مقایسه روشهای زمین آماری برای بهینه سازی شبکه ایستگاههای باران سنجی استان خوزستان

مجتبی محمدیان[1]، حسین اسلامی[2]*

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

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۴

چکیده

طراحی شبکه باران سنجی به منظور کاهش هزینه ها و افزایش دقت در تخمین مقادیر بارش، نیازمند یافتن موقعیت بهینه ایستگاه‌های باران‌سنجی می‌باشد. بیشتر خطاهای تخمین بارش، ناشی از موقعیت باران‌سنج‌ها می‌باشد که طراحی بهینه شبکه باران‌سنجی می‌تواند خطاهای مرتبط با اندازه‌گیزی بارش را کاهش دهد. در این تحقیق روشهای مختلف میان یابی زمین آماری کریجینگ و کوکریجینگ برای محاسبه خطای تخمین و تهیه نقشه های پراکنش مکانی بارندگی روزانه استان خوزستان مورد بررسی قرار گرفت. برای تهیه نقشه های تغییرات مکانی نیاز به برآورد مقدار بارندگی در نقاط مجهول بین ایستگاهها دارد. در این تحقیق از اطلاعات ۴۹ ایستگاه باران سنجی برای ۶ واقعه بارندگی روزانه استفاده شد. پس از تعیین بهترین مدل نیم‌تغییرنما و بهترین روش زمین‌آماری، در مرحله اول، بارانسنج‌هایی که به کمک سایر باران‌سنج‌های شبکه، تخمین مقدار بارندگی در آنها با دقت کافی امکان‌پذیر بود، مشخص گردید. نتایج نشان دهنده دقت بالاتر روش میان یابی کریجینگ دارد و بیشتر بارشهای روزانه منطبق بر مدل گوسی بودند. در مرحله دوم، با استفاده از ارزیابی میزان خطای تخمین شبکه باقیمانده از مرحله اول، نقاطی که ایجاد باران‌سنج جدید در آنها مورد نیاز بود مشخص شد. در نهایت تعداد ۷ ایستگاه باران‌سنج غیر ضروری در شبکه مشخص گردید و ۵ باران‌سنج جدید به شبکه اضافه شد.

کلمات کلیدی : ***بهینه سازی، کریجینگ، استان خوزستان، ایستگاههای باران سنجی***

مقدمه

بارندگی یکی از عناصر چرخه هیدرولوژی است که در اکثر مسائل هیدرولوژیکی و مطالعات منابع آب از اهمیت ویژه ای برخوردار میباشد. تخمین درست بارندگی در سطح یک منطقه اهمیت فراوانی داشته چرا که با در اختیار داشتن یک برآورد صحیح میتوان به اطلاعات بسیار با اهمیتی در مطالعات منطقه ای و مسائل مدیریت منابع آب دست یافت.

اصلاح و طراحی یک شبکه ی باران سنجی به منظور افزایش دقت در تخمین مقادیر بارش، نیازمند یافتن موقعیت بهینه ی ایستگاههای باران سنجی می باشد. بیشتر خطاهای تخمین بارش، ناشی از موقعیت بارانسنج ها میباشد که یک طراحی مناسب شبکه ی بارانسنجی میتواند خطاهای مرتبط با اندازه گیری بارش را کاهش دهد. دو عامل تعداد و نحوه توزیع مناسب باران سنج ها نقش اساسی را در تعیین و محاسبه بارندگی متوسط یک حوضه دارا میباشند. به عبارتی تعیین دقت تخمین بارندگی در یک منطقه وابسته به صحت و دقت نقطه مکانیابی شده به عنوان ایستگاه دارد. همچنین این نکته را باید مد نظر داشت که اگر تعداد ایستگاههای مورد نظر زیاد باشد از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نبوده و در

صورت کم بودن آنها میزان تخمین بارندگی با واقعیت محل، تفاوت فاحشی خواهد داشت. بهینه سازی موقعیت شبکه ی ایستگاههای بارندگی میتواند در دقت برآوردهای بارندگی و در نتیجه در مطالعات آب شناختی، بیلان آبی و مدیریت منابع آب مؤثر باشد.

الگوریتمهای متفاوتی برای بهینه سازی موقعیت شبکه ی ایستگاههای بارندگی وجود دارد ک برخی از آنها مبتنی بر روشهای زمین آماری میباشند. بطور کلی تخمین زمین آماری فرآیندی است که طی آن میتوان مقدار مجهول یک کمیت در نقاطی با مختصات معلوم را با استفاده از مقادیر معلوم همان کمیت در نقاط دیگری با مختصات معلوم بدست آورد (حسنی پاک،۱۳۹۲). روشهای زمین آماری مختلفی مانند کریجینگ های مختلف و کوکریجینگ وجود دارد.

کریجینگ یک روش کارآمد درون یابی است . در روش کریجینگ هر چقدر نمونه در فاصله دورتری قرار داشته باشد، به همان نسبت وزن آماری که به آن نسب داده میشود، کمتر است. اما در عین حال موقعیت نمونه نیز مد نظر قرار میگیرد. از مهمترین ویژگیهای کریجینگ آن است که به ازای هر تخمین، خطای مرتبط به آن را میتوان محاسبه کرد. به همین دلیل قبل از احداث ایستگاه و آماربرداری، میتوان میزان کاهش واریانس برآورد را به ازای اضافه نمودن ایستگاه جدید محاسبه نمود. از طرف دیگر با برآورد توزیع مکانی واریانس خطا میتوان مناطقی که دارای خطای بیش از حد آستانه ی مورد نظر است را شناسایی نمود و تحت پوشش ایستگاههای جدید قرار داد (مدنی،۱۳۷۴).

در بهینه سازی شبکه بارانسنجی با استفاده از زمین آمار، میتوان ایستگاههایی که مقادیر آنها با دقت مناسبی با استفاده از سایر ایستگاههای شبکه قابل تخمین می باشد را مشخص کرد. همچنین میتوان مناطقی را که در آنجا خطای تخمین بالا است را جهت اضافه نمودن بارانسنج برای کاهش خطای تخمین پیدا نمود. نظیف و همکاران (۱۳۹۲) در تحقیقی به مکانیابی ایستگاه های باران سنجی در حوضه ی کرخه با استفاده از کریجینگ و معیار آنتروپی در محیط GIS پرداختند و به تفاوت نسبی نتایج حاصل از این دو روش دست یافتند. در این تحقیق عملکرد دو رویکرد واریانس خطای تخمین حاصل از تحلیل کریجینگ و نیز آنتروپی انتقال اطلاعات در تعیین نقاط با پتانسیل تأسیس ایستگاه جدید باران سنجی در بهینه سازی شبکه بارانسنجی مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت. رویکردهای مورد بررسی در یکی از زیرحوضه های رودخانه کرخه مورد آزمون قرار گرفتند. نتایج نشان دهنده ی تفاوت نسبی نتایج حاصل از این دو روش بود. همچنین به این نتیجه رسیدند که ترکیب همزمان از هر دو روش آنتروپی و واریانس تخمین در مکانیابی ایستگاه های جدید، با دقت بیشتری صورت میگیرد.

فرجی سبکبار و همکاران(۱۳۹۳) در تحقیقی به توسعهٔ بهینهٔ شبکهٔ بارانسنجی با استفاده از روش کریجینگ و آنتروپی در محیطGis پرداختند ایشان از آنتروپی انتقال اطلاعات و واریانس تخمین بارش منطقهای برای تعیین نقاط بهینه‌ی توسعه‌ی ساختار موجود شبکه‌ی باران‌سنجی استفاده کردند. در ساختار پیشنهادی، نقاط دارای حداکثر واریانس تخمین و حداقل آنتروپی انتقال اطلاعات در سطح حوضه کاندید ایستگاه‌های جدید در نظر گرفته شد. مدل بهینه‌سازی برای ترکیب نتایج این دو روش توسعه داده شد و در نهایت موقعیت پیشنهادی تاسیس ایستگاه‌های جدید تعیین شد. در این تحقیق نشان داد که با استفاده از ایستگاه‌های پیشنهادی در حوضه کرخه که هفده مورد بود می توان دقت نتایج تحلیل مکانی بارش را به میزان زیادی افزایش داد.

ساری صراف و آزرم (۱۳۹۵) در پژوهشی با استفاده از داده‌های بارش سالانه مربوط به ۲۱۸ ایستگاه‌های سینوپتیک، کلیماتولوژی و بارانسنجی با بهره‌گیری از روش رگرسیون چند متغیره و زمین آمار اقدام به برآورد

تغییرات مکانی بارش در دامنه‌های غربی زاگرس مرکزی نمودند. کریجینگ عام با کمترین میزان خطا نسبت به بقیه روش‌های زمین آمار و مدل رگرسیونی، به عنوان بهترین روش مدل‌سازی معرفی شد. بطور کلی روش-های زمین آمار نتایج بهتری را نسبت به مدل رگرسیون چند متغیره بدست آوردند.

شقاقیان و عابدینی (۲۰۱۳) برای طراحی شبکهٔ باران سنجی از ترکیبی از ابزارهای زمین آماری و تجزیهٔ عاملی همراه با تکنیک خوشه بندی با اولویت بندی ایستگاه های باران سنجی از نظر محتوای اطلاعات در منطقهٔ مورد مطالعه استفاده کردند.

از آنجا که در کلیه ایستگاههای اندازه گیری عوامل جوی، تعیین میزان بارش یکی از مهم ترین عوامل محسوب میشود، لذا شبکه ایستگاههای بارانسنجی تمام انواع ایستگاهها را در بر میگیرد، که در این تحقیق به بهینه سازی آن پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

استان خوزستان با مساحتی حدود ۶۴۲۳۶ کیلومتر مربع ، بین ۴۷درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی ، در جنوب غربی ایران واقع گردیده است. خوزستان از شمال با استان لرستان ، از شمال غربی با استان ایلام ، از شرق و شمال شرق با استان های چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه و بویر احمد ، از جنوب شرقی با استان بوشهر ، از جنوب با خلیج فارس و از غرب با کشور عراق همسایه است. بیشترین ارتفاع از سطح دریا را شهر ایذه با ۷۶۴ متر و کمترین ارتفاع را هندیجان با ۲ متر داراست. فصل گرما در این استان از اردیبهشت آغاز می شود و تا مهر ماه ادامه دارد. متوسط درجه حرارت در این دوره ۳۱/۲ درجه و متوسط درجه حرارت در زمستان ۱۴/۹ درجه سانتیگراد می باشد. متوسط بارندگی در خوزستان ۲۶۵/۵ میلی متر در سال می باشد. نواحی غرب ، جنوب غرب و جنوبی استان تحت تاثیر اقلیم فراخشک گرم بوده و مناطق مرکزی ، جنوب شرقی و شمال غربی متاثر از اقلیم خشک بیابانی گرم می باشد. این دو اقلیم بخش اعظم استان را فرا می گیرند. دو اقلیم نیمه خشک گرم و نیمه خشک معتدل ، اقالیمی هستند که نواحی شرق، شمال و بخش وسیعی از شمال شرقی استان را تحت حاکمیت خویش قرار داده اند. همچنین اقلیم مدیترانه ای معتدل و نیمه مرطوب سرد ارتفاعات شرق و شمال شرق استان را تحت تاثیر قرار می دهند.

در مطالعه حاضر از اطلاعات ۴۹ ایستگاه باران سنجی موجود در استان خوزستان و ۱۵ ایستگاه باران سنجی موجود در همسایگی این استان استفاده گردید. از بین آمار بارش روزانه ایستگاه های مورد مطالعه، روزهایی انتخاب شد که در آن روز، بارش فراگیر بوده باشد و بنابراین بارش در روزهای ۳/ ۱۱ /۱۳۸۱، ۱۳۸۲/۱۰/۱۹، ۱۳۸۳/۹/۲۳، ۱۳۸۵/۱۲/۲۴، ۱۳۸۶/۱/۸ و ۱۳۸۷/۱۱/۱۲ انتخاب شد. قبل از استفاده از تخمین گرهای زمین آماری، آزمون نرمال بودن داده ها بررسی شد و در صورت لزوم داده‌های غیر نرمال با کمک تبدیلات موجود، نرمال شدند. همچنین مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین هر کدام از داده ها مشخص شدند.

بهینه سازی شبکه باران سنجی موجود در دو مرحله صورت میگیرد. در مرحله اول، نتایج حاصل از اعتبارسنجی حذفی، جهت حذف باران سنج های غیرضروری استفاده می شود. با استفاده از این نتایج، باران سنجهایی که به کمک سایرباران سنج های شبکه،

تخمین مقداربارندگی در آنها با دقت کافی امکان پذیراست، ازشبکه حذف می گردند . درمرحله دوم، با استفاده از ارزیابی میزان خطای تخمین شبکه باقیمانده از مرحله اول، ایجاد باران سنج های جدید بررسی می گردد.

روشهای میان یابی

روش های میان یابی به دو دسته کلی قطعی و زمین آماری تقسیم بندی می گردند. از دسته روشهای زمین آماری روش های کریجینگ و کوکریجینگ انتخاب شدند. فرمول کلی روش کریجینگ وزن دار شامل:

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

$Z^*(x_i)$ مقدار تخمینی متغیر ، $Z(x_i)$ مقدار مشاهده شده متغیر، n تعداد مشاهدات و λ_iوزن یا اهمیت نمونهi ام است. کریجینگ یک روش تخمین است که بر منطق میانگین متحرک وزن دار استوار می‌باشد. این تخمین‌گر به عنوان بهترین تخمین‌گر خطی ناریب شناخته می‌شود. اساس تخمین گر کریجینگ بر تعریف نیم تغییر نما ، استوار است . 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:

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

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 می‌شود. 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(مدنی،۱۳۹۲). در این تحقیق مدلهای کروی، گوسی، دایره ای و آستانه خطی مورد بررسی قرار گرفت. 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:

$$Z^*(x_i) = \sum \lambda_i . Z(X_i) . \sum \lambda_k . y(x_k)$$

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 از معیار RMSE استفاده می شود که عبارت است از:

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

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 معیار به صفر نزدیک تر باشند نشان دهنده اختلاف کمتر مقادیر برآورد شده نسبت به مقادیر مشاهده ای است .

حذف باران سنجهای غیر ضروری

برای حذف باران سنجهای غیرضروری از دو معیار استفاده می شود که خطای نسبی روزانه ی هر باران سنج و واریانس نسبی روزانه خطا را نشان می دهد. که عبارتند از:

$$\alpha_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta_i}{\sum_{i=1}^{n} z_i}$$

$$\alpha_2 = \frac{\partial}{Z_m}$$

$$\partial = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(\Delta_i - \Delta_m)^2$$

$$\Delta_m = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Z_i^* - Z_i)$$

α_1 معیار اول ارزیابی دقت تخمین هر بارانسنج،
α_2=معیار دوم ارزیابی دقت تخمین هر باران سنج،
Δi=اختلاف مقدار مشاهده های و تخمینی درروز i ،
∂=واریانس اختلافات مقادیر واقعی وتخمینی، Zm= متوسط بارندگی روزانه، Δm= میانگین اختلاف مقادیرمشاهده های وتخمینی روزانه، Z^*i= مقادیر تخمینی بارندگی در روز i ، Zi= مقادیر مشاهده شده بارندگی در روز i و n= تعداد روزهای مورد بررسی میباشد. هرچهم یزان α_1 و α_2 کمتر باشد یعنی آن ایستگاه جهت حذف شدن در اولویت قرار دارد. با توجه به معیارها در هر مرحله یک ایستگاه حذف شده و محاسبات دوباره انجام می شود. میزان خطای مناسب جهت حذف ۱۵ درصد انتخاب شد.

نتایج و بحث

پس از انتخاب داده‌ها مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین داده‌های بارندگی مشخص گردید که نتایج آن در جدول ۱ آمده است. همچنین با توجه به اینکه در روش‌های زمین‌آماری داده‌های ورودی باید نرمال باشند، پس از بررسی آزمون نرمال بودن داده‌ها در صورتی که داده‌ها از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کردند با استفاده از تبدیل مناسب، نرمال سازی انجام گرفت که نتایج آن در جدول ۲ آمده است.

جدول۱- مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین داده‌های بارندگی

بارندگی	حداقل(mm)	میانگین(mm)	حداکثر(mm)
۱۳۸۷/۱۱/۱۲	۰/۵	۷/۱	۱۸
۱۳۸۶/۰۱/۰۸	۱۴	۳۵/۹۵	۶۶
۱۳۸۵/۱۲/۲۴	۱	۱۰/۸	۳۵
۱۳۸۳/۰۹/۲۳	۱۲	۳۷/۰۷	۷۴
۱۳۸۲/۱۰/۱۹	۱۷/۵	۵۷/۲۶	۹۲
۱۳۸۱/۱۱/۳	۳/۵	۲۳/۵۸	۵۷

جدول ۲- بررسی نرمال بودن داده ها و نوع تبدیل مناسب

بارندگی	تبدیل مناسب
۱۳۸۷/۱۱/۱۲	تبدیل ریشه دوم

۱۳۸۶/۱/۸	بدون تبدیل
۱۳۸۵/۱۲/۲۴	تبدیل لوگ نرمال
۱۳۸۳/۹/۲۳	بدون تبدیل
۱۳۸۲/۱۰/۱۹	بدون تبدیل
۱۳۸۱/۱۱/۳	تبدیل ریشه دوم

در ادامه پس از انتخاب مدل مناسب تغییرنما برای هر کدام از داده‌های مورد بررسی، با لحاظ کردن مناسب‌ترین مقدار برای سایر پارامترهای موثر در تخمین، از جمله تعداد نقاط همسایگی مشارکت داده شده در تخمین، محاسبات تخمین به کمک روش‌های زمین‌آماری کریجینگ و کوکریجینگ صورت گرفت. برای ارزیابی میزان دقت و خطا میان مقادیر واقعی و تخمینی از معیار رشد میانگین مربعات خطا(RMSE) استفاده گردید. برای نمونه نتایج حاصل از انتخاب بهترین مدل نیم تغییر نما و بهترین روش زمین آماری با کمترین میزان خطا برای بارندگی روزانه سال ۸۷ در جدول ۳ آورده شده است.

جدول .Error! No text of specified style in document۳- نتایج حاصل از انتخاب بهترین مدل نیم تغییرنما و روش میان یابی زمین‌آماری برای بارندگی۱۳۸۷/۱۱/۱۲

روش درون‌یابی	بهترین مدل تغییر نما	تعداد نقاط همسایگی	RMSE
		۲	۳/۳۷
		۳	۳/۳۴
		۴	۳/۳۶
		۵	۳/۳
		۶	۳/۳۲
		۷	۳/۲۹
		۸	۳/۳۷۸
		۹	۳/۳۵
		۱۰	۳/۴۱
		۱۱	۳/۳۷
		۱۲	۳/۴۵
		۱۳	۳/۴۵۸
		۱۴	۳/۴۸
		۱۵	۳/۴۹
		۱۶	۳/۵
		۲	۳/۴۲
		۳	۳/۴۶
		۴	۳/۴۷
		۵	۳/۴۶
		۶	۳/۴۱
		۷	۳/۴
		۸	۳/۳۷

کوکریجینگ	نمایی	۹	۳/۳۷۹
		۱۰	۳/۳۶
		۱۱	۳/۳۷
		۱۲	۳/۳۵
		۱۳	۳/۳۶
		۱۴	۳/۳۷
		۱۵	۳/۳۸
		۱۶	۳/۳۸۵

این مراحل برای همه بارندگی های روزانه منتخب انجام شده و بهترین روش میان یابی و بهترین مدل تغییرنما انتخاب شد (جدول ۴). از مقایسه نتایج بدست آمده در این قسمت، نتیجه می‌شود که محاسبات تخمین در روش کریجینگ در همه آمارهای بارش نسبت به روش کوکریجینگ از نظر دقت تخمین برتری دارد. پس می توان نتیجه گرفت که برای منطقه مورد مطالعه روش کریجینگ برازش بهتری به داده ها دارد و تخمین خوبی ارائه می‌دهد.

جدول ۴- نتایج حاصل از انتخاب بهترین مدل تغییرنما و خطای میان یابی

بارندگی	بهترین روش درون‌یابی	بهترین مدل تغییر نما	تعداد نقاط همسایگی	RMSE
۱۳۸۷/۱۱/۱۲	کریجینگ	گوسین	۷	۳/۲۹
۱۳۸۶/۱/۸	کریجینگ	کروی	۳	۱۲/۱
۱۳۸۵/۱۲/۴	کریجینگ	گوسین	۱۱	۵/۹۲/
۱۳۸۳/۹/۲۳	کریجینگ	کروی	۸	۱۱/۴۷
۱۳۸۲/۱۰/۱۹	کریجینگ	آستانه خطی	۵	۱۲/۹۹
۱۳۸۱/۱۱/۳	کریجینگ	گوسین	۴	۱۰/۴۹

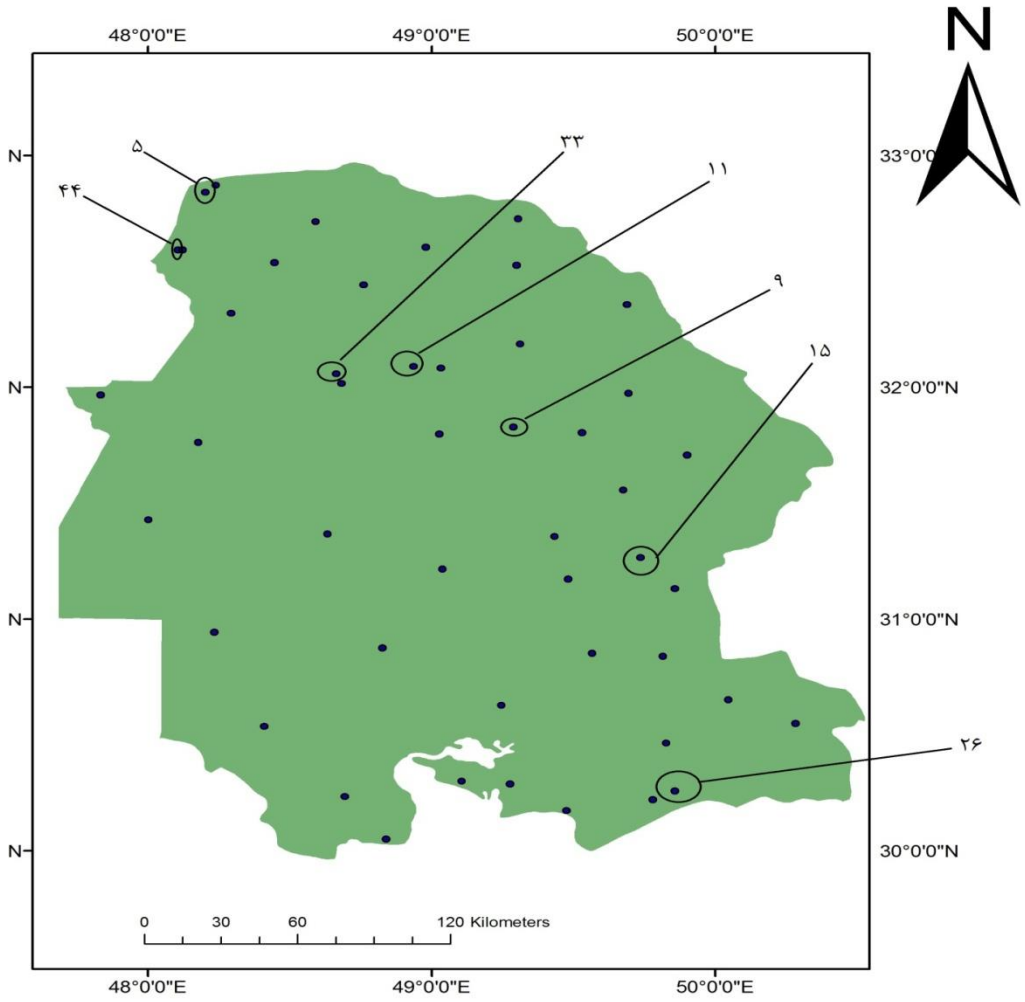
در ادامه با استفاده از روش کریجینگ و همانطور که از جدول ۵ مشخص است، با بررسی فاکتور اول ارزیابی که نشان دهنده متوسط خطای نسبی بارش روزانه است، در می‌یابیم که متوسط خطای نسبی در باران‌سنج‌های شماره ۴۴، ۵، ۱۱، ۳۳، ۹، ۱۵، ۴۹، ۱۶، ۳۵، ۶، ۴۵، و ۳۴ قابل قبول است و باران‌سنج شماره ۴۴نسبت به سایر باران‌سنج‌ها با دقت بالاتری قابل تخمین است. معیار دوم ارزیابی که نشان دهنده نحوه توزیع خطا در روزهای مختلف است نیز در این باران‌سنج، مناسب‌تر است. لذا در مرحله اول باران‌سنج شماره۴۴(ایستگاه مارون) نسبت به سایر باران‌سنج‌ها با دقت بالاتری قابل تخمین است. معیار دوم ارزیابی که نشان‌دهنده نحوه توزیع خطا در روزهای مختلف است نیز در این باران‌سنج، مناسب‌تر است. لذا در مرحله اول باران‌سنج شماره۴۴(ایستگاه مارون) را از شبکه باران‌سنجی حذف می‌کنیم.

جدول ۵- مقادیر معیار ارزیابی در مرحله اول

شماره ایستگاه	α_1	α_2	شماره ایستگاه	α_1	α_2	شماره ایستگاه	α_1	α_2	شماره ایستگاه	α_1	α_2

۱	۰/۲۱۴	۰/۴۴۵	۱۷	۰/۴۶۲	۲/۶۳۸	۳۳	۰/۱۰۱	۰/۲۷۰	۴۹	۰/۱۱۶	۰/۲۹۷
۲	۰/۲۱۳	۰/۹۰۹	۱۸	۰/۳۰۳	۱/۴۹۸	۳۴	۰/۱۴۳	۰/۵۴۹	۵۰	۰/۲۱۶	۱/۵۵۰
۳	۰/۲۹۰	۳/۰۱۰	۱۹	۰/۴۵۲	۳/۱۲۹	۳۵	۰/۱۳۱	۰/۱۸۴	۵۱	۰/۴۲۱	۱/۸۱۷
۴	۰/۲۱۷	۰/۸۹۱	۲۰	۰/۳۲۷	۱/۲۷۵	۳۶	۰/۲۸۳	۱/۲۴۷	۵۲	۰/۶۳۱	۳/۲۳۲
۵	۰/۰۸۸	۰/۲۹۹	۲۱	۰/۲۱۲	۰/۷۵۵	۳۷	۰/۳۸۶	۶/۲۶۷	۵۳	۰/۲۵۵	۱/۵۹۹
۶	۰/۱۴۱	۰/۴۳۶	۲۲	۰/۲۰۵	۰/۶۸۶	۳۸	۰/۱۹۰	۰/۵۳۹	۵۴	۰/۱۵۷	۰/۸۹۰
۷	۰/۱۹۸	۲/۴۰۴	۲۳	۰/۲۹۳	۲/۷۴۵	۳۹	۰/۲۷۳	۱/۹۷۱	۵۵	۰/۲۶۴	۳/۲۵۰
۸	۰/۲۴۳	۱/۰۱۰	۲۴	۰/۲۵۷	۱/۹۶۸	۴۰	۰/۱۷۶	۰/۴۸۰	۵۶	۰/۷۳۰	۱۴/۱۰۶
۹	۰/۱۰۹	۰/۴۲۵	۲۵	۰/۳۸۰	۰/۹۲۱	۴۱	۰/۲۹۶	۲/۴۲۰	۵۷	۰/۲۰۶	۱/۵۴۸
۱۰	۰/۳۵۱	۲/۱۱۳	۲۶	۰/۱۸۶	۰/۳۸۶	۴۲	۰/۳۰۸	۱/۴۸۳	۵۸	۰/۴۸۵	۲/۳۶۱
۱۱	۰/۱۰۱	۰/۸۷۸	۲۷	۰/۱۸۴	۰/۶۸۰	۴۳	۰/۲۵۶	۲/۰۱۵	۵۹	۰/۲۵۰	۰/۵۷۱
۱۲	۰/۲۹۴	۰/۹۳۳	۲۸	۰/۲۵۵	۲/۵۳۰	۴۴	۰/۰۷۰	۰/۱۷۳	۶۰	۰/۳۷۰	۲/۲۲۵
۱۳	۰/۳۳۱	۳/۲۵۵	۲۹	۰/۱۷۶	۰/۴۰۳	۴۵	۰/۱۴۳	۰/۳۱۳	۶۱	۰/۳۱۳	۱/۰۳۵
۱۴	۰/۳۵۶	۳/۲۳۹	۳۰	۰/۳۴۹	۲/۹۰۵	۴۶	۰/۵۳۶	۵/۶۵۵	۶۲	۰/۲۹۲	۱/۱۳۲
۱۵	۰/۱۱۵	۰/۳۶۳	۳۱	۰/۱۷۵	۰/۶۸۳	۴۷	۰/۳۷۰	۶/۱۱۷	۶۳	۰/۲۹۷	۲/۰۵۸
۱۶	۰/۱۲۵	۰/۳۸۱	۳۲	۰/۱۵۹	۱/۴۴۶	۴۸	۰/۱۸۵	۰/۲۲۰	۶۴	۰/۱۶۱	۰/۵۷۰

در ادامه پس از حذف هر باران‌سنج، مراحلی را که تاکنون طی شده دوباره تکرار می‌شود، یعنی بار دیگر بهترین برازش، بهترین مدل تغییرنما و بهترین مدل با کمترین خطای تخمین محاسبه می شود. نهایتا با طی ۷ مرحله ۷ ایستگاه باران سنج حذف گردید که موقعیت ایستگاههای حذف شده در شکل ۱ مشخص شده است.

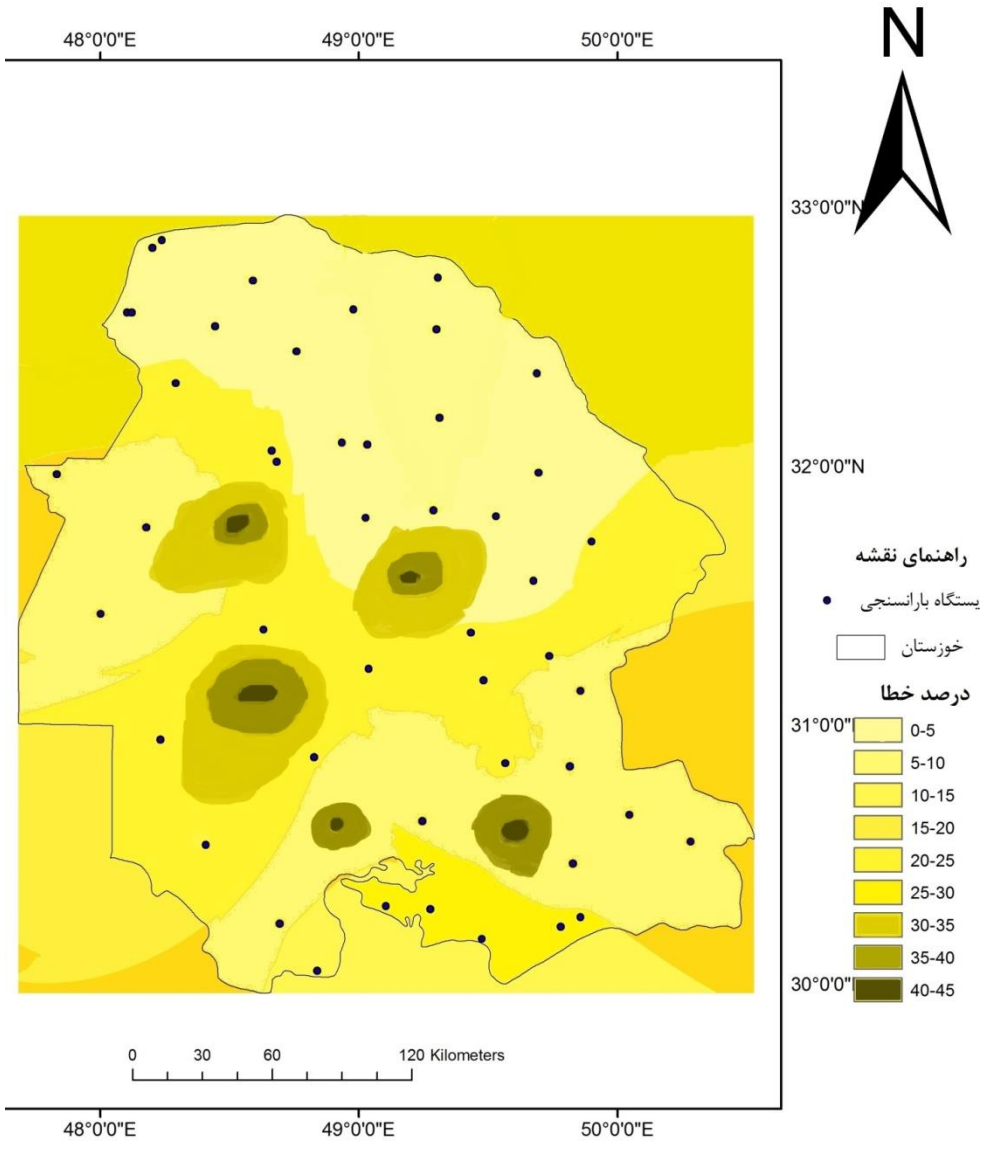


شکل ۱- محل ایستگاه‌های باران‌سنجی قابل حذف در منطقه مورد مطالعه

ایجاد ایستگاه های جدید :

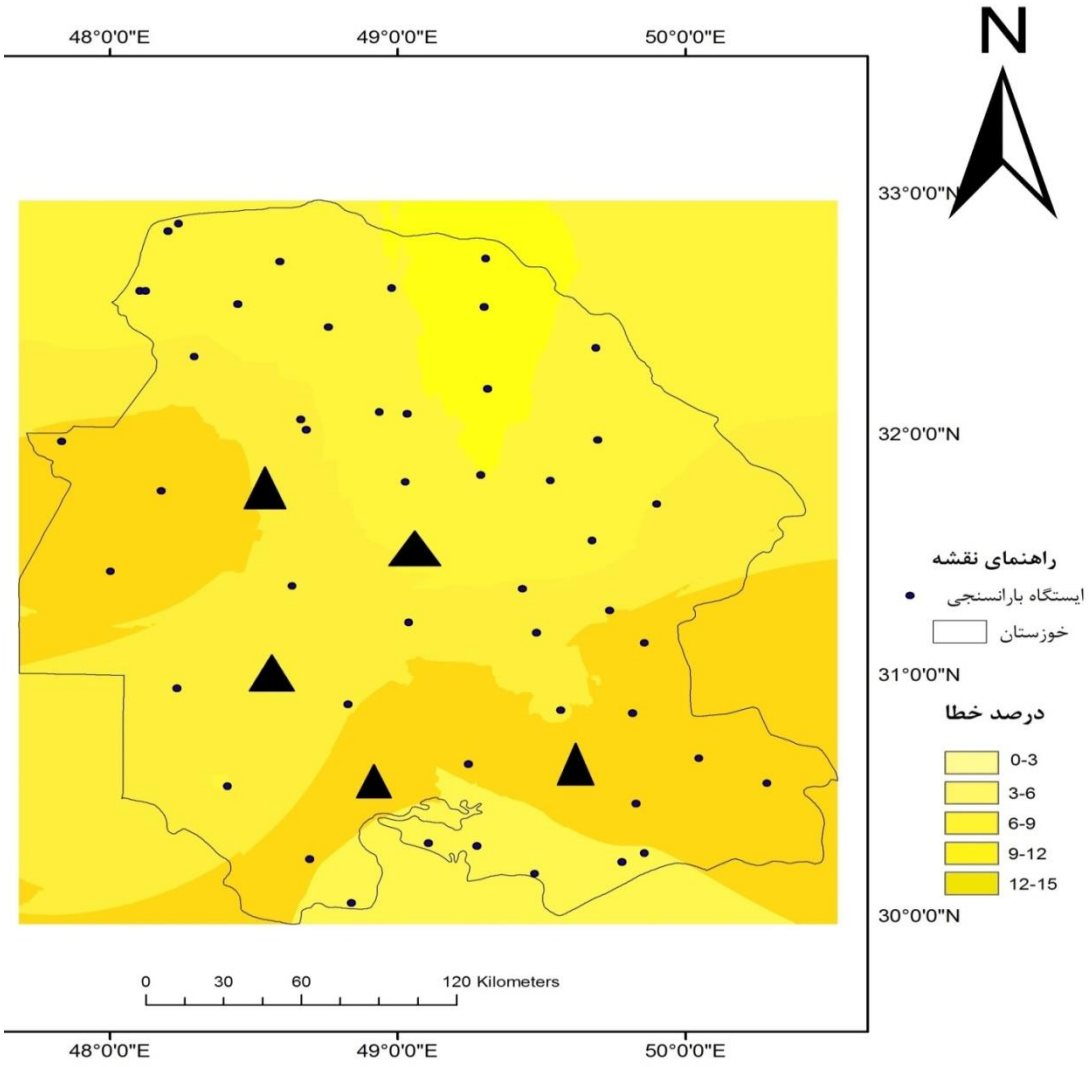
پس از مشخص شدن ایسنگاه هایی کـه بایـد از شـبکه اولیه حذف شود، نوبت به مشخص کردن ایسـتگاه هـای جدید وپیشنهادی برای رسیدن به شبکه بهینه می رسـد. این مرحله به این صورت است که خطای تخمین نسـبی تمام نقاط محاسبه گردد. بدین ترتیب که برای هر نقطـه مجموعه خطای تخمین به مجموع مقـادیر تخمینـی آن نقطه تقسیم می‌شود. با استفاده از این خطای نسبی و نیز شرایط دیگر از قبیل موقعیـت نقـاط، توپـوگرافی، جـاده دسترسی و ...، بهترین نقطه جهت افزودن بارانسنج جدید انتخـاب مـی‌شـود. همـان طـور کـه در مرحلـه حـذف ایستگاه‌ها آمد، حداکثر خطای قابل قبول برای تخمین در منطقه ۱۵٪ در نظر گرفته شد که این مقدار را در مرحله افزودن باران سنج‌های جدید نیز درنظر گرفته می شـود. در این مرحله نیز به دلیل اینکه ممکن است وجـود یـک باران سنج اضافی بر میزان دقت تخمین سایر باران سنج ها تاثیر بگذارد،لذا پس از اضافه نمودن هر باران سنج به شبکه، محاسبات را دوباره انجام داده و سـپس اقـدام بـه

بررسی و اضافه کردن باران سنج جدید می‌گردد. در مرحله اول افزودن باران‌ستج جدید به شبکه، جهت انتخاب بهتر نقاط، نقشه‌های خطای تخمین در نرم‌افزار Arc Gis رسم و بررسی شد. همان‌طور که از شکل۲ مشخص است، بیشترین خطای تخمین در مناطقی که پررنگ‌تر هستند مشاهده می‌شود. بالا بودن خطای تخمین در این مناطق، به دلیل عدم وجود باران‌سنج کافی در این مناطق است.



شکل ۲- نقشه خطای تخمین ایستگاههای باران سنجی

در ۵ مرحله ۵ ایستگاه باران سنجی اضافه شد و پس از اضافه کردن موقعیت انتخابی پنج باران‌سنج جدید به شبکه، بار دیگر خطای نسبی تخمین محاسبه و و نقشه آن رسم گردید. از شکل ۳ این نتیجه حاصل شد که نقاط انتخابی جهت افزودن باران‌سنج‌های جدید به شبکه کافی بوده و نیاز به ایجاد باران‌سنج جدید نمی‌باشد.با افزودن پنج ایستگاه جدید به شبکه باران‌سنجی، در این مرحله خطای تخمین بارندگی در نقاط مختلف شبکه کمتر از ۱۵ در صد گردید که بنابراین نیاز به احداث باران‌سنج جدید دیگری نمی‌باشد.



شکل ۳- نقشه خطای تخمین نسبی منطقه مورد مطالعه پس از افزودن پنج ایستگاه جدید به شبکه

پس از اتمام مراحل حذف ایستگاهای غیر ضروری و افزودن ایستگاه‌های پیشنهادی، موقعیت نهایی باران‌سنج‌های موجود در شبکه مورد مطالعه در شکل ۳ نشان داده شده است. محل ایستگاه‌های پیشنهادی جهت احداث باران‌سنج جدید در جدول ۶ نشان داده شده‌است.

جدول ۶- مختصات و محل ایستگاه‌های پیشنهادی جهت احداث باران‌سنج جدید

اولویت نصب ایستگاه	X	Y	درصد خطای تخمین
۱	۴۹/۵۶	۳۰/۶۳	٪۴۵
۲	۴۹/۱۶	۳۱/۵۱	٪۳۷
۳	۴۸/۴۶	۳۱/۳۵	٪۳۶
۴	۴۸/۹	۳۰/۶	٪۳۲
۵	۴۹/۶۲	۳۰/۶۶	٪۳۱

نتیجه گیری

هدف از بهینه نمودن طراحی شبکه باران سنجی کمتر نمودن هزینه و افزایش دقت برآورد بارندگی است. در این تحقیق برای بهینه سازی ایستگاههای باران سنجی استان خوزستان از ۴۹ ایستگاه داخل استان و ۱۵ ایستگاه در اطراف محدوده استان برای ۶ واقعه بارندگی فراگیر در کل منطقه مورد مطالعه استفاده شد. با بررسی ۶ واقعه بارندگی روزانه، تغییرات مکانی بارندگی با روشهای میان یابی کریجینگ و کوکریجینگ بررسی شد. نتایج نشان داد که روش کریجینگ نتایج دقیق تری در میان یابی داشته و با استفاده از روش کریجینگ نقشه های تغییرات مکانی بارندگی تهیه شد.

برای بهینه سازی تعداد ایستگاههای باران سنجی از معیارهای خطا استفاده شد. از بررسی کلیه مدل‌های تغییرنمای موجود برای روش کریجینگ و اجرای آن‌ها با داده‌های مورد نظر در اکثر موارد مدل گوسی بهترین نتیجه را از نظر برازش منحنی‌ها و کمترین خطا برای محدوده مورد مطالعه داشته است. کمترین مقدار میانگین ریشه مربعات خطا در تمام روش‌های درون‌یابی مربوط به داده‌های روزانه سال ۸۷ و بیشترین آن مربوط به داده‌های روزانه سال ۸۲ می‌باشد. دلیل آن را می‌توان کوچک بودن داده‌های بارش روزانه سال ۸۷ و بزرگ بودن داده‌های بارش روزانه سال ۸۲ دانست. ایستگاه-های بارانسنجی موجود در محدوده مورد مطالعه از تراکم نسبتا مناسبی برخوردار می‌باشند ولی از نظر آرایش در شرایط کاملا بهینه نبوده که در این تحقیق در خصوص بهینه‌سازی آن اقدام شد.

نتایج بهینه سازی شبکه‌های بارانسنجی استان خوزستان نشان می‌دهد که هفت بارانسنج غیر ضروری بوده و تخمین مقدار بارش در آنها با دقت کافی به کمک سایر بارانسنج‌های شبکه، امکان پذیر است. بررسی نقشه موقعیت ایستگاه ها ی موجود در منطقه نشان داد که تراکم بارانسنج ها در قسمت‌های شرق، جنوب شرقی، شمال و شمال غربی حوضه مناسب و دربعضی جاها تراکم زیادی دارند. به گونه ای که در بعضی از ایستگا هها به دلیل فاصله کمی که با ایستگاه های مجاور خود دارند، هر دو ایستگاه روی نقشه به صورت یک نقطه مشاهده میشود . به همین دلیل بیشتر بارانسنج های حذف شده از شبکه در این قسمت ها قرار دارند.

همچنین در مناطقی از شبکه به دلیل کمبود ایستگاه باران‌سنجی، تخمین بارش با خطای زیادی صورت می-گرفت که برای کاهش خطا در منطقه مورد مطالعه پنج ایستگاه باران‌سنج جدید جهت احداث پیشنهاد گردید.

قبل از افزودن ایستگاه‌های جدید خطای تخمین بارندگی در سطح شبکه بیش از ۴۵ درصد بود که میزان این خطا پس از افزودن پنج ایستگاه جدید به کمتر از ۱۵ درصد کاهش یافت. به دلیل اینکه هر ایستگاه باران‌سنج نیاز به مراقبت، نگهبانی، بازدید و تکنسین دارد، در انتخاب موقعیت باران‌سنج‌های جدید این نکته در نظر گرفته شد که با افزودن هر ایستگاه جدید ضمن کاهش خطای تخمین در شبکه، جاده دسترسی و نزدیک بودن به شهر یا روستا لحاظ گردد.

تقدیر و تشکر

این مقاله از پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر استخراج شده است.

منابع

۱- حسنی پاک،ع . ۱۳۹۲. زمین آمار (ژئواستاتیستیک). انتشارات دانشگاه تهران. ۳۱۴ صفحه.

۲- ساری صراف، ب. و ک. آزرم. ۱۳۹۵. برآورد تغییرات مکانی بارش در زاگرس میانی با روش‌های میان‌یابی. دو فصلنامه اندیشه جغرافیایی، دوره ۸، شماره ۱۵، صفحه ۶۷-۵۴.

۳- فرجی سبکبار ،ح.، محمود ی میمند، ه.، نظیف، س. و ر.ح. عباسپور. ۱۳۹۳. توسعهٔ بهینهٔ شبکهٔ باران سنجی با استفاده از روش کریجینگ و آنتروپی در محیط GIS (مورد مطالعه: حوضهٔ آبریز کرخه)، پژوهش های جغرافیای طبیعی، دورهٔ ۴۶، شماره۴، صفحه ۴۶۲-۴۴۵.

۴- مدنی،ح.۱۳۷۴. مبانی زمین آمار . انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر ، واحد تفرش.۶۵۹ صفحه.

۵- نظیف، س.، محمودی میمند،ه.، فرجی سبکبار،ح.۱۳۹۲. مقایسه مکانیابی ایستگاه‌های باران‌سنجی در حوضه کرخه با استفاده از معیار آنتروپی و واریانس خطا در محیط GIS، هفتمین کنگره ملی مهندسی عنران، زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

۶- □□□□□□□□□□□□, □.□. □□□ □□□□□□□□, □.□. (۲۰۱۳), □□□□ □□□□□ □□□□□□□□ □□□□□□□ □□□□□ □□□□□□□□ geostatistical and multivariate techniques, Scientia Iranica, Volume 20, Issue 2, pp. 259-269.

Comparison of geostatistic methods for rain gauge network optimization of Khuzestan province

Abstract

Design of the rain gauge network to increase accuracy and cost decrease in precipitation prediction value needs to find optimum location of the rain gauge station. Most precipitation prediction errors is due to location of the rain gage station that optimum design of the rain gauge stations can reduce precipitation prediction error. In this study used geostatistic methods named Kriging and cokriging to optimization of the Khuzestan rain gauge station network. 49 rain gauges used for 6 daily rainfall. After determination of the best model of semivariograms and the best geostatistic method, in the first step, the rain gauge which precipitation prediction in them has appropriate accuracy determined with the help of other rain gauge network. Result showed that kriging had more accuracy and most daily rainfalls was fitted with gaussian model. In the next step, using assessment of network prediction error value which remain from first step, the points that needs new rain gage determined. Finally7 unnecessary rain gage stations determined and 5 new rain gages added to the network.

Keywords*: Optimization, kriging, Khuzestan province, Rain gauge stations.*