

مقدمه

یکی از پارامترهای مهم در مطالعات و تحقیقات منابع آب، آبیاری و زهکشی، کنترل سیلاب و آبخیزداری توزیع مکانی بارش می باشد. روش های مختلفی برای بسط و توسعه مکانی مقادیر بارش اندازه گیری شده توسط ایستگاه های باران سنج نقطه ای استفاده می گردد. در روش های کلاسیک (نظیر روش های تیسن، میانگین حسابی و رگرسیون)، اگرچه استفاده از این روش ها ساده و آسان است ولی به دلیل صرف وقت زیاد، در نظر نگرفتن موقعیت و آرایش داده ها و همبستگی بین آنها، ممکن است از دقت بالایی برخوردار نباشند. در حالی که در روش های زمین آمار (Geostatistics) ساختار مکانی داده ها در نظر گرفته می شود و استفاده از آنها در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) نیز امکان پذیر می باشد و می توان بر اساس آن میزان بارش در نقاط دیگر را با دقت بالاتری برآورد نمود. تحلیل روابط عمق-سطح-مدت یکی از مراحل ضروری بررسی تغییرات مکانی بارش است.

بین عمق، سطح و مدت بارندگی رابطه ای وجود دارد بطوری که بارش های طولانی مدت سطح وسیع تر و بارش های کوه تاتر سطح کمتری را در بر می گیرند. از طرفی هر چه مدت بارندگی بیشتر باشد میزان بارش تجمعی نیز بیشتر است [۳]. بارندگی به ندرت به صورت یکنواخت ریزش می کند به طوری که هر بارش دارای یک مرکز ثقل می باشد که با فاصله از مرکز بارش میزان بارش کمتر می گردد. یک باران سنج میزان بارندگی را در یک نقطه اندازه گیری می کند بنابراین ممکن است از مرکز بارندگی فاصله زیادی داشته باشد [۲].

با توجه به اینکه یکی از معیارهای بسیار مهم در طراحی، برنامه ریزی، مدیریت سیلاب و سازه های هیدرولیکی، سیل طرح است که در نتیجه رگبار طرح بوجود می آید. از سویی توزیع مکانی نامناسب ایستگاه های باران سنجی، کمبود ایستگاه های باران سنجی، در دسترس نبودن داده ها و نداشتن آمار دقیق سبب عدم طراحی مناسب سیل طرح و مدیریت غیر صحیح عملیات کنترل سیلاب می گردد. بنابراین تعیین منحنی های همباران در هر منطقه در بازهای زمانی مختلف امکان تعین دقیق تر رگبار طرح را در سطوح مختلف فراهم نموده است که با بهره گیری از علوم زمین آماری امکان پهنه بندی بارش را در کل منطقه فراهم می نماید. تاکنون بررسی های زیادی در خصوص تغییرات مکانی بارش انجام گرفته است ولی مطالعه حاضر برای اولین بار در استان کهگیلویه و بویراحمد صورت گرفته است. به دلایل خاص توپوگرافی، جغرافیایی و زمین شناسی،

ارزیابی منحنی های همباران حاصل از روش های زمین آماری و همبستگی در استان کهگیلویه و بویراحمد

مجید خزایی^۱ و عبدال شهرپور^۲ و علی ملایی^۲

تاریخ دریافت: ۹۳/۸/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۴/۴/۳

چکیده

در مناطق خشک و نیمه خشک به دلیل نبود و یا پراکنش بالای ایستگاه هایی باران سنجی، برآورد بارش منطقه ای میان ایستگاه های برای مدیریت آب و خاک و سیلاب ضروری است. در این تحقیق به منظور بررسی تغییرات مکانی بارش های حداکثر و فراگیر در محدوده استان کهگیلویه و بویراحمد، رگبارهای مشاهداتی جمع آوری (۳۵ ایستگاه) و مورد مطالعه قرار گرفت و تعداد ۴۵ رگبار در تداوم های ذکر شده انتخاب شد. به منظور بررسی نحوه پراکنش مکانی مقادیر بارش در رگبارهای مورد مطالعه، الگوی مکانی رگبارهای مشاهداتی با ۴ روش کریجینگ، کوکریجینگ، عکس فاصله و معادله گرادیان بارش تحلیل گردید و نتایج با استفاده از مقایسه میزان خطای برآورد شده در هر روش، ارزیابی گردید. با استفاده از الگوهای حاصله از روابط عمق-سطح-تداوم، بارش های حداکثر در تداوم های ۲، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴، ۳۶ و ۴۸ ساعته در استان کهگیلویه و بویراحمد تعیین شد. با توجه به نتایج حاصله ضرایب همبستگی برای تداوم های ۶، ۱۸، ۳۶ و ۴۸ ساعته مقادیر مناسبتری را ارائه کرده است. روابط عمق-سطح-تداوم بارش حاصل از این روش در مجموع مقدار بارش کمتری را نسبت به روش زمین آمار نشان می دهد. این بررسی نشان داد که اکثر رگبارها در روش کریجینگ از خطای کمتری برخوردار بوده اند.

واژه های کلیدی: بارندگی، پهنه بندی، کریجینگ، عمق-سطح-

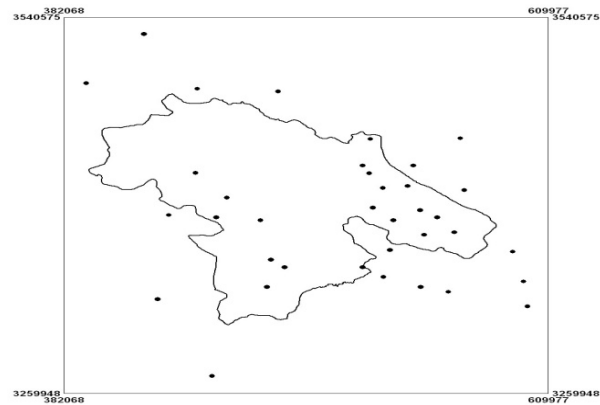
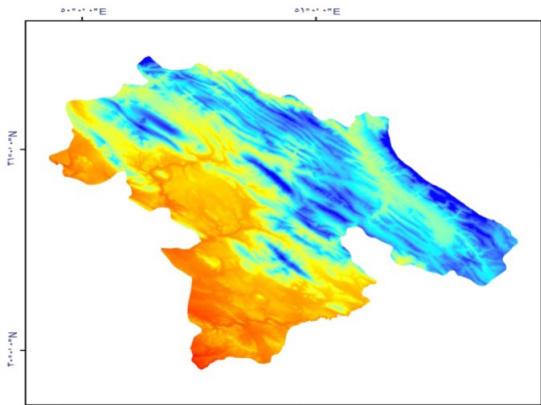
مدت، زمین آمار

۱. دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشگاه هرمزگان

۲. عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان

کهگیلویه و بویراحمد

نویسنده مسئول khazaei.phd@hormozgan.ac.ir



شکل ۱- موقعیت مکانی ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد استفاده و نقشه مدل رقومی ارتفاع استان

منحنی‌های باران حاصله از روابط عمق- سطح- مدت بارش در تداوم‌های مختلف با روش‌های زمین‌آماری است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در محدوده استان کهگیلویه و بویراحمد با وسعتی حدود ۱۶۲۶۴ کیلومتر مربع با مختصات جغرافیائی ۵۲°، ۴۹' تا ۵۴° و ۵۱° طول شرقی و ۴۶' و ۲۹° تا ۲۸° و ۳۱° عرض شمالی در جنوب غربی ایران می‌باشد. وجود ارتفاعات در شمال و شمال شرقی استان و قرار گرفتن دشت‌های پست در نواحی جنوب و جنوب غربی استان باعث شده که هر چه از شمال و شمال شرقی به طرف جنوب و جنوب غربی نزدیک‌تر شویم تغییرات شدیدی در میزان بارندگی و درجه حرارت و رطوبت نسبی بوجود می‌آید. این مسئله سبب تقسیم استان به دو ناحیه سردسیری نیمه مرطوب و گرمسیری خشک با زمستان‌های معتدل و تابستان‌های گرم گردیده است.

جمع‌آوری آمار و اطلاعات

به منظور بررسی روابط عمق، سطح تداوم (DAD) بارش‌های ۲، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴، ۳۶ و ۴۸ ساعته در استان کهگیلویه و بویراحمد، کلیه آمار ایستگاه‌های باران‌سنجی ثبات و غیرثبات در استان و اطراف آن مربوط به وزارت نیرو و سازمان هواشناسی شناسایی و جمع‌آوری گردید. موقعیت مکانی ایستگاه‌های مورد استفاده در شکل (۱) نشان داده شده است.

پردازش و استخراج رگبارهای حداکثر و فراگیر

بعد از تنظیم آمار و اطلاعات بارندگی روزانه جمع‌آوری شده از برنامه فیلتر در نرم‌افزار اکسل اقدام به استخراج رگبارهای حداکثر و فراگیر گردید و سپس اقدام به انتخاب مقادیر حداکثر بارش برای هر ایستگاه در یک تاریخ مشخص گردید. بارش فراگیر بارشی است که در بیشتر ایستگاه‌ها ثبت شده است. در این رابطه بارش‌هایی

استان در دو ناحیه کاملاً متمایز سردسیری و گرمسیری واقع شده است که سبب تغییر بالای مکانی بارش شده است. در این جا اشاره مختصری به برخی از تحقیقات صورت گرفته شده است.

سلیمانی و همکاران [۱۰] با استفاده از روش‌های زمین‌آماری منحنی‌های عمق، سطح و تداوم بارندگی را در منطقه سیرجان مورد آنالیز قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که در منطقه مورد مطالعه روش کریجینگ در تعیین متوسط بارندگی بر روش عکس فاصله ارجحیت دارد. همچنین بررسی منحنی‌های مذکور نشان داد که مقدار بارندگی در مرکز نسبت به مقدار آن در یک سطح ۲۰ هزار کیلومتر مربعی برای تداوم‌های یک تا سه روزه به ترتیب برابر با ۱،۷۴، ۱،۴۸، ۱،۴۸ است. ذبیحی و همکاران [۱۱] روش‌های زمین‌آماری کریجینگ و عکس فاصله با توان‌های (۱ تا ۳) را برای برآورد بارش سالانه با استفاده از آمار سی ساله ایستگاه‌های باران‌سنجی در استان قم و اطراف آن مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این ارزیابی نشان داد که تغییرات بارندگی سالانه، بیشتر از مدل گوسی تبعیت می‌کند. در محدوده‌ی مورد مطالعه، روش کریجینگ مناسب‌ترین روش تخمین بارندگی سالانه است و روش عکس فاصله به توان یک، دو و سه در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند.

گوارتز [۵] برخی پارامترهای مربوط به بارندگی را مورد مطالعه قرار داده است. ایشان ضمن بررسی مقادیر شدت- مدت- فراوانی بارندگی منطقه، روابط عمق- سطح- مدت بارندگی را نیز مورد بررسی قرار داده‌اند. به طور کلی ۴۷ رگبار را در کشور ونزوئلا انتخاب و به تجزیه روابط در بازه‌های زمانی ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۹ و ۱۲ ساعته پرداختند. مطالعات صورت گرفته در ارتباط با موضوع تحقیق نشان می‌دهند که نمی‌توان یک روش مشخص را برای تمام مناطق به عنوان روش بهینه تعیین نمود. بسته به مناطق مختلف جغرافیایی دنیا روش‌های مختلف دارای دقت متفاوت در برآورد بارش بوده است. هر چند که می‌توان با استفاده از روش‌های زمین‌آماری و داده‌های نقطه‌ای، بارش را در تمامی سطوح برآورد نمود با این حال میزان تأثیرپذیری سطوح مختلف از ایستگاه‌هایی باران‌سنجی با فاصله از مرکز بارش تغییر می‌کند. در نتیجه هدف از پژوهش حاضر بررسی

را که حداقل حدود ۶۵ درصد ایستگاه‌ها دریافت کرده‌اند به عنوان بارش فراگیر انتخاب گردید. در این رابطه تعداد رگبار به عنوان بارش حداکثر و فراگیر در مرحله اول انتخاب گردید، و از میان این رگبارها تعداد ۴۵ رگبار که ایستگاه‌های باران‌سنجی ثبات در آنها کار ثبت داده‌ها را انجام می‌داد انتخاب و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

استخراج بارش‌های منفرد

به منظور تعیین مدت واقعی رگبارهای حداکثر و فراگیر استخراج شده، آمار و اطلاعات ایستگاه‌های باران‌سنج ثبات موجود در محدوده مورد مطالعه (شکل ۱) بر اساس تاریخ وقوع بارش‌های حداکثر و فراگیر انتخابی مورد بررسی قرار گرفت. برای این کار بارش‌های انتخابی با استفاده از رابطه (۱)، در یکی از گروه‌های بارش با تداوم ۲، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ساعته قرار گرفت.

$$D_f \geq D \frac{1}{N} \quad (\text{رابطه ۱})$$

جدول (۱) محدوده زمانی مورد قبول برای گروه‌های تداوم بارش

تداوم بارش	محدوده مورد قبول (به ساعت)	N
1	کمتر از ۱/۵	2
2	از ۱/۵ ساعت تا کمتر از ۲/۵ ساعت	3
3	از ۲/۵ ساعت تا کمتر از ۴ ساعت	3
6	از ۴ ساعت تا کمتر از ۷/۵ ساعت	4
9	از ۵ ساعت تا کمتر از ۱۰/۵ ساعت	5
12	از ۱۰/۵ ساعت تا کمتر از ۱۴ ساعت	6
18	از ۱۴ ساعت تا کمتر از ۲۰ ساعت	7
24	از ۲۰ ساعت تا ۲۸ ساعت	

که در آن D_f : مدت زمان وقفه بین دو واقعه، D : مدت کل بارش، N : ضریب مربوط به هر گروه تداوم بارش.

ترسیم منحنی تجمعی رگبارها

برای ترسیم منحنی تجمعی رگبارهای انتخابی در ایستگاه‌های غیر ثبات، با توجه به پراکنش و نزدیکی و همبستگی مقادیر بارندگی‌های روزانه از منحنی تجمعی ایستگاه‌های ثبات استفاده گردید به طوری که با توجه به اختلاف میزان عمق بارندگی ۲۴ ساعته و شکل کلی روند هایتوگراف (منحنی مجموع) ایستگاه ثبات اقدام به ترسیم منحنی تجمعی ایستگاه‌های غیر ثبات گردید و با استفاده از این منحنی‌ها مقادیر بارندگی‌های کوتاه مدت (۱، ۳ و ...) استخراج گردید.

ترسیم نقشه همباران رگبارهای انتخابی

برای ترسیم نقشه‌های همباران رگبارهای انتخابی از دو روش گرادبان بارندگی و روش زمین آمار استفاده گردید.

روش گرادبان بارندگی

در این روش برای ترسیم نقشه‌های همباران در ابتدا روابط همبستگی ارتفاع و مقادیر بارندگی برای هر یک از رگبارهای فراگیر به کمک نرم‌افزار - مورد بررسی قرار گرفت. سپس برای رگبارهایی که دارای ضریب همبستگی معنی‌دار ($P < 0.05$) بودند اقدام به تهیه نقشه همباران گردید.

روش زمین آمار

در این مطالعه مقادیر بارندگی رگبارها روش‌های مختلف زمین آمار از جمله کریجینگ معمولی و لگاریتمی (Log kriging)، کوکریجینگ (Ordinary kriging)، کوکریجینگ (Cokriging) و میانگین متحرک وزنی (Weighted moving average) با توان‌های ۲، ۳، ۴ و ۵. برای میانبایی مورد مقایسه قرار گرفت و روشی که دقت بالاتر داشت برای ترسیم همباران رگبارها استفاده شد. داده‌های بارندگی از طریق نرم‌افزار Excell وارد محیط نرم‌افزار GS+ گردید و سپس نرمال بودن توزیع داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

مدل‌های تغییرنما

قبل از کاربرد تغییر نماهای تجربی در تخمین مقادیر، لازم است به آنها مناسب‌ترین مدل تئوری را برازش داد. در این مطالعه از مدل‌های کروی، نمایی، گوسی و خطی در رسم واریوگرام در محیط GS+ استفاده گردید و مقادیر اثر قطعه‌های (Nugget)، آستانه (Sill) و شعاع تأثیر (Range) برای رگبارهای مورد نظر محاسبه و در عمل میانبایی مورد استفاده قرار گرفت [۶].

تعیین روابط عمق-سطح-تداوم بارش

برای تعیین روابط عمق، سطح و تداوم بارش (DAD) لازم است مساحت بین خطوط همباران مربوط به هر رگبار انتخابی در هر تداوم محاسبه شود. برای محاسبه میزان حجم بارش در هر محدوده لازم است عمق متوسط بارش بین دو خط همباران متوالی تعیین شود [۸]. هر چه فاصله بین خطوط کمتر باشد رقم بدست آمده صحیح‌تر است در این مطالعه فاصله بین دو خط متوالی برای تداوم‌های ۲ تا ۲۴ ساعته ۵ میلی‌متر و برای تداوم‌های ۳۶ و ۴۸ ساعته ۱۰ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. در مناطق کوهستانی به علت نزدیکی خطوط میزان و تعداد خطوط همباران محاسبه عمق متوسط بارش به روش‌های دیگر مثل تیسن جواب واقعی را نمی‌دهد. محاسبات مربوط به یکی از رگبارها در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- نمونه محاسبات مربوط به رگبار ۲ ساعته ۶۸/۱/۸

متوسط بارش حداکثر	حجم بارش افزایشی	حجم بارش خالص	مساحت افزایشی	مساحت	متوسط بارش همباران	حدود خطوط همباران
5/22	33/17852	33/17852	44/793	44/793	5/22	25-20
1/19	42/47071	09/29219	1/2463	66/1669	5/17	20-15
9/14	79/100755	36/53684	85/6757	75/7294	5/12	15-10
6/11	3/141926	51/41170	3/12247	4/5489	5/7	10-5
10	79/147279	49/6353	6/14788	39/2541	5/2	5-0

ترسیم منحنی‌های اولیه DAD

در این مرحله با ارتباط متوسط بارش حداکثر و مساحت تجمعی، منحنی DAD محاسبه شد. این کار برای کلیه رگبارها در هر تداوم بطور مجزا انجام گرفت. در مواردی که تعداد رگبارهای منتخب بیشتر از یک رگبار بوده برای مساحت‌های مساوی مقادیر حداکثر بارش در بین رگبارها مورد استفاده قرار گرفته است. بر اساس منحنی‌های استخراج شده روابط عمق باران و سطح فراگیر برای پایه‌های زمانی ۲، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴، ۳۶ و ۴۸ ساعته ارائه گردید.

انتخاب مناسب‌ترین روش تعیین الگوی مکانی بارش

برای بررسی دقت هر روش میان‌یابی نیاز به ارزیابی هر یک از روش‌های ذکر شد با روش‌های مختلفی است. یکی از مهمترین آنها روش Cross Validation می‌باشد. در این تحقیق از دو معیار میانگین مطلق خطا (دقت) MAE و میانگین خطای انحراف MBE برای انتخاب مناسب‌ترین روش تعیین الگوی مکانی بارش استفاده شد.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z^*(\dot{x}) - Z(\dot{x})| \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z^*(\dot{x}) - Z(\dot{x})) \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در آنها $Z(x_i)$ مقدار برآورد شده متغیر $x_i, Z(x_i)$: مقدار مشاهده شده متغیر x_i, N : تعداد متغیر مشاهده شده در مورد انتخاب تعداد همسایگی مناسب برای میان‌یابی نیز به کمک نرم‌افزارهای Gs+ و Excell. مقدار MAE و MBE مقادیر مشاهده‌ای و برآورد شده برای تعداد همسایه ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۱۵ محاسبه و با مقایسه همسایگی مناسب برای میان‌یابی نقشه همباران رگبارهای انتخابی تعیین گردید.

نتایج

واریوگرام بارش

برای تعیین مدل و ضرایب واریوگرام، ابتدا داده‌های هر رگبار با استفاده از مدل‌های خطی (Linear)، توانی (Exponential)،

گوسی (Gaussian) و کروی (Spherical) برازش داده شد و مناسبترین مدل انتخاب گردید و مقادیر اثر قطعه ای (Nugget)، آستانه (Sill) و دامنه تأثیر (Range) برای مناسبترین مدل ثبت گردید جدول (۳). همان طوریکه مشاهده گردید بیشتر رگبارها از مدل گوسی تبعیت می‌کنند.

واریوگرام ارتفاع

از آنجایی که شرط استفاده از متغیر کمکی داشتن رابطه همبستگی مناسب است، برای رگبارهایی که ضریب همبستگی بین مقادیر بارش و ارتفاع نسبت به سطح دریا بیشتر از ۶۰ درصد بوده از مقادیر ارتفاع به عنوان متغیر کمکی استفاده گردید. برای تعیین مدل واریوگرام و مقادیر اثر قطعه‌ای، آستانه و دامنه تأثیر ارتفاع، مقادیر ارتفاع نقاط با مختصات جغرافیائی آنها در محیط نرم افزار زمین‌آمار مورد بررسی قرار گرفت که نتایج در جدول (۴) ارائه شده است. با توجه به نتایج حاصل توزیع ارتفاع نقاط نرمال بوده و در کلیه رگبارها از مدل گوسی تبعیت می‌کنند. مقدار شعاع همبستگی ارتفاع حدود ۱۰۶/۵ کیلومتر است. این بدان معناست که ایستگاه‌های موجود در منطقه تا فاصله ۱۰۶/۵ کیلومتری از لحاظ ارتفاع دارای همبستگی هستند و برای فواصل بیشتر از این فاصله، رابطه ارتفاعی ایستگاه‌ها به صورت تصادفی است.

واریوگرام متقابل بارش و ارتفاع

در تخمین به روش کوکریجینگ لازم است بین هر زوج از متغیرها، واریوگرام متقابل رسم شود و مدل‌های کروی، نمایی و گوسی و غیره به آنها برازش داده شود. مقادیر اثر قطعه‌ای، آستانه و دامنه تأثیر و مناسبترین مدل برازش داده شده برای رگبارهای انتخابی در جدول (۵) ارائه شده است.

ارزیابی تعداد نقاط همسایگی

به منظور تعیین مناسبترین تعداد نقاط همسایگی برای میان‌یابی، بعد از ترسیم واریوگرام هر رگبار و تعیین ضرایب واریوگرام داده‌های بارش به مدل کوریجینگ در محیط نرم‌افزار GS+ وارد گردید و پس از تخمین مقادیر برای مقادیر مشاهده‌ای به کمک تعداد نقاط همسایگی ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۱۵ اقدام به محاسبه مقادیر

جدول ۳- ضرایب واریوگرام رگبارهای انتخابی

مدت رگبار (ساعت)	مدل واریوگرام	Nugget	Sill	Range
2	Exponential	37/0	0/91	300000
2	Exponential	1/09	1/96	411000
3	Gaussian	3/0	64/1	105300
3	Exponential	0/91	015/2	300700
3	Exponential	38/0	0/77	511000
6	Gaussian	39/1	78/2	240000
6	Spherical	45/3	05/7	365500
6	Exponential	7/50	41/105	308300
6	Spherical	19/0	50/0	433300
6	Exponential	97/1	61/9	303300
9	Gaussian	91/1	82/5	251200
9	Exponential	06/0	0/38	241400
9	Gaussian	293	9/1096	233800
12	Gaussian	26/1	53/4	382100
12	Gaussian	1064	5690	318500
12	Gaussian	92/2	6/51	472800
12	Exponential	205/	41/2	411000
12	Spherical	00/1	4/577	52600
18	Exponential	390	1/806	498100
18	Gaussian	04/1	4/7	55800
18	Gaussian	147	880	87300
18	Gaussian	2/0	8/3	188400
18	Gaussian	5/3	78/8	223000
18	Exponential	382	1/764	237900
18	Gaussian	380	8/791	67000
24	Spherical	84/0	16/9	55100
24	Exponential	27/5	55/10	345300
18	Gaussian	147	880	87300
24	Exponential	8/5	26/10	468900
24	Linear	27/236	76/964	97/83/182
24	Gaussian	1/8	2/47	268900
24	Gaussian	335/	405/2	474500
24	Exponential	136/	69/0	430300
36	Gaussian	5/4	37	236700
36	Gaussian	18/4	35/29	436200
36	Gaussian	14/0	23/1	411000
36	Gaussian	639/	29/3	157800
36	Gaussian	1648	3297	351000
36	Gaussian	52/2	05/11	229600
48	Gaussian	7/3	4/36	229700
48	Exponential	0001/0	21/0	19100
48	Gaussian	76/2	5/25	328400
48	Gaussian	15/0	05/2	450500

جدول ۴- ضرایب واریوگرام ارتفاع

مدت رگبار (ساعت)	مدل واریوگرام	Nugget	Sill	Range
2	Gaussian	63000	659700	78100
2	Gaussian	1000	66800	602000
3	Gaussian	1000	832000	70400
3	Gaussian	31000	623600	67100
3	Gaussian	59000	1183000	128500
6	Gaussian	50000	826000	92600
6	Spherical	1000	549600	148300
6	Gaussian	70000	838900	97900
6	Gaussian	64000	958000	115200
6	Gaussian	61000	568600	66400
9	Spherical	1000	599300	133400
9	Spherical	1000	533200	132400
9	Gaussian	13000	929000	89000
12	Gaussian	38000	835400	92400
12	Gaussian	132000	1075000	149000
12	Gaussian	48000	936000	99500
12	Gaussian	34000	979000	109900
12	Gaussian	51000	754800	83500
18	Gaussian	48000	893300	85000
18	Spherical	1000	563500	151800
18	Gaussian	53000	794700	81200
18	Gaussian	37000	685000	83900
18	Gaussian	80000	1199000	134000
18	Gaussian	15000	898300	94100
18	Gaussian	1000	853000	55400
24	Gaussian	72000	851700	93300
24	Linear	1000	1013000	191300
18	Spherical	1000	562500	151800
24	Spherical	100	560300	129300
24	Spherical	1000	478500	117000
24	Gaussian	46000	658000	75000
24	Gaussian	68000	1402000	141000
24	Gaussian	62000	817100	91800
36	Gaussian	52000	1098000	119600
36	Gaussian	17000	558000	55300
36	Gaussian	39000	603400	67500
36	Spherical	1000	570800	136500
36	Gaussian	47000	660100	77300
36	Exponential	55000	655600	74100
48	Gaussian	77000	1165000	139600
48	Gaussian	48000	936000	99500
48	Gaussian	46000	577400	66200
48	Gaussian	63000	659700	78100

جدول ۵- ضرایب واریوگرام متقابل ارتفاع و بارش

مدت رگبار (ساعت)	مدل واریوگرام	Nugget	Sill	Range
2	Exponential	85	-512/9	202300
2	Spherica	1	382/5	1000300
3	Spherica	-1	608/7	132600
3	Gaussian	14/8	288/5	386300
3	Exponential	-201/1	180300	59000
6	Spherical	120	510/8	100200
6	Spherical	0/1	286/6	238900
6	Linear	1200/92	92/1200	186482/6
6	Gaussian	-0/1	-189	69500
6	Gaussian	/3587	21120	175600
9	Linear	35	115/2	10000
9	Gaussian	1	912/9	223300
9	Spherical	10	8760	374800
12	Gaussian	40	-201/1	152400
12	Gaussian	70	3250	213400
12	Gaussian	9/2	229/4	92000
12	Gaussian	419	3384	73500
12	Spherical	-1	-676	94500
18	Gaussian	100	37720	140500
18	Gaussian	1	712/9	152500
18	Exponential	-1	-812/9	108600
18	Gaussian	80	-22820	155600
18	Linear	-1890	-29230	129000
18	Gaussian	/1	838	49400
18	Gaussian	-10	-5130	296500
24	Linear	88/54	88/55	182035/4
24	Gaussian	800	32700	196600
18	Gaussian	1	2112	190200
24	Gaussian	-85	662/5	175700
24	Linear	-0/001	-0/1	511000
24	Gaussian	182	9-974	251100
24	Gaussian	90	23/4	119100
24	Gaussian	-700	4130	300400
36	Spherical	15	88/6	132900
36	Gaussian	386	2882	379200
36	Gaussian	/1	3112	192000
36	Gaussian	/1	1012/9	172900
36	Gaussian	19	548/9	211400
36	Gaussian	70	-612/9	254500
48	Gaussian	5200	41480	222200
48	Gaussian	80	838	74600
48	Gaussian	/1	3112	199600

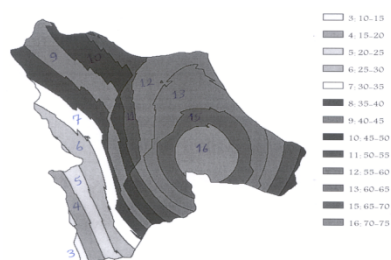
دقت (MAE) و انحراف (MBE) گردید و تعداد نقاط همسایگی که دارای کمترین مقدار MAE (بیشترین دقت) و کمترین انحراف بوده به عنوان مناسبترین نقاط برای میان‌یابی انتخاب گردید. نتایج در جدول (۶) آمده است.

ارزیابی روش‌های میان‌یابی

برای تعیین مناسب‌ترین روش میان‌یابی، پس از ترسیم واریوگرام بارش و ارتفاع، واریوگرام متقابل بارش و ارتفاع و تعیین مناسب‌ترین مدل برازش، داده‌ها به مدل‌های کریکینگ معمولی، کوکریکینگ و عکس فاصله (با درجه توان ۲، ۳، ۴ و ۵) وارد شد. روشی که دارای کمترین مقدار MAE و MBE بوده بعنوان مناسب‌ترین روش میان‌یابی انتخاب گردید (جدول ۷). با توجه به نتایج بدست آمده در جدول ۷، اکثر رگبارها از روش کریجینگ تبعیت می‌کنند.

نقشه‌های همباران

برای تهیه نقشه‌های همباران، برای هر رگبار بطور جداگانه بر اساس مناسب‌ترین روش میان‌یابی و تعداد همسایگی مناسب برای تخمین و ضرایب واریوگرام بارش و ارتفاع اقدام گردید. شکل (۲) بعنوان نمونه نشان داده شده است.



شکل ۲- نقشه همباران رگبار ۵۸/۱۱/۲۰

عمق- سطح بارش

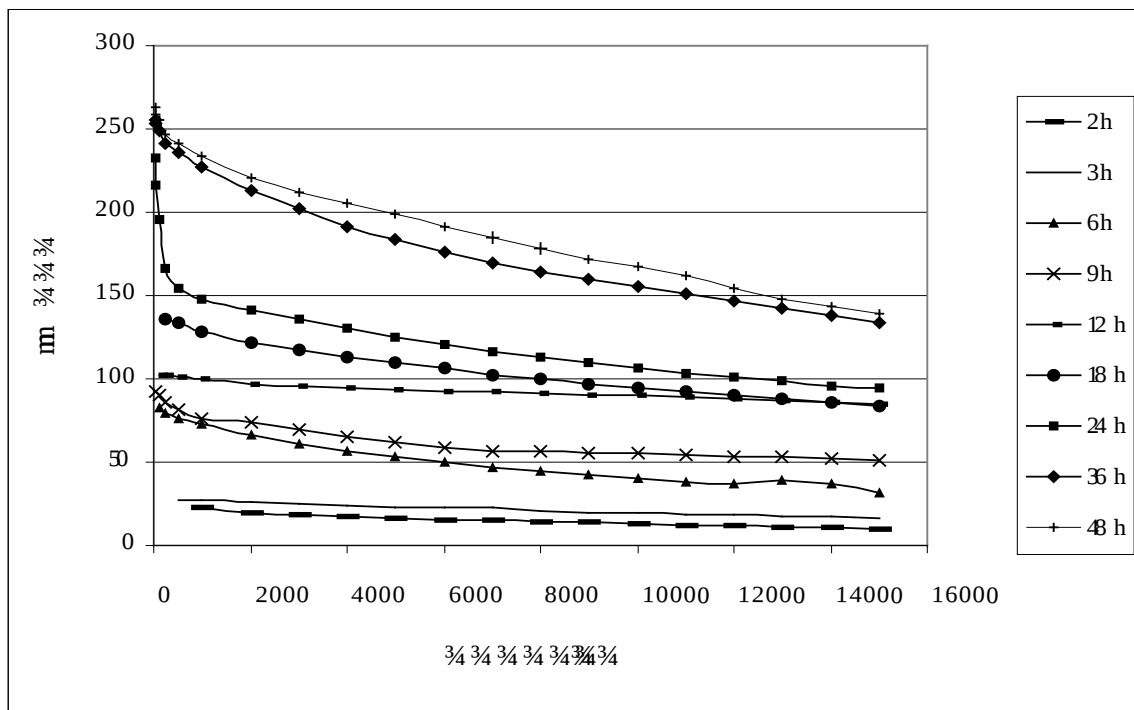
برای ترسیم نمودار هر رگبار هیستوگرام نقشه همباران رگبار محاسبه گردید و سطوح محصور بین خطوط متوالی نقشه همباران تعیین شد. بر اساس روش تحقیق محاسبات لازم انجام گرفت و با استفاده از نتایج حاصل، نمودار عمق-سطح برای هر تداوم ترسیم گردید به طور نمونه شکل (۳) نمودار عمق- سطح اولیه به روش زمین آمار برای بارش‌های ۱۸ ساعته را نشان داده شده است. شکل ۴ و ۵ نیز نمودارهای عمق- سطح- مدت را به روش زمین آمار و رگرسیون همبستگی ارتفاع-بارش نشان داده است. عمق بارش محاسبه شده به روش‌های زمین آمار و روش رگرسیون بارش- ارتفاع در تداوم‌های ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴، ۳۶ و ۴۸ ساعت در جداول ۸ و ۹ ارائه شده است.

جدول ۶- مقادیر MAE و MBE برای تعداد نقاط همسایگی

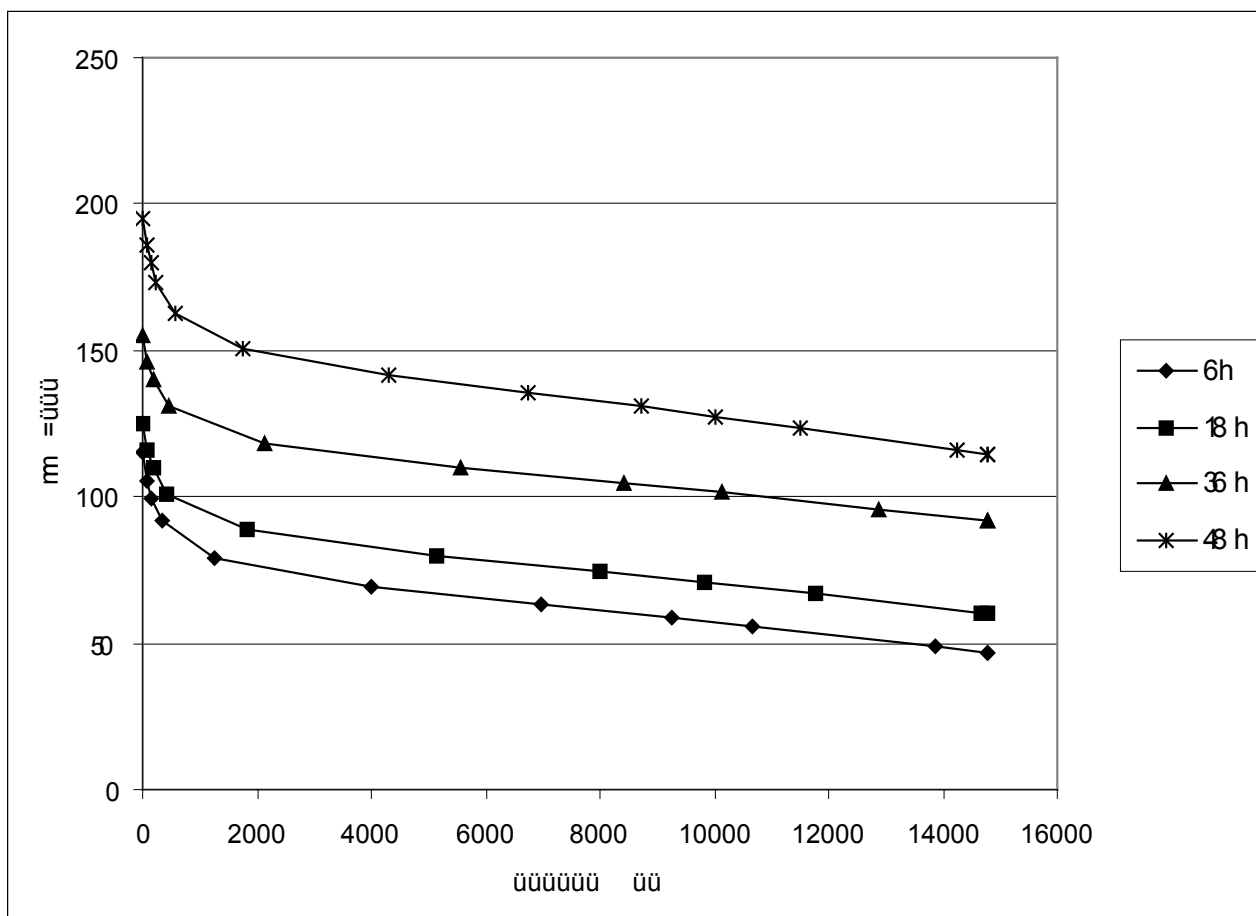
شماره رگبار	۳		۶		۹		۱۲		۱۵		تعداد نقاط انتخابی
	MAE	MBE	MAE	MBE	MAE	MBE	MAE	MBE	MAE	MBE	
۱	۷/۲۴	۱/۹۶	۷/۱۴	۲/۵۱	۶/۸۲	۳/۰۴	۶/۸۲	۳/۰۴	۸/۹۶	۲/۹۶	۳
۲	۵/۶۷	۱/۱۲	۵/۰۷	۱/۰۸	۵/۱۳	۱/۱	۵/۰۳	۱/۱۶	۴/۹۶	۱/۴۸	۶
۳	۳/۹۱	-۰/۶	۳/۷۱	-۰/۶۷	۳/۶۸	-۰/۴۲	۳/۶۸	-۰/۳۴	۳/۶۴	۳/۴۷	۱۵
۴	۶/۷۴	۰/۱۴	۶/۹۲	-۰/۶۷	۶/۶	۰/۱۱	۶/۳۸	۰/۳۲	۶/۲۹	۰/۵۴	۳
۵	۹/۳۴	۲/۱۵	۹/۸۹	۱/۸۱	۹/۴۵	۲/۲۸	۹/۰۵	۲/۵۸	۸/۹۶	۲/۹۶	۳
۶	۸/۸۸	-۰/۶	۹/۵	-۱/۳۱	۸/۸۳	-۰/۷	۸/۸۵	۰/۳۷	۸/۷۶	۰/۵۴	۱۵
۷	۱۵/۶۹	-۱/۲۵	۱۶/۰۱	-۱/۱۳	۱۶/۳	-۰/۱۸	۱۶/۰۶	۰/۳۱	۱۵/۶۶	۱/۶۶	۳
۸	۶/۸	-۱/۶	۶/۷۵	-۱/۴۷	۶/۱۰	-۰/۸۱	۶/۰۸	-۰/۶۱	۶/۰۸	-۰/۶	۱۵
۹	۷/۲۹	-۰/۰۴	۷/۳	۰/۴۴	۷/۴۲	۰/۷۳	۷/۲۸	۱/۲۹	۷/۲۸	۱/۲۹	۳
۱۰	۱۳/۹۵	-۰/۸۸	۱۵/۱۹	-۰/۶	۱۵/۴۶	۱/۱۹	۱۵/۰۲	۲/۱	۱۵/۰۵	۲/۳۴	۳
۱۱	۱۴/۷۲	-۲/۴	۱۳/۷۵	-۰/۸۶	۱۲/۶	-۰/۳	۱۲/۴۴	۰/۸۲	۱۲/۷۴	۱/۱۲	۹
۱۲	۱۱/۴۸	-۱/۹۷	۱۱/۳۲	-۱/۱۷	۱۰/۷۴	۰/۳	۱۰/۷۱	۰/۷۷	۱۱/۰۴	۱/۱۴	۹
۱۳	۱۴/۰۸	۰/۵۲	۱۵/۱۸	-۱/۶۷	۱۳/۷۶	-۰/۳۱	۱۳/۳۸	۰/۳۴	۱۳/۳۱	۱/۱۶	۱۲
۱۴	۱۲/۲۴	-۱/۲۹	۱۱/۹۶	-۰/۸۴	۱۱/۱۸	۰/۱۶	۱۱/۴۵	۰/۴۹	۱۱/۶۴	۰/۳۲	۹
۱۵	۳۵/۷۳	۰/۷۴	۳۲/۸۱	-۳/۶۹	۳۱/۹۶	-۲/۵۸	۳۰/۸	-۲/۵۵	۳۰/۳۸	-۲/۲	۱۵
۱۶	۱۴/۸۹	-۰/۷۳	۱۷/۲۳	-۲/۶۸	۱۸/۶۹	-۱/۶	۱۸/۸۸	-۰/۵۶	۱۹/۲۴	-۰/۲۳	۳
۱۷	۱۰/۹۷	-۱/۶۸	۱۱/۵۴	-۳/۹۲	۱۲/۵۱	-۲/۶۲	۱۲/۴۲	-۱/۹۲	۱۲/۷۸	-۰/۹۳	۳
۱۸	۱۶/۱۳	۰/۴۴	۱۸/۱۷	۰/۳۹	۱۹/۹۷	۰/۱۵	۱۹/۳۴	۱	۱۹/۰۴	۱/۱۶	۳
۱۹	۱۹/۷۵	-۴/۶۴	۲۰/۹۶	-۴/۱	۱۸/۶۷	-۲/۷۹	۱۸/۳۷	-۲/۹۲	۱۸/۱۶	۰/۵۹	۱۵
۲۰	۱۹/۴۱	-۳/۶۳	۱۷/۷۹	-۳/۰۴	۱۷/۵	-۱/۱۷	۱۷/۵۲	-۰/۷۵	۱۷/۰۲	-۰/۸۷	۱۲
۲۱	۱۵/۱۸	-۴/۲۵	۱۴/۸۹	-۲/۹۶	۱۴/۸۷	-۲/۹۱	۱۳/۶	-۲/۲۹	۱۳/۴۲	-۲/۲۱	۱۵
۲۲	۲۱/۳	۲/۷۸	۲۰/۲۷	۴/۱۲	۲۲/۳۹	۷/۳۹	۲۲/۱۹	۹/۷۲	۲۴/۰۵	۱۱/۲	۶
۲۳	۲۶/۳	۱/۹۱	۲۷	۱/۴۱	۲۷/۸۳	۴/۷۷	۲۶/۶۸	۵/۱۸	۲۷/۵۹	۴/۳۸	۶
۲۴	۱۹/۳۵	-۲/۹۱	۱۸/۶۴	-۳/۷۷	۱۸/۸۱	-۲/۰۵	۱۸/۱۴	-۱/۶	۱۷/۹۳	-۰/۵۶	۱۵
۲۵	۱۷/۲۲	-۱/۴۳	۱۶/۶۳	-۰/۷۲	۱۶/۶۶	-۰/۴۲	۱۶/۱۴	۰/۲۸	۱۵/۸۵	۰/۳۴	۱۲
۲۶	۲۷/۵۹	-۱/۸۳	۲۶/۱۹	۰/۸۹	۲۷/۵۷	-۰/۴۱	۲۶/۹۶	۰/۰۰۴	۲۷/۲	۱/۱۹	۱۲
۲۷	۱۸/۲۶	۳/۱۶	۱۷/۸۷	۴/۵	۱۷/۲۹	۳/۸۲	۱۷/۸	۶/۲۷	۱۷/۶۷	۵/۵۸	۹
۲۸	۳۲/۸۲	-۱/۴۵	۳۲/۶۵	-۴/۴	۳۵/۲۹	-۳/۱۳	۳۵/۳۲	-۰/۹۲	۳۶/۶۹	۱/۲۴	۶
۲۹	۱۸/۲۷	-۷/۶۳	۱۷/۶۳	-۸/۹۷	۱۷/۵۲	۱۷/۴۷	۹۵/۱۹	-۶۷/۴۷	۵۷/۷۱	-۴/۶۳	۶
۳۰	۲۸/۴۶	۲/۷۹	۲۸/۲۱	-۲/۹۶	۳۰/۸۴	۱/۹۶	۳۱/۴۳	۳/۵۹	۳۲/۱۹	۷/۱۷	۶
۳۱	۲۸/۴	۲/۱۳	۳۰/۶۹	۶/۷۳	۲۷/۸۹	۸/۰۶	۲۷/۱۶	۸/۸۱	۲۷/۰۶	۸/۵۴	۳
۳۲	۲۱/۹۴	-۱/۱۹	۱۹/۴۴	۱/۲	۱۸/۵۲	۱/۶۲	۱۸/۱۱	۲/۷۶	۱۷/۹۷	۲/۶	۹
۳۳	۴۱/۷	-۱/۶۸	۳۳/۶۶	-۰/۲۲	۳۷/۰۴	۲/۳۱	۳۶/۹۸	۳/۴۴	۳۷/۱۷	۲/۷۱	۶
۳۴	۳۶/۹۸	۱/۷۵	۳۲/۱۳	۰/۰۸	۳۲/۳	۰/۸۵	۳۰/۶۵	۲/۳۱	۳۰/۰۴	۱/۹۸	۶
۳۵	۱۹/۹۷	۰/۲۴	۱۹/۰۵	-۱/۱۴	۱۹/۸۲	۰/۴۸	۲۰/۲۹	۱/۷۶	۱۹/۸۱	۴/۶۸	۶
۳۶	۱۸/۴۹	۳/۲۳	۱۵/۸۸	۷/۴	۱۴/۹۶	۸	۱۵/۳۹	۸/۹۵	۱۵/۹۴	۹/۶۴	۹
۳۷	۳۱/۰۱	۱۰/۸۲	۳۲/۸۶	۱۰/۰۵	۳۲/۶۴	-۱۰/۲۴	۳۲/۶۱	-۸/۹	۳۲/۸۳	-۷/۴۹	۳
۳۸	۲۳/۱۸	-	۲۳/۶۳	-	۲۳/۸۵	-۱/۲۷	۳۲/۱۱	۰/۲۷	۲۳/۶۷	۱/۳۸	۱۲
۳۹	۴۱/۷	-۰/۶۳	۳۵/۷۶	-۲/۷۴	۳۷/۰۶	۲/۵	۳۵/۹	۵/۵۸	۳۷/۲۸	۴/۱۲	۶
۴۰	۲۸/۸۷	-۱/۷۹	۲۸/۷	-۰/۲۶	۲۹/۰۴	۶/۶۴	۲۹/۳۱	۶/۴۸	۲۹/۱۳	۷/۰۱	۳
۴۱	۲۳/۸	۲/۹	۳۱/۵۱	۵/۲۱	۲۷/۶۴	-۵/۹۱	۲۷/۵۶	-۱/۸۷	۲۵/۳۵	۲/۴۱	۱۵
۴۲	۲۷/۶۸	-۹/۰۳	۳۵/۶۲	-۹/۷۱	۲۵/۶۳	۱/۲۶	۲۴/۸۲	۳/۴۴	۳/۴۴	۴/۴۸	۶

جدول ۷- مقادیر MAE و MBE و بهترین روش انتخابی برای میانابی

شماره رگبار	تاریخ رگبار	Kriging		Cokriging		WMA(۲)		WMA(۳)		WMA(۴)		WMA(۵)		روش انتخابی
		MAE	MBE	MAE	MBE	MAE	MBE	MAE	MBE	MAE	MBE	MAE	MBE	
۱	۶۸/۱/۸	۷/۲۴	۱/۹۶	۷/۳۲	۱/۶۸	۶/۷۱	۲/۴۶	۶/۶۷	۱/۹۳	۶/۵۶	۱/۵۳	۶/۷	۱/۲۲	(۴) MA
۲	۶۲/۱۲/۲۹	۵/۰۷	۱/۰۷	۵/۱۹	۰/۶۶	۵/۳۵	۱/۰۳	۱/۰۳	۰/۹۴	۵/۳۴	۰/۸۶	۵/۳۲	۰/۷۷	Kriging
۳	۷۶/۹/۵	۳/۴۷	-۰/۵۲	۴/۱۵	-۰/۵۲	۳/۸۸	-۰/۱۸	-۰/۲	-۰/۵۳	۴/۴۱	-۰/۷۷	۴/۶	۰/۹۶	Kriging
۴	۶۹/۱۲/۹	۶/۷۵	۰/۱۴	۶/۱	۰/۷۵	۶/۱۱	۱/۲۱	۱/۲۱	۱/۵۸	۵/۹۸	۱/۸۴	۵/۹۸	۲/۰۳	Kriging
۵	۶۹/۱۱/۱۵	۹/۳۴	۲/۱۵	۱۰/۵۹	۱/۱۷	۱۰/۳۸	۲/۴	۲/۴	۲/۲	۱۱/۲۸	۱/۹۳	۱۱/۶۳	۱/۶۳	Kriging
۶	۶۱/۸/۱۹	۱۲/۶	-۰/۳	۱۳/۸۲	-۰/۱۹	۱۳/۰۷	-۱/۹۳	۱۳/۸	-۲	۱۴/۴۳	-۲/۲	۱۴/۸۴	-۲/۳۸	Kriging
۷	۶۶/۱۱/۱۴	۱۰/۷۴	۰/۳	-	-	۱۱/۴	-۲/۲۹	۱۰/۹۹	-۲/۵۱	۱۰/۹۵	-۲/۸۲	۱۱/۱۵	-۳/۰۷	Kriging
۸	۷۷/۱/۱۰	۱۳/۳۸	-۰/۳۴۱	۱۳/۰۳	۱/۱۹	۱۴/۹۲	۰/۵۱	۱۵/۷۳	۱/۵۴	۱۶/۳۸	۲/۱۳	۱۷/۱	۲/۴۴	Kriging
۹	۷۶/۹/۱۰	۱۱/۱۸	۰/۱۶	۱۲/۶۵	۰/۵۲	۱۱/۴۷	-۰/۲۸	۱۲/۲۲	۰/۱۴	۱۲/۷۸	-۰/۰۶	۱۳/۳۱	۰/۰۳	Kriging
۱۰	۷۳/۸/۲۶	۳۰/۳۸	-۲/۲	۳۴/۱۱	-۱/۷	۳۲/۲۷	-۲/۹۲	۳۲/۹۳	-۱/۸۳	۳۳/۰۶	-۱/۲۳	۳۳/۶	۰/۹۶	Cokriging
۱۱	۷۳/۸/۱۵	۱۴/۸۹	-۰/۷۳	۱۴/۱۸	۰/۵۴	۱۵/۳	-۰/۲۳	۱۵/۴۹	-۰/۱	۱۵/۸۳	۰/۰۴	۱۶/۱۳	-۰/۰۳	Cokriging
۱۲	۶۸/۸/۲۴	۱۰/۹۷	-۱/۶۸	۱۲/۵۸	-۱/۲۷	۱۲/۶۴	-۱/۲۴	۱۳/۰۶	-۱/۱۱	۱۳/۲۸	-۱	۱۳/۵	-۰/۹۱	Kriging
۱۳	۵۹/۱۰/۲۲	۱۶/۱۳	۰/۴۴	۱۵/۸۴	۱/۴۵	۱۷/۹۱	-۰/۰۵	۱۸/۴۹	-۰/۲۱	۱۸/۹۵	-۰/۴۴	۱۹/۳۹	-۰/۶۵	Kriging
۱۴	۷۴/۱۰/۱۶	۱۸/۱۶	-۲/۰۸	۲۱/۲۷	۰/۵۹	۱۹/۱۸	-۳/۴۵	۱۹/۹۹	-۲/۶۴	۲۰/۸۴	-۱/۸۴	۲۱/۳۹	-۱/۲۵	Kriging
۱۵	۵۸/۱۱/۲۰	۱۳/۴۲	-۲/۲۱	۱۴/۴۹	-۱/۸۲	۱۷/۵۶	-۸/۲۱	۱۷/۱۴	-۷/۴۹	۱۷/۵۵	-۶/۷۷	۱۷/۷۹	-۶/۴۲	Kriging
۱۶	۷۰/۹/۲۳	۲۰/۲۷	۴/۱۲	۲۱/۳۲	۳/۲۴	۲۳/۹۳	-۰/۵۲	۲۳/۵۴	-۰/۵۵	۲۳/۲۹	۱/۲۲	۲۳/۳۲	۱/۶	Kriging
۱۷	۶۵/۹/۲۸	۲۷	۱/۴۱	۲۵/۸۹	۵/۵۷	۲۵/۲۲	۳/۷۲	۲۵/۶۹	۵/۳۶	۲۷	۲/۶۶	۲۸/۰۶	۷/۶	Kriging
۱۸	۷۴/۱۰/۲۷	۱۶/۱۴	۰/۲۸	۱۵/۴۴	-۰/۹۲	۱۶/۹۲	-۰/۲	۱۷/۱۹	-۱/۲	۱۷/۶۳	-۱/۸۱	۱۸/۱۶	-۲/۱۷	Kriging
۱۹	۵۷/۱۰/۲۰	۱۷/۹۳	-۰/۵۶	۱۹/۶۵	-۲/۱۸	۱۸/۴۹	-۳/۷۸	۱۸/۹۶	-۴/۸۳	۱۹/۹	-۵/۳۷	۲۰/۶۷	-۵/۵۶	Kriging
۲۰	۷۷/۱۲/۱۱	۲۶/۹۶	۰/۰۰۴	۲۶/۶۵	۴/۵	۲۷/۹۵	-۱/۶۳	۲۸/۲۳	۰/۸۷	۲۹/۲۴	۲/۲	۲۹/۹۸	۲/۸	Kriging
۲۱	۷۶/۱۲/۲۸	۱۷/۲۹	۳/۸۲	۲۴	۴/۲	۲۰/۰۷	۲/۹۲	۲۱/۷۲	۳/۴۷	۲۲/۶۲	۴/۱۹	۲۳/۰۸	۴/۸۲	Kriging
۲۲	۶۵/۹/۸	۳۲/۶۵	-۴/۴	۳۰/۷۹	۰/۳۲	۳۳/۲۸	۰/۰۲	۳۳/۸۴	۱/۲۳	۳۴/۶۸	۱/۸۳	۳۵/۴۶	۲/۱۵	Cokriging
۲۳	۷۱/۱۲/۱	۱۷/۶۳	-۸/۹۷	۱۷/۶۳	-۸/۹۷	۱۶/۴۷	-۶/۰۸	۱۶/۱۴	-۵/۵۷	۱۶/۱۶	-۵/۴	۱۶/۱۲	-۵/۳۶	(۵)WMA
۲۴	۷۰/۹/۲۲	۲۸/۲۱	-۲/۹۶	۲۹/۵۱	۳/۷۶	۲۸/۷۱	۰/۸۱	۲۹/۶۷	۳/۲۹	۳۰/۷۶	۴/۸۱	۳۱/۷۹	۵/۷۱	(۲)WMA
۲۵	۶۳/۱۰/۱۲	۲۸/۴	۲/۱۳	۳۰/۴	-۰/۱۲	۲۵/۹۲	۱/۲۹	۲۵/۹۶	۰/۶۹	۲۶/۳۸	۰/۱۲	۲۶/۷۲	-۰/۴	(۳)WMA
۲۶	۶۹/۱۰/۲۹	۱۹/۴۱	۱/۶۷	۱۸/۷۳	۱/۵۲	۱۹/۶۶	۱/۷۲	۱۹/۷۹	۱/۷۱	۱۹/۸۷	۱/۶۳	۱۹/۸۹	۱/۴۸	Cokriging
۲۷	۶۹/۱۲/۱۴	۲۷/۳۵	۴/۳	۲۹/۰۳	۳/۰۶	۲۸	۵/۸۷	۲۸/۰۳	۶/۲۱	۲۷/۹۳	۶/۴	۲۸/۱۷	۶/۵۷	Cokriging
۲۸	۷۱/۹/۲۵	۱۳/۲۳	-۲/۵	۱۱	-۰/۹	۱۲/۳۴	-۱/۸۱	۱۲/۵	-۱/۸۳	۱۲/۵۷	-۱/۹۸	۱۲/۵۷	-۲/۱۶	Cokriging
۲۹	۷۳/۱۱/۱۶	۳۶/۶۶	-۰/۲۲	۴۳/۸	-۴/۴۱	۳۹/۵۸	-۲/۰۳	۴۱/۸	-۳/۰۳	۴۴/۳۷	-۴/۱	۴۶/۸	-۵/۲	Kriging
۳۰	۷۳/۸/۲۵	۳۲/۱۳	۰/۰۸	۳۲/۹	۰/۰۱	۳۳/۶	۰/۹۳	۳۳/۶۵	۱/۲۸	۳۳/۴۸	۱/۳۴	۳۳/۲۶	۱/۲۴	Kriging
۳۱	۶۸/۱۱/۱۵	۱۹/۰۵	۱/۱۴	۱۶/۰۹	۰/۹۷	۱۶/۹	۰/۷۱	۱۶/۲۳	۱/۳۴	۱۶/۳۸	۱/۶۴	۱۶/۷۳	۱/۷۹	Cokriging
۳۲	۷۳/۹/۲	۱۴/۹۶	۸/	۱۳/۵۸	۵/۵۸	۱۸	۸/۹۱	۱۷/۵۳	۷/۰۴	۱۷/۶۴	۵/۳۹	۱۸/۴۵	۴/۲۳	Kriging
۳۳	۷۱/۱۰/۱۷	۳۱/۰۱	۱۰/۸۲	۲۶/۶۱	-۷/۲۴	۲۵/۸۸	-۸/۹۷	۲۵/۰۴	-۸/۵۲	۲۴/۹۳	-۸/۳	۲۴/۸۷	-۸/۲	(۵)WMA
۳۴	۷۷/۱۱/۱۷	۲۳/۱۱	۰/۲۷	۲۲/۲۵	۱/۷۱	۲۰/۸۹	۰/۶۲	۲۰/۸۶	۲/۳۵	۲۲/۰۱	۳/۱۱	۲۲/۹	۳/۳۱	(۲)WMA
۳۵	۷۳/۱۱/۱۷	۳۵/۷۶	-۰/۲۶	۴۱/۲۸	-۲/۶۹	۴۰/۰۷	-۴/۱۳	۴۱/۹۳	-۴/۲۶	۴۳/۷۱	-۴/۶۴	۴۵/۱۹	-۵/۰۴	Kriging
۳۶	۶۸/۹/۱۲	۲۸/۸۷	۲/۹	۲۷/۹۳	۱/۲۲	۲۸/۵۳	۴/۲۸	۲۷/۷۷	-۴/۵۸	۲۹/۰۵	۴/۶۴	۲۹/۴۴	۴/۵۶	Kriging
۳۷	۷۱/۱۲/۲	۲۵/۳۵	۲/۴۱	۲۷/۵	۰/۲۳	۲۹/۸	-۶/۸۳	۲۹/۴۲	-۶/۳۴	۲۸/۹۵	-۴/۹۶	۲۸/۴۵	-۴/۳۱	Kriging
۳۸	۷۷/۱۱/۱۶	۲۵/۶۲	-۰/۲۷	۲۶/۲۱	۰/۸۹	۲۴/۳۸	۳/۲۳	۲۴/۹۴	۴	۲۵/۷۵	۴/۱	۲۶/۵۲	۳/۸۸	Kriging



شکل ۳- نمودار عمق- سطح- تداوم اولیه به روش زمین آمار برای بارش‌های ۱۸ ساعته



شکل ۴- نمودار عمق- سطح- تداوم بارش به روش گرادیان ارتفاع- بارندگی در استان کهگیلویه و بویراحمد

جدول ۸- عمق - مساحت بارش به روش زمین آمار برای تداوم‌های مختلف

مساحت Km ^۲	مدت تداوم (ساعت)								
	۲	۳	۶	۹	۱۲	۱۸	۲۴	۳۶	۴۸
۲۵							۲۳۳/۷	۲۵۵	۲۶۳/۱
۵۰				۹۲/۴			۲۱۶/۳	۲۵۳	۲۵۹/۲
۱۰۰			۸۲/۲	۹۰/۶	۱۰۲/۳		۱۹۶/۱	۲۴۸/۶	۲۵۵/۶
۲۵۰			۷۹/۵	۸۶/۳	۱۰۱/۹	۱۳۶	۱۶۶/۴	۲۴۱/۲	۲۴۶/۷
۵۰۰		۲۷/۴	۷۶/۳	۷۹/۰	۱۰۱/۱	۱۳۳/۳	۱۵۰/۶	۲۳۵/۷	۲۴۱/۸
۱۰۰۰	۲۲/۸	۲۶/۹	۷۲/۷	۷۵/۶	۹۹/۵	۱۲۸/۳	۱۴۷/۳	۲۲۷/۱	۲۳۴
۲۰۰۰	۲۰/۱	۲۵/۸	۶۶/۶	۷۳/۸	۹۷/۱	۱۲۱/۷	۱۴۱/۷	۲۱۳/۴	۲۲۰/۹
۳۰۰۰	۱۸/۶	۲۴/۸	۶۱/۳	۶۹/۵	۵۹/۹	۱۱۶/۹	۱۳۵/۹	۲۰۱/۷	۲۰۹/۷
۴۰۰۰	۱۷/۶	۲۳/۷	۵۶/۷	۶۵/۵	۹۴/۷	۱۱۳/۱	۱۳۰	۱۹۱/	۲۰۵/۵
۵۰۰۰	۱۶/۶	۲۲/۸	۵۲/۷	۶۲/۱	۹۳/۸	۱۰۹/۹	۱۲۴/۷	۱۸۳/۲	۱۹۹/۳
۶۰۰۰	۱۵/۷	۲۲/۷	۴۹/۸	۵۹/۲	۹۲/۹	۱۰۶/۲	۱۲۰/۳	۱۷۵/۲	۱۹۱/۶
۷۰۰۰	۱۴/۸	۲۲/۶	۴۷	۵۶/۶	۹۲/۱	۱۰۲/۶	۱۱۶/۴	۱۶۹/۷	۱۸۴/۳
۸۰۰۰	۱۴/۲	۲۰/۷	۴۴/۶	۵۶/۱	۹۱/۳	۹۹/۵	۱۱۲/۹	۱۶۴/۲	۱۷۸/۱
۹۰۰۰	۱۳/۶	۲۰/۱	۴۲/۳	۵۵/۵	۹۰/۵	۹۶/۷	۱۰۹/۷	۱۵۹/۳	۱۷۲/۲
۱۰۰۰۰	۱۲/۹	۱۹/۴	۴۰/۲	۵۵	۸۹/۸	۹۴/۱	۱۰۶/۷	۱۵۴/۹	۱۶۶/۹
۱۱۰۰۰	۱۲/۳	۱۸/۸	۳۸/۲	۵۴/۴	۸۹/۲	۹۱/۹	۱۰۳/۱	۱۵۰/۶	۱۶۲/۲
۱۲۰۰۰	۱۱/۸	۱۸/۲	۳۶/۵	۵۳/۸	۸۸/۵	۸۹/۷	۱۰۱/۱	۱۴۶/۴	۱۵۳
۱۳۰۰۰	۱۱/۱	۱۷/۶	۳۸/۸	۵۳/۲	۸۷/۵	۸۷/۷	۹۸/۶	۱۴۲/۱	۱۴۸/۳
۱۴۰۰۰	۱۰/۵	۱۶/۹	۳۶/۹	۵۲/۳	۸۶	۸۵/۶	۹۶/۱	۱۳۷/۶	۱۴۳/۵
۱۵۰۰۰	۱۰	۱۶/۴	۳۱/۹	۵۱/۴	۸۴/۶	۸۴	۹۴/۱	۱۳۳/۷	۱۳۹/۳

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه برای تهیه منحنی‌های عمق-سطح-تداوم بارش (DAD) برای تداوم‌های بارش ۲، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴، ۳۶ و ۴۸ ساعته در محدوده استان کهگیلویه و بویراحمد از دو روش گرادیان ارتفاع-بارندگی و زمین آمار برای میان‌یابی استفاده گردید. با توجه به اطلاعات بارش روزانه ایستگاه‌های منطقه، ایستگاه‌هایی که در شمال غرب استان واقع گردیده‌اند مقدار بارش بیشتری نسبت به ایستگاه‌های شمال شرق دریافت نموده‌اند که این موضوع می‌تواند ناشی از قرارگرفتن ایستگاه‌های غربی در مسیر جبهه و تخلیه رطوبت باشد. احمدی [۱] طی بررسی‌های خود نشان داد که نوع و مسیر حرکت جبهه هوای مرطوب تأثیر قابل توجهی در مقدار بارش و در نهایت منحنی عمق-مساحت-تداوم دارد. در مجموع در اغلب رگبارها، ایستگاه سیدار بیشترین مقدار بارش را دریافت نموده است. به عبارت دیگر مرکز اغلب رگبارهای شدید منطقه سیدار

بوده است. بیش از ۶۰ درصد رگبارهای شدید و فراگیر در فصل زمستان به وقوع پیوسته‌اند، یعنی بیشترین مقدار بارش در امتداد جبهه سرد رخ می‌دهد.

نتایج نشان داد که در بیشتر رگبارها روش کریجینگ مناسب‌ترین روش برای میان‌یابی است در این رابطه گواتز [۵]، مهدیان [۷]، سلیمانی و همکاران [۱۰]، میرموسوی [۹] و ذبیحی [۱۱] نیز روش کریجینگ را روش برتر در مقایسه با دیگر روش‌های زمین‌آمار برای میان‌یابی بارش گزارش نمودند. قبل از پهنه‌بندی مقادیر بارش رگبارها به مدل‌های مختلف خطی، نمایی، گوسی، لگاریتمی و توانی برازش شد. در اکثر موارد داده‌های بارش از مدل گوسی تبعیت نمودند که در این رابطه ذبیحی و همکاران [۱۱] و گودرزی و همکاران [۴] نیز نتایج مشابهی را گزارش دادند. تغییرات بارندگی با توجه به روابط بدست آمده برای عمق و سطح در هر یک از رگبارهای حداکثر و فراگیر، برای هر تداوم یک رابطه تلفیقی به

جدول ۹- ارتفاع بارش - سطح برای تداوم‌های مختلف به روش گرادیان

مساحت ۲ Km	مدت تداوم (ساعت)			
	۶	۱۸	۳۶	۴۸
۲۵	۱۱۱/۷	۱۲۲/۹	۱۵۲/۸	۱۹۲/۳
۵۰	۱۰۷/۹	۱۱۹/۹	۱۴۹/۹	۱۸۸/۴
۱۰۰	۱۰۳/۲	۱۱۴/۹	۱۴۴/۹	۱۸۳/۲
۲۵۰	۹۵/۳	۱۰۷/۶	۱۳۷/۸	۱۷۳/۳
۵۰۰	۸۹/۵	۱۰۰/۶	۱۳۰/۶	۱۶۵/۱
۱۰۰۰	۸۲/۸	۹۶/۲	۱۲۶/۹	۱۵۸/۵
۲۰۰۰	۷۶/۷	۸۸/۴	۱۱۹/۶	۱۴۹/۹
۳۰۰۰	۷۳/۱	۸۵/۷	۱۱۶/۴	۱۴۶/۲
۴۰۰۰	۶۹/۳	۸۳	۱۱۴	۱۴۲/۶
۵۰۰۰	۶۷/۳	۸۰/۳	۱۱۱/۶	۱۳۹/۸
۶۰۰۰	۶۵/۲	۷۸/۳	۱۰۹/۴	۱۳۷/۳
۷۰۰۰	۶۳/۳	۷۶/۵	۱۰۷/۶	۱۳۴/۹
۸۰۰۰	۶۱/۳	۷۴/۶	۱۰۵/۸	۱۳۲/۶
۹۰۰۰	۵۹/۳	۷۲/۶	۱۰۳/۹	۱۳۰/۲
۱۰۰۰۰	۵۷/۳	۷۰/۶	۱۰۱/۹	۱۲۷/۶
۱۱۰۰۰	۵۴/۹	۶۸/۴	۹۸/۴	۱۲۴/۸
۱۲۰۰۰	۵۲/۷	۶۶/۱	۹۶/۴	۱۲۲
۱۳۰۰۰	۵۰/۵	۶۳/۹	۹۵/۷	۱۱۹/۳
۱۴۰۰۰	۴۸/۳	۶۱/۷	۹۳/۶	۱۱۶/۶
۱۵۰۰۰	۴۶/۵	۶۰/۱	۹۱/۹	۱۱۴/۴

مطالعه نشان داد که اکثر بارندگی‌های شدید در استان در اواخر فصل پاییز و فصل زمستان رخ می‌دهد.

در این مطالعه به منظور ترسیم نقشه‌های همباران، روابط همبستگی ارتفاع و مقادیر بارندگی حداکثر در تداوم‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به روابط رگرسیون خطی، فقط برای تداوم‌های ۶، ۱۸، ۳۶ و ۴۸ ساعته، ضرایب همبستگی مناسب بوده است. گودرزی و همکاران [۴] نیز نتیجه گرفت که روابط رگرسیونی بارش- ارتفاع دارای دقت مناسبی برای تخمین میزان مکانی بارش نمی‌باشند که دلیل آن را توپوگرافی شدید و تغییرات زیاد اقلیمی دانست. روابط عمق- سطح- تداوم بارش حاصل از این روش در مجموع مقدار بارش کمتری را نسبت به روش زمین آمار نشان داده است که علت آن می‌تواند حذف شدن رگبارهای شدیدتر به علت نداشتن ضرایب همبستگی مناسب می‌باشد. با توجه به این روابط، مقادیر بارندگی با افزایش مساحت کاهش می‌یابد و همچنین با افزایش زمان تداوم مقدار بارش نیز افزایش می‌یابد. در محدوده

عنوان رابطه عمق- سطح- تدام بارش ارائه گردید. روند تغییرات مقدار بارش نسبت به افزایش مساحت نشان داد که در هر یک از رگبارهای انتخاب شده، روند مشخصی در کاهش مقدار بارش نسبت به افزایش مساحت وجود دارد به طوری که کاهش مقدار بارش در رگبارهای شدید تندتر بوده است. از تلفیق این روابط، رابطه کلی عمق- سطح- تداوم بارش با استفاده از حداکثر مقدار بارش در هر سطح در محدوده استان تهیه گردید. منحنی‌های عمق- سطح- تداوم در محدوده استان روند کاهش مقادیر بارندگی با افزایش مساحت را نشان داده است. در محدوده استان کهگیلویه و بویراحمد روند کاهش برای تداوم‌های ۲، ۳، ۱۲، ۱۸، ۳۶ و ۴۸ ساعته با افزایش سطح تقریباً یکنواخت بوده است. روند نزولی مقادیر بارش با افزایش مساحت در تداوم‌های ۶، ۹ و ۲۴ ساعته متفاوت بوده به نحوی که، در مساحت کمتر از ۵۰۰ کیلومترمربع شیب خط کاهش مقدار بارش نسبت به مرکز رگبار تند بوده و سپس بصورت یکنواخت کاهش یافته است. انتخاب بارندگی‌های فراگیر و حداکثر در محدوده مورد

6. Hassanipak, A., 1998, Geostatistics, Tehran University Publications.
7. Mahdian, M., 2002, Determination of Optimization Interpolation Methods to Estimate Rainfall and Temperature in Arid, Semiarid and Humid Regions (IRAN), Project Report Soil Conservation and Watershed Management Research Institute.
8. W.M.O (1989). Manual for Depth- Area-Duration analysis of storm precipitation No 237.
9. Mirmousavi, S.H., Mazidi, A., Khosravi, Y., 2010, The Determination of Optimum Geostatistics Method for Estimating Precipitation Distribution Using GIS (Case Study of Esfahan Province), Geographic Space, No. 10, PP.105-120.
10. Solaimani K., Habibnejad M., Abkar A., Bani-Asadi M., 2006, Analysis of Depth-Area-Duration Curves of Rainfall in Semi-Arid and Arid Region Using Geostatistical Methods (Case Study: Sirjan), Journal of Desert, No.1, PP. 31-42.
11. Zabihi A.R, Solaimani K. Shabani M. Abravsh S. 2012. An Investigation of Annual Rainfall Spatial Distribution Using Geostatistical Methods (A Case Study: Qom Province). Natural geography research. 78: 101-114.

استان کهگیلویه و بویراحمد در تداوم‌های ۶، ۱۸، ۳۶ و ۴۸ ساعته روند کاهش متفاوت بوده به طوری که در ابتدا (مساحت کمتر از ۱۰۰۰ کیلومترمربع) روند کاهش مقدار بارش نسبت به مرکز رگبار تند بوده و سپس به صورت یکنواخت ادامه پیدا کرده است.

منابع

1. Ahmadi, A., 2001, Relation of Deth-Area-Duration of Rainfall in Kermansha Province, Project Report Research Centre of Kermanshah. Pp50.(in Persian)
2. Alizadeh, A., 1995. Applied Hydrology Principles, 5ed Edition, Emam Reza University Press, 634p. (in Persian)
3. Ghafourian, R., and Telvari A. 2010. Determination of Depth-Area-Duration Rainfall Curves and Relationships in Khorasan Province. Journal of Range and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources, Vol. 63, No. 2, 2010. pp.219-234.
4. Godarzi. M., Jahanbakh Asl, S., Rezaei Banafshe M. 2011. Prepatation and Sudy Relation of Deth-Area-Duration of Rainfall in Eafahan Provinc. Geography journal. 37: 133-149.
5. Goovaerts, P., 2000, Geostatistical Approach for Incorporation, Elevation into Spatial Interpolation of Rainfall, Journal of hydrology, No. 228, PP. 113-129.

Abstract

Evaluation of Isorainfall Curves Derived from Geostatistical and Correlation Methods in Kohgiluyeh va Boyerahmad Province

M. Khazaei^{1*}, A. Shahrivar², A. Mollaei³

Received: 2014.11.17 Accepted: 2015.6.24

In arid and semi-arid regions due to a lack of rainfall and high scattering of rainfall stations, the rainfall distribution estimation among the stations is necessary for the water, soil and flood in this research to study the spatial variations of maximum and pervasive rainfall in Kohgiluyeh va Boyerahmad Province the observational storms (in 35 stations) were collected and studied. In this study 45 storms were selected. To investigate the spatial distribution of rainfall amounts in the methods studied, the observational storms spatial pattern with 4 methods such as kriging, cokriging, inverse distance and precipitation gradient equation were analyzed. The results were evaluated using the comparison of the estimated error of each method. The maximum rainfall were determined using models derived from depth area duration relationships in durations 2,3,6,9, 12, 18, 24, 36 and 48 hours in Kohgiluyeh va Boyerahmad Province. According to the results, correlation coefficients are provided the appropriate values for durations 6, 18, 36, 48 hours. The DAD relationships derived from this method show lower values of precipitation to geostatistical method. This study indicated that the most of storms in cokriging method have lower errors.

Keywords: DAD, Geostatistical, Kriging, Mapping, Rainfall

1. PhD student of Watershed Management, Hormozgan University

* Corresponding Author: khazaei.phd@hormozgan.ac.ir

2. Academic Staff, Agricultural sciences and natural resources research center of Kohgiluyeh va Boyer Ahmad Province

3.