



دوره ۳۵، شماره ۱، شماره ۱ پیاپی ۱۳۴، بهار ۱۴۰۱، صفحه‌های ۱۰۴-۸۸  
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2021.354467.1409

مقاله‌ی پژوهشی



# پژوهش‌های آبخزرداری

## تعیین بیشینه‌ی آبدهی سیلاب با روش سطح پاسخ در زیرحوزه‌های دره‌رود استان اردبیل

یاسر حسینی

(نویسنده‌ی مسئول) \* دانشیار دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی مغان، دانشگاه محقق اردبیلی

\*رایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: y\_hoseini@uma.ac.ir

تاریخ دریافت: ۲۰ اردیبهشت ۱۴۰۰ تاریخ پذیرش: ۲۹ شهریور ۱۴۰۰

### چکیده

مدیریت اندوخته‌های آب در حوزه‌ها بی تعیین کردن دقیق آبدهی سیلاب امکان‌پذیر نیست. این پژوهش با هدف تعیین کردن بیشینه‌ی سیلاب با دوره‌ی بازگشت‌های ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله با شبیه‌ساز سطح پاسخ در زیرحوزه‌های دره‌رود ( $1290 \text{ km}^2$ ) در استان اردبیل انجام شد. داده‌های آبدهی ۱۶ ایستگاه آب‌سنجی در دوره‌ی ۱۵ ساله (۱۳۹۴-۱۳۸۰) جمع‌آوری، و کم‌بودهای آماری در دوره‌ی مشترک با روش‌های وایازی میان ایستگاه‌های آب‌سنجی برطرف شد، و سیلاب با دوره‌ی بازگشت‌های گوناگون بررسی شد. ویژگی‌های گیتاشناسی موثر بر سیلاب (مساحت، شیب، ضریب شکل و ارتفاع متوسط، زمان تمرکز و شماره‌ی منحنی زیرحوزه‌ها) با نرم‌افزارهای آرک‌جی‌آی اس 10/2 و WMS7.1 استخراج شد. اندازه‌ی ضریب تبیین در دوره‌ی بازگشت‌های ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال به ترتیب ۰/۹۶، ۰/۹۷، ۰/۹۵ و ۰/۹۴ برآورد شد، که نشان‌دهنده‌ی دقت زیاد شبیه‌ساز در پیش‌بینی اندازه‌ی سیلاب با ویژگی‌های گیتاشناسی حوزه است. شاخص‌های ارزیابی شبیه‌ساز برای دوره‌ی بازگشت‌های ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال شامل ریشه‌ی میانگین مربع‌های خطا به ترتیب ۲۰/۹۹، ۷/۱۶، ۲۹/۰۵، ۳۹/۵۵، درصد خطای نسبی (E) ۵۲/۷، ۳۹/۷، ۴۵/۱، ۴۹/۱۳، میانگین خطای مطلق ۰/۵۲، ۰/۴۵، ۰/۴۸، ۰/۵۵، ضریب باقی‌مانده‌ی جرم ۰/۲۸، ۰/۱۶، ۰/۵۶، ۰/۸۲، و کارایی شبیه‌ساز ۰/۷۴، ۰/۸۵، ۰/۷۱، ۰/۷۵ برآورد شد. نمودارهای پراکندگی نشان داد که پراکندگی نقطه‌های دور محور یک‌به‌یک برای همه‌ی دوره‌ی بازگشت‌ها و آبدهی‌ها بسیار مناسب بود. بر پایه‌ی آزمون تی تفاوت میان اندازه‌های پیش‌بینی‌شده و واقعی در دوره‌ی بازگشت‌های گوناگون در تراز اطمینان ۰/۱٪ معنی‌دار نشد. نتیجه‌های این پژوهش نشان داد که دقت روش سطح پاسخ برای برآورد کردن سیلاب در زیرحوزه‌های استان اردبیل مناسب است، اما دقت شبیه‌ساز با افزایش دوره‌ی بازگشت کمی کاهش می‌یابد.

واژگان کلیدی: استان اردبیل، توزیع آماری، دوره‌ی بازگشت، زیرحوزه، سطح پاسخ

## مقدمه

در کشور ایران به دلیل بودن در اقلیم نیمه‌خشک با بارندگی کم و پراکنده، و در نتیجه ایجادشدن شرایط روی دادن سیلاب‌های فصلی خسارت‌های فراوانی به بار می‌آید. برای پیش‌بینی و مهار کردن سیلاب در درجه‌ی اول باید عامل‌های مؤثر بر آن را شناخت، و سپس اندازه‌های سیل را با شبیه‌سازهای گوناگون برآورد کرد (خسروشاهی و ثقفیان ۲۰۰۲). نوحه‌گر و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که برای جلوگیری از جریان سیلاب و مهار آن نخست باید اندازه‌های سیلاب حوزه‌ها دانسته، و سپس عامل‌های مؤثر در تولید جریان روان‌آب شناسایی شود. این کار مخصوصاً در حوزه‌ها و زیرحوزه‌هایی که ایستگاه‌های آماربرداری در آن نیست اهمیت زیادی دارد (حسینی ۲۰۲۰). موفقیت کنش‌های کاهنده‌ی زبان‌های سیلاب به دانش دقیق از فراوانی انتظارداشته، ویژگی‌ها، و بزرگی سیلاب وابسته است (چاو و همکاران ۲۰۱۳). قائمی و همکاران (۱۹۹۶) شش عامل تأثیرگذار بر سیلاب شامل عمق بارندگی، زمان بارندگی، عمق برف انباشته، شیب و شکل، جنس زمین، و پوشش گیاهی حوزه را با در نظر گرفتن وزن آن‌ها بر پایه‌ی نظر کارشناسی شناسایی، و شدت سیلاب زیرحوزه‌های رود کرخه مشخص کردند. نتیجه‌های آنان نشان داد که تردیدهای جدی بر فرض خطی بودن رفتار عامل‌های مؤثر بر سیلاب هست. یو و همکاران (۲۰۱۴) سیلاب را با روش سطح پاسخ و شبکه‌ی عصبی شبیه‌سازی، و نتیجه‌ها را با هم مقایسه کردند. شبیه‌سازهای سطح پاسخ و وایازی خطی چندگانه، سطح پاسخ درجه‌ی دوم و سطح پاسخ ناخطی برای پیش‌بینی روان‌آب روزانه به کار برده، و عمل کرد آن‌ها با شبیه‌سازهای شبکه‌ی عصبی مصنوعی مقایسه کرده‌شد. نتیجه‌ها نشان داد که سطح پاسخ درجه‌ی دوم و ناخطی توانست به خوبی شبیه‌ساز شبکه‌ی عصبی روان‌آب را پیش‌بینی کند. پژوهش‌های دیل و اسنیر یواسان (۲۰۱۴) و حجازی و مزبانی (۲۰۱۵) نشان داد که تراز حوزه و اندازه‌ی بارش ممکن است مهم‌ترین عامل‌ها در اندازه‌ی آب‌دهی روان‌آب باشد. رسول‌زاده و همکاران (۲۰۱۶) در ناحیه‌های مرکزی استان اردبیل برای انتخاب بهترین شبیه‌ساز تحلیل منطقه‌ی سیلاب در اقلیم نیمه‌خشک چهار شبیه‌ساز مساحت، مساحت-شیب، مساحت-شیب-آبراه، و فولر را بررسی کردند. دقت شبیه‌ساز مساحت، شیب، و طول آبراه برای دوره‌ی بازگشت کم‌تر از ۵۰ سال پذیرفتنی بود. روش سطح پاسخ یکی از پرکاربردترین روش‌های بهینه‌سازی

است که ارتباط میان چند متغیر مستقل را با متغیر پاسخ بررسی می‌کند، و جزئیات فرآیند را به شکل رابطه‌های ریاضی معین نمایش می‌دهد (یوسفی‌میرهن و همکاران ۲۰۱۶). مهم‌ترین ویژگی روش سطح پاسخ برای ارزیابی متغیرهای چندگانه و رابطه‌های متقابل آن‌ها کاستن از تعداد آزمایش‌ها و در نتیجه کاستن از هزینه‌ها است. نتیجه‌های بررسی رابطه‌ی میان دما و بارندگی (کاستیک و همکاران ۲۰۱۶) نشان داد که رابطه‌ی خطی و درجه‌ی دوی معنی‌داری میان متغیرهای مستقل و متغیر وابسته (اندازه‌ی بارندگی) است، و تأثیر متقابل دو شاخص مستقل بر شاخص وابسته تأثیر کم‌تری دارد. دقت شبیه‌ساز بر پایه‌ی ضریب نش-ساتکلیف  $0/73$  محاسبه شد، که دقت مناسب شبیه‌ساز را نشان می‌دهد. نتیجه‌های بررسی یک شبیه‌ساز جدید ریاضی بارش-روان‌آب (ثقفیان و همکاران ۲۰۱۶) نشان داد که در همه‌ی جاهایی که جریان ورودی به مخزن مؤثر است، حجم روان‌آب سطحی و آب‌دهی بیشینه کم‌تر است، به‌ویژه در منطقه‌های با شماره‌ی منحنی کم تفاوت‌های پایه‌ی میان نمودارهای آبی شبیه‌سازی شده با و بی جریان ورودی هست. توزیع واکبی در برآورد سیلاب ناشی از زیرحوزه‌های کوچک دقت زیادی دارد. یوسفی‌میرهن و همکاران (۲۰۱۶) کاربرد روش سطح پاسخ را در طراحی بهینه‌ی سامانه‌های مهار سیلاب بررسی کردند. شبیه‌ساز مهار سیلاب از روش سطح پاسخ و شبیه‌ساز طرح باکس-بنکن طراحی شد.

در این پژوهش که بر رود لیف در شهر هاتیزبرگ ایالت می‌سی‌سی‌پی انجام شد، برای تعیین ارتباط اندازه‌ی روان‌آب و مقدار بارش، شبیه‌ساز بارش روان‌آب آب‌دهی بیشینه در دوره‌ی بازگشت‌های گوناگون محاسبه شد، و اندازه‌های بهینه‌ی گوره‌های مهار سیل با شبیه‌ساز الگوریتم ژنتیک محاسبه و طراحی شد. نرم‌افزار با مقایسه‌کردن اندازه‌های مشاهده‌شده و نتیجه‌های شبیه‌ساز، شبیه‌ساز خطی را با کم‌ترین مجموع مربع‌های خطا پیشنهاد کرد.

کشتکار و همکاران (۲۰۱۶) و اسلامی و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که دقت روش سطح پاسخ (RSM)<sup>۱</sup> بر پایه‌ی تابع‌های چندجمله‌ی مرتبه‌ی زیاد برای پیش‌بینی جریان رود زیاد است. تجزیه و تحلیل دقیق شاخص‌های کلی آماری نشان داد که عمل کرد چندجمله‌ی مرتبه‌ی پنجم از دیگر چندجمله‌ی‌ها دقیق‌تر است. بدری و همکاران (۲۰۱۷) نتیجه گرفتند که نقش شبیه‌سازهای ریاضی آب‌شناختی در تعیین اندازه‌های سیل حوزه‌ها بسیار مهم است، و شبیه‌سازهای آب‌شناختی در

و ۱۰۰ ساله نشان داد که میانگین برآوردهای روش Uniform تقریباً ۵٪ بیش‌تر از SCS است، اگرچه برپایه‌ی آزمون‌تی تفاوت میان آن‌ها در تراز ۱٪ معنی‌دار نشد. نتیجه‌های جنا و نات (۲۰۲۰) بر بیشینه‌ی آب‌دهی سیلاب با رابطه‌های تجربی مبتنی بر مساحت حوزه بر رود ماهانادی در هندوستان نشان داد که با در نظر گرفتن مساحت حوزه‌ی بالادست رود می‌توان با دقتی پذیرفتنی سیلاب را پیش‌بینی کرد.

روش‌هایی که ویژگی‌های گیاتاشناسی حوزه را به اندازه‌های سیلاب مرتبط می‌کند از راه‌های پیش‌بینی اندازه‌های سیلاب در حوزه‌های آبخیز است. در این پژوهش شبیه‌سازی سیلاب زیرحوزه‌های دره‌رود با این روش، با توانایی شبیه‌ساز سطح پاسخ در آشکار کردن ارتباط میان شاخص‌های موثر بررسی شد.

#### مواد و روش‌ها

این پژوهش در استان اردبیل، آبخیز دره‌رود میان عرض شمالی ۳۷°۴۵' تا ۳۹°۴۲' و طول شرقی ۴۷°۳۰' تا ۴۸°۵۵' در شمال غرب ایران انجام شد. در استان اردبیل آبخیزهای دره‌رود، بال‌هارود، قزل‌اوزن و ارس و دره‌رود (بزرگ‌ترین آبخیز) هست. آبخیز دره‌رود (۱۲۹۰۰ km<sup>2</sup>) ۷۶ رود دائمی و فصلی به طول ۲۰۶۷ km دارد، که مهم‌ترین آن ارس، دره‌رود، بالخلی‌چای، قوری‌چای و قره‌سو است. در شکل ۱ موقعیت حوزه و ایستگاه‌های آب‌سنجی در محدوده‌ی پژوهش نشان داده شده است. شاخص‌های مهمی مانند مساحت، شیب، زمان تمرکز حوزه، و شیب طولی رود اصلی از بخش‌های گیاتاشناسی یا ریخت‌شناسی آبخیز است. برای پژوهش‌های گیاتاشناسی نقشه‌های رقمی ۱:۲۵۰۰۰ حوزه و نرم‌افزار WMS برای ۱۶ ایستگاه محدوده‌ی حوزه‌ی دره‌رود به کار برده شد. WMS نرم‌افزاری جامع برای انجام تحلیل‌های آب‌شناختی است که محاسبه‌های گیاتاشناسی را با شناساندن نقطه‌ی خروجی حوزه و نقشه‌های رقمی انجام می‌دهد، بنابراین مانند دیگر نرم‌افزارها نیازی به گرفتن ویژگی‌های گیاتاشناسی ندارد (راهنمای شبیه‌ساز WMS ۲۰۰۶). پورسیف‌اللهی و همکاران (۱۳۹۷) با نقشه‌ی کاربری زمین و پوشش گیاهی در نرم‌افزار آرک‌جی‌آی‌اس مقدار شماره‌ی منحنی را برای همه‌ی زیرحوزه‌های استان اردبیل به‌دست آوردند، و اندازه‌های CN آنان از زیرحوزه‌های منطقه در پژوهش ما به کار برده شد. برای تعیین زمان تمرکز روش کریپچ (رابطه‌ی ۱) به کار برده شد (کریپچ ۱۹۴۰).

کارهای گوناگونی مانند پیش‌بینی زمان واقعی سیلاب تا طراحی سازه‌های آبی و سیاست‌های پیش‌گیری از اثر روی داده‌های حدی آب‌شناسی (سیل و خشک‌سالی) به کار گرفته شده است. حسینی و همکاران (۲۰۱۷) روش‌های TR-20، TR55 و HEC-1 در شبیه‌ساز WMS را برای تعیین بیشینه‌ی سیلاب در استان خوزستان بررسی کردند. نتیجه‌ها نشان داد که روش TR55 در شبیه‌ساز WMS بیش‌ترین تطابق را با اندازه‌های تجربی دارد. در روش سطح پاسخ، متغیر وابسته پاسخ و متغیر مستقل عامل‌های رابطه گرفته می‌شود، و در پایان رابطه‌ی ریاضی میان متغیرهای مستقل و متغیر وابسته به‌دست می‌آید. با این ضریب‌ها می‌توان رابطه‌ی فرآیند پیش‌بینی را تکمیل کرد، به گونه‌ی که میان داده‌های واقعی و داده‌هایی که این رابطه‌ی ریاضی پیش‌بینی می‌کند بهترین حالت ممکن شکل بگیرد، و در هدف‌های مدیریتی بهره‌برداری شود. ویژگی‌های گیاتاشناسی حوزه از عامل‌های اصلی تعیین اندازه‌ی سیل در حوزه است، و با روش سطح پاسخ می‌توان بازتاب حوزه‌ها را در برابر آن‌ها بررسی کرد. نتیجه‌های نیکپور و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که شبیه‌ساز مبتنی بر آب‌دهی روز قبل و اندازه‌ی بارندگی همان‌روز برپایه‌ی شبیه‌ساز موجک-عصبی ممکن است بهترین برآورد را از اندازه‌ی روان‌آب حوزه داشته باشد. در برآورد آب‌دهی بیشینه نیز این شبیه‌ساز با میانگین خطای نسبی ۲۵/۹۷٪ خطای کم‌تری از دیگر شبیه‌سازها دارد. ملینسکی و همکاران (۲۰۱۹) بیشینه‌ی آورد سالانه‌ی رود ویستولا را در لهستان با شاخص‌های گیاتاشناسی حوزه‌ی بالادست برای ۴۱ ایستگاه بررسی کردند. نتیجه‌ها نشان داد که مهم‌ترین شاخص‌های گیاتاشناسی حوزه‌ی موثر بر سیل مساحت زیر حوزه، اختلاف ارتفاع، و شبکه‌ی آبراه حوزه بود. شیرازی و همکاران (۲۰۱۹) عامل‌های موثر بر فرسایش را با روش سطح پاسخ در حوزه‌ی باغ‌ملک در خوزستان شبیه‌سازی کردند. کاربرد روش‌های غیرسازیهی از جمله قرق و اصلاح پوشش گیاهی بر اندازه‌ی فرسایش بررسی شد. نتیجه‌ها نشان داد که روش سطح پاسخ به‌ترتیب با میانگین مربع‌های خطا، مجموع مربع‌های خطا و ضریب تبیین ۴/۱۶، ۲/۰۳ و ۰/۹۹۸ مناسب‌ترین روش برای آگاهی از اندازه‌ی فرسایش خاک بعد از اعمال شیوه‌های مدیریتی است. حسینی (۲۰۲۰) روش‌های نمودار آب واحد SCS و Uniform را در شناخت بیشینه‌ی آب‌دهی سیلاب حوزه‌ی عموقین، در ناحیه‌ی مرکزی دشت اردبیل، بررسی کردند. نتیجه‌های مقایسه‌ی بیشینه‌ی آب‌دهی این روش‌ها در دوره‌ی بازگشت‌های ۲۵، ۵۰

است تأثیری پایه‌یی بر اندازه‌ی روان‌آب، اندازه‌ی نفوذ، و شدت سیلاب داشته باشد (مهدوی ۱۹۹۹، رضوی زاده و شاهدی ۱۳۹۵). برای محاسبه‌ی آن رابطه‌ی ۳ و جدول توزیع مساحت به کار برده شد.

$$H_m = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n \bar{H}_i A_i \quad 3$$

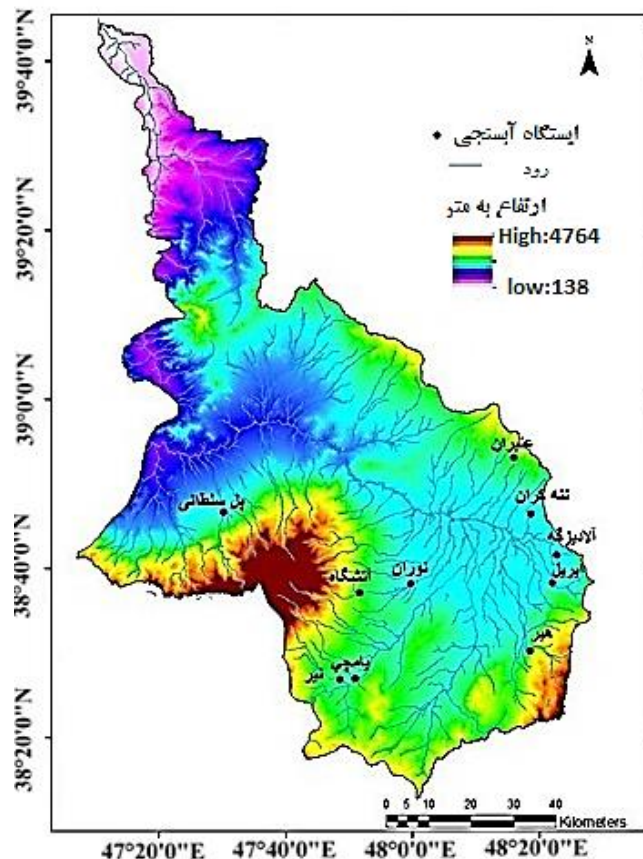
$H_m$  ارتفاع متوسط حوزه (متر)،  $A_i$  مساحت بخشی از حوزه (کیلومتر مربع)،  $\bar{H}_i = \frac{1}{2}(H_{i-1} + H_i)$  میانگین ارتفاع دو خط تراز متوالی (متر) و  $n$  تعداد رده‌های مساحت است. در جدول ۱ ویژگی‌های گیتاشناسی زیرحوزه‌های ایستگاه‌های آب‌سنجی حوزه‌ی دره‌رود داده شده است. خلاصه‌ی آماری آب دهی سیلابی ایستگاه‌ها در جدول ۲ داده شده است. از آن‌جا که برای انجام پژوهش آماری لزوماً باید دوره‌ی آماری مشترک به کار برد، دوره‌ی آماری ۱۵ ساله (۹۴-۱۳۸۰) که مشترک است انتخاب شد. اندازه‌های آب‌دهی جریان برای همه‌ی ایستگاه‌ها در طول دوره روزانه اندازه‌گیری شده بود.

$$T_c = 0.0078 \left( \frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.77} \quad 1$$

$T_c$  زمان تمرکز حوزه (ساعت)،  $L$  طول بزرگ‌ترین مسیر حرکت آب در حوزه‌ی آبخیز (کیلومتر)، و  $S$  شیب مسیر طولانی‌ترین آبراه (متر بر متر) است. برای محاسبه‌ی ضریب شکل حوزه (نسبت عرض متوسط حوزه به طول آن) رابطه‌ی ۲ به کار برده شد.

$$S_f = \frac{A}{L^2} \quad 2$$

$A$  مساحت آبخیز (کیلومتر مربع)،  $L$  طول حوزه (فاصله‌ی خروجی سیلاب حوزه تا دورترین نقطه‌ی حوزه که با خط مستقیم به هم وصل شده باشد) (کیلومتر). هر چه شکل حوزه بیش‌تر چهارگوش باشد مقدار این ضریب کوچک‌تر می‌شود. در بیش‌تر حوزه‌ها  $0.5$  است. ارتفاع متوسط حوزه (میانگین وزنی بلندی‌های حوزه) ممکن



شکل ۱- حوزه‌ی دره‌رود و ایستگاه‌های آب‌سنجی محدوده‌ی حوزه.

## تعیین بیشینه‌ی آب‌دهی سیلاب با روش سطح پاسخ در...

جدول ۱- ویژگی‌های گیتاشناسی زیرحوزه‌های دره‌رود.

ردیف	نام ایستگاه	مساحت (کیلومتر مربع)	ضریب شکل	ارتفاع متوسط (متر)	زمان تمرکز (ساعت)	شیب آب‌راهی اصلی (درصد)	شماره‌ی منحنی
۱	ارباب‌کندی	۴۷۴۲/۸	۰/۷۲۵	۱۷۳۵	۲۲/۷۰۴	۰/۶۲۷	۷۴/۱۷۹
۲	بوران	۱۲۲۰۶/۷	۰/۳۸۴	۱۴۹۸	۳۵/۳۳۷	۰/۳۸۵	۷۴/۰۰۶
۳	دوست‌بیگللو	۷۴۶۱/۱۸	۰/۵۷	۱۶۸۵	۲۴/۹۳۵	۰/۴۷۳	۷۳/۷۷۹
۴	سامیان	۴۰۶۶	۰/۸۹۷	۱۷۸۷	۳۱/۱۱۴	۰/۹۸۴	۷۳/۹۰۹
۵	کوزه تپراقی	۸۰۴/۴	۰/۴۶	۱۷۴۹	۱۱/۳۳۰	۱/۰۳۱	۷۳/۱۴۴
۶	مشیران	۹۶۰۰	۰/۶۲۶	۱۶۷۶	۲۷/۷۱۶	۰/۳۹۳	۷۳/۸۷۵
۷	ایریل	۸۲/۳	۰/۵۷۹	۱۵۵۸	۶/۰۸۴	۲/۰۸۹	۷۰/۳۴۲
۸	آتشگاه	۲۴/۹	۰/۲۹۵	۲۴۱۶	۶/۲۸۴	۷/۲۱۲	۷۵/۵۲۹
۹	آلادیزگه	۲۵/۸	۰/۳۵۳	۱۴۱۲	۴/۶۶۸	۲/۳۷	۷۳/۱۱۴
۱۰	پل سلطانی	۱۴۰/۰۲	۰/۲۶۷	۲۶۳۴	۱۵/۸	۶/۵۴۲	۷۷/۱۹۲
۱۱	عنبران	۳۸/۱	۰/۳۶۹	۱۸۹۸	۱/۳۹	۵/۳۱۴	۷۱/۳۰۶
۱۲	ننه‌کران	۷/۳	۰/۲۰۶	۱۴۰۲	۱/۵۸۸	۱/۷۱۷	۶۵/۲۶۱
۱۳	نیر	۱۶۳/۹	۰/۲۰۱	۲۴۷۹	۳/۴۵	۵/۸۳۳	۷۴/۱۸۸
۱۴	نوران	۱۳۱/۸	۰/۲۳۷	۱۹۳۵	۲/۸۷	۵/۰۷۱	۷۶/۵۴۴
۱۵	هیر	۱۳۱/۲	۰/۴۲۹	۲۲۲۷	۲/۶۹	۴/۶۴۱	۶۸/۸۲۸
۱۶	یامچی	۵۶۳/۸	۰/۵۸۸	۲۱۱۷	۳/۹۷۲	۵/۱۱۳	۷۳/۰۰۰

جدول ۲- آماره‌های سیلاب ایستگاه‌های حوزه‌ی دره‌رود در دوره‌ی آماری ۱۵ ساله (مترمکعب بر ثانیه).

نام ایستگاه	یامچی	هییر	نیر	ننه‌کران	کوزه تپراقی	عنبران	سامیان	دوست بیگللو
متوسط	۱۷/۱۰	۲/۱۵	۳/۶۷	۱/۱۴	۷/۶۴	۱۲/۵۴	۲۵/۶۷	۳۰/۷۱
کمینه	۴/۹۵	۰/۱۹	۱/۲۴	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۰۴	۲/۸۵	۲/۸۳
بیشینه	۷۵/۴۹	۱۹/۴۴	۱۰/۱۲	۲/۳۴	۲۵/۹۰	۷۴/۲۷	۸۴/۸۲	۱۰۸/۵۵
انحراف معیار	۱۵/۱۵	۳/۴۶	۲/۰۲	۰/۴۸	۷/۲۶	۱۸/۲۱	۲۱/۷۸	۲۵/۶۱
نام ایستگاه	پل سلطانی	ایریل	آلادیزگه	ارباب‌کندی	آتشگاه	نوران	مشیران	بران
متوسط	۶/۴۷	۳/۹۸	۴/۲	۲۹/۶	۱/۷۷	۳/۳۸	۶۴/۸۵	۷۴/۱
کمینه	۰/۹۹	۱/۰۴	۰/۶۵	۲/۵	۰/۲۲	۰/۷۷	۱۰/۹	۱۴/۷
بیشینه	۲۷/۶۲	۹/۷	۹/۶۶	۹۵/۳	۴/۷۹	۶/۵۲	۲۳۲	۲۵۰/۵
انحراف معیار	۶/۱۰	۲/۴	۲/۲۸	۲۱/۶	۱/۰۷	۱/۶۳	۴۶/۹	۴۶/۳

روش سطح پاسخ (باکس و ویلسون ۱۹۵۱) یکی از ابزارهای طراحی آزمایش است. اگرچه برخی آن را شبه شبیه‌سازی می‌دانند (فو ۲۰۱۵)، پژوهش‌هایی مانند کرمی و همکاران (۲۰۱۶) آن را در مقایسه با روش‌های سنتی شبیه‌سازی پذیرفتنی نشان داده است. در این روش دامنه‌ی انتخاب‌شده برای هر عامل اهمیت زیادی دارد. دامنه‌ی هر عامل باید شناسه‌دهی شود و در محدوده‌ی +۱ و -۱ باشد تا تحلیل وایازی به خوبی انجام شود، زیرا واحد متغیرهای مستقل یکسان

نیست، و حتی اگر یکسان باشد دامنه‌ی انتخاب‌شده آن‌ها یکسان نیست. برای این کار رابطه‌ی ۴ به کار برده شد (مونتگومری و مایرز ۱۹۹۵).

$$X = \frac{x - \frac{[X_{\max} + X_{\min}]}{2}}{\frac{[X_{\max} - X_{\min}]}{2}} \quad 4$$

3- Metamodeling  
4- Historical Data

اضافه شده‌ی جدید نقشی هر چند کم در تبیین متغیر پاسخ خواهد داشت. این ویژگی باعث می‌شود  $R^2$  معیاری درست برای انتخاب شبیه‌ساز و متغیرهای آن نباشد. برای دوری از این دشواری، ضریب تبیین تعدیل کرده می‌شود. کاهش درجه‌ی آزادی به‌وجود آمده ناشی از افزایش متغیرهای اضافی، که در محاسبه‌ی ضریب تبیین دیده نمی‌شود، در نظر گرفته می‌شود. در این حالت با اضافه‌شدن یک متغیر مستقل جدید به شبیه‌ساز، اثر افزایش  $R^2$  خنثا می‌شود. بنابراین در شبیه‌سازی،  $R^2$  تعدیل شده ممکن است ابزار تصمیم‌گیری برای تعیین کردن بود یا نبود آن متغیر در شبیه‌ساز باشد. اگر با اضافه‌شدن متغیر مستقل به شبیه‌ساز،  $R^2$  تعدیل شده افزایش یابد متغیر اضافه‌شده در شبیه‌ساز می‌ماند، و اگر کاهش یابد متغیر از شبیه‌ساز حذف می‌شود.

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{\text{residual}}}{SS_{\text{total}}} \quad 8$$

$$R^2_{\text{adj}} = 1 - \frac{SS_{\text{residual}}/DF_{\text{residual}}}{SS_{\text{total}}/(DF_{\text{model}} + DF_{\text{residual}})} \quad 9$$

$SS_{\text{residual}}$  مجموع مربع‌های باقی‌مانده،  $DF$  درجه‌ی آزادی، و  $SS_{\text{total}}$  مجموع مربع‌های کل ( $SS_{\text{residual}} + SS_{\text{model}}$ ) است. برای بررسی بیش‌تر نتیجه‌های شبیه‌سازها آماره‌های خطای بیشینه (ME)، ریشه‌ی میانگین مربع‌های خطا (RMSE)، درصد خطای نسبی ( $\varepsilon$ )، میانگین خطای مطلق (MAE)، ضریب باقیمانده‌ی جرم (CRM)، و کارایی شبیه‌ساز (EF) نیز به‌کار برده شد. بهترین پیش‌بینی‌ها هنگامی رخ می‌دهد که آماره‌های  $\varepsilon$ ، CRM، RMSE، ME و MAE به‌سوی ۰ و EF و  $R^2$  به‌سوی ۱ برود (رابطه‌ی ۸ تا ۱۲). بهترین پیش‌بینی‌ها هنگامی است که  $\varepsilon$ ، MAE، CRM، RMSE، به‌سوی ۰، و EF و  $R^2$  به‌سوی ۱ برود (حسینی ۲۰۲۰).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_i - P_i)^2} \quad 10$$

$$\varepsilon = \frac{100\%}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{Q_i - P_i}{Q_i} \right| \quad 11$$

$X$  شناسه‌ی عامل‌ها،  $X$  مقدار واقعی متغیرهای مستقل از جمله درصد شیب و مساحت، و  $X_{\text{min}}$  و  $X_{\text{max}}$  اندازه‌های کمینه و بیشینه‌ی متغیرها است.

در روش سطح پاسخ روش داده‌های موجود<sup>۴</sup> به‌کاربرده شد. متغیرهای مستقل (درصد شیب، مساحت حوزه، و...)، متغیر وابسته (اندازه‌ی سیلاب)، و حد تغییر آن‌ها معلوم است، و ورودی نرم افزار گرفته می‌شود. داده‌های آزمایش انجام‌شده با حد بیشینه و کمینه ورودی نرم‌افزار Design Expert (Version 12.0, Stat-Ease, Minneapolis, MN 55413) گرفته شد. پس از انتخاب طرح داده‌های موجود، معادله‌ی شبیه‌ساز تعیین، و ضریب‌ها آن پیش‌بینی کرده شد (مونتگوم - ۱۹۹۸).

$$Y = C_k + \sum_{i=1}^k C_{ki} x_i + \sum_{i=1}^k C_{kii} x_i^2 + \sum_{i < j=2}^k C_{kij} x_i x_j \quad 5$$

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_{ij}$  و  $\beta_{iij}$  به‌ترتیب ضریب‌های ثابت، خطی، درجه‌ی دوم و اثر متقابل وایزی است.  $x_i$  و  $x_j$  متغیرهای مستقل شناسه دهی شده است.

نمادسازی جدول در معادله‌ی ۶ آمده است.

$$y = X\beta + \varepsilon$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} \quad 6, 7$$

دستگاه معادله‌های بالا با روش کمینه‌ی مربع‌ها حل کرده شد و ضریب‌های معادله به‌دست آمد. با حل کردن معادله‌ی ۶ پاسخ پیش‌بینی شد. هم‌آهنگی شبیه‌ساز می‌بایست با داده‌های آزمایش بررسی می‌شود. توانایی پیش‌بینی کلی شبیه‌ساز با ضریب تبیین ( $R^2$ ) بیان می‌شود و اهمیت آماری آن با آزمون آماری فیشر (F-Value) مشخص می‌شود. از ضریب تبیین اصلاح‌شده ( $R^2_{\text{adj}}$ ) نیز بهره‌گیری شد، که در محاسبه‌ی آن برخلاف  $R^2$ ، به جای مجموع مربع‌ها از میانگین مجموع مربع‌ها بهره‌گیری می‌شود. شیوه‌ی محاسبه‌ی این دو ضریب در رابطه‌های ۳ و ۴ داده شده است (مونتگومری و مایرز ۱۹۹۵). اگر متغیرهای مستقل بیش‌تری وارد شبیه‌ساز کرده شود  $R^2$  افزایش می‌یابد، یا ثابت می‌ماند، زیرا متغیر

فراوانی سیلاب، تابع‌های توزیع آماری این ایستگاه بررسی شد (جانسون و همکاران ۱۹۹۵). بهترین توزیع آماری سیلاب ایستگاه‌ها با آزمون کلموگروف-اسمیرنوف مشخص شد (جدول ۳). دوره‌ی بازگشت‌های سیلاب بر پایه‌ی بهترین توزیع آماری به‌دست آمده در جدول ۴ نشان داده شده است. برای محاسبه‌ی دوره‌ی بازگشت‌های گوناگون در ایستگاه‌های محدوده‌ی طرح، پس از انتخاب بهترین توزیع آماری، برنامه‌ی CUMfreq به‌کار برده شد، و اندازه‌ی سیلاب احتمالی با دوره‌ی بازگشت‌های گوناگون محاسبه شد.

توزیع منتخب برای زیرحوزه‌های کوچک‌تر حوزه‌ی دره‌رود توزیع واکبی<sup>۱۲</sup> بود. در حوزه‌های با مساحت بیش‌تر، مثل بران و مشیران توزیع ویبول<sup>۱۳</sup> بهترین برازش را نشان داد. نتیجه‌های توزیع آماری نشان می‌دهد که به‌علت تفاوت فراوان ویژگی‌های گی‌تاشناسی زیرحوزه‌های دره‌رود، از جمله مساحت و شیب رود اصلی زیرحوزه‌ها، توزیع‌های آماری متنوعی در آن بود، اما توزیع‌های واکبی و ویبول بیش‌تر تکرار شد، و به نظر می‌رسد این توزیع‌ها در زیرحوزه‌های کوچک ممکن است اندازه‌های سیل را در دوره‌ی بازگشت‌های گوناگون با دقت خوبی برآورد کند. این یافته با نتیجه‌های ثقفیان و همکاران (۲۰۱۶) هم‌آهنگی دارد.

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Q_i - P_i| \quad 12$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2 - \sum_{i=1}^N (P_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2} \quad 13$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^N Q_i - \sum_{i=1}^N P_i}{\sum_{i=1}^N Q_i} \quad 14$$

$N$  تعداد نمونه،  $P_i$  اندازه‌های پیش‌بینی شده با شبیه‌ساز،  $Q_i$  اندازه‌های واقعی،  $\bar{P}$  میانگین اندازه‌های پیش‌بینی شده با شبیه‌ساز، و میانگین اندازه‌های واقعی است.

### نتایج و بحث

در این پژوهش از تابع توزیع آماری تعمیم‌یافته-پارتو (G.P)<sup>۵</sup>، تابع‌نمایی، گامبل<sup>۶</sup>، ویبول<sup>۷</sup>، بهنجار، لوگ بهنجار، لوگ سه‌شاخصی، تابع توزیع مقدار حدی تعمیم‌یافته (G.EV)<sup>۸</sup>، گامای تعمیم‌یافته<sup>۹</sup>، گامای تعمیم‌یافته‌ی ۴ شاخصی<sup>۱۰</sup>، گاما<sup>۱۱</sup>، و لوگ پیرسون نوع ۳ بهره‌گیری شد. برای برآورد کردن ضریب‌های این تابع‌های توزیع از نرم‌افزار Easy Fit و از روش بیشینه‌ی درست‌نمایی (MLE) بهره‌گیری شد. پس از تحلیل

جدول ۳- نتیجه‌های بهترین توزیع آماری بیشینه‌ی سیلاب ۲۴ ساعته ایستگاه‌های آبخیز دره‌رود.

نام ایستگاه	یامچی	هیبر	نیبر	ننه کران	کوزه تپراقی	عنبران	سامیان	دوست بیگلو
بهترین توزیع	لوگ-گاما	داگان	گاما	واکبی	داگان	لوگ بهنجار	گامای تعمیم‌یافته ۴ شاخصی	واکبی
نام ایستگاه	پل سلطانی	ایریل	آلادیزگه	ارباب کندی	آتشگاه	نوران	مشیران	بران
بهترین توزیع	تعمیم‌یافته- پارتو	واکبی	واکبی	گامبل تعمیم یافته	لوگ پیرسون تیپ ۳	واکبی	ویبول	ویبول

- 5 - Gen.-Pareto
- 6 - Gumbel
- 7 - Weibull
- 8 - Gen.-Extreme-Value
- 9 - Gen.-Gamma
- 10 - Gen.-Gamma-(4P)
- 11 - Gamma
- 12 - Wakeby
- 13 - Weibull

جدول ۴- سیلاب با دوره‌ی بازگشت‌های گوناگون در ایستگاه‌های آبخیز دره‌رود ( $m^3/s$ ).

دوره‌ی بازگشت	یامچی	هیبر	نیبر	ننه کران	کوزه تیراچی	عنبران	سامیان	دوست بیگلو
۱۰	۳۲/۲	۵/۲	۳/۸۸	۶/۳۳	۵/۲۸	۹/۷	۶۶	۷۴/۶
۲۵	۴۷/۹	۸/۵	۵/۰۱	۱۰	۸/۵۴	۱۵/۶۳	۸۷	۱۰۵/۱
۵۰	۶۲/۷	۱۲/۱	۵/۸۳	۱۴/۱۴	۱۲/۱۶	۲۱/۱۹	۱۰۰/۵	۱۲۸/۴
۱۰۰	۸۰/۷	۱۷/۲	۶/۶۳	۲۰	۱۷/۲۶	۲۷/۸۳	۱۱۲/۷	۱۵۱/۹
دوره‌ی بازگشت	پل سلطانی	ایریل	آلادیزگه	ارباب کندی	آتشگاه	نوران	مشیران	بران
۱۰	۱۷/۰۳	۷/۲۷	۷/۸۴	۴۲/۹۹	۳/۰۸	۶/۳۲	۱۱۲	۱۲۲
۲۵	۲۱/۵	۹/۰۶	۱۰/۵۹	۵۷/۲۶	۴/۹۴	۱۰	۱۴۱	۱۵۰
۵۰	۲۴/۴	۱۱/۰۴	۱۲/۶۶	۶۶/۶۷	۷/۰۳	۱۴/۱۴	۱۶۱	۱۶۸
۱۰۰	۲۷/۱	۱۳/۰۱	۱۴/۷۴	۷۷/۷۹	۹/۹۷	۲۰	۱۸۰	۱۸۶

دقت بسیار خوبی برآورد شده است (جدول ۵) به طوری که آزمون مقایسه‌ی میانگین‌ها در تراز اطمینان ۱٪ برای دوره‌ی بازگشت‌های گوناگون معنی‌دار نشد. وجود رابطه‌ی خطی میان شاخص‌های تأثیرگذار بر سیل و اندازه‌ی سیل‌خیزی حوزه با پژوهش‌های قائمی و همکاران (۱۹۹۶) هم‌آهنگی ندارد، اما با پژوهش‌های یوسفی‌میرهن و همکاران (۲۰۱۶) هم‌آهنگی دارد، که شاخص‌های مهم تأثیرگذار آن‌ها بر سیل نیز با اندازه‌ی سیل زیرحوزه‌ها به شکل خطی ارتباط داشت، و برازش و ابازی خطی با داده‌های سیل بهترین بود.

آزمایش‌های سطح پاسخ بر پایه‌ی طرح داده‌های موجود انجام شد، و با مقایسه‌ی اندازه‌های مشاهده شده با اندازه‌های پیش‌بینی شده، شبیه‌ساز خطی با پیش‌نهاد نرم‌افزار (با شاخص‌های آماری مناسب از جمله داشتن ریشه‌ی میانگین مربع‌های خطای کم‌تر، ضریب تبیین بیش‌تر، و مجموع مربع‌های مانده‌ی پیش‌بینی شبیه‌سازی کم‌تر) برای پیش‌بینی سیلاب با دوره‌ی بازگشت‌های گوناگون انتخاب شد. نتیجه‌های تحلیل پراکنش شبیه‌ساز خطی نشان داد که برای دوره‌ی بازگشت‌های گوناگون، اندازه‌ی سیلاب با

جدول ۵- شاخص‌های آماری شبیه‌سازهای با دوره‌ی بازگشت‌های گوناگون.

دوره‌ی بازگشت	شبیه‌ساز چندجمله‌ی	ضریب تبیین پیش‌بینی شده	ضریب تبیین اصلاح‌شده	ضریب تبیین	احتمال خطا
۱۰	خطی	۰/۸۷	۰/۹۴	۰/۹۶	<۰/۰۰۰۱
۲۵	خطی	۰/۹	۰/۹۵	۰/۹۷	<۰/۰۰۰۱
۵۰	خطی	۰/۸۴	۰/۹۳	۰/۹۵	<۰/۰۰۰۱
۱۰۰	خطی	۰/۸۰	۰/۹۱	۰/۹۴	<۰/۰۰۰۱

به دلیل در نظر گرفتن تأثیر متقابل شاخص‌های تأثیرگذار مانند مساحت-شیب و مساحت-ارتفاع باشد، به طوری که درجه‌ی آزادی این شبیه‌ساز بیش از دیگر دوره‌ی بازگشت‌ها است. بهره‌گیری از چندین شاخص تأثیرگذار برای رسیدن به دقت بیش‌تر در تخمین رابطه‌ی و ابازی با دقت مناسب، با تحقیق بدری و همکاران (۲۰۱۷) هم‌آهنگی دارد، که نشان‌دادند اندازه‌ی تأثیر زیرحوزه‌ها بر سیلاب حوزه‌ی اصلی دقیقاً متناسب با مساحت زیرحوزه‌ها نیست، و دیگر شاخص‌ها ممکن است به اندازه‌ی مساحت بر سیلاب موثر باشد. باید در نظر داشت که

هر یک از عامل‌های موثر بر اندازه‌ی سیلاب زیرحوزه‌ها معنی‌دار است (جز در دوره‌ی بازگشت ۱۰۰ سال، با افزایش زمان تمرکز اندازه‌ی سیلاب پیش‌بینی‌شده در دوره‌ی بازگشت‌ها در مساحت یکسان افزایش یافت. شیب خط‌های تراز نشان می‌دهد که حساسیت شبیه‌ساز به زمان تمرکز برای دوره‌ی بازگشت ۱۰ سال بیش از دیگر دوره‌ی بازگشت‌ها است. ۶). اندازه‌ی کفایت دقت شبیه‌ساز برای دوره‌ی بازگشت ۲۵ سال بیش از دیگر دوره‌های بازگشت دیگر بود (۸۳/۲)، که بسیار بیش‌تر از محدوده‌ی پذیرش (۴) است، و ممکن است



## تعیین بیشینه‌ی آب‌دهی سیلاب با روش سطح پاسخ در...

همه‌ی دوره‌ی بازگشت‌ها کم‌تر از ۰/۲ بود، و اندازه‌های آن به ۱ نزدیک بود، این شاخص نیز نشان‌دهنده‌ی عمل کرد مناسب شبیه‌سازها است.

دقت برای همه‌ی دوره‌ی بازگشت‌ها کافی بود، ولی اندازه‌ی کفایت دقت شبیه‌ساز برای دوره‌ی بازگشت‌های ۲۵، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ سال به ترتیب کاهش می‌یافت. با آن که مقدار اختلاف ضریب تبیین پیش‌بینی شده با ضریب تبیین اصلاح شده برای

جدول ۶- تحلیل پراکنش شبیه‌ساز سیلاب بر پایه‌ی عامل‌های گیئاشناسی برای دوره‌ی بازگشت‌های گوناگون.

دوره‌ی بازگشت	درجه‌ی آزادی	مجموع مربع‌های خطا	میانگین مربع‌های خطا	F	کفایت دقت	ضریب تغییر
۱۰	۶	۲۳۱۸۱	۳۸۶۳	۴۹/۸	۲۱/۳	۲۶/۹۸
۲۵	۱۱	۳۷۹۲۱	۳۴۴۷	۸۵۶	۸۳/۲	۴/۶۴
۵۰	۶	۴۶۹۷۹	۷۸۲۹	۳۴/۵	۱۷/۵	۲۹/۲۷
۱۰۰	۶	۵۷۵۸۶	۹۵۹۷	۲۶/۷	۱۵/۳۹	۳۱/۵

گوناگون مشاهده می‌شود که اهمیت شاخص‌های گیئاشناسی تاثیرگذار در برآورد سیلاب زیرحوزه‌ها در دوره‌ی بازگشت ۱۰ ساله به ترتیب از مساحت حوزه، ضریب شکل، شیب آبراه اصلی، ارتفاع متوسط حوزه، زمان تمرکز و شماره‌ی منحنی روان آب کاهش می‌یابد. در دوره‌ی بازگشت ۲۵ سال، اهمیت شاخص‌های تاثیرگذار به ترتیب مساحت، شیب آبراه اصلی، اثر متقابل مساحت و شیب، زمان تمرکز، اثر متقابل مساحت و ارتفاع، اثر متقابل ضریب شکل و زمان تمرکز، ضریب شکل، اثر متقابل مساحت و زمان تمرکز، ارتفاع، شماره‌ی منحنی و اثر متقابل مساحت و شماره‌ی منحنی محاسبه شد، که نشان می‌دهد اثر متقابل عامل‌های تاثیرگذار ممکن است تاثیرگذارتر از هر یک از شاخص‌های موثر باشد، اگرچه با نتیجه‌های کاستیک و همکاران (۲۰۱۶) که نشان دادند تاثیر متقابل عامل‌های موثر بر سیلاب کم‌تر از هر عامل به تنهایی است هم‌خوانی ندارد. ترتیب عامل‌های تاثیرگذار در دوره‌ی بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ سال مساحت، ضریب شکل، شیب آبراه اصلی، ارتفاع متوسط حوزه، شماره‌ی منحنی و زمان تمرکز بود. نتیجه‌های عامل‌های تاثیرگذار بر اندازه‌ی سیل حوزه‌ها نشان می‌دهد که مهم‌ترین عامل‌ها در برآورد کردن سیل در زیرحوزه‌ها مساحت حوزه و اثر متقابل آن با دیگر شاخص‌های تاثیرگذار است، که با نتیجه‌های رسول‌زاده (۲۰۱۶) و حجازی و مزبانی (۲۰۱۵) هم‌آهنگی دارد، که نشان دادند شبیه‌سازهای مبتنی بر مساحت حوزه‌ی آبخیز نتیجه‌های دقیق‌تری دارند.

در جدول ۷ ضریب‌های شناسه‌دهی نشده‌ی شبیه‌ساز پیشنهادشده‌ی سیلاب بر پایه‌ی عامل‌های موثر نشان داده شده است. عامل‌های مساحت رابطه‌ی مثبت و معنی‌داری با اندازه‌ی آب‌دهی سیلابی زیرحوزه‌های دره‌رود دارد، و در همه‌ی دوره‌ی بازگشت‌ها مهم‌ترین عامل تاثیرگذار بر سیلاب است، که با نتیجه‌های حجازی و مزبانی (۲۰۱۵) و جنا و نات (۲۰۲۰) که سطح حوزه را مهم‌ترین عامل در اندازه‌ی آب‌دهی روان آب دانستند، هم‌آهنگی دارد.

اثرگذاری شاخص ضریب شکل حوزه (که نشان‌دهنده‌ی عرض متوسط حوزه است) بر اندازه‌ی سیلاب، پس از شاخص مساحت در جایگاه دوم بود، و با کاهش آن آب‌دهی سیلابی در زیرحوزه‌ها افزایش نشان داد. با افزایش طول حوزه‌ها و افزایش زمان تمرکز آن‌ها، زمان پایه‌ی نمودار آبی سیل و بیشینه‌ی سیل افزایش یافت. این روی‌داد در زیرحوزه‌های نوران و هیر مشاهده شد که مساحت تقریباً برابری دارد، اما ضریب شکل حوزه‌ی هیر ۰/۴۲ کیلومتر و نوران ۰/۲۳۷ کیلومتر است، در حالی که متوسط بیشینه‌ی سیلاب حوزه‌ی نوران تقریباً ۱/۶ برابر حوزه‌ی هیر است. این یافته با پژوهش‌های شریفی پیچون و همکاران (۲۰۱۹) هم‌آهنگی دارد.

تحلیل پراکنش شبیه‌ساز سطح پاسخ سیلاب نشان داد که برای دوره‌ی بازگشت‌های گوناگون، اندازه‌ی سیلاب با دقت بسیار خوبی برآورد شد، به طوری که آزمون مقایسه‌ی میانگین‌ها در تراز اطمینان ۱٪ برای دوره‌ی بازگشت‌های گوناگون معنی‌دار نشد. با بررسی شبیه‌سازهای سطح پاسخ در دوره‌ی بازگشت‌های

جدول ۷- ضریب‌های شبیه‌ساز سیلاب پیشنهادشده برای بازگشت‌های گوناگون.

شاخص	دوره‌ی بازگشت ۱۰ سال	احتمال خطا	دوره‌ی بازگشت ۵۰ سال	احتمال خطا	دوره‌ی بازگشت ۲۵ سال	احتمال خطا	دوره‌ی بازگشت ۱۰ سال	احتمال خطا
عدد ثابت	۲/۶۵	<۰/۰۰۰۱	۶۴	<۰/۰۰۰۱	۱۱۴/۴	<۰/۰۰۰۱	۲/۶۵	<۰/۰۰۰۱
A	۰/۰۰۹	۰/۰۰۰۳	۰/۰۱۴	<۰/۰۰۰۱	۰/۱۷	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۹	۰/۰۰۰۶
FF	۳۰/۷۵	۰/۰۴۳	۶۶/۱۲	۰/۰۰۲	۲۲/۵	۰/۰۰۹	۳۰/۷۵	۰/۰۴۳
E	-۰/۰۱۶۴	۰/۴۹	-۰/۰۱۷	۰/۰۰۲۱	-۰/۴۲	۰/۲۸	-۰/۰۱۶۴	۰/۵۹
S	۵/۸۱	۰/۲	۷/۳۲	۰/۰۰۰۳	۶/۹۵	۰/۰۹۴	۵/۸۱	۰/۲۷
CN	-۰/۱۸۹	۰/۶	-۰/۹۷	۰/۰۳۲	-۰/۹۹	۰/۴۴	-۰/۱۸۹	۰/۶۹
TC	۰/۶۵	۰/۸	۰/۲۸۹	۰/۰۰۰۸	۲/۸۲	۰/۳۵	۰/۶۵	۰/۹۴
A.E	---	---	---	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۰۰۶۵	---	---	---
A.S	---	---	---	۰/۰۰۰۴	۰/۰۱۱۵	---	---	---
A.CN	---	---	---	۰/۰۳۶	-۰/۰۰۳۹	---	---	---
A.TC	---	---	---	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۸۶	---	---	---
FF.TC	---	---	---	۰/۰۰۱۸	-۴/۵	---	---	---

A = سطح حوزه (کیلومتر مربع)، FF = ضریب شکل حوزه، E = ارتفاع متوسط حوزه (متر)، TC = زمان تمرکز حوزه (ساعت)، S = شیب حوزه (درصد)، CN = شماره‌ی منحنی حوزه.

خطای کم‌تری نشان داد. بنابراین، با در نظر گرفتن همه‌ی شاخص‌های عمل‌کردی شبیه‌ساز می‌توان دقت شبیه‌ساز سطح پاسخ را به ترتیب در دوره‌ی بازگشت‌های ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال در نظر گرفت. شبیه‌سازی‌های سطح پاسخ در دوره‌های بازگشت کم‌تر به اندازه‌های واقعی نزدیک‌تر است، یافته‌یی که با نتیجه‌های اسماعیلی و همکاران (۲۰۱۸) هم‌آهنگی دارد.

نتیجه‌های شاخص‌های عمل‌کردی شبیه‌ساز در دوره‌ی بازگشت‌های گوناگون در جدول ۸ نشان داده شده است. اندازه‌ی کارایی (EF) و ریشه‌ی میانگین مربع‌های خطا و ضریب جرم باقی‌مانده برای دوره‌ی بازگشت ۲۵ سال بهتر از شبیه‌سازهای با دوره‌ی بازگشت ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ سال بود. شبیه‌ساز سطح پاسخ با دوره‌ی بازگشت ۲۵ سال در شاخص‌های میانگین خطای مطلق و درصد خطای نسبی

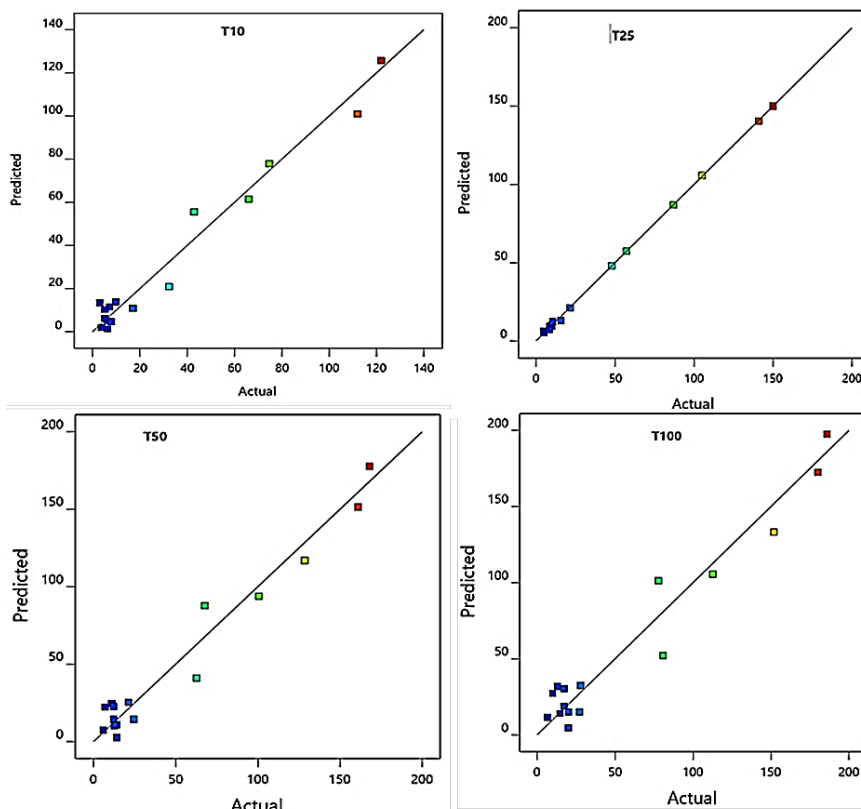
جدول ۸- شاخص‌های عمل‌کردی شبیه‌سازها.

دوره‌ی بازگشت	EF	CRM	RMSE(%)	MAE(%)	£
۱۰	۰/۷۴	۰/۲۸	۲۰/۹۹	۰/۵۲	۵۲/۷
۲۵	۰/۸۵	۰/۱۶	۷/۱۶	۰/۴۵	۳۹/۷
۵۰	۰/۷۱	۰/۵۶	۲۹/۰۵	۰/۴۸	۴۵/۱
۱۰۰	۰/۷۵	۰/۸۲	۳۹/۵۵	۰/۵۵	۴۹/۱۳

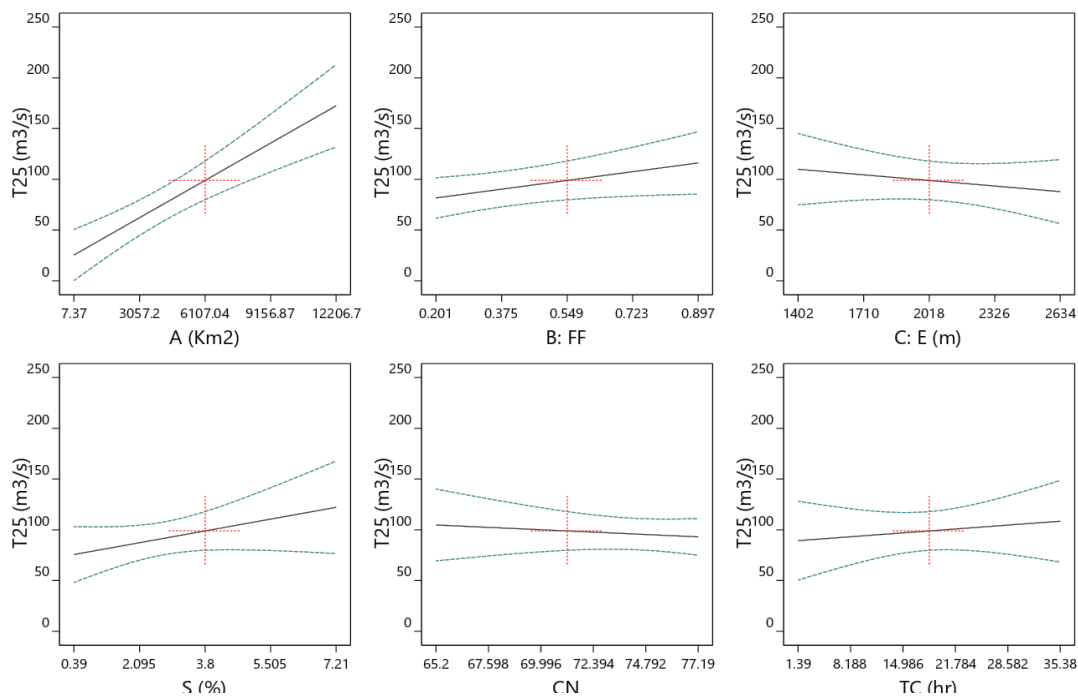
شکل ۲ نمودار یک‌به‌یک نتیجه‌های به‌دست‌آمده از شبیه‌ساز را نشان می‌دهد. شبیه‌ساز به خوبی مقدار سیلاب را بر پایه‌ی عامل‌های موثر پیش‌بینی کرد، و در سیلاب با اندازه‌های بیش‌تر نتیجه‌های پیش‌بینی به واقعیت نزدیک‌تر بود. شکل ۳ تأثیر هر عامل موثر را جداگانه بر سیلاب با دوره‌ی بازگشت ۲۵ سال نشان می‌دهد، که مشابه دیگر دوره‌ی بازگشت‌ها است. تأثیر همه‌ی عامل‌های موثر بر سیلاب خیزی بر اندازه‌ی سیلاب حوزه خطی بود، و شماره‌ی منحنی و ارتفاع متوسط

شکل ۲ نمودار یک‌به‌یک نتیجه‌های به‌دست‌آمده از شبیه‌ساز را نشان می‌دهد. شبیه‌ساز به خوبی مقدار سیلاب را بر پایه‌ی عامل‌های موثر پیش‌بینی کرد، و در سیلاب با اندازه‌های بیش‌تر نتیجه‌های پیش‌بینی به واقعیت نزدیک‌تر بود. شکل ۳ تأثیر هر عامل موثر را جداگانه بر سیلاب با دوره‌ی بازگشت ۲۵ سال نشان می‌دهد، که مشابه دیگر دوره‌ی بازگشت‌ها است. تأثیر همه‌ی عامل‌های موثر بر سیلاب خیزی بر اندازه‌ی سیلاب حوزه خطی بود، و شماره‌ی منحنی و ارتفاع متوسط

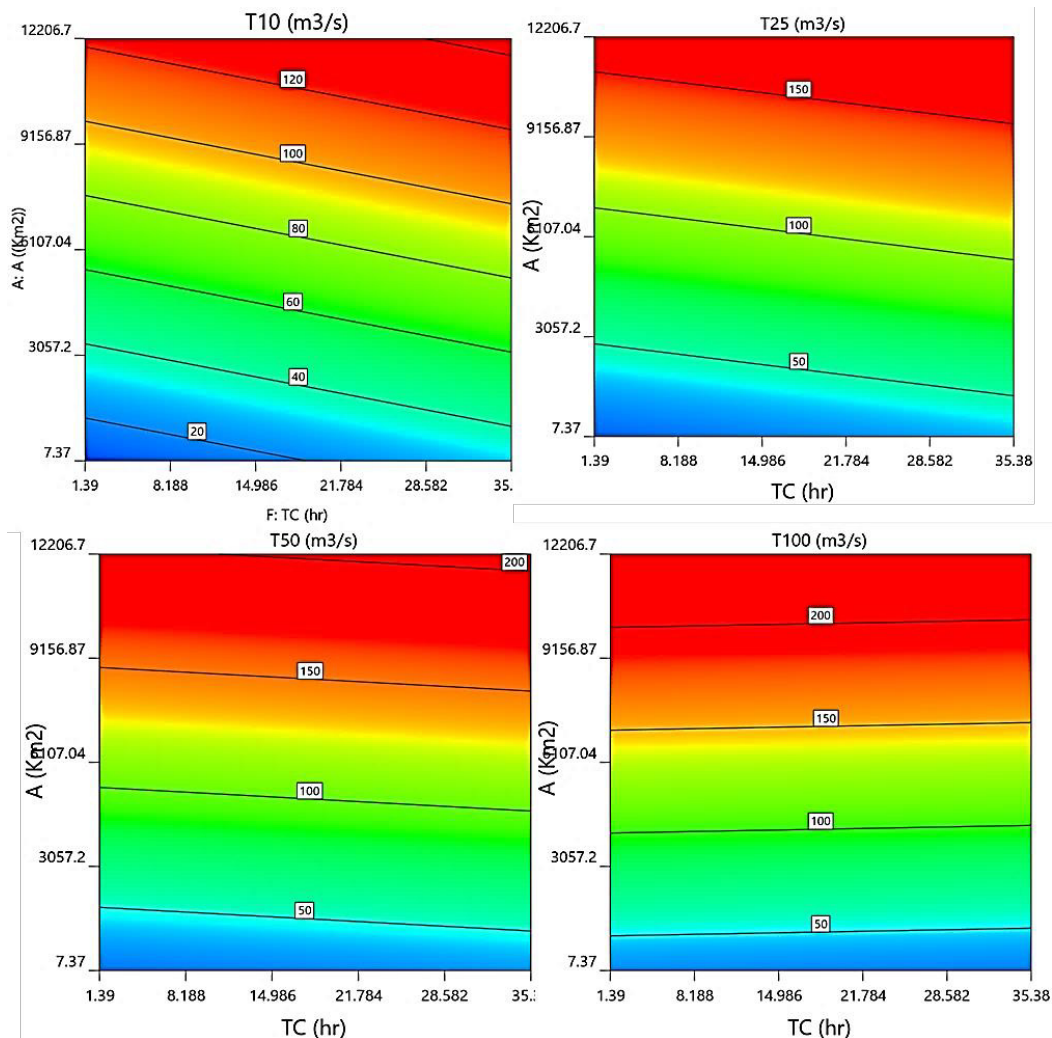
تعیین بیشینه‌ی آبدهی سیلاب با روش پاسخ در...



شکل ۲- نمودار یک به یک نتیجه‌های پیش‌بینی شده با شبیه‌ساز و اندازه‌گرفته.



شکل ۳- تأثیر عامل‌های مؤثر بر آبدهی سیلاب با دوره‌ی بازگشت ۲۵ سال.



شکل ۴- خط‌های تراز سیلاب بر پایه‌ی عامل‌های مساحت و زمان تمرکز.

تأثیر ضریب شکل در کاهش دادن اندازه‌ی سیلاب زیرحوزه‌ها کم‌تر از دیگر شاخص‌های موثر است. زمان تمرکز نقطه‌ی بهینه‌ی شبیه‌ساز در دوره‌ی بازگشت ۱۰ سال بیش از دوره‌ی بازگشت ۲۵ سال است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که روند تأثیرگذاری زمان تمرکز در سیلاب در دوره‌ی بازگشت‌های کم‌تر، برخلاف دوره‌ی بازگشت‌های بیش‌تر ۲۵، ۵۰، و ۱۰۰ ساله است. کنش‌های آبخیزداری در حوزه‌ها با افزودن بر زمان تمرکز حوزه‌ها، تأثیر مثبت و معنی‌داری در کاهش اندازه‌ی آبدهی اوج سیلاب‌ها با دوره‌ی بازگشت‌های کم در حوزه‌ها خواهد داشت. نکته‌ی دیگری که از بررسی نتیجه‌های جاهای بهینه‌ی سیلاب مشخص است، تأثیر مثبت و معنی‌دار کاهش شماره‌ی منحنی حوزه بر کاهش آبدهی سیلابی زیرحوزه‌های دره‌رود است. متوسط شماره‌ی منحنی زیرحوزه‌های دره‌رود ۷۳

پس از یافتن شبیه‌سازهای برآورد سیلاب در دوره‌ی بازگشت‌های گوناگون، برای یافتن نقطه‌ی مطلوب (کم‌ترین سیلاب در دامنه‌ی تغییر عامل‌های موثر) در بخش بهینه‌سازی نرم‌افزار Design Expert (Version 12.0, Stat-Ease, Minneapolis, MN 55413)، مقدار کمینه‌ی سیلاب تابع‌های هدف به نرم‌افزار داده شد. شرایط به‌شکلی در نظر گرفته شد که کم‌ترین سیلاب با دوره‌ی بازگشت‌های گوناگون را با فرض این که عامل‌های تأثیرگذار در دامنه‌ی تغییر آن جا دارند، تعیین کند. بنابراین، با این فرض‌ها هدف مطلوب با درجه‌ی مقبولیت ۱ برای همه‌ی دوره‌ی بازگشت‌ها محاسبه شد. ویژگی‌های گیتاشناسی نقطه‌های هدف در جدول ۹ آورده، و مکان‌نمای آن‌ها در نمای سه‌بعدی سیلاب بر پایه‌ی شاخص‌های موثر در شکل ۵ مشخص شده است.

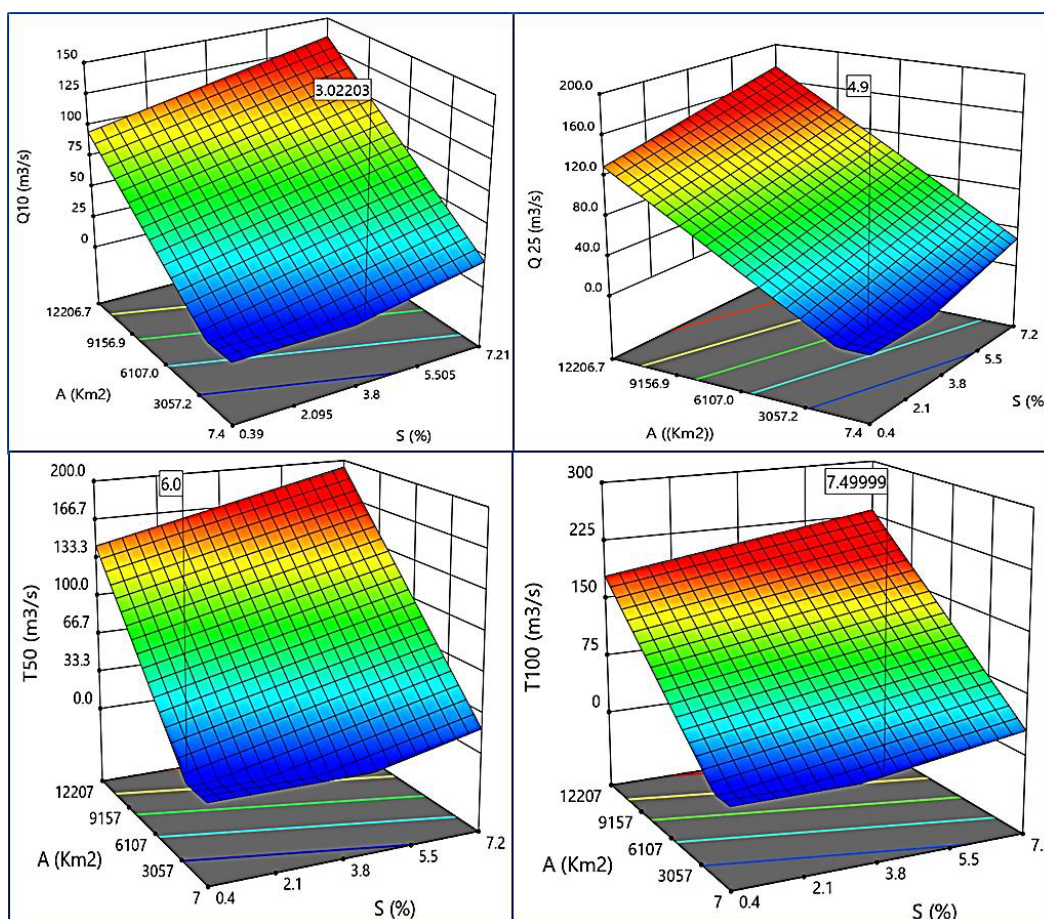
## تعیین بهینه‌ی آب‌دهی سیلاب با روش سطح پاسخ در...

نشان می‌دهد. بنابراین با ۱ تا ۲ واحد کاستن از شماره‌ی منحنی در زیرحوزه‌ها می‌توان به نقطه‌ی بهینه از نظر شماره‌ی منحنی در زیرحوزه‌ها رسید، که با پژوهش‌های حسینی و همکاران (۲۰۱۷) هم‌آهنگی دارد.

است، اما نتیجه‌های نقطه‌ی دل‌خواه شبیه‌ساز که کم‌ترین سیلاب را در دوره‌ی بازگشت‌های گوناگون در سطح حوزه نشان می‌دهد، برای دوره‌ی بازگشت‌های ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله، اندازه‌ی شماره‌ی منحنی را حدود ۱ تا ۲ واحد کم‌تر

جدول ۹- جاهای بهینه‌ی عمل کرد شبیه‌ساز.

اندازه‌ی سیلاب ( $m^3/s$ )	درجه‌ی مقبولیت	شماره‌ی منحنی	شیب آب‌راه اصلی (%)	زمان تمرکز (hr)	ارتفاع متوسط (m)	ضریب شکل	مساحت ( $km^2$ )	دوره‌ی بازگشت
۳/۰۲	۱	۷۰	۳/۹	۳/۹	۲۲۶۴	۰/۳۷	۱۳۷/۲	۱۰
۴/۹	۱	۷۴	۱/۴	۳/۶	۱۵۷۰	۰/۲۲	۷۳	۲۵
۶	۱	۷۲	۰/۸۷	۱/۸/۲	۱۴۵۳	۰/۳۷	۹۳	۵۰
۷/۵	۱	۷۲/۸	۳/۸	۲/۱/۹	۲۳۹۸	۰/۳۲	۱۷۹/۷	۱۰۰



شکل ۵- مکان‌نمای نقطه‌ی بهینه بر سطح سه‌بعدی شبیه‌ساز بر پایه‌ی درصد شیب و مساحت حوزه.

### نتیجه‌گیری

به طور کلی، با افزایش دوره‌ی بازگشت سیلاب‌ها مقدار ضریب هم‌بستگی تا حدودی کاهش یافت. با آزمون مقایسه‌ی میانگین‌ها و آزمون تی مشخص شد که شبیه‌ساز سطح پاسخ می‌تواند در همه‌ی دوره‌ی بازگشت‌ها سیلاب را در زیرحوزه‌های دره‌رود برآورد کند، و اختلاف میان اندازه‌های پیش‌بینی‌شده و اندازه‌های تعیین‌شده از توزیع‌های آماری زیرحوزه‌ها در تراز ۱٪ معنی‌دار نبود. تاثیر عامل‌های گوناگون و اهمیت هر یک از آنها و اثر متقابل آنها در دوره‌ی بازگشت‌های گوناگون یکسان نبود، اما شبیه‌ساز سطح پاسخ توانست مهم‌ترین شاخص‌های تاثیرگذار را تعیین کند، و بهترین تابع خطی را بر پایه‌ی شاخص‌های تاثیرگذار به‌دست دهد. نتیجه‌ها نشان‌داد که شبیه‌ساز سطح پاسخ در این پژوهش با داشتن ضریب تبیین و اصلاح‌شده‌ی زیاد در دوره‌های بازگشت گوناگون دقت مناسبی دارد، و ممکن است اندازه‌ی سیل را در زیرحوزه‌های

گوناگون این حوزه‌ی بزرگ (تقریباً نیمی از مساحت استان اردبیل) به‌خوبی محاسبه کند. نتیجه‌های این تحقیق را ممکن است در تخمین سیلاب با دوره‌های گوناگون در زیرحوزه‌های گوناگون استان که ایستگاهی برای ثبت سیلاب ندارند به‌کار برد، زیرا در محل خروجی بیش‌تر زیرحوزه‌های کشور آمار ثبت‌شده‌ی برای برآوردکردن سیلاب با دوره‌ی بازگشت‌های گوناگون نیست. بنابراین، اگر برآوردها برپایه‌ی ویژگی‌های گیئاشناسی زیرحوزه‌ها و شبیه‌ساز سطح پاسخ انجام شود، ممکن است در تعیین بیشینه‌ی سیلاب این منطقه‌ها مفید باشد.

### سپاس‌گزاری

این مقاله با حمایت معاون محترم پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی (۹۹/۵/۹/۲۲۵۹۹) تهیه شده است. به این وسیله از ایشان قدردانی می‌شود.

- Azam M, Hyung SK, Seung JM. 2017. Development of flood alert application in Mushim stream watershed Korea. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 21(1): 6–11.
- Azhar H. 2017. Estimation of design flood discharge for Kakkadavu dam in Kariangode River Basin. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*. 4(1): 555–560.
- Badri B, Zarebidaki R, Honarbakhsh A, Atashkhar F. 2017. Prioritization of Beheshtabad watershed sub-basins for flood potential. *Natural Geography Research (Geographical Research)*. 48(1): 143–158. (In Persian).
- Box GEP, Wilson KB. 1951. On the experimental attainment of optimum conditions. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*. 13(1):1–45.
- Brouwer R, Van EK. 2004. Reintegrated ecological, economic and social impact assessment of alternative flood control policies in the Netherlands. *Ecological Economics*. 50(2):1–21.
- Chau VN, Holland J, Cassells S, Tuohy M. 2013. Using GIS to map impacts upon agriculture from extreme floods in Vietnam. *Applied Geography*. 41: 65–74.
- Dile YT, Srinivasan R. 2014. Evaluation of CFSR climate data for hydrologic prediction in data-scarce watersheds: An application in the Blue Nile River basin. *The Journal of the American Water Resources Association*. 50(5): 1226–1241.
- Eslami Z, Shojaei S, Hakimzadeh MA. 2017. Exploring prioritized sub-basins in terms of flooding risk using HEC-HMS model in Eskandari catchment, Iran. *Spatial Information Research*. 25(5): 677–684.
- Esmali A, Mirzaei Y, Madadi A, 2018. Assessment the soil erosion and sediment yield with using of rainfall-runoff WMS model (Case study: Sadal Watershed-west Azerbaijan Province). *Journal of Natural Environmental Hazards*. 7(17): 1–18. (In Persian).
- Fu MC. 2015. Handbook of simulation optimization. Vol. 216. New York: Springer Science and Business Media 387 p.
- Ghaemi H, Morid S. 1996. Flood model of Karkheh sub-basins. *Nivar*. 30(2):10–27. (In Persian).
- Ghaffariegilandeh A, Behruz S, Ostadibabakandi E. 2016. Estimation of curve number and runoff height in ArcGIS, Case Study, Meshkinshahr City. *Hydro Geomorphology*. 3(9):159–175. (In Persian).
- Hejazi A, Marzbani M. 2015. Estimation of maximum runoff height and discharge using curve number method Case Study: Sarab Darehshahr watershed. *Hydro Geomorphology*. 2(5): 63–81. (In Persian).
- 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 Khuzeestan Province. *Applied Water Science*. 7(3):55–63.
- Hoseini Y. 2020. Comparison of uniform and SCS unit hydrograph methods to estimate maximum flood discharge of Amughin basin. *Hydro Geomorphology*. 6(21):87–107. (In Persian).
- 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.
- Johnson NL, Kotz S, Balakrishnan N. 1995. Continuous univariate distributions (Vol. 2, 2nd ed.), New York: John Wiley. 711 p.
- Karami HR, Keyhani M, Mowla D. 2016. Experimental analysis of drag reduction in the pipelines with response surface methodology. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 138(2): 104–112.
- Keshtegar B, Allawi MF, Abdulmohsin Afan H, El-Shafie A. 2016. Optimized river stream-flow forecasting model utilizing high-order response surface method. *Water Resource Management*. 30(22): 3899–3914.
- Khosroshahi M, Saghafian B. 2002. Investigating the role of participation of watershed sub-basins in flood severity. *Journal of Research and*

- Construction. 16(2):67–75. (In Persian).
- Koštic S, Stojkovic M, Prohaska S, Vasovic N. 2016. Modeling of river flow rate as a function of rainfall and temperature using response surface methodology based on historical time series. *Journal of Hydro Informatics*. 18(4):651–666.
- Mahdavi M, 1999. *Applied hydrology*, Tehran University Publishers, 401 p.
- 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 Višula Basin, Poland. *Water*. 11(3): 601–622.
- Montgomery DC, Myers RH. 1995. “Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments”, Raymond H. Meyers and Douglas C. Montgomery, A Wiley-Inter science Publications. 856 p.
- Nikpour, MR, Sanikhani H, Mahmudi Babelan S, Nashtarani Amuqin S. 2018. Daily rainfall – runoff modeling of Darreh-Rud river in Ardabil province, Iran. *Irrigation Sciences and Engineering*. 41(4):133–146. (In Persian).
- Nohegar A, Ghashghaizadeh N, Hellisaz A. 2012. Determining flooded areas and prioritizing flooding of sub-basins (Case study: Jamash Watershed of Hormozgan Province). *Research in Earth Science*. 3(9):14–25. (In Persian).
- Purseifollahi B, Kanooni A, Nikpur MR, Ramazani moghadam J. 2018. Determination of homogeneous areas for flood estimation in catchment area in Darreroud, Ardabil Province. *Sixth Comprehensive Conference on Flood Management and Engineering*. Ministry of Energy, Tehran, Iran. 10 p. (In Persian).
- Rahaman SA, Ajeez SA, Aruchamy S, Jegankumar R. 2015. Prioritization of sub watershed based on morphometric characteristics 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.
- Rasulzadeh A, Azartaj E, Farzi P. 2016. Derivation and investigation of regional flood analysis models as a function of return period (Case study: Ardabil province). *Journal of Water and Soil Conservation*. 22(4): 261–268. (In Persian).
- Razavizadeh S, Shahedi K. 2017. Combination of AHP and TOPSIS methods to prioritize of flooding in Taleghan sub watersheds. *Natural Ecosystems of Iran*. 7(4):33–46. (In Persian).
- Saghafian B, Noroozpour S, Kiani M, Rafiee Nasab. A. 2016. Coupled Modclark-curve Number Rainfall-runoff Model. *Arabian Journal of Geosciences*. 9 (4): 2–13.
- Shabanie bazneshin A, Emadi AR, Fazaveli R. 2016. Investigating the potential of flooding of watershed basins and determining flood generation areas (Case study: Neka Watershed). *Management Basin Research*. 7(1):20–28. (In Persian).
- Sharifi paichoon M, Omidvar K, Motazaker K. 2019. Assessment of flooding using cluster analysis and multivariable regression methods with emphasis on hydro geomorphological parameters (Case study: Maroon Catchment). *Journal of Natural Environmental Hazards*. 8(21):75–92. (In Persian).
- Shirazi M, Khademorasoul A, Safieddine-Ardabili, SM. 2019. Evaluation and optimization of the effects of soil salinity (EC) on soil erosive properties using response surface methodology. *16th Iranian Soil Science Congress*, University of Zanjan. Zanjan. Iran. 12 p. (In Persian).
- WMS7.1. 2006. *User manual*. Bringham Young University. 250 p.
- Yu J, Qin X, Ole L, Chua LHC. 2014. Comparison between response surface models and artificial neural networks in hydrologic forecasting. *Journal of Hydrologic Engineering*. 19(3):473–481.
- Yousefi Mobarhan E, Farahmand K, Fahim N, Fahim E. 2016. Efficiency of flow-duration curves method for verification of a hydrological model (Case study: Zola-Chay Watershed). *Water and Soil Science*. 26 (2–1): 101–113. (In Persian).





## **Determining the Maximum Flood Discharge Using the Response Surface Methodology in Darrehrood Sub-Basins, Ardebil Province**

**Yaser Hoseini**

(Corresponding Author) \* Moghan College of Agriculture and Natural resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

\*Corresponding Author's Email: [y\\_hoseini@uma.ac.ir](mailto:y_hoseini@uma.ac.ir)

Received: 10 May 2021

Accepted: 20 September 2021

### **Abstract**

It is impossible to manage water resources in basins without the accurate determination of the peak flood discharge. Therefore, this study was carried out to determine the peak flood discharge for the return period of 10, 25, 50, and 100 years using RSM model in Darrehrood sub-basins with 12900 km<sup>2</sup> area in Ardebil Province. Flow data of 16 hydrometric stations were collected in a statistical period of 15 years (2001-2005) and statistical deficiencies in the joint period were eliminated by using regression methods between hydrometric stations. Floods were calculated with different return periods. Also, physiographic characteristics of sub-basins that affect flood rate including area, slope, shape factor, height average, concentration time, and curve number were achieved using ArcGIS10.2 and WMS7.1 (watershed modeling system). The Goodness of Fit ( $R^2$ ) in the return periods of 10, 25, 50, and 100 years was estimated to be 96, 97, 95, and 94%, respectively. This indicates the model's high accuracy to predict the peak discharge in the sub-basins using the basin physiographic parameters. Model performance indexes of the model evaluation for return period of 10, 25, 50 and 100 years were calculated respectively including root mean square error (RMSE) of 20.99, 7.16, 29.05, 39.55, relative percentage error ( $\epsilon$ ) of 52.7, 37.7, 45.1, 49.13, mean absolute error (MAE) of 0.52, 0.45, 0.48, 0.55, coefficient of residual mass (CRM) of 0.28, 0.16, 0.56, 0.82, and model efficiency (EF) of 0.74, 0.85, 0.71, 0.75. Cross-validation diagrams showed that RSM model was very suitable for the whole return periods. Paired t-test showed that the difference between predicted and actual values in different return periods was not significant ( $P < 0.01$ ). The results of this study showed that the RSM has good accuracy for estimating floods in sub-basins of Ardebil Province.

■ **Keywords:** Ardabil province, return period, RSM, sub basin, statistical distribution ■