارندگی در مدیریت منابع آب تاثیر مهمی دارند بخصوص مقدار بارندگی که تعیین کننده میزان آب ورودی در حوزه های آبخیز بوده و در مدل های مختلف به عنوان ورودی اصلی به حساب می آید. محاسبه مقدار متوسط بارندگی در هر حوضه و برآورد میزان بارش در مناطق فاقد آمار نقش تعیین کننده ای بر محاسبات بیلان آب و دقت محاسبات مدلهای مختلف هیدرولوژیکی دارد. در بسیاری از مطالعات و بررسی های منابع طبیعی و کشاورزی به دلیل عدم پوشش کامل ایستگاه های اندازه گیری نقطه ای باران، برآورد بارش منطقه ای یا تخمین بارش در مناطق میان ایستگاه ها، لازم و ضروری است. بنابراین، آگاهی ازمیزان متوسط بارندگی در یک حوزه ی آبخیز، از عوامل اساسی در هیدرولوژی و طراحی سازهاست. دقّت نقشه‌های هم‌بارش، به روش درون‌یابی داده‌های بارندگی وابسته است. با توجّه به توپوگرافی پیچیده‌ی استان اصفهان و فقدان ایستگاه‌های هواشناسی با آمار درازمدّت در بعضی قسمتهای آن، تعیین روش مناسب درون‌یابی داده‌های بارندگی در این استان ضروری به‌نظر می‌رسد.

آگاهی از الگو های بارندگی و اطلاعات بروز بارندگی برای تصمیم گیری و پیش بینی در مورد تامین آب و حفاظت از منابع آب و خاک در آینده لازم است. تغییر پذیری بارندگی می تواند در زمان یا مکان اتفاق بیفتد. بررسی تغییرپذیری مکانی خصوصیات

بارندگی از جمله بارندگی متوسط سالانه و تهیه نقشه های پهنه بندی یا توزیع مکانی می تواند به مدیریت صحیح و بروز منابع آب و خاک کمک کند.

بررسی تغییرات مکانی از طریق تعمیم دادن خصوصیات نقطه ای به کل یک منطقه امکان پذیر است و این کار از طریق استفاده از روش های میان یابی میسر است. روش های مختلفی برای میان یابی داده ها وجود دارند. در روش های درون یابی سنتی ، نتایج بدست آمده از اندازه گیری نمونه ها مستقل از موقعیت فضایی آن ها مورد تحلیل و بررسی قرار می گیرد. در حالیکه در زمین آمار علاوه بر مقدار یک کمیت معین در یک نمونه موقعیت فضایی نمونه نیز مورد توجه قرار می گیرد. به عبارت دیگر باید بتوان بین مقادیر مختلف یک کمیت در جامعه نمونه ها و فاصله و جهت قرار گیری نمونه ها نسبت به هم ارتباطی برقرار کرد. بطور کلی تخمین زمین آماری فرآیندی است که در طی آن می توان مقدار یک کمیت در نقاطی با مختصات معلوم را با استفاده از مقدار همان کمیت در نقاط دیگری با مختصات معلوم بدست آورد (۲). محققین با بررسی روشهای مختلف میان یابی و انتخاب بهترین روش اقدام به تهیه نقشه های تغییرات مکانی بارندگی نموده اند.

نادی و همکاران هفت روش درون‌یابی شامل کریجینگ عمومی، کوکریجینگ، کریجینگ با روند خارجی، رگرسیون کریجینگ، وزنی عکس فاصله، اسپلاین و گرادیان خطّی سه‌بُعدی را برای بررسی نقشه های هم بارش با یکدیگر مقایسه کردند. تحلیل نتایج نشان داد که تمامی روش‌ها به‌جز روش رگرسیون کریجینگ، در برآورد مقادیر زیاد بارندگی دچار خطای کم‌برآوردی هستند. با مقایسه روش‌های درون‌یابی مورد بررسی، روش رگرسیون کریجینگ، به‌عنوان مناسب‌ترین روش درون‌یابی داده‌های بارندگی ماهانه و سالانه تشخیص داده شد. به‌علاوه نتایج پژوهش نشان داد، روش‌هایی که از متغیّر ارتفاع به‌عنوان متغیّر کمکی برای برآورد بارندگی استفاده می‌کنند، نسبت به روش‌های دیگر از دقّت بالاتری برخوردارند (۵).

درخشان روشهای میان یابی عکس فاصله با توان ۱، عکس فاصله با توان ۲، تابع پایه شعاعی با مدل اسپیلین کامل منظم، تابع پایه شعاعی با مدل اسپیلین با کشش، تابع پایه شعاعی با مدل مولتی کوادرک، کریجینگ معمولی با مدل دایره ای را برای برآورد متوسط بارندگی سالیانه با استفاده از آمار ۱۰ایستگاه های باران سنجی در حوزه آبخیز صدرا مورد بررسی قرار داد. مناسب ترین روش درون یابی با استفاده از معیار ارزشیابی متقابل و استفاده از روشهای ارزیابی خطا نظیر RMSE ، کریجینگ با مدل دایره ای بوده و از اینرو این روش برای نقشه پهنه بندی بارندگی مورد استفاده قرار گرفت (۳).

مقایسه روش‌های اسپلاین و عکس مجذور فاصله برای درون‌یابی مکانی دما و بارندگی ماهانه و سالانه در غرب و شرق کانادا، تحقیقی بود که توسط پرایس و همکاران صورت گرفت و نشان داد که در مجموع با روش اسپلاین در اغلب ماه‌ها نتیجه مناسب‌تری حاصل می‌شود، ولی روش عکس مجذور فاصله از نظر کاربرد ساده تر است (۹). گورتس روش‌های مختلف کریجینگ را برای تعیین تغییرات مکانی بارندگی در پرتغال بررسی کرد و نتایج کار را با روش های رگرسیون خطی با در نظر گرفتن ارتفاع و روش های یک متغیره تیسن و عکس فاصله مقایسه کرد و به این نتیجه رسید که انواع روش های کریجینگ دقت بیشتری دارند (۶).

در استان اصفهان بارندگی بسیار متغیر بوده و از لحاظ اقلیمی متنوع می باشد و این تحقیق که با هدف بررسی بارندگی متوسط سالانه استان اصفهان، تخمین مکانی آن و تهیه نقشه صورت می گیرد، روش های مختلف میان یابی زمین آماری و غیر زمین آماری مورد

بررسی قرار گرفته و بهترین روش میان یابی نیز مشخص شد.

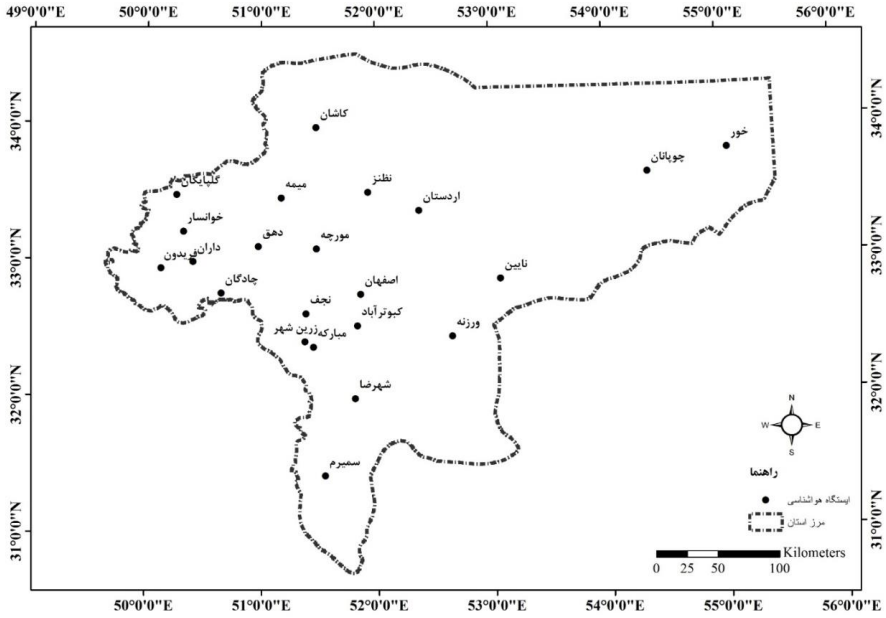
منطقه مورد مطالعه

استان اصفهان با مساحت ۱۰۷۰۴۵ کیلومتر مربع (معادل ۵۷/۶ درصد از مساحت کشور) بین ۳۰ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۲ دقیقه طول شرقی در بخش مرکزی ایران در جلگه‌ای حاصلخیز واقع شده و اکثر شهرها و روستاهای آن حاصل جریان زاینده‌رود است. شکل استان از لحاظ گسترش در امتداد طول و عرض جغرافیایی به گونه ای است که میانگین طول آن ۵۳۲/۵ کیلومتر و عرض استان برابر با ۴۰۵ کیلومتر می باشد. بخش وسیعی از استان اصفهان را اقلیم خشک در برگرفته است و این امر بیش از همه معلول کم بودن باران سالیانه در بسیاری از مناطق استان و بالا بودن نرمال سالیانه دما در گستره‌های وسیعی از استان اصفهان می‌باشد. با توجه به وجود ناهمواریهای استان که در بخش‌های غربی و جنوب غربی توزیع‌شده است، مسلماً این نواحی دارای دمای کمتر بوده در حالی که نواحی پست شرقی و شمال شرقی استان دارای درجه حرارت بالاتری میباشد.

استان اصفهان از شمال به استانهای مرکزی، قم و سمنان، از جنوب به استانهای فارس و کهگیلویه و بویراحمد از مشرق به استانهای یزد و خراسان و از غرب به استانهای لرستان و چهارمحال و بختیاری محدود می‌شود. در این استان مقدار بارش از غرب به شرق و جنوب به شمال کاهش می‌یابد. به‌طوری‌که در مناطق مرتفعی مثل ارتفاعات کوهرنگ در مجاورت استان به بیش از ۱۰۰۰ میلی‌متر و حتی ۱۳۰۰ میلی‌متر هم می رسد. بارندگی این مناطق کوهستانی اغلب زمستانی و بهاره است، زیرا بادهای غربی و سیکلونهای مدیترانهای که عامل اساسی بارش هستند در این فصول حاکمیت دارند. از نظر اقلیمی استان اصفهان به سه ناحیه تقسیم می شود. ۱- ناحیه آب-وهوای مدیترانه‌ای با زمستان‌های سرد (نواحی کوهستانی در غرب و جنوب‌غرب) ۲- ناحیه آب‌وهوای نیمه‌خشک با زمستان‌های نسبتاً سرد(نواحی جلگه‌ای در مرکز و کویری در شمال) ۳- ناحیه آب‌وهوای نیمه‌خشک با تابستانه‌ای گرم(نواحی کویری در شمال شرقی و شرق)

روش تحقیق

با در نظر گرفتن دوره آماری ایستگاهها از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۷ تعداد ۲۰ ایستگاه هواشناسی که آمار مناسبی داشتند، انتخاب شد. برای بررسی همگنی آمار از روش جرم مضاعف و برای رفع نواقص آماری از روش رگرسیون استفاده شد. در این تحقیق برای بررسی تغییرات مکانی بارندگی سالانه در استان اصفهان و ارائه نقشه، ابتدا متوسط بارندگی سالانه در ایستگاه های هواشناسی محاسبه گردید. سپس با استفاده از روش های میان یابی این شاخص در تمام منطقه مورد مطالعه میان یابی گردید. در نهایت با ارزیابی روش های مختلف میان یابی بر اساس تکنیک ارزیابی متقابل و معیارهای خطا و انتخاب بهترین روش میان یابی، نقشه تغییرات مکانی بارندگی سالانه استان اصفهان تهیه شد. شکل ۱ موقعیت ایستگاههای انتخابی را محدوده استان اصفهان نشان می دهد.



شکل ۱- موقعیت ایستگاههای هواشناسی استان اصفهان

روش های میان یابی

برای برآورد مقادیر متغیر های مختلف در مناطق فاقد آمار و مناطق بین نقاط معلوم باید از روش های میان یابی استفاده کرد. روش های میان یابی به دو دسته کلی قطعی و زمین آماری تقسیم بندی می گردند. از دسته اول روش های توابع شعاعی پایه و عکس فاصله وزن دار و از دسته زمین آماری روش های کریجینگ و کوکریجینگ انتخاب شدند. در روش توابع شعاعی پایه از توابع ریاضی برای حداقل سازی انحنا و نوسانات سطحی متغیر استفاده می شود. پارامترهای توابع ریاضی مورد استفاده به نحوی تنظیم می شوند که سطح کلی برآورد شده با دارا بودن حداقل انحنا از نقاط اندازه گیری شده عبور کند. در روش عکس فاصله وزن دار، وزن تابعی از عکس فاصله است و نقاط نزدیک تر تاثیر بیشتری در برآورد نقطه مجهول دارند. فرمول کلی روش عکس فاصله وزن دار شامل:

$$Z^*(x_i) = \sum \lambda_i . Z(x_i) \qquad (۱)$$

$Z^*(x_i)$ مقدار تخمینی متغیر ، $Z(x_i)$ مقدار مشاهده شده متغیر، n تعداد مشاهدات و λ_iوزن یا اهمیت نمونهi ام است. در روش کریجینگ نیز از رابطه بالا برای تخمین استفاده می شود ولی بطور کلی بهترین تخمین روشی است که بهترین شیوه وزن را برای متغیر $Z(x_i)$ پیدا نماید. کریجینگ یک روش تخمین است که بر منطق میانگین متحرک وزن دار استوار می‌باشد. این تخمین‌گر به عنوان بهترین تخمین‌گر خطی نااریب شناخته می‌شود. اساس تخمین گر کریجینگ بر تعریف نیم تغییر نما ، استوار است (۲) . تغییر واریانس بین نقاطی به فاصله h از یکدیگر ، می تواند همبستگی متقابل بین مقدار متغیر بین این نقاط را نشان دهد. این واریانس وابسته به فاصله را نیم تغییر نما می نامندکه با $\gamma(h)$ نشان می دهند و به شکل زیر تعریف می شود:

$$2\gamma(h) = 1/n \sum_{i=1}^{n} [Z(xi+h) - Z(xi)]^2 \qquad (۲)$$

که

در آن $Z(x_i)$ و $Z(x_i+h)$ مقدار متغیر در نقاط x و x_i+h و n تعداد جفت نمونه های بکار رفته به ازای هر فاصله h می باشد. هر تغییر نما با پارامترهای آن یعنی اثر قطعه‌ای، شعاع تأثیر و آستانه مشخص می-شود. پس از محاسبه تغییرنماهای تجربی و قبل از عملیات تخمین، از طریق برازش توابع ریاضی مناسب

به واریوگرام تجربی می توان مدل مناسب تئوری را انتخاب کرد(۲). از نظر تئوری روش کوکریجینگ با روش کریجینگ تفاوت چندانی ندارد و می توان با در نظر گرفتن متغیر کمکی که داده های کافی از آن وجود دارد و بر اساس همبستگی متقابل بین متغیر های اصلی و ثانویه فرایند تخمین را انجام داد که معادله کوکریجینگ شامل:

$$Z^*(x_i) = \sum\lambda_i \cdot Z(X_i) \cdot \sum\lambda_k \cdot y(x_k) \qquad (۳)$$

که در آن $Z^*(x_i)$ مقدار تخمین زده شده برای نقطه x_i، λ_i وزن مربوط به متغیرz ، λ_k وزن مربوط به متغیر کمکی،$Z(X_i)$ مقدار مشاهده شده متغیر اصلی و $y(x_k)$ مقدار مشاهده شده متغیر کمکی است. برای انتخاب مناسبترین روش میان یابی از روش ارزیابی متقابل (Cross Validation) استفاده می شود . در این روش در هر مرحله یک نقطه مشاهده ای حذف و با استفاده از بقیه نقاط مشاهده ای، آن نقطه برآورد می شود. برای ارزیابی میزان دقت و خطا ازمعیارهای MBE و RMSE استفاده می شود که عبارتند از:

$$\mathrm{MBE} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left((Z^*(x_i) - Z(x_i)\right) \qquad (۴)$$

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left[Z^*(xi) - Z(xi)\right]^2}{n}} \qquad (۵)$$

MBE میانگین خطای انحراف، RMSE ریشه دوم میانگین مربع خطا، $Z^*(x_i)$ مقادیر برآورده شده متغیرx در نقطه i، $Z(x_i)$ مقادیر مشاهده شده متغیرx در نقطه i و n تعداد متغیر مشاهده شده است که هر قدر این معیارها به صفر نزدیک تر باشند نشان دهنده اختلاف کمتر مقادیر برآورد شده نسبت به مقادیر مشاهده ای است .

نتایج

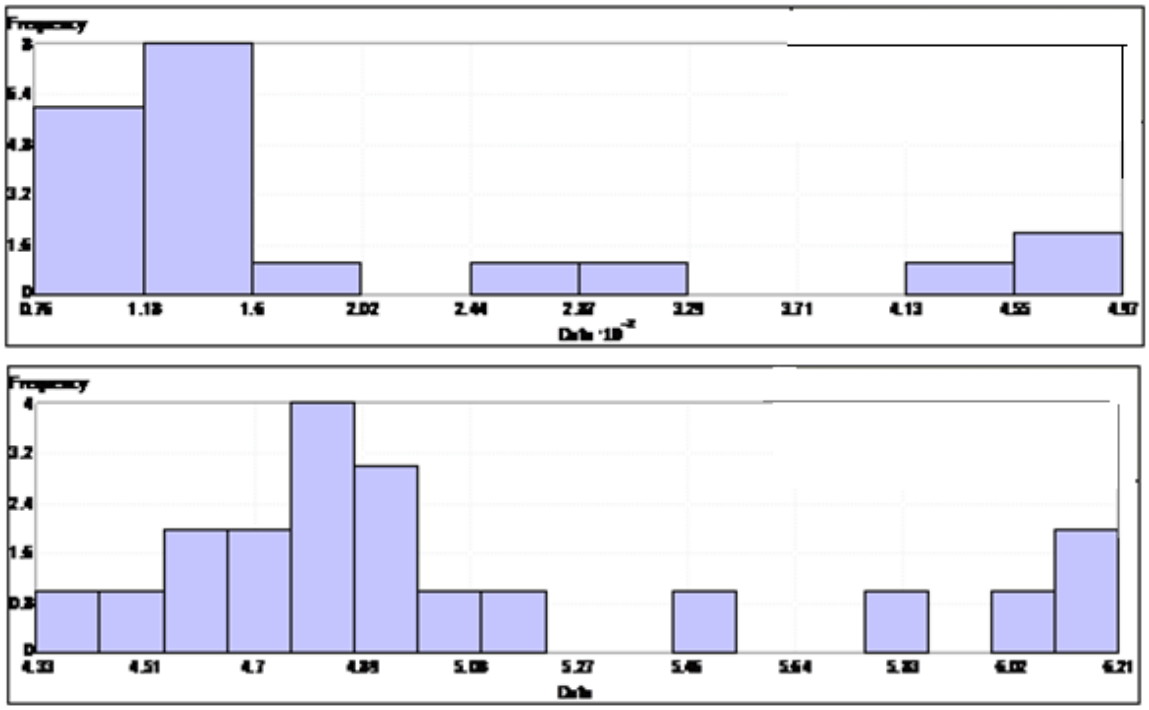
یکی از شروط استفاده از روش های میان یابی زمین آماری تبعیت داده ها از توزیع نرمال است و شرط نرمال بودن فقط برای روش‌های درون یابی زمین آماری بوده و برای روش‌های معکوس فاصله وزنی و توابع پایه شعاعی لازم نیست. بیشتر روش‌های آماری فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها را یدک می‌کشند. لذا داشتن داده‌هایی که توزیع نرمال دارند، درحقیقت مجوز بکارگیری این روش‌ها است. نمودار توزیع نرمال به شکل یک منحنی زنگی شکل کاملا متقارن است که با پارامترهای آماری میانگین (مقدارمتناظر با حداکثر فراوانی)، واریانس که نشان دهنده پراکندگی داده‌ها ودرنتیجه گستردگی منحنی توزیع نرمال است، چولگی صفر وکشیدگی ۳ مشخص می‌شود(۲). ولی بطور کلی می توان با کمی اغماض داده های دارای چولگی بین یک و منفی یک را نرمال دانست.

آماره های توصیفی بارندگی متوسط سالانه (Pt) در ۲۰ ایستگاه هواشناسی استان اصفهان در طی دوره آماری ۱۹۸۷ تا سال ۲۰۱۷ در جدول شماره ۱ ارائه شده است. میانگین بارندگی متوسط سالانه (Pt) در ایستگاه های هواشناسی استان اصفهان ۱۹۰ میلیمتر است که از ۷۵ تا ۴۹۷ میلیمتر در ایستگاههای مختلف متغیر است. ضریب چولگی بالای یک می باشد و بر اساس نتایج این جدول مقادیر بارندگی سالانه از توزیع نرمال تبعیت نمی کند بنابراین برای میان یابی با روش های زمین آماری کریجینگ و کوکریجینگ تبدیل لگاریتمی انجام شد .سایر خصوصیات توصیفی از قبیل انحراف معیار، حداقل، حد اکثر، چولگی و کشیدگی در جدول۱ ارائه شده است. بطور کلی بطور چشمی می توان نرمال بودن داده ها را تشخیص داد و با توجه به نزدیک بودن شکل هیستوگرام به شکل زنگوله، نرمال بودن مشخص می شود. ضمنا با توجه با اینکه اگر مقادیر میانگین ومیانه به طور تقریبی مساوی باشند، می توان نتیجه گرفت که توزیع داده‌ها نرمال می‌باشد. با توجه به شکل ۲ بالا عدم نرمال بودن داده های بارندگی متوسط سالانه ایستگاهها هواشناسی استان اصفهان کاملا مشهود است و برای نرمال نمودن داده ها تبدیل لگاریتمی انجام شد. شکل ۲ پایین

هیستوگرام فراوانی داده های بارندگی را بعد از تبدیل لگاریتمی نشان می دهد که تا حدود زیادی به حالت نرمال نزدیک شده است.

جدول ۱- آماره های بارندگی متوسط سالانه (Pt) درایستگاه های هواشناسی استان اصفهان

متغیر	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر	چولگی	کشیدگی
بارندگی متوسط سالانه	۱۸۹/۵	۱۳۰	۷۵/۶	۴۹۷/۴	۱/۴۳	۳/۵۹



شکل ۲- هیستوگرام فراوانی بارندگی متوسط سالانه قبل از تبدیل (بالا) و بعد از تبدیل لگاریتمی (پایین)

مقایسه روشهای میان یابی قطعی و تهیه نقشه تغییرات مکانی بارندگی

برای تبدیل اطلاعات نقطه ای بارندگی متوسط سالانه به ناحیه ای از روش های مختلف میان یابی معکوس فاصله وزن دار، توابع شعاعی پایه و روشهای زمین آماری کریجینگ و کوکریجینگ استفاده گردید. نتایج ارزیابی میان یابی بارندگی متوسط سالانه با استفاده از توانهای مختلف روش معکوس فاصله وزن دار در جدول ۲ ارائه شده است. اساس مقایسه روش های میان یابی براساس معیار ریشه دوم میانگین مربع خطا قرار داده شد. بر اساس این جدول روش معکوس فاصله وزن دار با توان ۲ با RMSE کمتر نسبت به بقیه توانها بهترین نتایج را ارائه نموده است و در میان یابی بارندگی متوسط سالانه بیشترین دقت را دادا بوده است. در روش معکوس فاصله وزن دار توان ۱ بیشترین خطا را داراست و کمترین دقت را در میانیابی بارندگی متوسط سالانه ارائه کرده است.

جدول ۲- ارزیابی روش میان یابی معکوس فاصله وزن دار با توانهای مختلف برای تهیه نقشه بارندگی متوسط سالانه

روش میان یابی	MBE	RMSE
IDW1	-۱۴/۵	۱۰۲
IDW2	-۹/۴	۹۶/۱
IDW3	-۸/۲	۹۷
IDW4	-۸/۸	۹۷/۹

در ادامه بارندگی متوسط سالانه با استفاده از روش های مختلف توابع شعاعی پایه میان یابی شد و نتایج ارزیابی روشهای مختلف میانیابی اسپلاین ها در جدول ۳ ارائه و مقایسه شده است . با توجه به این جدول روش اسپلاین صفحه نازک (Thin plate spline) نسبت به بقیه روشهای اسپلاین از خطای کمتری در میان یابی بارندگی متوسط سالانه برخوردار بوده و با RMSE ۹۲/۲ دقیقترین نتایج را ارائه نموده است. همچنین روش مولتی کوادراتیک معکوس (Inverse multiquadratic) بیشترین خطا را داراست و کمترین دقت را در میانیابی بارندگی متوسط سالانه با RMSE ۹۷/۴ نشان داده است.

جدول۳- نتایج ارزیابی روشهای میان یابی توابع شعاعی پایه برای تهیه نقشه بارندگی متوسط سالانه

روش میان یابی	MBE	RMSE
Completely regularized spline	-۹/۸	۹۶/۱
Spline with tension	-۹/۹	۹۶/۳
Multiquadratic	-۶/۲	۹۳/۴
Inverse Multi quadratic	-۱۱/۲	۹۷/۴
Thin plate spline	-۳/۶	۹۲/۲

تهیه نقشه توزیع بارندگی متوسط سالانه با استفاده از روش های زمین آماری

دو روش زمین آماری کریجینگ و کوکریجینگ برای میان یابی استفاده و مقایسه شد. به این منظور ابتدا مدل مناسب تئوری به واریوگرام های تجربی برازش یافت و سپس با توجه به مدل مناسب برازش یافته میان یابی انجام گرفت. مدل های واریوگرام مورد بررسی شامل دایره ای، کروی، نمائی و گوسی است. همچنین به منظور بررسی همسانگردی و عدم همسانگردی، مقادیر دامنه تاثیر، اثر قطعه ای و آستانه در جهات مختلف بررسی شد و با توجه اینکه اختلاف چندانی در جهات مختلف وجود نداشت داده ها همسانگرد تشخیص داده شدند. در روش کوکریجینگ که از متغیر کمکی برای میان یابی استفاده می شود برای انتخاب متغیر کمکی از ارتفاع ایستگاه هواشناسی به عنوان متغیر کمکی در روش کوکریجینگ استفاده گردید. مشخصات مدل برازش داده شده بر تغییر نماهای تجربی دو روش کریجینگ و کوکریجینگ در

جدول ۴ ارائه شده است. مدل برازش داده شده بر تغییر نماهای تجربی در روش کریجینگ و کوکریجینگ به ترتیب دایره ای و نمائی است. در هر دو روش شعاع تاثیر یکسان بوده است. نسبت اثر قطعه ای به آستانه یا درصد خطای اندازه گیری در هر دو روش صفر درصد است (جدول ۴). این اعداد نشان دهنده همبستگی مکانی قوی برای روش های کریجینگ و کوکریجینگ می باشد و نشان دهنده همبستگی مکانی بالا است.

جدول ٤- مشخصات مدل برازش داده شده بر داده های بارندگی متوسط سالانه

روش میان یابی	مدل برازش یافته	شعاع تاثیر	آستانه	اثر قطعه ای	خطای اندازه گیری (درصد)
کریجینگ	دایره ای	۴/۸۵	۰/۷۳	۰	۰
کوکریجینگ	نمائی	۴/۸۵	۰/۴۸	۰	۰

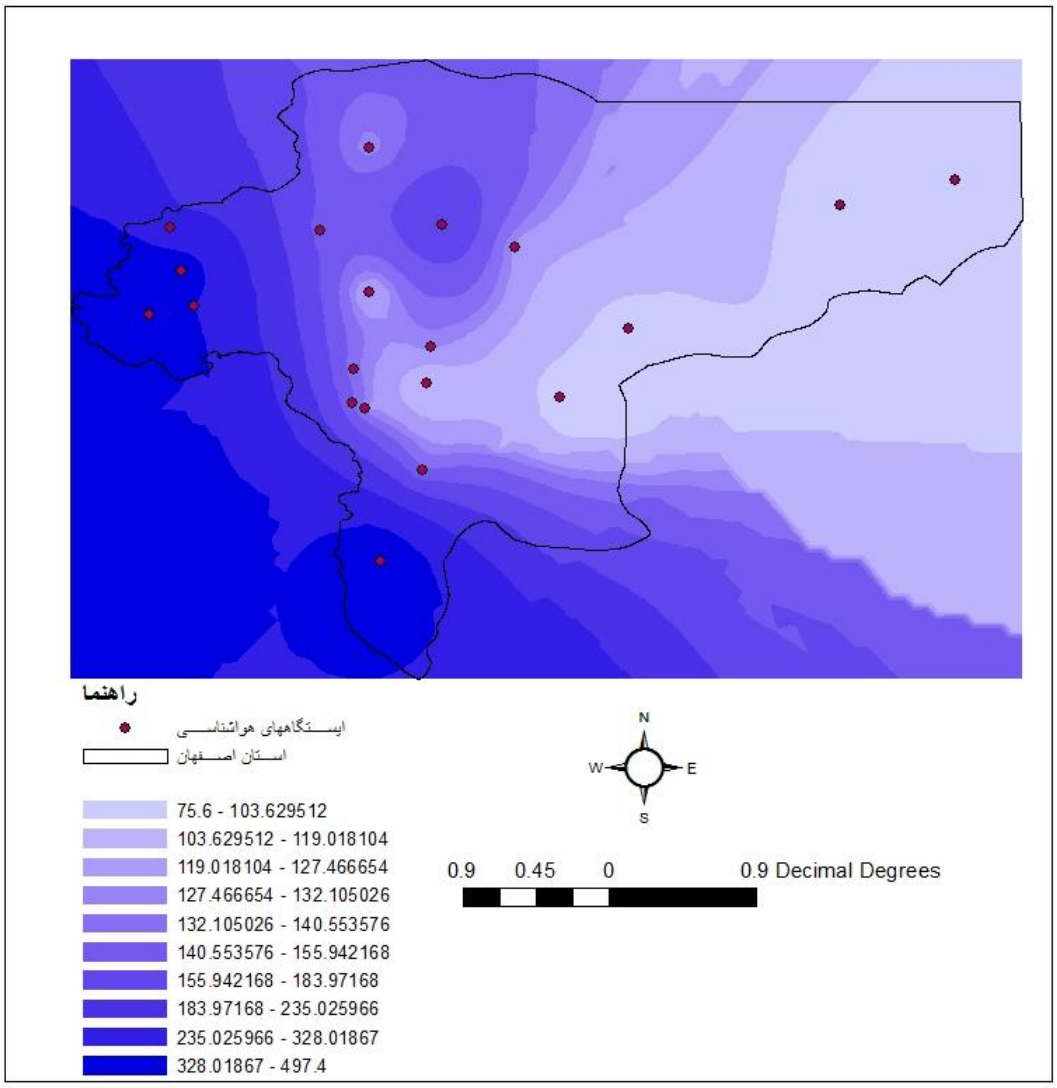
با توجه به تکنیک ارزیابی متقابل و معیار ریشه دوم میانگین مربع خطا دو روش کریجینگ و کوکریجینگ مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفتند که نتایج در جدول شماره ۵ ارایه شد. بر اساس این جدول روش میان یابی کوکریجینگ با RMSE برابر با ۸۴/۶ و با اختلاف نتایج بهتری نسبت به روش کریجینگ ارائه نموده است.

بطور کلی با مقایسه روشهای میان یابی قطعی و زمین آماری مشخص شد که روشهای زمین آماری برآورد بهتری از داده ها داشته اند و برای میان یابی داده های بارندگی متوسط سالانه دقت بیشتری دارند. بطوریکه هم روش کریجینگ و هم کوکریجینگ دقت بیشتری نسبت به بقیه روشهای میان یابی داشته اند.

در مقایسه همه روشها نیز مشخص شد که روش کوکریجینگ با اختلاف زیادی نسبت به بقیه روشها، دقت بیشتری در میان یابی ارایه نموده است که می توان دلیل این مساله را استفاده از متغیر کمکی دانست. شکل ۳ نقشه بارندگی متوسط سالانه را با استفاده از روش میان یابی کوکریجینگ با متغیر کمکی ارتفاع ایستگاه هواشناسی نشان می دهد. بیشترین مقادیر بارندگی متوسط سالانه (Pt) غرب و جنوب استان اصفهان دیده می شود که شامل مناطق کوهستانی و مرتفع می شود. کمترین مقادیر بارندگی در شرق و شمال استان اصفهان وجود دارد که به دلیل وجود دشت، مناطق پست و اقلیم خشک می باشد.

جدول ٥- نتایج ارزیابی روش های مختلف میان یابی زمین آماری برای تهیه نقشه بارندگی متوسط سالانه

روش میان یابی	MBE	RMSE
Cokriging	-۵/۷	۸۴/۶
Ordinary kriging	-۶/۷	۹۲/۵



شکل ۳- نقشه تغییرات بارندگی متوسط سالانه استان اصفهان با روش میان یابی کوکریجینگ

نتیجه گیری

بررسی تغییرات مکانی بارندگی در مقیاس‌های زمانی مختلف از مراحل اصلی مطالعات منابع آب محسوب می‌شود که میزان متوسط بارندگی و ورودی بیلان آب را در حوضه های آبی مشخص می کند. موقعیت ایستگاهها و پراکنش نامناسب آنها و تراکم ناکافی ایستگاههای هواشناسی، ضرورت برآورد داده-های بارش در نقاط فاقد آمار و تعمیم داده‌های نقطه‌ای به داده‌های منطقه‌ای را نشان می‌دهد. روش‌های میان یابی و از جمله روشهای زمین آماری روش‌های تعیین توزیع مکانی بارش است که با توجه به درنظر گرفتن همبستگی، موقعیت و آرایش مکانی داده‌های نقطه‌ای، به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته اند.

دراین تحقیق با استفاده از روش‌های میان یابی زمین آماری و قطعی توزیع مکانی بارش متوسط سالانه استان اصفهان برای بررسی تغییرات مکانی بارندگی با درنظر گرفتن دوره آماری سال ۱۹۸۷ تا سال ۲۰۱۷ انجام شده است. به این منظورابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از هیستوگرام مقادیر متوسط بارندگی سالانه مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که توزیع داده‌ها نرمال نیست و برای استفاده از روش های میان یابی زمین آماری تبدیل لگاریتمی

انجام شد. در مرحله بعد روش‌های زمین آماری و قطعی با در نظر گرفتن توابع مختلف در هریک از روش‌ها بکار گرفته شد و براساس روش ارزیابی متقابل و معیارهای ارزیابی ریشه میانگین مربع خطا(RMSE)، میانگین خطای انحراف، روش وتابع مناسب انتخاب شد. از بین روش های میان یابی زمین آماری و قطعی استفاده شده در این تحقیق مشخص شد که روش های زمین آماری دقت بالایی در برآورد داده های بارندگی داشته اند که به دلیل توجه به همبستگی مکانی درونی داده ها و موقعیت مکانی آن ها می باشد. همچنین مشخص شد که روش عکس فاصله وزنی با توانهای مختلف کمترین دقت را در میان یابی داشته است. از بین همه روشهای مورد مقایسه، روش کوکریجینگ از دقت بیشتری نسبت به سایرروش های میان یابی برخوردار است. با مقایسه روش کریجینگ و کوکریجینگ مشخص می شود که هر چند نوع روش و توابع مورد استفاده مشابه هستند ولی به دلیل استفاده از متغیر کمکی، دقت برآورد بیشتر شده است. نتایج نشان گر اهمیت استفاده از روش های مناسب میان یابی است چرا که مشخص می شود که با تغییر روش میان یابی دقت برآورد بسیار تغییر می کند. استفاده از متغیر کمکی در روش کوکریجینگ در بسیاری از مناطق ایران که فاقد ایستگاه هواشناسی بوده و تراکم نمونه ها عامل محدود کننده در دقت و کیفیت برآوردها در متغیرهای محیطی است، مهم و اثرگذار است. در این روش از متغیر ارتفاع ایستگاه هواشناسی به عنوان متغیر کمکی در میان یابی بارندگی متوسط سالانه استفاده شد. نتایج این تحقیق با تاج علی پور وهمکاران(۱) ، شش انگشت و همکاران(۴)، نورزاده حداد (۸) و گورتس (۶) هم سویی دارد . این محققین نیز با بررسی روش های مختلف میان یابی روش کوکریجینگ را برای میانیابی متغیرهای آب و هوایی مناسب تشخیص دادند.

ارزیابی تحقیقات دیگر محققین نشان می‌دهد که به طور کلی روش‌های میان یابی با توجه به نوع متغیر، خصوصیات منطقه مورد مطالعه، تراکم نقاط نمونه و الگوی پراکنش و آرایش آنها، دقت متفاوتی را ارائه می‌کنند و نمی‌توان نتایج یک تحقیق را از لحاظ مکانی به مناطق دیگر تعمیم داد. بنابراین باید برای هر منطقه تحقیق جداگانه ای انجام شده و روش مناسب برآورد و میان یابی مشخص شود.

برای بررسی ساختار مکانی و برازش مدل مناسب به واریوگرام تجربی در این تحقیق در هر دو روش کریجینگ و کوکریجینگ خطای اندازه گیری که نشان دهنده انسجام و همبستگی مکانی داده است صفر بوده که همبستگی مکانی قوی را نشان می دهد. مدل تغییرنمای برازش داده شده در دو روش زمین آماری متفاوت بوده بطوریکه در روش کریجینگ مدل دایره ای و در روش کوکریجینگ مدل نمایی برازش یافت. در نهایت نقشه بارندگی متوسط سالانه با استفاده از روش میان یابی کوکریجینگ با متغیر کمکی ارتفاع ایستگاه هواشناسی نشان می دهد که کمترین مقادیر بارندگی متوسط سالانه (Pt) در شرق و شمال استان اصفهان مشاهده شده که شامل مناطق کم ارتفاع و اقلیم خشک است و بیشترین مقادیر بارندگی در جنوب و غرب استان اصفهان وجود دارد که به دلیل وجود مناطق کوهستانی و اقلیم نیمه خشک است. بیشتر مساحت استان اصفهان در محدوده بارندگی ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلیمتر قرار می گیرند.

منابع

۱- تاج علی پور،ز.، مهدیان،م.ح.، پذیرا،ا.،حیدری زاده،م.۱۳۸۸ . بررسی تغییرات مکانی شاخص فرسایندگی در حوزه آبخیز دریاچه نمک، یازدهمین کنگره علوم خاک ایران.گرگان.

۲- حسنی پاک،ع . ۱۳۷۷. زمین آمار(ژئواستاتیستیک). انتشارات دانشگاه تهران. ۳۱۴ صفحه.
۳- درخشان, شاهین، ۱۳۹۶، ارزیابی روشهای مختلف میان یابی برای پهنه بندی بارش سالنه در حوزه آبخیز صدرا، نخستین کنفرانس بین المللی علوم کشاورزی،دامی منابع طبیعی محیط زیست گردشگری روستایی و گیاهان دارویی کشورهای اسلامی، مشهد،
۴- شـــش انگشـــت،س.،علی محمدی،ع. و ســـلطانی،م.ج.۱۳۸۴.ارزیابی مدل های زمین آماری در GIS برای تهیه نقشه فرسایندگی باران در حوزه آبخیز لتیان. همایش سیستم اطلاعات مکانی. سازمان نقشه برداری کشور.
۵- نادی، م.، جامعی، م.، بذرافشان، ج. و س. جنت رستمی، ۱۳۹۱. ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی داده‌های بارندگی ماهانه و سالانه (مطالعه‌ی موردی: استان خوزستان). پژوهشهای جغرافیای طبیعی، دوره ۴۴، شماره ۴، ص ۱۳۰-۱۱۷.

6- Goovaerts,P. 1999.Using elevation to aid the geostatistical mapping of rainfall erosivity. Catena .34:227-242.
7- Mello, C.R.,Viola,M.R.,Beskow,S. and L.D. Norton.2013. Multivariate models for annual rainfall erosivity in Brazil. Geoderma, Volumes 202–203, July 2013, Pages 88–102
8- Nourzadeh Haddad, M.2013. Investigating the rainfall erosivity Index using geostatistics. International Journal of Agronomy and Plant Production. Vol., 4 (11), 2816-2821.
9- Price, D.T., D.W. Mckenny, I.A. Nedler, M.F. Hutchinson and J.L. Kesteven. 2000. A Comparison of Two Statistical Methods for Interpolation. Canadian of Monthly Mean Climate Data. Agriculture and Forest. 101(2-3): 81-94.