Archive of SID

تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال چهارم، شماره ۱، بهار ۱۳۸۷
Volume 4, No. 1, Spring 2008 (IR-WRR)
۲۸-۳۹

تغییرات مکانی شدت سیل‌خیزی

بهرام ثقفیان [۱] و باقر قرمز چشمه [۲]

چکیده

شناسایی مکانی (پهنه بندی) مناطق سیل‌خیز از دیدگاه تاثیر بر ویژگیهای سیلاب خروجی کل حوزه در پروژه‌های کنترل سیلاب از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد. تعیین درجه سیل خیزی مناطق مختلف یک حوزه آبخیز مستلزم شناخت خصوصیات هیدروژئومورفیک حوزه، اقلیم منطقه، بررسی وقایع ثبت شده بارش- رواناب در منطقه و بهره‌گیری از مدل‌های ریاضی در قالب یک روش مشخص برای تفکیک نقش مناطق مختلف حوزه می‌باشد.در تحقیق حاضر، حوزه آبخیز رودزرد برای تشریح روش پیشنهادی تعیین توزیع مکانی شدت سیل خیزی انتخاب شد. این حوزه از اطلاعات و آمار نسبتا مناسبی برخوردار است و شامل پنج زیرحوزه اصلی و سه زیرحوزه میانی ماشین می‌باشد. مدل توزیعی بارش-رواناب ModClark در سطح زیرحوزه های دارای ایستگاه هیدرومتری واسنجی و اعتبار یابی شد. سپس با بکارگیری نرم افزار روندیابی هیدرولیکی HEC-RAS در حالت جریان غیر ماندگار، جریان در شبکه رودخانه اصلی روندیابی گردید و مدل تلفیقی در محل خروجی کل حوزه واسنجی و اعتباریابی شد. در مرحله بعد برای تعیین توزیع شدت سیل خیزی برای واحدهای سلولی به ابعاد ۲×۲ کیلومتر مربع با اجرای روش "عکس العمل سیل واحد"در قالب حذف متوالی سلول‌ها و شبیه سازی هیدروگراف سیل به ازای یک بارش طراحی ، میزان تاثیر هر یک از سلول‌ها بر هیدروگراف خروجی کل حوزه بدست آمد. تعداد کل شبیه سازی توسط مجموعه مدل‌های زیرحوزه‌ای و هیدرولیکی برابر مجموع تعداد سلول‌ها می‌باشد.همچنین در این مرحله برای اولین بار با استفاده از نتایج شبیه سازیها نقشه کنتورهای هم تاثیر سیل خیزی بدست آمد. از طرف دیگر، شاخص سیل خیزی در نقاط مختلف در مسیر حرکت جریان رودخانه اصلی محاسبه شد و با ترسیم تغییرات شاخص سیل خیزی در مسیر رودخانه اصلی، دیاگرام یا پروفیل شاخص سیل‌خیزی واحدهای سلولی حداکثر و حداقل سیل‌خیزی ترسیم شد که بیان کننده چگونگی تغییر این شاخص در طول مسیر می‌باشد.

کلمات کلیدی: رود زرد، نقشه هم اثر سیلخیزی، شدت سیل‌خیزی، HEC-RAS و ModClark

تاریخ دریافت مقاله: ۱ مهر ۱۳۸۵
تاریخ پذیرش مقاله: ۷ خرداد ۱۳۸۷

۱- عضو هیات علمی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری
۲- کارشناس ارشد مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری

Spatial Variation of Flood Severity Index

B. Saghafian [1] and B. Ghermez cheshmeh [2]

Abstract

Understanding the spatial variation of the flood source area within watersheds as they affect of the flood characteristics at the outlet is an important issue in flood control studies. Determining the flood severity index in a watershed requires study of hydro-geomorphic properties, recorded rainfall-runoff events and use of mathematical models in the context of the methodology to delineate various watersheds areas with respect to the flood downstream. In this paper, Roodzard watershed was selected as the case study since it has suitable rainfall-runoff record. The watershed consists of five tributary subwatershed and three intermediate subwatersheds. ModClark distributed hydrologic model was calibrated in subwatersheds with hydrometric stations. Using HEC-RAS routing model the whole of the Roodzard watershed model was calibrated at Mashin Hydrometric Station at the outlet. Following the "Unit Flood Response" approach, 2*2 km^2 grid squares within the watershed were removed one by one in the simulation process and their effect on the flood peak at the outlet was determined. Such effect was quantified by a flood index and used for preparing the map of "flood severity". Furthermore, the profile of flood index along the main stream was plotted in grid-scale as well as for each sub-basin.

Keywords: Roodzard, Flood severity map, Flood Severity index, HEC-RAS, ModClark

1- Member of Watershed Management and Soil Protection Research Center.
2- M.S. of Watershed Management and Soil Protection Research Center.

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

سیل یکی از جدی‌ترین بلایای طبیعی است که همواره جوامع بشری را بویژه در مجاورت رودخانه ها مورد تهدید قرار می‌دهد. پروژه‌های تخفیف اثرات سیل در بسیاری از مناطق جهان اجرا می‌شود و مطالعات بی‌شماری برای برآورد دبی سیل و همچنین تاثیر خصوصیات حوزه روی دبی اوج آن انجام شده است. از جمله اقداماتی که محققین برای کاهش خطر سیل در مناطق پائین دست مطرح می‌کنند، مهار سیل در سرمنشا آن می‌باشد. در این ارتباط شناسایی مناطق سیل خیز در درون حوزه دارای اهمیت بسیاری می‌باشد، زیرا انجام عملیات اجرایی و کنترل سیل در سراسر حوزه نه تنها امکان‌پذیر نیست، بلکه ممکن است اثرات تشدیدکننده در برداشته باشد (Saghafian and Khosroshahi, 2005). لذا باید مناطقی که پتانسیل بالایی در تولید سیل دارند شناسایی و اولویت‌بندی شوند تا امکان بهینه‌سازی عملیات اجرایی در سطوح بحرانی ساز فراهم شود.

در راستای برآورد دبی سیل و شناسایی مناطق سیل خیز، مدل‌های مختلفی در شبیه‌سازی عکس‌العمل حوزهٔ آبخیز در برابر بارش به کار رفته‌اند که شامل انواع مدل‌های یکپارچه، نیمه‌توزیعی و توزیعی می‌باشد.

امروزه با وجود دسترسی به تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های نقشه‌ای، امکان شبیه سازی پاسخ حوزه به یک بارش با خصوصیات معین با کمک مدل‌های ریاضی توزیعی نیز وجود دارد. مدل‌هایی که در آن توزیع مکانی خصوصیات بارش و حوزهٔ آبخیز لحاظ می‌گردد، به مدل‌های هیدرولوژیکی توزیعی معروف هستند. به عنوان نمونه، Merz and Bardossy (1996) تاثیر تغییرات مکانی بر روی فرآیند بارش- رواناب در یک حوزه در آلمان را بررسی کردند و نشان دادند که عملیات کشاورزی بیشترین تاثیر را روی خصوصیات رواناب خروجی حوزه دارند. Garrote and Bras (1994) از یک مدل توزیعی به نام DBSIM که بر اساس اطلاعات توپوگرافی بنا شده بود استفاده کردند. آنها پس از واسنجی و اعتباریابی مدل نشان دادند که تحلیل حساسیت، نقش پارامترهای مدل را در بررسی عکس العمل حوزه به خوبی نمایش می‌دهد. Braud et al. (1998) کاربرد مدل توزیعی ANSWERS در شبیه‌سازی عکس‌العمل یک حوزه در آرژانتین را بررسی کردند و نشان دادند که اساسی‌ترین عامل در ایجاد رواناب حوزه، تغییرات مکانی بارش و نوع خاک می‌باشد.

تحقیقات فوق نمونه‌هایی از شبیه‌سازی عکس العـــمل هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز با کمک مدل‌های ریاضی توزیعی بودند. با توجه به اینکه هدف از تحقیق حاضر توسعه و ارتقای روش عکس العمل سیل واحد به یک روش توزیعی به منظور شناسایی و درجه بندی کمی سیل خیزی کوچکترین واحدهای یک حوزه آبخیز می‌باشد، در این قسمت به برخی تحقیقات در زمینه تعیین مناطق سیل خیز اشاره می‌شود. قائمی و مرید (۱۳۷۵) در یک مطالعه موردی ضمن معرفی شش عامل تاثیرگذار بر سیلاب شامل عمق بارندگی، زمان بارندگی، عمق برف انباشته، شیب و شکل حوزه، جنس زمین و پوشش گیاهی و ارزش‌گذاری کمی آنها با نظر کارشناسی، شدت سیل‌خیزی زیرحوزه‌های رودخانه کرخه را تعیین نمودند. از آنجا که شش عامل مورد بررسی در این مطالعه از تاثیر یکسانی بر کاهش یا افزایش سیلاب و سیل خیزی زیرحوزه‌ها برخوردار نبودند، لذا وزنی مستقل به ترتیب اهمیت این عوامل در نظر گرفته شد تا بدین ترتیب مقدار عددی شدت سیل خیزی واحدهای هیدرولوژیکی قابل مقایسه گردد. نحوه انتخاب و کمی کردن عوامل و دخالت دادن نظر کارشناسی در اوزان هر یک از عوامل موثر از جمله موارد متکی به قضاوت کارشناسی در این تحقیق محسوب می‌گردد، به نحوی که فرض رفتار خطی زیرحوزه‌ها و عوامل موثر بر سیل خیزی در سطح حوزه‌های بزرگ مورد تردید است.

خسروشاهی و ثقفیان (۱۳۸۱) به بررسی عوامل موثر بر سیل خیزی زیرحوزه‌های آبخیز دماوند پرداختند. آنها نتیجه گرفتند که از میان عوامل مهم، عدد منحنی در سطح زیر حوزه بحرانی از دیدگاه سیلخیزی، موثرترین عامل برای تغییر در راستای کنترل سیل می‌باشد. همچنین برای اولین بار شاخص کمی سیل‌خیزی با دیدگاه توان تاثیر زیرحوزه‌ها در مشارکت دبی حداکثر خروجی برای پهنه‌بندی مناطق تعریف شد.

Foody et al. (2004) جهت تعیین نقاط سیل خیز یک حوزه در صحرای شرقی کشور مصر از داده‌های ماهواره لندست در تهیه نقشه کاربری اراضی حوزه استفاده کردند. نوع و نفوذپذیری خاک نیز بر اساس اندازه گیری‌های صحرایی تعیین شد. سپس دبی خروجی از حوزه و زیرحوزه‌های آن برای یک رگبار فرضی شدید شبیه سازی گردید. خروجی مدل دو منطقه را با بالاترین درجه سیل‌خیزی شناسایی کرد. این مناطق در اصل مناطقی بودند که از وقایع سیل‌های قبلی آسیب دیده بودند.

با توجه به بررسی منابع موجود می توان نتیجه گرفت که در منابع اشاره‌ای به چگونگی تعیین شدت سیل خیزی بصورت توزیعی نشده

www.SID.ir

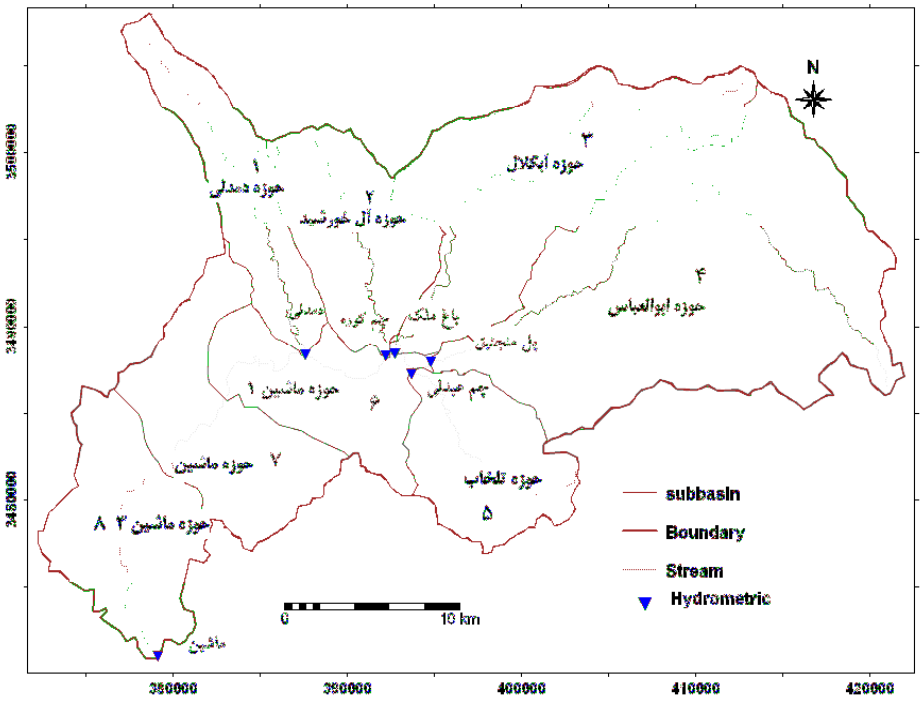
Archive of SID

است و حداکثر در قالب زیرحوزه‌ها شدت سیل خیزی ارائه شده است. در این تحقیق هدف اصلی بررسی شدت سیل خیزی بصورت توزیعی و ارا ئه نقشه هم شدت سیل‌خیزی می‌باشد. برا ی این منظور، از مدل هیدرولوژیکی توزیعی ModClark و مدل هیدرولیکی HEC-RAS بهمراه سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده می‌شود.

۲- شرح عمومی منطقه تحقیق

حوزه رود زرد واقع در جنوب غرب ایران و شرق استان خوزستان با مساحت تقریبی ۹۰۰ کیلومتر مربع در طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۹ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۱۰ دقیقهٔ شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۱ دقیقهٔ شمالی قرار گرفته است. این حوزه یکی از زیر حوزه‌های رودخانه مارون – جراحی است که از ارتفاعات جنوب غرب زاگرس بوسیلهٔ دو رودخانه الله و مارون زهکشی می‌شود. ارتفاع متوسط حوزه ۱۲۰۰ متر از سطح دریا است و تغییرات ارتفاع بین ۳۴۰ متر در خروجی حوزه تا ۳۳۰۰ متر در ارتفاعات شمال شرقی حوزه می‌باشد. میانگین بارندگی سالانه در این حوزه ۷۱۸ میلیمتر گزارش شده است. پنج زیرحوزهٔ اصلی شامل دمدلی، آل‌خورشید، آبگلال، ابوالعباس و تلخاب و سه زیرحوزه میانی در محدوده حوزه رود زرد قرار می‌گیرد. از بهم پیوستن رودخانه‌های پنج زیرحوزه اصلی، رودخانه رود زرد تشکیل می‌شود که با طی حدود ۳۵ کیلومتر به خروجی حوزه می‌رسد. رود زرد با پیوستن به رودخانهٔ اعلا، رود الله را تشکیل می‌دهد. در محل روستای ماشین بر روی رودخانه رود زرد یک ایستگاه هیدرومتری و در نزدیکی آن یک ایستگاه باران‌نگار قرار دارد. کاربری حوزه شامل اراضی زراعت آبی و دیم، جنگلهای تنک بلوط و مراتع ضعیف تا متوسط می‌باشد. زمینهای کشاورزی غالبا در مرکز حوزه و در حاشیه رودخانه اصلی متمرکز شده‌اند. از جمله علل انتخاب این حوزه آمار نسبتا طولانی و تعداد و موقعیت نسبتا مناسب ایستگاه‌های هیدرومتری در حوزه برای تشریح روش تعیین سیل‌خیزی می‌باشد.

محدوده حوزه شامل ۱۳ شیت توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ در محیط GIS یکپارچه گردید و با توجه به خطوط میزان و محل ایستگاههای هیدرومتری، مرز حوزه و زیرحوزها ترسیم شد. شکل (۱) زیرحوزه‌ها، موقعیت آبراهه ها و محل ایستگاههای هیدرومتری را نشان میدهد. این حوزه شامل شش ایستگاه هیدرومتری به نامهای رودزرد ماشین، باغملک، پل منجنیق، دمدلی، چم کوره و چم عبدلی است که در حال حاضر فقط دو ایستگاه پل منجنیق و ماشین فعال می باشند. برخی مشخصات عمومی مانند محیط، طول، ضریب شکل، حداقل، حداکثر و متوسط زیرحوزه ها در جدول (۱) آمده است. . نقشه ارتفاعی رقومی حوزه (DEM) و نقشه شیب حوزه بر اساس میان‌یابی خطوط میزان و با اندازه سلول ۱۰۰ متری تهیه شد (شکل ۲).



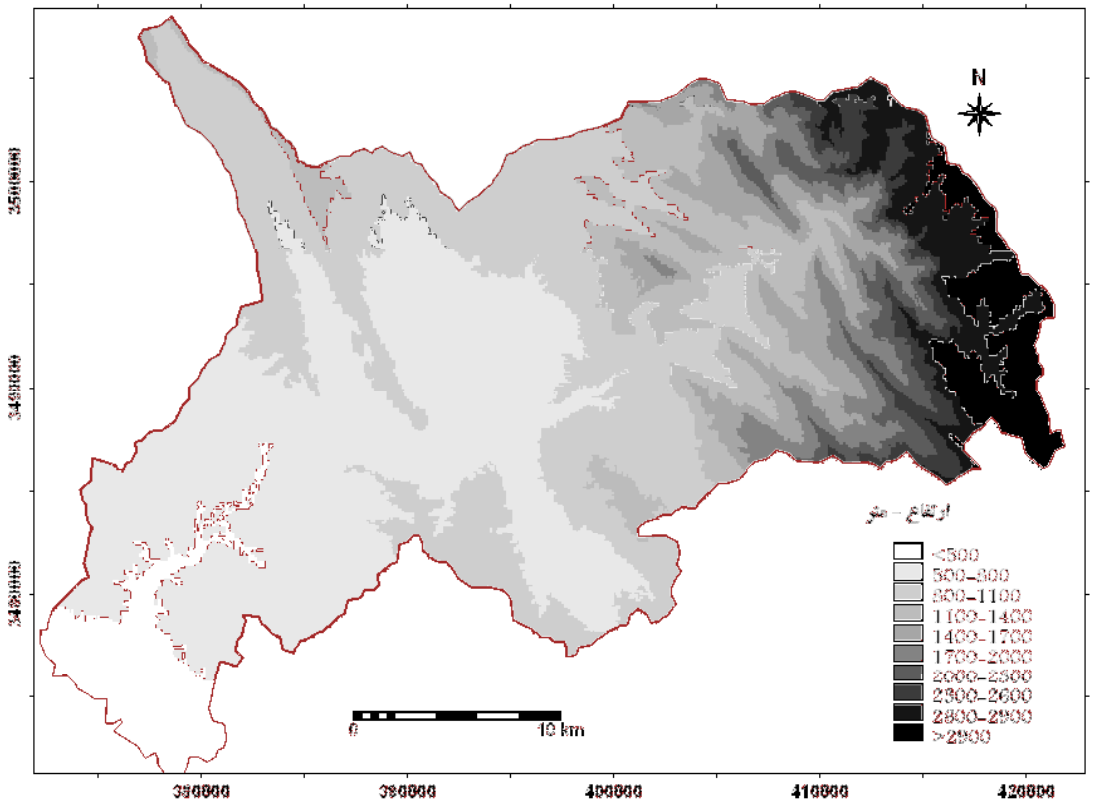
شکل ۱- مرز حوزه و زیرحوزه‌ها (با نام و شماره) و موقعیت ایستگاههای هیدرومتری

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- مشخصات فیزیوگرافی عمومی زیرحوزه ها

زیر حوزه (کد)	مساحت (کیلومتر مربع)	محیط (کیلومتر)	ارتفاع متوسط (متر)	طول آبراهه (متر)	بیشترین ارتفاع (متر)	کمترین ارتفاع (متر)	ضریب شکل
دمدلی (۱)	۶۶/۸	۴۹/۳	۹۰۸	۲۴۶۱۸	۱۲۰۰	۶۵۰	۱/۷۰
آل‌خورشید (۲)	۷۸/۵	۴۰/۷	۸۱۳	۱۷۶۴۴	۱۲۰۰	۶۴۰	۱/۲۸
آبگلال (۳)	۱۵۵/۲	۶۹/۸	۱۲۸۸	۳۶۷۹۲	۲۹۶۰	۶۵۷	۱/۵۷
ابوالعباس (۴)	۲۸۸	۹۱/۴	۱۸۷۶	۴۲۴۷۶	۳۳۰۰	۶۸۰	۱/۵۲
تلخاب (۵)	۶۳/۹	۳۷/۷	۸۴۷	۱۵۶۴۴	۱۱۳۲	۶۸۰	۱/۳۲
ماشین۱ (۶)	۷۹/۱	۴۵/۱	۷۱۶	۲۴۳۰۰	۱۰۰۴	۵۰۰	۱/۴۸
ماشین۲ (۷)	۹۱/۲	۵۷/۹	۶۲۹	۳۸۲۵۰	۱۰۰۰	۴۹۲	۱/۳۸
ماشین۳ (۸)	۸۷/۰	۶۰/۰	۵۱۷	۱۹۶۲۰	۷۶۰	۳۴۰	۱/۵۸
کل حوزه	۹۰۰	۲۰۳/۲	۱۱۸۷	۷۷۶۹۷	۳۳۰۰	۳۴۰	۱/۹۲



شکل ۲- نقشه هیپسومتری حوزه

بارندگی حوزه متأثر از توده دمای هوای دریای سرخ و دریای مدیترانه می‌باشد و غالب بارندگی در ماههای سرد سال اتفاق می‌افتد. بطوریکه بیش از ۹۵ درصد بارش در ۶ ماه از سال و بیش از ۸۴ درصد از بارش در ۵ ماه از سال اتفاق می افتد. بارندگی متوسط سالانه حوزه ۶۹۰ میلیمتر برآورد شده است، بطوریکه در خروجی حوزه حدود ۳۸۰ میلیمتر و در ارتفاعات ارتفاع بارش به بیش از ۱۱۰۰ میلیمتر می رسد. بارندگی منطقه با ارتفاع رابطه مستقیم دارد (جاماب، ۱۳۷۸).

www.SID.ir

Archive of SID

۳- روش تحقیق

روش تحقیق مبتنی بر تعریف شاخص کمی سیل‌خیزی به عنوان معیار سنجش پتانسیل تولید سیل و سپس پهنه‌بندی و اولویت بندی مکانی سیلخیزی می‌باشد. از میان روشهای متعدد تبدیل بارش به رواناب در سطح زیر حوزه‌ها، از روش توسعه یافته کلارک توزیعی استفاده گردید. روندیابی جریانهای غیرماندگار در رودخانه اصلی از طریق مدل HEC-RAS انجام یافت. واسنجی و اعتباریابی مدل بر اساس سیلابهای مشاهده‌ای در ایستگاههای هیدرومتری حوزه صورت گرفت. در ادامه حوزه به شبکه های سلولی ۲*۲ کیلومتر مربع تقسیم گردید. برای تعیین میزان تاثیر هر یک از واحدهای شبکه سلولی بر دبی سیل خروجی و اولویت‌بندی آنها از نظر سیل خیزی، ابتدا هیدروگراف سیل خروجی با مشارکت کلیه واحدها محاسبه شد. سپس شبیه سازی با حذف متوالی هر کدام از واحدها تکرار شد و بدین ترتیب میزان مشارکت هر یک از واحدها بر دبی اوج خروجی بدست آمد. در ادامه، مراحل شبیه سازی هیدرولوژیکی، روندیابی هیدرولیکی و محاسبه شاخص سیل خیزی توزیعی تشریح می‌شود.

نقشه‌های کاربری اراضی حوزه بر اساس پردازش تصویر ماهواره‌ای ETM^+ سال ۲۰۰۲ منطقه و بازدید کارشناسی از محل استخراج گردید. همچنین با توجه به نقشه قابلیت اراضی، (بنائی،۱۳۸۰) خاک حوزه در چهار گروه هیدرولوژیکی A, B ، C و D دسته بندی شد که این گروهها به ترتیب ۲/۵، ۱۰، ۴۴ و ۴۳/۵ درصد مساحت حوزه را به خود اختصاص دادند. سپس نقشه CN حوزه با استفاده از تلفیق نقشه‌های کاربری اراضی و گروههای هیدرولوژیکی خاک حوزه استخراج گردید تا به عنوان برآورد اولیه در مراحل واسنجی استفاده شود. لازم به ذکر است که دامنه تغییرات مقدار اولیه (قبل از واسنجی) CN از ۳۶ در نواحی زراعی حاشیه رودخانه تا ۸۹ در مراتع فقیر سازند گچساران براساس جدول SCS برآورد گردید. پارامترهای هیدرولوژیکی زیرحوزه‌های دارای ایستگاه هیدرومتری در قالب مدل توزیعی روندیابی زیرحوزه‌ای ModClark واسنجی و اعتباریابی شد. زمان تمرکز اولیه با توجه به کوهستانی بودن حوزه‌ها از کرپیچ محاسبه شد. ضریب نگهداشت اولیه با توجه خصوصیات حوزه با نظر کارشناسی تعیین گردید که در جدول (۲) آمده است. ضریب ذخیره کلارک نیز از روش Pilgrim (1977, 1987) بدست آمد.

تعدادی از هیدروگراف‌های سیلاب زیرحوزه‌های دارای آمار انتخاب و به دو گروه تقسیم شدند. پارامترهای مدل با یک گروه از داده‌ها واسنجی شد و اعتباریابی مدل از طریق اجرای مدل با پارامترهای واسنجی شده در مقابل گروه دوم داده‌ها انجام گرفت. برای انتخاب وقایع تمامی بارشهای طول دوره آماری (از ابتدا تا سال ۱۳۷۴) بررسی شد و بارشهایی که در کلیه ایستگاهها ثبت شده و در فصل بارش برف و یا ذوب برف نبودند انتخاب شدند. در مجموع دو رویداد برای واسنجی و یک رویداد برای اعتباریابی در زیرحوزه‌های آبگلال، آل‌خورشید و ابوالعباس و یک رویداد برای واسنجی و یک رویداد برای اعتباریابی در زیرحوزه تلخاب شناسایی شد.. به منظور واسنجی پارامترهای زیرحوزه‌های فاقد آمار هیدرومتری (ماشین ۱، ماشین ۲، ماشین ۳)، آن دسته از هیدروگرافهای ثبت شده در ایستگاه ماشین واقع در خروجی کل حوزه مورد توجه قرار گرفتند که از یک بارش با پوشش وسیع حاصل شده باشند و هیدروگراف سیل حاصل از آن به صورت کامل به ثبت رسیده باشد. پس از بررسی کلیه هیدروگراف‌های ثبت شده در ایستگاه ماشین دو رویداد برای واسنجی و دو رویداد برای اعتباریابی استخراج شد. پارامتر های زمان تمرکز، ضریب نگهداشت اولیه و ضریب ذخیره کلارک پارامترهای واسنجی بودند.

در میان روشهای روندیابی بارش–رواناب، هیدروگراف واحد مصنوعی کلارک بر مبنای ترکیب روش زمان – مساحت برای فرآیند انتقال و مخزن خطی برای فرآیند ذخیره دارای کاربرد وسیع در محاسبه سیل میباشد (Ponce, 1989) . در روش کلارک، مشخصات حوزه از قبیل شکل، شبکه آبراهه و زبری سطحی در هیستوگرام زمان–مساحت و در نتیجه در شکل هیدروگراف حاصله نمود پیدا می‌کند. در روش توزیعی هیدروگراف توسعه یافتهٔ کلارک (Modified Clark)، زمان پیمایش برای کلیهٔ سلول‌های یک حوزه محاسبه می‌شود. زمان پیمایش هرسلول تا خروجی حوزه از رابطهٔ زیر پیشنهاد شده است (Kull and Feldman, 1998) :

$$t_{cell} = T_c\left(\frac{l_{cell}}{l_{\max}}\right) \qquad (۱)$$

که در آن t_{cell} زمان پیمایش از هر سلول تا خروجی حوزه، T_c زمان تمرکز حوزه، l_{cell} فاصلهٔ هر سلول تا خروجی حوزه و $l_{\max}$ حداکثر طول مسیر جریان آب در حوزه می باشد. در این روش سرعت حرکت رواناب در سطح حوزه بصورت یکنواخت در مکان و ثابت در زمان فرض می‌شود. سپس بارش مؤثر در هر سلول با زمان تاخیر متناسب با طول پیمایش آن سلول به خروجی حوزه می‌رسد. در این روش نیازی به تعیین ضریب زبری در سطح زمین نیست و بر آورد هیدروگراف به کمک دو پارامتر اصلی زمان تمرکز و ضریب ذخیرهٔ کلارک انجام می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

روش انجام محاسبات در مدل بدین صورت می‌باشد که ارتفاع رواناب در هر گام زمانی با استفاده از نقشه توزیع مکانی بارش و نقشه CN در هر سلول محاسبه می شود. همین عملیات در گامهای زمانی بعدی انجام می شود و عمق رواناب هر سلول با توجه به زمان پیمایش سلول تا خروجی (رابطه ۱) روندیابی می‌شود. در پایان هیدروگراف روش زمان – مساحت در مخزن خطی روندیابی می‌شود که بر اساس رابطه زیرقابل انجام می‌پذیرد.

$$S(t) = KO(t) \qquad (۲)$$

که در آن $S(t)$ ذخیره در زمان t ، $O(t)$ خروجی از مخزن در زمان t و K ثابت تناسب و به ضریب ذخیره معروف است. این ضریب، تاخیر ناشی از تاثیرات ذخیره‌سازی طبیعی رودخانه را نشان می‌دهد.

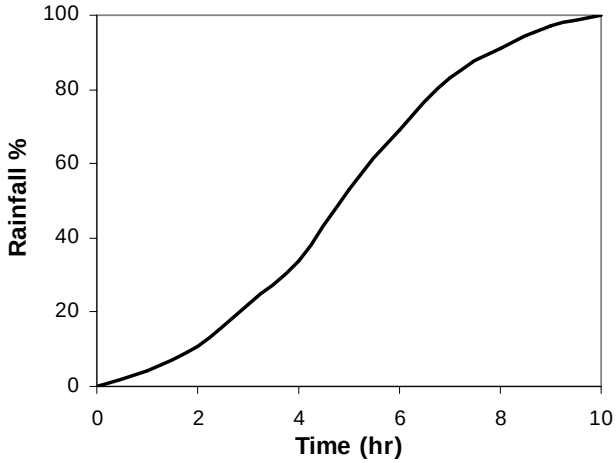
در مرحله تعیین شدت سیل‌خیزی، ابتدا بارش طرح در محل ایستگاه باغملک استخراج گردید. تداوم بارش طراحی معادل زمان تمرکز کل حوزه منظور شد. بر اساس منحنی‌های شدت–مدت–فراوانی ایستگاه باران‌سنجی باغملک، شدت بارندگی برای دوره بازگشت ۱۰۰ ساله با تداوم ۱۰ ساعت (معادل زمان تمرکز کل حوزه) معادل ۱۱/۲ میلیمتر بر ساعت به دست آمد. برای این منظور تمامی بارشهای با تداوم حدود ۱۰ساعت استفاده گردید. برای توزیع مکانی بارش طرح، رابطهٔ همبستگی بین ارتفاع و عمق بارش سالانهٔ حوزه به کار رفت. علت انتخاب این توزیع به عنوان توزیع معرف این است که بارش میانگین سالانه در واقع در برگیرنده کلیه بارش های بوقوع پیوسته می باشد و می تواند به عنوان الگوی تیپ تغییرات مکانی منطقه بکار گرفته شود. بنابراین، نقشهٔ توزیع مکانی بارش سالانهٔ پس از تهیهٔ نقشهٔ DEM حوزه و بر اساس رابطهٔ ارتفاع– بارش (جاماب، ۱۳۷۸) استخراج گردید. سپس نقشهٔ توزیع مکانی بارش سالانه بر میانگین بارش سالانهٔ کل حوزه تقسیم شد. بدین ترتیب نقشهٔ درصد بارش دریافتی برای هر سلول نسبت به مقدار میانگین سالانه به دست آمد. برای توزیع زمانی بارش طرح، از میانگین هیستوگراف‌های ثبت شده در ایستگاه ثبات باغملک که دارای تداوم حدودً ۱۰ ساعت بودند استفاده گردید که در شکل (۳) آمده است.

با تعیین توزیع زمانی و مکانی بارش طراحی برای حوضهٔ رودزرد، مرحله تعیین شدت سیل‌خیزی آغاز گردید. روش تعیین شدت سیل‌خیزی طبق روش عکس‌العمل سیل واحد بدین ترتیب است که در هر بار اجرای مدل، یکی از واحدهای سلولی حذف می‌شود و تاثیر آن در مرحله شبیه‌سازی بر روی هیدروگراف خروجی کل حوزه تعیین می‌گردد. شاخص اصلی جهت بررسی میزان تاثیرگذاری واحدها در دبی اوج خروجی چنین تعریف شده است (Saghafian and Khosroshahi, 2005):

$$f_i = \frac{\Delta Q_i}{A_i} \qquad (۳)$$

که در آن f_i شاخص سیل‌خیزی واحد سلولی i ام ($m^3/s.km^2$)، ΔQ_i تغییر دبی اوج خروجی حوزه با حذف سلول i ام (m^3/s) و A_i مساحت زیرحوضهٔ i ام (km^2) می باشد.

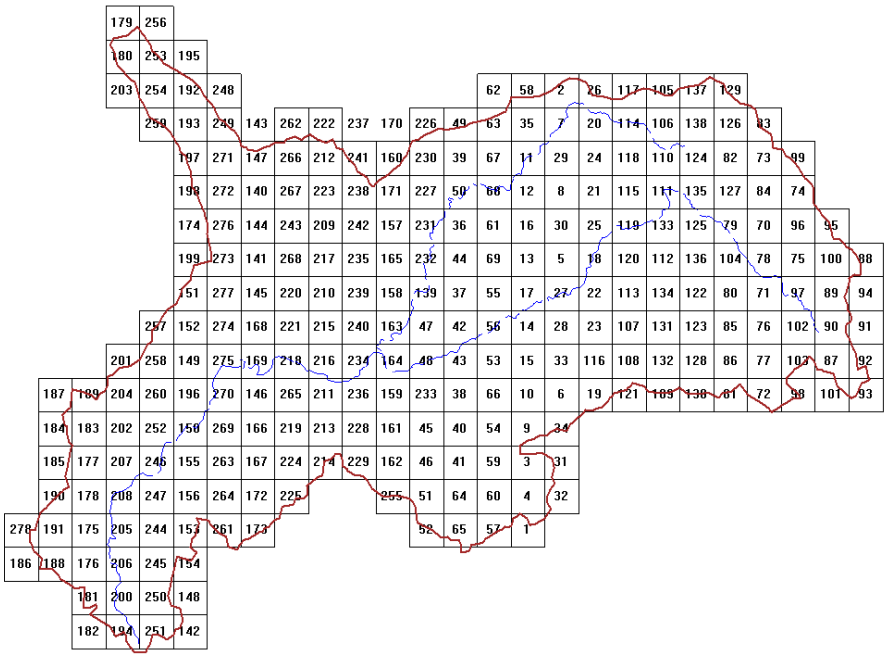
شکل شماره (۴) نقشه واحدهای سلولی به ابعاد ۲*۲ کیلومتر مربع را نشان می دهد که بازای هر واحد آن شاخص سیل خیزی محاسبه شد. مجموع تعداد سلولها ۲۷۸ است و به همین تعداد شبیه سازی توسط مجموعه مدل‌های زیرحوزه‌ای و هیدرولیکی روندیابی انجام گرفت. شکل (۵) نیزمکان ورود هیدروگراف سیل خروجی زیرحوزه‌ها به رودخانه اصلی را نشان می‌دهد.



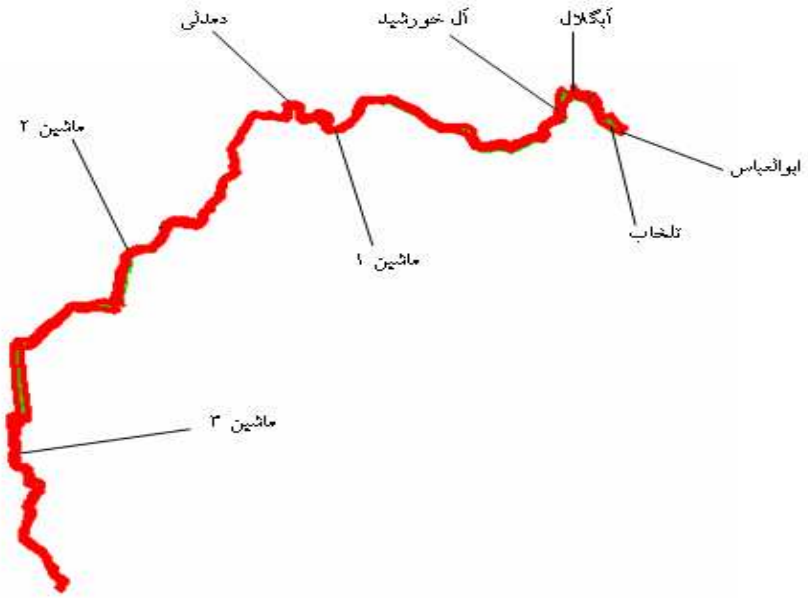
شکل ۳- منحنی معرف توزیع زمانی بارندگی ۱۰ ساعته در ایستگاه ثبات باغملک

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۴- نقشه کدگذاری واحدهای سلولی به مساحت ۲×۲ کیلومتر مربع حوزه رود زرد



شکل ۵- مکان ورود هیدروگراف زیرحوزه ها به رودخانه اصلی حوزه رودزرد در محیط HEC-RAS

سپس نقشه سلولی f مرحله قبل با عملیات تبدیلی به کنتورهای هم مقدار در بستر GIS تبدیل گردید و بدین وسیله نقشه کنتورهای هم تاثیر سیل خیزی بدست آمد. این نقشه در نوع خود منحصر بفرد است و تاکنون در کارهای قبلی گزارش نشده است. همچنین در روش مشابه اقدام به تعیین شاخص سیل‌خیزی هر یک از زیر حوزه ها گردید که نتایج برای مقایسه با وحدهای سلولی بکارگرفته شد.

پس از تعیین شدت سیل‌خیزی برای واحدهای زیرحوزه‌ای و سلولی، نسبت به تعیین این شاخص در نقاط مختلف در مسیر حرکت جریان رودخانه اصلی اقدام شد. با ترسیم تغییرات شاخص سیل خیزی در مسیر رودخانه اصلی، پروفیل شاخص سیل‌خیزی برای هر کدام از واحدهای سلولی ترسیم شد که بیان کننده چگونگی تغییر این شاخص در طول مسیر می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

در مرحله تحلیل حساسیت با تغییر عدد منحنی زیرحوزه‌ها برای بارش طرح و همچنین تغییر میزان بارش، اثر هر کدام از این پارامترها بر روی شاخص سیل خیزی بررسی شد. برای استاندارد نمودن عوامل ورودی یا پارامترهای مدل از رابطه زیر استفاده شد.

$$Z = \frac{X - \overline{X}}{X_{\max} - X_{\min}} \qquad (۴)$$

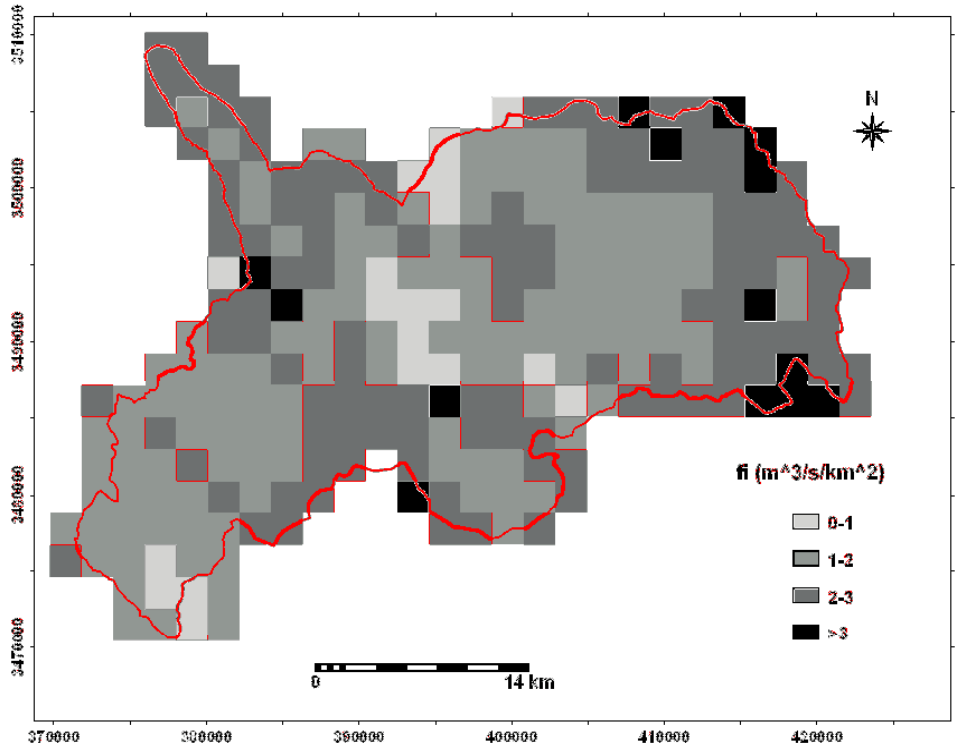
که در آن Z مقدار استاندارد شده (بین ۱- تا ۱+)، X مقدار اولیه پارامتر $\overline{X}$، $X_{\min}$ و $X_{\max}$ به ترتیب میانگین، حداقل و حداکثر مقدار X می باشند. در این قسمت برای شناسایی روند تغییرات f با عدد منحنی، بارندگی و فاصله واحد سلولی تا خروجی حوزه، اقدام به استاندارد نمودن آنها و ترسیم رابطه f با Z شد.

۴- نتایج

جدول (۲) پارامترهای واسنجی شده کلیه زیرحوزه‌ها را نشان می‌دهد. شکل (۶) نقشه توزیعی سیل خیزی (f) ۱۰۰ ساله در سطح حوزه را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل می‌توان واحدهای سلولی که بیشترین تاثیر در دبی اوج خروجی حوزه دارند را شناسایی کرد.

جدول ۲- پارامترهای هیدرولوژیکی زیرحوزه‌ها پس از واسنجی

زیرحوزه	زمان تمرکز (ساعت)		نسبت تلفات اولیه (Ia/S)		ضریب ذخیره (ساعت)	
	حدس اولیه	مقدار واسنجی شده	حدس اولیه	مقدار واسنجی شده	حدس اولیه	مقدار واسنجی شده
دمدلی	۳/۷	۳	۰/۱۶	۰/۱۴	۵	۳
آل خورشید	۱/۷	۱/۵	۰/۱۶	۰/۱۴	۴	۲/۵
آبگلال	۳	۳/۵	۰/۱۶	۰/۱۸	۵	۲/۵
ابوالعباس	۶	۴	۰/۱۸	۰/۲	۵	۴
تلخاب	۲/۵	۱/۶	۰/۱۵	۰/۱۶	۳	۲
ماشین (۱)	۲/۵	۲	۰/۱۲	۰/۱۳	۳	۲
ماشین (۲)	۳	۲/۵	۰/۱	۰/۱۲	۳	۲/۵
ماشین (۳)	۲	۲/۵	۰/۱	۰/۱۲	۴	۲



شکل ۶- نقشه شاخص سیل خیزی ۱۰۰ ساله

www.SID.ir

Archive of SID

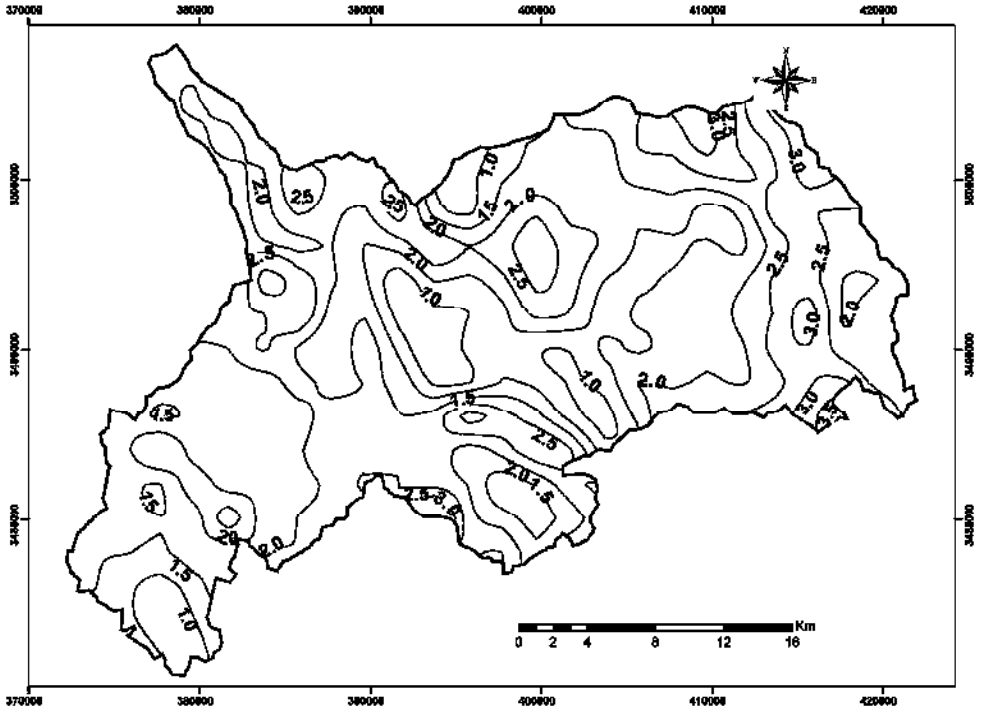
شکل (۷) نقشه کنتورهای هم مقدار شاخص سیل‌خیزی حوزه رود زرد را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل ملاحظه می‌شود که نواحی سیل‌خیز اغلب در مناطق کوهستانی با شیب تند قرار دارند. بطوریکه سه منطقه از حوزه شامل ارتفاعات جنوب غرب زیرحوزه دمدلی، ارتفاعات غرب زیرحوزه تلخاب و ارتفاعات میانی و پر شیب زیرحوزه ابوالعباس نسبت به بقیه نقاط حوزه سیل‌خیزتر می‌باشند. این نواحی دارای سازندهای آغاجاری و گچساران (ارتفاعات دمدلی و تلخاب) و همچنین توده‌های آهکی آسماری با شیب تند می‌باشند. همچنین پوشش گیاهی این نقاط به دلیل نوع سازند و شیب تند، بسیار ضعیف می‌باشد. این دو عامل (نوع سازند و پوشش گیاهی ضعیف) تاثیر زیادی در ایجاد رواناب دارند. نواحی با پتانسیل سیل خیزی کم در حاشیه رودخانه بخصوص در اراضی کشاورزی شهرستان باغملک واقع شده‌اند. این نواحی شامل رسوبات آبرفتی درشت دانه است که در آنها نفوذپذیری بالا بوده و همچنین شیب کم مانع از ایجاد سیلاب می‌گردد. البته تنها ویژگیهای فیزیکی مکانها در تعیین شاخص سیلخیزی موثر نیست بلکه اثر ترکیبی آنها با روندیابی در مسیر جریان تا خروجی و نیز همزمانی تاثیرات واحد تعیین‌کننده است.

جدول (۳) اطلاعات مربوط به شاخص سیل‌خیزی زیرحوزه‌ها و میانگین شاخص سیل‌خیزی سلول‌های هر زیرحوزه را نشان می‌دهد.

مقایسه دو ستون جدول (۳) نشان می‌دهد که نتایج بسیار به هم نزدیک می‌باشند و شاخص سیل خیزی هر زیرحوزه تقریبا معادل میانگین شاخص‌های سلولهای موجود در آن می باشد. به عبارت دیگر، اگر بنابر توجه به واحدهای بزرگ (مانند زیر حوزها) برای پروژه‌های کنترل سیل باشد، لزومی به تعیین شاخص توزیعی سیل خیزی نمی باشد و با تعداد بسیار کمتری از شبیه سازی می تواند اقدام به شناسایی واحدهای سیل خیزی نمود. برعکس ما اگر مبنا توجه به واحد های کوچکتر باشد، آنگاه روش توزیعی تنها راه حل بنظر می‌رسد.

شکل (۸) پروفیل شاخص سیل خیزی زیرحوزه ابوالعباس را در مقایسه با پروفیل سلولهای با حداکثر و حداقل سیل‌خیزی نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که روند تغییرات این شاخص برای زیرحوزه و سلول درون آن مشابه می باشد.

در این قسمت برای شناسایی روند تغییرات f با عددمنحنی، بارندگی و فاصله واحد سلولی تا خروجی حوزه بر اساس رابطه (۴) پارامترهای فوق استاندارد گردید که نمونه آن در شکل (۹) برای عدد منحنی (CN) استاندارد آمده است.



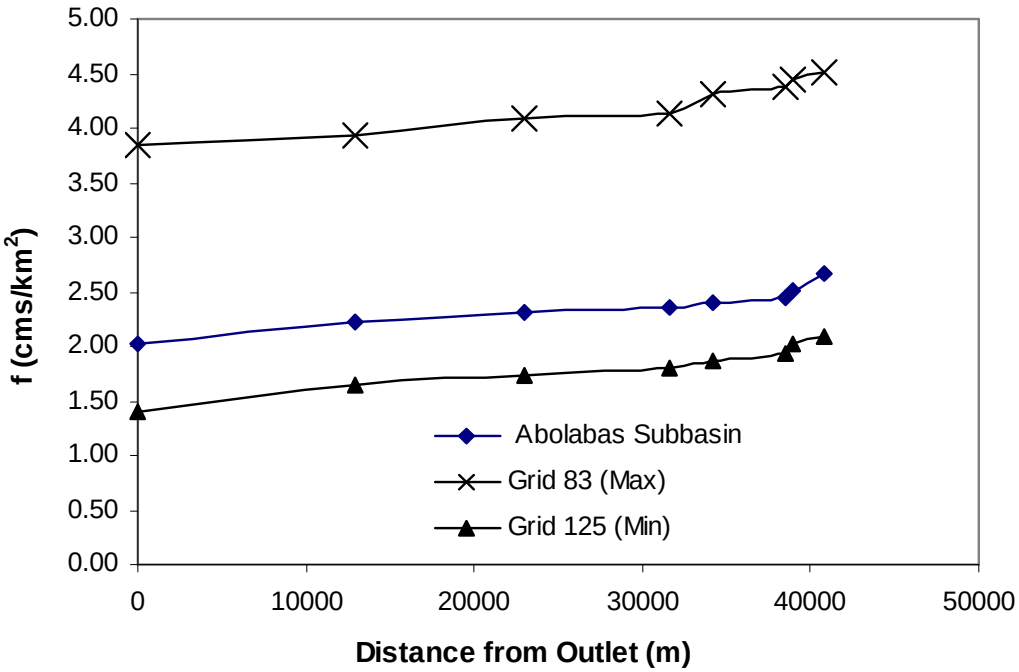
شکل ۷- نقشه خطوط هم تاثیر سیل‌خیزی (واحد به $m^3/s/km^2$ است)

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- شاخص سیل‌خیزی زیرحوزه ها و میانگین شاخص سیل‌خیزی سلول‌های هر زیرحوزه

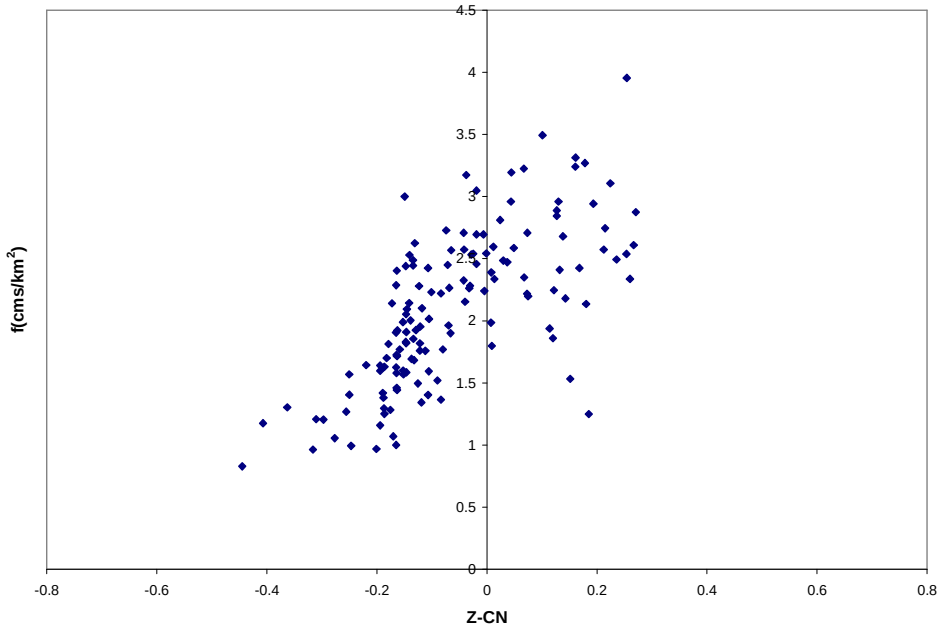
زیرحوزه	مساحت (km^2)	فاصله تا خروجی (m)	شماره منحنی (CN)	شاخص سیل خیزی زیرحوزه (cms/km^2)	میانگین شاخص سیل خیزی سلولهای هر زیرحوزه
ابوالعباس	۶۶/۸	۲۴۶۱۸	۷۶/۵	۲/۰۳	۲/۰۲
آبگلال	۷۸/۵	۱۷۶۴۴	۷۶/۳	۲/۰۱	۱/۹۶
آل خورشید	۱۵۵/۲	۳۶۷۹۲	۷۷/۲	۱/۸۲	۱/۸۰
تلخاب	۲۸۸	۴۲۴۷۶	۷۹/۱	۲/۰۵	۲/۰۸
دمدلی	۶۳/۹	۱۵۶۴۴	۸۳	۱/۹۸	۱/۹۵
ماشین ۱	۷۹/۱	۲۴۳۰۰	۸۱/۵	۱/۹۲	۱/۹۴
ماشین ۲	۹۱/۲	۳۸۲۵۰	۸۴	۱/۶۹	۱/۷۵
ماشین ۳	۸۷/۰	۱۹۶۲۰	۸۲	۱/۲۲	۱/۳۰



شکل ۸- مقایسه پروفیل شاخص سیل‌خیزی زیرحوزه ابوالعباس و سلول‌های حداقل و حداکثر

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۹- نمودار شاخص سیل‌خیزی در برابر شماره منحنی استاندارد شده

همانطور که ملاحظه می شود تغییرات f با پارامتر عدد منحنی از روند معینی پیروی نمی‌کند. مشابه همین نتیجه برای بارندگی و فاصله تا خروجی بدست آمد. حال می‌توان نتیجه گرفت که فقط با داشتن مقدار یک پارامتر از هر سلول نمی‌توان شاخص سیل‌خیزی آن سلول را تعیین نمود. به عنوان مثال در شکل (۹) بازای یک مقدار ثابت استاندارد ۰/۱۵، شاخص سیل‌خیزی مقادیر مختلفی را داراست و لذا نمی توان فقط با داشتن مقدار شماره منحنی، شاخص سیل خیزی آن را تعیین کرد. به عبارت دیگر تنها راه ممکن برای تعیین توزیع مکانی شاخص سیل خیزی ، شبیه سازی روندهای پیچیده حاکم در حوزه در قالب روش عکس العمل سیل واحد می باشد.

۵- نتیجه گیری

ازجمله مهم‌ترین پیش نیازهای پروژه‌های مهار سیل، شناسایی مناطق سیل‌خیز داخل حوزه در چهارچوب کنترل و مدیریت سیل در سرمنشاء است. لذا ارائه یک روش مناسب جهت شناسایی مناطق با پتانسیل بالا در تولید سیل مناطق پائین دست ضروری می‌باشد. یکی از موثرترین این روشها تحت عنوان Unit Flood Response (UFR) می‌باشد که در آن با حذف متوالی واحدهای داخل حوزه، روندیابی رواناب ناشی از بارش طرح و تعیین اثر هرکدام از این واحدها در سیل خروجی از کل حوزه انجام می گیرد. طبق این روش می‌توان پتانسیل سیل خیزی هر کدام از واحدها را محاسبه و آنها را از نظر سیل خیزی اولویت بندی نمود. با بسط این روش می توان اولویت بندی را برای واحدهای هر اندازه کوچک از سطح انجام داد و یک نقشه توزیعی سیل‌خیزی در سطح حوزه تهیه نمود.

در تحقیق حاضر روش پیشنهادی فوق اجرا و نحوه مشارکت واحدهای حوزه در سیل خروجی حوزه رود زرد تعیین گردید. نتایج در سطح زیرحوزه‌ها نشان داد که زیرحوزه‌هایی که دارای بیشترین دبی اوج می‌باشند لزوما بعنوان سیل‌خیزترین زیرحوزه‌ها نمی‌باشند. زیرا عوامل روندیابی و موقعیت مکانی زیرحوزه‌ها می‌تواند در چگونگی مشارکت آنها در خروجی حوزه موثر باشد. با توجه به جدول (۳) ملاحظه می‌شود که بزرگترین و نزدیکترین زیرحوزه‌ها به خروجی و یا دورترین و کوچکترین آنها، لزوما بیشترین و کمترین اثر را بر روی حداکثر دبی سیلاب در خروجی حوزه ندارد و زیرحوزه‌هایی که بالاترین و کمترین دبی را در خروجی خود تولید می‌کنند ممکن است که در اولویت‌بندی سیلخیزی رتبه‌های بعدی را به خود اختصاص دهند. . نتایج تحقیق برای بارش طراحی با دوره بازگشت صد سال، زیرحوزه تلخاب را براساس شاخص f به عنوان سیل‌خیزترین زیرحوزه‌ها معرفی می نماید. این زیرحوزه بدلیل شرایط مرفومتریک، بارندگی و زمین شناسی پتانسیل سیل‌خیزی بالایی دارد.

با رسم پروفیل تغییرات شاخص سیل خیزی زیرحوزه‌ها در امتداد رودخانه اصلی، سهم هر کدام از زیرحوزه ها در ایجاد سیل در

www.SID.ir

Archive of SID

ایستگاه‌های پایین دست در طول مسیر جریان مشخص شد. روند کلی تغییر پروفیل‌ها در طول مسیر جریان برای تمامی زیرحوزه‌ها بجز تلخاب نزولی می‌باشد. در مورد زیرحوزه تلخاب نیز چون زمان تمرکز این زیرحوزه با زیرحوزه پایین دست خود (آل خورشید) تقریبا یکسان و فاصله خروجی این دو زیرحوزه حدود ۲۳۵۸ متر و سرعت متوسط جریان بین این دو مقطع ۱/۸۶ متر بر ثانیه می‌باشد، زمان رسیدن نقطه اوج هیدروگراف‌های خروجی آنها نزدیک به یکدیگر می‌باشد (حدود ۲۰ دقیقه) و این امر باعث نمایان شدن تاثیر بیشتر آن در ایستگاههای پایین دست می شود. به طور کلی ترسیم این نوع پروفیل‌ها برای تحلیل سیل‌خیزی واحدهای بالادست نسبت به تولید سیل در هر نقطه از شبکه رودخانه اصلی مفید می‌باشد. همچنین در این تحقیق حوزه رودزرد به واحدهای سلولی به مساحت ۴ کیلومتر مربع تقسیم شد و با حذف تک تک سلول‌ها شدت سیل‌خیزی آنها تعیین گردید. بدین ترتیب نقشه توزیعی سیل‌خیزی یا هم اثر سیل حوزه بدست آمد که به کمک آن می‌توان مناطق سیل خیز حوزه را از سایر مناطق تفکیک نمود. با توجه به شکل (۴)، سلولهای شماره ۹۸ و ۲۲۹ به ترتیب با شاخص سیل‌خیزی ۳/۹۶ و ۰/۱۷۵ متر مکعب بر ثانیه بر کیلومتر مربع در زیرحوزه‌های ابوالعباس و ماشین ۱ به عنوان سیل‌خیزترین و کم تاثیرترین نواحی حوزه رود زرد در سیل خروجی شناخته شدند که دلیل آن را می‌توان در ترکیب عواملی چون نوع خاک، پوشش گیاهی، فاصله از خروجی و سایر عوامل فیزیکی آنها جستجو کرد.

همچنین نقشه کنتورهای هم پتانسیل سیل خیزی حوزه ترسیم شد و ملاحظه گردید که نواحی سیل‌خیز اغلب در مناطق کوهستانی با شیب تند قرار دارند. بطوریکه سه منطقه از حوزه شامل ارتفاعات جنوب غرب زیرحوزه دمدلی و ارتفاعات غرب زیرحوزه تلخاب و ارتفاعات میانی و پر شیب زیرحوزه ابوالعباس نسبت به بقیه نقاط حوزه سیل‌خیزتر می‌باشند. یکی از دلایل این امر وجود سازندهای آغاجاری و گچساران (ارتفاعات دمدلی و تلخاب) و همچنین توده‌های آهکی آسماری با شیب تند می باشد. همچنین پوشش گیاهی این نقاط به دلیل نوع سازند و شیب تند، بسیار ضعیف می‌باشد. این دو عامل (نوع سازند و پوشش گیاهی ضعیف) تاثیر زیادی در میزان رواناب دارند. اما ترکیب این عوامل با توجه به روندیابی و همزمانی تاثیرها می‌تواند در توجیه تغییرات مکانی شدت سیل خیزی مورد توجه قرار گیرد.

۶- مراجع

بنائی، محمد حسن. نقشه منابع و استعداد خاکهای ایران، موسسه تحقیقات خاک و آب، مقیاس نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰۰

خسروشاهی، م. و ب. ثقفیان. ۱۳۸۱. بررسی نقش مشارکت زیرحوزه‌های آبخیز در شدت سیل خیزی حوزه، مجله پژوهش و سازندگی، شماره ۵۹ ص ۶۷ تا ۷۵.

قائمی، ه. و س. مرید. ۱۳۷۵. مدل سیل‌خیزی زیرحوضه‌های کرخه. مجله نیوار شماره ۳۰. انتشارات سازمان هواشناسی کشور، ص۱۰ تا ۲۷.

Braud, I., Fernandez, P. and Bouraoui F. (1998). Study of the rainfall-runoff process in the Andes region using a continuous distributed model. *Journal of Hydrology*, 216: pp. 155-171.

Foody, G.M., Ghoneim E.M. and Arnell N.W. (2004). Predicting locations sensitive to flash flooding in an arid environment. *Journal of Hydrology*, 292: Issues 1-4, pp. 48-58.

Garrote, L. and Bras R.L. (1994). A distributed model for real time flood forecasting using digital elevation model. *Journal of Hydrology*, 167: pp. 279-306.

Kull, D.W. and Feldman, A.D. (1998). Evolution of Clark,s unit graph method to spatially distributed ronoff. *Journal of Hydrological Engineering*, ASCE, 3(1): pp. 9-19

Merz, B. and Bardossy A. (1996). Effects of spatial variability on the rainfall-runoff process in a small loess catchment. *Journal of Hydrology*, pp. 212-213: 304-317.

Pilgrim, D. H. (1987), Australian Rainfall and Runoff: A Guide to Flood Estimation, Vol. 1. The Institution of Engineers, Australia.

Pilgrim, D.H. (1977), Isochrones of travel time and distribution of flood storage from a tracer study on a small watershed, *Water Resources Research*, 13(3): pp. 587-595.

Ponce, V.M. (1989). *Engineering Hydrology*. Prentice Hall Press, New Jersey, USA.

Saghafian, B. and Khosroshahi. M. (2005). Unit response approach for priority determination of flood source areas. *J. of Hydrologic Engineering*, ASCE, 10(4): pp. 270-277.

www.SID.ir