

برآورد بارش‌های طراحی کوتاه‌مدت برای حوزه‌های آبخیز با استفاده از روش‌های زمین‌آماري، مطالعه موردی: ناحیه جنوب آذربایجان غربی

منصور مهدی‌زاده یوشانلوئی^{۱*}، رضا سکوتی اسکوتی^۲، ابراهیم بروشکه^۲، احمد نجفی^۲، جواد طاهری^۲

۱ - دانشجوی دکتری پردیس دانشگاه ارومیه و کارشناس مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی (mehdizadehmansor@gmail.com)

۲ - اعضای هیئت علمی مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی

چکیده

ایستگاه‌های ثبات، بارندگی را به صورت نقطه‌ای اندازه‌گیری می‌کنند که ممکن است آن ایستگاه مرکز بارندگی نباشد و زمانی که اطلاعات کافی برای بارندگی منطقه‌ای و برآورد آن موجود نباشد، لازم است علاوه بر تغییرات زمانی، تغییرات مکانی بارندگی نیز بررسی شود. برای این کار دسته منحنی‌های عمق، مساحت و تداوم بارندگی (DAD)^۱ در پایه‌های زمانی مختلف تهیه می‌شوند. با بررسی و ترسیم این منحنی‌ها در هر منطقه برآورد مطلوب از میزان بارش بدست می‌آید. از این رو مطالعات DAD برای ناحیه جنوبی استان آذربایجان غربی با مساحت ۱۷۴۱۰ کیلومتر مربع انجام شد. تعداد ایستگاه‌های مورد استفاده ۵۰ ایستگاه باران سنجی و پنج ثبات می‌باشد که از بین آن‌ها تعداد ۹ رگبار فراگیر و حداکثر برای منطقه مورد مطالعه انتخاب و استخراج و گراف بارش تجمعی آن‌ها ترسیم شد. از روی ایستگاه‌های ثبات، بارش‌های ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸، ۲۴ ساعته برای ایستگاه‌های معمولی استخراج شد. در این مطالعه، از روش‌های گردایان بارش-ارتفاع و روش‌های ژئواستاتستیکی^۲ مانند روش‌های کریجینگ و میانگین متحرک برای برآورد عمق بارندگی در حوزه مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. برای ارزیابی این روش‌ها از دو پارامتر آماری متوسط خطای انحراف (MBE)^۳ و متوسط خطای مطلق (MAE)^۴ استفاده شد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد روش میانگین متحرک نسبت به سایر روش‌ها دارای میانگین خطای مطلق کم‌تری بوده پس انتخاب شد. برای هر بارش سطح بین خطوط هم‌باران، مساحت افزایشی، حجم بارش خالص، حجم بارش تجمعی و متوسط حداکثر بارش مشخص شد. منحنی اولیه DAD برای هر بارش ترسیم شد. نتایج نشان داد که در تداوم بارندگی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ساعته همواره با افزایش مساحت تحت پوشش بارش، مقدار بارش کاهش می‌یابد. بارش در هفت تداوم ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ساعته به ترتیب در

¹ Depth-Area-Duration Curves

² Geostatistics

³ Mean Absolute Error

⁴ Mean Deviation Error

مساحت‌های بالاتر از یک کیلومترمربع اتفاق می افتد و حداکثر عمق بارش در مساحت مذکور برای تداوم‌های یاد شده به ترتیب ۲/۳، ۹/۱۳، ۱۵/۸۰، ۳۶/۸۸، ۴۰/۲۰، ۵۹/۳۷ و ۴۹/۷۵ میلی‌متر است.

واژه های کلیدی: کریجینگ، گرادیان بارندگی، متوسط خطای انحراف، میانگین متحرک، منحنی تجمعی، آذربایجان غربی

مقدمه

دسترسی به روابط سطح-عمق-تداوم برای هیدرولوژیست‌ها و برنامه ریزان منابع آب و طراحان سازه‌های کوچک و بزرگ مهم می‌باشد. کاربران غالباً به مقادیر بارش برای فواصل کمتر از ۲۴ ساعت نیاز دارند. داده‌های هواشناسی از جمله متغیرهای مهمی هستند که در مطالعات آب و خاک بخصوص در طرح های آبیاری و زهکشی از اهمیت قابل ملاحظه ای برخوردار می‌باشند. از جمله این متغیرها بارندگی است که به علت توزیع نامناسب ایستگاه های هواشناسی، در بسیاری از مناطق اطلاعاتی از آن وجود ندارد. بنابراین، لازم است برآوردی از آن در مناطق فاقد آمار صورت گیرد. در شرایط فعلی، روش های مختلفی برای برآورد بارندگی وجود دارد که از جمله آن ها می توان به استفاده از اطلاعات نزدیکترین ایستگاه به منطقه مورد مطالعه و نیز استفاده از رابطه بین ارتفاع و بارندگی اشاره نمود. اصولاً از طریق این روش‌ها نمی‌توان نسبت به دقت برآورد بارندگی اظهار نظر نمود. به عبارت دیگر نمی‌توان به زیاد بودن و یا کم برآورد نمودن این پارامتر اقلیمی در منطقه مورد مطالعه پی برد. در واقع درمحل‌هایی که برآورد بارندگی مورد نظر می‌باشد مقادیر اندازه‌گیری شده وجود ندارد. در این رابطه می‌توان از روش‌های ژئواستاتستیکی استفاده کرد. این روش‌ها ضمن اینکه از دقت نسبتاً بالایی برخوردار هستند، با استفاده از راه‌حل‌های خاصی امکان تعیین دقت آن‌ها مقدور می‌باشد. طی پژوهشی، مهدیان (۱۳۸۱) نشان دادند که روش اسپلاین و روش کریجینگ برای برآورد بارندگی و درجه حرارت در سه اقلیم خشک، نیمه خشک و مرطوب نسبت به سایر روش‌ها ارجحیت دارد. ملایی و همکاران (۱۳۸۴) با بررسی تعداد ۴۵ رگبار فراگیر و حداکثر با استفاده از روش‌های زمین آماری نشان دادند که در اکثر رگبارها روش کریجینگ در مقایسه با دو روش زمین آماری کوکریجینگ و عکس فاصله از خطای کمتری برخوردار بوده و به رسم منحنی‌های DAD در استان کهگیلویه و بویراحمد پرداختند. در پژوهشی سلیمانی و همکاران (۱۳۸۵) در رسم منحنی‌های DAD در منطقه کفه نمک سیرجان از روش‌های زمین آماری استفاده کردند و پس از ارزیابی روش‌های کریجینگ و عکس فاصله با توان (۱-۳)، روش کریجینگ در تعیین متوسط بارندگی بر روش عکس فاصله ارجحیت داشته و هم چنین با بررسی منحنی‌ها نشان دادند که مقدار بارندگی در مرکز نسبت به مقدار آن در یک سطح ۲۰ هزار کیلومترمربعی برای تداوم‌های یک تا سه روزه به ترتیب برابر ۱/۹۸، ۱/۷۴، ۱/۴۸ می‌باشد. گودرزی و همکاران (۱۳۹۰) از آمار مشاهداتی ایستگاه‌های ثابت تعداد ۱۶۵۴ رگبار را استخراج و از بین آن‌ها ۷ رگبار فراگیر با تداوم ۲۴ ساعته انتخاب کردند و در رسم منحنی‌های عمق، سطح و مدت بارش در استان اصفهان از روش‌های زمین آماری مانند کریجینگ، کوکریجینگ، IDW و TPSS استفاده کردند و از بین روش‌ها کریجینگ دقت بیشتری را نشان داد. نظری‌پویا و همکاران (۱۳۹۰) تعداد ۹ رگبار فراگیر و حداکثر نهایی بارندگی، از میان ۵۰ رگبار در سطح سه استان همدان، قزوین و زنجان را انتخاب کردند تعداد ایستگاه‌ها از ۱۶۹ ایستگاه هواشناسی مورد بررسی، در رگبارهای مختلف از ۱۱۶ تا ۱۲۵ ایستگاه طی دوره آماری ۳۰ سال متغیر بود. طبق بررسی‌های انجام شده، منحنی‌های عمق-سطح-تداوم بارندگی برای کل منطقه تهیه و ترسیم کردند. طی پژوهشی، آقارزی و همکاران (۱۳۸۶) با بررسی آمار بارندگی ایستگاه‌های باران سنجی و باران نگاری در استان مرکزی، ۶۰ بارش ۲۴ ساعته از ایستگاه سینوپتیک اراک استخراج کردند که از بین آن‌ها ۱۰ بارش ۲۴ ساعته انتخاب شد. سپس، با تفکیک بارش‌های کوتاه مدت ۳، ۶ و ۱۲ ساعته، نقشه‌های هم‌باران را ترسیم و در نهایت منحنی‌های نهایی DAD برای چهار

تداوم ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعته برای کاربرد در سطح استان ترسیم و معرفی نمودند. احمدی در سال ۱۳۸۰ به بررسی منحنی‌های عمق-سطح و مدت بارش در استان کرمانشاه پرداخت. در سال ۲۰۰۲ اداره توسعه هیدرولوژی آمریکا، فراوانی بارندگی در جزایر هاوایی را مورد بررسی قرار داده که در آن روابط عمق-سطح بارندگی برای مساحت‌های ۱۰ تا ۴۰۰ مایل مربع، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و منحنی‌های تهیه شده در ۸ منطقه دیگر نیز آزمون شده است. در گزارش هیدرولوژی (۲۰۰۳) اداره توسعه هیدرولوژی آمریکا در کشور پورتوریکو و جزیره ویرجین، پس از تقسیم بندی منطقه به ۷ منطقه اقلیمی همگن، روابط عمق-سطح-تداوم بارندگی، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و برنامه ای کامپیوتری نیز در ارتباط با روابط مکانی این منحنی‌ها تهیه شده است. برخی پارامترهای مربوط به بارش طراحی توسط گیووارا (۲۰۰۳) در ونزوئلا مورد مطالعه قرار گرفته و ضمن بررسی مقادیر شدت-مدت-فراوانی بارندگی منطقه، روابط عمق-سطح-تداوم بارندگی نیز استخراج و با انتخاب ۴۷ رگبار و با در نظر گرفتن تداوم‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۹ و ۱۲ ساعته، منحنی‌های مربوطه تهیه و ترسیم شد. در این تحقیق، هدف رسم منحنی‌های DAD با استفاده از روش‌های گرادیان بارندگی و زمین آماری برای برآورد ارتفاع حداکثر میانگین بارش در ناحیه جنوبی استان آذربایجان غربی ایران است. به عبارتی رسم منحنی‌های عمق، مساحت و تداوم بارندگی در حوزه مورد مطالعه قرار گرفت که با رسم این منحنی‌ها می‌توان برای پایه‌های زمانی مختلف میزان بارندگی را تعیین کرد. این منحنی‌ها بخصوص در مناطقی که ایستگاه‌های باران‌نگاری از پراکنش و فراوانی کافی برخوردار نیستند اهمیت دارند.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد بررسی در مختصات جغرافیایی $36^{\circ}00'$ تا $37^{\circ}30'$ درجه عرض شمالی و $30^{\circ}44'$ تا $30^{\circ}47'$ درجه طول شرقی در جنوب استان آذربایجان غربی قرار دارد. بارش متوسط آن ۳۰۰ تا ۹۰۰ میلی‌متر است. ناحیه مورد مطالعه با مساحت ۱۷۴۱۰ کیلومترمربع در دامنه ارتفاعی ۸۰۰ تا ۴۰۰۰ متر قرار دارد. در این ناحیه با وجود ارتفاعات و ناهمواری‌های متعدد و تنوع اقلیمی گوناگون و میکروکلیمای فراوان از تراکم ایستگاه‌های باران‌سنجی ضعیفی برخوردار می‌باشند.

مواد و روش‌ها

در قدم اول اقدام به جمع‌آوری بارندگی ایستگاه‌های واقع در محدوده مطالعاتی از ابتدای تاسیس شد. تعداد ۵۰ ایستگاه معمولی و پنج ایستگاه ثبات مهاباد-اشنویه-صائین‌دژ-نوروزلو و نقده در محدوده مورد بررسی قرار دارد. در این مرحله با استفاده از دستورات نرم افزار اکسل اقدام به انتخاب بارندگی‌های فراگیر و حداکثر شدت. تعداد ۹ رگبار فراگیر و حداکثر از بین رگبارهای مورد مطالعه انتخاب شد. بارش‌های ساعتی ایستگاه‌های معمولی از روی ایستگاه‌های ثبات استخراج شد. برای تعیین گرادیان بارندگی، تمامی ایستگاه‌هایی که رگبار مورد نظر را ثبت کرده اند مورد استفاده قرار گرفتند و رابطه بین میزان بارندگی (p) و ارتفاع ایستگاه (h) برای آن‌ها محاسبه شد. معادله همبستگی گرادیان بارندگی با روش‌های مختلف رگرسیونی مانند خطی، لگاریتمی، هائی در نرم افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در این پژوهش برای رسم خطوط هم‌باران ابتدا سه روش گرادیان، کریجینگ و مجدور عکس فاصله برای عملیات میان‌یابی مورد ارزیابی قرار گرفت، سپس با استفاده از مناسب‌ترین روش، اقدام به رسم خطوط هم‌باران شد. بدین منظور ابتدا برای هر یک از واقعه بارندگی در روش‌های زمین‌آمار جدولی متشکل از مختصات هر ایستگاه به صورت (UTM) و مقدار بارندگی ایستگاه در آن تاریخ تشکیل شد. سپس با استفاده از این جدول در نرم افزار GS^+ مدل واریوگرام مناسب به ساختار فضائی هر واقعه بارندگی (در این مرحله با استفاده از ریشه دوم و لگاریتم داده‌ها نسبت به داده‌هایی که توزیع نرمال نداشته، اقدام شد) برازش شد. در مرحله بعد با استفاده از مدل واریوگرام و پارامترهای آن (اثر قطعه‌ای-آستانه-شعاع تاثیر-تعداد نقاط مورد استفاده) نسبت به عملیات اینترپلاسیون با

استفاده از روش های کریجینگ و عکس فاصله اقدام شد [۲]. در این مرحله برای بررسی خطای روش میان یابی و انتخاب بهترین روش در تعیین مقدار بارندگی از روش $C.V$ استفاده شد. در این روش برای هر یک از نقاط اندازه گیری شده که معمولاً تنها ابزار مقایسه می باشند می توان تخمین انجام داد. سپس به مقایسه مقدار مشاهده ای و تخمین پرداخت. بدین ترتیب که در روش $C.V$ یک نقطه حذف و با استفاده از سایر نقاط و اعمال روش میان یابی مورد نظر، برای این نقطه تخمین صورت می گیرد. دو ستون وجود دارد. یک ستون مقادیر مشاهده ای و ستون بعدی مقادیر برآورد شده، که می توان به مقایسه این دو پرداخت و با استفاده از معیار میانگین مطلق خطا نسبت به انتخاب بهترین روش اقدام نمود [۲].

در این تحقیق از معیار میانگین مطلق خطا (MAE) استفاده شده است. روش محاسبه این معیار در رابطه ۱ نشان داده شده است [۲]:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |(R_s - R_o)|}{n}$$

رابطه ۱

R_o = مقدار برآورد شده

R_s = مقدار مشاهده شده

n = تعداد متغیر مشاهده شده

MAE = میانگین مطلق خطا (خطا)

مناسب ترین روش، دارای کمترین مقدار MAE می باشد. وقتی مقدار MAE برابر با صفر باشد موید آن است که این مدل متغیر مورد نظر را آن طور که هست برآورد می کند [۲]. نقشه های هم باران در محیط GIS (در نرم افزار ILWIS) برای هر یک از بارندگی ها ترسیم شد. انتخاب روش میانگین متحرک به علت نزدیک بودن مقادیر MAE در مقایسه با دو روش دیگر به عدد صفر بود. رسم منحنی های هم باران با روش میانگین متحرک انجام شد این مرحله مهم ترین بخش کار می باشد چرا که نتایج محاسبات وابسته به همین مرحله است. در این مرحله به کمک نرم افزار ILWIS، نقشه های Point Map برای ۵۴ رگبار (چهار رگبار ۲۴ ساعت، ۷ رگبار ۱۸ ساعت، ۷ رگبار ۱۲ ساعت، ۹ رگبار ۹ ساعت، ۹ رگبار ۶ ساعت، ۹ رگبار سه ساعت، ۹ رگبار یک ساعت) برای ناحیه مورد نظر ایجاد شد. منحنی های هم باران رسم شد و با توجه به میزان بارش ها که هر یک از این نقشه ها می دهد نقشه ها در محدوده های مشخصی تقسیم بندی شده و بدین صورت نقشه های حدود بندی شده بدست آمد که این کار در نرم افزار ILWIS با انتخاب گزینه Slicing انجام پذیرفت. بعد از ترسیم خطوط هم باران به منظور رسم منحنی های DAD اولیه با استفاده از نرم افزار ILWIS، مساحت بین خطوط هم باران مشخص و مساحت تجمعی بین خطوط هم باران محاسبه شد. برای محاسبه حجم بارش بین خطوط هم باران می توان متوسط بارندگی بین خطوط هم باران را در مساحت بین خطوط هم باران متوالی ضرب کرد تا حجم بارش بین خطوط هم باران تعیین شد. بعد از تعیین حجم بارش بین خطوط هم باران حجم تجمعی محاسبه و از تقسیم حجم تجمعی بارش به مساحت تجمعی، متوسط بارندگی مربوط به هر مساحت محاسبه شد. حداکثر بارندگی نسبت به مساحت تجمعی در یک محور مختصات رسم شد تا منحنی های DAD اولیه به دست آمد. مقادیر مساحت بر حسب عمق بارندگی در هر رگبار به منظور بدست آوردن مدل مناسب، با روش های مختلف رگرسیونی خطی، لگاریتمی، معکوس، درجه دوم، مکعبی، توانی، مرکب، منحنی S منطقی، رشد و نمایی در نرم افزار SPSS برازش داده شدند. مدل معکوس در سطح بسیار بالایی قابل پذیرش شد. ضریب همبستگی نزدیک به یک بوده و در سطح کمتر از یک درصد معنی دار است. مدل ها بر حسب نزولی به صعودی مرتب شده و میانه آنها به عنوان مدل نهایی انتخاب شد شکل کلی مدل در رابطه ۲ نشان داده شده است.

$$Y = b + (b1/P)$$

رابطه ۲

Y = مساحت (کیلومتر مربع)

⁵ Cross validation

$b, b1 =$ ضرایب معادله

$p =$ مقدار ارتفاع بارندگی (میلی متر).

از آنجایی که در رسم منحنی های نهائی مقادیر ماگزیمم بارندگی مدنظر است، به ازای مساحت های مختلف در روی محور X، مقادیر بارندگی روی محور Yها در هر یک از نمودارهای DAD اولیه استخراج شد. سپس برای هر یک از مساحت ها مقدار بارندگی به دست آمد. بارندگی های ماگزیمم بدست آمده را در مقابل مساحت های مربوطه در یک دستگاه محور مختصات برای هر یک از تداومها رسم کرده تا منحنی های DAD نهائی بدست آمد.

نتایج و بحث

برای بدست آوردن بارش های ساعتی ایستگاه های معمولی از روی ایستگاه های ثابت، مطابق جدول ۱ ستون اول از سمت راست، فاصله ایستگاه های معمولی از ایستگاه ثابت، ستون دوم ارتفاع از سطح دریای ایستگاه ها، ستون سوم نام ایستگاه ها، ستون چهارم بارندگی روزانه ایستگاه ها، ستون پنجم نسبت بارندگی ایستگاه های معمولی به بارندگی ایستگاه ثابت، ستون های بعدی از حاصل ضرب ستون پنجم و ردیف دوم ستون هفتم الی آخر به دست آمده است.

بررسی گرادیان بارندگی با مدل های مختلف و با استفاده از رابطه بین میزان بارندگی (p) و ارتفاع ایستگاه (h) نشان داد، ضریب همبستگی معادلات خطی بالاتر است. لذا از معادله خطی شماره ۳ برای برآورد بارش استفاده شد که نمونه ای از نتایج در جدول ۲ ارائه شده است.

$$p = b + (b1 * h)$$

رابطه ۳

که در آن:

$p =$ مقدار بارش بر حسب میلی متر،

$h =$ ارتفاع ایستگاه بر حسب متر،

b و $b1 =$ ضرایب تجربی.

جدول ۱- استخراج طپوش های ساعتی ایستگاه های معمولی از روی ثابت ها در محدوده مورد مطالعه رگبار مورخ ۱۷-۹-۱۳۷۰

ایستگاه ثابت مهاباد										۱۳۷۰/۹/۱۷	
۲۴	۱۸	۱۲	۹	۶	۳	۱	بارش ساعتی	طول جغرافیایی ۴۵/۷۲		عرض جغرافیایی ۳۶/۷۷	
۰/۱	۰/۹	۰/۱	۰/۹	۱/۴	۰/۱	۰	رگبار ۱۵ دق	معمولی ها	ارتفاع (متر)	فاصله (کیلومتر)	
۶۳/۴	۲۹/۵	۱۹	۱۶	۱۰	۴/۲	۰/۳	بارش تجمعی	۶۳/۴	مهاباد	۱۳۵۰	۰
۱۰	۴/۷	۲/۹	۲/۵	۱/۶	۰/۷	۰	۰/۱۵	۱۰	پل سرخ	۱۳۵۰	۰/۵
۱۲	۵/۶	۳/۵	۳	۲	۰/۸	۰/۱	۰/۱۸	۱۲	بیطاس	۱۴۲۰	۷/۸
۲	۰/۹	۰/۶	۰/۵	۰/۳	۰/۱	۰	۰/۰۳	۲	داشخانه	۱۲۷۸	۲۱/۵
۵	۲/۳	۱/۵	۱/۲	۰/۸	۰/۳	۰	۰/۰۷	۵	منوچهر	۱۵۵۰	۳۰/۸
ایستگاه ثابت صائین دز											
۲۴	۱۸	۱۲	۹	۶	۳	۱	بارش ساعتی	طول جغرافیایی ۴۶/۶		عرض جغرافیایی ۳۶/۷	
۰	۰/۲	۰	۰/۱	۰	۱/۵	۱/۳	رگبار ۱۵ دق	معمولی ها	ارتفاع (متر)	فاصله (کیلومتر)	
۶۵/۶	۴۵/۳	۳۸	۳۴	۳۰	۲۲	۶/۸	بارش تجمعی	۶۵/۶	صائین دز	۱۳۹۷	۰
۴۶	۳۱/۸	۲۶/۴	۲۳/۸	۲۱	۱۵/۲	۴/۸	۰/۷	۴۶	جان آقا	۱۴۱۰	۲۴/۶
۱۰	۶/۹	۵/۷	۵/۲	۴/۶	۳/۴	۱	۰/۱۵	۱۰	سنته	۱۴۳۴	۴۴/۳

جدول ۲- روابط گرادیان ارتفاع بارش جهت تداوم سه ساعته در محدوده مورد مطالعه

ردیف	تداوم	تاریخ وقوع رگبار	ضریب همبستگی	سطح معنی دار (درصد)	تعداد ایستگاههای مورد استفاده	معادله انتخاب شده
۱	۳ساعته	۶۸-۸-۷	۰/۷۲	۱	۲۳	P=-3/4923+(0/0042h)
۳		۷۰-۹-۱۷	۰/۸۲	۱	۱۲	P=-1/8644+(0/0018h)
۳		۷۳-۸-۱۴	۰/۷۱	۱	۳۵	P=-21/139+(0/0175h)
۴		۷۳-۸-۱۵	۰/۷۱	۱	۲۹	P=-11/553+(0/0113h)
۵		۷۲-۸-۱۰	۰/۷۳	۱	۳۱	P=-18/735+(0/0163h)
۶		۶۹-۱۲-۷	۰/۷۴	۱	۲۴	P=-6/5015+(0/0062h)
۷		۶۹-۱۰-۳	۰/۷۵	۱	۱۸	P=-25/610+(0/0214h)
۸		۷۳-۸-۱۶	۰/۷۲	۱	۳۴	P=-76/062+(0/0624h)
۹		۷۲-۱۰-۱۴	۰/۷۲	۱	۳۶	P=-18/210+(0/0182h)

در این مرحله اینترپلاسیون به دو روش کریجینگ معمولی و عکس فاصله و هم چنین روش گرادیان برای هر یک از بارندگی ها صورت گرفت و برای مقایسه این سه روش و انتخاب روش مناسب از معیار میانگین مطلق خطا (MAE) استفاده شد. جدول ۳ رگبار سه ساعته ایستگاهها به عنوان نمونه ، میانگین خطای مطلق هر یک از روشها را نشان می دهد.

جدول ۳- مقایسه و انتخاب روش رسم منحنی های هم لوان

south-agh	1370/9/17	تداوم 3 ساعت								
		kriging			MovingAverage		Gradeyan			
height(m)	Name	kriging	dadmove	gradeyan	MBE	MAE	MBE	MAE	MBE	MAE
۱۳۵۰	۴/۲	۱/۸	۳/۸	۰/۵۶۵۶	۲/۴	۲/۴	۰/۴	۰/۴	۳/۶۳۴۴	۳/۶۳۴۴
۱۳۵۰	۰/۷	۱/۰۱	۱	۰/۵۶۵۶	-۰/۳۱	۰/۳۱	-۰/۳	۰/۳	۰/۱۳۴۴	۰/۱۳۴۴
۱۴۲۰	۰/۸	۰/۷۶	۱	۰/۶۹۱۶	۰/۰۴	۰/۰۴	-۰/۲	۰/۲	۰/۱۰۸۴	۰/۱۰۸۴
۱۳۸۰	۰/۹	۱/۵	۱/۱	۰/۶۱۹۶	-۰/۰۶	۰/۰۶	-۰/۲	۰/۲	۰/۲۸۰۴	۰/۲۸۰۴
۱۲۷۸	۰/۱	۰/۱۳	۰/۲	۰/۴۳۶	-۰/۰۳	۰/۰۳	-۰/۱	۰/۱	-۰/۳۳۶	۰/۳۳۶
۱۷۰۰	۰/۷	۰/۵۵	۰/۸	۱/۱۹۵۶	۰/۱۵	۰/۱۵	-۰/۱	۰/۱	-۰/۴۹۵۶	۰/۴۹۵۶
۱۵۵۰	۰/۳	۱/۸۷	۰/۵	۰/۹۲۵۶	-۱/۵۷	۱/۵۷	-۰/۲	۰/۲	-۰/۶۲۵۶	۰/۶۲۵۶
۱۳۲۷	۱/۳	۲/۷۳	۱/۴	۱/۲۶۲۲	-۱/۴۳	۱/۴۳	-۰/۱	۰/۱	-۰/۳۷۸	۰/۳۷۸
۱۳۰۰	۰/۵	۰/۸۸	۰/۷	۰/۴۷۵۶	-۰/۳۸	۰/۳۸	-۰/۲	۰/۲	۰/۰۲۴۴	۰/۰۲۴۴
۱۴۰۰	۰/۷	۰/۸	۰/۸	۰/۶۵۵۶	-۰/۱	۰/۱	-۰/۱	۰/۱	۰/۰۴۴۴	۰/۰۴۴۴
۱۰۰۰	۱	۰/۸۸	۱/۱	-۰/۰۶۴۴	۰/۱۲	۰/۱۲	-۰/۱	۰/۱	۱/۰۶۴۴	۱/۰۶۴۴
۱۴۵۰	۲	۱/۶	۲	۰/۷۴۵۶	۰/۴	۰/۴	۰	۰	۱/۲۵۴۴	۱/۲۵۴۴
۱۲۹۰	۰/۶	۰/۸۸	۰/۸	۰/۴۵۷۶	-۰/۲۸	۰/۲۸	-۰/۲	۰/۲	۰/۱۴۲۴	۰/۱۴۲۴
۱۵۰۰	۰/۳	۰/۹۹	۰/۴	۰/۸۳۵۶	-۰/۶۹	۰/۶۹	-۰/۱	۰/۱	-۰/۵۳۵۶	۰/۵۳۵۶
۱۴۷۰	۳/۷	۲/۷۱	۳/۶	۰/۷۸۱۶	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۱	۰/۱	۲/۹۱۸۴	۲/۹۱۸۴
۱۳۹۷	۲۲/۴	۲۲/۵۵	۲۱/۴	۰/۶۵۰۳۸	-۰/۱۵	۰/۱۵	۱	۱	۲۱/۷۴۹۶۲	۲۱/۷۴۹۶۲
۱۴۱۰	۱۵/۷	۱۵/۴۶	۱۵/۴	۰/۶۷۳۶	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۳	۰/۳	۱۵/۰۲۶۴	۱۵/۰۲۶۴
۱۸۵۰	۱/۹	۲/۵۳	۲	۱/۴۶۵۶	-۰/۶۳	۰/۶۳	-۰/۱	۰/۱	۰/۴۳۴۴	۰/۴۳۴۴
۱۴۰۰	۱۷/۱	۱۵/۵۵	۱۶/۶	۰/۶۵۵۶	۱/۵۵	۱/۵۵	۰/۵	۰/۵	۱۶/۴۴۴۴	۱۶/۴۴۴۴
۱۳۵۰	۱۱/۹	۱۲/۱۳	۱۱/۵	۰/۵۶۵۶	-۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۴	۰/۴	۱۱/۳۳۴۴	۱۱/۳۳۴۴
۱۴۳۴	۱/۷	۱/۲۴	۱/۹	۰/۷۱۶۸	۰/۴۶	۰/۴۶	-۰/۲	۰/۲	۰/۹۸۳۲	۰/۹۸۳۲
					۰/۲۹	۱۳/۸۹	۰/۵	۰/۵	۸۶/۰۹۶۶	۹۰/۰۸۲۲۲
					۰/۰۱۲۰۸	۰/۵۷۸۷۵	۰/۰۲۰۸۳	۰/۲۲۰۸۳	۳/۵۸۷۳۶	۳/۷۳۴۲۶
									انتخاب شده	

بر اساس نتایج حاصل از جدول نمونه ۳، روش عکس فاصله نسبت به روش های گرادیان بارندگی و کریجینگ دارای میانگین خطای مطلق کمتری است (کمترین مقدار MAE) پس نسبت به روش های دیگر ارجحیت دارد. بنابراین برای رسم خطوط هم‌باران در مراحل بعدی از روش عکس فاصله استفاده و نقشه های هم‌باران برای هر یک از بارندگی ها رسم شده است. بعد از رسم خطوط هم‌باران رگبارهای مختلف مساحت هائی را که بین خطوط هم‌باران مختلف قرار گرفته است با استفاده از نرم‌افزار ILWIS به دست آمد. مساحت واقع بین خطوط هم‌باران برای محدوده مورد نظر تعیین شد. برای کلیه رگبارها در پایه‌های زمانی مختلف این کارها انجام، بطور نمونه در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴- چگونگی استخراج روابط عمق- مساحت بارش و محاسبات مورد نیاز رگبار سه ساعته ۱۴-۸-۱۳۷۳

حدود خطوط هم‌باران (mm)	مساحت (m ²)	مساحت (km ²)	متوسط بارش هم‌باران (mm)	مساحت افزایشی (km ²)	حجم بارش خالص (mmkm ²)	حجم بارش افزایشی (mmkm ²)	متوسط بارش حداکثر (mm)
>۶	۴۷۵۰۰۰۰	۴/۷۵	۷	۴/۷۵	۳۳/۲۵	۳۳/۲۵	۷
۴-۶	۲۹۱۷۰۰۰۰۰	۲۹۱۷	۵	۲۹۲۱/۷۵	۱۴۵۸۵	۱۴۶۱۸/۲۵	۵
۲-۴	۱۲۶۶۰۷۵۰۰۰۰	۱۲۶۶۰/۷۵	۳	۱۵۵۸۲/۵	۳۷۹۸۲/۲۵	۵۲۶۰۰/۵	۳/۳۸
<۲	۱۸۲۶۲۵۰۰۰۰	۱۸۲۶/۲۵	۱	۱۷۴۰۸/۷۵	۱۸۲۶/۲۵	۵۴۴۲۶/۷۵	۳/۱۳

مقادیر مساحت برحسب عمق بارندگی در هر رگبار بر اساس مدل انتخاب شده برای تداوم‌های ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ساعت بررسی شد که به طور نمونه در جدول ۵ نشان داده شده و هم‌چنین ضرایب مدل برای تداوم‌های مختلف در جدول ۶ آورده شده است. نمودار آنها نیز در شکل ۱ تهیه و ارائه شده است. در این نمودار مساحت بر حسب کیلومتر مربع روی محور Xها و مقادیر متوسط حداکثر بارندگی برحسب میلی متر روی محور Yها درج شده است. عمق بارش در مساحت‌های مختلف و در تداوم‌های مختلف به طور نمونه در جدول ۷ نشان داده شده است.

جدول ۵- توابع و روابط عمق- سطح برای تداوم سه ساعته ناحیه مورد مطالعه

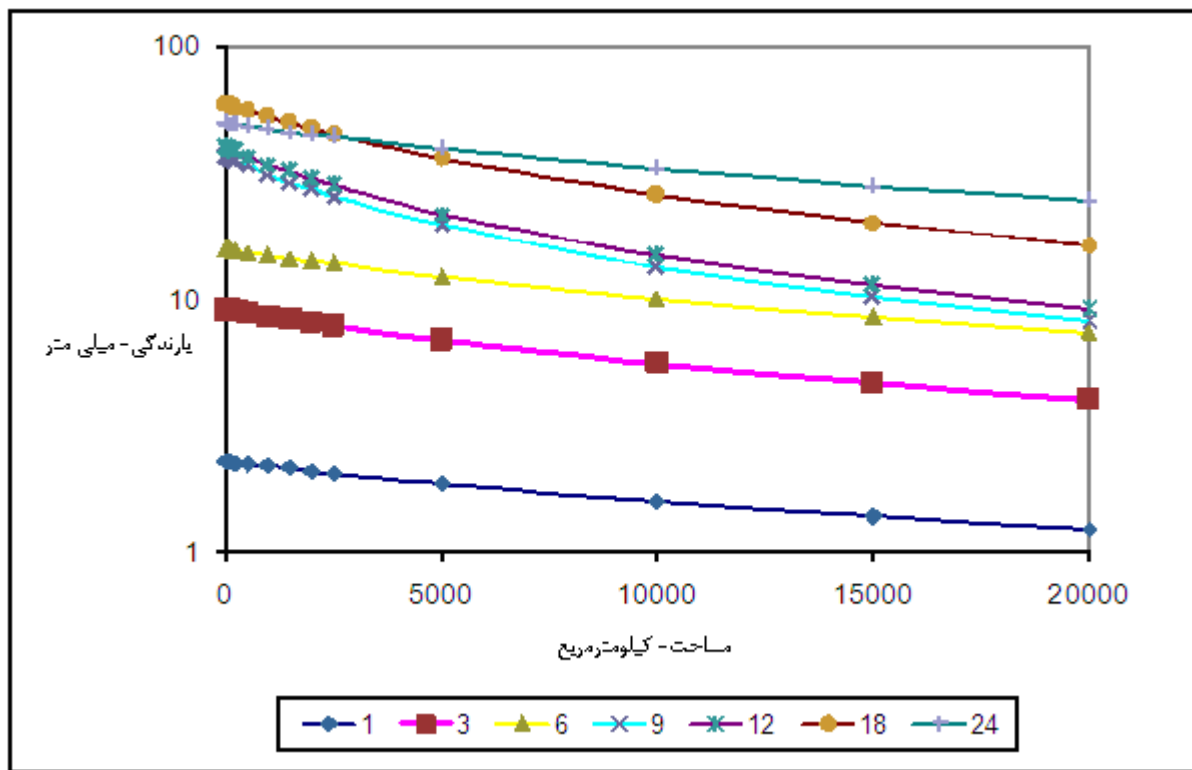
ردیف	تاریخ وقوع رگبار	R ²	R	ضریب فیشر	سطح معنی‌داری (درصد)	معادله انتخاب شده
۱	۶۸/۸/۷	۰/۹۹۲	۰/۹۹۵	۳۹۱/۲۷	۰/۱	$Y = -2.0919 + (65733.6/p)$
۲	۷۰/۹/۱۷	۰/۹۸۱	۰/۹۹۰	۱۵۷/۶۷	۰/۱	$Y = -5774 + (100475/p)$
۳	۷۳/۸/۱۴	۰/۹۷۶	۰/۹۸۷	۸۲/۴۱	۱	$Y = -16211 + (105155/p)$
۴	۷۳/۸/۱۵	۰/۹۶۰	۰/۹۷۹	۴۸/۴۲	۲	$Y = -13257 + (120700/p)$
۵	۷۲/۸/۱۰	۰/۹۵۲	۰/۹۷۵	۳۹/۹۸	۲	$Y = -15715 + (143540/p)$
۶	۶۹/۱۲/۷	۰/۹۴۸	۰/۹۷۳	۳۶/۱۸	۳	$Y = -16906 + (77199.7/p)$
۷	۶۹/۱۰/۳	۰/۹۸۶	۰/۹۹۲	۱۴۳/۷۱	۰/۷	$Y = -7666 + (91612.4/p)$
۸	۷۳/۸/۱۶	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۶۵۵۷/۷۵	۰/۱	$Y = -24111 + (421665/p)$
۹	۷۲/۱۰/۱۴	۰/۹۶۰	۰/۹۷۹	۴۸/۲۲	۲	$Y = -13351 + (284254/p)$
				مدل نهائی برای تداوم ۳ ساعته		$Y = -15715 + (143540/p)$

جدول ۶- ضرایب مدل برای تداومهای مختلف در ناحیه مورد مطالعه

تداوم(ساعته)	b	b ₁
۱	-۲۳۴۴۹	۵۳۴۲۷/۴
۳	-۱۵۷۱۵	۱۴۳۵۴۰
۶	-۱۷۵۹۵	۲۷۷۹۹۹
۹	-۵۶۸۰/۱	۲۰۹۵۴۷
۱۲	-۵۸۹۸/۴	۲۳۷۱۲۷
۱۸	-۷۷۳۷	۴۵۹۳۷۲
۲۴	-۱۹۱۸۴	۹۵۴۵۱۱

جدول ۷- مقادیر عمق- سطح- تداوم برحسب ساعت در ناحیه مورد مطالعه

تداوم برحسب ساعت							مساحت (کیلومتر مربع)	ردیف
۲۴	۱۸	۱۲	۹	۶	۳	۱		
۴۹/۷۵	۵۹/۳۷	۴۰/۲۰	۳۶/۸۸	۱۵/۸۰	۹/۱۳	۲/۳	۱	۱
۴۹/۷۴	۵۹/۳۴	۴۰/۱۷	۳۶/۸۶	۱۵/۸۰	۹/۱۳	۲/۳	۵	۲
۴۹/۷۳	۵۹/۳۰	۴۰/۱۳	۳۶/۸۳	۱۵/۷۹	۹/۱۳	۲/۳	۱۰	۳
۴۹/۷۲	۵۹/۲۶	۴۰/۱۰	۳۶/۷۹	۱۵/۷۹	۹/۱۳	۲/۳	۱۵	۴
۴۹/۶۳	۵۸/۹۹	۳۶/۸۶	۳۶/۵۷	۱۵/۷۶	۹/۱۰	۲/۳	۵۰	۵
۴۹/۵۰	۵۸/۶۲	۳۹/۵۳	۳۶/۲۵	۱۵/۷۱	۹/۸۰	۲/۳	۱۰۰	۶
۴۹/۲۴	۵۷/۸۸	۳۸/۸۸	۳۵/۶۴	۱۵/۶۲	۹/۲۰	۲/۳	۲۰۰	۷
۴۹/۱۲	۵۷/۵۱	۳۸/۵۷	۳۵/۳۴	۱۵/۵۸	۸/۹۹	۲/۳	۲۵۰	۸
۴۸/۴۹	۵۵/۷۷	۳۷/۰۶	۳۳/۹۱	۱۵/۳۶	۸/۸۵	۲/۲	۵۰۰	۹
۴۷/۲۹	۵۲/۵۸	۳۴/۳۷	۳۱/۳۷	۱۴/۹۵	۸/۵۹	۲/۲	۱۰۰۰	۱۰
۴۶/۱۵	۴۹/۷۳	۳۲/۰۵	۲۹/۱۸	۱۴/۵۶	۸/۳۴	۲/۱	۱۵۰۰	۱۱
۴۵/۰۶	۴۷/۱۸	۳۰/۰۲	۲۷/۲۸	۱۴/۱۹	۸/۱۰	۲/۱	۲۰۰۰	۱۲
۴۴/۰۲	۴۴/۸۷	۲۸/۲۳	۲۵/۶۲	۱۳/۸۳	۷/۸۸	۲/۱	۲۵۰۰	۱۳
۳۹/۴۷	۳۶/۰۷	۲۱/۷۶	۱۹/۶۲	۱۲/۳۰	۶/۹۳	۱/۹	۵۰۰۰	۱۴
۳۲/۷۱	۲۵/۹۰	۱۴/۹۲	۱۳/۳۶	۱۰/۰۷	۵/۵۸	۱/۶	۱۰۰۰۰	۱۵
۲۷/۹۲	۲۰/۲۰	۱۱/۳۵	۱۰/۱۳	۸/۵۳	۴/۶۷	۱/۴	۱۵۰۰۰	۱۶
۲۴/۳۶	۱۶/۵۶	۹/۱۶	۸/۱۶	۷/۳۹	۴/۲۰	۱/۲	۲۰۰۰۰	۱۷



شکل ۱- منحنی های عمق- سطح- تداوم ناحیه جنوبی آذربایجان غربی براساس رگبارهای فراگیر

نتیجه گیری

در مجموع می توان گفت که روش های زمین آماری در مقایسه با روش های کلاسیک برای برآورد متوسط بارندگی حداکثر از دقت بسیار بالایی برخوردار هستند. روش میانگین متحرک وزنی برای برآورد متوسط بارندگی حداکثر بیش ترین دقت را داشت. براساس نتایج این تحقیق، بعد از روش میانگین متحرک وزنی، می توان از روش کریجینگ به لحاظ دقت مناسب استفاده نمود. روش گرادیان بارندگی - ارتفاع روش مناسبی برای برآورد متوسط بارندگی حداکثر محسوب نمی گردد. نتایج تحقیق مهدیان (۱۳۸۱)، ملایی و همکاران (۱۳۸۴)، سلیمانی و همکاران (۱۳۸۵) و گودرزی و همکاران (۱۳۹۰) نشان دادند که روش کریجینگ در مقایسه با دیگر روش های زمین آماری از خطای کمتری برخوردار بوده و این روش را انتخاب کردند که مغایر با تحقیق حاضر بوده که روش عکس فاصله را ارجح تر نشان داده است. محمدی و مهدوی (۲۰۰۹) از روش عکس فاصله مجذور برای رسم منحنی های DAD در استان کردستان استفاده نموده اند که موافق با طرح حاضر می باشد. نتایج بدست آمده در این پژوهش موید این است که در تداوم بارندگی های ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ساعته، همواره با افزایش مساحت تحت پوشش بارش، مقدار بارش کاهش می یابد که این موضوع با نتایج بررسی های حشمت اله آقارزی و همکاران (۱۳۸۶)، زارع ارنانی و اسلامیان (۱۳۸۱) و احمدی (۱۳۸۰) مطابقت دارد. بررسی منحنی های DAD نشان داد حداکثر بارش در سطح یک کیلومتر مربع مربوط به بارش ۱۸ ساعته برابر ۵۹/۳۷ میلی متر و حداقل آن مربوط به بارش یک ساعته ۲/۳ میلی متر است. مقایسه منحنی های یک، سه و شش ساعته با منحنی های ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ساعته بیانگر اختلاف زیادتری از نظر بارش در

مساحت‌های مختلف دارند و بارش‌های با تداوم بالا که از منشا سیکلونی و توده هوا های پایدار و جبهه ای ناشی می گردند قادرند مقدار بارش بیشتری (چند برابر) بارش‌های با تداوم پایین ایجاد نمایند. برای تداوم بارش ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۸ و ۲۴ ساعته در مساحت‌های بالاتر از یک کیلومترمربع، حداکثر عمق بارش به ترتیب ۲/۳، ۹/۱۳، ۱۵/۸۰، ۳۶/۸۸، ۴۰/۲۰، ۵۹/۳۷ و ۴۹/۷۵ میلی‌متر است. با افزایش سطح، تفاوت بین مقادیر بارش با تداوم های ۱ و ۳ و ۶ ساعته کاهش می‌یابد، به عبارت دیگر در مساحت یک کیلومترمربع این اختلاف ۲۰ میلیمتر بوده ولی با افزایش مساحت به ۲۰ هزار کیلومترمربع به ۵ میلی‌متر می‌رسد. این تفاوت در تداوم های ۶ و ۹ و ۱۲ و ۱۸ ساعته در مساحت یک کیلومترمربع ۱۳ میلیمتر با افزایش سطح به ۲۰ هزار کیلومترمربع به ۴ میلیمتر می‌رسد. اختلاف بین مقادیر بارش ۱۸ و ۲۴ ساعته با افزایش سطح کاهش یافته و در سطح یک کیلومترمربع ۱۰ میلیمتر و در سطح ۲۰ هزار کیلومترمربع به ۸ میلیمتر می‌رسد.

منابع

- ۱ - ملایی، ع. تلوری، ع. ر. و شفیع، ا. (۱۳۸۴)، بررسی و تهیه منحنی‌های عمق- سطح- تداوم بارش به روش زمین‌آمار در استان کهگیلویه و بویراحمد، دومین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک.
- ۲ - سلیمانی، ک. حبیب‌نژاد، ر.م. آبکار، علی‌جان و بنی‌اسدی، م. (۱۳۸۵)، تحلیل منحنی‌های عمق- سطح و تداوم با استفاده از زمین‌آمار در مناطق خشک و نیمه خشک (مطالعه موردی کفه‌نمک‌سیرجان)، نشریات کشاورزی، بیابان، (۱)۱۱، ۳۱-۴۲.
- ۳ - نظری‌پویا، ه. تلوری، ع.ر. و فرهادی، ع.ل. (۱۳۹۰)، بررسی و تهیه منحنی‌های عمق- سطح- تداوم بارندگی در استان‌های همدان، قزوین و زنجان، پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)، شماره ۹۱، ۳۱-۴۲.
- ۴ - مهدیان، م. (۱۳۸۱)، تعیین روش‌های میان‌یابی برای برآورد بارندگی و درجه حرارت در سه اقلیم خشک، نیمه خشک و مرطوب، گزارش‌نهایی طرح تحقیقاتی معاونت آموزش و تحقیقات، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱۹۶ صفحه.
- ۵ - احمدی، ا. (۱۳۸۰)، روابط عمق- سطح- تداوم بارندگی در استان کرمانشاه، گزارش طرح تحقیقاتی مرکز تحقیقات منابع طبیعی و امور دام استان کرمانشاه، ۳۹ صفحه.
- ۶ - زارع‌ارنایی، م. و اسلامیان، س. (۱۳۸۱)، تحلیل روابط عمق- سطح تداوم بارش در دشت یزد- اردکان، مجله علوم کشاورزی ایران، جلد ۳(۱)، ۴۹-۵۶.
- ۷ - آقارزی، ح. تلوری، ع.ر. و داودی‌راد، ع.ا. (۱۳۸۶)، ترسیم منحنی‌های عمق- مساحت و تداوم بارش در استان مرکزی، پژوهش و سازندگی، شماره ۶، ۷۴ صفحه.
- ۸ - گودرزی، م. جهانبخش اصل، س. و رضائی بنفشه، م. (۱۳۹۰)، نشریه جغرافیا و برنامه ریزی (علوم انسانی)، سال شانزدهم، شماره ۳۷.
- 9- Mohammadi, Sh. E., Mahdavi, M., 2009, Investigation of Depth- Area-Duration Curves for Kurdistan Province, World Applied Science Journal 6(12):1705-1713.
- 10- Office of Hydrologic Development U.S., 2002, Hawaii precipitation frequency study, Sixth progress Report, Paper No. 43. PP. 5-7.14. PP.
- 11- Office of Hydrologic Development. U.S., 2003, Portorico and Virgin Islands Precipitation Frequency, Elvenprogres report. No. 42. 35PP.
- 12- Guevara, E.D., 2003, Engineering design parameters of storm in Venezuela, Hydrology, Hydrology Days.PP. 80-91.