

تعیین مناطق سیل خیز حوضه آبریز قرنقو با استفاده از مدل هیدرولوژیکی مادکلارک و GIS

محمد همتی^۱، مهدی شهنازی^۲، حجت احمدی^۳، میثم سالاری جزی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۴/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۱۱

چکیده

مدیریت سیلاب نیازمند شناسایی مناطق سیل خیز حوضه آبریز و اولویت بندی آن‌ها می‌باشد. اکثر مطالعات در زمینه مدیریت سیلاب بر اساس کاربرد مدل‌های مفهومی - یکپارچه می‌باشد. این مدل‌ها در تشخیص مناطق سیل خیز در سطح حوضه دقت مناسبی ندارند و در بررسی توزیع مکانی مؤلفه‌های مؤثر در تشکیل رواناب با محدودیت مواجه هستند. هدف اصلی این تحقیق، تعیین شدت سیل و اولویت بندی مکانی مناطق با پتانسیل سیل خیزی بر اساس روش عکس‌العمل سیل واحد با استفاده از مدل هیدرولوژیکی توزیعی (مکانی) مادکلارک (ModClark) در حوضه آبریز قرنقو می‌باشد. در این مطالعه، با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، نقشه مدل ارتفاعی رقومی (DEM) با اندازه سلولی ۳۰ متری در محیط GIS تهیه شد. علاوه بر این نقشه شبکه بندی حوضه بر اساس شبکه استاندارد هیدرولوژیکی (SHG)، با استفاده از امکانات نرم افزار HEC-GeoHMS برای ورودی به نرم افزار HEC-HMS تهیه شد. به منظور انتخاب مقیاس شبکه بندی مناسب، از دو شبکه با ابعاد ۱×۱ و ۲×۲ کیلومتر استفاده شد. با اینکه نتایج مدل حاکی از دقت زیاد شبکه ۱×۱ کیلومتری در تفکیک مرزهای مناطق سیل خیز از یکدیگر می‌باشد؛ اما تفاوت چشمگیری با نتایج حاصل از شبکه بندی ۲×۲ کیلومتری ندارد. نتایج حاصل از این پژوهش، شبکه بندی یک کیلومتری را برای تعیین اولویت بندی سیل خیزی پیشنهاد می‌دهد. با اجرای مکرر مدل مادکلارک در سناریوهای مختلف، شاخص شدت سیل در حوضه به صورت مکانی استخراج گردید. با در نظر گرفتن شاخص شدت سیل، زیرحوضه آلمالوچای، به عنوان مؤثرترین زیر-حوضه در دبی اوج هیدروگراف خروجی شناخته شد.

واژه‌های کلیدی: مادکلارک، شاخص سیل خیزی، GIS، روش عکس‌العمل سیل واحد.

^۱ استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران: ۰۹۱۴۳۸۸۴۴۷۳، m.hemmati@urmia.ac.ir (مسئول مکاتبه)

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه ارومیه، ایران. ۰۹۱۴۷۷۲۵۲۴۷، mehdishahnazi62@yahoo.com

^۳ دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران: ۰۹۱۲۶۳۴۷۵۳۲، hojjat.a@gmail.com

^۴ استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

meysam.salarijazi@gmail.com: ۰۹۳۵۵۷۱۵۲۶۶

مقدمه

پدیده سیلاب به عنوان یک فرآیند طبیعی است که در اغلب موارد به عنوان پدیده ای مخرب شناخته شده و دارای تأثیرات مهم اجتماعی و اقتصادی است (Baldassarre et al., 2013). مطالعات بسیار متنوعی در زمینه برآورد سیلاب در حوضه های آبریز صورت گرفته است. بخش عمده ای از این مطالعات در زمینه کاربرد مدل های مختلف در برآورد هیدروگراف سیلاب در نقاط خروجی حوضه به منظور بررسی های مرتبط با مدیریت مخازن، طراحی سازه های هیدرولیکی، برنامه ریزی هیدرولوژیکی، مدیریت زیست محیطی و نیز برنامه ریزی های تأمین آب کشاورزی بوده است (Adib et al., 2010; Fan et al., 2015; Sikder et al., 2016). به علت محدودیت در دسترسی به داده های مختلف معمولاً برای برآورد هیدروگراف سیلاب از مدل های یکپارچه استفاده می شود که این مدل ها قادر به برآورد سیل در بخش های مختلف حوضه نمی باشند (Eidipour et al., 2016; Lee et al., 2015; Bae and Kim., 2015). بنابراین کاربرد این دسته از مدل ها منجر به دسترسی به اطلاعات محدود در زمینه مؤلفه تشکیل دهنده سیلاب در سطح حوضه می شوند (Adib et al., 2010; Adib et al., 2011). مطالعات مختلف بیانگر آنست که برای کاهش تهدیدات و خطرات سیل، باید مناطقی که دارای بیشترین تأثیر در تولید سیل در حوضه های آبریز هستند شناسایی و عملیات مهار سیل با توجه به اهمیت و پتانسیل این مناطق انجام شوند تا از خسارات ناشی از سیلابها کاسته شود (Bhatt et al., 2014; Naulin et al., 2014). برخی مطالعات در این زمینه بر اساس کاربرد مدل های آماری یا داده محور بوده است (Tehrany et al., 2012; Degiorgis et al., 2013). برخی تحقیقات در این زمینه بر کاربرد روش های تحلیل داده های مکانی تکیه داشته است (Wang et al., 2011; Papaioannou et al., 2015). چنین استفاده از مدل های شبیه سازی هیدرولوژیکی بارش - رواناب توزیعی و نیمه توزیعی همراه با شناخت ویژگی های

حوضه های آبخیز و اقلیم حاکم بر آنها از راهکارهای مطرح هستند که باید مورد توجه قرار بگیرند تا عرصه های سیل خیز شناسایی و ماهیت سیلاب های مخرب حوضه ها تعیین شوند (Aksoy et al., 2016). در زمینه کاربرد مدل های مختلف هیدرولوژیکی در برآورد سیلاب و تعیین مناطق سیل خیز تحقیقات مختلفی انجام شده که در ادامه به مواردی اشاره می شود. Knebl et al., 2005 در حوضه رودخانه سن آنتونیو در مرکز تگزاس ایالات متحده آمریکا اقدام به شبیه سازی سیلاب منطقه ای ناشی از رویداد تابستان ۲۰۰۲ با استفاده از داده های راداری بارش و نرم افزارهای HEC-HMS و GIS، نمودند. در این مطالعه از یک شبکه سلولی که با ابعاد شبکه بارش NEXRAD سازگار باشد، استفاده شد و شبیه سازی برای ۱۲ زیرحوضه انجام گردید. پارامترهای حوضه به صورت دستی واسنجی شدند و هیدروگراف استخراج شده از مدل بارش - رواناب HEC-HMS وارد مدل هیدرولیکی HEC-RAS گردید و مدل در حالت جریان ناپایدار برای شبکه کانال رودخانه اجرا شد. نتایج نشان داد که خطای ایجاد شده در مدل می تواند مربوط به پارامترهای فیزیکی مدل که در برآورد CN حوضه دخالت دارند، باشد. آنها نتیجه گیری نمودند که استفاده از یک روش فیزیکی مثل گرین-امپت که میزان نفوذ آب در خاک را بررسی می کند، می تواند صحت مدل را بهبود بخشد. Napradean and Chira., 2006 اقدام به مدل سازی هیدرولوژیکی و تهیه نقشه ی خطر سیل برای دره ی استوروی حوضه آبریز کوچک در نزدیکی بایاماری با استفاده از دو مدل WetSpa و HEC-RAS نمودند. با ترکیب دو مدل و استفاده نتایج خروجی از مدل هیدرولوژی WetSpa به عنوان ورودی مدل هیدرولیکی HEC-RAS نقشه ی پهنه ی خطر سیل را تهیه نمودند. Nikolova et al., 2009 از مدل توزیعی کینروس برای مدل سازی عوامل متفاوت موثر بر سیلاب استفاده کرده و استفاده از مدل توزیعی به همراه RS و GIS را ابزاری کارآمد در مدل سازی مؤلفه های سیل

نقشه‌های رقومی ۱:۴۰۰، آمار دبی ایستگاه طالقانرود، اطلاعات مربوط به ویژگی پل‌های منطقه، ویژگی‌های مورفولوژی بستر و مقاطع عرضی که طی عملیات میدانی جمع‌آوری شده، استفاده نمودند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که از کل مساحت در قلمرو سیل ۲۰۰ ساله حدود ۱۶/۸۸ درصد مستعد سیل‌گیری توسط سیل‌های با دوره بازگشت ۲۵ سال و کمتر از آن است، که بخش زیادی از اراضی کشاورزی و بخشی از سکونتگاه‌ها را شامل می‌شود. محمدی مطلق و همکاران (۱۳۹۲) با تلفیق GIS و نرم افزار HEC-HMS میزان مشارکت زیر حوضه‌های بالادست ایستگاه آب‌سنجی چپ چیت واقع در حوضه آبریز دالکی (از زیرحوضه‌های خلیج فارس و دریای عمان) در سیل خروجی کل حوضه بر اساس دوره بازگشت‌های ۲، ۵۰ و ۱۰۰ ساله تعیین کردند. بررسی مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که در برآورد مکان‌های سیل خیز در سطح حوضه و نیز در مجاورت رودخانه‌ها از رویکردهای مختلفی استفاده شده است. در مطالعات صورت گرفته بر مبنای کاربرد مدل‌های هیدرولوژیکی عمده تلاش‌ها بر اساس کاربرد مدل‌های یکپارچه بوده است که این مدل‌ها در تعیین توزیع مکانی نواحی سیل خیز دارای محدودیت ذاتی می‌باشند. با توجه به این موضوع هدف این مطالعه شبیه‌سازی دبی اوج سیل و همچنین بررسی شدت سیل خیزی حوضه آبریز قرنقو در استان آذربایجان شرقی با استفاده از مدل هیدرولوژیکی مادکلارک و GIS می‌باشد که کاربرد این مدل هیدرولوژیکی توزیعی در بستر GIS موجب می‌شود امکان تعیین توزیع مکانی مؤلفه‌های تأثیر گذار در دبی اوج در این حوضه فراهم شود. همچنین به طور خاص در این بررسی ابتدا زیرحوضه بر حسب شدت سیل خیزی اولویت بندی می‌شوند و سپس در مؤثرترین زیرحوضه در تولید سیلاب نواحی مستعد سیل به طور مجزا تعیین می‌گردند.

معرفی کرده‌اند. Manfreda et al. 2011 با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی و نیز تعریف یک شاخص توپوگرافیکی اصلاح شده نشان داده‌اند که مناطقی که به عنوان مناطق سیل خیز با در نظر گرفتن حد آستانه برای شاخص مورد نظر تعیین شده‌اند تطابق مناسبی با نتایج حاصل از کاربرد شبیه‌سازی‌های هیدرولیکی دارد. تحقیق مذکور توسط Manfreda et al. 2011 با در نظر گرفتن کلاسیفیر باینری خطی و روش هیدرو-ژئومورفیک و با در نظر گرفتن حوضه رودخانه تیر در ایتالیا توسعه داده شد. Divín & Mikita., 2016 با استفاده از نرم افزار HEC-HMS تحت سناریوهای مختلف به شبیه‌سازی سیلاب در حوضه استاروزوبرسکی در جمهوری چک پرداخته و کارایی این مدل را در مطالعه خود گزارش کرده‌اند. Mandal & Chakrabarty (2016) با استفاده از نرم افزارهای HEC-HMS و HEC-RAS و نیز GIS به بررسی مناطق موثر در تولید رواناب در حوضه تیر در هند پرداخته و نشان داده‌اند که کدام قسمت‌های حوضه مورد نظر به ترتیب اولویت در ایجاد سیلاب موثر می‌باشد. همچنین در این زمینه در ایران نیز تحقیقاتی صورت گرفته که موارد ذیل از آن جمله می‌باشد. الوان کار (۱۳۸۲) در مطالعه خود مدل توزیعی شبیه‌سازی سیل بر اساس GIS را مورد توجه قرار داده و به بررسی تأثیر اندازه سلول در هیدروگراف حاصل از بارش حوضه کن پرداخته و از روش نفوذ SCS جهت محاسبه تلفات و از مدل مادکلارک برای ایجاد هیدروگراف سیل استفاده کرده است. در این تحقیق برنامه‌ای نیز به زبان ویژوال بیسیک برای اجرای مدل مادکلارک ارائه شده است. در این تحقیق تأثیر عواملی مانند اندازه سلول‌های محاسباتی، تأثیر توزیع مکانی بارش و ... بر محاسبه دبی سیلاب مورد توجه قرار گرفت. یمانی و همکاران (۱۳۹۱) در بازه‌های به طول ۵/۶ کیلومتر از بستر رودخانه طالقانرود از پل گلینک تا پل وشته در بالادست محل سد طالقان، اقدام به تعیین پهنه‌های سیلگیر در دوره بازگشت‌های ۲ تا ۲۰۰ ساله با استفاده از مدل HEC-RAS و الحاقیه HEC GeoRAS- نمودند. به این منظور از

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیائی منطقه: حوضه آبریز قرنقو

محدوده مورد مطالعه این تحقیق می‌باشد که در جنوب غربی استان آذربایجان شرقی با مساحت تقریبی ۳۵۹۰ کیلومتر مربع در طول جغرافیایی ۲۷° تا ۴۶° و عرض جغرافیایی ۲۹° تا ۳۶° شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). در این تحقیق با لحاظ نمودن ایستگاه هیدرومتری



شکل (۱): موقعیت جغرافیائی منطقه

داده‌های ورودی مدل ریاضی به صورت کمی در می‌آیند. سپس با حذف متوالی اثر مناطق مختلف حوضه و با تجزیه و تحلیل هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده در خروجی حوضه میزان تأثیر و مشارکت کمی مناطق تعیین می‌گردد. نتیجه این تحقیق منتهی به تفکیک و اولویت بندی مناطق حوضه در تولید دبی حداکثر سیلابی در محل خروجی کل حوضه می‌گردد و اولویت اجرای طرح‌های کنترل سیل نیز قابل تعیین است. در این تحقیق از نرم افزار HEC-HMS جهت اجرای مدل مادکلارک استفاده شد.

HEC-HMS و مدل توسعه یافته ماد کلارک:

در این تحقیق از سیستم مدل سازی هیدرولوژی HEC-HMS برای شبیه‌سازی هیدرولوژیکی دبی اوج هیدروگراف سیل بر اساس مدل مادکلارک استفاده شده است. شبیه‌سازی حوضه‌های آبخیز در HEC-

کلیات روش انجام تحقیق: مطالعات فیزیوگرافی

در شناخت، برنامه‌ریزی و مدیریت حوضه‌های آبریز نقش اساسی دارد. زیرا دیگر مطالعات همچون فرسایش و رسوب، هیدرولوژی، هواشناسی و ... بدان وابسته است و بیشتر پارامترهایی که در شناخت فیزیوگرافیک حوضه حاصل می‌شود در فرمول‌ها و روابط تجربی مورد استفاده می‌باشند. در این تحقیق نیز استخراج خصوصیات فیزیوگرافی حوضه آبریز قرنقو که جزء ملزومات برای درک رفتار حوضه آبریز می‌باشد، استخراج گردید. روش تحقیق طرح مبتنی بر استفاده از روش توسعه یافته ماد کلارک (ModClark) در محیط HEC-HMS جهت شبیه‌سازی دبی اوج هیدروگراف سیل خروجی در حوضه آبخیز قرنقو می‌باشد. در این روش عوامل موثر بر تولید رواناب و سیل در سطح سلول شناسایی و در قالب

تمرکز (Tc) و ضریب ذخیره (R) حوضه می‌باشند. نکته مهم در تهیه فایل شبکه‌بندی حوضه، فایل بارش شبکه بندی شده و فایل شماره منحنی شبکه بندی شده اینست که بایستی اولاً تمامی آن‌ها در سیستم مختصات استاندارد هیدرولوژیکی معرفی شده توسط HEC یعنی SHG تهیه شده و ثانیاً فایل بارش شبکه-بندی شده و فایل شماره منحنی شبکه‌بندی شده به فرمت HEC-DSS ذخیره شده باشند.

واسنجی و صحت‌سنجی مدل در حوضه:

این مطالعه جهت انجام واسنجی و صحت‌سنجی مدل، هیدروگراف تمامی سیلاب‌های قابل دسترس مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت به علت محدودیت دسترسی به داده‌های کافی و مناسب، یک واقعه برای واسنجی و یک واقعه جهت صحت‌سنجی مدل انتخاب شدند. جدول شماره ۱ مشخصات وقایع انتخاب شده جهت واسنجی و صحت‌سنجی مدل را نشان می‌دهد.

جدول (۱): مشخصات هیدروگراف‌های استفاده شده در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی

نام حوضه	تاریخ وقوع سیل	دبی اوج (m ³ /s)	مرحله استفاده شده
قرنقو	۸۴/۱/۲۷	۲۳۷	واسنجی
	۸۴/۲/۲۶_۲۵	۹۰/۳	صحت‌سنجی

باشد و هر چه تفاوت با مقدار یک بیشتر باشد عدم تطابق دبی اوج هیدروگراف‌های مشاهداتی و محاسباتی بیشتر می‌باشد.

معیار شدت سیل خیزی حوضه: برای بررسی

میزان تأثیر گذاری زیرحوضه‌ها در دبی اوج خروجی حوضه و اولویت سیل خیزی زیرحوضه‌ها از دو شاخص زیر استفاده گردید.

شاخص F: بر اساس این شاخص میزان کاهش در

دبی اوج خروجی بدون منظور نمودن مساحت زیرحوضه‌ها بررسی می‌شود. مقدار شاخص F مطابق رابطه زیر محاسبه شد.

$$F_i = \frac{\Delta Q_i}{Q_p} * 100 \quad (2)$$

HMS توسط سه مؤلفه اساسی به نام‌های مدل حوضه (Basin Model)، مدل هواشناسی (Meteorological Model) و مشخصه‌های کنترل (Specifications Control) انجام می‌گیرد. خواص فیزیکی حوضه آبریز، زیرحوضه‌ها، رودخانه‌ها و تأسیسات وابسته به آن در مدل حوضه معرفی می‌گردند. در مدل هواشناسی به تعریف داده‌های هواشناسی بارندگی و تبخیر و تعرق پرداخته شده و کنترل محدوده زمانی شبیه‌سازی‌ها توسط مؤلفه کنترل انجام می‌گردد. در این نرم افزار پس از آنکه مدل‌های حوضه و هواشناسی و همچنین مشخصه‌های کنترل وارد شدند انجام محاسبات هیدرولوژیکی آغاز شده و نتایج در قالب جداول و نمودار به کاربر ارائه می‌گردد. اهم داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز برای اجرای مدل مادکلارک در محیط HEC-HMS شامل فایل شبکه بندی حوضه، فایل شبکه بندی بارش (Gridded Precipitation)، فایل شماره منحنی (CN) شبکه بندی شده (Gridded SCS Curve Number)، زمان

ارزیابی خطا: عموماً کارائی یک مدل به وسیله

توابع هدف یا با مشاهده و مقایسه بصری هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده تعیین می‌شود. در این تحقیق به منظور ارزیابی و بررسی میزان خطا بین هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده از معیار e_p (رابطه ۱) استفاده به عمل آمد.

$$ep = \frac{Q_{p-s} - s}{Q_{p-obs}} \quad (1)$$

که در آن Q_{p-s} دبی اوج هیدروگراف شبیه‌سازی و Q_{p-obs} دبی اوج هیدروگراف مشاهده‌ای می‌باشد.

در این رابطه، e_p برابر یک نشان دهنده برابر بودن دبی اوج هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی می‌-

شبکه هیدروگرافی استخراج شد. نقشه‌ها به فرمت GIS تهیه شده و بخاطر وسعت محدوده بر اساس سیستم تصویر UTM آماده گردیدند. در این مرحله چهار زیر حوضه به نام‌های آلمالوچای، قرنقوچای، کلفان چای و شورچای استخراج شد که در شکل (۲) - الف) نقشه حوضه و زیر حوضه‌های مذکور نشان داده شده است. پس از تعیین مرز حوضه و زیرحوضه‌های آن، نقشه مدل رقومی زمین (DEM) با اندازه سلول ۳۰ متری با استفاده از خطوط میزان ۱۰ متری ایجاد و مشخصات عمومی حوضه مانند مساحت، محیط، طول آبراهه‌ها، پارامترهای ارتفاعی و ... استخراج شدند. در بالادست حوضه، ارتفاعات بلند با شیب‌های تند و در پایین‌دست، نواحی نسبتاً پست قرار دارند. ارتفاع متوسط حوضه حدود ۱۹۳۴ متر از سطح دریای آزاد و حداقل و حداکثر ارتفاع به ترتیب برابر ۱۵۲۰ و ۳۶۲۰ متر در ارتفاعات می‌باشد. متوسط شیب حوضه ۱۵/۴ درصد و حداقل و حداکثر آن به ترتیب ۲ و ۱۴۵ درصد محاسبه شده است. زیرحوضه آلمالوچای با شیب متوسط ۱۷/۸۳ درصد و زیرحوضه شورچای با شیب متوسط ۱۱/۶۴ درصد به ترتیب حداکثر و حداقل شیب حوضه را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۲-ب). بر اساس منحنی ارتفاعی نیز بیشترین سطح حوضه در ارتفاعی بین ۱۷۰۰ تا ۱۹۰۰ متر واقع شده است. جدول ۲ مشخصات فیزیوگرافی زیر حوضه‌های منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

در این رابطه F_i درصد کاهش دبی اوج خروجی با حذف زیرحوضه i ام، ΔQ_i تغییر دبی اوج خروجی حوضه با حذف زیر حوضه i ام (m^3/s) و Q_p دبی اوج خروجی حوضه بدون حذف هیدروگراف زیرحوضه است (m^3/s).

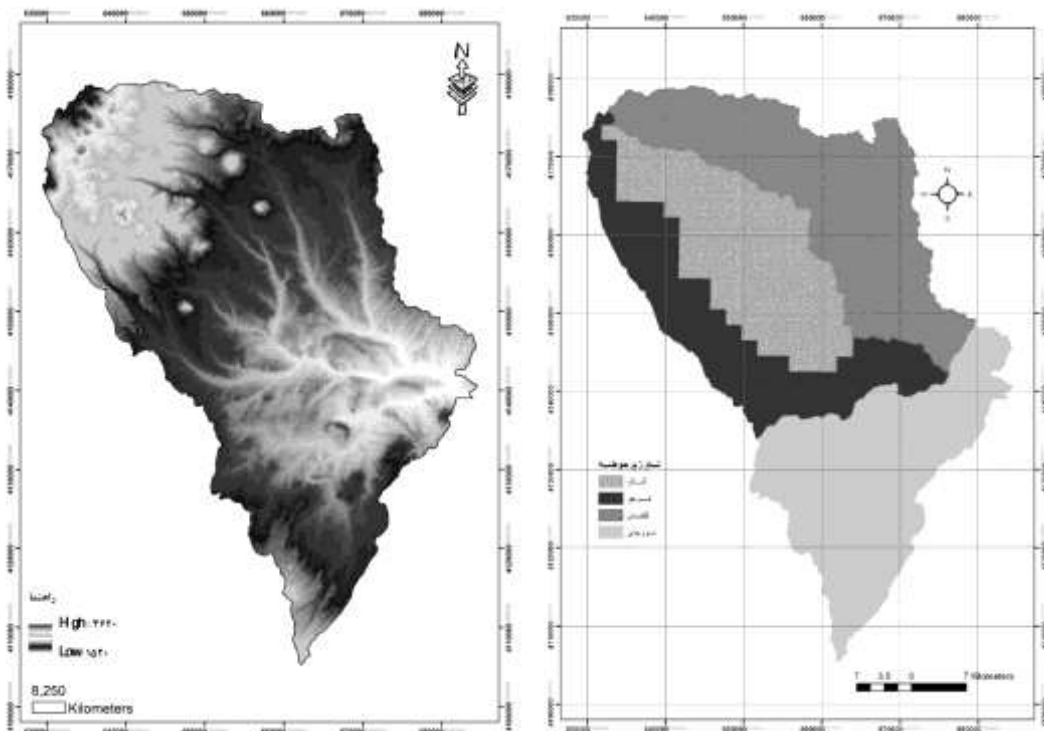
شاخص f : در این شاخص میزان کاهش در دبی اوج خروجی با در نظر گرفتن مساحت زیرحوضه‌ها تعیین می‌شود. مقدار شاخص f مطابق رابطه زیر محاسبه شد.

$$f_i = \frac{\Delta Q_i}{A_i} \quad (3)$$

که در آن f_i شاخص سیل خیزی حوضه i ام با در نظر گرفتن مساحت آن ($m^3/s.km^2$)، ΔQ_i تغییر دبی اوج خروجی حوضه با حذف زیر حوضه i ام (m^3/s) و A مساحت زیرحوضه i ام (km^2) می‌باشد.

نتایج و بحث

نتایج بررسی مشخصه های فیزیکی حوضه: خصوصیات فیزیوگرافی یک حوضه آبخیز مانند اندازه، شکل، طول آبراهه و سایر پارامترها در ایجاد رواناب و سیل‌خیزی حوضه نقش مهمی را ایفا می‌نمایند؛ بطوریکه حتی در شبیه‌سازی‌های بارش-رواناب نیز هر یک از پارامترها به نحوی در مدل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این تحقیق ابتدا با استفاده از موزائیک نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، نقشه مرز حوضه و زیرحوضه‌های اصلی در محل ایستگاه هیدرومتری چپنی با لحاظ نمودن خطوط میزان و



شکل (۲): الف) حوضه قرنقو و زیرحوضه‌های آن و ب) نقشه طبقات ارتفاعی حوضه

جدول (۲): مشخصات فیزیوگرافی زیر حوضه‌های منطقه مورد مطالعه

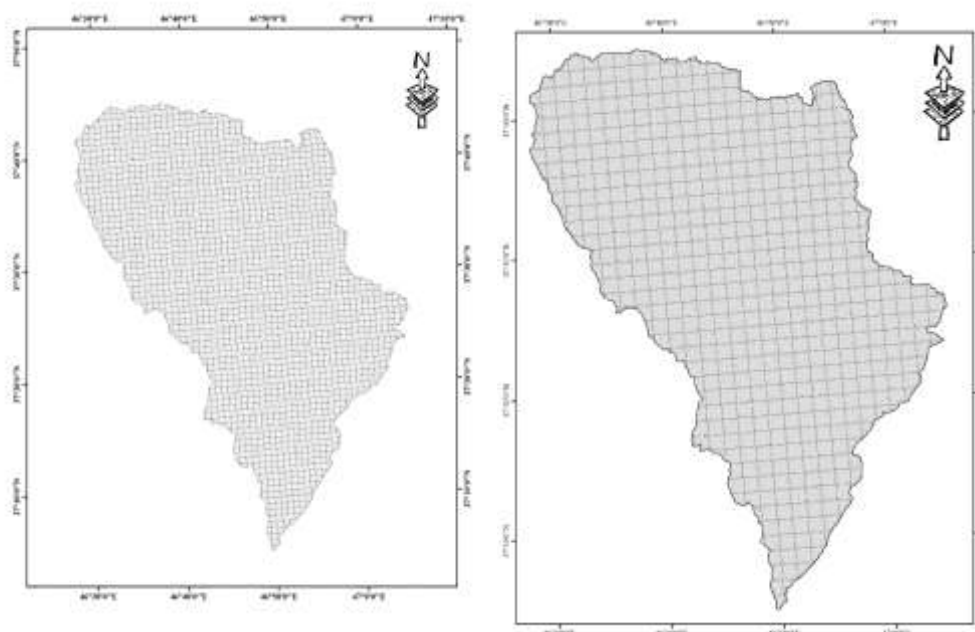
نام زیر حوضه	مساحت (Km ²)	محیط (km)	ارتفاع متوسط (متر)	حداکثر ارتفاع (متر)	حداقل ارتفاع (متر)	طول آبراهه (کیلومتر)	ضریب شکل	شیب متوسط (%)
آلمالوچای	۴۴۹	۱۲۳/۱۸۷	۲۰۱۴	۳۲۸۰	۱۵۲۰	۵۴۱/۷۶۹	۰/۲۴	۱۷/۸۳
قرنقوچای	۴۱۶	۱۸۲/۲۹۷	۱۹۸۹	۳۵۲۰	۱۵۴۰	۵۷۸/۹۴۹	۰/۱۳	۱۷/۳۹
کلفان چای	۶۰۳	۱۸۷/۳۷۶	۱۹۷۲	۳۶۲۰	۱۵۴۰	۹۲۹/۲۷۶	۰/۲۹	۱۵/۲۸
شورچای	۵۷۹	۱۷۶/۱۵۶	۱۷۸۴	۲۳۴۹	۱۵۲۰	۶۸۰/۱۹۳	۰/۳۶	۱۱/۶۴
کل حوضه	۲۰۴۷	۳۲۵/۵	۱۹۳۴	۳۶۲۰	۱۵۲۰	۲۷۳۰/۱۸۷	۰/۵۲	۱۵/۲۴

به این شبکه در فایلی بنام فایل پارامترهای شبکه ذخیره شود. برای ایجاد شبکه حوضه بطور خودکار می‌توان از نرم افزارهای GIS استفاده نمود. در این تحقیق از نرم افزار اختصاصی HEC-GeoHMS که بر روی Arc GIS نصب می‌شود استفاده شده است. اولین قدم در ایجاد شبکه حوضه، ایجاد مدل ارتفاعی رقومی (DEM) حوضه می‌باشد. برای این منظور کنتورهای نقشه‌های توپوگرافی پوششی در مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ حوضه استخراج و پس از اعمال تصحیحات لازم، با استفاده از روش Contour Interpolation، نقشه DEM حوضه با ابعاد سلولی

تهیه ورودی‌های مورد نیاز مدل: از آنجائی که در این تحقیق در شبیه سازی بارش - رواناب از روش بارش شبکه‌ای استفاده شده است، از گراف‌های ایستگاه‌های ثبات هشترود، قره آغاج، بستان آباد و مراغه، شدت‌های یک ساعته بارش استخراج و در تهیه نقشه بارش شبکه بندی شده استفاده گردید. لایه شبکه بارش، لایه شبکه‌بندی و شماره منحنی، زمان تمرکز (Tc) و ضریب ذخیره (R) از جمله داده‌های مورد نیاز برای اجرای مدل مادکلارک می‌باشد. جهت استفاده از مدل مادکلارک در HEC-HMS لازم است یک شبکه برای حوضه تعریف شده و اطلاعات مربوط

نیز ایجاد گردید. شکل ۳ نقشه شبکه‌بندی حوضه در ابعاد 1×1 و 2×2 کیلومتری را نمایش می‌دهد. پس از ایجاد شدن شبکه حوضه و اضافه نمودن المان‌های هیدرولوژیکی بر روی شبکه حوضه، تمامی لایه‌ها به صورت یک پروژه HEC-HMS ذخیره گردید. این فایل بعداً در محیط HEC-HMS جهت افزودن مدل‌های هواشناسی و مشخصه‌های کنترل و در نهایت اجرای مدل مادکلارک استفاده گردید.

30×30 متر تهیه شد. سپس با استفاده از DEM ساخته شده در محیط ArcGIS و HEC-GeoHMS به استخراج زیرحوضه‌ها، آبراهه‌ها و پارامترهای فیزیکی حوضه اقدام و در نهایت حوضه مورد مطالعه در محل خروجی به صورت یک پروژه (Project) HEC-GeoHMS استخراج گردید. نهایتاً با استفاده از امکانات HEC-GeoHMS شبکه حوضه بر اساس شبکه استاندارد هیدرولوژیکی (SHG) با ابعاد سلولی 2×2 کیلومتر ساخته شد و فایل پارامترهای شبکه



شکل (۳): نقشه شبکه‌بندی حوضه مورد مطالعه در ابعاد: الف) 1×1 و ب) 2×2 کیلومتر

انتخاب و مقدار کمی بهترین برازش با استفاده از معیار خطای e_p مورد ارزیابی قرار گرفت و در نهایت مناسب‌ترین برازش انتخاب گردید. جدول (۳) مقادیر معیار خطای e_p محاسبه شده را نشان می‌دهد.

واسنجی پارامترهای هیدرولوژیکی حوضه:

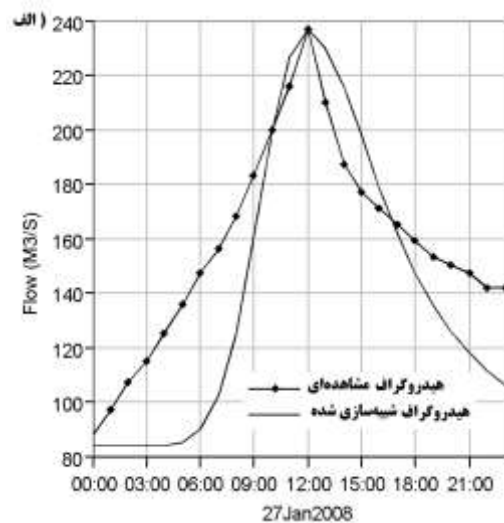
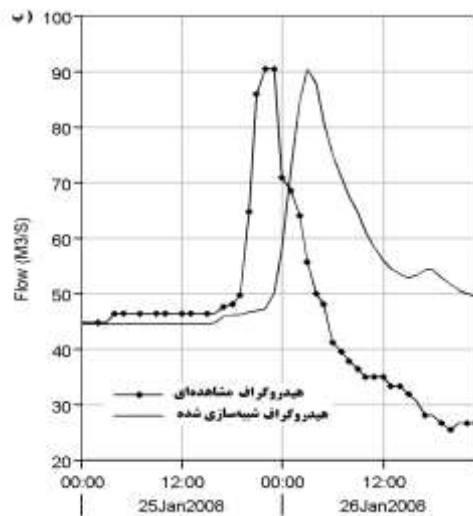
فرایند واسنجی به روش تصحیح مکرر پارامترهای هیدرولوژیکی و محاسبه بهترین برازش بین هیدروگراف‌های محاسبه شده و مشاهده شده انجام گرفت (Foody et al., 2004). در این فرآیند بهترین برازش شامل شرایطی بود که مقدار خطای حاصل از اختلاف در دبی اوج هیدروگراف‌های محاسبه‌ای و مشاهده‌ای به حداقل برسد. در این تحقیق دو واقعه

جدول (۳): نتایج معیار خطا در هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی

نام حوضه	نام ایستگاه هیدرومتری	تاریخ وقوع	دبی اوج (مشاهداتی) (m^3/s)	دبی اوج شبیه‌سازی شده (m^3/s)	مرحله	e_p
قرنقو	چپنی	۸۴/۱/۲۷	۲۳۷	۲۳۵/۳	واسنجی	۰/۹۹
		۸۴/۲/۲۵ و ۲۶	۹۰/۳	۹۰/۱	صحت‌سنجی	۰/۹۹

و مشاهده‌ای را در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی نشان می‌دهد. با توجه به این که سیل‌خیزی حوضه مورد مطالعه هدف تحقیق حاضر می‌باشد (دبی اوج)، لذا شبیه‌سازی بدنه هیدروگراف چندان دارای اهمیت نمی‌باشد. بهر حال مشخص است الگوی هیدروگراف مشاهداتی به خوبی توسط هیدروگراف شبیه‌سازی شده بازتولید شده است.

همان‌طوری که جدول ۳ نشان می‌دهد مقدار معیار خطا برای هر دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی نزدیک عدد یک بدست آمده و نشان دهنده تطابق بین دبی اوج هیدروگراف‌های محاسبه‌ای و مشاهده‌ای می‌باشد. در این مرحله پس از تصحیحات مکرر و اجرای مدل، زمان تمرکز حوضه برابر ۸ ساعت، ضریب ذخیره ۴/۸ ساعت و نسبت نگهداشت سطحی اولیه ۰/۱۷ منظور شد. شکل ۴ هیدروگراف‌های شبیه‌سازی



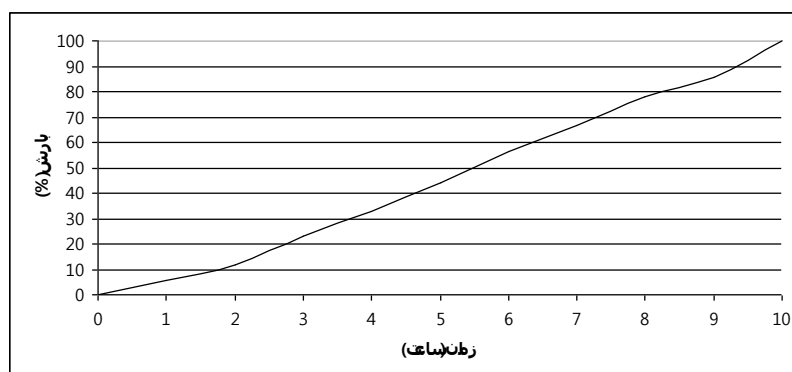
$$ATc = 8 \text{ h} \quad R = 0.48 \quad I = 0.17$$

شکل (۴): مقایسه هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی الف) در مرحله واسنجی حوضه قرنقو در تاریخ ۸۴/۱/۲۷ و ب) در مرحله صحت‌سنجی حوضه قرنقو در تاریخ‌های ۸۴/۲/۲۵ و ۸۴/۲/۲۶

پارامترهای هیدرولوژیکی حوضه مورد مطالعه انجام شد، با استخراج بارش طرح بر اساس منحنی‌های شدت - مدت - فراوانی ایستگاه باران سنجی هشتروود (وزیری، ۱۳۷۰) مرحله تعیین شدت سیل‌خیزی آغاز گردید. مطابق منحنی‌های مذکور عمق و شدت

برآورد توزیع مکانی و زمانی بارش طراحی حوضه: به طور مشخص بارش طراحی به شکل کاملاً موثر بر برآورد سیلاب موثر می‌باشد (Arnaud et al., 2002). پس از اینکه مراحل واسنجی و صحت‌سنجی

بارش سالانه بر میانگین بارش سالانه کل حوضه تقسیم و در نهایت نقشه درصد بارش دریافتی برای هر سلول نسبت به مقدار میانگین سالانه بدست آمد. جهت بدست آوردن توزیع زمانی بارش طرح از هیتوگراف‌های ثبت شده در ایستگاه ثبات هشت‌رود که حدوداً ۱۰ ساعت بودند استفاده گردید. شکل ۵ منحنی توزیع زمانی بارش ۱۰ ساعته را برای حوضه قرنقو نشان می‌دهد.



شکل (۵): منحنی معرف توزیع زمانی بارندگی ۱۰ ساعته

می‌گردد که زیرحوضه آلمالوچای با داشتن بالاترین مقدار شاخص f از پتانسیل سیل خیزی بالایی برخوردار بوده و سیل خیزترین زیرحوضه شناخته شد و پس از آن زیرحوضه‌های قرنقوچای، کلکان چای و شورچای به ترتیب در رتبه‌های دوم، سوم و چهارم قرار گرفتند. در رابطه با تفسیر نتایج حاصل، بررسی‌های مطالعه حاضر نشان دادند که پتانسیل سیل خیزی زیرحوضه‌ها با عامل شیب ارتباط مستقیم داشته و سیل خیزترین زیرحوضه دارای بیشترین شیب بوده و در زیرحوضه‌های با شیب کمتر پتانسیل سیل خیزی پایین می‌باشد. ضریب همبستگی محاسبه شده بین عامل شیب و f نیز برابر $0/۸۶$ بوده که تأیید کننده ارتباط قوی بین این دو عامل می‌باشد. در بین زیرحوضه‌های بررسی شده، زیرحوضه آلمالوچای دارای بیشترین شیب می‌باشد (شیب متوسط برابر $۱۷/۸۳$ درصد). در مطالعه حاضر با بررسی ارتباط پوشش گیاهی زیرحوضه آلمالوچای و سیل خیزی آن، مشخص گردید که حدود ۲۶ درصد از مساحت این زیرحوضه جزء مراتع نیمه متراکم می‌باشد که این آمار در

بارندگی برای دوره برگشت ۱۰۰ ساله با تداوم معادل زمان تمرکز حوضه به ترتیب برابر ۲۳۲ میلیمتر و $۲۳/۲$ میلیمتر بر ساعت استخراج شد. برای توزیع مکانی بارش طرح نیز از رابطه همبستگی بین ارتفاع و عمق بارش سالانه حوضه استفاده شد. برای این منظور ابتدا نقشه DEM حوضه تهیه شده و سپس بر اساس رابطه ارتفاع - بارش نقشه توزیع مکانی بارش سالانه برای هر سلول استخراج شد. سپس نقشه توزیع مکانی

پس از تعیین شدن توزیع مکانی و زمانی بارش طراحی حوضه، مرحله بعدی تعیین شدت سیل خیزی در حوضه مورد مطالعه می‌باشد. در این مرحله با اعمال بارش طراحی روی حوضه، هیدروگراف خروجی با مدل مادکلارک توزیعی شبیه‌سازی گردید. روش کار در این مرحله شامل حذف متوالی مناطق زیر حوضه‌ها و اجرای مدل جهت مشخص نمودن تاثیر زیر حوضه‌ها روی هیدروگراف خروجی کل حوضه می‌باشد.

برآورد شدت سیل خیزی زیرحوضه‌ها و نقشه

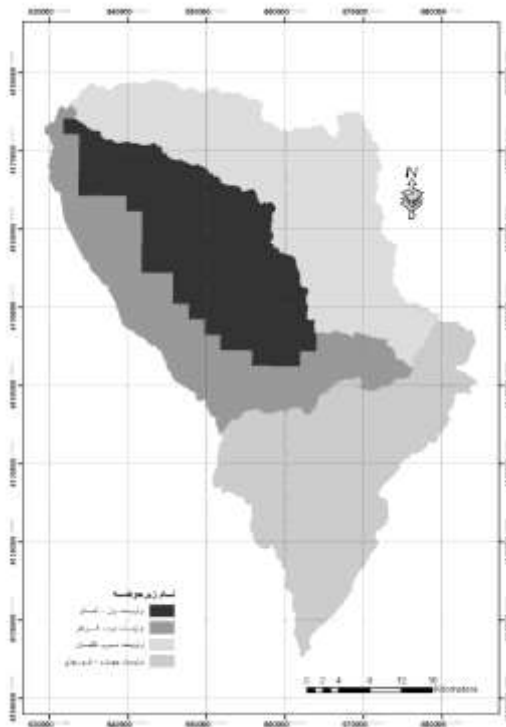
پهنه‌بندی سیل خیزی: پس از واسنجی پارامترهای هیدرولوژیکی در حوضه مورد مطالعه، تعیین شدت سیل خیزی زیرحوضه‌ها با روش حذف اثر هر یک از مناطق زیرحوضه‌ها صورت گرفت. در این مطالعه جهت تعیین شدت سیل خیزی، از شاخص‌های f و F استفاده شد که نتایج حاصله در جدول ۴ ارائه شده است. همچنین زیر حوضه‌ها بر اساس شاخص f رتبه‌بندی شده و نقشه اولویت بندی سیل خیزی حوضه تهیه گردید. با توجه به جدول ۴ و شکل ۶، ملاحظه

مقایسه نتایج حاصل با مشاهدات میدانی ثبت شده در حوضه آبخیز قرنقو نشان داد که پراکنش مکان‌های خسارت دیده ناشی از سیل در حوضه با نقشه تولید شده در این تحقیق کاملاً مطابقت داشته به طوری که در ۳۰ سال گذشته فراوانی وقوع سیل در زیرحوضه های آلمالوچای و قرنقوچای بیشتر از سایر زیرحوضه‌ها بوده و بیشترین خسارات جانی و مالی در این زیرحوضه‌ها ثبت شده‌اند. (مهندسین مشاور بوم آباد، ۱۳۷۸).

مقایسه با سایر زیرحوضه بیشترین مقدار است. در واقع سطح خاک این زیرحوضه بین ۲۵ الی ۵۰ درصد بدون پوشش بوده و این موضوع بر پتانسیل سیل خیزی این زیرحوضه می‌افزاید. بررسی‌های زمین شناسی در رابطه با سیل خیزی زیرحوضه آلمالوچای نشان دادند که در این زیرحوضه بیشترین گسترش (حدود ۸۰ درصد) مربوط به برون زده‌های آذرین بیرونی به خصوص داسیت و ریوداسیت معادل دوره میوسن می‌باشد و این شرایط، پایین بودن نفوذپذیری و بالا بودن پتانسیل تولید رواناب در این زیرحوضه را توجیه‌پذیر می‌نماید.

جدول (۴): میزان تأثیر زیرحوضه‌ها بر روی هیدروگراف سیل خروجی بر اساس بارش طرح

اولویت بندی براساس f	شاخص سیل خیزی f ($m^3/s.km^2$)	اولویت بندی براساس F	شاخص سیل خیزی F (%)	دبی اوج با حذف زیرحوضه (m^3/s)	مساحت (km^2)	نام زیرحوضه
۱	۵/۵۴	۳	۲۳/۵۸	۸۰۷۴/۵	۴۴۹	آلمالوچای
۲	۵/۲	۴	۲۰/۵۰	۸۳۹۹/۲	۴۱۶	قرنقوچای
۳	۵	۱	۲۸/۵۶	۷۵۴۸/۵	۶۰۳	کلقان چای
۴	۴/۸۵	۲	۲۶/۶۴	۷۷۵۰/۵	۵۷۹	شورچای

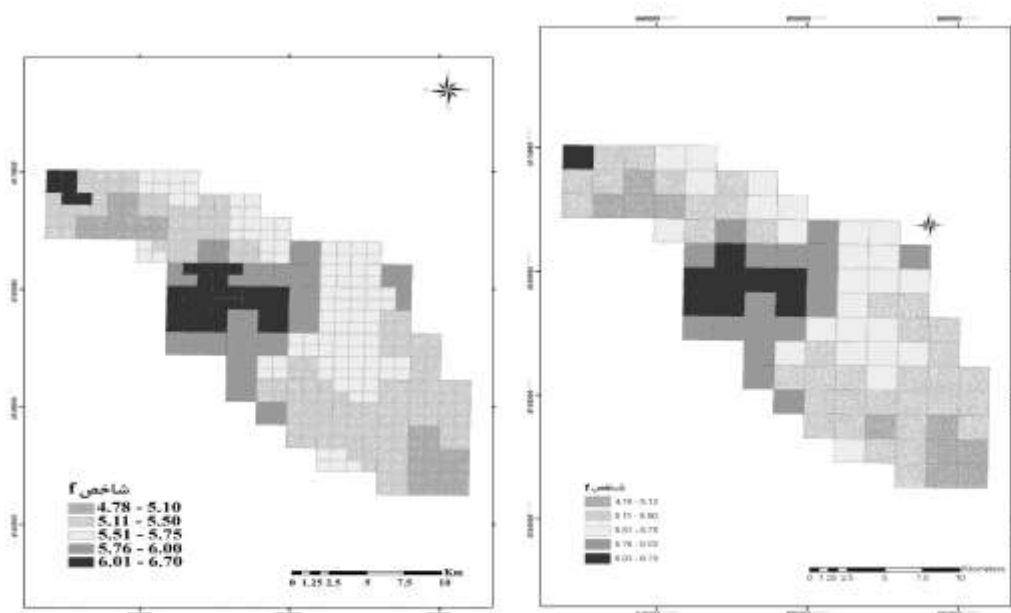


شکل (۶): نقشه اولویت بندی سیل خیزی زیرحوضه‌های حوضه آبخیز قرنقو

این مناطق عمدتاً در اراضی روستاهای دوشدور، مجیدآباد، گرگر و سراسکندر علیا زیرحوضه آلمالوچای واقع شده‌اند. با توجه به شکل ۷ مشاهده می‌شود که در تقسیم‌بندی یک کیلومتری مرزهای مناطق سیل-خیز به صورت دقیق‌تری در مقایسه با تقسیم‌بندی دو کیلومتری تفکیک شده است. اما با دقت در جدول ۵ می‌توان چنین استنباط کرد که تقسیم‌بندی دو کیلومتری و یک کیلومتری تا حدودی نتایج نزدیک به هم داشته و با توجه به اینکه هرچقدر تقسیم‌بندی حوضه از نظر ابعادی کوچک‌تر می‌شود زمان مورد نیاز و هزینه اجرای مدل افزایش می‌یابد، بنابراین می‌توان نتایج حاصل از شبکه‌بندی دو کیلومتری را نیز به عنوان مبنای قضاوت مناطق سیل‌خیزی پذیرفت. در تقسیم‌بندی یک و دو کیلومتری بیشترین درصد مساحت مربوط به شاخص f با محدوده $۵/۵۰-۵/۱۱$ می‌باشد. همچنین بیشترین مقدار شاخص f در دو مقیاس یک و دو کیلومتری مساحتی به ترتیب $۱۰/۱۱$ و $۹/۲۸$ درصد از حوضه را اشغال کرده است.

برآورد شدت سیل خیزی بلوک‌های حوضه:

به منظور شناسایی واحدهای سلولی که بیشترین تأثیر را در دبی اوج هیدروگراف خروجی دارند تک تک سلول‌های واقع در سیل‌خیزترین زیرحوضه (آلمالوچای) حذف و عمل شبیه‌سازی دبی اوج سیل با استفاده از مدل مادکلارک و بارش طرح ۱۰۰ ساله انجام شد. در این مرحله با توجه به تعداد سلول‌های زیرحوضه آلمالوچای مدل با تکرارهای فراوان اجرا و میزان کاهش در دبی اوج هیدروگراف خروجی بر اثر حذف هر یک از سلول‌های زیرحوضه آلمالوچای محاسبه و مؤثرترین سلول‌ها بر اساس شاخص f شناسایی گردیدند. در شکل ۷ نقشه توزیعی سیل‌خیزی تهیه شده بر اساس شاخص f در دو ابعاد ۱×۱ و ۲×۲ کیلومتری نمایش داده شده است. در این نقشه نواحی با رنگ قرمز نشان دهنده مناطقی از زیرحوضه آلمالو هستند که دارای بالاترین مقدار شاخص f بوده و بیشترین تأثیر را در دبی اوج هیدروگراف خروجی حوضه دارند. با روی هم گذاری این نقشه و نقشه توپوگرافی حوضه، مشخص شد که



شکل (۷): نقشه توزیعی سیل خیزی در زیرحوضه آلمالوچای برای بارش طرح مطابق شاخص f ؛ الف) در سلول‌های ۱×۱ کیلومتری و ب) در سلول‌های ۲×۲ کیلومتری

نسبت به ابعاد شبکه بندی حوضه حساسیت زیادی نشان نداده است.

جدول ۵ درصد فراوانی سطوح متأثر از شاخص f را در دو مقیاس ۱ و ۲ کیلومتری نشان می‌دهد. همان‌طور که از این جدول مشخص است شاخص f

جدول (۵): درصد فراوانی شاخص f در حوضه مورد مطالعه در ابعاد مختلف

ابعاد شبکه (km) (km)	مقدار شاخص f	۶/۰۱-۶/۷۰	۵/۷۶-۶/۰۰	۵/۵۱-۵/۷۵	۵/۱۱-۵/۵۰	۴/۷۸-۵/۱۰
۱×۱	درصد فراوانی f	۱۰/۳۱	۱۷/۵۲	۲۶/۰۴	۳۶/۸۵	۸/۷۳
۲×۲	درصد فراوانی f	۱۷/۵۲	۲۵/۷۷	۳۷/۱۱	۱۰/۳۱	۹/۲۸

مساحت زیرحوضه محاسبه می‌گردد، مشاهده شد که بر اساس بارش طراحی با دوره برگشت صد ساله، زیرحوضه آلمالوچای از نظر پتانسیل سیل خیزی رتبه اول را داشته و مؤثرترین زیرحوضه در دبی اوج سیل حوضه مورد مطالعه می‌باشد و زیرحوضه‌های قرنقوچای، کلکان چای و شورچای به ترتیب در رتبه‌های دوم تا چهارم قرار دارند. در تحلیل رتبه بندی بدست آمده مشخص شد که علاوه بر عوامل زمین‌شناسی و پوشش گیاهی، بین سیل خیز بودن زیرحوضه‌ها و شیب آن‌ها ارتباط مستقیم وجود دارد و در عمل مؤثرترین زیرحوضه در سیل خیزی حوضه، دارای بیشترین شیب متوسط بوده و برعکس کم مؤثرترین زیرحوضه‌ها حداقل شیب متوسط را دارا می‌باشد. بر اساس نتایج حاصل چنین استنباط گردید که بزرگ‌ترین و نزدیک‌ترین زیرحوضه‌ها به خروجی و یا دورترین و کوچک‌ترین آن‌ها، لزوماً بیشترین کمترین اثر را بر روی حداکثر دبی سیلاب در خروجی حوضه ندارد و زیر حوضه‌هایی که بالاترین و کمترین دبی را در خروجی خود تولید می‌کنند ممکن است در اولویت بندی بر اساس شاخص‌های F و f رتبه‌های بعدی را به خود اختصاص دهند.

نتیجه‌گیری

تعیین مناطق سیل خیز در حوضه یک ابزار مناسب و پایه ای برای مدیریت سیلاب می‌باشد. پایه اصلی روش تحقیق در این پژوهش مبتنی بر استفاده از شاخص‌های کمی سیل به عنوان معیار سنجش اولویت پتانسیل تولید سیل در حوضه آبخیز قرنقو می‌باشد. در این راستا با استفاده از مدل هیدرولوژیکی مادکلارک اولویت بندی سیل خیزی مد نظر قرار گرفت. عوامل مؤثر بر تولید رواناب و سیل در سطح سلول شناسایی و در قالب داده‌های ورودی مدل به صورت کمی در آمدند. در ادامه با حذف متوالی اثر مناطق مختلف حوضه و با تجزیه و تحلیل هیدروگراف‌ها تا خروجی حوضه میزان تأثیر و مشارکت کمی مناطق تعیین گردید. نتیجه این تحقیق منتهی به تفکیک و اولویت بندی مناطق حوضه در تولید دبی حداکثر سیلابی در محل خروجی کل حوضه گردید.

در رابطه با اولویت بندی زیرحوضه‌ها از لحاظ سیل خیزی که با استفاده از شاخص‌های F و f انجام شد نتایج متفاوتی حاصل شد. بر اساس شاخص F که مساحت زیرحوضه را در محاسبات منظور نمی‌دارد، زیرحوضه کلکان با بیشترین مساحت نسبت به سه زیرحوضه دیگر در رتبه اول و زیرحوضه قرنقو با کمترین مساحت، رتبه آخر سیل خیزی را به خود اختصاص داده‌اند. اما مطابق شاخص f که با حذف اثر

منابع

- الوان کار، ر. ۱۳۸۲. مدل توزیعی شبیه سازی سیل بر اساس GIS. رساله دکتري گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشگاه علوم و تحقیقات، ۱۲۵ ص.
- یمانی م.، م. تورانی و س. چزغه. ۱۳۹۱. تعیین پهنه‌های سیلگیر با استفاده از مدل HEC-RAS (مطالعه موردی: بالادست سد طالقان از پل گلینک تا پل وشته)، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره اول، ص ۱۶-۱.
- محمدی مطلق، ر. ن. جلال کمالی، جلال ا. کمالی. ۱۳۹۲. بررسی نقش مشارکت زیرحوضه‌های آبریز در شدت سیل‌خیزی، مطالعه موردی: حوضه آبریز دالکی. فصلنامه علمی پژوهشی آبیاری و آب. سال چهارم، شماره ۱۳، ص ۴۴-۳۱.
- وزیری، ف. ۱۳۷۰. تجزیه و تحلیل رگبارها و تعیین منحنی های شدت - مدت در نقاط مختلف ایران. انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
- مهندسین مشاور بوم آباد ۱۳۷۸. مطالعات توجیهی حوضه آبخیز قرنقوچای. جلد ششم، گزارش هیدرولوژی (سیل خیزی و آب های سطحی).

Adib, A., M., Salarijazi, and K. Najafpour. 2010. Evaluation of synthetic outlet runoff assessment models. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 14(3): 13-18.

Adib, A., M., Salarijazi, M. M., Shoostari, and A. M. Akhondal. 2011. Comparison between characteristics of geomorphoclimatic instantaneous unit hydrograph be produced by GcIUH based Clark Model and Clark IUH model. *Journal of Marine Science and Technology*, 19(2): 201-209.

Adib, A., M., Salarijazi, M., Vaghefi, M. M., Shoostari, and A. M. Akhonali. 2010. Comparison between GcIUH-Clark, GIUH-Nash, Clark-IUH, and Nash-IUH models. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 34(2): 91-104.

Aksoy, H., V. S. O., Kirca, H. I., Burgan, and D. Kellecioglu. 2016. Hydrological and hydraulic models for determination of flood-prone and flood inundation areas. *Proc. IAHS*, 373: 137-141.

Arnaud, P., C., Bouvier, L., Cisneros, & R. Dominguez. 2002. Influence of rainfall spatial variability on flood prediction. *Journal of Hydrology*, 260(1): 216-230.

Bae, D. H., and Y. J. Kim. 2015. Development of Concentration Time and Storage Coefficient Considering Regional Trend in Urban Stream Watershed. *Journal of Korea Water Resources Association*, 48(6): 479-489.

Baldassarre, G. D., A., Viglione, G., Carr, L., Kuil, J. L., Salinas, & G. Blöschl. 2013. Socio-hydrology: conceptualising human-flood interactions. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(8): 3295-3303.

Bhatt, G. D., K., Sinha, P. K., Deka, and A. Kumar. 2014. Flood hazard and risk assessment in Chamoli district, Uttarakhand using satellite remote sensing and GIS techniques. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3(8): 9-18.

Degiorgis, M., G., Gnecco, S., Gorni, G., Roth, M., Sanguineti, and A. C. Taramasso, 2012. Classifiers for the detection of flood-prone areas using remote sensed elevation data. *Journal of hydrology*, 470: 302-315.

Divín, J., and T. Mikita. 2016. Effects of Land Use Changes on the Runoff in the Landscape Based on Hydrological Simulation in HEC-HMS and HEC-RAS Using Different Elevation Data. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 64(3): 759-768.

Eidipour, A., A. M., Akhondali, H., Zarei, and M. Salarijazi. 2016. Flood Hydrograph Estimation Using GIUH Model in Ungauged Karst Basins (Case Study: Abolabbas Basin). *TUOXENIA*, 36 (36): 26-33

Fan, F. M., W., Collischonn, K. J., Quiroz, M. V., Sorribas, D. C., Buarque, and V. A. Siqueira. 2015. Flood forecasting on the Tocantins River using ensemble rainfall forecasts and real-time satellite rainfall estimates. *Journal of Flood Risk Management*.

Foody, G. M., E. M., Ghoneim, and N. W. Arnell. 2004. Predicting locations sensitive to flash flooding in an arid environment. *Journal of Hydrology*, 292(1): 48-58.

Knebl, M. R., Z. L., Yang, K., Hutchison, and D. R. Maidment, 2005. Regional scale flood modeling using NEXRAD rainfall, GIS, and HEC-HMS/RAS: a case study for the San Antonio River Basin Summer 2002 storm event. *Journal of Environmental Management*, 75(4): 325-336.

Lee, J. H., S. K., Yang, and W. Y. Jung. 2015. A Proposal of Unit Hydrograph Using Statistical Analysis in Oedo Stream, Jeju. *Journal of Environmental Science International*, 24(4): 393-401.

Mandal, S. P., and A. Chakrabarty, 2016. Flash flood risk assessment for upper Teesta river basin: using the hydrological modeling system (HEC-HMS) software. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2(2): 1-10.

Manfreda, S., M., Di Leo, and A. Sole. 2011. Detection of flood-prone areas using digital elevation models. *Journal of Hydrologic Engineering*, 16(10): 781-790.

Manfreda, S., F., Nardi, C., Samela, S., Grimaldi, A. C., Taramasso, G., Roth and A. Sole. 2014. Investigation on the use of geomorphic approaches for the delineation of flood prone areas. *Journal of Hydrology*, 517: 863-876.

Napradean, I., and R. Chira. 2006. The hydrological modeling of the Usturoi valley-using two modeling programs-WetSpa and HecRas. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 1(1): 53-62.

Naulin, J. P., O., Payrastra, and E. Gaume. 2013. Spatially distributed flood forecasting in flash flood prone areas: Application to road network supervision in Southern France. *Journal of hydrology*, 486: 88-99.

Nikolova, M., S., Nedkov, V., Nikolov, I., Zuzdrov, M., Genev, T., Kotsev,... and Y. Krumova, 2009. Implementation of the " KINEROS" model for estimation of the flood prone territories in the Malki Iskar River basin. *Information & Security*, 24, 76.

Papaioannou, G., L., Vasiliades, and A. Loukas, 2015. Multi-criteria analysis framework for potential flood prone areas mapping. *Water Resources Management*, 29(2): 399-418.

Sikder, S., X., Chen, F., Hossain, J. B., Roberts, F., Robertson, C. K., Shum, and F. J. Turk. 2016. Are General Circulation Models Ready for Operational Streamflow Forecasting for Water Management in the Ganges and Brahmaputra River Basins?. *Journal of Hydrometeorology*, 17(1): 195-210.

Tehrany, M. S., B., Pradhan, and M. N. Jebur, 2013. Spatial prediction of flood susceptible areas using rule based decision tree (DT) and a novel ensemble bivariate and multivariate statistical models in GIS. *Journal of Hydrology*, 504: 69-79.

Wang, Y., Z., Li, Z., Tang, and G. Zeng. 2011. A GIS-based spatial multi-criteria approach for flood risk assessment in the Dongting Lake Region, Hunan, Central China. *Water resources management*, 25(13): 3465-3484.

Flood Peak Flow Simulation and Determination of Flood Source Area in the QARANQU Watershed Using Hydrological Mod-Clark Model and GIS

M.Hemati, M. SHahnazi, H.Ahmadi, M.Salarijazi

Abstract

Flood management needs to identify and prioritize of watershed flood source area. The most studies in the field of flood management are based on the application of the integrated-conceptual models. These models have not appropriate precision to identify watershed-wide flood source area and moreover they have restriction to investigate the spatial distribution of effective components in runoff generation. The main aim of this study is to determine the severity of flooding and priority determination of flood generation potential area based on unit response approach using Mod-Clark distributed (spatial) hydrological model for Qaranqu watershed. In this study, digital elevation model (DEM) with a cell size of 30 m was prepared in the GIS using the topographic maps. Furthermore the watershed gridded file, based on the Standard Hydrologic Grid (SHG), was created using HEC-GeoHMS as input data for the HEC-HMS model. In order to choose the suitable grid scale, two different resolutions of 1*1 and 2*2 kilometers were utilized. Although the results revealed that the 1*1 km grid scale could more accurately specifies the boundaries of flood area source, there is no significant difference between results in comparison to 2*2 km grid. Outcomes of the current study suggest 1*1 km resolution for priority determination of the flood source area. By iterative execution of Mod-Clark model for different scenarios, flooding severity index of the basin was spatially determined. Based on the flooding severity index the Almalochai sub-watershed was recognized as the most flood source areas from point of flood peak flow generation view.

Keywords: Mod-Clark, Flooding Severity index, GIS, Unit Response Approach.