

اولویت‌بندی سیل‌خیزی واحدهای آب‌شناسی حوضه آبریز دالکی با استفاده از شبیه‌سازی HEC-HMS

مرضیه موغلی* - استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد لارستان

پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۴/۱۴ تأیید نهایی: ۱۳۹۳/۱۲/۱۰

چکیده

یکی از راه‌هایی که می‌توان خسارت ناشی از سیلاب را کاهش داد، تعیین مناطق مولد سیلاب و اعمال روش‌های مناسب کنترل آن می‌باشد. در این پژوهش، با تلفیق GIS و شبیه‌سازی آب‌شناسی HEC-HMS، میزان مشارکت زیر حوضه‌های بالادست ایستگاه آب‌سنجی چم چیت واقع در حوضه آبریز دالکی در سیل خروجی کل حوضه بر اساس دوره برگشت‌های ۲، ۵۰ و ۱۰۰ ساله تعیین می‌شود. بدین منظور با استفاده از روش تکرار حذف انفرادی زیر حوضه‌ها و در محیط شبیه‌سازی HEC-HMS، زیر حوضه‌های آبریز بالادست ایستگاه آب‌سنجی چم چیت از نظر سیل‌خیزی اولویت‌بندی می‌شوند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که میزان مشارکت زیر حوضه‌ها در برده خروجی کل حوضه تنها تحت تأثیر مساحت و بده اوج زیر حوضه نمی‌باشد و عواملی مانند موقعیت مکانی زیر حوضه‌ها، فاصله تا خروجی، ضریب CN و نقش روندیابی در رودخانه اصلی تأثیر بسزایی در سیل‌خیز بودن زیر حوضه‌ها دارند. علاوه بر این تغییر در اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیر حوضه‌ها در دوره برگشت‌های مختلف دیده نشد.

واژگان کلیدی: اولویت‌بندی سیل‌خیزی، HEC-HMS، واکنش سیل واحد، GIS، حوضه آبریز.

مقدمه

به دلیل وسعت زیاد حوضه‌های آبریز و محدودیت‌های اقتصادی و اجرایی، احیاء آبریزها از دیدگاه کنترل سیل در یک پروژه واحد نه تنها عملی نیست، بلکه ممکن است اثرات معکوس داشته باشد. انتخاب اولویت مناطق برای اجرای پروژه‌های کنترل سیل، یک تصمیم‌گیری مدیریتی است که باید به وسیله مطالعه شرایط فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی منطقه و برآورد تأثیرات حاصل از انجام برنامه‌ها، تأیید گردد. با توجه به این که در اغلب حوضه‌های آبریز کشور، وقوع سیل و خسارت‌های ناشی از آن روند افزایشی دارد، تعیین مناطق مولد سیل و اولویت‌بندی زیر حوضه‌ها از نظر پروژه‌های کنترل سیل و مدیریت جامع آبریزها ضرورت دارد (جورجویچ و براک^۱، ۱۹۹۸). اولین فرمول‌های تجربی محاسبه بدهی سیل بر اساس برخی خصوصیات فیزیکی حوضه از جمله مساحت، شیب و زمان تمرکز بنا شده‌اند. در این نوع برآورد سیل، توزیع مکانی بارش و سایر خصوصیات حوضه در سطح حوضه در نظر گرفته نمی‌شود. بنابراین مدل‌های یکپارچه برای توزیع‌های مکانی مختلف بارش مازاد، نتایج یکسانی به دست می‌دهند (ونگ و چن^۲، ۱۹۹۵). به تدریج با معرفی منابع جدید داده‌های زمینی مانند عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای و نیز نرم‌افزارهای سامانه اطلاعات جغرافیایی، شبیه‌سازی پاسخ حوضه به یک بارش با خصوصیات معین با روش‌های ارتقاء یافته توزیعی و با دقت نسبتاً بالایی انجام گرفت. این نوع شبیه‌ها که در آن خصوصیات مکانی بارش و حوضه آبریز در آن لحاظ می‌گردد، به شبیه‌های آب‌شناسی توزیعی معروف هستند و نیازمند تعیین دقیق شبکه آبراهه‌های داخل حوضه می‌باشند. (تورکات^۳ و همکاران، ۲۰۰۰). در زمینه تعیین مناطق سیل‌خیز یک حوضه آبریز نیز پژوهش‌هایی صورت گرفته است، اگرچه تعداد آن‌ها محدود می‌باشد. جوکار (۱۳۸۱) در مطالعه سیل‌خیزی زیر حوضه‌های رودخانه شاپور در استان فارس، خسروشاهی و ثقفیان (۱۳۸۴) در اولویت‌بندی مناطق سیل‌خیزی حوضه آبریز دماوند و ثقفیان و فرازجو (۱۳۸۶) برای اولویت‌بندی سیل‌خیزی واحدهای آب‌شناسی حوضه سد گلستان از شبیه HEC-HMS^۴ استفاده نموده‌اند. نتایج این پژوهش‌ها نشان داده است که میزان مشارکت زیر حوضه‌ها در تولید سیل خروجی کل حوضه، صرفاً به یک عامل بستگی ندارد و اثرات متقابل عوامل، تعیین‌کننده سهم مشارکت آن‌ها در سیل‌خیزی حوضه می‌باشد. همچنین مشخص شده است که همیشه زیر حوضه‌هایی که به خروجی نزدیک هستند و یا مساحت بیشتری دارند، سهم بیشتری در بده خروجی ندارند و همچنین لزوماً زیر حوضه‌هایی با مساحت بالا و با بدهی اوج زیاد تأثیر بیشتری در سیل‌خیزی حوضه ندارند، بلکه اثر متقابل عوامل مؤثر مانند موقعیت مکانی زیر حوضه‌ها و نقش روندیابی در رودخانه اصلی نیز می‌تواند نقش مهمی داشته باشند. در مطالعه‌ای که توسط آرناد و همکاران (۲۰۰۱) در کشور مکزیک به انجام رسید، حساسیت شبیه‌های آب‌شناسی توزیعی نسبت به توزیع بارش به صورت متوسط مکانی و یا سطوح هم بارش مورد بررسی قرار گرفت. آن‌ها خاطرنشان کردند که کاربرد متوسط بارش یکنواخت حوضه به همراه مفهوم ضریب کاهش سطح، جهت تخمین احتمال سیل‌های بزرگ می‌تواند کافی باشد. همچنین حجم رواناب و بده آن به طور قابل ملاحظه‌ای نسبت به الگوی مکانی بارش یکنواخت تغییر می‌کند، زیرا با افزایش مساحت حوضه، تغییرات بارش زیاد می‌شود. هدف از انجام این پژوهش، به کارگیری سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)^۵ و شبیه آب‌شناسی HEC-HMS در تعیین میزان مشارکت زیر حوضه‌های بالادست ایستگاه

^۱-Djordjevic and Brack

^۲-Wang and Chen

^۳-Turcott

^۴-Hydrologic Engineering Center_ Hydrologic Modeling System

^۵-Geographic Information System

آب‌سنجی چم چیت واقع در حوضه آبریز دالکی، در سیل خروجی کل حوضه دالکی و شناسایی و اولویت‌بندی زیر حوضه‌ها از نظر پتانسیل سیل‌خیزی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

۱- منطقه مورد بررسی

حوضه آبریز دالکی یکی از زیر حوضه‌های خلیج فارس و دریای عمان است که مابین استان‌های فارس و بوشهر واقع شده است. این حوضه از طرف شمال به حوضه آبریز شاپور، از غرب به ادامه حوضه دالکی (در استان بوشهر) از جنوب به رودخانه شور فیروزآباد و از شرق به حوضه آبریز قره‌آغاج محدود شده است. مساحت سطح آبریز این حوضه تا بالادست ایستگاه آب‌سنجی چم چیت (واقع در استان فارس) در حدود ۳۹۰۰ کیلومتر مربع است که مرتفع‌ترین نقطه آن با ارتفاع ۲۹۰۰ متر در کوه باهیم و پست‌ترین نقطه آن با ارتفاع ۵۴۵ متر از سطح دریا در ایستگاه آب‌سنجی چم چیت واقع می‌باشد. رودخانه اصلی آن، رودخانه دالکی می‌باشد که یکی از دوشاخه عمده رودخانه حله بوده و بخش خاوری حوضه آبریز رودخانه حله را تشکیل می‌دهد. وقتی رودخانه جره و شاخه دیگری به نام شور جره در دشت جره به یکدیگر پیوستند و کمی بعد رودخانه فراشیند به آن‌ها ملحق گردید، رودخانه بنام دالکی تشکیل می‌شود.

۲- خصوصیات فیزیوگرافیک زیر حوضه‌ها

در این پژوهش، حوضه آبریز دالکی تا ایستگاه آب‌سنجی چم چیت بر اساس پستی و بلندی و شبکه آبراهه‌ها به ۲۱ زیر حوضه کوچک‌تر تقسیم شده است که شکل (۱) محدوده و موقعیت آن‌ها را نسبت به ایستگاه آب‌سنجی منطقه نشان می‌دهد. شبیه ارتفاعی رقومی (DEM) حوضه بر مبنای نقشه رقومی توپوگرافی حوضه در محیط GIS تهیه گردید. سپس خصوصیات فیزیوگرافی مورد نیاز از DEM استخراج شد.

۳- داده‌های بارش - رواناب و تعیین توزیع مکانی و زمانی رگبارها

برای واسنجی شبیه HEC-HMS لازم است که داده‌های واقعی بارش و سیلاب متناظر آن آماده گردند. بدین منظور آب‌نگار سیلاب‌های ایستگاه آب‌سنجی چم چیت، از سازمان آب منطقه‌ای استان فارس تهیه و تعدادی از آن‌ها که در ایستگاه باران‌سنج ثابت بوشیگان کازرون دارای بارش همزمان بودند، تفکیک گردید. سپس در زمان وقوع هر سیل، با استفاده از بارش روزانه ثبت شده در ایستگاه‌های داخل و اطراف حوضه آبریز دالکی، توزیع مکانی رگبارها با استفاده از روش عکس مربع فاصله^۲ در محیط GIS استخراج شد. توزیع زمانی رگبارها نیز با استفاده از داده‌های ثبت شده باران‌نگار بوشیگان کازرون در زمان وقوع سیل تعیین شد.

۴- انتخاب شبیه‌ساز بارش - رواناب و برآورد اولیه فرا سنج‌های آن

یک شبیه شامل روابطی است که رفتار اجزاء سیستم آب‌شناسی را ارائه می‌کند و شبیه HEC-HMS یک شبیه رایانه‌ای مناسب جهت ارائه سیستم آب‌شناسی است که توسط گروه مهندسی ارتش آمریکا عرضه شده است. این شبیه حوضه

^۱-Digital Elevation Model

^۲-Inverse Distance Squared Method

آبریز را به‌عنوان یک سیستم به‌هم‌پیوسته با مؤلفه‌های آبخش‌های هیدرولیکی نمایش می‌دهد. ساختار شبیه *HEC-HMS* شامل ۳ بخش اصلی می‌باشد که عبارت‌اند از (الف) شبیه حوضه، (ب) شبیه هواشناسی، (ج) شاخص کنترل زمانی. (الف) شبیه حوضه: این بخش شبیه *HEC-HMS* شامل عناصر و فرا سنج‌های آبخش‌های آبخش‌های (۱) بخش عناصر حوضه مانند زیر حوضه، بازه‌های روندیابی، محل اتصال آبراهه، مخازن، چشمه، منبع و ... (۲) بخش تلفات، در این شبیه روش‌های متعددی برای برآورد تلفات وجود دارد که در این پژوهش از شبیه تلفات شماره منحنی *SCS* استفاده شده است. مقدار تلفات اولیه از روش *SCS* با توجه به روابط زیر به دست می‌آید (اداره کشاورزی ایالت متحده آمریکا، ۱۹۷۲).

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (1)$$

$$I_a = a \times S \quad (2)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3)$$

که در آن‌ها P_e ارتفاع بارش مؤثر (رواناب به میلی‌متر)، 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 می‌باشد (یزدانی، ۱۳۷۹). اما برای برآورد اولیه آن را 0.2 در نظر می‌گیرند. CN یا شماره منحنی با استفاده از نقشه‌های موجود از جمله کاربری اراضی و پوشش گیاهی و جداول موجود در کتب هیدرولوژی برآورد اولیه می‌شود. (۳) شبیه در بخش تبدیل بارش به رواناب مستقیم و انتقال آن در حوضه دارای گزینه‌های انتخابی متعدد است که بر پایه ۲ روش اساسی قرار گرفته‌اند (۱) روش آب نگار واحد (۲) روش موج سینماتیک. در این پژوهش، از روش آب نگار واحد *SCS* استفاده شده است. آب نگار واحد *SCS* بدون بعد می‌باشد. این آب نگار نسبت بین بدهی آب نگار در هر زمان U_t به بدهی آب نگار واحد در زمان رسیدن به اوج، U_p در برابر نسبت، بین زمان‌های آن‌ها T و زمان رسیدن به بدهی اوج T_p نشان می‌دهد. ارتباط بین بدهی اوج و زمان رسیدن به این بدهی در روابط زیر تعیین شده است.

$$U_p = 2.08 \frac{A}{T_p} \quad (4)$$

$$T = \frac{\Delta t}{2} + T_{lag} \quad (5)$$

در رابطه‌های فوق A مساحت حوضه برحسب کیلومتر مربع، T_{lag} و T_c برابر با زمان تأخیر و زمان تمرکز حوضه برحسب ساعت هستند که به ترتیب از طریق روابط (۶) و (۷) زیر محاسبه می‌شود.

$$t_l = \frac{L^{0.8} [(1000/CN) - 9]^{0.7}}{1900S^{0.5}} \quad (6)$$

$$T_c = 1.66 \times T_{lag} \quad (7)$$

L برابر با طول آبراهه اصلی در امتداد و مسیر آبراهه اصلی برحسب متر و S حداکثر پتانسیل انباشت حوضه به میلی‌متر و S شیب متوسط سطح اراضی برحسب درصد می‌باشد (اداره کشاورزی ایالت متحده آمریکا، ۱۹۷۲). در بخش روندیابی نیز روش‌های متعددی وجود دارد که در این پژوهش از روش ماسکینگ‌ها استفاده شده است. دو عامل مورد نیاز برای روندیابی با این روش شامل K و X می‌باشد. K بعد زمان داشته و معادل زمان انتقال موج سیل از ابتدا تا انتهای بازه روندیابی است و X یک ضریب بدون بعد بین صفر تا 0.5 بوده و مشخص‌کننده تأثیر نسبی دبی‌های ورودی و خروجی در میزان انباشت است.

ب) شبیه هواشناسی: این بخش از شبیه شامل مجموعه اطلاعات موردنیاز برای تعیین بارش تاریخی یا طراحی است و با شبیه حوضه در اتصال است. روش‌های محاسباتی بارش در این شبیه متفاوت است که در این پژوهش، از روش تعیین هایتوگراف بارش توسط کاربر استفاده شده است.

ج) شاخص کنترل: در این بخش از شبیه مشخصات زمانی وارد می‌شود که شامل تاریخ، زمان شروع و خاتمه بارش و همچنین گام زمانی برای محاسبات می‌باشد.

۵- واسنجی و اعتبار یابی شبیه HEC-HMS

در این پژوهش، برای واسنجی و اعتبار یابی شبیه HEC-HMS از روش Simple-Split Sample Test استفاده شد (اوین و پارکین^۱، ۱۹۹۶). در این روش، سیلاب‌های مشاهده‌ای به دو گروه تقسیم می‌شوند. فرا سنج‌های شبیه با یک گروه از داده‌ها و با استفاده از توابع هدف حداقل سازی خطا واسنجی می‌گردد. سپس اعتبار یابی شبیه از طریق اجرای شبیه با فرا سنج‌های واسنجی شده برای گروه دوم انجام می‌شود و آب نگار مشاهده‌ای و آب نگار شبیه‌سازی شده با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

۶- تعیین الگوی توزیع زمانی رگبارها

در این پژوهش، با استفاده از داده‌های ایستگاه باران‌نگار بوشیگان کازرون، الگوهای توزیع زمانی بارش برای تداوم ۱۸ ساعته (تقریباً برابر با زمان تمرکز حوضه آبریز دالکی (۱۷/۷۰ ساعت)) و به روش میانگین ترسیمی استخراج شد. برای استخراج الگوی توزیع زمانی به روش میانگین ترسیمی مراحل زیر انجام شد (خاک سفیدی و همکاران، ۱۳۸۹):

- ۱- تهیه رگبارها: مقادیر رگبارها به صورت ۱۵ دقیقه‌ای از سازمان آب و برق فارس تهیه گردید.
- ۲- تجزیه و تحلیل رگبارها: با بررسی داده‌های رگبارها از نظر منفرد بودن، پیوستگی و با توجه به مدت واقعی رگبار اتفاق افتاده و محدوده زمانی قابل قبول برای پایه زمانی موردنظر که در جدول (۵) ذکر شده است، رگبارها در پایه زمانی ۱۸ ساعت (تقریباً برابر با زمان تمرکز حوضه آبریز مورد مطالعه در این پژوهش) استخراج و طبقه‌بندی شد.
- ۳- انتخاب بارش شدید: در تداوم موردنظر با توجه به مقدار میانگین بارش‌ها، رگبارهایی با مجموع بارش بیش از میانگین به عنوان بارش شدید انتخاب شد.
- ۴- بی‌بعد کردن تمامی رگبارهای انتخاب شده در تداوم موردنظر به صورت مجزا.
- ۵- محاسبه مقادیر بارندگی تجمعی بی‌بعد تمام رگبارها در تداوم موردنظر برای فاصله‌های ۵ درصد زمانی از طریق درون‌یابی.
- ۶- محاسبه میانگین بارندگی تمامی رگبارها (در تداوم موردنظر) از صفر درصد زمانی تا ۱۰۰ درصد زمانی.
- ۷- رسم نمودار میانگین بارندگی بی‌بعد برحسب مقادیر زمانی بی‌بعد (۰، ۵، ۱۰، ...، ۱۰۰) برای تداوم موردنظر. جدول (۶) الگوهای توزیع زمانی برای تداوم ۱۸ ساعته بارش حوضه آبریز دالکی را نشان می‌دهد.

۷- تعیین روابط شدت-مدت- فراوانی رگبارها

برای تعیین منحنی‌های IDF^۲، ابتدا داده‌های بارندگی ایستگاه بوشیگان کازرون مورد بررسی قرار گرفت و سپس یک دوره آماری ۲۸ ساله (از سال آبی ۱۳۶۲ الی ۱۳۸۹) که داده‌های مناسب داشته را انتخاب و با استفاده از داده‌های ۱۵ دقیقه‌ای بارندگی موجود، برای هر بارندگی مقادیر حداکثر بارندگی برای تداوم زمانی ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۹۰ دقیقه و ۲،

^۱- Ewen and Parkin

^۲- Intensity ,Duration ,Frequency

۶، ۱۲، ۱۸، ۲۴ ساعته به دست آمد. بدین ترتیب در هر سال آبی یک مقدار عددی بیشینه برای حداکثر بارندگی در تداوم موردنظر به دست می‌آید. علاوه بر این، مقادیر حداکثر بارش روزانه نیز به صورت جداگانه تعیین شد. برای تکمیل خلأ آماری به دو صورت عمل شد: (۱) در حالتی که برخی از سال‌ها و برای بعضی از تداوم‌ها ایستگاه فاقد آمار یا دارای آمار غیرقابل قبول بود، با ایجاد همبستگی بین دو ردیف زمانی مجاور اقدام به تخمین مقدار مربوط به آن فاصله زمانی گردید. (۲) در سال‌هایی که به علت نقص دستگاه باران‌سنج ثبات مقادیر حداکثر به صورت کامل ثبت نگردیده است، از میانگین نسبت بارندگی‌های کوتاه‌مدت به بارندگی حداکثر یک‌روزه ایستگاه در سال‌های دارای آمار استفاده شد و برای سال‌های فاقد آمار با ضرب این نسبت‌ها به مقدار حداکثر رگبار یک‌روزه ایستگاه، اقدام به بازسازی و برآورد مقدار بارش آن سال گردید. 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 جهت تعیین روابط شدت، مدت و فراوانی بارندگی و ترسیم منحنی آن به شیوه زیر عمل شد: با استفاده از نرم‌افزارهای تحلیل فراوانی آب‌شناسی (SMADA و HYFA) برای هر گروه از داده‌ها در بازه‌های زمانی مختلف تحلیل فراوانی صورت گرفت. برای این منظور از ۷ توزیع آماری (نرمال، لوگ نرمال ۲ فراسنجی، لوگ نرمال ۳ فراسنجی، گامای ۲ فراسنجی، پیرسون تیپ III، لوگ پیرسون تیپ III و گامبل) استفاده شد. جهت محاسبه فرا سنج‌های توزیع از روش گشتاور^۱ استفاده شد و بهترین توزیع آماری منطبق بر داده‌ها بر اساس حداقل مقدار میانگین انحرافات نسبی و مقایسه برازش توزیع بر داده‌های مشاهداتی به تفکیک هر تداوم انتخاب شدند. سپس بارندگی برای هر بازه زمانی و دوره برگشت موردنظر محاسبه شد. در مرحله بعد، نسبت مقادیر حداکثر رگبار در تداوم‌های مختلف به حداکثر رگبار روزانه برای دوره برگشت موردنظر محاسبه و پس‌از آن رابطه همبستگی بین نسبت‌های فوق و زمان تداوم بارندگی مطابق رابطه (۸) تعیین گردید. توجه شود که بارش حداکثر روزانه با بارش حداکثر ۲۴ ساعته به هم تفاوت دارند و تفاوت آن در نحوه‌ی اندازه‌گیری و استخراج این دو فرا سنج می‌باشد.

$$R_m^T = at^b \quad (8)$$

که در آن، R_m^T نسبت مقادیر حداکثر رگبار در تداوم مختلف به حداکثر رگبار روزانه در دوره برگشت T و t زمان تداوم بارندگی و a و b ضرایب تجربی می‌باشند.

رابطه (۸) را به صورت رابطه (۹) نیز می‌توان نوشت:

$$R_m^T = P_t^T / P_{day}^T \quad (9)$$

$$P_t^T = P_{day}^T \times R_m^T$$

$$P_t^T = P_{day}^t \times at^b$$

که در آن P_t^T مقدار حداکثر بارش در زمان t و دوره برگشت T ، P_{day}^T مقدار حداکثر بارش روزانه در دوره برگشت T است. همچنین می‌توان از رابطه (۹) به طور مشابه برای به دست آوردن شدت بارندگی t ساعته با دوره برگشت T ساله مطابق رابطه (۱۰) استفاده نمود (قنبر پور و همکاران، ۱۳۹۰).

$$I_t^T = P_{day}^t \times at^b \quad (10)$$

جدول (۷) روابط بین حداکثر بارش در تداوم‌های ۱۵ دقیقه تا ۲۴ ساعت را با حداکثر بارش روزانه در دوره برگشت‌های ۲، ۵۰ و ۱۰۰ سال نشان می‌دهد. ضریب تبیین بالای ۰/۹۵ در رابطه به دست‌آمده نشان‌دهنده مناسب بودن آن در برآورد حداکثر بارش در تداوم‌های مختلف می‌باشد. از این روابط در تعیین هایتوگراف بارش طراحی استفاده گردیده است.

^۱-Moment

۸- تعیین مناطق مولد سیل و اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیر حوضه‌ها

پس از واسنجی شبیه بارش - رواناب، با استفاده از داده‌های حداکثر بارش روزانه ایستگاه‌های باران‌سنج معمولی داخل و خارج از محدوده مطالعاتی، نقشه توزیع مکانی بارش ۲۴ ساعته با دوره برگشت ۲، ۵۰ و ۱۰۰ سال در سطح حوضه تهیه گردید. سپس با قرار دادن آن در روابط شدت-مدت- فراوانی (IDF) ایستگاه باران‌نگار ثبات بوشیگان کازرون با دوره برگشت ۲، ۵۰ و ۱۰۰ سال و تداوم ۱۷/۷۰ ساعت (معادل زمان تمرکز حوضه)، نقشه عمق بارش طراحی کل حوضه به روش عکس مربع فاصله در محیط GIS تهیه شد. سپس سهم هر یک از زیر حوضه‌ها از مقدار بارش طراحی برای هر یک از دوره برگشت‌ها مشخص شد. در ادامه برای تهیه هایتوگراف های ۱۷/۷۰ ساعته زیر حوضه‌ها، از الگوی توزیع بارش ۱۸ ساعته حوضه آبریز دالکی استفاده شد و آب‌نگار سیل در خروجی هر زیر حوضه به دست آمد. سپس با استفاده از روش واکنش سیل واحد (ثقفیان و خسروشاهی، ۲۰۰۵) در محیط شبیه HMS، زیر حوضه‌های آبریز دالکی از نظر سیل‌خیزی و بر اساس دوره برگشت‌های ۲، ۵۰ و ۱۰۰ سال اولویت‌بندی شدند. در این روش، با حذف متوالی و یک‌به‌یک زیر حوضه‌ها در هر بار اجرای مدل، بده خروجی کل حوضه پس از روندیابی سیل در رودخانه اصلی بدون اثر زیر حوضه موردنظر تعیین می‌شود. بدین ترتیب میزان تأثیر هر یکی از زیر حوضه‌ها در تولید سیل خروجی به دست می‌آید. زیر حوضه‌ای که بیشترین سهم مشارکت در تولید سیل خروجی حوضه را به عهده داشته باشد، در گام نخست به‌عنوان سیل‌خیزترین زیر حوضه شناخته می‌شود. سپس سایر زیر حوضه‌ها به ترتیب میزان مشارکت آن‌ها در سیل خروجی اولویت‌بندی می‌گردند. دو نمایه سیل‌خیزی مورد استفاده به صورت روابط (۱۱) و (۱۲) تعریف می‌شوند.

$$F = (\Delta QP/QP) \times 100 \quad (11)$$

$$f = \Delta QP/A \quad (12)$$

که در آن‌ها، F سهم مشارکت زیر حوضه در بده خروجی کل حوضه به درصد، ΔQP مقدار کاهش در بده ی خروجی کل حوضه در اثر حذف زیر حوضه موردنظر برحسب مترمکعب بر ثانیه، QP بده خروجی کل حوضه برحسب مترمکعب بر ثانیه، f سهم مشارکت زیر حوضه در بده خروجی کل حوضه به ازای واحد سطح و A مساحت زیر حوضه به کیلومتر مربع می‌باشد (ثقفیان و فرازجو، ۱۳۸۶).

نتایج و بحث

۱- واسنجی و اعتبار یابی شبیه بارش - رواناب

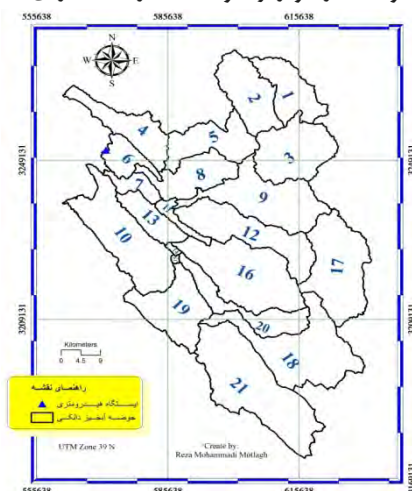
خصوصیات فیزیوگرافی زیر حوضه‌های آبریز حوضه دالکی که محدوده آن‌ها در شکل (۱) نشان داده شده از DEM استخراج گردید. همچنین به دلیل در دسترس نبودن نقشه شماره منحنی آن منطقه، مقدار اولیه‌ای برای هر یک از زیر حوضه‌های آبریز در نظر گرفته شد که نتایج فوق در جدول (۱) ارائه شده است. شیب متوسط کل حوضه برابر ۲۴/۶۵ درصد، ارتفاع متوسط وزنی آن در حدود ۱۲۳۹/۰۶ متر و طول آبراهه اصلی آن ۱۱۵/۸۶ کیلومتر می‌باشد. در راستای تعیین توزیع مکانی و زمانی رگبارها و بررسی آب‌نگارهای سیلاب ثبت‌شده در ایستگاه‌های آب‌سنجی موجود در منطقه مشخص گردید که علی‌رغم وجود تعدادی وقایع سیل ثبت‌شده، به دلیل ضعف شبکه باران‌سنج‌های ثبات منطقه، تعداد رویدادهای بارش - رواناب جهت واسنجی شبیه بسیار محدود است. نهایتاً در ایستگاه آب‌سنجی چم چیت ۴ رویداد مناسب تشخیص داده شد. جدول (۲) مشخصات این رویدادها را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در بخش مواد و روش‌ها ذکر شد برای واسنجی و اعتبار یابی مدل، سیلاب‌ها به دو گروه تقسیم شدند که در این پژوهش، ۳ رویداد برای واسنجی و یک رویداد برای اعتبار یابی شبیه مورد استفاده قرار گرفت. نتایج مربوط به بهینه‌سازی فرا سنج‌های ورودی به شبیه و

اعتبار یابی آن به ترتیب در جداول (۳) و (۴) ارائه شده‌اند. که با توجه به خطای ۸ درصد در برآورد بده ی اوج و ۱۶ درصد در برآورد حجم سیلاب مورد قبول واقع شدند.

۲- تعیین بده ی خروجی و اولویت بندی سیل خیزی زیر حوضه‌ها

با استفاده از شبیه واسنجی شده و الگوی توزیع زمان بارش ۱۸ ساعته و همچنین رابطه به دست آمده از منحنی شدت - مدت - فراوانی حوضه آبریز دالکی، مقدار بده ی اوج سیلاب ناشی از بارش به ازای دوره برگشت‌های مختلف و تداوم ۱۷/۷۰ ساعت (معادل زمان تمرکز حوضه) استخراج شد. سپس به روش واکنش سیل واحد، شدت سیل خیزی مورد بررسی قرار گرفت که نتایج حاصل از اولویت بندی زیر حوضه‌ها بر اساس دوره برگشت ۵۰ سال در جدول (۸) و شکل‌های (۲) و (۳) ارائه شده است. بر اساس نتایج جدول ۸ (ستون ۳ و ۸)، زیر حوضه شماره ۳ با تولید بده اوج ۵۱۵/۹۰ مترمکعب بر ثانیه در محل خروجی زیر حوضه، بیشترین مقدار و زیر حوضه شماره ۱۵ با بده اوج ۲/۷۰ مترمکعب بر ثانیه، کمترین مقدار بده ی اوج را به خود اختصاص می‌دهند. در مطالعاتی که اولویت بندی تنها بر اساس بده ی اوج زیر حوضه بدون روندیابی آب نگار سیل از محل زیر حوضه تا خروجی کل حوضه انجام می‌گیرد، موضوع اولویت بندی در همین جا پایان یافته تلقی می‌گردد و بدین ترتیب میزان مشارکت زیر حوضه‌ها در سیل خروجی کل حوضه مشخص نمی‌گردد. بنابراین حوضه‌ای که بده ی بیشتری داشته باشد، اولویت اول را به خود اختصاص می‌دهد و بالعکس. در ستون ۹ جدول (۸) و شکل ۲، اولویت بندی پس از روندیابی آب نگار سیل زیر حوضه در آبراهه اصلی و بر اساس میزان مشارکت هر یک از زیر حوضه‌ها در سیل خروجی حوضه نشان داده شده است. در مواردی که مساحت زیر حوضه‌ها اولویت بندی سیل خیزی را تحت تأثیر قرار می‌دهند، می‌توان این اولویت بندی را به ازای واحد سطح زیر حوضه انجام داد (ستون ۱۰ جدول ۸ و شکل ۳). در بخش اجرایی کنترل سیلاب نیز میزان کاهش سیل خروجی به ازای واحد سطح زیر حوضه، اهمیت بیشتری دارد. زمانی که میزان تأثیر بده ی زیر حوضه‌ها پس از حذف در روندیابی در بده ی اوج خروجی کل حوضه در نظر گرفته می‌شود، نسبت تأثیر آن‌ها تنها به مساحت و بده ی اوج زیر حوضه بستگی ندارد، بلکه اثر متقابل عوامل مؤثر مثل موقعیت مکانی زیر حوضه‌ها، می‌تواند نقش مهمی داشته باشد. بنابراین لزوماً زیر حوضه‌ای که مساحت بزرگ‌تر و یا بده ی اوج بیشتری داشته باشد در سیل خروجی کل حوضه تأثیر بیشتری ندارد. به طور مثال در این پژوهش، زیر حوضه شماره ۲۱ که از لحاظ مساحت در رده نخست و از لحاظ بده ی اوج در رده دوم قرار دارد، از نظر مشارکت در سیل خروجی کل حوضه در رده پانزدهم قرار می‌گیرد که در دوره برگشت‌های ۲، ۵۰ و ۱۰۰ سال، تفاوتی بین اولویت بندی سیل خیزی زیر حوضه‌ها دیده نشد. این امر نشان‌دهنده اثرات متقابل روندیابی سیل در رودخانه، موقعیت مکانی و خصوصیات زیر حوضه‌ها در تعیین سهم مشارکت در بده ی اوج کل حوضه می‌باشد که این اثرات بدون شبیه سازی توسط شبیه و تنها بر مبنای عواملی مانند مساحت قابل تعیین نیست. بنابراین اولویت بندی نهایی زیر حوضه‌های آبریز در این پژوهش بر اساس مشارکت آن‌ها در بده ی اوج خروجی کل حوضه به ازای واحد سطح انجام پذیرفت. شکل (۴) نقشه اولویت بندی سیل خیزی زیر حوضه‌ها را بر اساس نمایه (f) و دوره برگشت ۵۰ سال نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که زیر حوضه شماره ۳ اولین رتبه و زیر حوضه شماره ۱۵ آخرین رتبه را به خود اختصاص می‌دهند. شایان ذکر است که زیر حوضه شماره ۳ در تمامی موارد، در اولویت نخست قرار دارد که نشان‌دهنده پتانسیل سیل خیزی زیاد این منطقه می‌باشد. که دلیل اصلی آن، شدت و عمق بارندگی و همچنین بالا بودن شیب و شماره منحنی است که باعث کاهش زمان تمرکز آن زیر حوضه گردیده است. نتایج حاصل نشان می‌دهند که سهم مشارکت زیر حوضه‌ها در سیل خیزی کل حوضه، تنها تحت تأثیر مساحت آن‌ها نیست و عواملی مانند موقعیت مکانی زیر حوضه‌ها و تأثیر روندیابی سیل در رودخانه اصلی نیز در رژیم سیلابی حوضه تأثیر مهمی دارند. همچنین مشخص گردید که زیر حوضه شماره ۳ با توجه به شدت بارندگی در این زیر حوضه

سهم قابل توجهی در سیل خروجی کل حوضه دارد و زیر حوضه شماره ۱۵ دارای کمترین شدت سیل خیزی می‌باشد.



شکل (۱) موقعیت زیر حوضه‌های حوضه آبریز دالکی نسبت به ایستگاه هیدرومتری چم چیت.

جدول (۱) خصوصیات فیزیوگرافیک و شماره منحنی زیر حوضه‌های آبریز دالکی.

| شماره منحنی در حالت ۱ | طول آبراهه اصلی به (KM) | شیب متوسط وزنی حوضه (%) | ارتفاع متوسط وزنی به متر | مساحت (KM ²) | نام زیر حوضه |
|-----------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------|
| ۷۳/۴۰ | ۳۱/۸۰ | ۳۰/۴۰ | ۲۰۷۹/۱۴ | ۱۴۹/۳۸ | ۱ |
| ۸۳/۵۰ | ۲۹/۳۱ | ۳۷/۳۷ | ۲۳۴۶/۵۸ | ۱۸۲/۴۰ | ۲ |
| ۷۷/۴۰ | ۳۱/۰۲ | ۳۹/۲۴ | ۱۸۶۸/۷۹ | ۲۲۸/۰۶ | ۳ |
| ۸۳/۹۰ | ۳۵/۵۵ | ۲۳/۹۷ | ۸۹۲/۲۰ | ۱۵۱/۱۲ | ۴ |
| ۶۲/۰۰ | ۳۳/۲۰ | ۲۹/۹۷ | ۱۳۳۲/۷۸ | ۱۶۷/۰۸ | ۵ |
| ۷۲/۸۰ | ۱۹/۸۴ | ۲۶/۰۵ | ۶۷۳/۴۷ | ۷۶/۵۳ | ۶ |
| ۸۲/۱۰ | ۱۲/۸۷ | ۲۱/۴۷ | ۷۳۹/۴۷ | ۵۰/۰۰ | ۷ |
| ۵۶/۳۰ | ۳۷/۹۴ | ۱۳/۴۲ | ۲۲/۸۳ | ۱۵۵/۷۹ | ۸ |
| ۷۰/۶۰ | ۳۹/۹۲ | ۳۱/۶۱ | ۱۴۰۹/۳۴ | ۲۸۱/۲۶ | ۹ |
| ۷۸/۳۰ | ۳۷/۰۶ | ۱۶/۰۹ | ۸۵۸/۹۲ | ۳۱۲/۱۵ | ۱۰ |
| ۶۹/۶۰ | ۱۹/۰۷ | ۱۲/۳۲۰ | ۷۵۱/۷۲ | ۳۴/۱۹ | ۱۱ |
| ۷۳/۲۰ | ۵۳/۴۰ | ۲۴/۱۲ | ۱۱۱۴/۶۵ | ۲۴۹/۴۶ | ۱۲ |
| ۶۸/۹۰ | ۱۷/۱۶ | ۱۲/۲۷ | ۷۶۴/۴۳ | ۹۴/۳۱ | ۱۳ |
| ۷۰/۸۰ | ۵/۵۵ | ۱۲/۲۰ | ۷۰۸/۸۰ | ۵/۸۶ | ۱۴ |
| ۶۶/۴۰ | ۲/۹۰ | ۱۰/۲۲ | ۷۲۳/۷۹ | ۳/۶۴ | ۱۵ |
| ۶۱/۴۰ | ۴۴/۴۷ | ۲۲/۳۲ | ۱۰۴۹/۱۵ | ۳۳۵/۰۲ | ۱۶ |
| ۵۶/۹۰ | ۲۳/۱۸ | ۳۲/۲۳ | ۱۷۹۸/۷۶ | ۲۹۴/۳۸ | ۱۷ |
| ۶۰/۴۰ | ۵۲/۴۹ | ۲۴/۳۰ | ۱۳۳۷/۴۵ | ۳۴۴/۸۰ | ۱۸ |

| | | | | | |
|-------|--------|-------|---------|---------|---------|
| ۷۶/۲۰ | ۳۷/۶۰ | ۲۲/۹۹ | ۸۵۹/۵۰ | ۲۰۷/۶۵ | ۱۹ |
| ۷۷/۶۰ | ۴۷/۸۲ | ۲۳/۳۷ | ۹۶۹/۳۷ | ۱۴۵/۳۹ | ۲۰ |
| ۸۰/۱۰ | ۵۳/۵۹ | ۱۵/۹۹ | ۸۸۸/۵۹ | ۴۳۱/۵۷ | ۲۱ |
| ۷۱/۰۹ | ۱۱۵/۸۶ | ۲۴/۶۵ | ۱۲۳۹/۰۶ | ۳۹۰۰/۰۴ | کل حوضه |

جدول (۲) مشخصات وقایع بارش - رواناب واقعی برای واسنجی و اعتبار یابی شبیه HEC-HMS.

| دبی اوج سیل (M ³ /S) | شرایط رطوبتی خاک | تاریخ وقوع سیلاب | ایستگاه آب سنجی |
|------------------------------------|---------------------|------------------------|--------------------|
| ۹۷/۴۰ | خشک | ۲۳ تا ۲۴ دی ماه ۱۳۷۶ | چم چیت |
| ۱۵۰/۸۰ | خشک | ۲۰ تا ۲۲ آذرماه ۱۳۷۹ | |
| ۳۲۱/۵۰ | خشک | ۱۶ تا ۱۷ بهمن ماه ۱۳۸۱ | |
| ۴۰۳/۷۰ | متوسط | ۲۵ تا ۲۶ آبان ماه ۱۳۸۴ | |

جدول (۳) نتایج متوسط فرا سنج های ورودی به شبیه پس از مرحله واسنجی.

| فرا سنج های واسنجی ورودی به شبیه | | نام بازه رودخانه | فرا سنج های واسنجی ورودی به شبیه | | زیر حوضه | فرا سنج های واسنجی ورودی به شبیه | | زیر حوضه |
|-------------------------------------|----------|---------------------|-------------------------------------|----------------|-------------|-------------------------------------|----------------|-------------|
| X | K (ساعت) | | گیرش اولیه (میلی متر) | شماره منحنی | | گیرش اولیه (میلی متر) | شماره منحنی | |
| ۰/۳۵۵ | ۱/۶۶۱ | Reach-1 | ۱۸/۶۰ | ۶۵/۰۰ | ۱۲ | ۱۷/۹۱ | ۷۹/۹۸ | ۱ |
| ۰/۳۲۶ | ۷/۵۸۵ | Reach-2 | ۲۲/۹۳ | ۶۰/۷۰ | ۱۳ | ۹/۷۰ | ۷۸/۳۴ | ۲ |
| ۰/۳۰۰ | ۱۳/۸۵۶ | Reach-3 | ۲۰/۹۵ | ۶۱/۶۷ | ۱۴ | ۱۲/۵۰ | ۸۶/۲۰ | ۳ |
| ۰/۳۶۷ | ۴/۱۲۹ | Reach-4 | ۲۵/۷۱ | ۵۷/۳۲ | ۱۵ | ۵/۶۱ | ۸۶/۴۵ | ۴ |
| ۰/۲۰۴ | ۰/۱۶۶ | Reach-5 | ۳۱/۹۴ | ۵۳/۲۰ | ۱۶ | ۳۱/۱۴ | ۵۲/۹۸ | ۵ |
| ۰/۲۰۸ | ۰/۴۰۸۸ | Reach-6 | ۳۸/۴۸ | ۴۸/۷۰ | ۱۷ | ۱۹/۲۹ | ۸۲/۰۷ | ۶ |
| ۰/۲۳۵ | ۵/۴۲۶ | Reach-7 | ۳۳/۳۱ | ۵۲/۲۰ | ۱۸ | ۱۸/۸۳ | ۸۵/۱۷ | ۷ |
| ۰/۲۴۵ | ۰/۳۵۵ | Reach-8 | ۱۵/۸۷ | ۶۸/۰۰ | ۱۹ | ۳۹/۴۳ | ۴۸/۱۰ | ۸ |
| ۰/۳۵۵ | ۰/۸۱۶ | Reach-9 | ۱۴/۶۶ | ۷۶/۴۵ | ۲۰ | ۲۱/۱۶ | ۶۹/۸۴ | ۹ |
| ۰/۴۱۱ | ۳/۷۸۸ | Reach-10 | ۱۲/۶۲ | ۷۸/۲۰ | ۲۱ | ۱۴/۰۸ | ۷۵/۹۷ | ۱۰ |
| ۰/۳۲۵ | ۱/۹۵۶ | Reach-11 | - | - | - | ۲۲/۱۹ | ۶۰/۴۸ | ۱۱ |

جدول (۴) مقایسه نتایج آب نگار واقعی و محاسبه شده در مرحله اعتبار یابی.

| | |
|---------------------------|----------------------------|
| ۲۶ تا ۲۵ آبان ماه ۱۳۸۴ | تاریخ وقوع سیلاب |
| ۴۰۳/۷۰ | دبی اوج واقعی |
| ۳۷۰/۲۵ | دبی اوج محاسبه شده |
| ۱۱۶۲۵/۳۰ | حجم رواناب واقعی |
| ۱۳۵۲۰/۳۸ | حجم رواناب محاسبه شده |
| ۱۲۰ | اختلاف زمان تا اوج (دقیقه) |
| ۸/۲۹ | درصد خطای اوج سیلاب |
| ۱۶/۳۰ | درصد خطای حجم سیلاب |

جدول (۵) محدوده زمانی قابل قبول (خاک سفیدی و همکاران، ۱۳۸۹).

| | |
|-----------|-------------------------|
| ۱۲ | تداوم بارش (ساعت) |
| ۱۰/۵ - ۱۴ | محدوده قابل قبول (ساعت) |

جدول (۶) الگوهای توزیع زمانی برای تداوم ۱۸ ساعته (T/TR: زمان (درصد)، P/PT: بارش (درصد)).

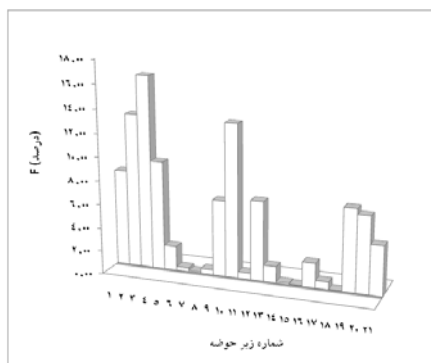
| P/PT | T/TR | P/PT | T/TR | P/PT | T/TR |
|--------|------|-------|------|-------|------|
| ۶۹/۴۳ | ۷۰ | ۲۸/۵۸ | ۳۵ | ۰/۰۰ | ۰ |
| ۷۶/۳۲ | ۷۵ | ۳۲/۵۷ | ۴۰ | ۱/۴۰ | ۵ |
| ۸۲/۴۹ | ۸۰ | ۳۵/۴۸ | ۴۵ | ۴/۰۷ | ۱۰ |
| ۸۸/۷۷ | ۸۵ | ۴۲/۰۲ | ۵۰ | ۶/۷۸ | ۱۵ |
| ۹۳/۶۲ | ۹۰ | ۴۸/۴۳ | ۵۵ | ۱۱/۷۸ | ۲۰ |
| ۹۷/۰۸ | ۹۵ | ۵۴/۹۲ | ۶۰ | ۱۷/۹۲ | ۲۵ |
| ۱۰۰/۰۰ | ۱۰۰ | ۶۲/۶۲ | ۶۵ | ۲۴/۰۸ | ۳۰ |

جدول (۷) ضرایب ثابت و روابط حداکثر بارش روزانه و حداکثر بارش در تداوم کوتاه مدت.

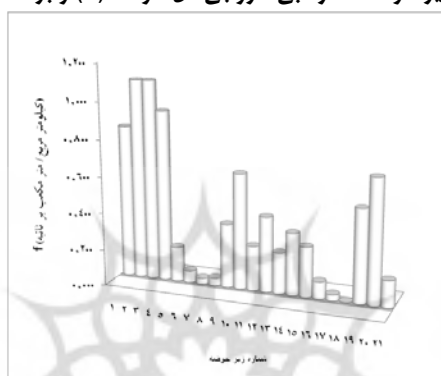
| R ² | رابطه | B | a | دوره بازگشت (سال) |
|----------------|---|-------|--------|-------------------|
| ۰/۹۶۹ | $t^{0.473} \times 0.2318 = P_{day} P_t$ | ۰/۴۷۳ | ۰/۲۳۱۸ | ۲ |
| ۰/۹۵۲ | $t^{0.467} \times 0.2911 = P_{day} P_t$ | ۰/۴۶۷ | ۰/۲۹۱۱ | ۵۰ |
| ۰/۹۷۳ | $t^{0.432} \times 0.3018 = P_{day} P_t$ | ۰/۴۳۲ | ۰/۳۰۱۸ | ۱۰۰ |

جدول (۸) اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیر حوضه‌ها بر اساس دوره برگشت ۵۰ سال

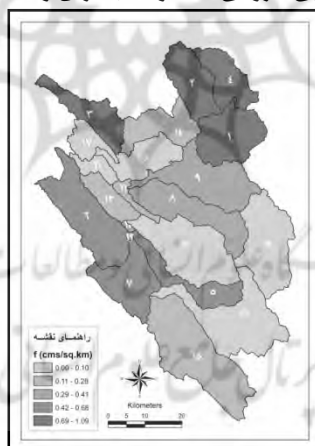
| اولویت‌بندی بر اساس f (۱۰) | اولویت‌بندی بر اساس F (۹) | اولویت‌بندی بر اساس دبی زیر حوضه (۸) | f (cms/sq.km) (۷) | F% (۶) | مقدار کاهش در دبی خروجی (cms) (۵) | دبی خروجی کل حوضه با حذف زیر حوضه (cms) (۴) | دبی زیر حوضه (cms) (۳) | مساحت (km ²) (۲) | زیر حوضه (۱) |
|----------------------------------|---------------------------------|--|-------------------------|-----------|--|--|---------------------------------|------------------------------------|--------------------|
| ۴ | ۵ | ۶ | ۰/۸۳۵ | ۸/۲۷ | ۱۲۴/۷۰ | ۱۳۸۸/۹۰ | ۲۳۰/۰۰ | ۱۴۹/۳۸ | ۱ |
| ۲ | ۲ | ۳ | ۱/۰۸۹ | ۱۳/۱۳ | ۱۹۸/۷۰ | ۱۳۱۴/۹۰ | ۳۳۹/۹۰ | ۱۸۲/۴۰ | ۲ |
| ۱ | ۱ | ۱ | ۱/۰۹۰ | ۱۶/۴۲ | ۲۴۸/۶۰ | ۱۲۶۵/۰۰ | ۴۶۳/۱۰ | ۲۲۸/۰۶ | ۳ |
| ۳ | ۴ | ۵ | ۰/۹۳۲ | ۹/۳۱ | ۱۴۰/۹۰ | ۱۳۷۲/۷۰ | ۳۰۱/۵۰ | ۱۵۱/۱۲ | ۴ |
| ۱۴ | ۱۱ | ۱۶ | ۰/۱۹۰ | ۲/۱۰ | ۳۱/۸۰ | ۱۴۸۱/۸۰ | ۳۷/۶۰ | ۱۶۷/۰۸ | ۵ |
| ۱۷ | ۱۷ | ۱۰ | ۰/۰۶۵ | ۰/۳۳ | ۵/۰۰ | ۱۵۰۸/۶۰ | ۱۱۶/۸۰ | ۷۶/۵۳ | ۶ |
| ۲۰ | ۱۹ | ۱۲ | ۰/۰۳۲ | ۰/۱۱ | ۱/۶۰ | ۱۵۱۲/۰۰ | ۱۰۲/۶۰ | ۵۰/۰۰ | ۷ |
| ۱۸ | ۱۶ | ۱۹ | ۰/۰۴۲ | ۰/۴۳ | ۶/۵۰ | ۱۵۰۷/۱۰ | ۷/۴۰ | ۱۵۵/۷۹ | ۸ |
| ۹ | ۹ | ۷ | ۰/۳۵۰ | ۶/۵۰ | ۹۸/۴۰ | ۱۴۱۵/۲۰ | ۱۹۰/۰۰ | ۲۸۱/۲۶ | ۹ |
| ۶ | ۳ | ۴ | ۰/۶۳۲ | ۱۳/۰۳ | ۱۹۷/۲۰ | ۱۳۱۶/۴۰ | ۳۰۹/۰۰ | ۳۱۲/۱۵ | ۱۰ |
| ۱۲ | ۱۵ | ۱۸ | ۰/۲۴۶ | ۰/۵۵ | ۸/۴۰ | ۱۵۰۵/۲۰ | ۱۴/۲۰ | ۳۴/۱۹ | ۱۱ |
| ۸ | ۷ | ۱۱ | ۰/۴۱۲ | ۶/۷۹ | ۱۰۲/۸۰ | ۱۴۱۰/۸۰ | ۱۱۲/۳۰ | ۲۴۹/۴۶ | ۱۲ |
| ۱۳ | ۱۳ | ۱۵ | ۰/۲۲۶ | ۱/۴۱ | ۲۱/۳۰ | ۱۴۹۲/۳۰ | ۴۲/۳۰ | ۹۴/۳۱ | ۱۳ |
| ۱۰ | ۱۸ | ۲۰ | ۰/۳۴۱ | ۰/۱۳ | ۲/۰۰ | ۱۵۱۱/۶۰ | ۴/۶۰ | ۵/۸۶ | ۱۴ |
| ۱۱ | ۲۰ | ۲۱ | ۰/۲۷۵ | ۰/۰۷ | ۱/۰۰ | ۱۵۱۲/۶۰ | ۲/۵۰ | ۳/۶۴ | ۱۵ |
| ۱۶ | ۱۲ | ۱۳ | ۰/۰۹۵ | ۲/۰۹ | ۳۱/۷۰ | ۱۴۸۱/۹۰ | ۷۱/۹۰ | ۳۳۵/۰۲ | ۱۶ |
| ۱۹ | ۱۴ | ۱۴ | ۰/۰۳۴ | ۰/۶۵ | ۹/۹۰ | ۱۵۰۳/۷۰ | ۴۶/۱۰ | ۲۹۴/۳۸ | ۱۷ |
| ۲۱ | ۲۱ | ۱۷ | ۰/۰۰۲ | ۰/۰۵ | ۰/۷۰ | ۱۵۱۲/۹۰ | ۳۰/۲۰ | ۳۴۴/۸۱ | ۱۸ |
| ۷ | ۶ | ۸ | ۰/۵۱۱ | ۷/۰۲ | ۱۰۶/۲۰ | ۱۴۰۷/۴۰ | ۱۶۹/۲۰ | ۲۰۷/۶۵ | ۱۹ |
| ۵ | ۸ | ۹ | ۰/۶۸۰ | ۶/۵۳ | ۹۸/۸۰ | ۱۴۱۴/۸۰ | ۱۵۳/۱۰ | ۱۴۵/۳۹ | ۲۰ |
| ۱۵ | ۱۰ | ۲ | ۰/۱۴۸ | ۴/۲۲ | ۶۳/۹۰ | ۱۴۴۹/۷۰ | ۳۷۹/۱۰ | ۴۳۱/۵۷ | ۲۱ |
| - | - | - | - | - | - | - | ۱۵۱۳/۶۰ | ۳۹۰۰/۰۴ | کل حوضه |



شکل (۲) مقایسه مشارکت زیر حوضه‌ها در دبی خروجی کل حوضه (F) و بر اساس دوره برگشت ۵۰ سال.



شکل (۳) مقایسه مشارکت زیر حوضه‌ها در دبی خروجی کل حوضه به ازای واحد سطح (f) و بر اساس دوره برگشت ۵۰ سال.



شکل (۴) نقشه اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیر حوضه‌های آبریز دالکی بر اساس دوره برگشت ۵۰ سال (شماره‌ها اولویت سیل‌خیزی را نشان می‌دهند).

نتیجه‌گیری

در غالب روش‌هایی که برای شناسایی، تفکیک و اولویت‌بندی مناطق دارای پتانسیل بالای تولید سیل به کار گرفته شده‌اند، کل حوضه به صورت یکپارچه در نظر گرفته می‌شود و یا به صورت منطقه‌ای و بدون در نظر گرفتن مرزهای فیزیکی حوضه‌ها و یا زیر حوضه‌ها صورت می‌پذیرفت. در موارد نادری که سیل‌خیزی در سطح زیر حوضه‌ها مورد بررسی قرار گرفته، معمولاً رفتار آب‌شناسی زیر حوضه‌ها خطی فرض شده است و صرفاً بده‌های خروجی هر یک از زیر حوضه‌ها بدون اثرات روندیابی آبراهه‌ای و با فرض همزمانی رسیدن بده‌ها به خروجی حوضه ملاک عمل بوده است. در این پژوهش، با تلفیق سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و شبیه‌های آب‌شناسی، اثر متقابل عوامل فیزیوگرافیک و اقلیمی بر پتانسیل سیل‌خیزی زیر حوضه‌های حوضه آبریز دالکی مورد مطالعه قرار گرفت و با در نظر گرفتن همزمانی بده‌ی اوج

زیر حوضه‌ها و نقش روندیابی سیل در رودخانه‌ها، اولویت‌بندی سیل خیزی زیر حوضه‌ها انجام پذیرفت. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که میزان مشارکت زیر حوضه‌ها در بده خروجی کل حوضه تنها تحت تأثیر مساحت و بده اوج زیر حوضه نمی‌باشد و عواملی مانند موقعیت مکانی زیر حوضه‌ها، فاصله تا خروجی و نقش روندیابی در رودخانه اصلی، ضریب شماره منحنی و میزان بارش دریافتی هر زیر حوضه تأثیر بسزایی در سیل خیز بودن زیر حوضه دارد. 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 موردبررسی استفاده نمود. همچنین در تعیین مکان نصب ادوات اندازه‌گیری و هشدار سیل در زیر حوضه‌های سیل خیز نیز می‌توان از نتایج این پژوهش بهره برد.

منابع

- تقفیان، ب. و فرازجو، ح. ۱۳۸۶. تعیین مناطق مولد سیل و اولویت‌بندی سیل خیزی واحدهای هیدرولوژیک حوضه سد گلستان. مجله علمی پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. سال اول. شماره ۱. بهار ۱۳۸۶. ۱۱-۱.
- جوکار، ج. ۱۳۸۱. بررسی سیل خیزی زیر حوضه‌های رودخانه شاپور با استفاده از شبیه‌سازی بارش - رواناب. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده علوم دریایی و منابع طبیعی نور. ۱۳۲ ص.
- خاک سفیدی، عباس، ن. نورا، ن. بیرودیان، ع. نجفی نژاد. ۱۳۸۹؛ الگوی توزیع زمانی بارش در استان سیستان و بلوچستان. مجله پژوهش‌های حفاظت آب‌و خاک، جلد هفدهم، شماره اول، ص ۶۱-۴۵.
- خسروشاهی، م. تقفیان، ب. ۱۳۸۴. تعیین حساسیت اثر برخی از عوامل مؤثر بر سیل خیزی زیر حوضه‌های آبریز با استفاده از تحلیل هیدروگراف خروجی حوضه و کاربرد
- مدل *HEC-HMS*. فصلنامه علمی - اقتصادی - اجتماعی سازمان جنگل‌ها و مراتع و آبخیزداری کشور. شماره ۶۷. ۲۸-۳۷.
- قنبرپور، م، مهدوی. و تلوری، ع.، ۱۳۷۹، مطالعه روابط بارندگی‌های حداکثر روزانه و کوتاه‌مدت در ایران، مجله پژوهش و سازندگی، شماره ۴۹، صص ۲۶-۲۲.
- یزدانی، م، م.، ۱۳۷۹، تخمین دیس حداکثر در حوضه‌های آبریز کوچک با استفاده از روش گرافیکی *SCS*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- Arnaud, P., C.Bouvier, , L.Cisneros, & R.Dominguez, (2001). Influence of rainfall spatial variability on flood prediction. *Journal of Hydrology*, 260: 216-230.
- Djordjevic, B. and S. Bruck. 1998 System Approach to the Selection of Priority Areas of Erosion Control With Implications of the Water Resources Subsystem, Proc. 4th Int. Sym. River Sedimentation Beijing, China , 1547-1554.
- Ewen, J. and Parkin, G. 1996. Validation of Catchment Models for Prediction Land Use and Climate Change Impacts: 1. Method, *Journal of Hydrology*, 175: 583-564.
- 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.
- Turcotte, R., J.P. Fortin, , A.N.Rousseau, , S.Massicotte & J.P.Villeneuve,(2000).
- Determination of the drainage structure of a watershed using a digital elevation model and digital river and lake network. *Journal of Hydrology*, 240: 225-242.
- US Department of Agriculture, Soil Conservation Service(USDA, SCS), 1972, *Hydrology, National Engineering Handbook, Section 4*.
- Wang, G.T. & S.Chen, (1995). A linear spatially distributed model for a surface rainfall- runoff system. *Journal of Hydrology*, 185: 183-198.
- Wanielista, M.P. 1990. *Hydrology and Water Quantity Control*, John Wiley & Sons , Inc, 565p