پژوهش‌های آبخیزداری شماره ۹۳، زمستان ۱۳۹۰
(پژوهش و سازندگی)

ارزیابی تراکم شبکه باران‌سنجی استان گلستان با استفاده از روش همبستگی مکانی

• رئوف مصطفی‌زاده
دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور (نویسنده مسئول)
• واحدبردی شیخ
استادیار گروه آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
تاریخ دریافت: مرداد ماه ۱۳۸۹ تاریخ پذیرش: اسفند ماه ۱۳۸۹
تلفن تماس نویسنده مسئول: ۰۹۱۴۴۸۱۵۷۴۳
Email: raoofmostafazadeh@yahoo.com

چکیده

ایستگاه‌های باران‌سنجی معمولاً با هدف اندازه‌گیری و تعیین تغییرات زمانی و مکانی بارش احداث می‌گردند، بنابراین نیازمند یک طراحی دقیق و اصولی می‌باشند. هدف این تحقیق ارزیابی شبکه باران‌سنجی وزارت نیرو در استان گلستان (۳۹ ایستگاه باران‌سنجی با ۱۲ سال دوره آماری) با استفاده از روش همبستگی مکانی بین ایستگاه‌ها است. در این راستا تابع همبستگی بر اساس همبستگی میان داده‌های بارش ماهانه و فواصل ایستگاه‌ها و معیارهای صحت برآورد بارش شبکه باران‌سنجی در دو منطقه همگن محاسبه گردید. بر اساس نتایج تعداد و فواصل ایستگاه‌های مورد نیاز برای بهبود شبکه باران‌سنجی در دو منطقه همگن و فواصل میان آن‌ها بر اساس خطاهای مورد انتظار تعیین شده است. نتایج نشان می‌دهد که در منطقه کوهستانی نسبت به منطقه دشتی، ایستگاه‌های باران‌سنجی دارای پراکنش تقریباً مناسبتری می‌باشند. در مجموع نتایج شبکه باران‌سنجی موجود در برآورد بارش منطقه‌ای، اهداف مطالعات تحقیقاتی و مدیریتی که نیازمند داده‌هایی در سطح خطای ۱۰ تا ۱۵ درصد هستند را تامین می‌نماید. به منظور بهبود صح ت شبکه در برآورد بارش در مقیاس‌های کوچکتر زمانی و مکانی در منطقه کوهستانی افزایش تعداد ایستگاه‌ها و در منطقه دشتی تغییر در آرایش فضایی موجود پیشنهاد می‌گردد.

کلمات کلیدی: شبکه باران‌سنجی، برآورد بارش، همبستگی مکانی، فاصله ایستگاه‌ها، معیار صحت، استان گلستان

www.SID.ir

Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi) No 93 pp: 79-87

Rain-gauge density assessment in Golestan province using spatial correlation technique

By: R. Mostafazadeh , Ph.D Student of Watershed Management Engineering, Dept. of Natural Resources & Marine Sciences, Tarbiat Modares University, (Corresponding Author; Tel: +989144815743) and V.B. Sheikh, Assistant Prof., Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources

Rain-gauge networks are often installed to provide measurements that characterize the temporal and spatial variations of rainfall, thus accurate and efficient design of them are necessary. The main objective of this research is to evaluate the rain gauge network installed and administered by the Ministry of Energy in the Golestan province (39 rain gauge stations during 12 years), using spatial correlation technique. Considering the effects of topography on precipitation pattern, the Golestan province has been divided into two homogeneous areas. In each area the correlation functions based on correlation between monthly rainfall data and distances of stations have been determined and the accuracy of spatial rainfall estimation with the running rain gauges have been evaluated using two accuracy criteria (Ac1 and Ac2). Then, depending on the desired level of accuracy, the required number of rain gauges and their distances and spatial pattern were estimated in both homogeneous areas. Results showed that the present network of rain gauges in the mountainous area has more suitable spatial pattern than the flat area. Also it has been concluded that the existing network of rain gauges would suffice the objectives of management and research studies that require data with 10 to 15% accuracy level. However, in case of need for more accurate estimation of spatio-temporal variations of rainfall, the number of rain gauges in the mountainous area should be increased. While, in the flat area relocation of existing rain gauges is necessary.

Key words: Rain gauge network, Rainfall estimation, Distance between stations, Spatial correlation, Accuracy criteria, the Golestan Province

مقدمه

وجود داده‌های بارش در بسیاری از مطالعات هیدرولوژی، هواشناسی، اقلیمی و طراحی پروژه‌های مهندسی ضروری است (۹، ۱۴). همچنین داده‌های دقیق بارش منطقه‌ای از مولفه‌های اصلی مدل‌های هیدرولوژی است که منجر به افزایش دقت نتایج شبیه‌سازی بارش- رواناب خواهد شد (۶ ، ۲۷). اندازه‌گیری مستقیم بارش و تغییرات مکانی و زمانی آن توسط باران‌سنج‌ها امکان‌پذیر است. بررسی آمار درازمدت نشان می‌دهد که تعداد ایستگاه‌ها دارای نوسان و دوره آماری دارای نواقصی است که با توجه به صرف هزینه‌های اقتصادی منجر به بروز ناهمگنی در کیفیت آمار می‌گردد (۸). ماهیت تصادفی بودن پدیده‌های هیدرولوژیک و استفاده مورد نظر از داده‌ها از ملاحظات مهم در طراحی شبکه نمونه‌برداری است (۲۰). امروزه باران‌سنج‌های پیشرفته قابلیت ثبت شدت بارش در مقیاس زمانی کوچک را دارا می‌باشند ولی تعیین تغییرات مکانی بارش نیازمند شبکه باران‌سنجی با تراکم مناسب است (۱۱، ۱۳). هر چند ماهواره‌ها و رادارها امکان تخمین بارش را در مقیاس وسیع با قدرت تفکیک مکانی بالا، دارا هستند اما پردازش اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای و الگوریتم‌های محاسباتی آن‌ها باید توسط داده‌های شبکه باران‌سنجی برای هر منطقه، واسنجی و اعتبارسنجی گردند (۱۲، ۱۳). با وجود اینکه استفاده از داده‌های راداری محدودیتهایی در طراحی شبکه باران‌سنجی دارد، اما می‌تواند منبع اطلاعات با ارزشی در برآورد خطای شبکه باشد. هر چند بزرگترین چالش در کمی نمودن خطا درنظرگرفتن تغییرات مکانی است. بر اساس نتایج Bardley و همکاران (۵)، برآورد همبستگی مکانی بارش در بازه‌های نمونه‌برداری کوتاه‌مدت به شدت تحت تاثیر تغییرات مکانی است. شبکه نمونه‌برداری مناسب تعدادی از ایستگاه با پراکنش مناسب است که با نمونه‌برداری دقیق، میزان خطا در داده‌های مورد نیاز آن با توجه به شرایط جغرافیایی، حداقل باشد (۱۱، ۲۴). جداول ارائه شده توسط کمیته مشترک هواشناسی و موسسه مهندسان آب[1] در سال ۱۹۳۷ و سازمان جهانی هواشناسی[2] در سال ۱۹۶۱ اولین تلاش‌ها جهت تعیین حداقل تعداد ایستگاه‌های مورد نیاز در مناطق مختلف بر اساس شرایط توپوگرافی و وضعیت پرسنلی بوده است که علیرغم تناسب آن در بسیاری از مناطق، به علت خصوصیات متفاوت محلی و تنوع اقلیمی، اغلب برای بسیاری از مناطق مناسب نمی‌باشد (۱۷). بر اساس توصیه سازمان جهانی هواشناسی، در شرایط عادی وضعیت اقتصادی و پرسنلی، وجود حداقل یک ایستگاه در مناطق مسطح با آب و هوای معتدل در هر ۶۰۰ تا ۹۰۰ کیلومترمربع و در مناطق کوهستانی با آب و هوای معتدل در هر ۱۰۰ تا ۲۵۰ کیلومترمربع به فواصل ارتفاعی ۵۰۰ متر ضروری است (۲۸). از نظر اقتصادی، مکان‌یابی بهینه ایستگاه‌ها برای تعیین میزان و تغییرات شدت در رگبارهای شدید ضروری است و بیان نمودند که راهبرد چند معیاره در طراحی شبکه باران‌سنجی بسیار سودمند خواهد بود (۲۵). افزایش تراکم شبکه نمونه‌برداری باعث بهبود نتایج برآورد بارش متوسط خواهد شد ولی با توجه به هزینه‌های تاسیس ایستگاه و نیز پرسنلی، انتخاب تعداد مناسب ایستگاه و پراکنش مطلوب باید با توجه به شرایط منطقه تعیین گردد. به منظور افزایش صحت داده‌های بارش باید ایستگاه‌ها در سطح منطقه تحت تاثیر دارای پراکنش مناسبی باشند و کیفیت داده‌های آن‌ها کنترل گردد (۲۶، ۲۷). بافکار (۱)، تراکم شبکه‌های باران سنجی را در شمال غرب ایران در یک دوره آماری ۱۵ ساله برای ۳۰ ایستگاه باران سنجی، مورد ارزیابی قرار داد و تعداد باران‌سنج‌های موردنیاز منطقه را مشخص نمود. بررسی

Archive of SID

کفایت ایستگاه‌های باران سنجی و شعاع موثر هر ایستگاه با استفاده از آمار ۱۶ ایستگاه با طول دوره آمار ۲۵ ساله در حوضه میانی استان آذربایجان غربی توسط خلیلی و همکاران (۲)، صورت گرفت و مشخص شد که عدم پوشش ایستگاه‌های باران‌سنجی در ارتفاعات غربی منطقه، دقت تحلیل‌های بارندگی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. مفتاح‌هلقی (۳)، مکان‌یابی ایستگاه‌های خودکار هواشناسی بمنظور اطلاع‌رسانی بهنگام در استان را گلستان مورد ارزیابی قرار داد و بر اساس موقعیت نقاط پرخطر و زیرحوضه‌ها در حوضه گرگانرود، قره‌سو و غرب قره‌سو، تعداد ۲۱ ایستگاه هشدار سیل و همچنین ۵ ایستگاه کلیماتولوژی را جهت تکمیل شبکه نمونه‌برداری اقلیمی پیشنهاد نمود. موریـن و همکاران (۱۸)، با استفاده از تحلیل مولفه‌های اصلی بر اساس داده‌های بارش، ۳۰ ایستگاه باران‌سنجی را به سه دسته همگن تقسیم نمودند. جیمز و همکاران (۱۵)، شبکه باران‌سنجی حوضه باراتاپوزا[3] در هندوستان را با استفاده از داده‌های ۵ سال میانگین سالانه با روش همبستگی مکانی، بهبود شبکه باران‌سنجی را بر اساس میزان صحت مورد نیاز در برآورد منطقه‌ای بارش، توصیه نمودند. گزارش برنامه HYREX[4] که با هدف اندازه‌گیری بارش برای محاسبات هیدرولوژیک، اعتبارسنجی تکنیک‌های راداری در بهبود برآورد بارش، مدل سازی مکانی-زمانی داده‌های بارش انجام گرفت، در سال ۲۰۰۰ ارائه گردید (۱۹). شبکه باران سنجی را در حوضه رودخانه دونگ‌جیانگ[5] بهینه نمودند و سپس داده‌های بارش را با استفاده از اطلاعات بارش معمولی و بهینه برآورد نمودند و نتیجه گرفتند که امکان کاهش تعداد ایستگاه‌ها از ۱۴ ایستگاه به ۱۰ ایستگاه وجود دارد (۲۹). Petocz و Fisher (۲۲)، با بررسی داده‌های ۲۴ ایستگاه باران‌سنجی در استرالیا و بررسی خطای درون‌یابی خطی بارش در تعداد متفاوت ایستگاه و اندازه‌های مختلف شبکه سلولی نتیجه گرفتند که تعداد و آرایش ایستگاه‌های موجود در شبکه پایش عامل موثر می‌باشد. وستکات (۲۷)، با تحلیل بارش ماهانه سال ۲۰۰۸ و میانگین ۱۹ ساله بارش حوضه دریاچه میشیگان[6] بیان نمود که با تراکم موجود ایستگاه‌های باران‌سنجی و دقت در ثبت داده‌ها، نتایج اجرای پروژه‌های هیدرولوژی در منطقه بر اساس تغییرات مکانی بارش، قابل اعتماد خواهد بود. مرور مطالعات نشان می‌دهد که بهبود شبکه‌های نمونه‌برداری در کشور نیازمند تحقیقات بیشتری است. هدف این تحقیق ارزیابی ایستگاه‌های باران‌سنجی وزارت نیرو در استان گلستان با استفاده از تحلیل همبستگی مکانی بارش ماهانه می‌باشد. در این راستا میزان خطا در برآورد بارش با تعداد ایستگاه‌های مختلف بررسی می‌گردد و تعداد ایستگاه مناسب و فواصل آن‌ها بر اساس سطح دقت مورد انتظار مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. تعیین میزان خطا در برآورد متوسط بارش منطقه‌ای از طریق بهبود و تجهیز شبکه باران‌سنجی از مواردی است که می‌تواند در تجهیز و توسعه بهینه شبکه مناسب آماربرداری و ثبت اطلاعات اقلیمی مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

خصوصیات منطقه مورد مطالعه

استان گلستان با مساحتی حدود ۲۲۵۱۰ کیلومترمربع در شمال شرق کشور در محدوده‌ی جغرافیایی ′ ۵۰ °۵۳ تا ′ ۳۰ °۵۶ طول شرقی و ′ ۳۰ °۳۶ تا ′۰۵ °۳۸ عرض شمالی واقع شده است. دمای متوسط سالانه استان حدود ۱۷/۹ درجه سانتی‌گراد، حداکثر و حداقل مطلق دما به ترتیب ۴۳/۶ و ۶/۶- درجه سانتی‌گراد است. میزان بارش استان گلستان از ۱۵۰ میلی‌متر در مناطق شمالی تا ۷۵۰ میلی‌متر در مناطق جنوب غربی متغیر است و متوسط بارش سالانه آن برابر ۴۵۰ میلی‌متر است. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، بخش شمالی دارای اقلیم نیمه‌خشک و بخش‌های جنوبی و جنوب‌غرب، معتدل نیمه مرطوب می‌باشد.

روش تحقیق

ایستگاه‌های باران‌سنجی توسط سه وزارتخانه راه و ترابری (سازمان هواشناسی)، وزارت جهادکشاورزی و وزارت نیرو اداره می شوند، که بر اساس اهداف و نیازهای خود به ثبت اطلاعات می‌پردازند. سازمان جهاد کشاورزی نیز در برخی نقاط اقدام به احداث ایستگاه‌های هواشناسی نموده است که طبق توافقات به عمل آمده معمولا اطلاعات آن در اختیار سازمان هواشناسی قرار می‌گیرد. ویژگی مهم ایستگاه‌های وزارت نیرو این است که اغلب برای تحلیل‌های هیدرولوژیکی (نه پیشگوئی وضعیت هوا) مورد استفاده قرار می‌گیرند. معمولاً در پروژه‌های مرتبط با منابع طبیعی، آبخیزداری و منابع آب، از داده‌های اقلیمی ایستگاه‌های وزارت نیرو در برآورد بارش منطقه‌ای استفاده می‌گردد، بعبارتی تحلیل‌های ارائه شده، فقط بر اساس این ایستگاه‌ها صورت گرفته است. در این تحقیق بر اساس تداوم ثبت و وجود آمار، داده‌های بارندگی ماهانه ۳۹ ایستگاه باران‌سنجی فعال شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان در فاصله سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۶ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. البته در چند سال اخیر، تعداد زیادی ایستگاه باران‌سنج در نواحی مختلف استان و بخصوص در ارتفاعات نصب شده است اما با توجه به طول دوره کم آمار این ایستگاه‌ها در حال حاضر امکان استفاده از آمار بلندمدت آن‌ها وجود ندارد (۳). در شکل ۱، موقعیت و پراکنش ایستگاه‌های باران‌سنجی منطقه بر روی مدل رقومی ارتفاعی ارائه شده است.

در بررسی وضعیت شبکه باران‌سنجی باید منطقه بر اساس ارتفاع، شیب، جهت و عوارض جغرافیایی موثر بر پراکنش بارش به مناطق همگن تقسیم گردد (۸، ۱۰). بر این اساس، با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی، نقشه شیب و جهت جغرافیایی استخراج گردید و با توجه به عوارض موثر در پراکنش بارش (۴)، و تاثیرپذیری شدید منطقه از بارش‌های کوهستانی، منطقه مورد مطالعه به دو منطقه تقریباً مسطح و کوهستانی تقسیم گردید. با توجه به اینکه تغییرات مکانی بارش می‌تواند با استفاده از تابع همبستگی مکانی میان ایستگاه‌ها کمی گردد با در نظر گرفتن معیار خطای مشخص، می‌توان شبکه باران‌سنجی را طراحی نمود (۷، ۲۱). تابع همبستگی بارش بر اساس رابطه (۱)، برابر است با:

$$\rho(d) = \rho(0)\exp(-d / d_0)$$

که در آن، $\rho(d)$ همبستگی بارش ماهانه میان ایستگاه‌ها، d فاصله میان ایستگاه‌ها (کیلومتر)، d_o شعاع همبستگی و $\rho(o)$ همبستگی بارش در فاصله صفر است که مقدار $\rho(o)$ باید برابر یک باشد ولی به علت وجود خطای اندازه‌گیری و نیز تغییر پارامترهای اقلیمی در مقیاس کوچک، از مقدار مذکور کمتر خواهد بود (۱۵). در این تحقیق مقادیر ضریب همبستگی پیرسون میان داده‌های ماهانه بارش بین تمامی ایستگاه‌ها در دو منطقه تفکیک شده بصورت دو به دو محاسبه گردید (۷، ۲۳). سپس

Archive of SID

فواصل میان تمامی ایستگاه‌ها در منطقه مورد مطالعه به صورت دو به دو با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی به تعداد n(n-۱)/۲، برابر ۲۷۶ و ۱۰۵ فاصله، به ترتیب در مناطق دشتی و کوهستانی، محاسبه گردید. سپس مقادیر همبستگی بارش ماهانه میان ایستگاه‌ها بر اساس فاصله ۱۰ کیلومتری به ۲۱ کلاس طبقه‌بندی شدند. مقادیر متوسط همبستگی بارش ماهانه و فواصل ایستگاه‌ها (کیلومتر) در طبقات محاسبه شدند. مقادیر $\rho(o)$ و d_o در رابطه (۱)، مبنای ارزیابی تعداد ایستگاه‌ها را با استفاده از دو معیار صحت فراهم می‌نمایند. اگر مقادیر $\rho(o)$ و d_o محاسبه شوند، واریانس خطا در برآورد میانگین بارش با استفاده از یک ایستگاه در مرکز سطح منطقه، با رابطه (۲) بیان می‌گردد (۱۵):

$$V_e = (\sigma_h^2 [1-\rho(0)]) + (0.23\,\sigma_h^2 \frac{\sqrt{s}}{d_0})$$

که در آن، V_e واریانس خطا، σh^2 واریانس سری زمانی داده‌های بارش و s مساحت تحت پوشش شبکه نمونه‌برداری در برآورد مکانی بارش می‌باشد. در رابطه ۲، قسمت اول به خطای تصادفی اندازه‌گیری و قسمت دوم به تغییرات مکانی بارش در منطقه مربوط می‌گردد. بنابراین در یک منطقه با تعداد ایستگاه، واریانس خطا در برآورد میانگین بارش با استفاده از رابطه (۳) بدست می‌آید:

$$V_{en} = \frac{\sigma_h^2}{n}\left(1-\rho(0)+0.23\left(\frac{\sqrt{s}}{d_0\sqrt{n}}\right)\right)$$

با فرض نمودن فواصل تقریباً یکنواخت ایستگاه‌ها در یک مساحت مشخص، می‌توان با توجه به تعداد ایستگاه‌های مختلف، فواصل میان ایستگاه‌ها را به صورت سلول‌های مربعی با رابطه ۴ بیان نمود:

$$r = \sqrt{\frac{s}{n}}$$

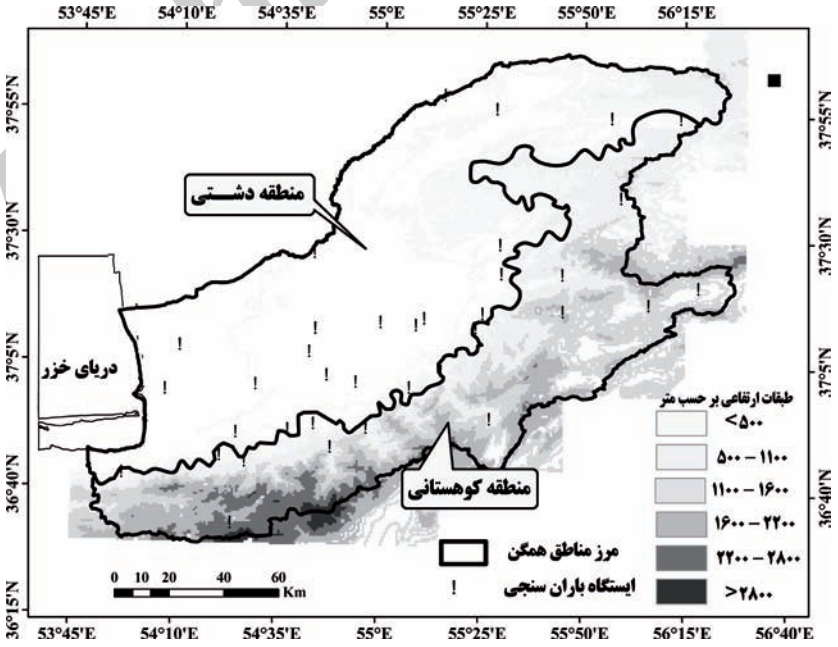
بنابراین معیار صحت ۱ یا میانگین مربعات خطای نسبی برابر خواهد بود با:

$$Ac_1 = C_V \sqrt{\frac{1-\rho(0)+\frac{0.23\sqrt{s}}{d_0\sqrt{n}}}{n}}$$

که در آن C_v، ضریب تغییرات داده‌های ماهانه بارش می‌باشد. همچنین با استفاده از معیار صحت ۲ (خطای نسبی درون‌یابی خطی مقادیر بارش)، حداکثر خطای نسبی درون‌یابی خطی میان دو ایستگاه در مرکز سلول‌ها برآورد می‌گردد (رابطه ۶):

$$Ac_2 = C_V \sqrt{\frac{1}{3}[1-\rho(0)]+0.52\frac{\rho(0)}{d_0}\sqrt{\frac{s}{n}}}$$

در روابط ۵ و ۶ می‌توان میزان خطای برآورد بارش با هر تعداد ایستگاه در سطح مناطق مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (۱۵). با رسم نمودار خطای مرتبط با تعداد ایستگاه‌ها، (با استفاده از روابط ۵ و ۶) می‌توان تعداد ایستگاه لازم برای شبکه را تعیین نمود. در ادامه با استفاده از رابطه ۷، میزان خطای تعداد ایستگاه‌های موجود در برآورد بارش ماهانه در دو منطقه همگن محاسبه گردید.



شکل ۱- مدل رقومی ارتفاع و موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی وزارت نیرو در استان گلستان

www.SID.ir
Archive of SID

$$E(\%)=\frac{(STDEV/\overline{P})}{\sqrt{n}}$$

کـه در آن، STDEV انحـراف معیار داده‌های بارش متوسـط ماهانه ایستگاه‌ها، P بارش متوسط ماهانه ایستگاه‌ها و n تعداد ایستگاه اندازه‌گیری بارش می‌باشـد. سپس بر اساس نتایج ارائه شـده و با هدف کاهش خطا در برآورد منطقه‌ای بارش، تعداد مناسـب ایسـتگاه باران‌سـنجی در دو منطقه همگن پیشـنهاد می‌گردد و با شـبکه موجود مقایسـه و مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

نتایج

همانگونه که در روش تحقیق ذکر شـد، ابتدا کل اسـتان به دو منطقه همگن تقسیم گردید. با استفاده از شکل ۲ می‌توان بیان نمود که تقسیم‌بندی منطقـه با دقت قابل قبولی صورت گرفته اسـت زیرا روند تغییرات میانگین مقادیر بارش در ماه‌های مختلف در ایسـتگاه‌های دو منطقه مذکور مشـابه می‌باشد.

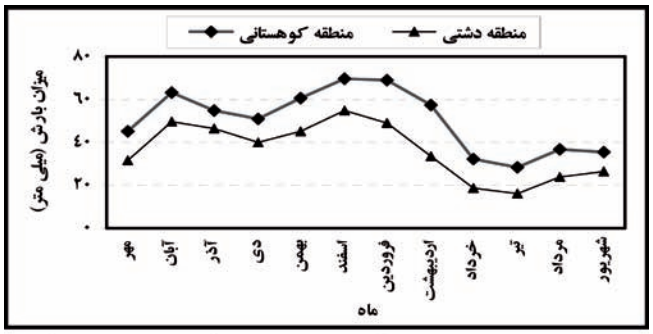
در شکل‌های ۳ و ۴ رابطه میان کلاس‌بندی فاصله ایستگاه‌ها در فواصل ۱۰ کیلومتری و ضریب همبسـتگی بـارش ماهانه در دو منطقه همگن ارائه شده است.

همانطور که در شـکل‌های ۳ و ۴ مشـاهده می‌شـود با افزایش فاصله بین ایسـتگاه‌ها، از میزان ضریب همبستگی بارش ماهانه میان آن‌ها کاسته می‌شـود. با اسـتفاده از روابط برازش داده شـده، مقادیـر پارامترهای مورد استفاده برای تعیین مقادیر معیارهای صحت در دو منطقه همگن، در جدول ۱ ارائه شده است.

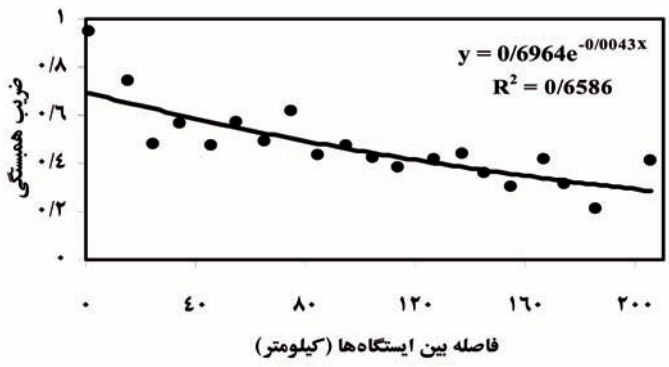
با اسـتفاده از روابط ارائه شـده مقادیر معیارهای صحت برای دو منطقه کوهسـتانی و دشتی به ازای تعداد ایسـتگاه، درصد خطا در برآورد بارش و همچنین فواصل بین ایستگاه‌ها محاسبه گردید که در شکل‌های ۵ و ۶ ارائه شده است.

بر اسـاس نتایـج رابطه ۷، و همچنین شـکل‌های ۵ و ۶، میزان خطای موجـود در اندازه‌گیری بارش ماهانه در دو منطقه کوهسـتانی و دشـتی به ترتیب برابر ۱۳/۶ و ۱۱/۶ درصد است. به منظور برآورد میزان خطای شبکه باران‌سـنجی در مقیـاس زمانی کوتاهتـر (معیار صحت ۱) تعداد مناسـب ایسـتگاه مورد نیاز برای بهبود برآورد بارش و کاهش خطا تا میزان ۵ درصد در جدول ۲ ارائه شده است و نیز نقشه آرایش مکانی ایستگاه‌ها، متناسب با میزان خطای مذکور بر اسـاس جدول ۲ تهیه گردید که در شکل ۷ نمایش داده شـده است. بر اسـاس اطلاعات شکل ۷، موقعیت نقاط احداث ایستگاه پیشـنهادی بر اساس سطح تاثیر محاسبه شده ایستگاه‌ها با میزان خطای ۵ درصد در برآورد منطقه‌ای بارش، در جدول ۳ ارائه شده است.

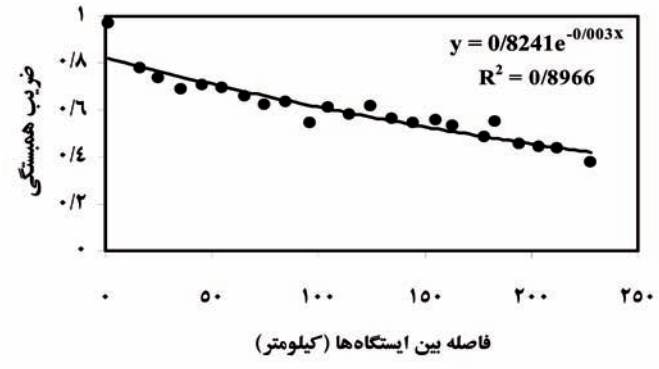
با مقایسـه نقشـه پراکنش ایسـتگاه‌های موجود و پیشنهادی بر اساس فواصل مناسـب ایسـتگاه‌ها می‌توان گفت که در منطقه دشـتی ایستگاه‌ها دارای پراکنش نامناسـبی هسـتند ولی در منطقه کوهسـتانی تقریباً محل ایسـتگاه‌ها دارای آرایش مناسـبتری هستند. همانطور که قبلاً اشاره شد در منطقه تعدادی ایسـتگاه وجود دارند که غیرفعال هسـتند و یا در چند سال اخیر در ثبت اطلاعات آن‌ها وقفه ایجاد شده است که می‌توان نسبت به آغاز فعالیت آن‌ها اقدام نمود. در منطقه دشـتی میتوان نسبت به تغییر آرایش و یا حذف ایسـتگاه‌ها اقدام نمود. با اسـتفاده از نقشه ارائه شده می‌توان با در نظر گرفتن محدودیت‌های اقتصادی و امکان دسترسی به محل‌های مناسب از نظر توپوگرافی و مجاورت با روسـتاها و نظرات کارشناسـان، ایستگاه‌های جدیدی در مناطق مذکور مسـتقر نمود و یا نسبت به تغییر آرایش موجود، اقدام نمود. البته پیشـنهاد دقیق محل ایسـتگاه‌ها نیازمند کاربرد روشهایی مانند زمین‌آمار اسـت که توانایی تشخیص محل کمبود آمار را داشته و بروز خطای ناشی از کمبود ایستگاه را در برآورد بارش مکانی مشخص می‌سازد.



شکل ۲ - مقایسه مقادیر میانگین بارش در ایستگاه‌های مناطق همگن



شکل ۳- رابطه فاصله ایستگاه‌ها و ضریب همبستگی بارش ماهانه در منطقه کوهستانی

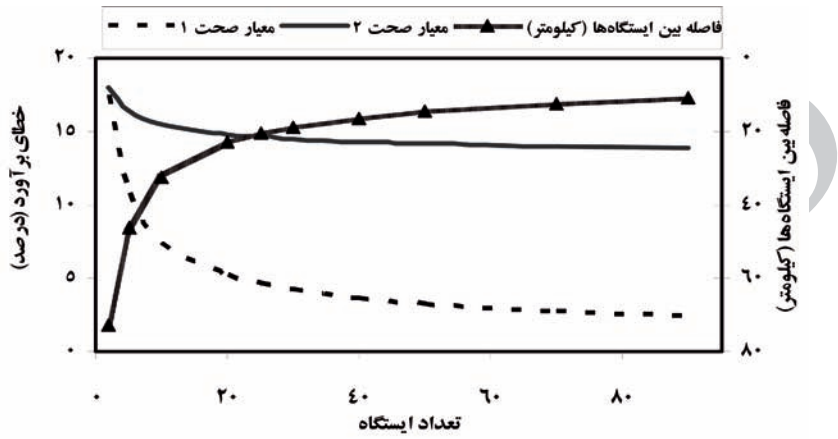


شکل ۴- رابطه فاصله ایستگاه‌ها و ضریب همبستگی بارش ماهانه در منطقه دشتی

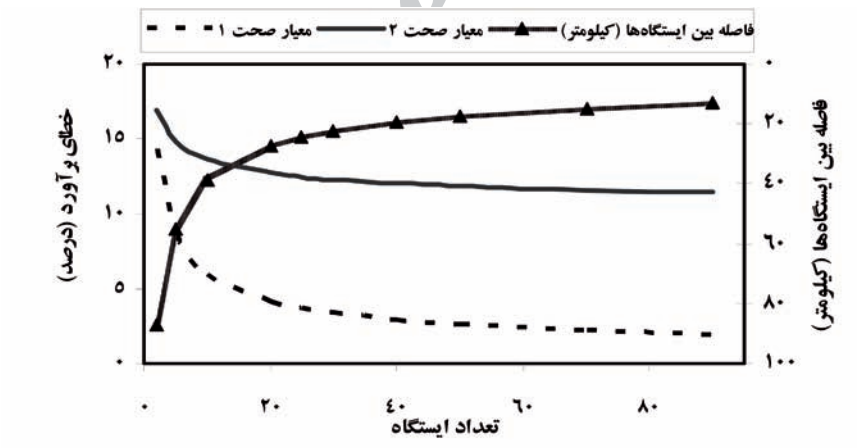
www.SID.ir

جدول ۱- مقادیر پارامترهای محاسباتی روابط مورد استفاده در تعیین معیارهای صحت با استفاده از رابطه نمایی

منطقه همگن	ضریب تبیین	مساحت (کیلومتر مربع)	تعداد ایستگاه	انحراف معیار داده‌های بارش	همبستگی فاصله صفر	شعاع همبستگی (کیلومتر)
کوهستانی	۰/۶۵۸	۹۲۷۰/۴	۱۵	۲۵۰/۷۶	۰/۶۹۶	۲۶۸/۹
دشتی	۰/۸۹۶	۱۳۲۳۹/۶	۲۴	۱۸۳/۵۲	۰/۸۲۴	۳۳۳/۳



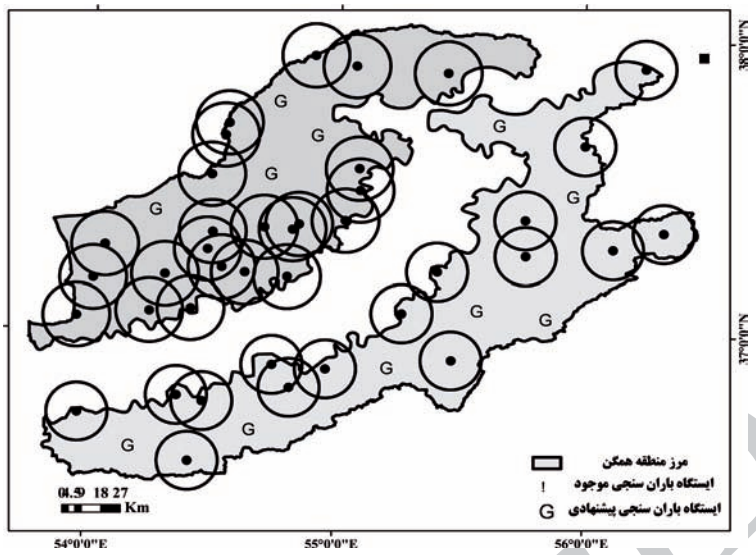
شکل ۵- تعداد ایستگاه‌های موردنیاز برای افزایش صحت بر اساس میزان خطای درون‌یابی بارش و فواصل ایستگاه‌های منطقه کوهستانی



شکل ۶- تعداد ایستگاه‌های موردنیاز برای افزایش صحت بر اساس میزان خطای درون‌یابی بارش و فواصل ایستگاه‌ها در منطقه دشتی

جدول ۲- تعداد ایستگاه‌های موردنیاز و فواصل آن‌ها برای سطح خطای ۵ درصد در برآورد بارش

منطقه همگن	تعداد ایستگاه موردنیاز	ایستگاه‌های موجود	فاصله ایستگاه‌ها (کیلومتر)	سطح تاثیر ایستگاه‌ها (کیلومترمربع)
کوهستانی	۲۲	۱۵	۲۱/۹۶	۱۵۱۵
دشتی	۱۶	۲۴	۳۰/۷۷	۲۹۷۴



شکل ۷- آرایش مکانی ایستگاه‌های پیشنهادی با میزان خطای ۵ درصد در فواصل محاسباتی در برآورد بارش در منطقه مورد مطالعه

جدول ۳- موقعیت احداث ایستگاه‌های جدید در منطقه مورد مطالعه

ردیف	منطقه کوهستانی		ردیف	منطقه دشتی	
	X (UTM)	Y (UTM)		X (UTM)	Y (UTM)
۱	۲۴۷۲۰۲	۴۰۵۴۸۹۵	۱	۲۷۳۰۶۴	۴۱۳۱۱۶۱
۲	۲۹۰۶۱۸	۴۰۶۰۹۴۰	۲	۳۲۶۶۱۲	۴۱۴۸۱۹۹
۳	۳۴۰۰۷۹	۴۰۸۴۰۲۲	۳	۳۴۸۰۳۱	۴۱۶۶۶۹۷
۴	۳۸۰۷۴۶	۴۱۷۵۲۵۰	۴	۳۳۰۵۰۷	۴۱۸۳۷۳۵
۵	۳۷۲۵۰۳	۴۱۰۵۴۵۵	-	-	-
۶	۴۰۷۱۲۶	۴۱۴۸۳۲۱	-	-	-
۷	۳۹۷۲۳۳	۴۱۰۲۱۵۸	-	-	-

بحث و نتیجه‌گیری

تعداد باران‌سنج‌های یک منطقه به تغییرات منطقه‌ای بارش و اهداف مرتبط با برآورد میزان بارش بستگی دارد. تراکم ایستگاه‌ها در تعدادی از حوضه‌ها بسیار زیاد و در تعدادی از آن‌ها، ایستگاه‌های کافی برای دستیابی به دقت کافی در برآورد بارش، وجود ندارد. در این تحقیق با استفاده از روش همبستگی بارش ماهانه، شبکه باران‌سنجی ایستگاه‌های وزارت نیرو در استان گلستان در یک دوره زمانی ۱۲ ساله، مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این تحقیق استفاده از تکنیک همبستگی مکانی بارش در مقیاس زمانی ماهانه، امکان برآورد خطای موجود در نمونه‌برداری را فراهم نموده است که با نتایج تحقیقات James و همکاران (۱۵)، در یک راستا است. مقادیر ضریب تبیین معادلات نمایی در شکل‌های ۳ و ۴ بیان می‌کند که در مناطق دشتی نسبت به مناطق کوهستانی محدوده مورد مطالعه همبستگی بارش ماهانه میان ایستگاه‌ها بر اساس فاصله بیشتر است که می‌توان علت را در تغییرپذیری بارش بر اثر عامل توپوگرافی نسبت داد، که نتایج تحقیق Buytaert و همکاران (۹)، را تائید می‌نماید. بر اساس نتایج تحقیق می‌توان تعداد ایستگاه‌ها و فواصل میان ایستگاه‌ها را با سطوح خطای مورد نظر تعیین نمود که مبنای ارزیابی ایستگاه‌های باران‌سنجی می‌باشد. بر اساس نتایج جدول ۲، در منطقه کوهستانی مورد تحقیق به منظور کاهش سطح خطای برآورد منطقه‌ای بارش تا میزان (۵ درصد)، نیاز است که ۷ ایستگاه باران‌سنجی به ایستگاه‌های موجود افزوده گردد (جدول ۳). این در حالی است که در منطقه دشتی درصورت بهبود آرایش مکانی ایستگاه‌ها می‌توان

www.SID.ir

بـا تعداد ۱۶ ایسـتگاه به برآورد بارش منطقه‌ای بـا میزان خطای ۵ درصد، دسـت یافت که با نتایج مفتاح‌هلقی (۳)، مبنی بر افزایش تعداد ایسـتگاه‌ها جهت تکمیل شـبکه نمونه‌برداری اقلیمی (در منطقه کوهسـتانی) مطابقت دارد. مقادیر شـعاع تاثیر ایستگاه‌ها در این تحقیق با نتایج تحقیق Forero و همکاران (۱۲)، در منطقه کوهسـتانی مشـابه است ولی در منطقه دشتی به دلیل تفاوت مناطق اقلیمی و داده‌های مورد اسـتفاده همخوانی ندارد. بر اساس نقشه‌های ارائه شده در شکل ۷ می‌توان گفت که ایستگاه‌های موجود در شـبکه باران‌سنجی موجود در منطقه کوهستانی نسبت به منطقه دشتی، دارای پراکنش تقریباً مناسـبتری می‌باشـند. در منطقه کوهستانی افزایش تعداد ایسـتگاه و در منطقه دشـتی تغییر در آرایـش فضایی می‌تواند باعث بهبود صحت شـبکه در بـرآورد مکانی بارش گردد. در منطقه دشـتی عدم تناسـب پراکنش ایسـتگاه‌ها در منطقه باعث تداخل سطوح تاثیر ایستگاه‌ها می‌گردند. در حالیکه در مناطقی که تحت پوشش ایستگاه‌ها قرار نمی‌گیرند خطـا در برآورد منطقه‌ای بارش افزایش می‌یابد، (همسـو با نتایج Petocz و Fisher، ۲۰). پیشـنهاد می‌شـود که بهبود و تصحیح محل ایستگاه‌ها با استفاده از زمین‌آمار مورد ارزیابی قرار گیرد و نیز با توجه به چند بعدی بودن مساله، مواردی همچون، هزینه نصب و تجهیز یک شبکه باران‌سنجی، هزینه پرسنلی و قابلیت دسترسی به محل در قالب یک ارزیابی چند معیاری مدنظر قرار گیرد. در مجموع می‌توان گفت که نتایج شـبکه باران‌سنجی موجود در برآورد بارش منطقه‌ای اهداف مطالعـات مدیریتی در پروژه‌های آبخیزداری و طرح‌های منابع طبیعی، که نیازمند داده‌هایی در سـطح خطای ۱۰ تا ۱۵ درصد هسـتند را تامین‌می‌نماید. بدون تردید با در نظر گرفتن ایستگاه‌های سازمان هواشناسـی و وزارت جهاد کشاورزی، نتایج تحقیق متفاوت می‌بود اما بدیهی است که بر اسـاس اهداف متفاوت پروژه‌های مرتبط با هر ارگان، در طرح‌ها معمولاً به تناسب از داده‌های بارش آن سازمان استفاده می‌گردد. علاوه بر این، در نظرگرفتن تمامی داده‌ها در تحقیق، علیرغم وجود مشکلاتی در مورد ماهیت و عدم پایه زمانی مشترک داده‌ها، قضاوت صحیحی از دقت داده‌های مورد اسـتفاده در پروژه‌ها به منظور بـرآورد منطقه‌ای بارش، ارائه نخواهد نمود. ارزیابی شـبکه باران‌سنجی موجود در برآورد بارش با مقیاس زمانی کوتاه و در حد رگبارهای بارش در منطقه نیازمند مطالعات بیشـتری است که در راستای تحقیق حاضر پیشنهاد می‌گردد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از همکاری صمیمانه شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان به جهت تهیه آمار و اطلاعات ایسـتگاه‌های باران‌سـنجی منطقه مورد مطالعه، سپاسگزاری می‌گردد.

پاورقی‌ها

1 - Joint Committee of the Meteorological Office and Institute of Water Engineers
2 - World Meteorological Organization
3 - Bharathapuzha
4 - Hydrological Radar Experiment
5 - Dongjiang
6 - Mishigan

منابع مورد استفاده

۱- بافکار، ع. (۱۳۷۹) ارزیابی تراکم شبکه‌های باران سنجی در غرب ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. کشاورزی، آبیاری و زهکشی. دانشگاه شیراز. ۶۳ ص.
۲- خلیلـی، ک. بشـارت، س. جبـاری، آ. (۱۳۸۶) بررسـی کفایت ایسـتگاه‌های باران‌سنجی و شعاع موثر هر ایستگاه (مطالعه موردی: حوضه میانی استان آذربایجان غربی). مجموعه مقالات نهمین سـمینار سراسـری آبیاری و کاهش تبخیر. کرمان. ۳۰۹۰ ص.
۳- مفتاح هلقی، م. (۱۳۸۷) مکان‌یابی ایسـتگاه‌های خودکار هواشناسـی به منظور اطلاع‌رسـانی بهنگام در استان گلستان. وزارت کشـور. استانداری گلستان، معاونت برنامه ریزی. ۲۳ ص.

4- Anders, A.M., Roe, G.H., Hallet, B., Montgomery, D.R., Finnegan, N.J., and Putkonen, J. (2006) Spatial patterns of precipitation and topography in the Himalaya, *Geological Society of America*. Doi: 10.1130/2006.2398 (03):39–53.
5- Bardley, A.A., Peters-Lidard, Ch., Nelson, B.R., Smith, J.A., and Young, C.B. (2002) Raingage network design using NEXRAD precipitation estimates. *Journal of the American Water Resources Association*, 38(5):1393-1407.
6- Bell, V.A., and Morre, R.J. (2000) The sensitivity of catchment runoff models to rainfall data at different spatial scales. *Hydrology and Earth System Sciences*. 4(4):653-667.
7- Berne, A., Delrieu, G., Creutin, J.D., and Obled, C. (2004) Temporal and spatial resolution of rainfall measurements required for urban hydrology. *Journal of Hydrology*. 299:66–179.
8- Bleasdale, A. (1967) *Rain-gauge network development and design with special reference to the United Kingdom.* Meteorological Office, England. International Association of Hydrological Sciences. No. 146.
9- Buytaert, W., Celleri, R., Willems, P., Bievre, B.D., and Wyseure, G. (2006) Spatial and temporal rainfall variability in mountainous areas: A case study from the south Ecuadorian Andes. *Journal of Hydrology*. doi:10.1016/j.jhydrol.2006.02.031.
10- Chen, G.Y., and Chen, CH, T. (2002) *An investigation of the deployment of rain gauges base on spatial analyses:* Fong-Shang River Watershed, Taiwan, 5th International Conference on Hydro-Science and –Engineering, Warsaw, Poland. 12p.
11- Cheng, K.SH, Lin, Y.C., and Liou, J.J. (2007) Rain-gauge network evaluation and augmentation using geostatistics. *Journal of Hydrological Process.* DOI: 10.1002/hyp.6851. 11p.
12- Forero, C.A., Seed, A., Sempere-Torres, D., and Pegram,

Archive of SID

tralia. University of Technology, Sydney, Final Report No 59. 77p.

23- Sen, Z., and habib, Z. (2001) Monthly spatial rainfall correlation functions and interpretations for Turkey. *Hydrologkaî Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques*, 46(4):525-535.

24- Shaw, E.M. (1967) *A rain gauge network prepared for the Devon River Board area of the United Kingdom.* Bulletin of the International Association of Hydrological Sciences. IAHS Pub. No. 067.

25- Volkmann, T.H.M., Lyon, S.W., Gupta, H.V., and Troch, P.A. (2010) Multi-criteria design of rain gauge networks for flash flood prediction in semi-arid catchments with complex terrain, *Water Resources Research*, 46, W11554, doi:10.1029/2010WR009145.

26- Walawender, J., Dyras, I. Lapeta, B., Serafin-Rek, D., and Twardowski, A. (2008) Qualitative analysis of precipiation distribution in Poland with use of different data sources. *Journal of Advances in Science and Research*. 2:27–30.

27- Westcott, N.E. (2009) *Continued operation of a 25-raingage network for collection, Reduction, and analysis of precipitation data for Lake Michigan Diversion accounting*: water year 2008. University of Illinois at Urbana-Champaign. Report No 4. 75p.

28- World Meteorological Organization. (1961) *Commission for Hydrological Meteorology*, Abridged Final Report of the First Session, Washington, Geneva No. 105. RP. 45.

29- Zhang, H., Li, J., Huang, L. (2007) Optimization of rainfall station network in the river basin of Fengshuba Reservoir. Journal of Northwest *Water Resources & Water Engineering*, 6:73-75.

G. (2008) *Optimal estimation of rainfall fields merging radar and rain gauges data in an operational context.* The fifth European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology, ERAD. 5p.

13- Goudenhoofdt, E., and Delobbe, L. (2009) Evaluation of radar-gauge merging methods for quantitative precipitation estimates. *Journal of Hydrology and Earth System Sciences.* 13:195–203.

14- Haberlandt, U., and Sester. M. (2009) Areal rainfall estimation using moving cars as rain gauges – a modelling study. *Journal of Hydrology and Earth System Sciences*, 6:4737–4772.

15- James, E.J., Sreedharan, K.E. Ranganna, G., Nakaya, I.V., and Prasad, T.S. (1986) *Design of rain-gage network using spatial correlation for the Bharathapuzha basin on the Malabar Coast of India.* Proceedings of the Integrated Design of Hydrological Networks, Budapest. July 1986. IAHS Publ. No. 158:49-55.

16- Joint Committee of the Meteorological Office, the Royal Meteorological Society, and the Institution of Water Engineers. (1937) *The Determination of the General Rainfall over any Area*. Transactions of the Institution of Water Engineers, London, Final report 42, p231.

17- Lombardo, F., Napolitano, F., Russo, F., Scialanga, G., Baldini, L., and Gorgucci, E. (2006) Rainfall estimation and ground clutter rejection with dual polarization weather radar, *Advances in Geosciences*. 7:127–130.

18- Morin, G., Fortin, J.P., Sochanska, W., Lardeau, J.P., and Charbonneu, R. (1979) Use of principal component analysis to identify homogeneous precipitation stations for optimal interpolation, *Water Resources Research*, 15(6), doi: 10.1029/WR015i006p01841.

19- Morre, R.J., Jones, D.A., Cox, D.R., and Isham, V.S. (2000) Design of HYREX raingauge network. Special Issue, HYREX: the Hydrological Radar Experiment. *Journal of Hydrology and Earth System Sciences*, 4(4):523-530.

20- Moss, M.E. (1979) *Some basic considerations in the design of hydrologic data networks, Water Resources Research*, 15(6), doi: 10.1029/WR015i006p01673.

21- Mullen, R.S., and Birkeland, K.W. (2008) *Mixed effect and spatial correlation models for analyzing a regional spatial dataset.* Proceedings of the International Snow Science Workshop, Whistler, British Columbia. 120-128.

22- Petocz, P., and Fischer, O. (2007) *Estimating rainfall variability from spatial data*. University of Technology, Aus-

Archive of SID

www.SID.ir