

و روش رابطه شعاع محور<sup>۱</sup> (RBF)، استفاده شد. نتایج نشان داد که روش کو کریجینگ نرمال برای دوره بازگشت‌های مختلف دارای کم‌ترین خطا می‌باشد، سپس متوسط حداکثر بارش روزانه برای حوضه با استفاده از روش کو کریجینگ نرمال برای دوره بازگشت‌های مختلف محاسبه گردید. با در نظر گرفتن وقایع بارندگی-رواناب در سطح منطقه در مرحله واسنجی ( $RE=7/17$ ،  $RMSE=0/042$ ) و اعتبارسنجی ( $RE=2/51$ ،  $RMSE=0/042$ ) دقت و اعتبار برآورد سیلاب توسط مدل مورد تأیید قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: الگوی بارش، شماره منحنی، صحت سنجی، رواناب، نفوذ.

#### مقدمه

بررسی مطالعات مربوط به رخداد سیلاب‌ها در سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ بیان‌گر افزایش بیش از صد برابری تعداد سیل‌ها نسبت به دهه‌های قبل از آن می‌باشد. طی گزارش مرکز تحقیقات اپیدمیولوژی بلایا و دفتر حمایت از خطر بلایای سازمان ملل متحد در سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۵، هزینه انسانی بلایای مرتبط با آب‌وهوا افزایش داشته است. در این راستا بررسی وضعیت سیلاب و مقادیر و هیدروگرافی آن و در صورت امکان پیش‌بینی این مسئله دارای اهمیت فراوانی است [۳]. بزرگان و همکاران [۲] در پژوهش خود با واردکردن مقادیر بارندگی با دوره بازگشت‌های دو تا ۱۰۰ سال در حوضه حاجی‌آباد در استان هرمزگان، مقادیر حداکثر سیلاب حوضه را با روش SCS با استفاده از نرم‌افزار WMS برآورد نمودند؛ نتایج نشان داد که این مدل می‌تواند در حوضه‌های کوچک، میزان سیلاب را با دقت بالایی برآورد نماید. رثوف و حاتمی [۱۷] در پژوهشی کاربرد نرم‌افزار WMS در برآورد حداکثر سیلاب حوضه فاز سوم شهرک صنعتی شماره دو اردبیل مورد بررسی قرار دادند. بدین‌صورت که مدل ارتفاعی رقومی (DEM) محدوده طرح در نرم‌افزار ARCGIS ساخته‌شده، سپس در محیط نرم‌افزار WMS شبکه آبراهه‌های حوضه ترسیم گردید. با تعیین خروجی‌ها، مرز حوضه و زیر حوضه‌ها مشخص‌شده و با وارد نمودن مشخصات خاک و بارندگی منطقه مقادیر سیلاب به دو روش استدلالی و SCS برآورد گردید. نتایج نشان داد مقدار خطای بین دو روش برآورد حداکثر دبی سیلاب در حوضه مورد بررسی حدود ۱۱ درصد می‌باشد. حسنی و همکاران

10. Radial Basis Function

## استفاده از زمین‌آمار در تعیین متوسط حداکثر بارش روزانه جهت برآورد دبی سیلاب با استفاده از مدل WMS

یاسر حسینی<sup>۱\*</sup>، زیبا اومویی میلان<sup>۲</sup>، جواد رضوانی مقدم<sup>۳</sup>، علی رسول‌زاده<sup>۴</sup>، زهرا عبدالعلی‌زاده<sup>۵</sup>، سجاد میرزایی<sup>۶</sup>  
تاریخ دریافت ۱۴۰۲/۰۵/۱۷ تاریخ پذیرش ۱۴۰۲/۰۶/۲۷

#### چکیده

سیلاب در مطالعات مربوط به بهره‌برداری از منابع آبی یا مدیریت سیلاب و ساخت سدها از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد و ایمنی سازه‌های مربوط به بندها و سدها وابسته به مطالعات دقیق هیدرولوژیکی می‌باشد. این مطالعه باهدف استفاده از روش‌های زمین‌آمار در تعیین متوسط حداکثر بارش روزانه در سطح حوضه به‌عنوان ورودی مدل، جهت برآورد بیشینه دبی سیلاب با استفاده از مدل WMS در حوزه آبریز عموقین در استان اردبیل، انجام شده است. حوزه عموقین با مساحت ۷۸ کیلومتر مربع در بخش مرکزی استان اردبیل واقع شده است برای تعیین شماره منحنی حوضه، نقشه کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیک خاک (B, C, D) در محیط GIS تلفیق گردید. برای تهیه این نقشه‌ها از نرم‌افزار Idrisi32 و تصاویر ماهواره لندست ۸ استفاده شد. مقدار شماره منحنی حوضه برابر ۷/۷۸ برآورد گردید. برای تعیین متوسط بارش از روش‌های مختلف زمین‌آمار کو کریجینگ و کو کریجینگ جهانی با مدل‌های برازش، دایروی، نمایی، گوسی و نرمال و هم‌چنین روش عکس فاصله وزنی (IDW)، درون‌یابی چندجمله‌ای جهانی (GPI)، درون‌یابی چندجمله‌ای محلی (LPD)

۱- استاد دانشگاه محقق اردبیلی - دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان و نویسنده مسئول: y\_hoseini@uma.ac.ir

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آب

۳- استادیار دانشگاه محقق اردبیلی - دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی

۴- استاد دانشگاه محقق اردبیلی - دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی

۵- دکتری مرتع و آبخیزداری دانشگاه محقق اردبیلی

۶- دانش‌آموخته دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس

7. Inverse Distance Weighting

8. Global Polynomial Interpolation

9. Local Polynomial Interpolation

[۵] با کمک مدل WMS و HEC-HMS به شبیه‌سازی رخداد سیلاب پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد دو مدل مورد استفاده در این تحقیق دارای مقادیر دبی اوج سیلاب مشابهی بوده، اما مقادیر مساحت زیر نمودار دبی اوج سیلاب در حالت تجمعی نسبت به توزیعی کم‌تر بود. نتایج نشان داد که میزان هیدروگراف خروجی هر دو مدل، دارای دقت خوبی بوده و خطاهای نسبی پیش‌بینی دبی اوج سیلاب کم‌تر از ۱۵ درصد برآورد گردید. نودری و همکاران [۱۴] در تحقیقی احتمال رخداد سیل را در حوزه آبریز دز با کمک مدل WMS مورد بررسی قرار دادند. این مطالعه با توجه به سابقه خسارات متعدد سال‌های قبل سیل در این حوزه و باهدف تشخیص میزان تأثیر مناطق مختلف بر روی دبی سیل خروجی انجام شد. در این پژوهش حوزه آبخیز دز به ۱۱ بخش تقسیم‌بندی شد. نتایج این مطالعه نشان داد، ناحیه دوکوهه دارای بیش‌ترین تأثیر در کاهش دبی اوج سیلاب حوزه آبخیز مورد مطالعه است. هم‌چنین نتایج بیان‌گر دقت قابل قبول مدل WMS در پیش‌بینی دبی اوج سیلاب بود. رحمان و همکاران [۱۵]، به بررسی اثرات روندیابی بر میزان رواناب تولیدی در حوزه آبخیزی در شرق عربستان پرداختند. حوزه آبخیز مورد بررسی دارای ویژگی‌های خاص مانند آب‌وهوای خشک و ظهور ناگهانی رواناب و سیلاب در هنگام بارش‌های شدید بود. در این پژوهش از مدل HEC-HMS استفاده شد. نتایج این پژوهش بیانگر این بود که بیشینه مقادیر رواناب مربوط به تلفات روندیابی است و میزان رواناب با افزایش میزان سطح حوزه آبخیز و کم شدن شیب حوزه افزایش یافت هم‌چنین نتایج نشان داد که خطا در تعیین مقدار متوسط بارندگی در سطح حوزه سبب خطای تصاعدی در تعیین میزان دبی اوج سیلاب می‌گردد. در تحقیقی که توسط حسینی [۷] در یک حوزه آبریز کوچک در استان اردبیل انجام شد، نتایج برآورد سیلاب به روش‌های هم‌شکل و SCS در دوره مورد مطالعه و نتایج تجزیه واریانس و آزمون مقایسه میانگین حاصل از دو روش نشان داد، بین سیلاب برآورد شده به روش هم‌شکل در WMS و روش هیدروگراف مصنوعی SCS اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد مشاهده نگردید؛ که این امر نشان‌دهنده آن است که هیدروگراف واحد برآورد شده حوزه و توزیع بارندگی در سطح حوزه، بسیار نزدیک به منحنی‌های ارائه‌شده در مدل SCS می‌باشد. نتایج نشان داد، سیلاب برآورد شده در روش SCS در دوره‌های بازگشت مختلف دارای میانگین کم‌تری نسبت به روش هم‌شکل در مدل WMS است که با توجه به نتایج دقیق مراحل صحت‌سنجی و اعتبارسنجی روش SCS، می‌توان این کاهش برآورد را به‌عنوان خطای روش هم‌شکل قلمداد نمود. در تحقیقی که توسط جانا و نات [۱۰] انجام شد و حداکثر دبی سیلاب با استفاده از روابط تجربی مبتنی بر مساحت حوزه بر روی رودخانه ماهانادی در کشور هندوستان انجام دادند، نتایج نشان داد که با در نظر گرفتن مساحت حوزه بالادست بر روی رودخانه می‌توان با دقت قابل قبولی سیلاب را پیش‌بینی نمود. در تحقیقی که توسط ملینسکی و همکاران [۱۱]

بر روی رودخانه ویستولا<sup>۱</sup> در کشور لهستان انجام داد، حداکثر آورد سالیانه رودخانه به‌وسیله پارامترهای فیزیوگرافی حوزه بالادست رودخانه برای ۴۱ ایستگاه بررسی گردید. نتایج نشان داد که مهم‌ترین پارامترهای فیزیوگرافی حوزه مؤثر بر سیل، شامل مساحت زیر حوزه، اختلاف ارتفاع، شبکه آبراهه‌ای حوزه بودند.

در تحقیقی که توسط رنچپر و قره حسنلو [۱۶] انجام شد، الگوریتم پیشنهادی محاسبه پتانسیل سیلاب، با تلفیق اطلاعات مرتبط با گروه هیدرولوژیکی خاک و نوع کاربری اراضی منطقه در شاهدشهر شهریار، پتانسیل وقوع رواناب در محدوده طرح با در نظر گرفتن پارامتر CN، حداکثر مقدار نگاهداشت سطحی خاک و میزان بیشینه محتمل بارش در بازه زمانی ۲۴ ساعته، تخمین گردید. در تحقیق ایشان ارتفاع رواناب در شش کلاس طبقه‌بندی گردید. نتایج گویای دقت و پتانسیل بالای وقوع سیلاب در منطقه مورد مطالعه بود. حسینی و همکاران [۶] روش‌های HEC-1، TR-20 و TR55 در مدل WMS را برای تعیین حداکثر سیلاب حوزه کوهگل واقع در جنوب شرقی استان خوزستان مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد روش TR55 بیش‌ترین مطابقت را با مقادیر روش تجربی دیکن دارد. محمدی و همکاران [۱۲]، تغییر کاربری اراضی را بر سیل‌خیزی حوزه آبخیز سد بوستان در میان سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۷۵ با استفاده از مدل WMS، برآورد نمودند. نتایج نشان داد، اگرچه میزان مساحت مراتع در فاصله این سال‌ها افزایش داشته است، لیکن مرتع خوب کاهش، مرتع متوسط افزایش و مساحت مراتع فقیر تقریباً یکسان مانده است که نشان‌دهنده افت کیفی مراتع در این حوزه آبخیز بود. حسینی [۹] در تحقیقی، نتایج مدل WMS در تعیین بیشینه دبی سیلاب را با نتایج روش تجربی دیکن در منطقه جنوب غربی ایران مورد مقایسه قرار داد، نتایج نشان داد که میزان حداکثر دبی سیلاب و حجم سیلاب برآورد شده توسط مدل WMS به‌خوبی با مقادیر روش تجربی دیکن مطابقت دارد؛ به‌طوری‌که شاخص درصد خطای نسبی، ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب نش-ساتکلیف مدل به ترتیب برابر ۱۲/۶، ۵۱/۰ و ۸۲/۰ محاسبه گردید و بر اساس آزمون T استیودنت، تفاوت بین مقادیر مدل و روش تجربی دیکن در سطح اعتماد یک درصد معنی‌دار نگردید. نتایج نشان داد که مدل WMS برای حوزه‌های فاقد آمار در جنوب غربی ایران، مقادیر سیلاب را با دقت مناسبی شبیه‌سازی می‌نماید، هم‌چنین نتایج شبیه‌سازی توسط مدل نشان داد که با توجه به حساسیت بالای روش SCS موجود در مدل WMS به توزیع بارندگی در سطح منطقه، برای دستیابی به نتایج مطلوب، تحلیل دقیق بارندگی در منطقه، لازم بوده و پراکنش آن در سطح منطقه می‌بایست با دقت انجام شود. حساسیت مدل‌های بارش - رواناب به برآورد دقیق پارامترهای بارش، از جمله متوسط بارش در سطح منطقه نشان‌دهنده آن است که برآوردهای بارش در سطح حوزه می‌بایست با دقت بالا صورت گیرد، لذا استفاده از روش‌هایی که بتواند این برآوردها را با دقت بیش‌تری انجام دهد

محاسبه شده است. دلیل انتخاب ایستگاه‌های مذکور پراکنش مناسب و طول دوره آماری ۲۵ ساله (سال آبی ۱۳۹۴-۱۳۷۰) این ایستگاه‌ها بود. در جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده ارائه شده است.

### مطالعات دوره بازگشت بارندگی و تعیین شماره منحنی حوضه

در این پژوهش برای انتخاب بهترین روش درون‌یابی به جهت برآورد تغییرات مکانی بیشینه بارش روزانه در سطح حوزه آبخیز عموقین از روش‌های زمین‌آماري کریجینگ و کو کریجینگ جهانی با مدل‌های برازش، دایروی، نمایی، گوسی و نرمال و روش عکس فاصله وزنی و روش رابطه شعاع محور (RBF)، با استفاده از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شد. به منظور مقایسه روش‌های مختلف کم‌ترین خطای آماری محاسبه شده، مبنی قرار داده شد به طوری که به کم‌ترین خطا، کم‌ترین رتبه داده شد و به بیش‌ترین خطا، بیش‌ترین رتبه اختصاص یافت و در نهایت جمع رتبه‌های به دست آمده جهت مقایسه روش‌ها، مورد نظر قرار گرفت. در درون‌یابی حداکثر بارش روزانه سه مرحله مقایسه مدل‌ها انجام شد ابتدا روش‌های آماری (کریجینگ و کو کریجینگ) مورد مقایسه قرار گرفتند. سپس مدل‌های قطعی (LPI، GPI، IDW و RBF) مورد ارزیابی قرار گرفتند و نهایتاً از بین روش‌های قطعی و آماری، مدلی که کم‌ترین خطا را داشت برای درون‌یابی انتخاب شد. در جدول (۲) و (۳) نتایج بررسی در دوره بازگشت ۲۵ ساله به عنوان نمونه ارائه شده است.

همان‌طور که در جداول (۲) و (۳) برای دوره بازگشت ۲۵ سال مشخص است، بررسی مدل‌های درون‌یابی در تمامی دوره

لازم و ضروری به نظر می‌رسد. لذا با توجه به مطالب گفته شده و اهمیت برآورد دقیق متوسط بارندگی در سطح منطقه، در این تحقیق از روش‌های میان‌یابی مختلف برای برآورد میزان بارندگی در سطح حوزه آبخیز استفاده می‌شود تا بهترین روش برای تعیین متوسط بارندگی در سطح منطقه مورد استفاده قرار گرفته و در نهایت میزان دقت مدل WMS در شبیه‌سازی مقادیر سیلاب در حوضه مورد مطالعه بررسی خواهد شد.

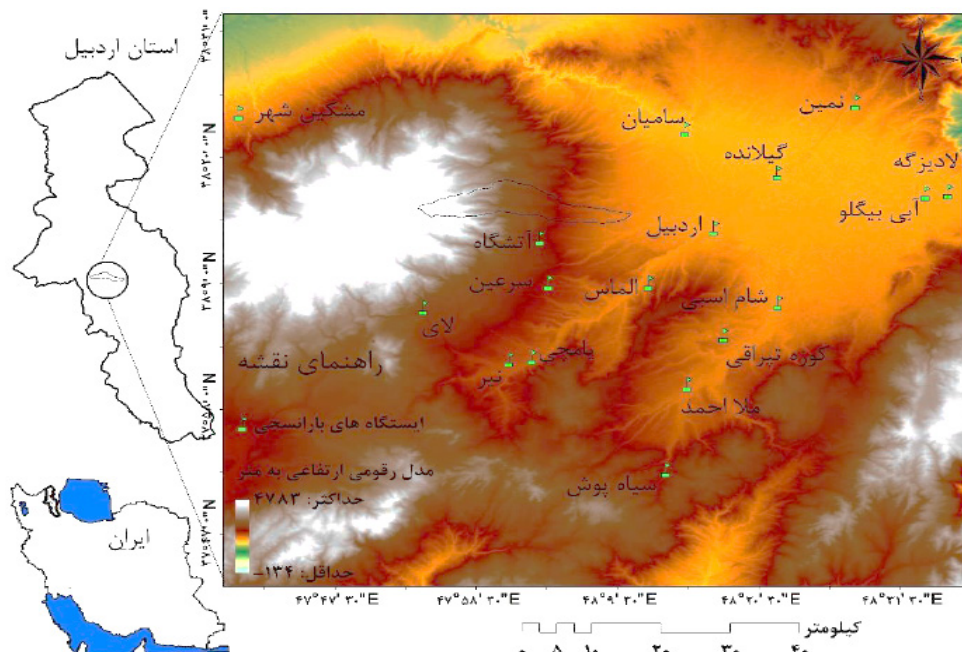
### داده‌ها و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز عموقین به مختصات ۲۲۸۷۴۵ متر تا ۲۵۲۸۹۵ متر طول شرقی و ۴۲۳۶۰۵۶ متر تا ۴۲۴۳۴۰۶ متر عرض شمالی و به مساحت ۷۸۶۰ هکتار در محدوده شهرستان اردبیل واقع شده است. رودخانه یدی بولیک زهکش اصلی منطقه و با امتداد غربی شرقی در آن جریان دارد.

حداکثر ارتفاع منطقه ۳۸۴۸ متر مربوط به ارتفاعات حاشیه غربی و در خروجی ارتفاع به ۱۴۳۶ متر می‌رسد. نیمه غربی منطقه دارای کاربری طبیعی مرتعی و نیمه شرقی عمدتاً تحت کاربری زراعی است. منطقه از شرایط توپوگرافی متنوع برخوردار بوده و بیش‌ترین و در زون زمین ساختی آتشفشانی دوران سوم قرار دارد که آتشفشان‌های جدید نئوژن و کواترن روی سنگ‌های آتشفشانی قدیمی تر قرار دارند [۱۳]. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را در نقشه ایران نشان می‌دهد.

در این پژوهش تجزیه تحلیل بارش سالانه و حداکثر بارش ۲۴ ساعته حوضه با استفاده از آمار ۱۶ ایستگاه باران‌سنجی در منطقه



شکل ۱: موقعیت حوزه آبخیز عموقین در استان اردبیل و کشور

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های باران‌سنجی منطقه مورد مطالعه

| ردیف | ایستگاه     | ارتفاع از سطح دریا (متر) | عرض جغرافیایی | طول جغرافیایی |
|------|-------------|--------------------------|---------------|---------------|
| ۱    | مشکین شهر   | ۱۴۸۵                     | ۳۸-۲۳-۵۵      | ۴۷-۰۲-۴۰      |
| ۲    | آبی بیگلو   | ۱۳۷۰                     | ۳۷-۴۲-۳۲      | ۴۸-۲۵-۰۰      |
| ۳    | لای         | ۲۰۳۸                     | ۳۸-۵۵-۰۶      | ۴۷-۲۵-۵۴      |
| ۴    | اردبیل      | ۱۳۶۵                     | ۳۸-۲۳-۰۱      | ۴۸-۲۸-۰۴      |
| ۵    | آلادیزگه    | ۱۳۴۷                     | ۳۸-۱۷-۰۰      | ۴۸-۳۵-۲۲      |
| ۶    | پل الماس    | ۱۴۴۰                     | ۳۸-۰۸-۱۶      | ۴۸-۱۱-۱۹      |
| ۷    | سامیان      | ۱۲۹۰                     | ۳۸-۲۲-۵۳      | ۴۸-۱۴-۴۸      |
| ۸    | سرعین       | ۱۶۹۲                     | ۳۸-۰۹-۰۵      | ۴۸-۰۴-۰۹      |
| ۹    | آتشگاه      | ۱۷۷۸                     | ۳۸-۵۸-۱۲      | ۴۸-۳۰-۰۳      |
| ۱۰   | سیاه پوش    | ۱۴۹۰                     | ۳۷-۵۳-۰۰      | ۴۸-۱۳-۰۰      |
| ۱۱   | شمس آباد    | ۱۴۹۳                     | ۳۷-۵۹-۵۳      | ۴۸-۱۵-۱۴      |
| ۱۲   | کوزه تیراتی | ۱۳۹۴                     | ۳۸-۰۷-۲۸      | ۴۸-۲۲-۰۱      |
| ۱۳   | گیلانده     | ۱۳۳۲                     | ۳۸-۱۸-۲۶      | ۴۸-۲۱-۴۳      |
| ۱۴   | ملا احمد    | ۸۲۰                      | ۳۹-۰۲-۱۰      | ۴۷-۵۶-۱۷      |
| ۱۵   | نیر         | ۱۶۲۳                     | ۳۸-۰۳-۰۹      | ۴۸-۰۱-۰۹      |
| ۱۶   | یامچی علیا  | ۱۵۹۴                     | ۳۸-۰۴-۰۳      | ۴۸-۰۴-۰۸      |

جدول ۲: نتایج درون‌یابی حداکثر بارش روزانه با روش کو کریجینگ و کریجینگ برای دوره بازگشت ۲۵ ساله

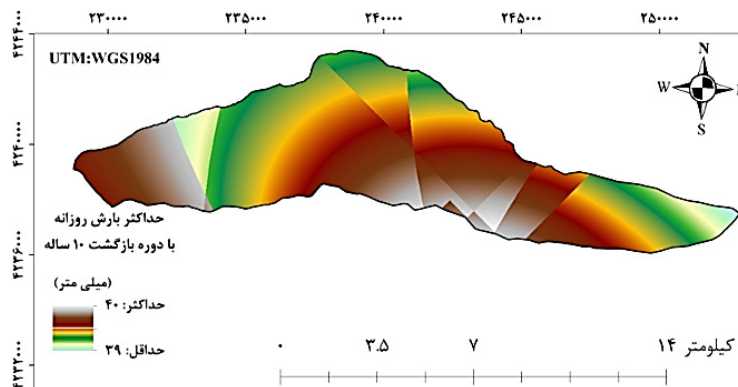
| کریجینگ    | مدل      | Mean           | RMS          | ASE          | MS             | RMSS          | جمع رتبه |
|------------|----------|----------------|--------------|--------------|----------------|---------------|----------|
| جهانی      | دایره‌ای | -۰/۳۲۰۲<br>(۳) | ۶/۸۷۲<br>(۳) | ۶/۵۸۷<br>(۲) | -۰/۰۳۴<br>(۳)  | ۰/۹۷۸۳<br>(۳) | ۱۵       |
|            | کروی     | -۰/۲۸۳۴<br>(۲) | ۶/۸۴۸<br>(۲) | ۶/۶۳۷<br>(۳) | -۰/۰۳۰۶<br>(۲) | ۰/۹۷۵۱<br>(۲) | ۱۳       |
|            | نمایی    | -۰/۱۱۹۳<br>(۱) | ۶/۵۶۳<br>(۱) | ۷/۰۳۲<br>(۴) | -۰/۰۱۸۴<br>(۱) | ۰/۹۱۵۷<br>(۱) | ۱۱       |
|            | نرمال    | -۰/۳۴۳۴<br>(۴) | ۶/۹۲۸<br>(۴) | ۶/۵۸۴<br>(۱) | -۰/۰۳۴۹<br>(۴) | ۰/۹۹۸۸<br>(۴) | ۲۱       |
| کو کریجینگ | مدل      | Mean           | RMS          | ASE          | MS             | RMSS          | جمع رتبه |
| جهانی      | دایره‌ای | -۰/۱۰۶۱        | ۵/۸۹         | ۶/۱۰۵        | -۰/۰۲۹۳        | ۰/۹۹۱         | ۱۵       |
|            | کروی     | -۰/۰۷۵۴        | ۵/۹۱۲        | ۶/۱۱۵        | -۰/۰۲۴۱        | ۰/۹۹۲         | ۱۶       |
|            | نمایی    | -۰/۰۸۹۸        | ۶/۱۳۸        | ۶/۲۳۷        | -۰/۰۲۶۶        | ۱/۰۱          | ۱۶       |
|            | نرمال    | ۰/۰۱۱۸         | ۵/۶۹۶        | ۵/۹۴۳        | -۰/۰۱۴۸        | ۰/۹۸۵         | ۹        |

جدول ۳: نتایج درون‌یابی بارندگی ۲۴ ساعته با دوره بازگشت ۲۵ ساله

| مدل | Mean           | RMS          | جمع رتبه‌ها |
|-----|----------------|--------------|-------------|
| IDW | -۰/۵۰۴۵<br>(۲) | ۶/۲۷۵<br>(۱) | ۳           |
| GPI | ۳/۹۲۹<br>(۳)   | ۱۴/۲۱<br>(۳) | ۶           |
| LPI | ۳/۹۵۸<br>(۴)   | ۱۴/۵۴<br>(۴) | ۸           |
| RBF | -۰/۰۰۳۵<br>(۱) | ۶/۴۶۷<br>(۲) | ۳           |

جدول ۴: مقادیر خطای روش درون‌یابی کوکریجینگ در تعیین حداکثر بارش روزانه

| دوره بازگشت | Mean    | RMSE    | Ave Std E RMSE | Mean s  | RMSS   |
|-------------|---------|---------|----------------|---------|--------|
| ۲           | -۰/۰۲۳۴ | ۳/۲۲۸۹  | ۳/۶۳۰۸         | ۰/۰۰۲۵  | ۱/۰۶۵۶ |
| ۵           | -۰/۱۲۶۵ | ۵/۴۹۴   | ۴/۸۳۲۴         | -۰/۰۱۲۴ | ۱/۱۲۱۱ |
| ۱۰          | ۰/۱۲۴۹  | ۶/۴۷۰۵  | ۵/۹۰۴۹         | ۰/۰۲۷   | ۱/۰۸۰۸ |
| ۲۵          | ۰/۳۷۷   | ۸/۴۵۵۵  | ۸/۲۸۹          | ۰/۰۴۸۳  | ۱/۰۲۱  |
| ۵۰          | ۰/۷۶۶   | ۱۱/۰۰۷۴ | ۱۱/۰۱۷۷        | ۰/۰۶۹۹  | ۱/۰۰۴۵ |
| ۱۰۰         | ۰/۰۴۷۴  | ۱۴/۱۲۷۸ | ۱۳/۴۹۲۶        | ۰/۰۰۵۶  | ۱/۰۵۱  |

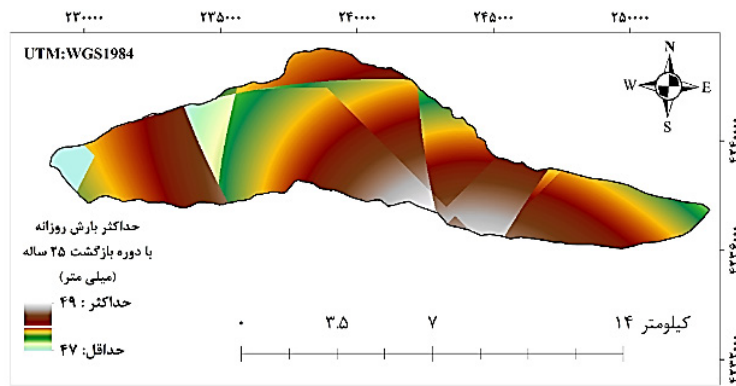


شکل ۲: نقشه هم باران حوزه عموقین در دوره بازگشت ۱۰ سال

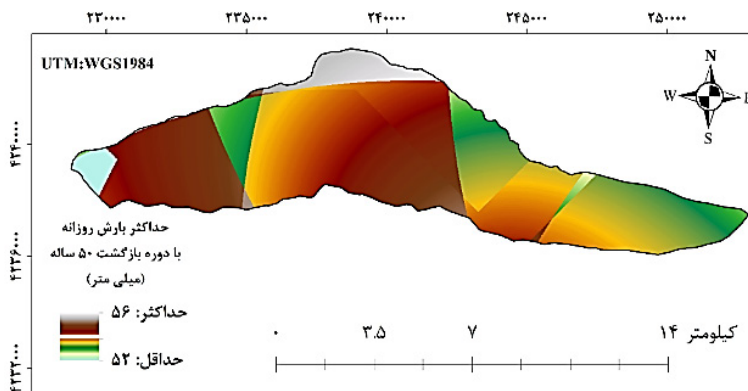
خصوصیات توپوگرافیکی و فیزیوگرافی منطقه شدیداً بر مقادیر بارش روزانه تأثیرگذار است. در اشکال (۲) تا (۵) نقشه پراکنش مکانی بارش روزانه در دوره بازگشت‌های مختلف و هم‌چنین در جدول (۵) مقادیر متوسط حداکثر بارش روزانه و متوسط حداکثر بارش شش‌ساعته حوزه عموقین به‌دست‌آمده از نتایج روش کوکریجینگ نشان داده‌شده است.

پس از تعیین متوسط حداکثر بارش روزانه در سطح حوضه، مقادیر شماره منحنی حوزه آبخیز مورد محاسبه قرار گرفت. برای این کار، از

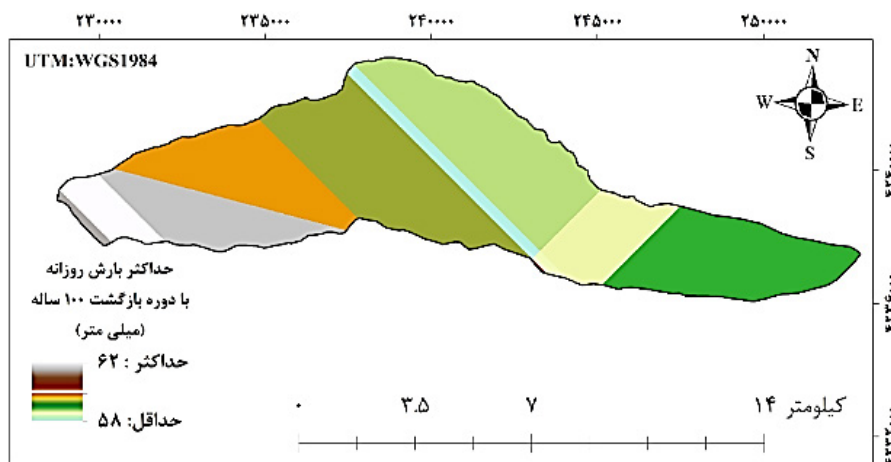
بازگشت‌های مختلف نشان داد که روش کوکریجینگ نسبت به سایر روش‌ها، دارای خطای کم‌تری بوده و در نتیجه برای درون‌یابی حداکثر بارش روزانه در شش دوره بازگشت از این مدل استفاده شد. نتایج خطای روش کوکریجینگ در دوره بازگشت‌های مختلف در جدول (۴) نشان داده‌شده است. نتایج نشان داد که روش زمین‌آماري کوکریجینگ نرمال بهترین روش جهت درون‌یابی حداکثر بارش روزانه در دوره‌های بازگشت متفاوت می‌باشد. این موضوع با در نظر گرفتن شرایط کوهستانی حاکم بر حوضه نشان‌دهنده آن است که



شکل ۳: نقشه هم باران حوزه عموقین در دوره بازگشت ۲۵ سال



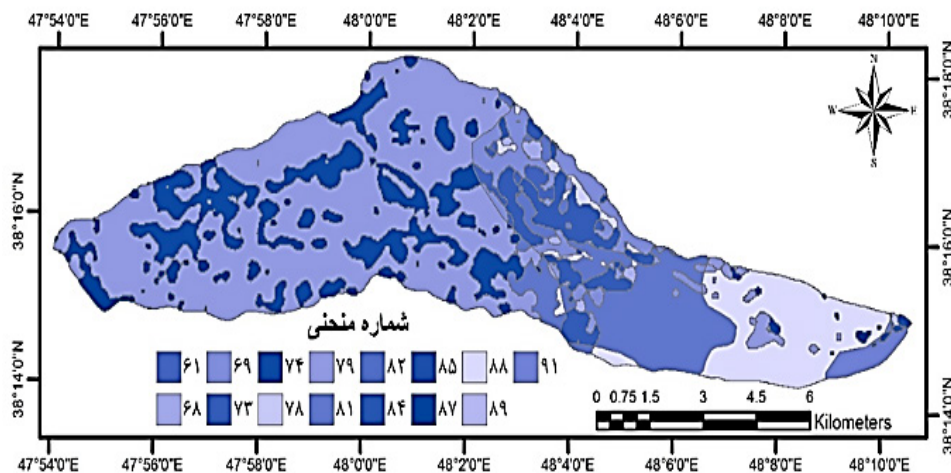
شکل ۴: نقشه هم باران حوزه عموقین در دوره بازگشت ۵۰ سال



شکل ۵: نقشه هم باران حوزه عموقین در دوره بازگشت ۱۰۰ سال

جدول ۵: متوسط حداکثر بارش روزانه، ۶ ساعته و مناسب ترین روش درون یابی (میلی متر)

| دوره بازگشت                    | ۲     | ۵     | ۱۰    | ۲۵    | ۵۰    | ۱۰۰   |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| حداکثر بارش روزانه حوزه عموقین | ۲۵/۱  | ۳۲/۹۸ | ۳۹/۹۹ | ۴۸/۸۵ | ۵۴/۸  | ۵۹/۶۹ |
| حداکثر بارش ۶ ساعته            | ۱۶/۹۵ | ۲۲/۹۸ | ۲۷/۰۲ | ۳۳    | ۳۷/۰۲ | ۴۰/۳۳ |



شکل ۶: نقشه شماره منحنی حوزه آبریز عموقین

و EF و  $R^2$  به یک میل نمایند. روابط ۱۰ الی ۱۵ معادلات آماره‌های مذکور را نشان می‌دهند. بهترین پیش‌بینی‌ها زمانی رخ می‌دهد که RMSE, CRM,  $\epsilon$ , MAE به صفر میل کند، همچنین EF و  $R^2$  به یک میل نمایند. روابط (۱) الی (۶) معادلات مذکور را نشان می‌دهند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_i - P_i)^2} \quad (1)$$

$$\epsilon = \frac{100\%}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{Q_i - P_i}{Q_i} \right| \quad (2)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Q_i - P_i| \quad (3)$$

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})(Q_i - \bar{Q})]^2}{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2} \quad (4)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2 - \sum_{i=1}^N (P_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2} \quad (5)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^N Q_i - \sum_{i=1}^N P_i}{\sum_{i=1}^N Q_i} \quad (6)$$

در روابط فوق، N: تعداد نمونه،  $P_i$ : مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل،  $Q_i$ : مقادیر واقعی،  $\bar{P}$ : میانگین مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل،  $\bar{Q}$ : میانگین مقادیر واقعی می‌باشد.

#### واسنجی مدل

در این مطالعه از سه هیدروگراف بارش و واقعه بارش - رواناب برای واسنجی روش SCS استفاده گردید که مقادیر برآورد شده توسط مدل در بخش واسنجی در جدول (۷) دیده می‌شود و در شکل (۷) و (۸) هیدروگراف سیلاب محاسبه شده و اندازه‌گیری شده در این مرحله نشان داده شده است.

#### اعتبار سنجی مدل

اعتبار سنجی مدل با استفاده از اجرای مدل با شاخص‌های بهینه شده برای دو رخداد دیگر بارش - رواناب انجام شد، که نتایج آن در جدول

نقشه کاربری اراضی حوضه و نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک استفاده شد. میزان مساحت مربوط به کاربری اراضی مورد مطالعه در جدول (۶) نشان داده شده است. با ترکیب نقشه‌های کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیکی خاک، نقشه شماره منحنی حوضه تهیه گردید و مقدار شماره منحنی حوزه عموقین برابر ۷/۷۸ محاسبه شد. لازم به ذکر است که خاک‌های حوضه از لحاظ گروه هیدرولوژیکی به گروه‌های B, C و D تقسیم می‌گردند و محاسبات در شرایط رطوبتی متوسط انجام گرفت. شکل (۶) نقشه شماره منحنی را در حوزه آبریز عموقین نشان می‌دهد.

جدول ۶: مساحت کاربری‌های مختلف در نقشه کاربری اراضی

| نوع کاربری        | مساحت اراضی (هکتار) |
|-------------------|---------------------|
| مرتع خوب          | ۱۴۶۱/۵              |
| بایر و سنگ        | ۲۶۹/۲               |
| مرتع متوسط و ضعیف | ۳۶۲۷                |
| مناطق مسکونی      | ۱۰۳/۳               |
| زمین‌های دیم      | ۵۶۷/۲               |
| کشاورزی فاریاب    | ۱۶۹۴/۸              |
| باغ               | ۱۲۳/۲               |

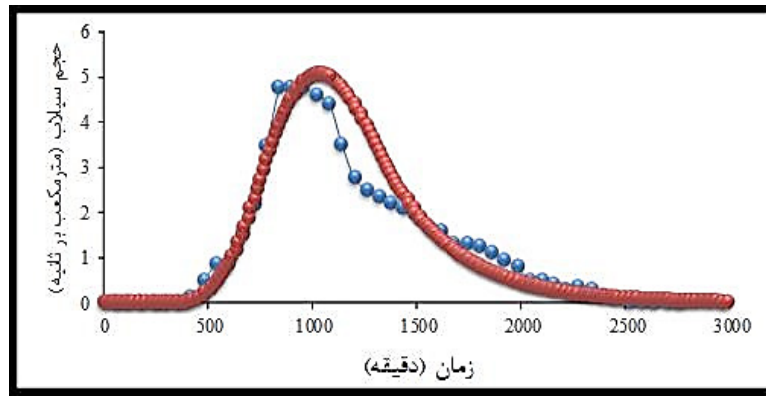
#### معیارهای ارزیابی مدل

برای ارزیابی مدل از آماره‌های خطای بیشینه ( $ME^1$ )، ریشه میانگین مربعات خطا ( $RMSE^1$ )، درصد خطای نسبی ( $\epsilon^2$ )، میانگین خطای مطلق ( $MAE^4$ )، ضریب تبیین ( $R^2$ )، ضریب باقیمانده جرم ( $CRM^6$ ) و کارایی مدل ( $EF^7$ ) استفاده شد. بهترین پیش‌بینی‌ها زمانی رخ می‌دهد که آماره‌های  $ME$ ,  $RMSE$ ,  $CRM$ ,  $\epsilon$  و  $MAE$  به صفر

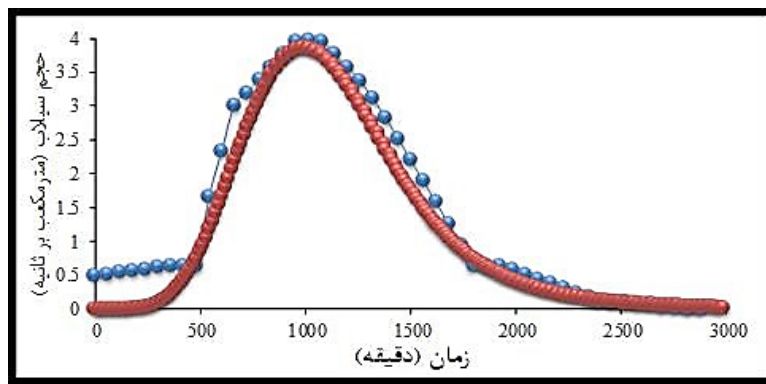
1. Maximum error
2. Root mean square error
3. Relative percentage error
4. Mean Absolute Error
5. Goodness of Fit
6. Efficient of Residual Mass
7. Model Efficiency

جدول ۷: وقایع متناظر برای واسنجی مدل

| تاریخ وقوع رخداد | متوسط بارش (میلی متر) | دبی اوج اندازه گیری شده (مترمکعب بر ثانیه) | دبی اوج شبیه سازی شده (مترمکعب بر ثانیه) | زمان تأخیر (ساعت) |
|------------------|-----------------------|--|--|-------------------|
| ۱۹۹۸/۵/۷         | ۱۹/۴                  | ۴/۷  | ۵  | ۹                 |
| ۱۹۹۹/۱/۲۵        | ۱۷/۸                  | ۳/۹  | ۳/۷                                      | ۱۰                |
| ۱۹۹۷/۸/۱         | ۶/۹                   | ۱/۹  | ۱/۳                                      | ۴                 |



شکل ۷: هیدروگراف سیلاب برآورد شده و اندازه گیری شده در مرحله واسنجی مربوط به رخداد اول



شکل ۸: هیدروگراف سیلاب برآورد شده و اندازه گیری شده در مرحله واسنجی مربوط به رخداد دوم

جدول ۸: نتایج وقایع متناظر در مرحله اعتبار سنجی مدل

| تاریخ وقوع رخداد | متوسط بارش (میلی متر) | دبی اندازه گیری شده (مترمکعب بر ثانیه) | دبی شبیه سازی شده (مترمکعب بر ثانیه) | زمان تأخیر (ساعت) |
|------------------|-----------------------|--|--------------------------------------|-------------------|
| ۲۰۰۰/۱/۱۵        | ۱۰/۶                  | ۲/۲                                    | ۲/۲۷                                 | ۱۲                |
| ۱۹۹۹/۱۲/۲۵       | ۵/۱                   | ۰/۷                                    | ۰/۷۲                                 | ۵                 |

نتایج آن در جدول (۹) بیان شده است.

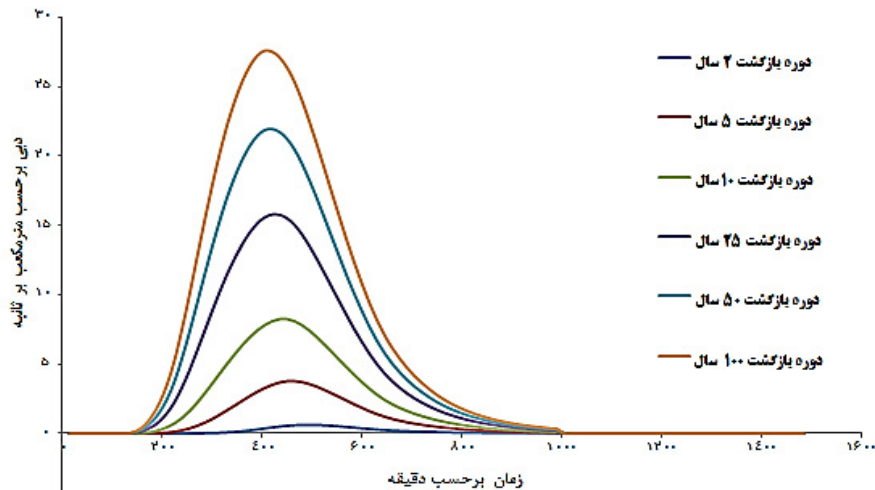
برآورد سیلاب حوضه با دوره بازگشت های مختلف پس از ورود اطلاعات فیزیوگرافی و بارش به مدل بارش-رواناب WMS با کاربرد داده های مشاهداتی سیلاب، مدل مذکور مورد

(۸) بیان شده است. ضریب ذخیره حوضه برابر شش میلی متر و زمان تمرکز تعدیل شده آن برابر ۵/۴ ساعت برآورد گردید. برای مقایسه داده های محاسبه شده با داده های مشاهده شده دبی بیشینه سیلاب در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی مدل از شاخص های آماری درصد خطای نسبی و ریشه میانگین مربعات خطای مدل، استفاده شد که



جدول ۹: مقادیر خطاهای مشاهداتی و برآورد شده توسط مدل

| اندازه‌گیری شده | درصد خطای نسبی (درصد) | ریشه میانگین مربعات خطا (مترمکعب بر ثانیه) | کارایی مدل | میانگین خطای مطلق | ضریب تبیین | ضریب باقیمانده جرم |
|-----------------|-----------------------|--|------------|-------------------|------------|--------------------|
| واسنجی          | ۷/۱۷                  | ۰/۴۴                                       | ۰/۸۵       | ۷/۹               | ۰/۸۷       | ۰/۳۸               |
| اعتبارسنجی      | ۲/۵۱                  | ۰/۰۴۲                                      | ۰/۹۹       | ۵/۶               | ۰/۹۲       | ۰/۰۶               |



شکل ۹: هیدروگراف سیل حوزه عموقین با دوره بازگشت‌های مختلف

رواناب، با افزایش شماره منحنی، زمانی که ضریب فرمول ثابت باشد، میزان ذخیره کاهش می‌یابد و میزان سیلاب افزایش خواهد یافت، همان‌طور که در جدول (۱۰) نشان داده شده است، مقدار سیل ایجادشده در حوزه عموقین به ترتیب برای دوره بازگشت‌های دو، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال، ۰/۶، ۳/۷۷، ۸/۲۴، ۱۵/۷۸، ۲۱/۹۴ و ۲۷/۵۹ (مترمکعب بر ثانیه) محاسبه گردید. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، افزایش شماره منحنی می‌تواند تأثیر چندین برابری در حجم سیلاب ایجادشده داشته باشد که این موضوع در سیلاب‌های با دوره بازگشت‌های بالاتر می‌تواند صدمات مالی و جانی فراوانی به همراه داشته باشد. افزایش فعالیت‌های کشاورزی و توسعه آن در سطح مراتع و دشت‌ها، باعث افزایش خطر سیلاب و فرسایش خاک می‌شود در بیش‌تر حوضه‌های ایران، دلیل اصلی تخریب مراتع است. در تحقیق شنائی هویزه و همکاران [۱۸] این موضوع بررسی شده است. با مقایسه بین نتایج حداکثر سیلاب برآوردی در مدل WMS در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی و مقادیر رخداد سیل در سطح منطقه، می‌توان به این نتیجه رسید که نتایج حاصل از دبی سیلاب محاسبه‌شده از نظر زمان رسیدن به نقطه بیشینه سیلاب، تطابق مناسبی با هیدروگراف‌های رخ داده در حوزه آبریز عموقین دارد و اگرچه زمان رسیدن به دبی اوج، با افزایش میزان بارندگی، افزایش نشان می‌دهد، ولی همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، در سیلاب‌های با دوره بازگشت بررسی‌شده در این تحقیق، این مقدار ثابت بوده و در حدود ۱۰۲۰ دقیقه است. این مسئله در تحقیق شنائی هویزه و

واسنجی و اعتبارسنجی قرارگرفت. نتایج ارزیابی دقت کارایی مدل WMS نشان داد این مدل جهت شبیه‌سازی هیدروگراف سیل در حوزه آبخیز عموقین مطلوب بوده میزان خطای دبی پیک شبیه‌سازی سیلاب در همه موارد، کم‌تر از هفت درصد برآورد گردید. کارایی مدل WMS در بسیاری از تحقیقات هم‌چون میرزائی و همکاران [۱۳]، شکوهیان و همکاران [۱۹]، حسینی [۶] و نوزدی و همکاران [۱۴] تأیید شده است. حداکثر دبی سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف در شکل (۹) نشان داده شده است.

## نتایج و بحث

همان‌طور که در شکل (۸) مشاهده می‌شود، زمان پایه هیدروگراف سیل منطقه، در همه موارد برابر بوده و با افزایش دوره بازگشت زمان رسیدن به دبی اوج هیدروگراف، مقدار ثابتی بوده و تغییر نمی‌نماید و در همه موارد تقریباً ۷ ساعت برآورد شده است که با هیدروگراف‌های سیل رخ داده در منطقه همخوانی دارد. هم‌چنین با افزایش دوره بازگشت با در نظر گرفتن این که میزان بارش افزایش می‌یابد. همان‌طور که در شکل (۹) مشخص است، زمان پایه هیدروگراف سیل نیز ثابت بوده و افزایش دوره بازگشت سیل، تأثیری بر زمان پایه هیدروگراف سیل نشان نداده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود زمان فروکش و زمان دبی سیلاب با افزایش دوره بازگشت ثابت بوده و تداوم سیل در همه‌ی دوره بازگشت‌ها یکسان است. با توجه به رابطه شماره منحنی-

همکاران [۱۸] نیز مشاهده شد. ایشان نشان دادند اگرچه با تغییر جزئی مقدار شماره منحنی به دلیل تغییر کاربری اراضی سطح حوضه، میزان حداکثر سیلاب تغییر می‌یابد، ولی زمان رسیدن به دبی اوج افزایش نشان نمی‌دهد. همچنین نتایج این تحقیق با نتایج تحقیقات سانپال و همکاران [۲۰] در این زمینه نیز مطابقت دارد. به نظر می‌رسد، وجود بیش برآوردی در محاسبات مدل WMS را می‌توان به نوعی به توپوگرافی منطقه مورد مطالعه و ضریب زهکشی منطقه مرتبط دانست، به طوری که مشارکت بخش‌های مختلف حوضه، در سیل منتج خروجی، لزوماً یکنواخت نیست و مکان‌های با پرشیب و نزدیک به زهکش اصلی حوضه، لزوماً تأثیر بیشتری در سیلاب خروجی حوضه نخواهند داشت. لذا به نظر می‌رسد، برای انجام عملیات کنترل سیل و یا کاهش دبی حداکثر در بخش خروجی حوضه، می‌بایست نحوه تأثیرگذاری قسمت‌های مختلف حوزه آبخیز را با در نظر گرفتن پوشش گیاهی و شیب آن بخش و حتی دوری و نزدیکی آن به زهکش اصلی حوضه، بررسی نمود و سپس برای عملیات آبخیزداری در سطح منطقه اقدام کرد. این مسئله با تحقیق امیر احمدی و همکاران [۱] نیز مطابقت دارد. بر اساس تحقیق اسمعیلی و همکاران [۹]، نوع خاک و میانگین شیب زیرحوضه‌ها، می‌تواند عامل اصلی ایجاد رسوب در حوضه و آبراهه اصلی آن می‌باشند و با در نظر گرفتن اینکه در بخش‌های مرکزی حوضه، پوشش گیاهی کاهش می‌یابد و با توجه به پارامترهای مورفولوژیکی حوضه، این بخش از اراضی، مستعد فرسایش و تولید رواناب می‌باشند، لذا اقدامات پیشگیرانه در این بخش‌ها، ضروری به نظر می‌رسد. تأثیر تغییر کاربری اراضی و کاهش مراتع در سیل‌خیزی و تولید رواناب، در تحقیقات محمدی و همکاران [۱۲] نیز بیان شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، با افزایش شدت بارش، زمان اوج هیدروگراف و شروع هیدروگراف در دوره‌های بازگشت متفاوت کاهش یافته و زمان پایه و زمان فروکش نمودن سیل هیدروگراف‌ها، با افزایش دوره بازگشت، افزایش می‌یابد. همان‌طور که در شکل (۸) مشخص است، با افزایش دوره بازگشت میزان نفوذ در حوضه کاهش یافته و دبی سیلابی زودتر پدیدار شده و کاهش زمان اوج هیدروگراف نیز با افزایش دوره بازگشت دیده می‌شود. مطالعات حسینی و همکاران [۶] نشان داد، به کارگیری یک الگوی توزیع بارش، نمی‌تواند منجر به نتایج دقیق شبیه‌سازی دبی حداکثر سیلاب در مدل‌های بارش-رواناب شود و خصوصیات بارش، از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر شبیه‌سازی هیدروگراف سیل می‌باشد که معمولاً به دلیل نبود آمار ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه، عموماً نمی‌توان توزیع بارش منطقه را در قسمت ورودی مدل لحاظ کرد. نتایج نشان داد، میانگین مقادیر دبی اوج برآورد شده توسط مدل، تقریباً سه درصد بیش از مقادیر تجربی و رخ داده‌ای منطقه است. بعضی از مطالعات بیان کرده‌اند که روش سازمان حفاظت خاک امریکا در مدل WMS برای حوضه‌های با زمان تمرکز بیش از شش ساعت، نتایج دقیق‌تری دارد، ولی برای مقادیر کم‌تر از شش ساعت،

نتایج دقیقی ارائه نمی‌کند. لذا بهتر است برای زمان‌های تمرکز کم‌تر از شش ساعت زمان تمرکز را اصلاح نمود [۱۲]. در تحقیق رثوف و حاتمی [۱۷] نیز روش سازمان حفاظت خاک امریکا، نسبت به سایر روش‌های موجود در مدل WMS، از دقت بیشتری در برآورد دبی و حجم سیلاب در حوضه برخوردار بود، لیکن دقت مدل با افزایش دوره بازگشت بارش، کاهش یافت که با نتایج این تحقیق مغایرت نشان می‌دهد، زیرا در تحقیق انجام‌شده، میزان خطای دقت پیش‌بینی مدل با افزایش دبی اوج ارتباط معنی‌داری نشان نداد. از آنجاکه روش SCS برای حوضه‌های کوچک کم‌تر از ۶۵ کیلومترمربع و با زمان تمرکز کم‌تر از ۱۰ ساعت و بارش‌های کم‌تر از ۱۲۵ سانتی‌متر و مدت بارش کم‌تر از ۲۴ ساعت کاربرد دارد و همه این عوامل در حوضه‌های کوچک صادق است، لذا ممکن است دقیق‌تر بودن نتایج این روش‌های دیگر، برآورده شدن همه موارد لازم برای روش SCS باشد. از نظر حجم سیلاب برآورد شده نیز دبی حداکثر سیلاب برآورد شده به روش SCS، به مقادیر واقعی نزدیک‌تر می‌باشد.

جدول ۱۰: نتایج دبی سیلاب متناظر با دوره بازگشت‌های مختلف در دوره آماری

| دبی سیلاب (m <sup>3</sup> /sec) | دوره بازگشت (سال) |
|---------------------------------|-------------------|
| ۰/۶۱                            | ۲                 |
| ۳/۷۷                            | ۵                 |
| ۸/۲۴                            | ۱۰                |
| ۱۵/۷۸                           | ۲۵                |
| ۲۱/۹۴                           | ۵۰                |
| ۲۷/۵۹                           | ۱۰۰               |

### نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج مرحله واسنجی و اعتبارسنجی، از رویدادهای بارش - رواناب در سطح حوضه، می‌توان بیان نمود، مدل WMS برآوردهای دقیقی از میزان بیشینه سیلاب حوضه عمیقین ارائه نمود و نتایج نشان داد که در مرحله اعتبارسنجی، میزان دقت مدل بیش از مرحله واسنجی است. نتایج نشان داد که برای رسیدن به برآوردهای دقیق، برآورد میزان بارش در سطح منطقه با دقت مناسب و واسنجی دقیق این نرم‌افزار از اهمیت بالایی برخوردار است. همچنین اگرچه با استفاده از روش کریجینگ، میزان متوسط حداکثر بارش در سطح منطقه با دقت مناسبی برآورد شده است، لیکن، از آنجاکه بارش در سطح حوضه، یکنواخت در نظر گرفته می‌شود، می‌تواند در نتایج برآوردهای مدل، تأثیرگذار باشد. مورد دیگری که در مدل‌سازی سیلاب در حوزه‌های آبریز با استفاده از نرم‌افزار WMS باید در نظر داشت، مسئله در نظر گرفتن میانگین شماره منحنی برای کل حوضه است. از آنجاکه شماره منحنی در سطح حوضه متغیر می‌باشد، لذا در نظر گرفتن مقداری یکسان برای آن و به طبع آن نفوذ و رواناب یکنواخت در سطح کل حوضه می‌تواند، از دقت نتایج شبیه‌سازی

statistical data in southwestern Iran using Dicken's experimental method (case study: Kuhgel Basin of Khuzestan Province). Appl Water Sci 12, 162

9. Ismaili Avari, A., Mirzaei, Y., Maddi, A. 2017. Estimating the rate of soil erosion and sedimentation using WMS rainfall-runoff model, case study: Sadel watershed, West Azerbaijan province). Natural environment hazards, 7(17):1-18. (In Persian)

10. Jena, J., Nath, S. 2020. An Empirical Formula for Design Flood Estimation of Un-Gauged Catchments in Brahmani Basin, Odisha. Journal of the Institution of Engineers (India): Series A.101: 1-6.

11. Mlinsky, D., Walega, A., Stachura, T., Kaczor, G. 2019. A New Empirical Approach to Calculating Flood Frequency in Ungauged Catchments: A Case Study of the Upper Vistula Basin, Poland. Water. 11(3): 601-622.

12. Mohammadi, M., Sheikh, V., Saaduddin, A. 2014. Modeling the effect of land use change on flood hydrograph (case study: Jafarabad watershed, Golestan province). Journal of water and soil protection research. 22(5): 185-171. (In Persian)

13. Mirzaei, Sh., Ismaili, A., Mostafazadeh, R., Qurbani, O., Mirzaei, S. 2016. Simulation of flood hydrograph and analysis of its relationship with land surface measurements in Amuqin watershed, Ardabil province, Eco hydrology Journal, 2(1):371-357. (In Persian)

14. Nowzari, H., Maroufi, S., Adireh, M. 2016. Identification and prioritization of flood-prone areas of Dez basin using WMS model. Iranian Natural Resources Magazine. 70(3): 820-805. (In Persian)

15. Rahaman, S.A., Ajeez, S.A., Aruchamy, S., & Jegankumar, R. 2015. Using Fuzzy Analytical Hierarchy Process and Geographical Information System – A Study of Kallar Watershed, Tamil Nadu. Modeling Earth Systems and Environment, 3(1): 1-9.

16. Ranjbar, H.R., Gharehassanloo, S. 2020. Modeling and Estimating the Potential of Runoff Using SCS Approach in GIS context (Case Study: Shahed Shahriar City). Journal of Environmental Sciences Studies (JESS). 5(4): 3002-3011. (In Persian)

17. Rauf, M., Hatami, R. 2016. The effect of the construction of industrial towns on the shape of the production hydrograph and the amount of peak flood discharge (case study: phase 2 of Ardabil Industrial Town), the second national hydrology conference of Iran, Shahrekord University, Shahrekord University, Iran Hydrology Association. (In Persian)

18. Shanani Huizeh, S. M., Zarei, H., Ramezani, H. 2015.

بکاهد؛ بنابراین لازم است علاوه بر برآورد دقیق بارش در سطح منطقه که در این تحقیق انجام شد، در شبیه‌سازی‌های انجام‌شده توسط مدل مذکور داده‌های سیلاب و وقایع متناظر در سطح منطقه به‌دقت مورد بررسی قرار گرفته و حتی توزیع پراکنش زمانی بارندگی‌ها در سطح منطقه به‌عنوان ورودی‌های مدل لحاظ گردد تا بتوان برآوردهای دقیق‌تری را به دست آورد.

## تقدیر و تشکر

این مقاله با حمایت معاونت محترم پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی تهیه‌شده است و بدین‌وسیله از ایشان قدردانی می‌شود.

## منابع

1. Ahmadi, A., Mohammadnia, M., Golshani, N. 2014. Sensitivity analysis of geomorphological variables affecting floods using HEC-HMS model. Case study: Zarchashmeh Hunjan, Isfahan province. Hydro geomorphology, 1(3): 21-42. (In Persian)

2. Barzegaran, M., Doolabi, F., Nasiriyani, A. 2015. Simulation of maximum flood discharge using WMS model (case study: Hajiabad Basin), 4th International Congress on Civil Engineering, Architecture and Urban Development, Tehran, Permanent Conference Secretariat, Shahid Beheshti University. (In Persian)

3. Ebrahimian, S., Qadri, J. 2012. Evaluation and recalibration of WMS/HEC-HMS model in the catchment area of Mahabad Dam, Scientific Quarterly Journal of Irrigation and Water Engineering. 4(4): 70-80. (In Persian)

4. Hosseini, Y. 2019. Estimation of the flood discharge of Dareh Rood sub-basins in Ardabil province using physiographic characteristics of the basin, Hydrogeomorphology, 7(25): 83-98. (In Persian)

5. Hosni, F., Chiakhani, M., San Ahmadi, B., Shabanlou, S. 2016. Comparison of cumulative and distributional flood hydrograph simulation methods by WMS and HEC-HMS models (case study: Gamasiab watershed), 2nd Iranian National Hydrology Conference, Shahrekord University, Shahrekord University - Iranian Hydrology Association. (In Persian)

6. Hoseini, Y., Azari, A., Pilpayeh, A. 2017. Flood modeling using WMS model for determining peak flood discharge in southwest Iran case study: Simili basin in Khuzestan Province. Applied Water Science, 7: 33-55.

7. Hoseini, Y. 2019. Comparison of SCS and Uniform hydrograph methods in estimating the maximum flood discharge of Amuqin Basin. Hydro geomorphology, 15(18): 97-113. (In Persian)

8. Hoseini, Y. 2022. Evaluation of WMS model in basins without

20. Sanyal J, Denmore A L, Carboneau P. 2014. Analyzing the effect of land-use/cover changes at sub-catchment levels on downstream flood peaks: A semi-distributed modelling approach with sparse data. *Catena*, 118: 28-40.

Investigating the effect of land use changes on flood hydrograph (case study: Abu Al-Aeb watershed, *Irrigation Sciences and Engineering*, 40(1):219-229. (In Persian)

19. Shokohian, M., Ghaibi, M., Reza, Hariryan, J. 2016. Flood hydraulic modeling and forecasting using integrated GIS and WMS models (case study of South Khorasan Khosuf region), the second international conference on civil architecture and urban planning at the beginning of the third millennium, Tehran. (In Persian)



## Abstract

## Use of Geostatistics in Determining Average Maximum Daily Rainfall to Estimate the Flood Discharge Using WMS Model

Y. Hoseini<sup>1</sup>, Z. Omooimilan<sup>2</sup>, J. Ramezani Moghaddam<sup>3</sup>, A. Rasoulzadeh<sup>4</sup>, Z. Abdolalizadeh<sup>5</sup> and S. Mirzaei<sup>6</sup>

Received: 2023/08/08 Accepted: 2023/09/18

Floods are of great importance in studies related to the use of water resources, flood management and the construction of dams, and the safety of structures related to dams is dependent on accurate hydrological studies. This study used geostatistical methods to determine the average maximum daily rainfall in the Amuqin catchment basin in Ardabil province as an input to the WMS model in order to estimate the maximum flood discharge. The Amuqin basin, which has an area of 78 km<sup>2</sup> is located in the central part of Ardabil province, to determine the curve number of the basin, land use maps and soil hydrological groups (B, C, D) were integrated in the GIS environment. These maps were prepared using the Idrisi32 software and Landsat 8 satellite images. The basin curve number was estimated as 78.7. Different geostatistical kriging and global cokriging methods with circular, exponential, Gaussian, and normal models, weighted distance image method (IDW), Global Polynomial Interpolation (GPI), Local Polynomial Interpolation (LPI), and Radius Axis Relation Method (RBF) using geographic information system software were used to determine the average precipitation. The results showed that the normal Cokriging method has the lowest error for different return periods, then the average maximum daily rainfall for the basin was calculated using the normal Cokriging method for different return periods. Considering the rainfall-runoff events at the regional level in the calibration (RE=7.17, RMSE=0.44) and validation (RE=2.51, RMSE=0.0042) stages, was confirmed the accuracy and validity of the flood estimation by the model.

**Keywords: Curve number, Infiltration, Rainfall pattern, Runoff, Validation**

1. Professor of Moghan College of Agriculture & Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, Email: y\_hoseini@uma.ac.ir

2. Master's degree in water engineering.

3. Assistant Professor of Faculty of Agriculture and Natural Resources - University of Mohaghegh Ardabili - Ardabil - Iran,

4. Professor of Faculty of Agriculture and Natural Resources - University of Mohaghegh Ardabili - Ardabil - Iran,

5. Ph.D. in Range Management, Faculty of Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran,

6. Former Phd student of Watershed Science and Engineering, Tarbiat Modares University,