

ارزیابی تراکم ایستگاه‌های باران‌سنجی در غرب ایران

علی بافکار

استادیار گروه مهندسی آب پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه

چکیده

برآورد دقیق میانگین بارندگی در هر منطقه در طراحی پروژه‌های آبی از اهمیت زیادی برخوردار است که بدین منظور می‌توان از اطلاعات ایستگاه‌های باران‌سنجی استفاده نمود. هدف از این پژوهش ارزیابی تراکم ایستگاه‌های باران‌سنجی در غرب ایران شامل استان‌های کرمانشاه، ایلام، همدان، کردستان و لرستان می‌باشد. در این تحقیق آمار بارندگی متوسط سالیانه در یک دوره آماری 15 ساله برای 30 ایستگاه باران‌سنجی حوضه‌های آبخیز مورد اشاره استخراج گردیده است. ضرایب همبستگی (r) و متوسط خطای استاندارد (SE) برای تمام زوج ایستگاه‌هایی که کمتر از 100 کیلومتر فاصله و 360 متر اختلاف ارتفاع از یکدیگر داشته باشند محاسبه گردیده است. یک تابع پلی‌نومیال درجه سوم از فاصله بین ایستگاهی براساس دو معیار اختلاف ارتفاع و شیب در این مناطق مورد استفاده قرار گرفته است. طراحی یک شبکه باران‌سنجی با یک مقدار ضریب همبستگی با توجه به مدل بدست آمده، بارش سالیانه را با خطایی برآورد می‌کند. در صورت به کارگیری این ضریب همبستگی تعداد باران‌سنج‌های مورد نیاز در منطقه با توجه به مدل ارائه شده مشخص گردیده است.

کلمات کلیدی: باران‌سنج، تراکم، شبکه، چانگ، کریجینگ.

مقدمه

بارش اندازه‌گیری می‌شود، ایستگاه باران‌سنجی نام دارد و چون نتایج حاصله از این ایستگاه‌ها برای کل منطقه تعمیم داده می‌شود باید در انتخاب محل و تعداد ایستگاه‌ها، نحوه اندازه‌گیری، ثبت و تحلیل داده‌ها دقت کافی به عمل آید. موضوعی که در اکثر مطالعات هیدرولوژیکی به آن توجه می‌شود این است که برای تخمین بارندگی در یک منطقه چه تعداد ایستگاه باید در شبکه باران‌سنجی گنجانده شود. چنانچه تعداد ایستگاه‌ها کم باشد، بدیهی است که تخمین بارندگی دقیق نخواهد بود و اگر بیش از تعداد مورد نیاز باشد مخارج اضافی در بر خواهد داشت. در مناطق کوهستانی، تنوع بارندگی تابعی پیچیده از پارامترهای توپوگرافی در مقیاس بزرگ و کوچک می‌باشد که روی شرایط آب و هوایی تأثیر می‌گذارد. دستیابی به اطلاعات بارندگی در چنین مناطقی از لحاظ اقتصادی، منوط به ارزیابی دقیق شبکه‌های باران‌سنجی است که تعیین پارامترهای فیزیکی مناطق مختلف در این امر نقش بسزایی دارند.

منظور از اندازه‌گیری باران، تعیین مقدار ارتفاع آب حاصله از نزولات جوی در سطح زمین است. به عبارت دیگر، چنانچه آب ناشی از نزولات جوی در روی زمین تجمع پیدا می‌کند، بدون آنکه تبخیر شده و یا در زمین نفوذ نماید، ارتفاعی را بوجود می‌آورد که به آن مقدار بارندگی گفته می‌شود. بارندگی ورودی سیکل هیدرولوژی در یک ناحیه بوده و بنابراین از مهمترین متغیرهایی است که باید مورد مطالعه دقیق قرار گیرد. اندازه‌گیری باران، قدمتی بیش از 2000 سال دارد. در واقع اولین اندازه‌گیری‌های ساده بارندگی از چهار صد سال قبل از میلاد مسیح در هندوستان آغاز گردید. نخستین باران‌سنجی که در دنیا نصب شده است مربوط به سال 1400 میلادی و در کشور کره می‌باشد. ثبت خودکار بارندگی‌ها نیز از سال 1600 در انگلستان آغاز گردید.

با توجه به اینکه اندازه‌گیری تمام آبی که روی یک حوضه می‌بارد امکان‌پذیر نیست، لذا به اندازه‌گیری نمونه‌ای آن در نقاط مختلف حوضه اکتفا می‌شود. نقاطی که در آن

که در آن R ضریب همبستگی، D فاصله افقی و a, b, c, d اعداد ثابتی هستند. اکثر محققین فاصله افقی را عامل مهمی در تعیین تراکم باران سنجی دانسته‌اند از آن جمله هندریک و کامر در امریکا، هرشفیلد در نیوزیلند را می‌توان نام برد که تحقیقاتی را در این زمینه انجام داده‌اند.

در حال حاضر روش کریجینگ به عنوان یک روش زمین-آماري کاربردهای زیادی در زمینه‌های مختلف علمی از جمله طراحی شبکه‌های باران سنجی پیدا کرده است.

نیکز و هارتمن نشان دادند که محل استقرار شبکه‌های باران سنجی بر اساس خصوصیات اقلیمی و توپوگرافی و قابل دسترسی بودن آنها و همچنین مسائل اقتصادی تعیین خواهد شد. بر اساس تحقیقی دیگر تابوس و سالاس اظهار داشتند که ضریب همبستگی بین داده‌های بارندگی متوسط سالیانه با فاصله افقی ایستگاه‌ها تابعی از نوع نمایی و درجه دوم می‌باشد. در حالیکه سیمپسون و همکاران به این نتیجه رسیدند که تراکم باران سنجی تابعی از خطای استاندارد بوده و با افزایش خطای تراکم کاهش می‌یابد. لانگین تراکم لازم برای شبکه باران سنجی را به عوامل: هدف مطالعه، یکنواختی یا غیر یکنواختی اقلیم منطقه، موارد استفاده مناطق مورد نظر و تراکم جمعیت مربوط دانسته‌اند.

روش تحقیق

- روش‌های درون‌یابی برای اندازه‌گیری متوسط بارش سالیانه

یکی از مسائلی که اغلب در هیدرولوژی مهندسی مطرح است تخمین داده‌ها در مناطق مورد نظر است. امروزه تعدادی از روش‌های درون‌یابی مکانی که از محاسبات پیچیده‌ای نیز برخوردار است جهت تخمین داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند که مهمترین آنها به قرار زیر است.

1- پلیگون تیسن

2- روش پلی‌نومیال (حداقل مربعات و لاگراژ)

3- روش فاصله معکوس

4- روش چند درجه‌ای (مولتی کوادراتیک)

هیدرولوژیست‌ها به طور معمول با بارش ناحیه‌ای بیش از بارش نقطه‌ای سر و کار دارند و لذا این امر خود در تعیین تراکم شبکه در حوضه آبریز نقش بسزایی ایفا می‌کند. ولی همواره مسئله ایجاد چنین ایستگاه‌هایی و هزینه بهره‌برداری از مشکلات کشورهای فقیر است. به طور کلی در تعیین تعداد ایستگاه‌های باران سنجی لازم برای یک حوضه باید به این نکته توجه داشت که چه تعداد ایستگاه، در کدام محل و برای چه منظوری باید احداث شود.

تعداد باران سنج و به عبارت دیگر تراکم ایستگاه‌های باران سنجی در یک منطقه بستگی به هدف مطالعاتی، نحوه توزیع مکانی بارندگی و شرایط پستی و بلندی دارد. اگر منظور محاسبه مدول بارندگی متوسط حوضه‌های هموار و پهناور ولی یکنواخت باشد تعداد کمی باران سنج کافی به نظر می‌رسد. اما مطالعات پیش‌بینی طغیان‌های وابسته به رگبارهای کوتاه مدت ولی شدید در مناطق کوهستانی، مستلزم وجود شبکه متراکم باران سنج خواهد بود. طبق یک قاعده کلی هرچه حوضه آبریز وسیع‌تر باشد، میانگین شدت ماکزیمم بارندگی کمتر خواهد بود. زیرا هر چه از مرکز رگبار و یا به عبارتی محور انتقال آن دور شویم شدت موضعی آن کاهش می‌یابد. در نتیجه جهت مطالعه منطقه‌ای رگبارها احتیاج به مشاهدات داده‌های باران سنجی در نقاط مختلف خواهد بود و در نتیجه تراکم باران سنجی‌ها زیادتر خواهد بود.

در خصوص تراکم ایستگاه‌های باران سنجی تا کنون تحقیقات زیادی صورت گرفته است که به طور خلاصه به اهم آنها اشاره می‌شود. هاجینسون با بررسی داده‌های متوسط بارندگی حاصل از 30 ایستگاه باران سنجی در دو منطقه از آمریکا دریافت که بین ضریب همبستگی متوسط بارندگی ایستگاه‌ها با فاصله افقی آنها رابطه‌ای به شکل زیر وجود دارد.

(1)

$$R = a + bD + cD^2 + dD^3$$

5- روش اپتیمال

6- روش کریجینگ

در این تحقیق به دلایل زیر از روش‌های فوق استفاده نشده است بنابراین جزئیات این روش‌ها نیز توضیح داده نشده است.

- حداکثر باسازی در ایستگاه‌ها نبایستی بیش از سه سال تجاوز کند، در حالیکه در منطقه مورد مطالعه این مهم میسر نبود.

- طول دوره آماری نبایستی کمتر از 30 سال باشد، اما در این تحقیق آمار قابل قبول در حد یک دوره 15 ساله در اختیار قرار داشت.

- در این پژوهش از روش چانگ¹ استفاده شده است، که جزئیات آن به طور مفصل توضیح داده شده است.

مشخصات عمومی منطقه مورد بررسی

این تحقیق برای ایستگاه‌های باران سنجی استان‌های غربی ایران شامل کرمانشاه، کردستان، همدان، لرستان و ایلام که نسبتاً کوهستانی بوده و مساحتی بالغ بر 118 هزار کیلومتر مربع را دارا می‌باشد صورت گرفته است. در جدول زیر وسعت این استان‌ها جهت اطلاعات بیشتر آورده می‌شود.

جدول شماره 1- مساحت منطقه مورد مطالعه نسبت به کل کشور

عنوان	مساحت بر حسب کیلومتر مربع	درصد مساحت منطقه به کل مساحت کشور
کل کشور	1633189	100
منطقه غرب	118571	7
استان کرمانشاه	23622	1/49
استان کردستان	27858	1/71
استان همدان	19445	1/19
استان لرستان	28560	1/75
استان ایلام	19086	1/17

این منطقه به علت داشتن رودخانه‌های متعدد و چشمه سارها، آب و هوایی مناسب و نزولات آسمانی نسبتاً بالا یکی از مناطق مستعد کشور از حیث کشاورزی و دامداری می‌باشد که انواع محصولات کشاورزی در آن به خوبی به عمل می‌آید. موقعیت جغرافیایی آن در 36 درجه و 49 دقیقه تا 32 درجه و 2 دقیقه عرض شمالی و 45 درجه و 22 دقیقه تا 49 درجه و 58 دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته است. این منطقه بر دامنه‌های سلسله جبال زاگرس قرار گرفته و دارای دو نوع آب و هوای گرمسیری و سردسیری می‌باشد. حد متوسط ارتفاع 1463 متر از سطح دریا و حد متوسط بارندگی 470 میلیمتر می‌باشد. به طور کلی آب و هوای این منطقه تابعی است از آب و هوای مدیترانه‌ای و روزهای بارندگی بیشتر در زمستان و بهار می‌باشد. در مناطق کوهستانی آن زمستان‌های سرد و پر برف و باران و تابستان‌های معتدل و در نواحی جلگه‌ای زمستان‌های معتدل و تابستان‌های گرم و خشک می‌باشد.

انتخاب ایستگاه‌های باران سنجی و تحلیل‌های آماری

برای انجام این تحقیق از آمار بارندگی متوسط سالانه 30 ایستگاه باران سنجی سازمان هواشناسی استفاده شده است. با توجه به آمار موجود در ابتدا مراحل زیر ارزیابی شده است.

الف- تهیه اطلاعات مربوط به مشخصات توپوگرافی

ایستگاه‌های باران سنجی منطقه.

ب- انتخاب ایستگاه‌های باران سنجی مناسب برای تجزیه و تحلیل، به طوری که حداقل طول دوره مورد نیاز جهت مطالعه بارندگی سالانه بلند مدت از آمار ثبت شده کوتاه مدت بدست آید.

ج- انجام آزمون همگنی و باسازی داده‌های باران سنجی ایستگاه‌های موجود.

مستقل می‌باشد. در صورتی که بخواهیم یک فاصله معقول برای ایستگاه‌های باران سنجی در هر منطقه توصیه کنیم لازم است که رابطه‌ای بین خطای استاندارد زوج ایستگاه‌ها و همبستگی میانگین بارندگی آن‌ها ایجاد کنیم، این معادله نیز به صورت زیر به دست آمده است.

$$r = -0.17SE + 1.41 \quad (R^2=0.99) \quad (4)$$

در معادله فوق R ضریب تبیین برای بررسی همبستگی بین خطای استاندارد (SE) و ضریب همبستگی بین زوج ایستگاه‌های بارندگی می‌باشد. حال با حل معادله (3) و (4) به صورت نموداری (نمودارهای 1 و 2) می‌توان با فرض یک خطای اندازه‌گیری بارش، ضریب همبستگی بین ایستگاه‌ها را به دست آورد و با داشتن آن فاصله افقی بین آنها را که از نظر آماری نیز قابل قبول می‌باشد تعیین نمود. در تحلیل تراکم شبکه‌های باران سنجی عوامل زیادی دخالت دارند، اما در این تحقیق فاصله افقی، اختلاف ارتفاع و شیب بین ایستگاه‌های باران سنجی مورد ارزیابی و تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفته است. با استفاده از دسته‌بندی‌های مختلف که بر اساس ضرایب همبستگی و اشتباه استاندارد تخمینی مقایسات بین زوج ایستگاه‌ها به عمل آمده این نتیجه حاصل شده است که، فاصله افقی بین ایستگاه‌ها با ضرایب همبستگی متوسط بارندگی سالیانه رابطه بالایی را نشان می‌دهد. معادله (3) به همراه نمودارهای (1) و (2) این موضوع را تأیید می‌کند. بهترین مدل به دست آمده از این تحلیل‌ها یک تابع پلی‌نومیال و از درجه سوم است. با توجه به این تابع و معادله (4) تعداد ایستگاه‌های باران سنجی مورد نیاز در منطقه به دست می‌آید. در این تحقیق بعضی از اعداد در محدوده 100 کیلومتر و یا حتی کمتر از آن از نظر آماری با ضرایب همبستگی رابطه بالایی را نشان نداده است، با تحلیل‌هایی که صورت گرفته دلیل این ناهماهنگی را می‌توان به صورت زیر توجیه نمود.

1- در ارتفاعات بالا ضریب همبستگی هیچگونه رابطه‌ای با فاصله افقی نداشته و این مهم باعث محدودیت ارتفاع

فاصله افقی بین ایستگاه‌ها (D) از فرمول زیر که به فرمول چانگ معروف است به دست آمده است. این فاصله با فاصله به دست آمده از طریق نقشه توپوگرافی یکی بوده و بر همدیگر منطبق می‌باشد. در این فرمول I عرض جغرافیایی و λ طول جغرافیایی می‌باشد.

$$D = \text{Cos}^{-1} \left\{ \text{Sini}_1 \text{Sini}_2 + \text{Cosi}_1 \text{Cosi}_2 \text{Cos}(\lambda_2 - \lambda_1) \right\} \times 110.4 \quad (2)$$

در این فرمول فاصله بر حسب کیلومتر بدست می‌آید.

سپس با استفاده از رابطه آماری $\frac{n(n-1)}{2}$ که در آن n تعداد ایستگاه‌ها می‌باشد، تعداد 435 مقایسه به صورت جفتی به کار رفته است. برای به دست آوردن یک مدل مناسب در منطقه از ضریب تبیین به عنوان معیاری جهت بکارگیری متغیرها استفاده شده است. ضرایب همبستگی متوسط بارندگی سالیانه زوج ایستگاه‌ها به عنوان متغیر وابسته و دیگر متغیرها (اختلاف ارتفاع، فاصله افقی و شیب) به صورت تکی و مرکب به عنوان متغیر وابسته به کار رفته است. ضرایب همبستگی محاسبه شده در برگیرنده کلیه اثرات متوسط بارندگی بین زوج ایستگاه‌ها و خصوصیات فیزیکی حوضه می‌باشد.

نتایج و بحث

با توجه به روش تحقیق بهترین مدلی که با استفاده از تجزیه و تحلیل داده‌های بارندگی و مشخصات حوضه‌های آبریز شامل اختلاف ارتفاع، فاصله افقی بین باران‌سنج‌ها به دست آمد به صورت معادله پلی‌نومیال درجه 3 به شرح زیر بود.

$$r = 0.92 + 0.006D - 0.0002D^2 + 0.00000008D^3 \quad (3)$$

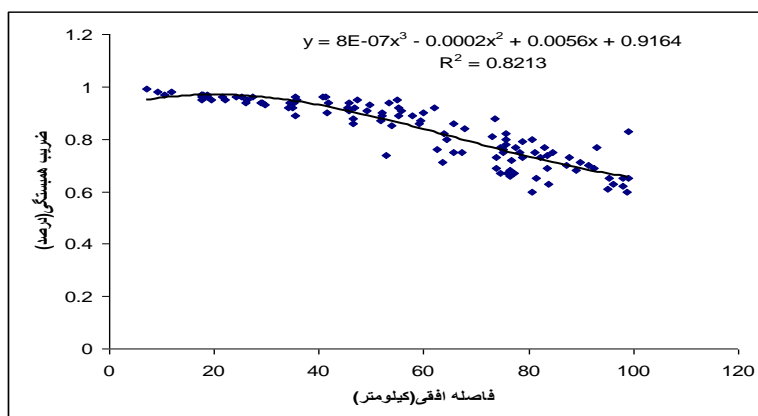
که در این رابطه ضریب تبیین 82٪ بوده و r ضریب همبستگی بین زوج ایستگاه‌ها به عنوان متغیر وابسته و D فاصله افقی بین ایستگاه‌های باران سنجی به عنوان متغیر

ضریب همبستگی متوسط بارندگی ایستگاه‌ها با فاصله افقی وجود خواهد داشت.

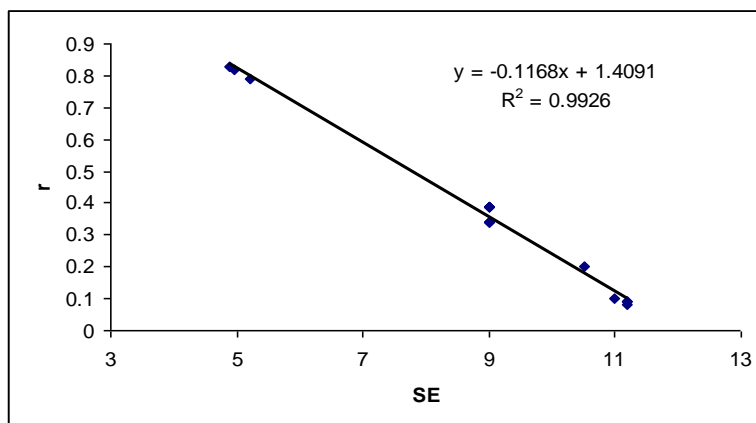
در این تحقیق رابطه بین خطای استاندارد و ضریب همبستگی متوسط بارندگی سالانه زوج ایستگاه‌ها به صورت خطی بوده و با افزایش فاصله، درصد خطا نیز بالا می‌رود. این موضوع به صورت نموداری و معادله ریاضی در متن تحقیق نیز آورده شده است.

در مدل شده است که در این تحقیق حداکثر اختلاف ارتفاع بین زوج ایستگاه‌ها 360 متر در نظر گرفته شده است.

2- اگر این روش را در مناطقی که از نظر اقلیمی و آب و هوایی دارای خصوصیات یکسانی نباشد مورد ارزیابی قرار گیرد، با وجود فواصل کم احتمال نداشتن رابطه بین



نمودار شماره 1- رابطه بین ضریب همبستگی ایستگاه‌های باران سنجی با فاصله افقی آنها



نمودار شماره 2- رابطه بین ضریب همبستگی ایستگاه‌های باران سنجی با خطای استاندارد

آمار ایستگاه‌های باران سنجی وزارت نیرو نیز در یک

تحقیق مشابه به کار گرفته شود.

2- تا حد امکان از آمار طولانی مدت (حداقل 25 ساله)

استفاده شود.

پیشنهادات

با توجه به تجربه بدست آمده در انجام این تحقیق

اجرای موارد زیر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

1- با توجه به اینکه در این تحقیق از آمار ایستگاه‌های

باران سنجی سازمان هواشناسی استفاده شده، سعی شود

- 14- Eagleson, P. S. 1967. Optimum density of rainfall network. *Water Resour. Res.* 3(4): 1021- 1034.
- 15- Guillermo, Q. Tabios, and J. D. Salas. 1985. A Comparative analysis of techniques for spatial interpolation of precipitation. *Water Resour. Bull.* 21(3): 365- 380.
- 16- Hendrik, R. L., and G. H. Comer. 1970. Space variations of precipitation and implication for raingauge network density. *J. Hydro.* 10: 151- 163.
- 17- Hutchinson, P. 1969. Estimation of rainfall in sparsely gauged areas. *Bull. I. A. S. H.* 101- 119.
- 18- Hutchinson, P. 1970. A contribution to the problem of spacing raingauges in rugged terrain. *J. Hydro.* 12: 1-4.
- 19- Kagan, R. L. 1966. An evaluation of the representativeness of precipitation data. *Works of the Main Geo. Phy. Observe. USSR.* 191: 68- 75.
- 20- Kassim, A. H. M., and N. T. Kottegoda. 1991. Rainfall network design through comparative kriging methods. *Hydro. Sci. J.* 36(3): 223- 240.
- 21- Langbein, N. 1960. Hydrologic network and methods of flood control. United Nations. ECAFE- WMO. No. 15. P. 19.
- 22- Mohamad, A., J. Loftis, and K. G. Hubbard. 1997. Application of geostatistics to evaluate partial weather station networks. *J. Agric. And Forest Met.* 84: 255- 271.
- 23- Nicks, A. D., and M. A. Hartman. 1966. Variation of rainfall over a large gauged area. *Trans. ASAE.* 9(3): 437- 439.
- 24- Osborn, H. D., L. J. Lane, and J. F. Hundley. 1972. Optimum gauging of thunderstorm rainfall in southeastern Arizona. *Water Resour. Res.* 8(1): 259- 265.
- 25- Rafael, I. B. 1976. Rainfall netwok design for runoff prediction. *Water Resour. Res.* 12 (6): 1197- 1208.
- 26- Roberto L. Lenton. 1977. Rainfall network systems analysis: The optimal estimation of total areal storm depth. *Water Resour. Res.* 13 (5): 825- 835.
- 27- Rodriguez-Iturbe, I., and J. M. Mejia. 1974. The density of rainfall networks in time and space. *Water Resour. Res.* 10: 713- 728.
- 28- Seed, A. W. and G. L. Austin. 1990. Somplng errors for raingauged-derived mean areal daily and monthly rainfall. *J. Hydro.* 118: 163- 173.
- 29- Simpson, J., R. F. Adler, and G. R. North. 1988. A proposed tropical rainfall measuring mission (TRMM) Satellite. *Bull. Am. Met. Soc.* 26: 278- 295.

- 3- تحقیق به صورت منطقه ای انجام شود، چراکه در سطح وسیع به علت تعدد اقلیم حجم کاری گسترده ای را می طلبد و از دقت بالایی نیز برخوردار نیست.

منابع

- 1- ایزدی، م. 1377. تعیین احتمالات آخرین تاریخ های وقوع سرماهای بهاره و اولین تاریخ های وقوع سرماهای پاییزه بر مبنای حداقل دمای هوا در استان همدان. گزارش شماره 8 سازمان هواشناسی کل کشور. صفحات 5-1.
- 2- وزیری، ف. 1376. هیدرولوژی کاربردی در ایران (کتاب نخست) دانشگاه خواجه نصرالدین طوسی. 125 صفحه.
- 3- صدقی، ح. 1353. اصول مهندسی هیدرولوژی. جلد اول هیدرومتئورولوژی. دانشگاه شهید چمران اهواز. 384 صفحه.
- 4- علیزاده، ا. 1379. اصول هیدرولوژی کاربردی. آستان قدس رضوی. 361 صفحه.
- 5- قهرمان، ب. طراحی شبکه های باران سنجی کشور توسط روش کریجینگ. سمینار دکترای بخش آبیاری دانشگاه شیراز.
- 6- مهدوی، م. 1371. هیدرولوژی کاربردی. جلد اول. دانشگاه تهران. 361 صفحه.
- 7- نجمائی، م. 1368. هیدرولوژی مهندسی. جلد دوم انتشارات سارا. 608 صفحه.
- 8- Abtew, W., J. Obeysekera and G. Shin. 1995. Spatial variation of daily rainfall and network design. *Trans, ASAE.* 38 (3):843-845.
- 9- Buishand, T. A. 1982. Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. *J. Hydro.* 58:11-27.
- 10- Chang, M., and R. Lee. 1974. Objective and dubble-mass analysis. *Water Resour. Res.* 10(6): 1123- 1126.
- 11- Chang, M. 1977. An evaluation of precipitation gauge density in mountainous terrain. *Water Resour. Bull.* 13(1): 39- 46.
- 12- Chang, M., and L. A. Flannery. 1998. Evaluating the accuracy of rainfall catch by three different gauges. *Water Resour. Res.* 38(3): 559-564.
- 13- Colling., V. K., and D. G. Jamieson. 1968. The spatial distribution of storm rainfall. *J. Hydro.* 6(1): 45- 57.

- 30- Stole. P. T., 1972. The relative efficiency of the density of rain gauge networks. J. Hydro. 15: 193- 208.
- 31- Subramanya, K. 1994. Engineering Hydrogy. McGraw-Hill Pub. Co. P392.
- 32- Tabios, G. Q., and J. D. Salas. 1985. A comparative analysis of techniques for spatial interpolation of precipitation. Water Resour. Bull. 21(3): 365-380.