



پهنه‌بندی سیلاب رودخانه چالوس با تلفیق مدل HEC-RAS و سیستم اطلاعات جغرافیایی

علی محمد رجبی*^۱، طاهر رجایی^۲، علی فلاح تفتی^۳

دریافت مقاله: ۹۷/۰۷/۱۴ پذیرش مقاله: ۹۷/۱۲/۱۶

چکیده

در این مطالعه با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS و تلفیق آن با مدل هیدرولوژیکی HEC-RAS، پهنه‌بندی سیلاب در حوضه آبریز چالوس انجام شده است. به این منظور با استفاده از نقشه توپوگرافی منطقه و تصاویر ماهواره‌ای، مسیر دقیق رودخانه‌ها تعیین و پردازش اولیه بر روی اطلاعات صورت گرفت. در مرحله بعد با استفاده از الحاقیه Archydro و HEC-GEO-RAS اطلاعات مورد نیاز برای نرم‌افزار HEC-RAS آماده شد و ضریب مانینگ، نقشه توزیع شماره منحنی در زیرحوضه‌ها و درصد مساحت هر کاربری (در هر زیرحوضه) مشخص شد و پس از آماده‌سازی اطلاعات، مدل HEC-RAS در شرایط ماندگار اجرا گردید. سپس با هم پوشانی لایه‌های مختلف (از جمله لایه‌های عمق و سرعت در دوره‌های مختلف بازگشت سیلاب)، مناطق خطر در هنگام بروز سیل تعیین و انواع کاربری‌هایی که در معرض خطر سیلاب قرار دارند، مشخص شد. نتایج تحقیق نشان داد که در رودخانه چالوس در بیشترین و کمترین حالت به ترتیب ۲۴ و ۸ درصد از مساحت حوضه استعداد سیل‌خیزی دارند. شیب افزایش درصد مساحت مناطق سیل گرفته نسبت به مساحت کل حوضه با دوره‌های بازگشت مختلف حدود ۲٪ می‌باشد. در سیلاب ۲ ساله، بیشترین محدوده سیلابی را به ترتیب کاربری‌های شالیزار، بلوک‌های ساختمانی، باغات، مراتع و جنگل در بر گرفته و لذا بیشترین خسارات به کشاورزان و منازل مسکونی وارد خواهد شد. همچنین با افزایش دوره بازگشت سیلاب رودخانه چالوس، مقدار مساحتی از جنگل که در محدوده سیلابی قرار می‌گیرد نسبت به مساحت بلوک‌های ساختمانی، باغات، شالیزارها و مراتع با رشد بیشتری افزایش می‌یابد.

کلید واژه‌ها: حوضه آبریز، چالوس، سیل، کاربری اراضی، سیستم اطلاعات جغرافیایی.

۱. عضو هیات علمی گروه زمین‌شناسی مهندسی، پردیس علوم، دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه تهران، تهران amrajabi@ut.ac.ir

۲. عضو هیات علمی گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه قم، قم

۳. دانش آموخته گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه قم، قم

* مسئول مکاتبات

۱. مقدمه

نواحی اطراف رودخانه‌ها از مستعدترین نواحی برای زندگی بشر بوده و ساکنین این مناطق همیشه مورد تهاجم سیلاب ناشی از افزایش ارتفاع آب بوده‌اند. در سال‌های اخیر با افزایش خسارات جانی و مالی ناشی از سیلاب و نیاز دولت‌ها و شرکت‌های بیمه برای تعیین محدوده‌های خطر سیل، تهیه نقشه‌های خطر و سپس تعیین محدوده خطر بیش از پیش ضروری به نظر می‌رسد. نقشه پهنه‌های سیلابی (با دوره‌های بازگشت مختلف)، ابزاری کارآمد برای برنامه‌ریزی کارشناسان و مدیران در پیش‌بینی خطر سیلاب و کاهش هزینه‌ها و خسارات ناشی از آن می‌باشد. بر این اساس با تعیین پتانسیل مناطق مختلف حوضه‌های آبریز از نقطه نظر خطر سیل، می‌توان برای مناطق مختلف کاربری‌هایی متناسب با همان مناطق تعریف نموده و تا حد امکان محل ساخت مناطق مسکونی را دورتر از نواحی خطر در نظر گرفت.

امروزه استفاده از Arc GIS و نرم‌افزارهای هیدرولوژیکی و هیدرولیکی در مطالعات مدیریت منابع آب و پهنه‌بندی خطر سیل گسترش زیادی پیدا کرده است. جلالی‌راد (۱۳۸۲) با استفاده از مدل HEC-RAS و نقشه‌برداری مقاطع عرضی به پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه شهری دارآباد پرداخت. خلیلی‌زاده (۱۳۸۵) پهنه‌بندی خطر سیل را در بخشی از محدوده رودخانه زیارت در حوضه آبریز شهری گرگان بررسی کرده است. آذری (۱۳۸۵) با تلفیق مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولوژیکی HEC-HMS و HEC-RAS در محیط ArcGIS به بررسی شبیه‌سازی سیلاب در بخشی از مناطق مسکونی در حوضه آبریز رودخانه جاغرق استان خراسان پرداخته است. صاحب‌دل و همکاران (۱۳۸۹) حریم و بستر رودخانه رامیان را به کمک مدل HEC-RAS مورد بررسی قرار داد. اسماعیلی (۱۳۸۷) رفتار هیدرولوژیکی رودخانه کن چانچم استان ایلام را در مقابل سیلاب‌های احتمالی برای کاهش خسارت وارده مورد مطالعه قرار داد. وی به منظور نمایش محدوده مورد مطالعه و

استخراج اطلاعات مورد نیاز در تحلیل هیدرولیکی از نرم‌افزار HEC-RAS و الحاقیه HEC-GEO-RAS استفاده کرد. حسینی (۱۳۸۹) با اعمال مدل HEC-GEO RAS و Arc GIS پهنه‌بندی سیلاب رودخانه اترک را بررسی کرد. جانسون و همکاران (Johnson et al., 1999) از مدل HEC-RAS برای پیش‌بینی و تعیین حدود اراضی مطلوب در پهنه‌ای از رودخانه ویومینگ گری‌بول در آمریکا استفاده نمودند. میلر و همکاران (Miller et al. 2002) با تلفیق مدل‌های هیدرولوژیکی و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی اثر تغییر کاربری اراضی و پوشش گیاهی را بر واکنش هیدرولوژیک دو حوضه آبخیز ایالات متحده آمریکا مورد مطالعه قرار دادند. سلیمانی (Soleimani, 2011) با استفاده از Arc GIS و HEC-RAS به بررسی سیلاب بخشی از رودخانه نکارود پرداخت. گما و همکاران (Gomaa et al., 2011) با استفاده از Arc GIS سیل‌های شهر مکه را در عربستان سعودی بررسی نمودند. سرحدی و همکاران (Sarhadi et al., 2011) با ترکیب مدل‌های هیدرولوژیکی و Arc GIS با تحلیل‌های مکرر، سیلاب حوضه آبخیز هلیل‌رود را مورد بررسی قرار دادند. آنها پس از تهیه ویژگی‌های کاربری اراضی و خصوصیات ژئومورفولوژیک و آب و هوایی منطقه و وارد کردن داده‌ها به مدل HEC-RAS و انجام پردازش‌های لازم، نقشه‌های عمق و پهنه‌بندی سیلاب را استخراج و مناطق مستعد سیل‌گرفتگی را مشخص کردند. مارتین و همکاران (Martin et al. 2012) با استفاده از مدل HEC-HMS، HEC-RAS و ArcGIS به بررسی سیلاب رودخانه سیرونکو در اوگاندا پرداخته و با تهیه نقشه‌های خطرپذیری سیل مناطق مستعد سیل را مشخص نمودند. شیخ‌علیشاهی (۱۳۹۵) با هدف تلفیق مدل هیدرولیکی HEC-RAS با نرم‌افزار ArcGIS از طریق الحاقیه HEC-Geo RAS به برآورد پهنه سیل در حوضه آبریز منشاد یزد پرداخته است. در این مطالعه گستره سیلاب در اراضی حاشیه رودخانه برای سیلاب با دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سال محاسبه گردید. بررسی‌ها نشان داد پهنه سیلاب محاسبه شده (دوره بازگشت ۲۰۰ سال) دارای مساحت ۸/۹ کیلومتر

پهنه‌بندی سیلاب در نواحی اطراف رودخانه چالوس انجام یافته است.

بررسی نتایج حاصل از مطالعات انجام شده با استفاده از نرم-افزارهای مورد بررسی نشان می‌دهد که استفاده توأم از نرم‌افزار HEC-RAS و Arc GIS نتایج قابل قبولی را بدست داده است.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بین طول‌های ۵۲۲۳۰۴ تا ۵۶۶۰۴۳ شرقی و عرض‌های ۴۰۳۹۳۹۱ تا ۴۰۶۰۹۱۳ شمالی، به مساحت ۲۴۷ کیلومتر مربع در حوضه آبریز جنوب دریای مازندران و از شمال تا جنوب شهرستان چالوس را در بر گرفته و شامل چندین زیرحوضه کوچک و بزرگ می‌باشد. شکل ۱ موقعیت محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد. در جدول ۱ نیز مشخصات فیزیوگرافی حوضه و زیرحوضه‌های چالوس آورده شده است.

۲-۲. معرفی مدل‌های مورد استفاده

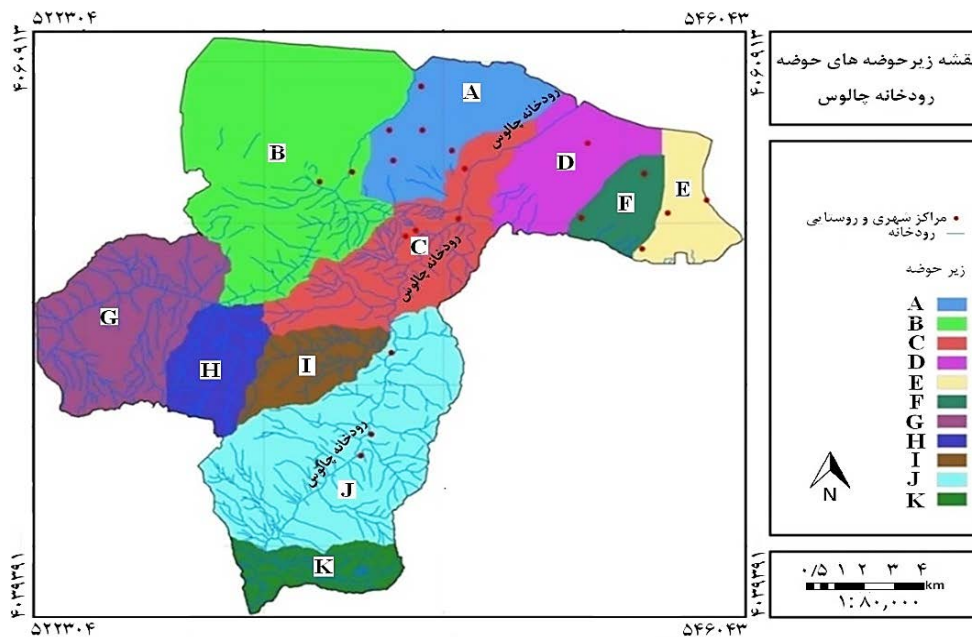
سیستم تحلیل رودخانه (RAS)، یکی از نرم‌افزارهای مرکز مهندسی ارتش آمریکا است که امکان انجام محاسبات هیدرولیکی در شرایط جریان ماندگار و غیرماندگار را در کانال-های طبیعی و مصنوعی به کاربر می‌دهد. معمولاً ارتباط بین داده‌های برنامه‌های هیدرولیکی و برنامه‌های سامانه اطلاعات مکانی (Arc GIS) یکی از مشکلات اساسی کاربران این نرم-افزارها می‌باشد. با ورود HEC-Geo-RAS این نوع مشکلات تا حدود زیادی رفع شد. HEC-Geo-RAS ترکیبی از RAS و ArcGIS است که مجموعه‌ای از روش‌ها و ابزارها برای پردازش داده‌های مکانی را فراهم می‌کند. در مطالعه حاضر، از این نرم-افزار به منظور تهیه پروفیل سطح آب در دبی‌های با دوره‌های بازگشت مختلف در حوضه و رودخانه چالوس، مقادیر سرعت جریان، عمق جریان، خصوصیات و پارامترهای هیدرولیکی رودخانه استفاده شده است. بطورکلی در مدل HEC-RAS، ژئومتری رودخانه توسط مقاطع عرضی و فاصله این مقاطع از

مربع می‌باشد که بیش‌ترین مساحت به اراضی کشاورزی (به مساحت ۷۱/۴۵ هکتار) و باغی (۱۲/۷۷ هکتار) اختصاص دارد. بر این اساس تلفیق سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی با مدل HEC-RAS در تحلیل مناطق سیل‌گیر باعث تسهیل محاسبه‌ها و کاهش عملیات میدانی می‌شود. دمیر و همکاران (Damir et al., 2016) و دمیر (Damir, 2015) با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS و نرم‌افزار ArcGIS ضمن شبیه‌سازی سیلاب در دوره‌های بازگشت مختلف، نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب را برای حوضه رودخانه مرت (Mert) ترکیه تهیه نمودند. سیلاب این رودخانه در سال ۲۰۱۲ منجر به تلفات جانی و آسیب‌های زیاد به مناطق مسکونی شده است. رحمتی و همکاران (Rahmati et al., 2016) با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی، نقشه پتانسیل سیلاب منطقه یاسوج را مورد بررسی قرار داده و نتایج آن را با مدل هیدرولیکی HEC-RAS مقایسه کردند. این نقشه‌ها در پیش‌بینی سیلاب برای سناریوهای مختلف سیلاب در سال‌های آینده قابل استفاده هستند. نتایج نشان داد استفاده از تحلیل سلسله مراتبی در تهیه نقشه‌های پیش‌بینی کننده، همراه با استفاده از مدل‌های هیدرولیکی نتایج قابل قبولی را بدست می‌دهند.

تحقیقات مشابهی نیز توسط مساعدی و توکلی (۱۳۹۱)، وهابی (۱۳۸۵)، اعلمی (۱۳۸۱)، جهانشاهی (۱۳۹۱)، دهو (De Hoo, 2001)، ناپرادین و چیرا (Napradean and Chira 2006) و کنبل (Knebl et al., 2005) انجام شده است. بررسی نتایج حاصل از مطالعات انجام شده با استفاده از نرم‌افزارهای مورد بررسی نشان می‌دهد که استفاده توأم از نرم‌افزار HEC-RAS و Arc GIS نتایج قابل قبولی را بدست داده است.

در سال‌های اخیر مناطق مختلفی از کشور (به ویژه نواحی شمالی مانند شهرهای غرب مازندران، خصوصاً چالوس) تحت تاثیر سیلاب بوده و خسارت‌های مالی و جانی فراوانی به این مناطق وارد شده است. در تحقیق حاضر ضمن بررسی شرایط هیدرولوژیکی حوضه آبریز چالوس، با استفاده از نرم‌افزارهای هیدرولیکی مورد بحث و سیستم اطلاعات جغرافیایی،

یکدیگر معرفی می‌گردد و از سوی دیگر در هر مقطع عرضی کلیه پارامترهای هیدرولیکی جریان محاسبه می‌شود.



شکل ۱. حوضه چالوس و زیرحوضه‌های آن

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی حوضه آبریز رودخانه چالوس

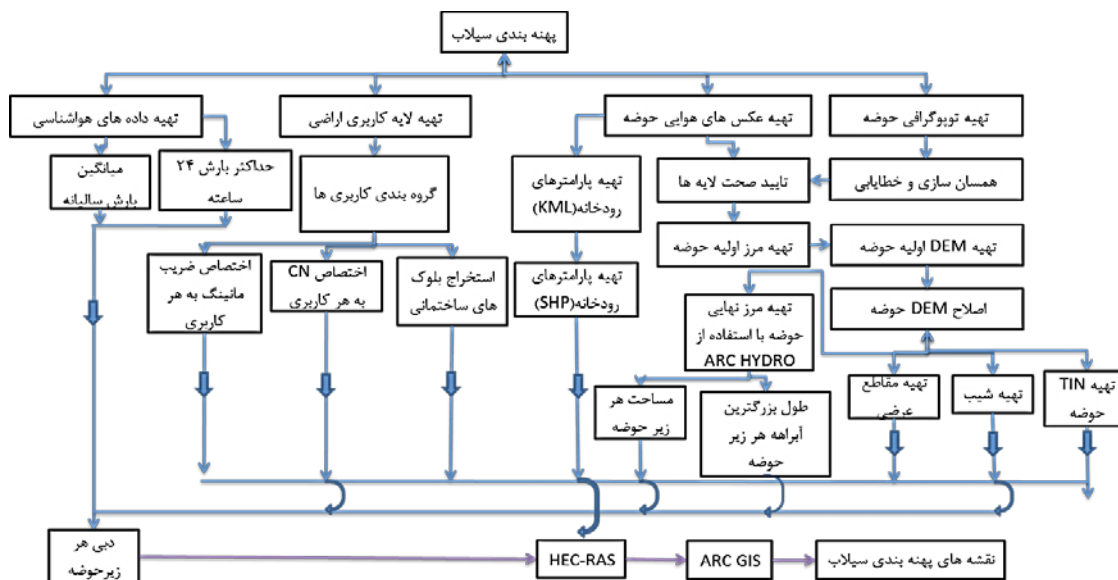
Time focus (hr)	Basin perimeter (km)	Average Slope (%)	Length of the largest waterway (m)	Area (km ²)	Sub-Basin
4.05	794900	22	12500	26	A
5.09	902404	20	9500	53	B
7.09	794977	23	13500	25	C
3.80	775000	21	1200	24	D
3.00	155000	34	5400	10	E
1.22	263000	42	4100	4	F
4.38	226705	38	10234	30	G
3.00	772729	36	5700	12	H
3.05	155759	35	5600	11	I
3.88	54994	44	11100	44	J
2.37	374997	44	5800	8	K

۳-۲. فرایند مدل سازی

به منظور پهنه‌بندی سیلاب در منطقه مورد مطالعه، با تهیه نقشه توپوگرافی (با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰)، مسیر دقیق رودخانه‌ها از تصاویر ماهواره‌ای استخراج و برای ورود به محیط Arc GIS آماده شدند. سپس در محیط Arc GIS پردازش اولیه بر روی اطلاعات انجام یافته و با استفاده از نرم‌افزار Archydro، مرز کلی حوضه و زیرحوضه‌های موجود مشخص شدند. در مرحله بعد با استفاده از اطلاعات استخراج شده، مدل ارتفاع رقومی (DEM)، شبکه نامنظم مثلثاتی (TIN)، نقشه میانگین شیب برای هر زیرحوضه، نقشه آبراهه‌ها و جهت آبراهه‌ها تهیه شده و با استفاده از نرم‌افزار HEC-GEO-RAS، اطلاعات مورد نیاز برای نرم‌افزار HEC-RAS تهیه گردید.

سپس با استفاده از نقشه کاربری اراضی، مقادیر ضریب مانینگ، گروه‌های هیدرولوژیک خاک و نقشه توزیع شماره منحنی در زیرحوضه‌ها تعیین و درصد مساحت هر کاربری در هر زیرحوضه مشخص گردید. در ادامه با انتقال اطلاعات به HEC-RAS، مدل خروجی در شرایط ماندگار اجرا گردید. سپس با انتقال مدل به نرم‌افزار Arc GIS، پردازش‌های لازم انجام شده

و با همپوشانی لایه‌های مختلف (نظیر لایه‌های عمق و سرعت)، مناطق خطر سیل (در دوره‌های بازگشت مختلف) تعیین و انواع کاربری‌هایی که در معرض خطر سیلاب قرار دارند مشخص شد. در شکل ۲ مراحل انجام تحقیق با جزئیات ارائه شده است. برای طرح‌های مهار سیلاب، معمولاً دوره بازگشت سیلاب ۱۰ الی ۱۰۰ ساله (عمدتاً ۲۵ ساله) در نظر گرفته می‌شود. در طرح‌های مربوط به تثبیت بستر و سواحل نیز دوره بازگشت ۲۵ تا ۱۰۰ سال مبنای ارزیابی سیلاب طرح قرار می‌گیرد. بر این اساس ۵۷ درصد از طرح‌ها دوره بازگشت ۲۵ ساله را مبنای سیلاب طراحی قرار داده و فقط ۱۰ درصد طرح‌ها از دوره بازگشت بالای ۱۰۰ سال استفاده نموده‌اند. همچنین حدود ۸۰/۲ درصد طرح‌ها از دوره بازگشت بین ۱۰ تا ۵۰ سال استفاده نموده‌اند که معمولاً محدوده دوره بازگشت اراضی کشاورزی می‌باشند. بر این اساس در مطالعه حاضر، ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب بر مبنای دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال انجام شده است. لازم به ذکر است که به دلیل محدودیت صفحات، در این مقاله تنها نقشه‌های سیلاب ۲۵ ساله ارایه شده است.



شکل ۲. نمودار گردش مراحل انجام تحقیق

۲-۴. برآورد حداکثر دبی سیلاب

در مطالعه حاضر بررسی‌های هیدرولوژیکی با هدف برآورد سیلاب دبی‌های لحظه‌ای انجام یافته و به منظور تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب (در دوره‌های بازگشت مختلف)، دبی با دوره‌های بازگشت مختلف محاسبه شده است. سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) برای بدست آوردن دبی سیل روش ساده‌ای را پیشنهاد نموده که در اکثر پروژه‌های هیدرولوژیکی، زهکشی و جمع آوری آب‌های سطحی کاربرد دارد (علیزاده، ۱۳۹۱). در

این روش حداکثر دبی لحظه‌ای برابر است با:

$$Q_p = \frac{0.0208 \times A \times Q_d}{T_p} \quad (1)$$

که در آن؛

$$Q_d = \frac{(P - 0.2 S)^2}{(P + 0.8 S)} \quad (2)$$

در این روابط Q_p حداکثر دبی لحظه‌ای؛ Q_d ارتفاع رواناب روی حوضه؛ P مقدار بارش؛ A مساحت حوضه؛ S حداکثر پتانسیل نگهداشت رطوبت و T_p مدت زمان بارندگی است. شیب حوضه (S) نیز بستگی به شماره منحنی (CN) داشته و مقدار آن برابر است با:

$$CN = \frac{2540}{25.4 + S} \quad (3)$$

با بازدید میدانی از برخی مناطق حوضه آبریز و استفاده از جدول‌های پیشنهادی (رهنما، ۱۳۸۷) و با توجه به کاربری موجود در هر زیرحوضه (مانند جنگل، مرتع، بلوک ساختمانی، باغ و شالیزار (شکل ۳)) مقادیری از CN برای هر کاربری تخصیص داده شده

و سپس مقادیر متوسط CN برای هر زیرحوضه متناسب با مقادیر مساحت هر کاربری بدست آمده است (شکل ۴).

در این تحقیق به منظور به دست آوردن دبی حداکثر لحظه‌ای، مقادیر مساحت حوضه، طول بزرگترین آبراهه و شیب متوسط حوضه با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS حاصل شده و مقادیر T_p

و T_C (زمان تمرکز) با استفاده از روابط (۴) و (۵) بدست آمده است (صاحب‌دل و دیگران، ۱۳۸۹):

$$T_p = 0.6T_C + \sqrt{T_C} \quad (4)$$

$$T_C = \frac{L^{0.8} \left[\frac{1000}{CN} - 9 \right]^{0.7}}{4407 S} \quad (5)$$

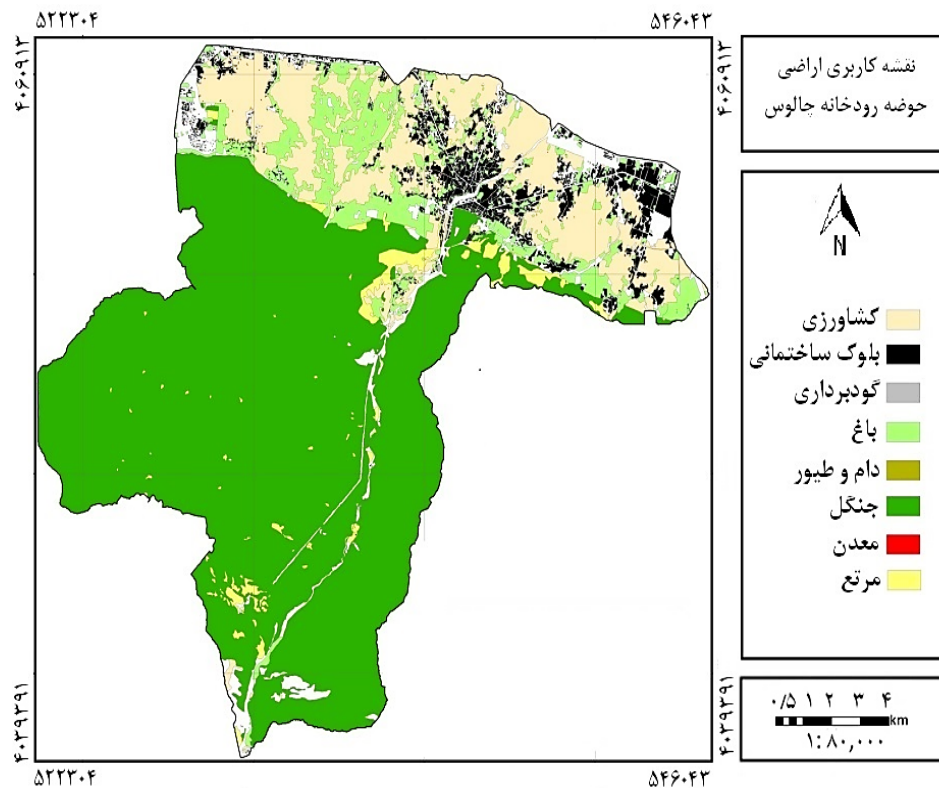
که در آن L طول بزرگترین آبراهه (متر) می‌باشد. در جدول ۲ خلاصه‌ای از مقادیر دبی اوج سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف ارائه شده است.

۲-۵. ضریب زبری مانینگ

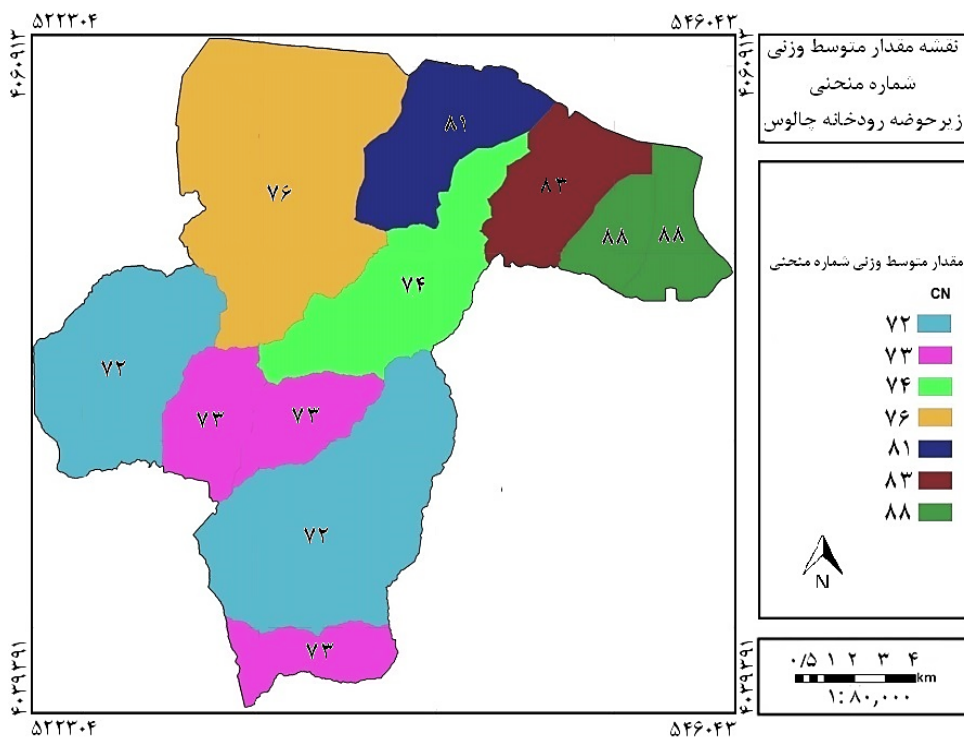
در این تحقیق مقادیر ضریب زبری مانینگ با توجه به اطلاعات حاصل از بازدیدهای میدانی و مقادیر پیشنهادی (حسینی و ابریشمی، ۱۳۸۷؛ مساعدی و توکلی، ۱۳۸۲) استخراج شده و با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS مقادیری از این ضریب به هر کاربری اختصاص داده شده است. بر این اساس برای هر مقطع از رودخانه، تعداد متعددی ضریب مانینگ در نظر گرفته شده است. نمونه‌ای از ضرایب مانینگ اختصاص داده شده به هر کاربری برای مقطعی از رودخانه در جدول ۳ ارائه شده است.

۳. نتایج و بحث

شکل ۵ نقشه عمق سیلاب ۲۵ ساله را نشان می‌دهد. با توجه به این نقشه و سایر نقشه‌های عمق سیلاب (برای سایر دوره‌های بازگشت)، می‌توان مناطق سیل گرفته را به راحتی شناسایی کرده و در مورد آنها تصمیم‌گیری نمود. در ضمن، عمق هر قسمت از مناطق سیل گرفته در این نقشه‌ها معین بوده و می‌توان با داشتن اطلاعات عمق سیلاب و پهنه‌های سیلابی، تصمیماتی برای جلوگیری از پخش سیلاب در مناطق آسیب‌پذیر و همچنین کاهش عمق سیلاب اتخاذ کرد. با توجه به مناطق حریم رودخانه چالوس عمق سیلاب بیشتری را نشان می‌دهد و با فاصله از محور رودخانه عمق کاهش می‌یابد.



شکل ۳. نقشه کاربری اراضی در محدوده مورد مطالعه



شکل ۴. نقشه توزیع CN در هر زیر حوضه

جدول ۲. مقادیر دبی اوج سیلاب (متر مکعب بر ثانیه) زیرحوضه‌های رودخانه چالوس (در دوره بازگشت‌های مختلف) بر مبنای روش SCS

	Return period					Sub-basin
	100	50	25	10	5	
65	56	42	31	20	11	A
207	175	142	101	72	32	B
70	60	48	35	23	12	C
58	51	38	30	18	9	D
41	32	24	14	10	4	E
48	40	32	20	13	5	F
88	73	59	40	25	9	G
48	40	32	20	13	5	H
40	32	25	17	12	4	I
150	120	98	65	43	16	J
40	30	22	15	12	6	K

جدول ۳. ضرایب مانینگ اختصاص داده شده به هر کاربری

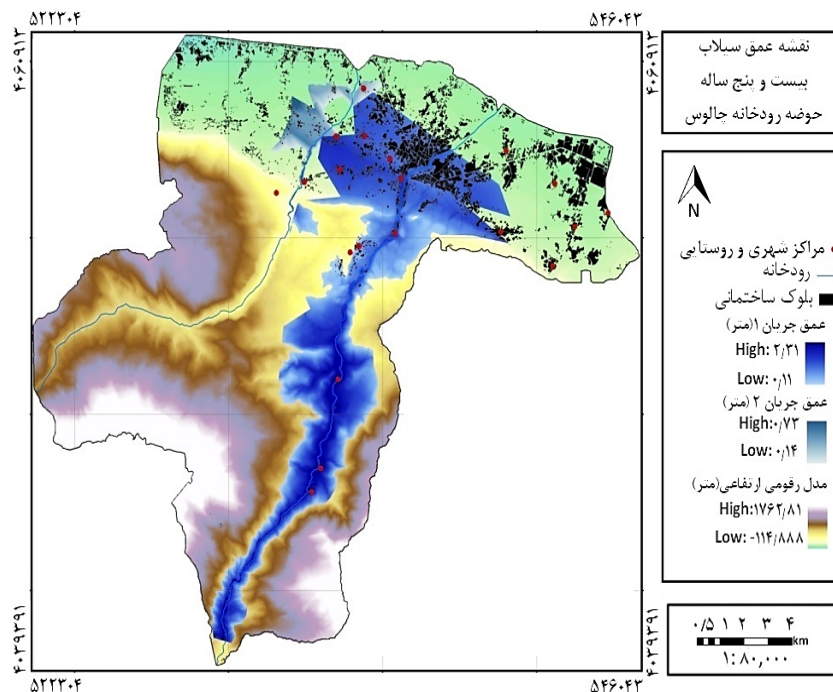
Percentage of each user	Manning coefficient	Land use
5.7	0.018	Building block
9.3	0.022	Garden
15.9	0.023	Agriculture
2.4	0.025	Rangeland
66.3	0.110	Forest

می‌توان سهم هر قسمت از مناطق سیل گرفته را مشخص نموده و برای سیلاب‌های مختلف، مناطق با بیشترین خسارات را ارزیابی کرده و درصد خسارات هر منطقه را تخمین زد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که نسبت مساحت اراضی سیل‌گیر سیلاب ۲۵ ساله به مساحت اراضی سیل‌گیر سیلاب ۱۰۰ ساله برابر ۸۶ درصد می‌باشد، لذا حدود ۸۶ درصد از کل مساحت سیل‌گیر، توسط سیلاب ۲۵ ساله حادث شده و در نتیجه بخش عمده‌ای از خسارات به پهنه‌های سیل‌گیر ۲۵ ساله و کمتر وارد می‌گردد. نمودار مساحت پهنه‌های سیلابی بادوره‌های بازگشت مختلف در رودخانه چالوس در شکل ۸ نشان داده شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که سیلاب ۲ ساله در حدود ۳۳٪ از مناطق سیل گرفته توسط سیلاب ۱۰۰ ساله را شامل می‌گردد، لذا ایجاد سیستم هشدار سیل برای مناطقی که در سیلاب ۲ ساله دچار آبگرفتگی می‌شوند ضروری است. نسبت مساحت‌های مناطق

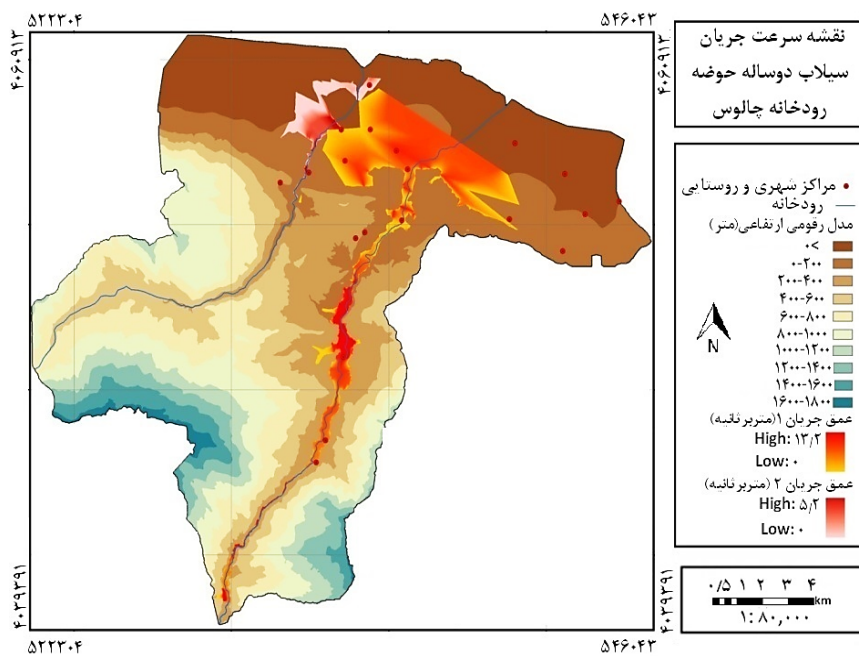
با توجه به نقشه‌های سرعت سیل، سرعت جریان در تمامی مناطق سیل گرفته قابل مشاهده می‌باشد. شکل ۶ نقشه سرعت جریان سیلاب ۲۵ ساله را نشان می‌دهد. با استفاده از این نقشه‌ها می‌توان مناطق را صرفاً بر اساس سرعت سیل مورد بررسی قرار داده و با بررسی‌های میدانی و اقدامات کارشناسی، تمهیداتی برای جلوگیری از سرعت سیل در مناطق مستعد خطر سیل اندیشید. با تلفیق نقشه‌های عمق و سرعت، نقشه نقاطی که در اثر سیلاب بیش از نقاط دیگر تهدید می‌شوند برای دوره‌های بازگشت مختلف تهیه گردید، به عنوان مثال، شکل ۷. شکل ۸ مساحت پهنه‌های سیلابی با دوره‌های بازگشت مختلف در رودخانه چالوس نقشه خطرپذیری مناطق سیل گرفته با دوره بازگشت ۲۵ ساله را نشان می‌دهد. با توجه به نقشه‌های خطرپذیری و شناسایی مناطق پرخطر و کم خطر (و در واقع با کلاسه‌بندی مناطق از نظر خطرپذیری)

موجود در مناطق سیل گرفته با دوره بازگشت ۲، ۱۰ و ۲۵ ساله در رودخانه چالوس در شکل‌های ۱۱، ۱۲ و ۱۳ آمده است. در سیلاب با دوره بازگشت ۲ ساله، بیشترین محدوده سیلابی را به ترتیب کاربری‌های شالیزار، بلوک‌های ساختمانی، باغات، مراتع و جنگل در بر می‌گیرند. از طرفی با توجه به اینکه در این سیلاب مساحت جنگل نسبت به مساحت کاربری‌های دیگر و نسبت به مساحت جنگل که در پهنه‌های سیلابی با دوره‌های بازگشت بالاتر واقع شده بسیار کمتر است، لذا پیش‌بینی می‌شود در سیل ۲ ساله اجسامی مانند تنه و شاخ و برگ درختان نسبت به سیلاب‌های با دوره بازگشت بالاتر بسیار کمتر دیده شود و آسیب ناشی از حمل این اجسام بسیار کمتر باشد. با افزایش دوره بازگشت، مساحت مناطق جنگلی که در محدوده سیلاب قرار می‌گیرند افزایش می‌یابد و در نتیجه آسیب ناشی از حمل اجسام نظیر شاخه و تنه درختان رشد مضاعفی خواهد داشت.

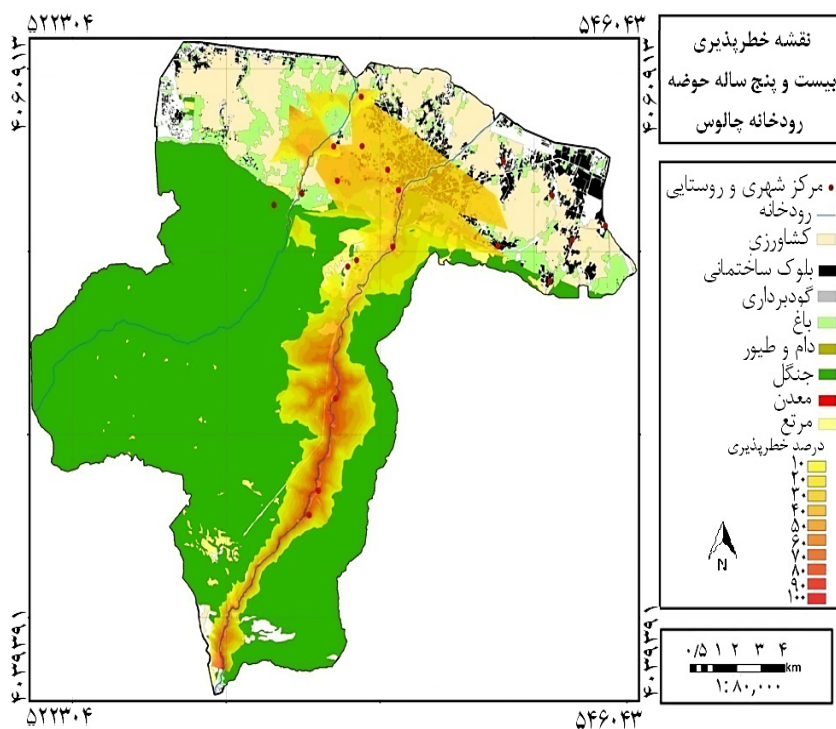
سیل گرفته با دوره‌های بازگشت مختلف نسبت به مساحت کل حوضه نیز در شکل ۹ ارائه شده است. با توجه به شکل ۸، در بیشترین حالت، ۲۴٪ از مساحت کل حوضه و در کمترین حالت، ۸٪ از مساحت کل حوضه استعداد سیل‌خیزی دارند، از طرفی شیب افزایش درصد مساحت مناطق سیل گرفته با دوره‌های بازگشت مختلف تقریباً برابر ۲٪ می‌باشد. درصد مساحت مناطق سیل‌گرفته با دوره بازگشت‌های مختلف نسبت به مساحت مناطق سیل گرفته با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله در رودخانه چالوس در شکل ۱۰ آورده شده است. درصد کاربری‌های موجود در مناطق سیل گرفته با دوره بازگشت ۲۵ ساله در جدول ۴ آورده شده است. بر این اساس بیشترین محدوده‌های سیل گرفته شامل کاربری‌های بلوک ساختمانی، باغ و شالیزار می‌باشند، لذا بیشترین خسارت را منازل مسکونی، مناطق تجاری و کشاورزان و شالیکاران متحمل می‌شوند. مساحت کاربری‌های



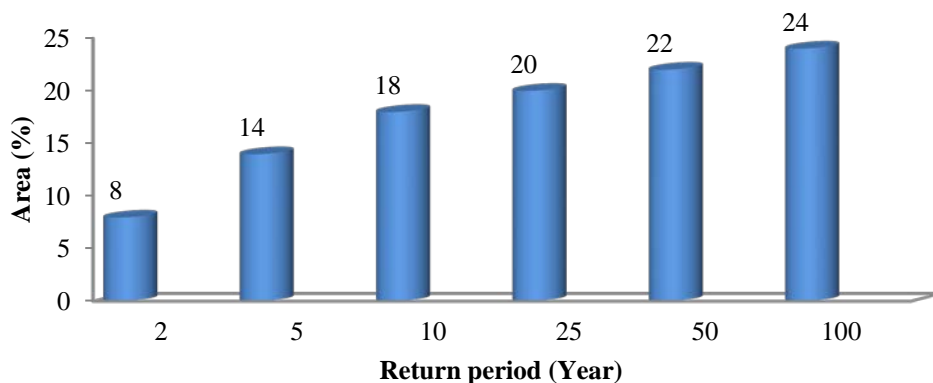
شکل ۵. نقشه عمق جریان سیلاب (با دوره بازگشت ۲۵ ساله)



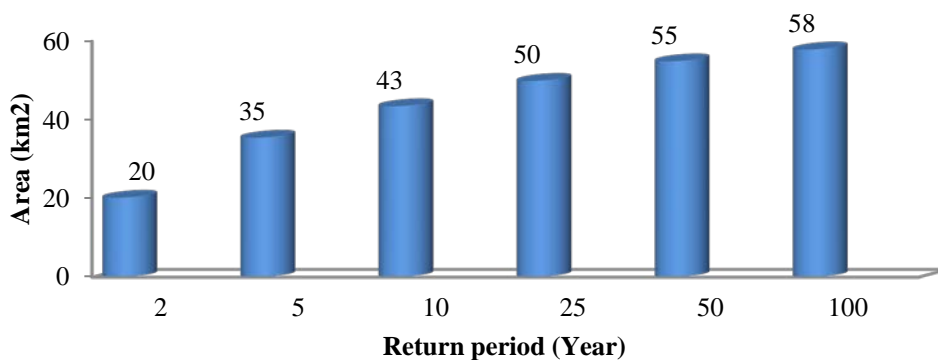
شکل ۶. نقشه سرعت جریان سیلاب (با دوره بازگشت ۲۵ ساله)



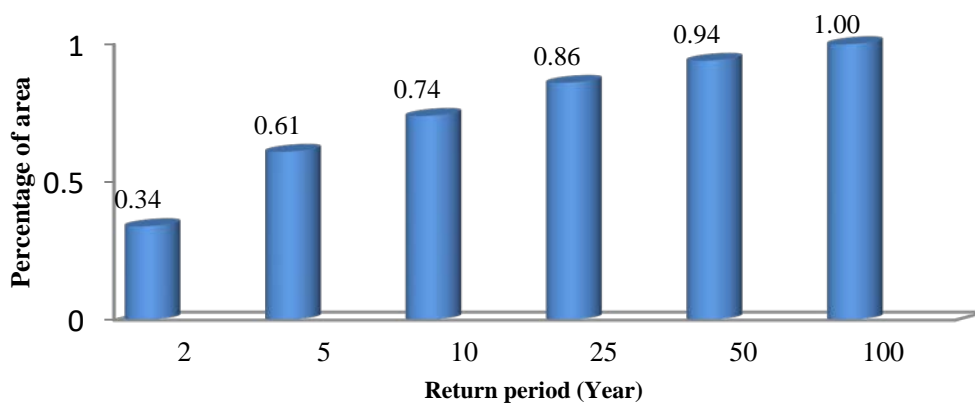
شکل ۷. نقشه خطر پذیري مناطق سيل گرفته با دوره بازگشت ۲۵ ساله



شکل ۸. مساحت پهنه‌های سیلابی با دوره‌های بازگشت مختلف در رودخانه چالوس



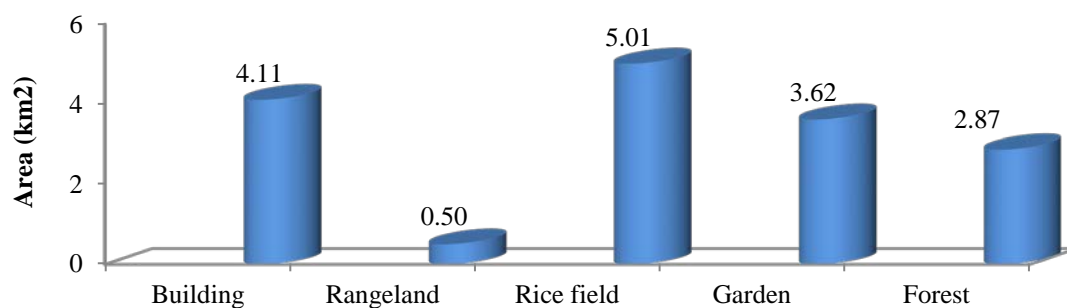
شکل ۹. درصد مساحت مناطق سیل گرفته نسبت به مساحت کل حوضه (با دوره‌های بازگشت مختلف)



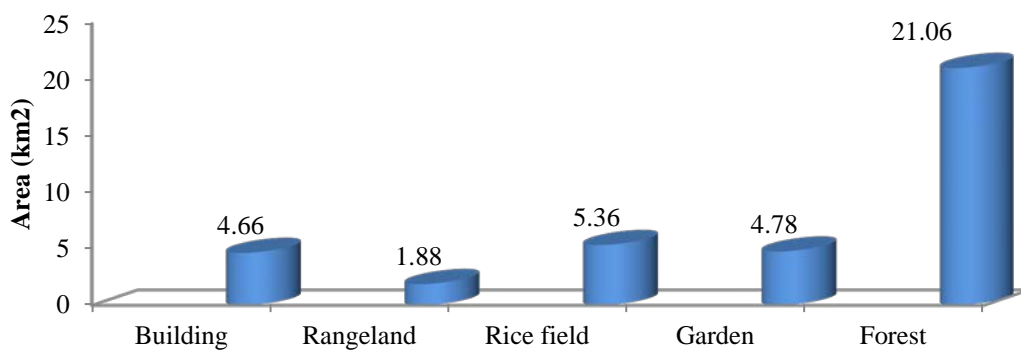
شکل ۱۰. درصد مساحت مناطق سیل گرفته (با دوره‌های بازگشت مختلف) نسبت به مساحت مناطق سیل گرفته با سیلاب ۱۰۰ ساله

جدول ۴. درصد کاربری‌های موجود در مناطق سیل گرفته با دوره بازگشت ۲۵ ساله

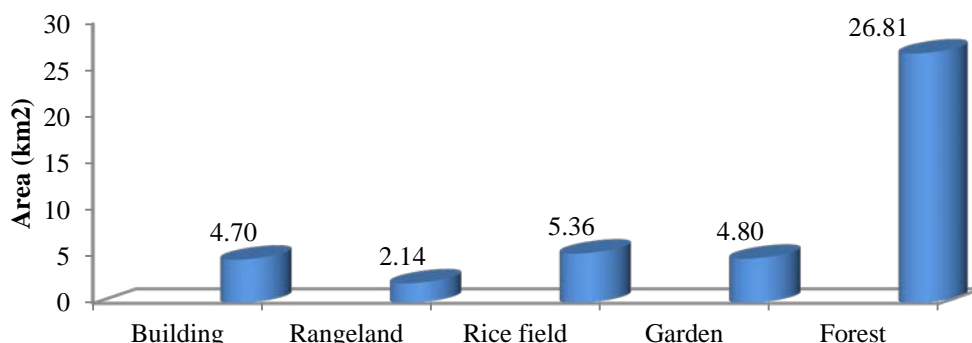
Percentage (%)	Area(m ²)	Land use	Percentage (%)	Area(m ²)	Land use
4.2900	2142771	Rangeland	2.05	1022086	Agriculture
10.7500	5360993	Rice field	0.01	5245	Graveyard
1.0230	510154	River	0.0008	439	Administrative Region
9.0300	510154	Building	53.78	26808762	Forest
0.0140	7261	stadium	0.02	11370	Mine
0.0027	1362	Public Service Station	9.63	4804712	Garden
0.0900	45012	Storage area	0.015	7672	Parks and promenade
0.0048	2418	Water reservoir	0.18	92842	Digging
0.8900	444526	Tree planting	0.0009	465	Police Station



شکل ۱۱. مساحت کاربری‌های موجود در مناطق سیل گرفته با دوره بازگشت ۲ ساله



شکل ۱۲. مساحت کاربری‌های موجود در مناطق سیل گرفته با دوره بازگشت ۱۰ ساله



شکل ۱۳. مساحت کاربری‌های موجود در مناطق سیل گرفته با دوره بازگشت ۲۵ ساله

۴. نتیجه‌گیری

حوضه با دوره‌های بازگشت مختلف حدود ۲٪ می‌باشد. در سیلاب ۲ ساله، بیشترین محدوده سیلابی را به ترتیب کاربری‌های شالیزار، بلوک‌های ساختمانی، باغات، مراتع و جنگل شامل می‌شود و لذا بیشترین خسارات به کشاورزان و منازل مسکونی وارد خواهد آمد. همچنین با افزایش دوره بازگشت سیلاب رودخانه چالوس، مقدار مساحت جنگل‌هایی که در محدوده سیلابی قرار می‌گیرد نسبت به مساحت بلوک‌های ساختمانی، باغات، شالیزارها و مراتع با رشد بیشتری افزایش می‌یابد. بررسی نقشه‌های خروجی حاصل از این مطالعه نشان می‌دهند که پهنه‌بندی صورت گرفته توسط تلفیق مدل HEC-RAS و ARC GIS سازگاری خوبی با نقاط سیل گرفته در حادثه سیلاب آبان ماه ۱۳۹۱ دارند، لذا می‌توان گفت که مدل ارائه شده برای حوضه آبریز مورد مطالعه نتایج خوبی ارائه نموده است و در صورت وجود اطلاعات پایه اولیه و با دقت مناسب، با کاربرد توأم نرم‌افزار ArcGIS و نرم‌افزار HEC-RAS، می‌توان مدل‌سازی مناسبی را ارائه نمود. با توجه به دقت و سرعت بالای مدل تلفیقی ارائه شده در تحقیق حاضر، پیشنهاد می‌گردد از این روش به منظور تعیین پهنه‌های خطر سیل و تعیین محدوده حریم رودخانه‌ها استفاده شود.

در این تحقیق از نرم‌افزار Arc GIS و تلفیق آن با مدل HEC-RAS، برای پهنه‌بندی سیلاب در حوضه آبریز چالوس استفاده شد. به این منظور با استفاده از نقشه توپوگرافی منطقه و تصاویر ماهواره‌ای، مسیر دقیق رودخانه‌ها تعیین و در محیط Arc GIS پردازش اولیه بر روی اطلاعات صورت گرفت و با استفاده از الحاقیه Archydro و HEC-GEO-RAS اطلاعات مورد نیاز برای نرم‌افزار HEC-RAS آماده شد. در نهایت با هم‌پوشانی لایه‌های مختلف (از جمله لایه‌های عمق و سرعت در دوره‌های مختلف بازگشت سیلاب)، مناطق خطر در هنگام بروز سیل تعیین و انواع کاربری‌هایی که در معرض خطر سیلاب قرار دارند، مشخص گردید. با توجه به بررسی‌های انجام شده در این تحقیق، بیشترین محدوده‌های سیل گرفته شامل کاربری‌های بلوک ساختمانی، باغات، جنگل و شالیزار می‌باشد، لذا بیشترین خسارت را منازل مسکونی و مناطق تجاری و کشاورزان و شالیکاران متحمل خواهند شد. نتایج تحقیق نشان داد که در رودخانه چالوس در بیشترین و کمترین حالت به ترتیب ۲۴ و ۸ درصد از مساحت حوضه استعداد سیل‌خیزی دارند. شیب افزایش درصد مساحت مناطق سیل گرفته نسبت به مساحت کل

فهرست منابع

- اسماعیلی، ف. ۱۳۸۷. پهنه بندی خطر سیلاب با استفاده از مدل ریاضی و GIS، مطالعه موردی: رودخانه کنجانچم (گاوی) استان ایلام. دومین کنفرانس ملی نیروگاه های آبی کشور، شرکت آب و نیروی ایران. تهران، ۲۵ الی ۲۶ اردیبهشت ماه.
- آذری، م. ۱۳۸۵. تلفیق مدل های HEC-RAS و HEC-HMS در GIS به منظور شبیه سازی سیلاب، مطالعه موردی: حوضه جاغرق. اولین همایش ملی مهندسی مسیل ها. شهرداری مشهد، مشهد، ۹ الی ۱۰ اسفند.
- اعلمی، م.ت. ۱۳۸۷. پهنه بندی حریم و بستر و تعیین کاربری اراضی مطالعه موردی رودخانه قرقنو، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب. انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران، دانشگاه تبریز.
- جلالی راد، ر. ۱۳۸۲. پهنه بندی سیل با استفاده از نرم افزار HEC-RAS و سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شهری دارآباد)، پژوهشنامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خزر. ۱(۲): ۳۴-۴۷.
- جهانشاهی، ا. ۱۳۹۱. پهنه بندی خطر و ارزیابی خسارت سیل با استفاده از مدل های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی مطالعه موردی: بازه ای از رودخانه هلیل رود در شهرستان رابر، دومین کنفرانس برنامه ریزی و مدیریت محیط زیست. تهران، دانشگاه تهران.
- حسینی، س.ا. ۱۳۸۹. تلفیق مدل های هیدرولیکی و ابزارهای GIS در تهیه نقشه های پهنه بندی سیل مطالعه موردی: رودخانه اترک. نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، انجمن هیدرولیک ایران، دانشگاه تربیت مدرس.
- حسینی، س.م. ابریشمی، ج. ۱۳۸۷. هیدرولیک کانالهای باز، انتشارات آستان قدس رضوی.
- خلیلی زاده، م. ۱۳۸۵. پهنه بندی خطر سیل در بخشی از محدوده رودخانه زیارت در حوضه آبخیز شهری گرگان، پژوهش نامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۲(۴): ۱۳۸-۱۴۶.
- رهنما، ا. ۱۳۸۷. برآورد رواناب سطحی در حوضه آبریز بشار به روش شماره منحنی (CN)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- شیخ علیشاهی، ن. جمالی، ع.ا. و حسن زاده نفوتی، م. ۱۳۹۵. پهنه بندی سیل با استفاده از مدل هیدرولیکی تحلیل رودخانه (مطالعه موردی: حوضه آبریز منشاد- استان یزد). فضای جغرافیایی. ۱۶(۵۳): ۹۶-۷۷.
- صاحبدل، ش. یعقوب زاده، م. جعفری رودسری، م. ۱۳۸۹. تعیین حریم و بستر رودخانه به کمک مدل HEC-RAS مطالعه موردی: رودخانه رامیان. همایش ژئوماتیک.
- علیزاده، ا. ۱۳۹۱. اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات آستان قدس رضوی.
- مساعدی، ا. توکلی، م. ۱۳۸۲. بررسی مناسبترین روش تعیین ضریب مانینگ و پهنه بندی خطر سیل در بخشی از اترک میانی. فصلنامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۰(۴): ۱۵۳-۱۶۲.
- وهابی، ج. ۱۳۸۵. پهنه بندی خطر سیل با استفاده از مدل های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی مطالعه موردی طالقان رود، نشریه پژوهش و سازندگی. ۱۹(۲): ۳۳-۴۰.
- De Hoo, A.; Odijk, M.; Koster, E. & Lucieer, A. 2001. Assessing The Effects of Land Use Changes on Floods in The Meuse and Oder Catchments, Phys. Chem. Earth (B), 26 (7-8): 593-599.
- Demir, V. & Ozgur Kisi, O. 2016. Flood Hazard Mapping by Using Geographic Information System and Hydraulic Model: Mert River, Samsun, Turkey. Volume 2016, Article ID 4891015, 9 pages, <http://dx.doi.org/10.1155/2016/4891015>
- Demir, V. 2015. Mert River (SAMSUN/TURKEY) the Flood Maps Determining the Help of Geographic Information Systems, Canik Basari University Institute of Natural Sciences, Samsun, Turkey.
- Gomaa, M.D.; Meraj, N.M. & Al-Ghamdi, K. 2011. GIS-Based Spatial Mapping of Flash Flood Hazard in Makkah City, Saudi Arabia. Journal Earth and Environmental Sciences. 3(3): 225-231.

- Johnson, G.D.; Strickland, M.D.; Buyok, J.P.; Derby, C.E. & Young, D.P. 1999. Quantifying Impacts to Riparian Wetlands Associated with Reduced Flows Along the Greybull River Wyoming Wetland. Society of Wetland Scientists. 19(1): 71-77.
- Knebl, MR.; Yang, Z.L.; Hutchison, K. & Maidment, D.R. 2005. Regional scale flood modelling using NEXRAD rainfall GIS and HEC-HMS/RAS: A case study for the San Antonio River Basin summer 2002 storm event, Journal of Environment Management, 75(4): 325-336.
- Miller, S.N.; Kepner, W.G. & Mehaffey, M.H. 2002. Integration Landscape Assessment and Hydrologic Modeling for Land Cover Change Analysis. Journal of the American Water Resources Association. 38(4): 919-929.
- Napradean, I. & Chira, R. 2006. The hydrological modeling of the Usturoi Valley-Using two modeling programs- WetSpa and Hec-Ras. Carpatian Journal of Earth and Environmental Sciences. 1(1): 53-62.
- Sarhadi, A.; Soltani, S. & Moddares, R. 2012. Probabilistic flood inundation mapping of ungauged rivers: Linking GIS techniques and frequency analysis. Journal of Hhydrology. 458-459: 68-86.
- Soleimani, K. 2011. GIS-based multivariate flood forecasting using hydraulic model. International Journal of Physical Sciences. 6(3): 577-582.
- Martin, O.; Rugumayo, R. & Ovecharovichova, J. 2012. Application of HEC/RAS and GIS tools in flood modeling; A case study for river Sironki-Ubanda. Global Journal of Engineering, Design and Technology, 1(2): 19-31.
- Rahmati, O.; Zeinivand, H. & Mosa Besharat, M. 2016. Flood hazard zoning in Yasooj region, Iran, using GIS and multi-criteria decision analysis. Geomatics, Natural Hazards and Risk. 7(3):1000-1017.