

## شناسایی و اولویت‌بندی مناطق سیل‌خیز حوضه دز با استفاده از مدل WMS

- ❖ **حامد نوزری\***؛ استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
- ❖ **صفر معروفی**؛ استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا، همدان
- ❖ **مهناز ادیرش**؛ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

### چکیده

با توجه به خسارت‌های سالیانه سیلاب حوضه دز و عدم اطلاع از میزان آبی که در زیر حوضه‌های میانی به سیل اصلی اضافه می‌شوند، هدف این تحقیق، تعیین میزان مشارکت زیرحوضه‌های میانی در سیل خروجی و شناسایی مناطق سیل‌خیز حوضه است. بنابراین با استفاده از شاخص SPI، مرطوب‌ترین دوره زمانی منطقه تعیین گردید. پس از آن، منطقه مورد مطالعه به یازده زیرحوضه تقسیم و شبیه‌سازی بارش رواناب منطقه به کمک نرم‌افزار WMS صورت گرفت. در نهایت به کمک حذف یک به یک زیر حوضه‌ها از روند شبیه‌سازی، سهم هر یک از زیرحوضه‌ها در سیل خروجی تعیین شد. نتایج نشان داد که زیرحوضه دوکوهه با کاهش ۴۰ درصدی دبی پیک، مؤثرترین ناحیه در سیل خروجی است. پس از آن حمیدآباد با ۳۵ درصد و سد دز با ۱۵ درصد به ترتیب زیر حوضه‌هایی هستند که پتانسیل سیل‌خیزی بالایی دارند. همچنین به منظور حذف اثر مساحت زیرحوضه، اولویت‌بندی بر اساس سهم مشارکت مساحت واحد زیرحوضه‌ها در خروجی انجام شد و دوکوهه با ۲۹ درصد، حمیدآباد با ۲۵ درصد و دزفول با ۱۵ درصد مشارکت، به ترتیب رتبه‌های اول، دوم و سوم را به خود اختصاص دادند.

**کلید واژگان:** اولویت‌بندی، سیل‌خیزی، شبیه‌سازی، WMS، حوضه دز

## ۱. مقدمه

سیلاب یکی از حوادث طبیعی است که بسیاری از کشورها با آن مواجه هستند و هر ساله موجب خسارات جانی و مالی قابل توجهی در دنیا می‌شود، لذا کنترل سیل و جلوگیری از خسارات احتمالی آن از دیر باز مورد توجه بوده است. از آنجا که انجام عملیات اجرایی و کنترل سیل در سراسر حوضه امکان‌پذیر نیست، لذا شناسایی مناطق سیل‌خیز درون حوضه‌ای از اهمیت بسیاری برخوردار است. از این رو مناطقی که پتانسیل بالایی در تولید سیل دارند باید شناسایی و اولویت‌بندی شوند تا امکان بهینه‌سازی عملیات اجرایی در سطوح بحرانی ساز فراهم شود [۱۲]. از روش‌های مهم در جهت کنترل و یا کاهش خسارت سیل و نیز برنامه‌ریزی استفاده بهینه از آب، برآورد وضعیت هیدروگراف جریان در نقاط پایین دست است. برنامه‌ریزی برای مهار و مدیریت سیلاب‌ها مستلزم درک صحیح و دقیق از شبیه‌سازی بارش-رواناب است.

در شبیه‌سازی بارش-رواناب حوضه آبریز رود شور جهرم توسط نرم افزار WMS، پس از ترسیم شبکه آبراهه‌ها به کمک زیرنرم‌افزار TOPAZ<sup>۱</sup> و شبیه‌سازی هیدرولوژی یک حوضه توسط زیرنرم‌افزار HEC-HMS مشخص شد که در تخمین دبی اوج و همچنین حجم سیلاب، حساسیت مدل در برابر تغییرات CN، نسبت به تغییرات نفوذ اولیه و زمان تأخیر بیشتر است [۴]. همچنین سیلاب حاصل از بارش حوضه قره سو و حوضه کامه تربت حیدریه به کمک زیرنرم‌افزار HEC-HMS در نرم‌افزار WMS پیش‌بینی شد. نتایج نشان دهنده برآزش مناسب دبی اوج هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده بود و اختلاف زمانی در رسیدن به اوج نیز مساوی یا کمتر از ۹۰ دقیقه برآورد گردید و مهمترین عامل مؤثر در دبی اوج و هیدروگراف سیلاب، شماره منحنی رواناب شناخته شد [۵، ۶]. در تحقیق دیگری، رواناب سطحی حوضه آبریز وادی<sup>۲</sup> در

فلسطین با استفاده از نرم‌افزار WMS شبیه‌سازی شد که نتایج نشان داد این نرم‌افزار به خوبی می‌تواند سیلاب حوضه را شبیه‌سازی نماید [۱].

اولویت‌بندی مناطق مؤثر بر دبی اوج سیلاب در حوضه آبخیز سد شیخ‌بهبایی کاشان به کمک نرم‌افزار HEC-HMS نشان داد مناطقی که در نزدیکی نقطه خروجی حوضه قرار دارند بیشترین نقش را در تولید سیل داشته و باید در اولویت اول فعالیت‌های آبخیزداری قرار گیرند [۹]. نتایج حاصل از تلفیق GIS و نرم‌افزار هیدرولوژیکی HEC-HMS در شدت سیل‌خیزی حوضه آبریز دالکی و حوضه همدان-بهار نشان داد که میزان مشارکت زیرحوضه‌ها در بده خروجی کل حوضه تنها تحت تأثیر مساحت و بده اوج زیرحوضه‌ها نیست و عواملی مانند موقعیت مکانی زیرحوضه‌ها، فاصله تا خروجی، ضریب CN و نقش روندیابی در رودخانه اصلی تأثیر بسزایی در سیل‌خیز بودن زیرحوضه‌ها دارند و زیرحوضه‌هایی که مساحت یا رواناب بیشتری دارند، لزوماً تأثیر بیشتری بر اوج سیل خروجی ندارند [۸، ۱۰].

به دلیل وضعیت ویژه منابع آب حوضه دز و رویکرد استفاده هرچه بیشتر از این منبع، پژوهش‌های زیادی در مورد تحلیل سیلاب این حوضه انجام شده است. در اکثر مطالعات انجام شده به بررسی و تحلیل سیلاب‌های حوضه دز پرداخته شده است اما تغییرات مکانی رواناب این حوضه کمتر مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به خسارت‌های سالیانه سیلاب حوضه و عدم اطلاع از میزان آبی که در زیرحوضه‌های میانی حوضه دز به سیل اصلی اضافه می‌شوند، در این تحقیق سعی شده است میزان رواناب ورودی از زیرحوضه‌های میانی به کمک مدل WMS پیش‌بینی شده و نواحی سیل‌خیز حوضه جهت انجام عملیات آبخیزداری و کنترل سیلاب شناسایی شوند.

سزار متصل می‌شود. این حوضه بطور کلی بین پنج استان اصفهان، مرکزی، چهارمحال و بختیاری، لرستان و خوزستان واقع شده است که بیشترین مساحت آن درون استان لرستان و سپس خوزستان قرار دارد که بخش مورد مطالعه این حوضه در شمال تا مرکز استان خوزستان واقع شده است.

## ۲.۲. ایستگاه‌های هیدرومتری و هواشناسی و

### آماده سازی داده‌ها

در این پژوهش، ابتدا نقشه ارتفاعی حوضه، آمار و اطلاعات ایستگاه‌های باران‌سنجی و ایستگاه‌های هیدرومتری شامل بارندگی روزانه و دبی روزانه واقع در حوضه و موقعیت مکانی آن‌ها از شرکت مدیریت منابع آب کشور و سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. به کمک روش‌های آماری ابتدا همگنی داده‌ها کنترل و سپس داده‌های ناقص ایستگاه‌ها در طول دوره آماری از سال ۱۳۵۰ تا سال ۱۳۹۱ تکمیل گردید. در این تحقیق از اطلاعات دبی موجود در دوازده ایستگاه هیدرومتری و بارش نه ایستگاه باران‌سنجی و بارندگی سه ایستگاه هواشناسی در منطقه مورد مطالعه استفاده گردید (جدول ۱ الی ۳).

## ۲. روش شناسی

### ۱.۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دز واقع در جنوب غربی کشور از لحاظ موقعیت جغرافیایی بین  $48^{\circ} 10'$  و  $50^{\circ} 21'$  طول شرقی و  $31^{\circ} 34'$  و  $34^{\circ} 07'$  عرض شمالی واقع شده است. مساحت بازه مورد مطالعه در این تحقیق از محل ایستگاه هیدرومتری تنگ پنج تا خروجی حوضه (محل اتصال به کارون)  $7453$  کیلومتر مربع بوده و ارتفاع منطقه مورد مطالعه بین حداقل  $1$  و حداکثر  $2657$  متر متغیر می‌باشد. رودخانه اصلی این ناحیه از دو شاخه عمده و چند شاخه کوچک دیگر تشکیل می‌شود. آب بختیاری یا آب زالکی و رود سزار، شاخه‌های بزرگ رود دز را بوجود آورده‌اند. رودخانه سزار آب رودهای فرعی مناطق کوهستانی الیگودرز، ازنا، دورود، اشترینان و بروجرد را دریافت می‌کند و در مسیر راه‌آهن سراسری به سوی جنوب ایران سرازیر می‌شود. رودخانه بختیاری دومین شاخه اصلی رودخانه دز می‌باشد که از ارتفاعات جنوبی اشترانکوه سرچشمه گرفته و پس از اتصال به رودخانه گلستان و دریافت آب از شاخه‌های کوچک و بزرگ به رود

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه

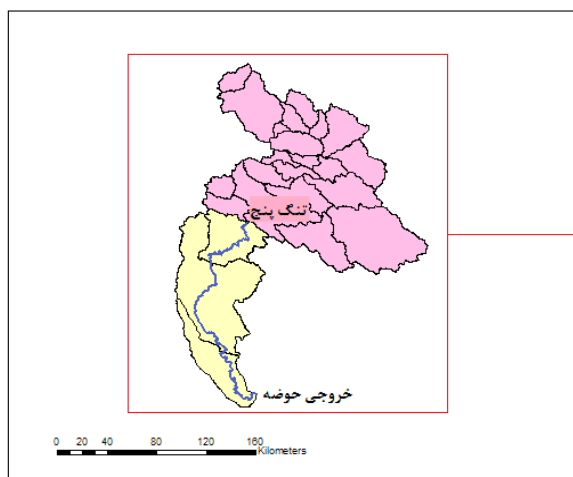
ردیف	نام رودخانه	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
۱	سزار	تنگ پنج - سزار	۴۸-۴۵-۰۰	۳۲-۵۶-۰۰	۶۰۰
۲	بختیاری	تنگ پنج بختیاری	۴۸-۴۶-۰۰	۳۲-۵۶-۰۰	۶۰۰
۳	دز	تله زنگ	۴۸-۴۶-۰۰	۳۲-۴۹-۰۰	۴۴۰
۴	دز	سد دز	۴۸-۲۷-۰۰	۳۲-۳۳-۰۰	۵۲۵
۵	دز	دشت مشان	۴۸-۳۰-۰۰	۳۲-۲۸-۰۰	۱۷۰
۶	دز	سد تنظیمی دزفول	۴۸-۲۷-۰۰	۳۲-۲۵-۰۰	۱۴۲
۷	دز	دزفول	۴۸-۲۴-۰۰	۳۲-۲۴-۰۰	۱۵۰
۸	بالارود	دوکوهه	۴۸-۱۷-۰۰	۳۲-۳۵-۰۰	۲۴۰
۹	دز	حمیدآباد	۴۸-۲۰-۰۰	۳۲-۱۴-۰۰	۹۰
۱۰	کهنک	زورآباد	۴۸-۳۵-۰۰	۳۲-۰۲-۰۰	۴۰
۱۱	دز	جرمله	۴۸-۳۳-۰۰	۳۱-۵۷-۰۰	۳۸
۱۲	دز	بامدژ	۴۸-۴۱-۰۰	۳۱-۴۱-۰۰	۲۰

جدول ۲. مشخصات ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد مطالعه

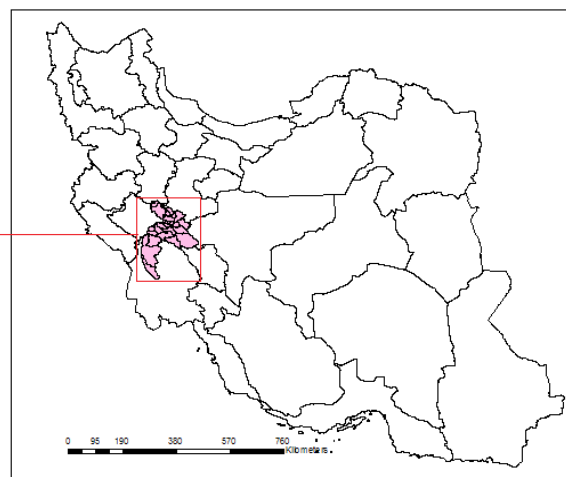
ردیف	نام رودخانه	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
۱	دز	تله زنگ	۴۸-۴۶-۰۰	۳۲-۴۹-۰۰	۴۴۰
۲	دز	سد دز	۴۸-۲۷-۰۰	۳۲-۳۳-۰۰	۵۲۵
۳	دز	دشت مشان	۴۸-۳۰-۰۰	۳۲-۲۸-۰۰	۱۷۰
۴	دز	سد تنظیمی دزفول	۴۸-۲۷-۰۰	۳۲-۲۵-۰۰	۱۴۲
۵	دز	حمیدآباد	۴۸-۲۰-۰۰	۳۲-۱۴-۰۰	۹۰
۶	دز	هفت‌تپه	۴۸-۳۱-۰۰	۳۲-۰۴-۰۰	۶۰
۷	کهنک	زورآباد	۴۸-۳۵-۰۰	۳۲-۰۲-۰۰	۴۰
۸	دز	حرمله	۴۸-۳۳-۰۰	۳۱-۵۷-۰۰	۳۸
۹	دز	ملائانی	۴۸-۵۲-۰۰	۳۱-۳۵-۰۰	۲۸

جدول ۳. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه

ردیف	نام استان	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
۱	خوزستان	دزفول	۴۸-۲۲-۰۰	۳۲-۲۴-۰۰	۱۴۳
۲	خوزستان	حسینیه	۴۸-۱۶-۰۰	۳۲-۴۰-۰۰	۳۵۴
۳	خوزستان	صفی‌آباد	۴۸-۲۵-۰۰	۳۲-۱۶-۰۰	۸۳



بازه مورد مطالعه در حوضه رود دز



نقشه تقسیمات استانی کشور

شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه رود دز

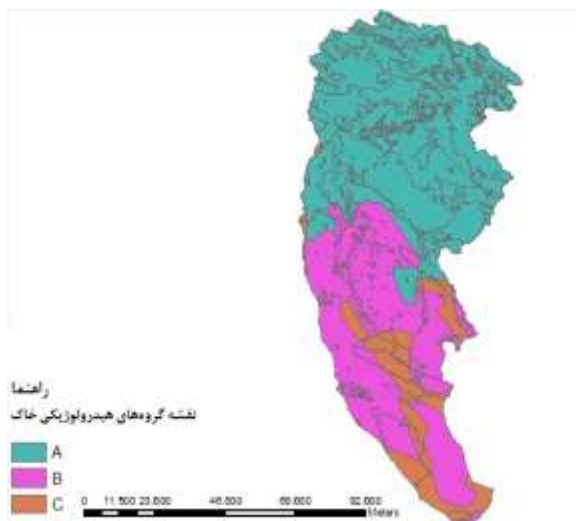
### ۳،۲. تهیه نقشه شماره منحنی رواناب منطقه

روش‌های مختلفی برای محاسبه شدت رواناب وجود دارد که در این مطالعه از روش SCS استفاده شده است. در این روش تعیین شماره منحنی که خود تابعی از

ویژگی‌های خاک، کاربری اراضی، خصوصیات هیدرولوژیکی مانند رطوبت پیشین خاک می‌باشد ضروری است. تهیه نقشه شماره منحنی در منطقه مورد مطالعه با تلفیق نقشه‌های کاربری اراضی، پوشش گیاهی و گروه

رطوبتی متوسط به سه گروه هیدرولوژیکی تقسیم گشت [۲]. بر این اساس به هر چندضلعی<sup>۱</sup> یک شماره منحنی نسبت داده شد و مساحت مربوط به هر شماره منحنی مشخص گردید. در نهایت برای هر زیرحوضه، CN وزنی محاسبه شد. شکل‌های ۲، ۳ و ۴ به ترتیب نقشه کاربری اراضی، نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک و نقشه شماره منحنی رواناب منطقه را نشان می‌دهند.

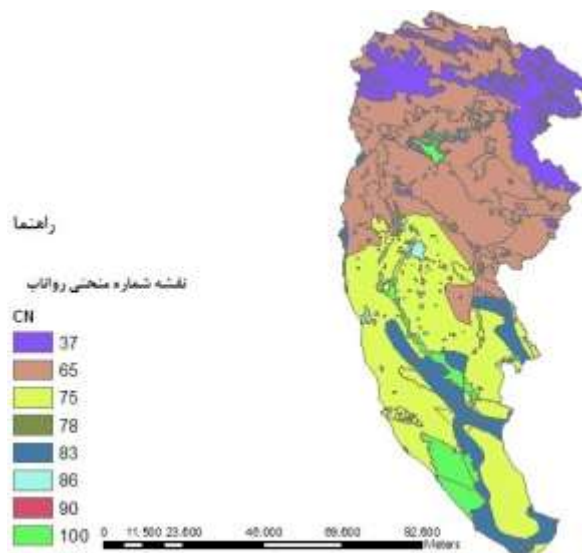
هیدرولوژیکی خاک منطقه در نرم‌افزار GIS و با کمک جدول SCS امکان پذیر می‌باشد [۱۳]. برای این منظور نقشه‌های مورد نیاز از سازمان مدیریت منابع آب ایران تهیه شد. جهت آماده سازی لایه مورد نظر در محیط نرم‌افزار GIS، کل اراضی منطقه از لحاظ کاربری اراضی به چهار دسته عمده شامل: آب، مسکونی، جنگل و کشاورزی تقسیم شد. با توجه به نوع پوشش گیاهی و کاربری اراضی، منطقه برای وضعیت



شکل ۳. نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک



شکل ۲. نقشه کاربری اراضی



شکل ۲. نقشه شماره منحنی رواناب منطقه

بوده و ابزاری قدرتمند برای شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز می‌باشد [۳]. مراحل تهیه مدل حوضه آبریز به کمک نرم‌افزار WMS<sup>۲</sup> در شکل (۶) نمایش داده شده است. در این تحقیق ابتدا نقشه رقومی ارتفاعی (DEM)<sup>۳</sup> (۳) و کاربری ارضی حوضه در محیط نرم افزار GIS تلفیق شد. پس از آن به کمک مدل WMS حوضه اصلی به زیرحوضه‌های کوچکتری تقسیم (شکل ۷) و مشخصات فیزیوگرافی هر کدام از آنها مطابق جدول (۴) محاسبه شد. جهت شبیه‌سازی بارش-رواناب از بین مدل‌های هیدرولوژیکی موجود در بسته نرم‌افزاری WMS مدل HEC-HMS انتخاب گردید. این نرم‌افزار شامل مدل‌های متعددی در تحلیل فرآیند بارش-رواناب می‌باشد که در این تحقیق برای محاسبه تلفات، شبیه‌سازی رواناب و روندیابی به ترتیب روش شماره منحنی SCS، هیدروگراف واحد SCS و روش تأخیر<sup>۴</sup> انتخاب شد. مقادیر اولیه پارامترهای مدل بارش-رواناب در جدول (۵) ارائه شده است.

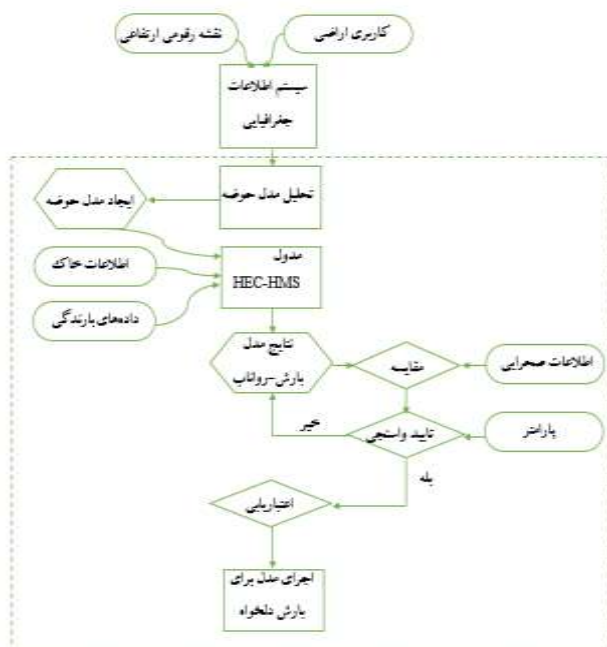
به کمک نقشه CN تهیه شده از منطقه، زمان تأخیر حوضه براساس روش پیشنهادی سازمان حفاظت منابع طبیعی امریکا (NRCS)<sup>۱</sup> از معادله (۱) محاسبه گردید.

$$T_{lag} = \frac{L^{0.8}(S+1)^{0.7}}{1900y^{0.5}} \quad (1)$$

که در آن  $T_{lag}$  زمان تأخیر (فاصله زمانی بین مرکز بارندگی تا نقطه اوج هیدروگراف) حوضه برحسب ساعت،  $L$  طول رودخانه اصلی برحسب فوت،  $y$  متوسط شیب حوضه (درصد) که غالباً برابر شیب متوسط رودخانه اصلی و  $S$  نمایه نگهداشت رطوبت توسط خاک در داخل حوضه بر حسب اینچ است [۲].

#### ۴.۲. مراحل مدل‌سازی

مدل WMS از جمله مدل‌های جدیدی است که توسط آزمایشگاه هیدرولیک برینگهام توسعه پیدا کرده است. این مدل قادر به ادغام داده‌های مدل رقومی ارتفاع و بانک اطلاعاتی GIS جهت ساختار مدل حوضه آبریز

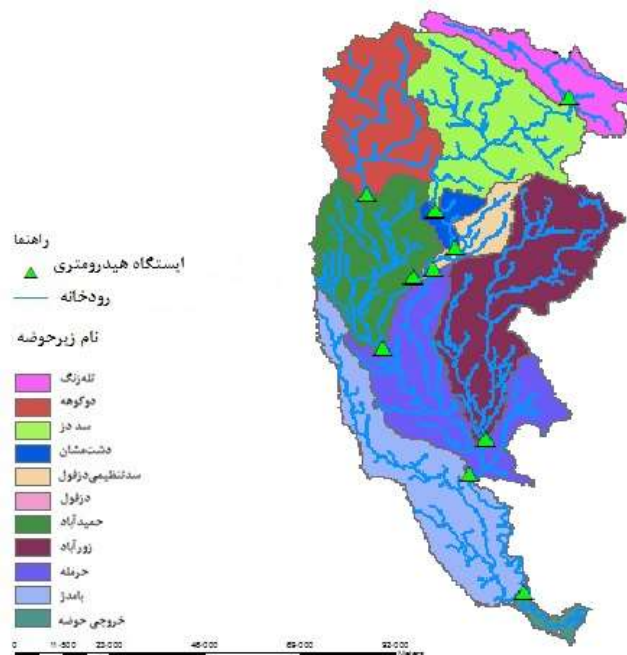


شکل ۳. نقشه ارتفاعی حوضه (DEM)

شکل ۴. فلوجارت تهیه مدل حوضه آبریز در نرم افزار WMS

جهت واسنجی مدل، نتایج حاصل از شبیه سازی با داده های مشاهداتی مقایسه و از معیارهای آماری جهت کنترل واسنجی استفاده گردید. روند واسنجی تا زمانی که کمترین اختلاف بین نتایج حاصل از شبیه سازی با

داده های مشاهداتی حاصل شود، ادامه یافت. از یک واقعه دیگر جهت اعتباریابی مدل استفاده شد. پس از اعتباریابی، مدل برای شبیه سازی رواناب حاصل از بارش دلخواه آماده گردید.



شکل ۵. نقشه زیرحوضه بندی منطقه

جدول ۳. مشخصات فیزیوگرافی حوضه

ردیف	نام زیرحوضه	کد زیرحوضه	مساحت (کیلومتر مربع)	ارتفاع متوسط (متر)	شیب (متر/متر)	طول بزرگترین آبراهه (کیلومتر)
۱	تله زنگ	67B	۴۳۲/۵۸۰	۱۳۳۷/۹۰۰	۰/۴۷۵	۴۵/۴۷۰
۲	دوکوهه	68B	۸۰۱/۴۳۰	۷۳۸/۶۹۰	۰/۱۹۸	۶۰/۳۱۰
۳	سد دز	69B	۱۰۵۸/۳۲۰	۸۵۰/۳۷۰	۰/۲۶۴	۷۸/۳۴۰
۴	دشت مشان	70B	۱۱۱/۵۸۰	۴۴۸/۷۲۰	۰/۱۵۹	۱۶/۸۵۰
۵	سد تنظیمی دزفول	71B	۲۰۵/۳۹۰	۴۳۷/۹۷۰	۰/۰۹۰	۳۵/۸۰۰
۶	دزفول	72B	۸/۱۹۰	۱۴۲/۳۱۰	۰/۰۲۱	۴/۲۴۰
۷	حمیدآباد	73B	۸۲۸/۷۷۰	۲۰۹/۵۹۰	۰/۰۳۸	۵۶/۶۰۰

<sup>1</sup> Natural Resources Conservation Service

<sup>۲</sup> Watershed Modeling System

<sup>۳</sup> Digital Elevation Model

<sup>4</sup> Lag

۱۰۴/۰۲۰	۰/۰۹۷	۳۵۰/۵۴۰	۱۲۴۶/۱۳۰	74B	زورآباد	۸
۷۹/۷۵۰	۰/۰۱۰	۷۵/۳۶۰	۹۵۹/۸۶۰	75B	حرمه	۹
۱۱۸/۳۰۰	۰/۰۰۸	۴۸/۶۲۰	۱۰۳۵/۰۵۰	76B	بامدژ	۱۰
۳۰/۰۶۰	۰/۰۰۷	۲۵/۳۲۰	۸۴/۴۸۰	77B	خروجی	۱۱

جدول ۰۴. تخمین اولیه پارامترهای مدل بارش-رواناب

ردیف	نام زیرحوضه	CN وزنی	مقدار نگهداشت رطوبت (میلیمتر)	گیرش اولیه (میلیمتر)	زمان تاخیر (دقیقه)
۱	تله زنگ	۴۶/۵۴	۲۹۱/۷۸	۵۸/۳۶	۴۱۵/۸۰
۲	دوکوهه	۵۷/۱۳	۱۹۰/۵۸	۳۸/۱۲	۵۸۳/۲۰
۳	سد دز	۵۷/۰۷	۱۹۱/۰۴	۳۸/۲۱	۶۱۸/۰۰
۴	دشت مشان	۶۵/۰۰	۱۳۶/۷۷	۲۷/۳۵	۲۲۵/۶۰
۵	سدتنظیمی دزفول	۶۵/۹۶	۱۳۱/۰۷	۲۶/۲۱	۴۹۸/۶۰
۶	دزفول	۷۹/۵۶	۶۵/۲۷	۱۳/۰۵	۱۴۵/۲۰
۷	حمیدآباد	۷۰/۰۸	۱۰۸/۴۴	۲۱/۶۹	۹۲۴/۰۰
۸	زورآباد	۶۷/۵۵	۱۲۲/۰۳	۲۴/۴۱	۹۸۱/۰۰
۹	حرمه	۷۹/۳۵	۶۶/۱۰	۱۳/۲۲	۱۷۷۹/۰۰
۱۰	بامدژ	۸۱/۸۳	۵۶/۳۸	۱۱/۲۸	۲۴۸۲/۸۰
۱۱	خروجی	۷۷/۵۵	۷۳/۵۲	۱۴/۷۰	۹۹۳/۶۰

## ۵,۲. واسنجی و اعتباریابی مدل

بررسی داده‌های بارندگی ثبت شده در ایستگاه‌های مختلف حوضه دز نشان می‌دهد، بیشترین بارندگی در فصل زمستان ثبت شده است، لذا برای هر زیرحوضه به دلیل دارا بودن داده‌های آماری بارندگی کامل‌تر از بارندگی سی روزه دی‌ماه، بین سال‌های ۱۳۵۱ تا ۱۳۹۰ استفاده شد. پس از اجرای مدل، هیدروگراف محاسبه شده با هیدروگراف مشاهده‌ای مورد مقایسه قرار گرفت و پارامترهای شماره منحنی، گیرش اولیه و زمان تأخیر واسنجی شدند. جهت اعتباریابی مدل و بررسی نتایج بدست آمده از پارامترهای واسنجی شده، متوسط پارامترهای مورد واسنجی به‌عنوان مقادیر بهینه به مدل معرفی گردید و نتایج مدل با داده‌های مشاهده‌ای از یک واقعه که در واسنجی مشارکت نداشته مقایسه شد.

جهت تعیین بهترین پارامترها سه معیار ضریب همبستگی<sup>۱</sup>، ریشه میانگین مربعات خطا<sup>۲</sup> و درصد خطای<sup>۳</sup> بین دبی مشاهداتی و دبی محاسباتی در نظر گرفته شد (روابط ۲ الی ۴).

$$R^2 = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (\sum_{i=1}^n (Q_{si} - \bar{Q}_{si})(Q_{ob} - \bar{Q}_{ob}))}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{si} - \bar{Q})^2 \sum_{i=1}^n (Q_{ob} - \bar{Q}_{ob})^2}} \right\}^2 \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (Q_{ob} - Q_{si})^2}{N-1}} \quad (2)$$

$$SE = \frac{RMSE}{Q_{ob}} \times 100 \quad (3)$$

۵,۲.۶. برآورد هیدروگراف خروجی سیل و تعیین



## نقش حوضه‌های میانی

به منظور شناسایی مناطق بحرانی، به بررسی تغییرات مکانی رواناب و تعیین شدت سیل خیزی زیرحوضه‌ها در یک دوره پر بارش پرداخته شد. برای این منظور داده‌های بارندگی در دوره آماری ۴۰ ساله موجود مورد بررسی قرار گرفت. با بررسی شاخص بارش استاندارد شده SPI<sup>۴</sup>، در ۶ ایستگاه بارانسنجی منطقه شامل تله زنگ، سد دز، سد تنظیمی دزفول، هفت تپه، زورآباد و حرمله که دارای طولانی‌ترین دوره آماری مشترک می‌باشند، مشخص شد که در سال آبی ۱۳۷۲-۱۳۷۱ مقدار عددی این شاخص بین ۱/۵۰ تا ۲/۰۳ می‌باشد که مطابق جدول طبقه‌بندی خشکسالی در طبقه مرطوب و خیلی مرطوب قرار می‌گیرد [۷]. به جهت ثبت بیشترین مقدار بارندگی در دی‌ماه همین سال، از دوره بارندگی سی روز این ماه برای شبیه‌سازی بارش-رواناب استفاده شد. جهت تعیین نقش هر زیرحوضه در سیل خروجی، پس از شبیه‌سازی رواناب توسط مدل، ابتدا هیدروگراف کل جریان خروجی از حوضه ترسیم گردید. سپس، زیرحوضه‌ها یک به یک از بالادست حوضه حذف شدند و تأثیر حذف آن‌ها در خروجی حوضه مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت زیرحوضه‌های منطقه از نظر تاثیرگذاری در افزایش سیل منطقه، اولویت‌بندی شدند. همچنین به جهت تفاوت در مساحت زیرحوضه‌های منطقه، نسبت حجم رواناب مؤثر هر زیرحوضه به مساحت آن زیرحوضه محاسبه شد و بار دیگر اولویت‌بندی صورت گرفت.

## ۳. نتایج

نتایج حاصل از بررسی معیارهای آماری ضریب همبستگی، ریشه میانگین مربعات خطا و درصد خطای بین دبی مشاهداتی و محاسباتی مطابق جدول (۶) است. با توجه به شاخص‌های آماری ارائه شده در جدول مذکور می‌توان گفت که مدل در شبیه‌سازی سیل حوضه از دقت قابل قبولی برخوردار است. لازم به ذکر است مقدار پایین ضریب همبستگی در زیرحوضه دوکوهه و همچنین بالا بودن درصد خطا در زیرحوضه زورآباد، به دلیل دبی بسیار پایین این ایستگاه‌ها است که اعتباریابی را دشوار می‌کند. لذا به دلیل دبی پایین این ایستگاه‌ها می‌توان از خطای آن صرف نظر کرد.

جدول ۶: نتایج مرحله واسنجی و اعتباریابی

اعتباریابی			واسنجی			نام زیرحوضه	ردیف
R <sup>2</sup>	SE	RMSE (مترمکعب برثانیه)	R <sup>2</sup>	SE	RMSE (مترمکعب برثانیه)		
۰/۹۶۴	۰/۰۵۸	۱۵/۱۶۹	۰/۹۵۴	۰/۰۶۴	۱۱/۹۱۸	تله زنگ	۱

3 SE

۴ Standard Precipitation Index

1 R<sup>2</sup>: Coefficient of determination

2 RMSE: Root Mean Squared Error

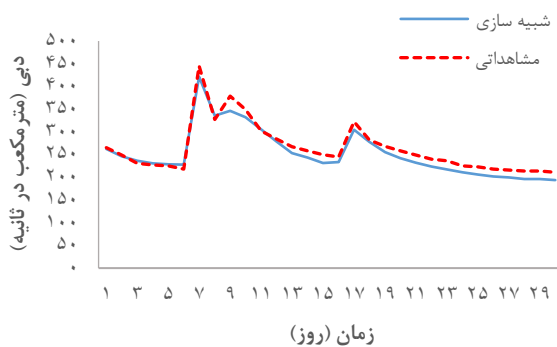
۰/۹۵۲	۰/۲۳۲	۱۱۷/۷۵۵	۰/۸۷۳	۰/۱۷۶	۳۳/۷۲۶	سد دز	۲
۰/۷۲۲	۰/۱۲۳	۳۰/۴۰۰	۰/۸۷۰	۰/۱۰۶	۳۱/۴۷۴	دشت مشان	۳
۰/۸۱۳	۰/۱۲۰	۲۶/۵۵۵	۰/۹۲۵	۰/۰۸۲	۲۰/۴۲۹	سد تنظیمی دزفول	۴
۰/۹۲۲	۰/۲۳۳	۴۲/۴۹۶	۰/۹۲۴	۰/۱۱۲	۲۶/۸۲۹	دزفول	۵
۰/۲۲۶	۰/۱۱۵	۰/۱۶۰	۰/۹۱۸	۰/۱۲۲	۰/۱۹۷	دوکوهه	۶
۰/۲۶۳	۰/۱۵۴	۲۸/۹۹۰	۰/۹۰۷	۰/۰۴۶	۱۱/۲۸۴	حمیدآباد	۷
۰/۹۵۷	۰/۳۳۱	۳/۸۴۳	۰/۹۸۷	۰/۱۵۷	۲/۹۱۶	زورآباد	۸
۰/۷۰۴	۰/۲۱۳	۵۵/۷۴۹	۰/۷۶۷	۰/۱۳۱	۴۰/۸۰۷	حرمه	۹
۰/۵۰۰	۰/۰۸۹	۶/۳۸۴	۰/۷۰۴	۰/۲۱۳	۵۵/۷۴۹	بامدژ	۱۰

شبییه سازی بارش-رواناب در خروجی زیر حوضه تله‌زنگ در شکل‌های (۸) و (۹) ارائه شده است.

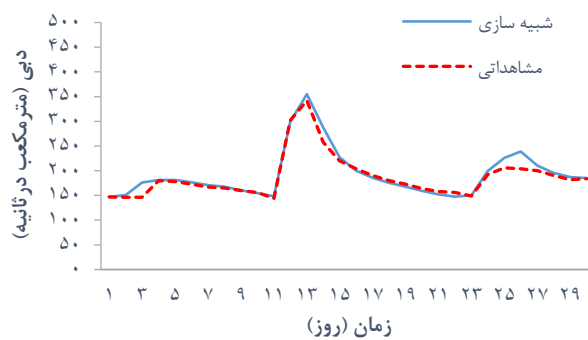
مقدار نهایی پارامترهای مدل بعد از واسنجی و اعتباریابی در جدول (۷) ارائه شده است. همچنین به‌عنوان نمونه، نمودار واسنجی و اعتباریابی مربوط به

جدول ۷. پارامترهای ورودی نهایی مدل بعد از اعتباریابی

ردیف	نام زیرحوضه	شماره منحنی CN	گیرش اولیه (میلیمتر)	زمان تاخیر حوضه (دقیقه)
۱	تله زنگ	۴۰	۷۶/۲	۲۴۰
۲	سد دز	۷۵	۱۶/۹۳	۳۸۵/۲
۳	دشت مشان	۸۰	۱۲/۷	۱۴۸/۲
۴	سد تنظیمی دزفول	۶۶	۲۶/۱۷	۴۹۸
۵	دزفول	۷۹	۱۳	۱۴۵
۶	دوکوهه	۶۹	۳۳	۲۷۰
۷	حمیدآباد	۶۰	۳۳/۸۶	۱۲۰
۸	زورآباد	۶۰	۲۲	۷۰۰
۹	حرمله	۶۵	۲۱/۰۳	۸۲۶/۲
۱۰	بامدژ	۵۵	۴۱/۵۶	۱۴۴۰



شکل ۹. اعتباریابی زیرحوضه تله زنگ



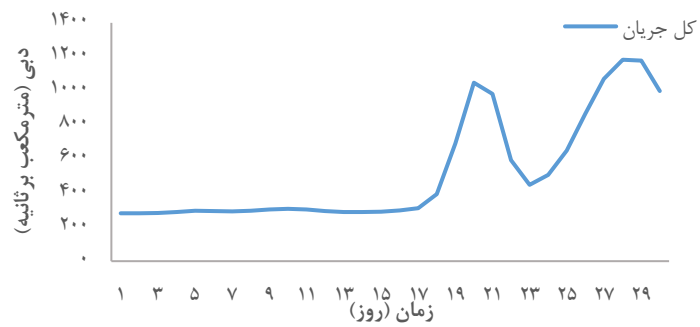
شکل ۸. واسنجی زیرحوضه تله زنگ

است. جهت تعیین نقش هر زیرحوضه در سیل خروجی، زیرحوضه‌ها یک به یک از بالادست حوضه حذف شدند و تأثیر حذف آن‌ها در خروجی حوضه مورد ارزیابی قرار گرفت.

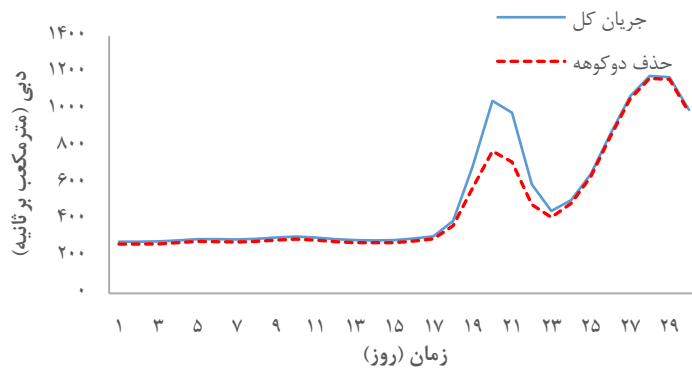
شکل‌های (۱۱) الی (۱۳) به‌عنوان نمونه، هیدروگراف خروجی حوضه و تغییر شکل آن را در اثر حذف سه زیرحوضه مهم منطقه که در اولویت‌بندی اثرگذاری در رواناب خروجی حوضه بیشترین سهم را به خود اختصاص دادند، نشان می‌دهند.

پس از اعتباریابی نتایج مدل، ابتدا هیدروگراف کل رواناب حاصل از واقعه بارندگی یک ماهه در دی‌ماه ۱۳۷۱ در خروجی حوضه مطابق شکل (۱۰) ترسیم گردید. مقدار دبی حداکثر در این بازه زمانی ۱۱۸۳/۳۸۳ مترمکعب بر ثانیه در روز ۲۸ دی ماه و حجم کل رواناب خروجی ۱۲۹۳/۵ میلیون مترمکعب است.

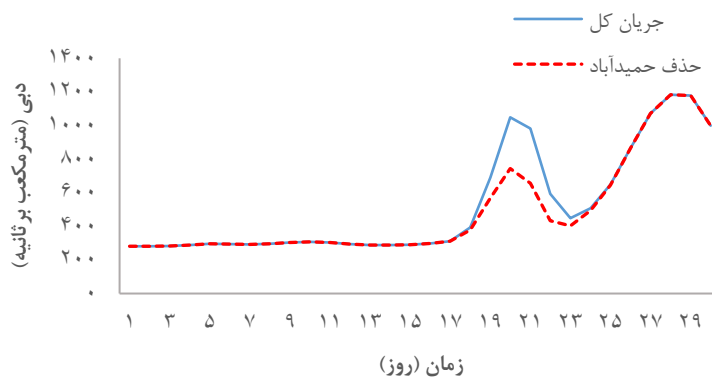
نقطه اوج کوچکتر با ۱۰۴۷/۸۵۱ مترمکعب برثانیه در روز ۲۰ دی‌ماه اتفاق افتاده است که در برر سی اثر حذف زیرحوضه‌های منطقه از خود تغییر بیشتری نشان داده



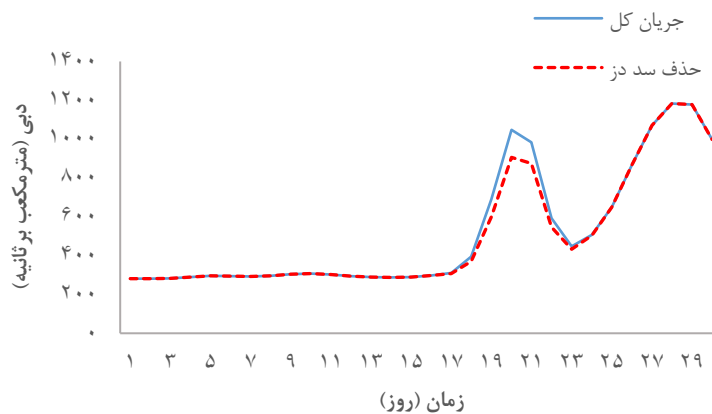
شکل ۱۰. هیدروگراف کل رواناب خروجی از نقطه انتهایی حوضه



شکل ۱۱. مقایسه هیدروگراف خروجی قبل و بعد از حذف زیرحوضه دوکوهه



شکل ۱۲. مقایسه هیدروگراف خروجی قبل و بعد از حذف زیرحوضه حمیدآباد



شکل ۱۳. مقایسه هیدروگراف خروجی قبل و بعد از حذف زیرحوضه سد دز

نسبت حجم رواناب به مساحت هر زیرحوضه نیز می‌تواند فاکتور مؤثری جهت تعیین نقش سیل خیزی زیرحوضه‌های منطقه باشد. جهت محاسبه این نسبت، اختلاف حجم رواناب حاصل از حذف هر زیرحوضه از کل جریان (سهم هر زیرحوضه) به مساحت همان زیرحوضه تقسیم شد و بار دیگر اولویت‌بندی صورت گرفت که نتایج آن در جدول (۹) ارائه شده است.

جدول (۸) میزان تغییرات حجم رواناب کل خروجی حوضه اصلی را پس از حذف هر یک از زیرحوضه‌ها نشان می‌دهد. همچنین براساس میزان مشارکت هر یک از زیرحوضه‌ها در سیل خروجی حوضه، زیرحوضه‌های منطقه اولویت‌بندی شدند. جهت درک بهتر میزان اثرگذاری هر یک از این زیرحوضه‌های منطقه از نمودار دایره‌ای شکل (۱۴) استفاده شد. از آنجا که مساحت تمام زیرحوضه‌ها برابر نیست،

جدول ۸. اولویت‌بندی اثرگذاری زیرحوضه‌های منطقه

ردیف	نام زیرحوضه حذف شده	حجم رواناب خروجی کل بعد از حذف (میلیون مترمکعب)	اختلاف حجم رواناب از کل جریان (میلیون مترمکعب)*	شماره اولویت
۱	تله زنگ	۱۲۹۳/۴۴۹	۰	۱۱
۲	سد دز	۱۲۵۵/۷۷۷	۳۷/۶۷۲	۳
۳	دشت مشان	۱۲۸۹/۵۲۲	۳/۹۲۷	۶
۴	سد تنظیمی دزفول	۱۲۸۷/۰۳۳	۶/۴۱۶	۵
۵	دزفول	۱۲۹۲/۹۴	۰/۵۰۹	۹
۶	دوکوهه	۱۱۹۵/۹۹۸	۹۷/۴۵۱	۱
۷	حمیدآباد	۱۲۰۷/۷۳۱	۸۵/۷۱۸	۲
۸	زورآباد	۱۲۸۴/۵۶۲	۸/۸۸۷	۴
۹	حرمله	۱۲۹۰/۵۳۱	۲/۹۱۸	۷
۱۰	بامدژ	۱۲۹۳/۴۳۹	۰/۰۱۰	۱۰
۱۱	زیرحوضه خروجی	۱۲۹۱/۵۲۷	۱/۹۲۱	۸

\*سهم هر زیرحوضه در رواناب خروجی کل



شکل ۱۴. میزان مشارکت هر زیرحوضه در سیل خروجی کل حوضه

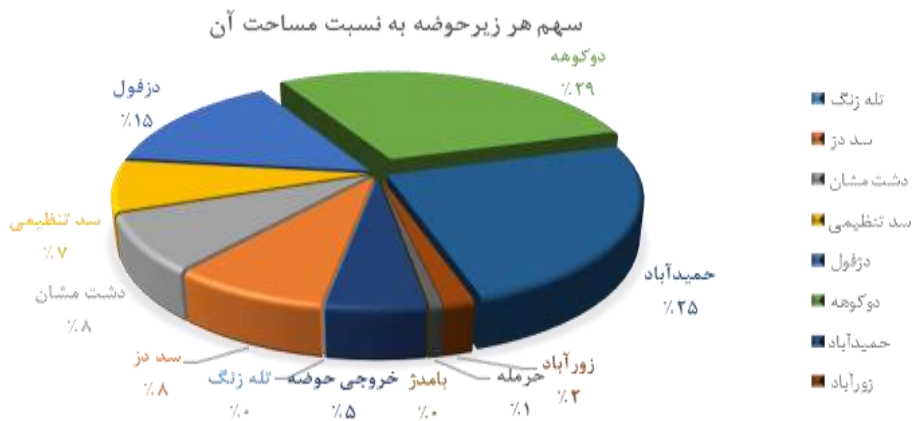
جدول ۹. اولویت‌بندی اثر زیرحوضه‌های منطقه بر اساس نسبت حجم رواناب به مساحت

ردیف	نام زیرحوضه حذف شده	اختلاف حجم رواناب از کل جریان (میلیون مترمکعب)*	مساحت (کیلومتر مربع)	نسبت حجم رواناب به مساحت (مترمکعب/کیلومترمربع)	شماره اولویت
۱	تله زنگ	۰	۴۳۲/۵۸۰	۰	۱۱
۲	سد دز	۳۷/۶۷۲	۱۰۵۸/۳۲۰	۳۵۵۹۶/۳۲	۴
۳	دشت مشان	۳/۹۲۷	۱۱۱/۵۸۰	۳۵۱۹۷/۱۷	۵
۴	سد تنظیمی دزفول	۶/۴۱۶	۲۰۵/۳۹۰	۳۱۲۴۱/۵۴	۶
۵	دزفول	۰/۵۰۹	۸/۱۹۰	۶۲۱۳۶/۷۵	۳
۶	دوکوهه	۹۷/۴۵۱	۸۰۱/۴۳۰	۱۲۱۵۶۹/۹	۱
۷	حمیدآباد	۸۵/۷۱۸	۸۲۸/۷۷۰	۱۰۳۴۲۸/۵	۲
۸	زورآباد	۸/۸۸۷	۱۲۴۶/۱۳۰	۷۱۳۱/۹۲	۸
۹	حرملة	۲/۹۱۸	۹۵۹/۸۶۰	۳۰۴۰/۷۵	۹
۱۰	بامدژ	۰/۰۱۰	۱۰۳۵/۰۵۰	۹/۹۵	۱۰
۱۱	زیرحوضه خروجی	۱/۹۲۱	۸۴/۴۸۰	۲۲۷۴۷/۳۹	۷

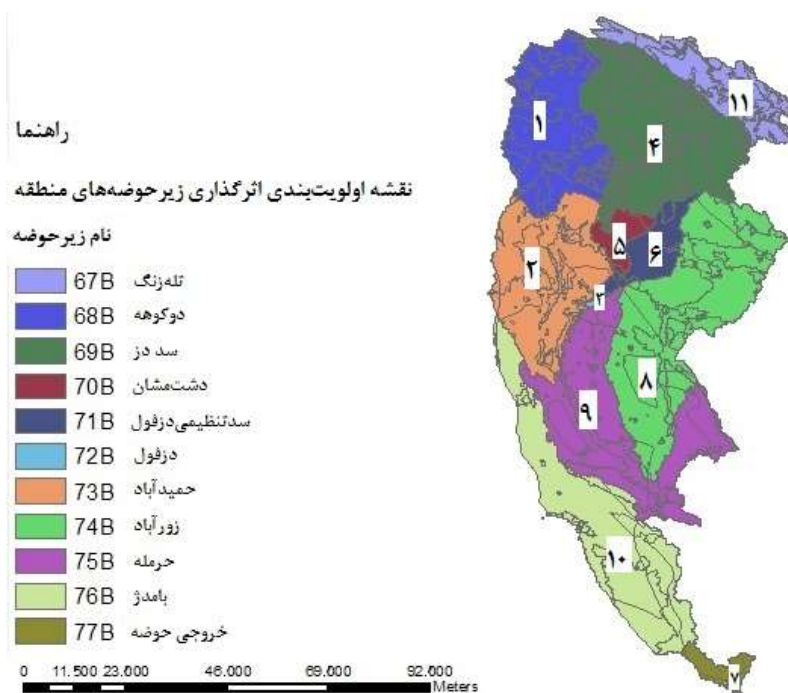
\* سهم هر زیرحوضه در رواناب خروجی کل

حوضه نسبت به مساحت آن مطابق شکل (۱۵) است. شکل ۱۶. نقشه اولویت‌بندی اثرگذاری زیرحوضه‌های منطقه بر اساس نسبت حجم رواناب به مساحت را نشان می‌دهد.

مشاهده می‌شود که اولویت‌بندی تا حدی تغییر می‌کند، به‌گونه‌ای که زیرحوضه دزفول که در اولویت‌بندی قبلی در رتبه ۹ قرار داشت با توجه به مساحت کمی که دارد اکنون به رتبه سوم منتقل شده است. درصد مشارکت هر زیرحوضه در سیل خروجی کل



شکل ۱۵. میزان مشارکت هر زیرحوضه در سیل خروجی کل حوضه نسبت به مساحت آن



شکل ۱۶. نقشه اولویت بندی اثرگذاری زیرحوضه‌های منطقه بر اساس نسبت حجم رواناب به مساحت

مدل WMS ابتدا میزان رواناب ورودی از زیرحوضه‌های میانی مورد بررسی قرار گرفت و پس از آن، زیرحوضه‌های مؤثر در سیل خروجی حوضه شناسایی شدند. نتایج واسنجی و اعتباریابی مدل، نشان‌دهنده پیش‌بینی رواناب با دقت نسبتاً بالایی بود که این امر توسط محققین دیگر

#### ۴. بحث و نتیجه گیری

با توجه به خسارت‌های سالیانه سیلاب حوضه و عدم اطلاع از میزان آبی که در زیر حوضه‌های میانی حوضه دز به سیل اصلی اضافه می‌شوند، در این تحقیق به کمک

دزفول با ۱۵ درصد اولویت‌های بعدی را تشکیل می‌دهند. در ادامه سد دز، دشت‌مشان، سدتنظیمی دزفول، زیرحوضه خروچی، زورآباد، حرمله، بامدژ و در نهایت تله زنگ در رتبه‌های قرار دارند. نتایج نشان داد مساحت فاکتوری تأثیرگذار در اولویت‌بندی مشارکت در سیل خروجی حوضه است اما مهمترین عامل نیست، بلکه دسته‌ای از عوامل بر این اولویت‌بندی اثر خواهند داشت. در این زمینه محققین دیگر نیز ادعان داشتند که وجود تفاوت در ترتیب اثرگذاری این زیرحوضه‌ها می‌تواند به عواملی چون تفاوت در خصوصیات فیزیکی هر زیرحوضه نظیر شیب، مساحت، پوشش گیاهی، شماره منحنی و الگوی کشت منطقه و نیز وجود سرشاخه‌های فرعی و میزان بارش دریافتی وابسته باشد [۱۲]. همچنین با مقایسه نتایج تحقیق حاضر و تحقیقات مشابه [۱۰] می‌توان نتیجه گرفت که همیشه زیرحوضه‌هایی که به خروجی نزدیک هستند و یا مساحت بیشتری دارند، سهم بیشتری در سیل‌خیزی حوضه ندارند. از نتایج حاصل از این تحقیق می‌توان جهت سیستم هشدار سریع سیل، انتخاب محل ساخت سازه‌های کنترل سیلاب و یا پروژه‌های پخش سیلاب استفاده کرد.

در حوضه‌های مختلف نیز مورد تأکید قرار گرفته است [۳، ۶، ۱۱]. همچنین در تحقیقی در حوضه دز به توانایی نرم‌افزار WMS در مدل‌سازی هیدرولوژیکی اشاره و بیان شده است که این نرم‌افزار قابلیت انجام بسیاری از محاسبات به‌طور خودکار را دارد و این امر باعث افزایش صحت و دقت نرم‌افزار در نتایج فرایند مدل‌سازی شده است [۱۱].

نتایج شبیه‌سازی رواناب ناشی از بارش سی روزی دی‌ماه در سال آبی ۱۳۷۱-۱۳۷۲ نشان داد زیرحوضه دوکوهه با ۴۰ درصد مشارکت با توجه به شدت بارندگی در این زیرحوضه در این دوره زمانی، مؤثرترین زیرحوضه در سیل خروجی منطقه است. بعد از آن زیرحوضه حمیدآباد با ۳۵ درصد و سد دز با ۱۵ درصد جزء زیرحوضه‌های تأثیرگذار منطقه هستند. در ادامه زورآباد، سدتنظیمی دزفول، دشت‌مشان، حرمله، زیرحوضه خروچی، دزفول، بامدژ و در نهایت تله‌زنگ اولویت‌های بعدی هستند.

در اولویت‌بندی بر اساس نسبت حجم رواناب به مساحت نیز دوکوهه با ۲۹ درصد بیشترین اثر را در سیل خروجی حوضه دارد. بعد از آن حمیدآباد با ۲۵ درصد و

## References

- [1] Abu Sharkh, M.S. (2009). Estimation of runoff for Small Watershed Using Watershed Modeling System (WMS) And GIS. 13th International Water Technology Conference, IWTC, Hurghada, Egyp, pp. 1185-1200.
- [2] Alizadeh, A. (2005). Principles of Applied Hydrology, 10<sup>th</sup> edition, Imam Reza University press.
- [3] Ganji Khorramdel, N., Ewazi, M., Firuzi Nezam Abadi F. and Ghafari, M. (2013). Estimation of basin Peak Flood using WMS (case study Sarab Doreh catchment), International Conference on Flood Management, Tehran, Iran, pp. 1-8.
- [4] Ghaswari, M.J., Bustani, F. and Rostami Rawari, A. (2011). Calibration and sensitivity analysis of WMS/HEC-HMS model for estimating flood hydrograph properties in the Jahrom Shoor River basin, National Conference on Civil Engineering and Sustainable Development, Islamic Azad University of Estahban, Iran.
- [5] Ghobadian, R., Jahandideh, K. and Fatahi Chaghabeigi, A. (2013). Simulation of rainfall-runoff process using WMS model in Gharehsoo catchment, Journal of Irrigation and Water Engineering, 9, 89-98.
- [6] Lalozaee, A. (2012), Flood simulation using WMS in Kama Torbat Heydariyeh watershed, master thesis, Department of Natural Resources, Zabol University, Iran.



- [7] McKee, T., Doesken, B., Nolan, J. and Kleist, J. (1993), The relationship of drought frequency and duration time scales, 8th Conference on Applied Climatology, Department of Atmospheric Science Colorado State University Fort Collins, USA.
- [8] Mohammadi Motlagh, R., Jalalkamali, N. and Jalalkamali, A. (2013). Study of contribution role of sub-basin in flooding intense (case study: Dalaki basin in Fars Province), *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 13, 31-44.
- [9] Nasri, M. and Soleimani Sardo, F. (2012). Prioritization of Effective Zones on Peak Flood discharge using HEC-HMS hydrological model in Sheikh Bahaee dam basin, *Journal of Science and Technology of natural resources*, 54, 548-562.
- [10] Nozari, h., Razavian, S. and Nabavi, S.M. (2014). The study of effective hydrological units on flood peak discharge in Hamedan-Bahar basin, *Journal of Watershed Engineering and Management*, 3(6), 201-210.
- [11] Sadrlashrafi, S., Kholghi, M., Thamer A. M. and Samadi, A. (2008). Integrated Modeling for Flood Hazard Mapping Using Watershed Modeling System, *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 1(2), 149-156.
- [12] Saghafian, B. and Khosroshahi, M. (2005). Unit response approach for priority determination of flood source areas, *Journal of Hydrologic Engineering, ASCE*, 10(4), 270-277.
- [13] Yaghub zadeh, M. (2009). Determination of basin curve number using geographical information systems (GIS) and remote sensing (RS) (case study area: Birjand Mansourabad), master thesis. Department of Water Engineering. , Shahid Bahonar University of Kerman, iran.