

## مکان‌یابی سطوح موثر بر دبی اوج سیل به منظور برنامه‌ریزی و مهار سیل با استفاده از مدل HEC-HMS (مطالعه موردی حوضه آبخیز طالقان)

زهرا حجازی‌زاده<sup>۱</sup>، علیرضا حسینی<sup>۲</sup> و صمد شادفر<sup>۳</sup>  
تاریخ وصول: ۱۳۹۵/۹/۱۸، تاریخ تایید: ۱۳۹۵/۱۱/۲۰

### چکیده

مطالعه حاضر در حوضه آبخیز طالقان در استان البرز به منظور اولویت‌بندی مناطق موثر بر دبی اوج سیلاب صورت گرفته است. برای این منظور با استفاده از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (Arc GIS) نقشه‌های مشخصات فیزیکی حوضه آبخیز طالقان تهیه گردید؛ همچنین داده‌های باران‌سنج ثبات و رواناب ثبت شده معادل آن برای ۲۰ سال دوره آماری (۱۳۷۲-۱۳۹۲) از آب منطقه‌ای تهران اخذ شد در نتیجه چهار واقعه سیل از آمار موجود استخراج و مورد واسنجی در مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS قرار گرفت به منظور واسنجی و شبیه‌سازی هیدروگراف از روش SCS و برای روندیابی در آبراه‌ها از روش Lag time استفاده شد و در نهایت، با استفاده از دوره بازگشت ۵۰ ساله و استفاده از روش تکرار حذف انفرادی زیرحوضه‌ها در محیط HEC-HMS هریک از زیرحوضه‌ها از نظر سیل‌خیزی اولویت‌بندی شدند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که میزان مشارکت زیرحوضه‌ها در دبی خروجی کل حوضه تنها تحت‌تاثیر مساحت و دبی اوج زیرحوضه‌ها نمی‌باشد و عواملی مانند شماره منحنی و گروه هیدرولوژیک خاک نقش قابل توجهی را در سیل‌خیزی دارند.

کلیدواژه‌گان: پتانسیل سیل‌خیزی، حوضه آبخیز طالقان، دبی اوج سیلاب، GIS، SCS.

۱. استاد آب و هواشناسی دانشگاه خوارزمی

۲. کارشناس ارشد آب و هواشناسی دانشگاه خوارزمی (نویسنده مسئول)

۳. دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

## مقدمه

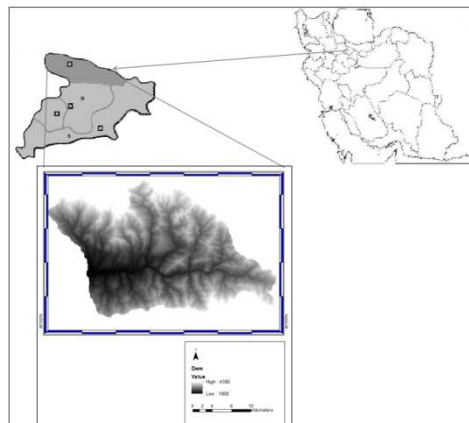
آمارها حاکی از آن است که سیلاب از نظر تلفات در میان حوادث دیگر نقش زیان‌باری را دارا است. این امر کشور ایران را در مقام هفتم در دنیا از لحاظ سیل‌خیزی قرار داده است (نصری، ۱۳۸۹). تعیین پتانسیل سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها از جمله مطالعات پایه و اساسی است که می‌تواند گامی مهم در زمینه بسترسازی جهت کاهش بلایا باشد. مشخصات فیزیکی یک حوضه آبخیز از عوامل تعیین‌کننده در رخداد این حادثه بوده و اغلب مسائل هواشناسی، هیدرولوژی و حفاظت آب و خاک با آن در ارتباط مستقیم و غیرمستقیم است (داونس، ۲۰۰۰). اندازه و تکرار سیل ناشی از عوامل متعددی است که بسته به شرایط جغرافیایی و اقلیمی هر منطقه تغییر می‌کند. در سال‌های اخیر با رشد و توسعه کامپیوتر سرعت محاسبات ریاضی و در نتیجه آن مدل‌سازی ریاضی افزایش یافته است و نتایج حاصل از آن‌ها نیز رضایت‌بخش می‌باشد. فرایند بارش و رواناب با توجه به تغییرات زمانی و مکانی بارندگی، رطوبت خاک تبخیر و تعرق فرایند بسیار پیچیده‌ای است؛ لذا، شناخت آنها و پارامترهای دیگری که در این فرایند موثر هستند مانند: پوشش گیاهی، کاربری اراضی، شیب حوضه و خصوصیات زهکشی اراضی ضروری می‌باشد. در سال‌های اخیر استفاده از مدل‌های بارش رواناب برای مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه‌های آبخیز به‌علت سرعت عمل و دقت در محاسبات و همچنین کمک در تصمیم‌گیری مدیران حوضه‌های آبخیز بسیار متداول شده است. پژوهش‌ها و مطالعات مرتبط با مسائل هیدرولوژی در سال‌های اخیر رشد چشمگیری داشته، یکی از نرم‌افزارهای موجود جهت شبیه‌سازی بارش و رواناب مدل نرم‌افزاری HEC-HMS است، این مدل با داشتن زیرمدل‌های مختلف کارایی و کاربرد وسیعی در بسیاری از نقاط دنیا دارد (نبل و همکاران، ۲۰۰۲) در مطالعه موردی سیل در رودخانه سان‌آنتونیوی امریکا، با استفاده از مدل HEC-HMS و HEC-RAS به نتایج قابل قبولی رسیدند. بررسی آنها نشان داد که حوضه‌های بزرگتر و با تنوع بیشتر مورفولوژیکی، خاک و پوشش گیاهی سهم کمتری در سیل‌خیزی دارند در حالی که زیرحوضه‌های کوچکتر و فاقد این شرایط نقش بیشتری در دبی اوج سیل دارند. بررسی آنها نشان داد مطالعات هیدرولوژیکی سیل با استفاده از این مدل در مقیاس منطقه‌ای و محلی و ترکیب آن با سیستم اطلاعات جغرافیایی برای شبیه‌سازی طغیان سیل در حوضه‌های آبخیز می‌تواند نتایج موفقی داشته باشد. در کاری

دیگر (جیمز اولچ و ژی‌جیا ۲۰۰۹) با استفاده از مدل HEC-HMS به پیش‌بینی سیل در دو حوضه کوهستانی کنار هم در جنوب چین پرداختند. آنها برای این کار ۱۶ رویداد سیل با طول دوره هفت‌ساله انتخاب کرده و از روش هیدروگراف واحد SCS در تبدیل بارش به رواناب سطحی و برای روندیابی از روش ماسکینگام و از روش آزمون و خطا برای کالیبره‌کردن مدل استفاده کردند. بررسی و مشاهده خروجی مدل نشان داد که همبستگی خوبی بین سیل واقعی و شبیه‌سازی شده وجود دارد و هر دو هیدروگراف به هم شبیه هستند؛ آنها به این نتیجه رسیدند که مدل HEC-HMS مدلی مناسب برای حوضه مورد مطالعه است. همچنین، (برلی و همکاران، ۲۰۰۶)، (پاپاس و همکاران، ۲۰۰۷)، (کریستوفر و همکاران، ۲۰۰۱) با به‌کارگیری نرم‌افزار سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS و نرم‌افزار HEC-HMS یک مدل بارش - رواناب ارائه نمودند و نتایج آنها حاکی از قابلیت این روش در شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب یک حوضه آبخیز است (روغنی، مهدوی، غفوری، ۱۳۸۲)، با هدف بررسی توزیع مکانی مناطق موثر بر دبی اوج سیلاب در حوضه رودک از مفهوم نمودار مساحت - زمان - و مدل هیدرولوژیکی RAFTS استفاده و اقدام به شبیه‌سازی سیلاب نموده، نتایج کار آنها نشان داد که بخش میانی حوضه اثرگذارترین بخش در سیل‌خیزی است. (خسروشاهی و ثقفیان، ۱۳۸۴: ۲۸) از مدل HEC-HMS جهت تعیین حساسیت اثر برخی از عوامل موثر بر سیل‌خیزی زیرحوضه‌های آبخیز دماوند استفاده کردند. نتایج حاصل نشان داد رفتار هیدرولوژیکی زیرحوضه‌ها نسبت به خروجی غیرخطی است و عوامل موثر بر سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها از دیدگاه تاثیر بر سیل خروجی حوضه و همچنین بحرانی‌ترین زیرحوضه قابل شناسایی می‌باشد (ایرانلو، مرادی؛ صادقی، ۱۳۸۸) با استفاده از مدل شبیه‌سازی سیل HEC-HMS به اولویت‌بندی مکانی زیرحوضه‌های حوضه آبخیز کوشک‌آباد خراسان پرداختند، آنها پس از تعیین اطلاعات موردنیاز با روش شبیه‌سازی SCS روندیابی ماسکینگام و استفاده از پارامترهای تلفات اولیه، شماره منحنی، و زمان تاخیر و روش حذف انفرادی زیرحوضه‌های موجود را اولویت‌بندی نمودند. نتایج کار آنها نشان داد که از محل خروجی به سمت بالادست و بخش‌های میانی حوضه تاثیر زیرحوضه‌ها در دبی اوج و حجم سیل خروجی کل به دلیل همزمانی حضور دبی و حجم سیل زیرحوضه‌ها در محل خروجی و تاثیر آنها بر یکدیگر افزایش می‌یابد. (نشاط و صادقی، ۱۳۸۵) با استفاده از مدل HEC-HMS و استفاده از روش SCS در حوضه باغ ملک خوزستان به نتایج قابل قبولی رسیدند. بررسی سوابق موجود در ایران و

جهان نشان می‌دهد که استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی بارش و رواناب نظیر HEC-HMS کاربرد بسیار وسیعی در مطالعه و آگاهی از پارامترهای اثرگذار بر سیل‌خیزی داشته است. تحقیقات یاد شده عمدتاً با هدف بررسی شاخص‌های اثرگذار بر سیل‌خیزی حوضه‌ها و تاثیر آنها بر پاسخ به بارندگی صورت گرفته است و بیانگر عملکرد خوب مدل در تصمیم‌گیری‌ها برای مدیریت حوضه به‌شمار می‌رود.

### داده‌ها و روش‌ها

حوضه آبخیز طالقان با مساحت (۱۲۴۲/۶۵) کیلومتر مربع بین  $36^{\circ}$  و  $51^{\circ}$  و  $30'$  و  $21'$  و  $36^{\circ}$  عرض شمالی و  $26'$  و  $36'$  و  $50'$  تا  $18'$  و  $10'$  و  $51'$  طول شرقی قرار دارد. محدوده مورد مطالعه به فاصله ۱۲۰ کیلومتری شمال‌غرب تهران یک حوضه کوهستانی نسبتاً مرتفع در بطن سلسله جبال البرز است، ارتفاع این حوضه ۱۷۰۰ متر تا ۴۴۰۰ متر از سطح دریاهای آزاد است. مساحت کل حوضه برابر ۱۱۳۵۳۶ هکتار است. این حوضه به وسیله خط‌الراس‌های دو رشته جبال شمالی و جنوبی که در شرقی‌ترین قسمت حوضه به یکدیگر می‌پیوندند محصور گشته است و بخش غربی آن خروجی رودخانه طالقان را تشکیل می‌دهد که بالنسبه کم‌ارتفاع‌تر است.

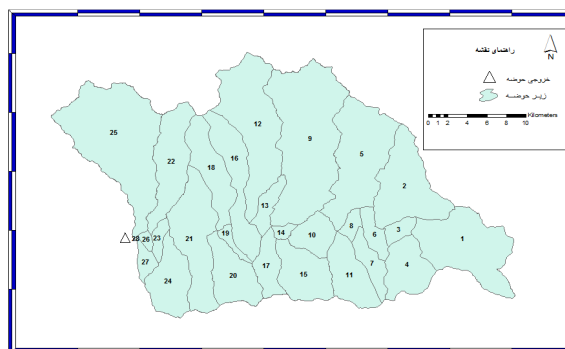


شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز طالقان در استان البرز

### خصوصیات فیزیکی زیر حوضه‌ها

حوضه آبخیز طالقان تا خروجی حوضه بر اساس شبکه آبراهه به ۲۸ زیرحوضه کوچکتر تقسیم شده است که شکل (۲) محدوده و موقعیت آن‌ها را نسبت به خروجی حوضه نشان

می‌دهد. مساحت این محدوده ۷۹۹.۵ کیلومتر مربع است. (DEM) حوضه بر مبنای نقشه رقومی توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ حوضه در محیط GIS تهیه گردید. سپس خصوصیات فیزیکی مورد نیاز DEM استخراج شد.



شکل ۲. مرز زیرحوضه‌های حوضه آبخیز طالقان تا خروجی حوضه

### داده‌های بارش - رواناب

برای واسنجی مدل HEC-HMS لازم است که داده‌های واقعی بارش و سیلاب متناظر آن آماده گردند، برای این منظور داده‌های بارش ایستگاههای باران سنج ثابت و معادل رواناب ثبت شده آنها توسط ایستگاههای هیدرومتری حوضه مورد مطالعه از سازمان آب منطقه‌ای استان تهران برای بیست سال دوره آماری (۱۳۹۲-۱۳۷۲) تهیه شد. در مجموع از بین آمار اخذ شده چهار واقعه برای واسنجی در مدل انتخاب شد.

### بهینه‌سازی پارامترها و داده‌های ورودی به مدل

۱. شماره منحنی؛ شماره منحنی زیر حوضه‌ها از تلفیق گروه هیدرولوژیک خاک و کاربری اراضی محاسبه شد و مقدار شماره منحنی هریک از زیر حوضه‌ها از رابطه زیر برآورد گردید (علیزاده، ۱۳۹۱).

$$\overline{CN} = \left[ \sum \left( \frac{A_i}{100} \right) (CN_i) \right] \quad (1)$$

که در آن:

$\overline{CN}$  = میانگین وزنی شماره منحنی در سطح حوضه،

$A_i$  = درصد مساحتی از حوضه که شماره منحنی آن  $CN_i$  است،

$CN_i$  = شماره منحنی هریک از پارامترها.

۲. زمان تاخیر: به منظور بر آورد زمان تمرکز و تاخیر حوضه به عنوان دو متغیر دیگر مورد نیاز برای اجرای مدل زمان تمرکز حوضه از روش کریپچ استفاده شد. این روش برای حوضه‌های کوچک و متوسط از کارایی بالایی برخوردار است (مهدوی، ۱۳۷۲).

$$TC = 0.0195 \times l^{0.77} \times S^{-0.385} \quad (۲)$$

$$Tl = 0.6TC$$

که در آن:

- $TC$  = زمان تمرکز به برحسب دقیقه،
- $L$  = طول آبراهه بر حسب متر،
- $S$  = شیب آبراهه برحسب متر،
- $Tl$  = زمان تاخیر حوضه

۳. تلفات پایه: روش‌های متعددی برای برآورد تلفات پایه وجود دارد که در این پژوهش از مدل تلفات شماره منحنی SCS با توجه به روابط زیر محاسبه شد.

$$A) \quad p_e = \frac{(p-I_a)2}{p-I_a+S} \quad B) \quad I_a = a \times S \quad c) \quad S = \frac{25400}{CN} - 254$$

که در آن:

$p_e$  = ارتفاع بارش موثر،

$p$  = ارتفاع بارندگی به میلی‌متر،

$S$  = حداکثر پتانسیل انباشت حوضه به میلی‌متر و

$a$  = ضریبی است که در هر شرایط متفاوت است و نیاز به واسنجی کردن این ضریب در هر منطقه جهت دستیابی به نتایج مطلوب است. اما برای برآورد اولیه آن را  $۰/۲$  در نظر می‌گیرند.

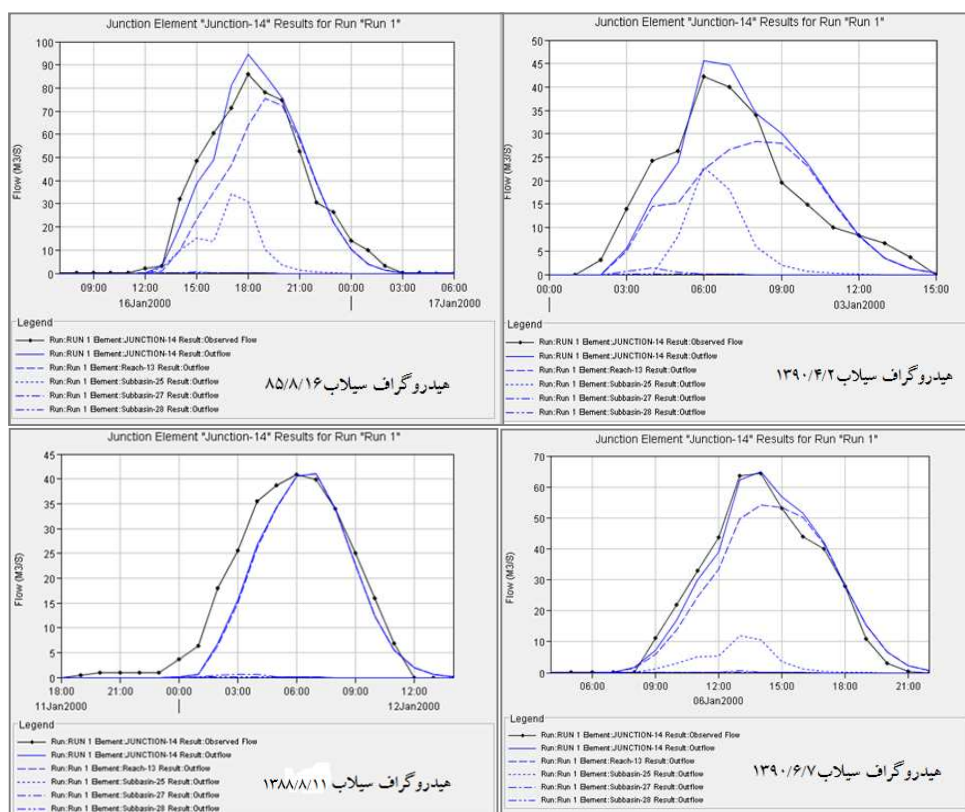
(محمدی مطلق. جلال کمالی، ۱۳۹۳)

جدول ۱. مشخصات فیزیکی زیرحوضه‌های آبخیز طالقان

نام زیر حوضه	مساحت به (هکتار)	طول آبراهه به (متر)	اختلاف ارتفاع به (متر)	شیب آبراهه (متر بر متر)	زمان تمرکز به دقیقه
- A <sub>۱</sub>	۵۸۲۸/۸۹	۱۱۳۳۸/۳۰۱	۷۶۵	٪۶	۷۶
- A <sub>۲</sub>	۴۸۲۲/۴۴	۱۲۷۷۸/۸۸۱	۱۸۵۲	۰/۱۴	۶۰
- A <sub>۳</sub>	۶۰۴/۹۷	۳۰۲۷/۴۷	۸۴	٪۳	۳۶
- A <sub>۴</sub>	۲۴۷۶/۶۸	۷۶۴۷/۲۵۵	۱۵۵۳	۰/۲۱	۳۴

نام زیر حوضه	مساحت به (هکتار)	طول آبراهه به (متر)	اختلاف ارتفاع به (متر)	شیب آبراهه (متر بر متر)	زمان تمرکز به دقیقه
A ۵ -	۶۱۶۶/۲۵	۱۴۴۰۱/۲۰۳	۱۳۹۷	٪۹	۷۸
A ۶ -	۹۲۶/۵۶	۲۹۸۱/۸۶	۶۰	٪۲	۴۱
A۷ -	۱۱۸۸/۲۵	۸۳۵۶/۶۶۷	۱۷۰۹	۰/۲۱	۳۷
A۸ -	۴۸۴/۱۶	۳۰۰۵/۹۷۸	۴۰	٪۱	۵۴
A۹ -	۱۰۰۰۴/۸۵	۲۳۰۷۷/۴۰۱	۱۵۳۰	۰/۱۱	۱۰۴
A۱۰ -	۱۵۴۸/۶۸	۵۷۱۱/۱۳۴	۱۰۰	٪۱	۸۹
A۱۱ -	۲۵۶۷/۲۳	۹۹۱۶/۱۷۳	۱۵۳۰	۰/۱۵	۴۸
A۱۲ -	۶۵۵۲/۶۸	۲۲۲۳۶/۲۹۱	۱۷۶۱	٪۷	۱۲۰
A۱۳ -	۹۵۹/۴۴	۶۷۸۵/۰۱۵	۸۸۶	۰/۱۳	۳۸
A۱۴ -	۲۸۴/۱۳	۲۳۸۲/۰۴۶	۴۰	٪۱	۴۵
A۱۵ -	۲۸۱۲/۱۰	۹۳۷۴/۸۸۹	۱۴۳۴	۰/۱۵	۴۶
A۱۶ -	۳۴۰۴/۶۵	۱۵۲۳۲/۴۸۲	۱۹۰۰	۰/۱۲	۷۳
A۱۷ -	۱۴۵۴/۱۷	۹۲۶۶/۲۶۳	۱۳۳۰	۰/۱۴	۴۷
A۱۸ -	۲۸۷۷/۶۳	۱۴۹۸۳/۵۶۹	۱۹۸۰	۰/۱۳	۷۰
A۱۹ -	۳۸۵/۶۲	۴۴۶۹/۸۱۱	۷۸۵	۰/۱۷	۲۴
A۲۰ -	۲۶۷۱/۸۸	۱۰۱۴۷/۴۹۶	۱۲۶۸	۰/۱۲	۵۲
A۲۱ -	۳۷۶۹/۲۷	۹۸۹۸/۶۴۶	۱۳۸۰	۰/۱۳	۵۱
A۲۲ -	۳۶۴۲/۹۹	۱۷۸۳۵/۱۸۷	۲۰۶۰	۰/۱۱	۵۸
A۲۳ -	۴۸۸/۹۸	۳۸۸۹/۹۷۶	۵۵۰	۰/۱۴	۲۴
A۲۴ -	۲۷۰۹/۵۰	۱۰۷۳۲/۸۳۱	۱۱۸۷	۰/۱۱	۵۷
A۲۵ -	۹۴۶۹/۸۳	۲۱۷۹۴/۷۵۲	۲۱۲۰	٪۹	۱۰۷
A۲۶ -	۲۰۹/۵۱	۱۸۶۵/۱۳	۳۲۳	۰/۱۷	۱۲
A۲۷ -	۵۷۹/۵۴	۴۹۰۶/۱۵	۹۰۷	۰/۱۸	۲۶
A۲۸ -	۱۹/۹۴	۵۹۶/۲۹۱	۴	۶/۷	۳
B۱۳ -	-	۲۵۰۳/۴۳۳	۲۵	٪۱	۴۷
B۱۶ -	-	۱۹۶۶/۷۴۶	۲۰	٪۱	۳۹
B۱۹ -	-	۱۷۴۲/۶۱۵	۲۰	٪۱	۳۵
B۲۱ -	-	۵۷۰۸/۳۱۴	۶۰	٪۱	۸۹
B۲۳ -	-	۱۴۹۱/۲۶۱	۲۰	٪۱	۳۱
B۲۶ -	-	۱۴۹۱/۲۶۱	۱۶	٪۱	۳۱

منظور از حرف B در جدول فوق زیرحوضه‌هایی است که علاوه بر داشتن آبراهه فرعی آبراهه اصلی نیز از آن عبور کرده است.



شکل ۳. نتایج واسنجی چهار سیل رخ داده در حوضه آبخیز طالقان

۴. انتخاب بارش شدید: انتخاب بارش‌ها نیز برحسب شدیدترین بارش رخ داده با تداوم زمانی مختلف صورت گرفت در نهایت، پایه زمانی مورد مطالعه برحسب زمان تمرکز حوضه انتخاب گردید. بارش‌های دارای تداوم ۶-۷-۸ انتخاب شد. برای تهیه الگوی بارش جمعاً حدود ۵۰ رگبار با پایه‌های زمانی مختلف انتخاب شد. روش کار نیز مبتنی بر تجزیه رگبارها به چهار چارک و محاسبه درصد مقدار بارش در هر چارک و رتبه‌دهی به چارک‌ها بود سپس با میانگین‌گیری از رتبه‌ها در هر چارک رتبه شاخص مشخص و در نهایت، الگوی نهایی هر تداوم بدست آمد. در مرحله بعد مقادیر حداکثر عددی هر تداوم و بارش روزانه، تحت آزمون‌های آماری از قبیل تصادفی بودن، همگن بودن و آزمون داده‌های پرت قرار گرفت، سپس با استفاده از نرم‌افزار SMADA برای هر گروه از داده‌ها در بازه‌های زمانی مختلف تحلیل فراوانی با استفاده



از لوگ پیرسون تیپ سه صورت گرفت و بارندگی برای هر بازه زمانی در دوره بازگشت موردنظر محاسبه شد.

### تعیین مناطق مولد سیل و اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها

در این پژوهش با تلفیق سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل (HEC-HMS) اثر متقابل عوامل فیزیکی و اقلیمی بر پتانسیل سیل‌خیزی زیرحوضه‌های حوضه آبخیز طالقان تا خروجی شهرک طالقان مورد مطالعه قرار گرفت و با در نظر گرفتن همزمانی بده اوج زیرحوضه‌ها و نقش روندیابی سیل در رودخانه‌ها اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه انجام پذیرفت. سپس با استفاده از روش واکنش سیل واحد در محیط مدل HEC-HMS زیرحوضه‌های آبخیز طالقان از نظر سیل‌خیزی و براساس دوره بازگشت ۵۰ سال اولویت‌بندی شد. در این روش با حذف متوالی و یک‌به‌یک در هر بار اجرای مدل بده خروجی کل حوضه پس از روندیابی سیل در رودخانه اصلی بدون اثر زیرحوضه موردنظر تعیین شد، بدین ترتیب، میزان مشارکت هر یک از زیرحوضه‌ها در تولید سیل خروجی بدست آمد. زیر حوضه‌ای که بیشترین سهم را در سیل‌خیزی داشته باشد در گام نخست به‌عنوان سیل‌خیزترین زیرحوضه شناخته شد. سپس سایر زیر حوضه بر حسب میزان مشارکت آنها در دبی خروجی اولویت‌بندی شدند.

جدول ۳. نتایج اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها به روش حذف انفرادی زیرحوضه‌ها براساس دوره بازگشت ۵۰ سال

مساحت اولیه	شماره زیرحوضه	مساحت سطح همپیمایش	مساحت پس از کاهش	دبی اولیه	درصد مساحت	دبی پس از کاهش	دبی کاهش یافته	درص دبی کاهشی
۷۹۹/۵	۱	۶۵/۹۹۹	۷۳۳/۵	۱۷۱/۲۳	۸۳	۱۵۹/۴۸	۱۱/۷۵	۱۷/۸۰
۷۹۹/۵	۲	۴۸۲	۷۵۱/۳	۱۷۱/۲۳	۶/۰	۱۷۰	۱/۲۳	۲/۵۵
۷۹۹/۵	۳	۶	۷۹۳/۵	۱۷۱/۲۳	۰/۸	۱۷۱/۰۷	۰/۱۶	۲/۶۷
۷۹۹/۵	۴	۲۴/۸۹۹	۷۷۴/۷	۱۷۱/۲۳	۳/۱	۱۷۰/۷۵	۰/۴۸	۱/۹۴
۷۹۹/۵	۵	۶۱/۶۹۹	۷۳۷/۸	۱۷۱/۲۳	۷/۷	۱۶۷/۷۲	۳/۵۱	۵/۶۹
۷۹۹/۵	۶	۹/۲۹۹	۷۹۰/۲	۱۷۱/۲۳	۱/۲	۱۷۰/۹	۰/۳۳	۳/۵۵
۷۹۹/۵	۷	۱۱/۹	۷۸۷/۶	۱۷۱/۲۳	۱/۵	۱۷۰/۵۸	۰/۶۵	۵/۴۶
۷۹۹/۵	۸	۴/۷۹۹	۷۹۴/۷	۱۷۱/۲۳	۰/۶	۱۷۰/۸۷	۰/۳۶	۷/۵۰
۷۹۹/۵	۹	۹۹/۹۹۹	۶۹۹/۵	۱۷۱/۲۳	۱۲/۵	۱۵۸/۱۸	۱۳/۰۵	۱۳/۰۵
۷۹۹/۵	۱۰	۱۵/۴۹۹	۷۸۴/۰	۱۷۱/۲۳	۱/۹	۱۶۹/۹۶	۱/۲۷	۸/۱۹
۷۹۹/۵	۱۱	۶۵/۶۹۹	۷۳۳/۸	۱۷۱/۲۳	۸/۲	۱۷۰/۱	۱/۱۳	۱/۷۲
۷۹۹/۵	۱۲	۶۵/۹۹۹	۷۳۳/۵	۱۷۱/۲۳	۸/۳	۱۵۹/۴۸	۱۱/۷۵	۱۷/۸۰
۷۹۹/۵	۱۳	۹/۵۹۹	۷۸۹/۹	۱۷۱/۲۳	۱/۲	۱۶۶/۷۵	۴/۴۸	۴۶/۶۷
۷۹۹/۵	۱۴	۲/۷۹۹	۷۹۶/۷	۱۷۱/۲۳	۰/۴	۱۷۰/۵۱	۰/۷۲	۲۵/۷۲

مساحت اولیه	شماره زیرحوضه	مساحت سطح همپیمایش	مساحت پس از کاهش	دبی اولیه	درصد مساحت	دبی پس از کاهش	دبی کاهش یافته	درص دبی کاهشی
۷۹۹/۵	۱۵	۲۸۰/۹۹	۷۷۱/۴	۱۷۱/۲۳	۳/۵	۱۶۱/۹۹	۹/۲۴	۲۲/۸۸
۷۹۹/۵	۱۶	۳۳/۹۹۹	۷۶۵/۵	۱۷۱/۲۳	۴/۳	۱۶۳/۴	۷/۸۳	۲۲/۰۳
۷۹۹/۵	۱۷	۱۴/۴۹۹	۷۸۵	۱۷۱/۲۳	۱/۸	۱۶۷/۳۴	۳/۸۹	۲۶/۸۳
۷۹۹/۵	۱۸	۲۸/۷۹۹	۷۷۰/۷	۱۷۱/۲۳	۳/۶	۱۶۲/۹۴	۸/۲۹	۲۸/۷۹
۷۹۹/۵	۱۹	۳/۸۹۹	۷۹۵/۶	۱۷۱/۲۳	۰/۵	۱۶۹/۳۵	۱/۸۸	۴/۸/۲۲
۷۹۹/۵	۲۰	۷۶/۶۹۹	۷۲۲/۸	۱۷۱/۲۳	۹/۶	۱۶۴/۳۹	۶/۸۴	۸/۹۲
۷۹۹/۵	۲۱	۴۷/۶۹۹	۷۵۱/۸	۱۷۱/۲۳	۶	۱۵۴/۲۷	۱۶/۹۶	۳۵/۵۶
۷۹۹/۵	۲۲	۳۳/۹۹۹	۷۶۳/۱	۱۷۱/۲۳	۴/۶	۱۵۲/۱۳	۱۹	۵۲/۲۰
۷۹۹/۵	۲۳	۴/۸۹۹	۷۹۴/۶	۱۷۱/۲۳	۰/۶	۱۶۹/۸۵	۱/۳۸	۲/۸/۱۷
۷۹۹/۵	۲۴	۲۷/۰۹۹	۷۲۲/۴	۱۷۱/۲۳	۳/۴	۱۵۶/۹	۱۴/۳۳	۵۲/۸۸
۷۹۹/۵	۲۵	۹۴/۶۹۹	۷۰۴/۸	۱۷۱/۲۳	۱۱/۸	۱۳۲/۲۹	۳۸/۹۴	۴۱/۲۱
۷۹۹/۵	۲۶	۲/۰۹۹	۷۹۷/۴	۱۷۱/۲۳	۰/۳	۱۷۰/۷۹	۰/۴۴	۲۰/۹۶
۷۹۹/۵	۲۷	۵/۷۹۹	۷۹۳/۷	۱۷۱/۲۳	۰/۷	۱۷۰/۱	۱/۳۱	۱۹/۴۹
۷۹۹/۵	۲۸	۱۹۹/۰	۷۹۹/۳	۱۷۱/۲۳	۰/۰	۱۷۱/۱۸	۰/۰۵	۲۵/۱۳

### بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها بر اساس دوره بازگشت ۵۰ سال که در جدول (۳) نمایش داده شده نشان می‌دهد که زیرحوضه‌هایی که نزدیک به خروجی هستند نقش بیشتری را در تولید دبی خروجی حوضه دارند، و اجرای طرح‌های مدیریتی از جمله آبخیزداری در این مناطق اهمیت خاصی بر دارند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که زیرحوضه ۲۵ بایستی در اولویت اول فعالیت مبارزه با سیل قرارگیرد، زیرا با توجه به دبی اوج شبیه‌سازی شده توسط مدل HEC-HMS این زیرحوضه دارای بالاترین میزان دبی اوج می‌باشد. بررسی - های هیدرولوژی نشان می‌دهد شیب یک منطقه نقش مهمی را در تبدیل بارش به رواناب برعهده دارد، اما این شاخص همیشه و در هر شرایطی صدق نمی‌کند. همانطور که جدول (۱) نشان می‌دهد زیرحوضه شماره یک شیب کمتری را نسبت به زیرحوضه‌های اطراف خود مانند ۲، ۳، ۴ دارد، اما نقش بیشتری را در سیل‌خیزی در آن محدوده ایفا می‌کند. حتی این زیرحوضه زمان تمرکز بیشتری را هم نسبت به زیرحوضه‌های اطراف خود دارد اما نقش آن در افزایش دبی سیل زیادتر است. همچنین همبستگی زیادی بین شماره منحنی و گروه خاک و دبی اوج وجود دارد به‌طوری که زیرحوضه‌های سیل‌خیز عمدتاً در گروه خاک C و D واقع شده‌اند و شماره منحنی بالایی دارند. نتایج بدست آمده از جدول (۳) نشان می‌دهد که میزان مشارکت زیرحوضه‌ها در بده خروجی کل حوضه تنها تحت‌تأثیر مساحت و بده اوج زیرحوضه نمی‌باشد و زیرحوضه‌هایی که مساحت بیشتری دارند، نقش بیشتری در سیل‌خیزی ندارند. عواملی مانند موقعیت مکانی زیرحوضه‌ها، فاصله تا خروجی و نقش روندیابی در رودخانه اصلی، ضریب شماره منحنی و میزان بارش دریافتی هر زیرحوضه تأثیر به‌سزایی در سیل‌خیز بودن زیر حوضه دارند.

براساس میزان کاهش دبی در اثر حذف زیرحوضه موردنظر و اجرای مدل و مقایسه دبی مشاهده شده با دبی اولیه زیرحوضه‌های سیل‌خیز را می‌توان مشخص کرد و برحسب شدت سیل‌خیزی طرح‌های کنترلی را بر روی آنها اجرا کرد. از نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان در برنامه‌ریزی عملیات کنترل سیلاب از نوع سازه‌های کوچک و یا تقویت و مدیریت پوشش گیاهی در منطقه مورد بررسی استفاده نمود. همچنین در تعیین مکان نصب ادوات اندازه‌گیری و هشدار سیل در زیرحوضه‌های سیل‌خیز نیز می‌توان از نتایج این پژوهش بهره برد.

جدول ۴. شماره منحنی و گروه هیدرولیک خاک و شدت سیل‌خیزی زیر حوضه‌ها

نام زیرحوضه	مساحت به (km <sup>2</sup> )	گروه هیدرولیک خاک	شدت سیل‌خیزی	شماره منحنی متوسط	شماره منحنی خشک
۱	۵۸/۲۸	C - B	متوسط	۷۰	۶۵
۲	۴۸/۲۲	B	کم	۶۱	۵۶
۳	۶	B	خیلی کم	۶۰	۵۵
۴	۲۴/۷۶	C - B	کم	۶۵	۶۰
۵	۶۱/۶۶	B	متوسط	۶۶	۶۱
۶	۹/۲۶	B	کم	۶۰	۵۵
۷	۱۱/۸۸	B	کم	۷۱	۶۶
۸	۴/۸۴	B	کم	۶۹	۶۴
۹	۱۰۰/۰۴	B	متوسط	۶۵	۵۸
۱۰	۱۵/۴۸	B	کم	۵۶	۵۱
۱۱	۲۵/۶۷	B	کم	۵۵	۴۹
۱۲	۶۵/۵۲	B	متوسط	۷۰	۶۵
۱۳	۹/۵۹	C - B	متوسط	۸۰	۷۵
۱۴	۲/۸۴	B	کم	۷۲	۶۷
۱۵	۲۸/۱۲	C - B	متوسط	۸۳	۷۹
۱۶	۳۴	C - B	متوسط	۵۹	۵۳
۱۷	۱۴/۵۴	C - B	کم	۷۳	۶۸
۱۸	۲۸/۷۷	C - B	متوسط	۶۱	۵۶
۱۹	۳/۸۵	C - B	کم	۷۱	۶۶
۲۰	۲۶/۷۱	C - B	متوسط	۵۴	۴۹
۲۱	۴۷/۶۹	C - D	زیاد	۷۵	۶۹
۲۲	۳۶/۴۲	C - B	زیاد	۸۲	۷۸
۲۳	۴/۸۸	C - D	کم	۷۴	۶۸
۲۴	۳۷/۰۹	C - B	زیاد	۸۰	۷۷
۲۵	۹۴/۶۹	C - B	خیلی زیاد	۸۰	۷۵
۲۶	۲/۰۹	C	کم	۷۶	۷۱
۲۷	۵/۷۹	C	کم	۷۴	۶۸
۲۸	۰/۱۹۹۴	C	خیلی زیاد	۸۰	۷۵

## کتابشناسی

۱. ایزانلو، حسن؛ مرادی، حمیدرضا؛ صادقی، حمیدرضا (۱۳۸۸)، مقایسه اولویت‌بندی زمانی سیل‌خیزی در دوره‌های هیدرولوژیکی مختلف مطالعه موردی: زیرحوضه‌های آبخیز کوشک‌آباد خراسان رضوی، فصل‌نامه پژوهش‌های آبخیزداری شماره ۸۲، صص ۲۹-۲۱؛
۲. خسرو شاهی، محمد؛ تقفیان؛ بهرام (۱۳۸۲)، بررسی نقش مشارکت زیرحوضه‌ها در شدت سیل‌خیزی حوضه دماوند، نشریه پژوهش و سازندگی، شماره ۱۶، صص ۴۰-۲۸؛
۳. روغنی، محمد؛ مهدوی، محمد؛ غفوری، عبدالمحمد (۱۳۸۲)، معرفی روشی در مکان‌یابی سطوح موثر بر دبی اوج سیل به‌منظور برنامه‌ریزی مهار سیلاب و کاهش خسارات آن در حوضه‌های آبخیز کشور، مطالعه موردی حوضه رودک؛ نشریه پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۶۱، صص ۱۸-۲۷؛
۴. علیزاده، امین (۱۳۹۱)، اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ ۳۴، انتشارات دانشگاه امام‌رضا، سال، مشهد؛
۵. مهدوی، محمد (۱۳۷۱)، هیدرولوژی کاربردی، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران؛
۶. محمدی‌مطلق، رضا؛ جلال‌کمالی، نوید؛ جلال‌کمالی، امیر (۱۳۹۳)، بررسی نقش مشارکت زیرحوضه‌های آبریز در شدت سیل‌خیزی، مطالعه موردی حوضه آبریز دالکی، نشریه مهندسی آبیاری و آب، سال چهارم؛ شماره ۱۳ صص ۴۴-۳۱؛
۷. نشاط، علی؛ صدقی، حسین (۱۳۸۵)، برآورد میزان رواناب با استفاده از روش سازمان حفظ خاک (SCS) و مدل HEC-HMS در حوضه آبخیز باغ ملک، استان خوزستان. نشریه علمی پژوهشی علوم کشاورزی، سال دوازدهم، شماره ۴ صص ۷۹۶-۷۸۷؛
۸. نصری، مسعود؛ سلیمانی سارود، فرشاد (۱۳۸۹)، اولویت‌بندی مناطق موثر بر دبی اوج سیلاب با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS در حوضه آبخیز سد شیخ‌بهایی. فصل‌نامه علوم و فنون منابع طبیعی، سال ششم، شماره ۳ صص ۱۵-۱؛
9. Brilly, Rusjan, S. Amd A. Vidmar. 2006, Monitoring the impact of urbanisation on the Glinscica stream, journal of physics and chemistry of the earth. 54.32-46;
10. Christopher A. Johnson and Andrew C. Yung. 2001, The Use of HEC-GeoHMS and HEC-HMS to Perform Grid-based Hydrologic Analysis of a Watershed. 26.59-67;
11. Dovonce, E., 2000, A physically based distributed hydrologic model, Master of Science Thesis, the Pennsylvania State University;
12. James Oloche OLEYIBLO, Zhi-jia LI, 2010, Application of HEC- HMS for flood forecasting in Misai and Wan'an catchments in China. Hohai;
13. University, Nanjing R. China. pp 14-22;
14. Knebla. M.R, Yanga. Z.-L, Hutchisonb. K., Maidment. D.R, 2005, Regional scale flood modeling using NEXRAD rainfall, GIS. And HEC-HMS/RAS: a case study for the SanAntonio River Basin. Journal of Environmental Management ,vol.74 .pp325-336;
15. Pappas, E.A, smith, D.R, Huang, C., shuster, W.C. And J.V.bonta.2007, Impervious surface impacts to runoff and sediment discharge under laboratory rainfall simulation, Journal of CATENA.No12.pp; 7-12.