مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال پنجم، شماره دهم، زمستان ۱۳۹۵
تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۰۷/۲۸
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۱۰/۱۹
صفحات: ۱۱۶-۹۹

ارزیابی مدل آنتروپی شانون در تهیه نقشه حساسیت و احتمال به وقوع سیل در حوزه آبخیز هراز

ابراهیم نوحانی*[۱]، فریبا دارابی[۲]، ادریس معروفی نیا[۳]، خه بات خسروی[۴]

چکیده

یکی از راهکارهای اساسی جهت کاهش خسارت جانی و مالی ناشی از سیل، تهیه نقشه های حساسیت به وقوع سیل می باشد. در این تحقیق از مدل آنتروپی شانون (SE) که مدلی آماری و دو متغیره می¬ باشد، جهت تهیه نقشه¬های حساسیت به وقوع سیل استفاده شده است. در این تحقیق ۲۱۱ موقعیت نقاط سیلابی آماده گردید. از ۲۱۱ موقعیت، ۷۰ درصد آن جهت مدلسازی و تهیه نقشه استفاده گردید. از ۳۰ درصد باقی مانده که به صورت تصادفی تهیه شدند جهت اعتبارسنجی نقشه تولید شده استفاده گردید. در این تحقیق از ۱۰ فاکتور موثر شامل شیب، انحنای زمین، فاصله از رودخانه، طبقات ارتفاعی، بارش، شاخص توان رودخانه ، شاخص رطوبت توپوگرافی، لیتولوژی، کاربری اراضی و NDVI استفاده گردید. توسط مدل یاد شده وزن تاثیر هر فاکتور موثر در وقوع سیل مشخص گردید. منحنی ROC ترسیم و سطح زیرمنحنی (AUC) برای اعتبارسنجی نقشه حساسیت به وقوع سیل محاسبه گردید. نتایج نشان داد که سطح زیرمنحنی با موقعیت های نقاط آموزش برای مدل آنتروپی شانون برابر با ۰/۹۲۵۳ (۹۲/۵۳ ٪) با صحت پیش بینی ۰/۹۱۴۲ (۹۱/۴۲ ٪) می باشد. پس صحت بالای این مدل حاکی از قابل اعتماد بودن آن، جهت نهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل می باشد.

واژگان کلیدی: آنتروپی شانون، هراز، حساسیت به وقوع سیل، AUC.

۱- استادیار گروه عمران سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه‌آزاد اسلامی، واحد دزفول، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، دزفول Nohani.e@iaud.ac.ir
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ملایر، همدان
۳- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مهاباد، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، مهاباد
۴- دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران

مقدمه

سیل یعنی هرگونه افزایش در جریان رودخانه که از ظرفیت رودخانه بیشتر باشد و پهنه‌ای از زمین راکه درشرایط عادی زیرآب نیست، فراگیرد(مسلمی، ۱۳۸۵) . در بین انواع بلایای طبیعی سیل به عنوان یکی از مخرب ترین آنها با خسارت بسیار زیاد در نظر گرفته شده است (Youssef et al, 2011). همواره طغیان آب و سرازیر شدن آن به اماکن مسکونی، از جمله حوادث طبیعی شایع در ایران پس از زلزله است که حیات بشر را به مخاطره می‌اندازد. هرساله در شهرهای شمالی ایران از قبیل استان های مازندران، گیلان و گلستان سیل‌های مهیبی اتفاق می افتند. با توجه به وقوع این سیل‌ها مکان‌های با بیشترین پتانسیل برای وقوع سیل (مناطق حساس) باید قبل از برنامه‌ریزی توسط نقشه‌های حساسیت به وقع سیل مشخص گردند(Bubeck et al, 2012) تا خسارات جانی و مالی ناشی از سیلاب‌های آتی را کاهش داد (Kourgialas and Karatzas, 2011). در صورت ریزش بیش از اندازه باران به‌ویژه به شکل رگباری آن باتوجه به شرایط ناهمواری و پوشش گیاهی منطقه، قسمت اعظم آن بصورت رواناب در آمده و پس از مدت کوتاهی بصورت سیل جاری شده و خسارات زیادی را با خود به همراه می‌آورد. روند رو به افزایش سیل در سال‌های اخیر حاکی از آن است که اکثر مناطق کشور در معرض تهاجم سیلاب‌های ادواری و مخرب قرار دارند و ابعاد خسارات و تلفات جانی و مالی سیل افزایش یافته است، که از دلایل تکرار فراوان این پدیده در نتیجه برهم خوردن تعادل هیدرولوژیکی و اکولوژیکی (Miller et al, 2002) همانند شهرسازی(در طول رودخانه‌ها) و تغییر اقلیم (Kjeldsen, 2010; Tehrany et al, 2015a) و همچنین قطع جنگل‌ها می‌باشد (Bronstert, 2003). چنانچه ابعاد و گستردگی پیامدهای و قوع‌سیل (مستقیم و غیرمستقیم) از لحاظ اقتصادی مورد ارزیابی قرار گیرد آنگاه پرداختن به مسائلی چون سیل در اولویت قرار می‌گیرد (خسروشاهی و ثقفیان، ۱۳۸۴). سیلاب‌ها علاوه بر هزینه‌های اقتصادی زیاد، باعث انتقال پاتوژن‌ها به محیط های شهری و روستایی شده و باعث توسعه میکروبی در ساختمانها و زیرساختها می شود(;Taylor et al, 2011). برای پیشگیری و مهار سیلاب باید در درجه اول مناطقی که پتانسیل بالایی در تولید سیل دارند تعیین و سپس عـــوامل تولید و ایجاد سیل شناسایی شوند. اخطار سریع و پاسخ اضطراری به وقوع سیلاب مورد نیاز است (Feng and Wang, 2011) بنابراین دولت می تواند از بروز خسارت تا حدی که ممکن است جلوگیری کنند (Tehrany et al, 2014a). برای تهیه نقشه های سیلگیری روشهای متفاوت هیدولیکی (توسط HEC-RAS) و هیدرولوژیکی وجود دارد. در سالهای اخیر مدلهای آماری و احتمالاتی زیادی برای نقشه حساسیت به وقوع سیل آزمایش شده است (Lee et al, 2012; Levy et al, 2007) و GIS نیز به عنوان ابزار آنالیز پایه برای مدیریت مکانی و دستکاری داده‌ها به دلیل توانایی آن در هندلینگ مقادیر زیادی از داداه‌های مکانی به کار رفته است(Oh and Pradhan, 2011). ترکیب مدلهای آماری و احتمالاتی با RS و GIS بسیار مورد توجه محققین قرار گرفته است.

تهرانی و همکاران (۲۰۱۵a) توسط تکنیک SVM[1] با ۴ تابع Linear، Polynomial، Radial Basis Function و Sigmoid به بررسی پهنه بندی مناطق حساس به وقوع سیل در مالزی پرداختند. آنها بیان کردند که مساحت سطح زیر منحنی (AUC) به ترتیب برای توابع فوق برابر با ۸۴/۶۳٪ ، ۸۳/۹۲٪ ، ۸۴/۹۷٪، ۸۱/۸۸٪ است.

تهرانی و همکاران[2] (۲۰۱۴b) به ترکیب مدل SVM با WoE[3] پرداختند. آنها بیان کردند که در ترکیب این مدلها با همدیگر نتایج از صحت بالاتری برخوردار می باشد. در تابعRBF_SVM-WOE سطح زیرمنحنی برای نرخ موفقیت و نرخ پیش بینی به ترتیب برابر با ۹۶/۴۸٪ و ۹۵/۶۷٪ می باشد.

تهرانی و همکاران (۲۰۱۴a) در تحقیقی تحت عنوان نقشه حساسیت به وقع سیل توسط ترکیب مدلهای آماری دو متغیره و چند متغیره در کره پرداختند. نتایج نرخ موفقیت و نرخ پیش بینی به ترتیب برابر با ۹۲/۷٪ و ۸۲/۳ ٪ می باشد.

خسروی و همکاران[4] (۲۰۱۶) به بررسی سه مدل آماری دومتغیره شامل آنتروپی شانون، شاخص آماری و فاکتور وزندهی جهت تهیه نقشه های حساسیت به وقوع سیل در استان مازندارن پرداختند و بیان نمودند که روش شاخص آماری با مساحت زیرمنحنی ۹۸/۷ درصد دارای بیشترین صحت جهت پهنه بندی مناطق حساس به وقوع سیل بوده و پس از آن مربوط به روشهای فاکتور وزندهی و آنتروپی شانون با مساحت زیرمنحنی های ۹۷/۶ و ۹۲/۴ درصد می باشد. بنابراین هدف از این تحقیق ارزیابی کارایی این مدل، در تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل می باشد. از دیگر اهداف این تحقیق، شناسایی مناطق حساس به وقوع سیل، جهت مدیریت و راهکارهای اساسی، جهت کاهش خسارات جانی و مالی می باشد.

داده ها و روش شناسی

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز هراز بین '۴۳ °۵۱ تا '۳۶ °۵۲ طول شرقی و '۴۵ °۳۵ تا '۲۲ °۳۶ عرض شمالی واقع شده است. منطقه مورد مطالعه در جنوب شهرستان آمل و استان مازندران (ایران) واقع شده است. وسعت حوضه آبخیز به صورت تقریبی ۴۰۱۴ کیلومترمربع می‌باشد. حداقل ارتفاع حوضه ۳۰۰ متر و حداکثر ارتفاع آن ۵۶۰۰ متر می‌باشد. میانگین بارندگی سالانه برای سال ۲۰۰۶ برابر با ۷۲۳/۰۷ میلیمتر و برای سال ۲۰۱۲ برابر با ۸۳۱/۳۸ میلیمتر می باشد. مراکز مهم سکونتی حوضه آبخیز هراز عبارتند از پلور، نشل، تیران، رینه، کندوان، آب اسک، گزنک، بایجان، بلقلم، بلده و نور می‌باشند (شکل ۱). به علت اینکه سیل‌های مخرب و ویرانگر بسیاری در این حوضه رخ داده و باعث

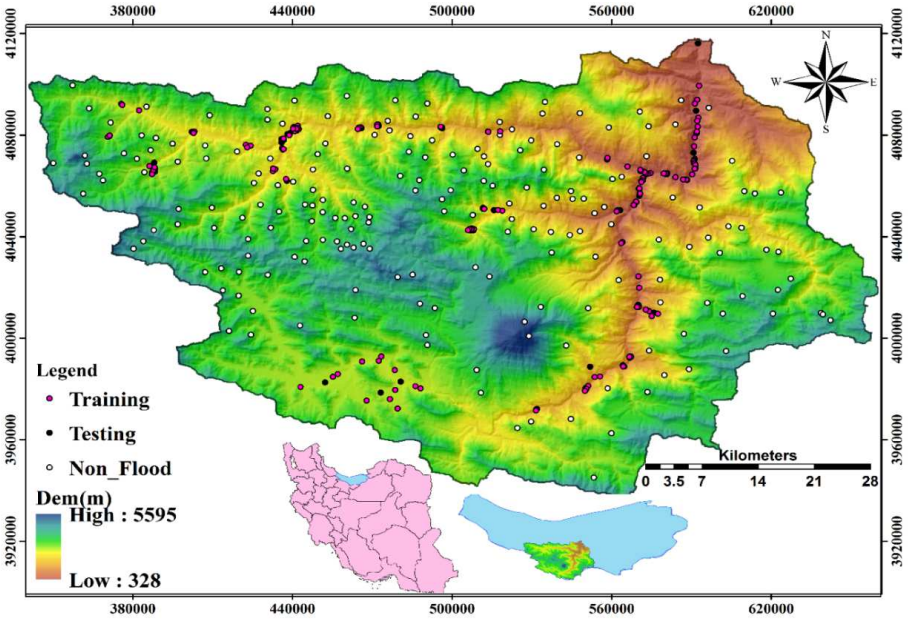
[1] -support vector machine

2 – Tehrany et al.

3 -Weights of evidence

4 – Khosravi et al.

خسارات جانی و مالی بسیاری گشته است، این حوضه انتخاب گردید. در شکل ۱ منطقه مورد مطالعه و همچنین موقعیت نقاط سیلابی نشان داده شده است.



شکل ۱: موقعیت حوزه آبخیز هراز، در استان مازندران و ایران

روش تحقیق

فهرست وقوع سیل های گذشته

به منظور ارزیابی پتانسیل سیل، تجزیه و تحلیل سیل‌های ثبت‌شده ضروری است (Manandhar, 2010). صحت وقایع سیلابی گذشته تاثیر بسیار بالایی بر روی صحت نقشه حساسیت به وقوع سیل دارد (Merz et al, 2007). حوزه آبخیز هراز در دهه‌های اخیر به‌شدت تحت تأثیر سیل‌های خطرناک بوده است. یک نقشه از موقعیت ۲۱۱ نقطه سیلابی در حوزه ابخیز هراز تهیه گردید. این ۲۱۱ نقطه به دو گروه تقسیم تقسیم بندی گردید. ۷۰ درصد از موقعیت نقاط برای آموزش و مدلسازی و ۳۰ درصد موقعیت نقاط که در مدلسازی به کار گرفته نشدند برای اعتبارسنجی مورد استفاده قرار گرفتند.

انتخاب پارامترهای مؤثر در وقوع سیل

مهمترین عوامل و فاکتورهای موثر در وقوع سیل شامل شیب، انحنای زمین، فاصله از رودخانه، طبقات ارتفاعی بارندگی، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)، شاخص توان رودخانه (SPI)، کاربری اراضی، و NDVI بر وقوع سیل در حوزه‌های آبخیز تأثیرگذارند (Tehrany et al, 2015a,b ; Tehrany et al, 2014 a,b; Tehrany et al, 2013). بر

رواناب سطحی یکی از عوامل شیب زمین به دلیل تأثیر مستقیم مهم در وقوع سیل حوزه‌های آبخیز به شمار می‌رود. هرچه شیب زمین بیشتر باشد قدرت نفوذ رواناب کمتر و رواناب تشکیل شده دارای سرعت و قدرت بیشتری می باشد. جهت تهیه‌ی نقشه شیب از مدل رقومی ارتفاع (DEM) (با قدرت تفکیک ۲۰ متر) و نرم افزار ArcGIS 10.1استفاده شد. پس از تهیه این نقشه، به ۵ کلاس ۰-۵/۷، ۵/۸ تا ۱۵/۹، ۱۶ تا ۲۴/۶، ۲۴/۷ تا ۳۳/۳ و ۳۳/۴ تا ۶۶/۸ تقسیم بندی گردید (شکل ۲ a). دومین عامل در نظر کرفته شده در این تحقیق که بر وقوع سیل و سیل گیری موثر می باشد انحنای زمین است. نقشه انحنای زمین توسط مدل رقومی ارتفاع و نرم SAGA GIS2 تهیه شد. نقشه مزبور به سه کلاس انحنای مقعر، انحنای محدب و تخت (بدون انحنا) کلاس بندی شد (شکل ۲b). برای تهیه لایه فاصله از رودخانه، از نقشه رقومی رودخانه توسط دستور multiring buffer در نرم افزار ArcGIS10.1 استفاده شد و به ۶ کلاس ۵۰۰متر، ۱۰۰۰ متر، ۱۵۰۰ متر، ۲۰۰۰متر، ۲۵۰۰ متر و بیشتر از ۲۵۰۰ متر تقسیم بندی گردید (شکل ۲ c). فاصله از رودخانه نقش اساسی را در پخش و بزرگی سیلاب در منطقه دارا می باشد (Glenn et al, 2012; Wan et al, 2010). در سالهای اخیر به دلیل تغییر اقلیم بارندگی ها بیشتر به صورت رگباری(شدت زیاد در مدت کم) تبدیل گشته و در مدت زمان بسیار کمی، مقدار زیادی باران نازل گشته و به علت کمبود پوشش گیاهی، سفت شدن خاک سطحی و شیب زیاد منطقه، اجازه نفوذ باران باریده شده وجود ندارد و باعث جاری شدن حجم زیادی از رواناب از دامنه کوهها به صورت سیل به داخل رودخانه می شود که در ارتفاعات پایین تر، در جاهایی که شیب کمتر می کردد و انحنای زمین به صورت فلت می باشد سیل‌های مهیبی رخ می دهد. جهت تهیه فاکتور موثر طبقات ارتفاعی از مدل رقومی ارتفاع در نرم افزار ArccGIS10.1 استفاده شد. این فاکتور موثر برا اساس روش natural break به ۱۰ کلاس ۱۱۴۲-۳۲۸، ۱۶۵۹-۱۱۴۳، ۲۰۹۴-۱۶۶۰، ۲۴۵۷-۲۰۹۵، ۲۷۷۰-۲۴۵۸، ۳۰۷۶-۲۷۷۱، ۳۴۷۱-۳۰۷۷، ۳۹۵۵-۳۴۱۸ و بزرگتر از ۳۹۵۵ تقسیم بندی گرد (شکل ۲ d). دوفاکتور مهم SPI و TWI به فاکتورهای در ارتباط با آب مشهور و شناخته شده هستند (Nampak et al, 2014). که توسط نرم افزار SAGA GIS2 تهیه شدند. TWI مقدار تجمع جریان در هرمکان در حوزه آبخیز و روند جریان به سمت پایین دست توسط نیروی ثقل تعریف می گردد(Gokceoglu et al, 2005). رابطه ۱ توسط پورقاسمی و همکاران[1] (۲۰۱۲) و مور و همکاران[2] (۱۹۹۱) جهت تهیه شاخص رطوبت توپوگرافی مورد استفاده قرار گرفته است:

$$TWI = \ln(AS / \tan\beta) \quad (1)$$

که As مساحت ویژه حوزه آبخیز بر حسب (m^2/m) وβ زاویه شیب به درجه می باشد. نقشه TWI تهیه و به ۱۰ کلاس ۱/۹-۷/۳ ، ۴/۱- ۳/۸، ۴/۲-۴/۵، ۴/۶-۴/۹، ۵-۵/۳، ۵/۴-۵/۷، ۵/۸-۶/۲، ۶/۳-۷، ۷/۱-۸، ۸/۱- ۱۱/۵ طبقه بندی شد که در شکل ۲ e نشان داده شده است. SPI نیز توسط رابطه ۲ تهیه و به ۱۰ کلاس تقیم بندی گردید (شکل ۲ f).

1 – pourghasemi et al.

2 – Moore et al.

$$SPI = (AS \times \tan \beta) \quad (۲)$$

از دیگر عاملهای مهم در وقوع سیل، عامل بارندگی می باشد که در ارزیابی پتانسیل سیل حوزه‌های آبخیز دارای اهمیت فراوانی است. به منظور تهیه نقشه میانگین بارندگی از داده‌های بارندگی ۱۷ ایستگاه باران‌سنج در یک دوره زمانی ۲۰ ساله(۱۳۹۰-۱۳۷۰) استفاده شد. پس از بررسی دقت روش‌های مختلف درون‌یابی در نرم افزار ArcGIS10.1، نقشه توزیع میانگین بارندگی سالانه حوزه آبخیز گلستان بر اساس روش کریجینگ ساده به دلیل دلیل داشتن کمترین مقدار RMSE و MAE تهیه گردید (شکل g۲). زمین شناسی به طور کلی به علت داشتن سازندهای مختلف نقش مهمی را در وقوع سیل بازی می کند. این لایه با فرمت shp. از اداره اب منطقه ای استان مازندران گرفته شد و به ۳ کلاس سنوزوییک، مزوزوییک و پالئوزوییک بر اساس تحقیقات رحمتی و همکاران[1] (۲۰۱۵) تقسیم بندی گردید که در شکل ۲ h نشان داده شده است. تهیه نقشه کاربری اراضی و NDVI با استفاده از تصویر سنجنده LOI مربوط به ماهواره Landsat 8 تهیه شد. نقشه کاربری اراضی با استفاده از الگوریتم شبکه عصبی و طبقه‌بندی نظارت شده در محیط نرم افزار ENVI 5.1 به هفت کلاس مرتع، اراضی لخت و فاقد پوشش، جنگل، باغ، اراضی آبی، مسکونی و پهنه های آبی کلاس بندی شد (شکل۲i). نقشه NDVI نیز که نشان دهنده پوشش سطحی گیاهان و تراکم آنها درتصاویر می باشد تهیه و در ۱۰ کلاس طبقه بندی شد (شکل ۲j). این شاخص بین ۱- تا ۱+ می باشد. با افزایش پوشش گیاهی، میزان ارزش حاصل از این نسبت گیری نیز افزایش می یابد. مقادیر NDVI از طریق معادله زیر محاسبه شدند (Pradhan et al, 2010):

$$NDVI = (NIR - VIS)/(NIR + VIS) \quad (۳)$$

که VIS و NIR به ترتیب اندازه گیری بازگشت طیف نور مرئی و مادون قرمز نزدیک می باشد.

مدل آنتروپی شانون جهت تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل

شاخص آنتروپی مقیاسی از مقدار برابری است که در آن گروه‌ها به طور مساوی و یکنواخت در بین واحد های سازمانی توزیع شده‌اند (Massey and Nancy, 1988). تیل[2](۱۹۷۲) شاخص انتروپی را به عنوان اندازه گیری اختلاف متوسط بین سهم گرووه های واحد از سیستم ها به عنوان یک کل تعریف می کند. انتروپی یکی از رویکردهای مدیریتی است که به منظور برخورد با بی نظمی، بی ثباتی ، اغتشاش و عدم یقین های موجود در یک سیستم مورد استفاده قرار می گیرد (Yufeng and Fengxiant, 2009). رابطه یک به یکی بین کمیت و مقدار آنتروپی سیستم و درجه بی نظمی وجود دارد که اصول بولتزمن[3] نامیده می‌شود که برای نمایش وضعیت ترمودینامیک یک سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد. انتروپی در حقیقت بیان گر آن است که چگونه از بین عوامل

1 – Rahmati et al.

2 – Theil

3- Boltzmann

موثر یک هدف، می توان مهمترین عوامل را تخمین زد یا به عبارتی متغییرهایی که بیشترین تاثیر را در رخداد یک واقعه دارند برای ما مشخص من نماید (پورقاسمی و همکاران، ۱۳۹۲). از آن جایی که در پهنه‌بندی حساسیت به وقع بلایای طبیعی نظیر لغزش، سیلاب و.. بسته به شرایط منطقه معمولا فاکتورهای مختلفی تاثیر گذار بوده و همچنین در تعیین میزان خطر با استفاده از مدل های آماری دومتغیره و احتمالاتی نظیر بیزین[1]، تمامی عوامل موثر بر وقوع سیل وزن یکسانی دارند لذا چنانچه یکی از عوامل تاثیر بیشتری داشته باشند میزان اثر آن نادیده گرفته می شود (Ramakrishna et al, 2005) بنابراین تئوری مذکور می تواند به عنوان یک رویکرد مدیریتی تاثیر بسزایی در شناسایی عوامل موثر و میزان تاثیر گذاری آنها داشته باشد (Sharma et al, 2010). معادلات به کار رفته شده برای محاسبه ضریب اطلاعات (Vj) نشان دهنده میزان ارزش پارامتر از کل می‌باشد که بر اساس معادله زیر تعیین شده است(پورقاسمی و همکاران، ۱۳۹۲ و نقیبی و همکاران[2]، ۲۰۱۴):

$$E_{ij} = \frac{FR}{\sum_{j=1}^{M_j} FR} \quad (۱)$$

که در آن FR نسبت فراوانی و E_{ij} چگالی احتمال می‌باشد.

$$H_j = -\sum_{i=1}^{M_j} E_{ij} \log_2 E_{ij},\ j = 1,.....,n \quad (۲)$$

$$H_{j\max} = \log_2 M_j, M_{j-number\ of\ classes} \quad (۳)$$

$$I_j = \left(H_{j\max} - H_j / H_{j\max}\right), I = (0,1), j = 1,.... \quad (۴)$$

$$V_j = I_j FR \quad (۵)$$

که H_j و H_{jmax} مقادیر (ارزش‌های) آنتروپی؛ I_j ضریب اطلاعات و M_j تعداد کلاس‌ها می‌باشد. همچنین V_j نمایش دهنده ارزش وزن برایند از پارامتر کلی می‌باشد. دامنه تغییرات بین صفر و ۱ می‌باشد. مقادیر نزدیک به ۱ ناهماهنگی و عدم تعادل بیشتری دارد. محاسبه کامل تعیین وزن هر یک از عوامل در جدول (۱) نشان داده شده است. بعد از تعیین وزن هر یک از عوامل این وزن در هر یک از عوامل اولیه اعمال گردید. در مرحله بعد برای تهیه شاخص حساسیت به وقوع سیل(FSI)، تمامی این عوامل در محیط ArcGIS روی هم قرار گرفته و با استفاده از معادله زیر تهیه شدند:

$$FSI = \sum (SE)_i\ (i = 1,2,,3,.....,n) \quad (۶)$$

1 – Bayesian

2 –Naghibi et al.

که در آن FSI نشان دهنده شاخص پتانسیل ,وقوع سیل، SE شانون آنتروپی هر عامل و n تعداد کل عوامل می‌باشد. در نهایت شاخص پتانسیل وقوع سیل بدست آمد. از مزایای این مدل این است که به سادگی می توان رابطه بین متغیرهای وابسته و مستقل را به صورت کمی محاسبه نمود.

ارزیابی و اعتبارسنجی مدل انتروپی شانون

با توجه به اینکه برای ارزیابی مدل نمی توان از همان موقعیت نقاط سیلابی استفاده نمود که در پهنه بندی استفاده شده اند (Komac,2006) بنابراین، در مدلسازی ها، داده نیاز است که به دو دسته آموزش و اعتبارسنجی تقسیم بندی گردد، گروه داده های آموزش و گروه داده های پیش بینی. تقریبا ۷۰٪ از سیلاب‌ها به عنوان آموزش جهت کالیبراسیون مدل به کار گرفته شد و ۳۰ ٪ باقی مانده (در آموزش مدل مورد استفاده قرار نگرفت) به عنوان نقاط اعتبارسنجی برای ارزیابی پیش بینی مدل به کار گرفته شد. سپس با استفاده از منحنی ROC[1] صحت نقشه تهیه شده مورد تایید قرار گرفت (Nefeslioglu et al,; 2008 pradhan and Lee, 2011). ایده آل ترین مدل، بیشترین سطح زیر منحنی را دارد.

بحث و نتایج

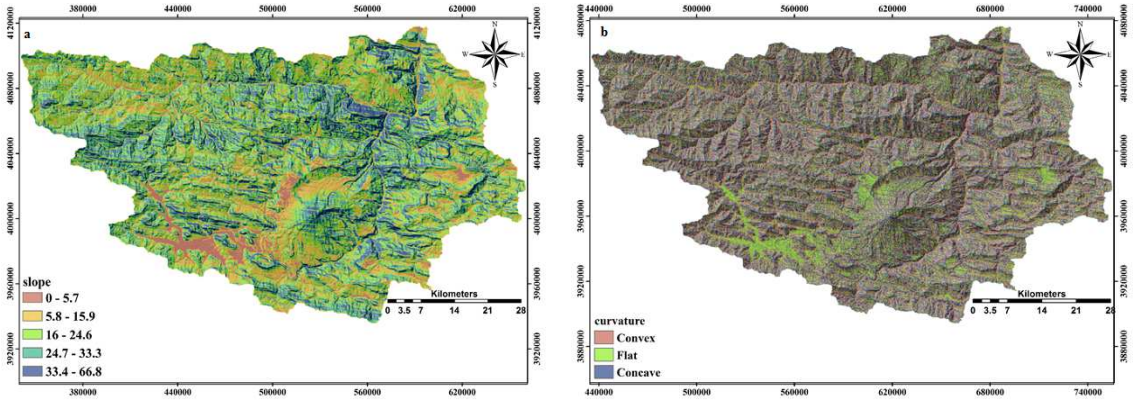
نقشه پارامترهای ورودی به مدل انتروپی شانون شامل شامل شیب، انحنای زمین، فاصله از رودخانه، طبقات ارتفاعی بارندگی، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)، شاخص توان رودخانه (SPI)، کاربری اراضی، و NDVI در شکل (۲) مشاهده می‌گردد.

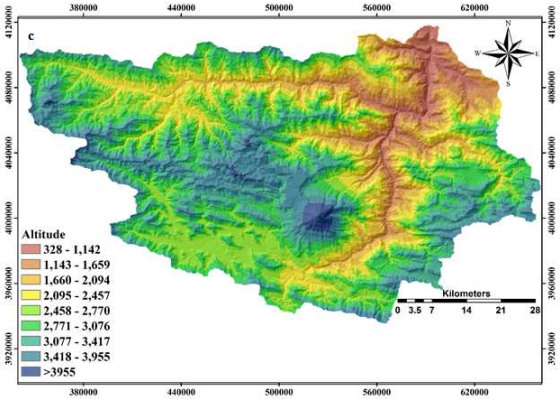
نرخ تأثیر کلاس پارامترهای مؤثر در سیل‌گرفتگی

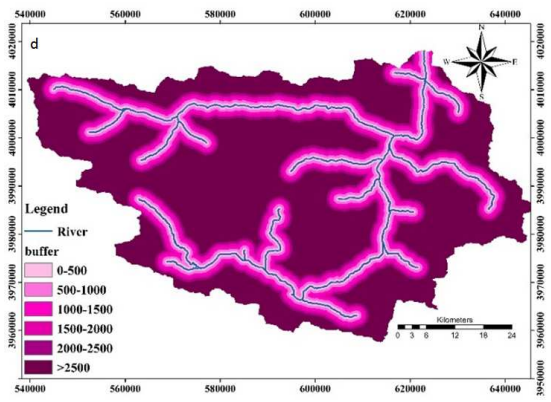
تجزیه و تحلیل‌های مقایسه‌ای بین موقعیت وقوع سیل‌های گذشته و پارامترهای محیطی موثر بر وقوع سیل توسط روش نسبت فراوانی(FR) و انتروپی شانون انجام گرفت و براساس آن، وزن هریک از پارامترها بدست آمد. وزن های موثر هریک از پارامترها برای مدل انتروپی شانون جهت تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل در جدول (۱) مشاهده می‌گردد. برای فاکتور شیب کلاسهای ۵/۷-۰ و ۱۵/۹-۵/۸ دارای بیشترین تاثیر بر وقوع سیل می باشند، زیرا دارای Eij بیشتری می باشند. وزن لایه شیب جهت تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل طبق مدل آنتروپی شانون ۰/۸۴۷ می باشد. دومین فاکتور موثر انحنای زمین می باشد که مناطق مسطح و مقعر دارای تاثیر بیشتر بوده و وزن این لایه در وقوع سیل ۰/۱۳ می باشد. از دیگر فاکتورهای مهم و موثر در وقوع سیل فاصله از رودخانه می باشد که تاثیر کلاس ۵۰۰-۰ متر در و.قوع سیل بسیار بیشتر از سایر کلاس ها بوده و وزن خود لایه فاصله از رودخانه در تهیه نقشه نهایی حساسیت به وقوع سیل ۱/۱ می باشد. طبقات ارتفاعی از دیگر فاکتورهای موثر بر وقوع سیل بوده که تاثیر بسیار زیادی بر وقوع سیل دارد. معمولا سیل در طبقات ارتفاعی پایین رخ می دهد. ۴ طبقه اول این لایه (از ۳۲۸ تا

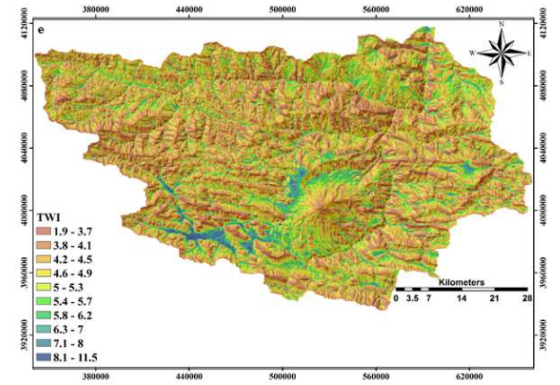
1- Relative Operating Characteristic

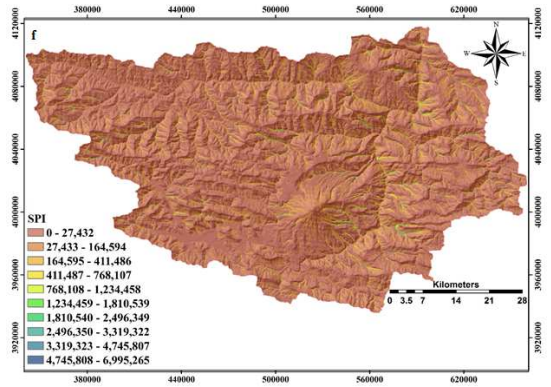
۲۴۵۶ متر) دارای بیشترین تاثیر بر وقوع سیل می باشد. وزن لایه طبقات ارتفاعی طبق مدل انتروپی شانون ۰/۹۹۵ می باشد. برای فاکتور شاخص رطوبت توپوگرافی، طبق جدول ۱، هرچه مقدار این فاکتور بیشتر گردد، تاثیر آن در وقوع سیل بیشتر می گردد. وزن خود لایه TWI در ووقوع سیل ۰/۳ می باشد. برای فاکتور SPI طبق جدول ۱، هرچه مقدار این فاکتور کمتر باشد تاثیر آن در وقوع سیل بیشتر می باشد. وزن خود لایه SPI طبق مدل انتروپی ، ۱/۰۹ می باشد. پارامتر سنگ شناسی به ۳ گروه تقسیم بندی شده است که مزوزوییک و پالئوزوییک تاثیر بیشتری در وقوع سیل دارند. لایه سنگ شتاسی دارای وزن ۰/۴۲ می باشد. برای فاکتور کاربری اراضی خاک های لخت، مناطق مسکونی و پهنه های ابی دارای تاثیر بیشتری در وقوع سیل می باشند. مناطق مسکونی به دلیل اینکه در نزدیک رودخانه ها و مناطق با شیب کم احداث می شوند و همچنین دارای سطح نفوذ ناپذیر هستند دارای پتاشسیل بالا در وقوع سیل می باشند. وزن لایه کاربری اراضی در وقوع سیل، نسبت با سایر پارامترها ۰/۲۲ می باشد. شاخص NDVI یا شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده از دیگر فاکتورهای موثر در وقوع سیل طبق مرور منابع می باشد. بیشترین وزن کلاس این لایه مربوط به ۰/۳۵- تا ۰/۶۹- می‌باشد و وزن خود لایه در وقوع سیل ۲/۰۳ است. آخرین فاکتور که یکی از مهمترین آنها نیز می باشد، فاکتور بارندگی است. وزن این لایه در تهیه نقشه نهایی، ۰/۵۴ است. پس NDVI از دیدگاه انتروپی شانون مهمترین فاکتور در وقوع سیل می باشد و کم تاثیرترین آن نیز انحنای زمین می باشد.

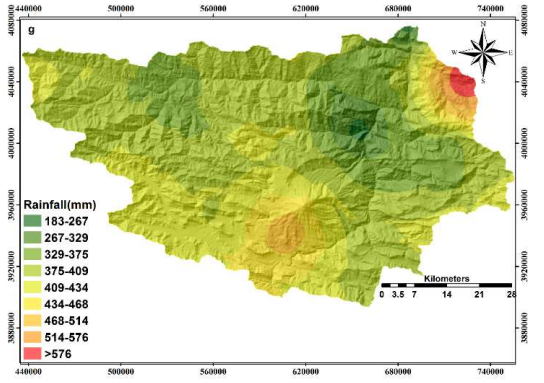


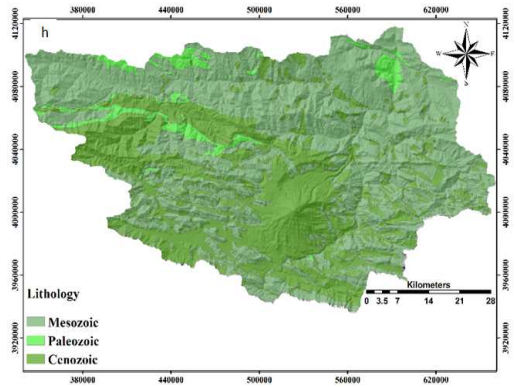

c
Altitude
328 - 1,142
1,143 - 1,659
1,660 - 2,094
2,095 - 2,457
2,458 - 2,770
2,771 - 3,076
3,077 - 3,417
3,418 - 3,955
>3955
Kilometers
0 3.5 7 14 21 28

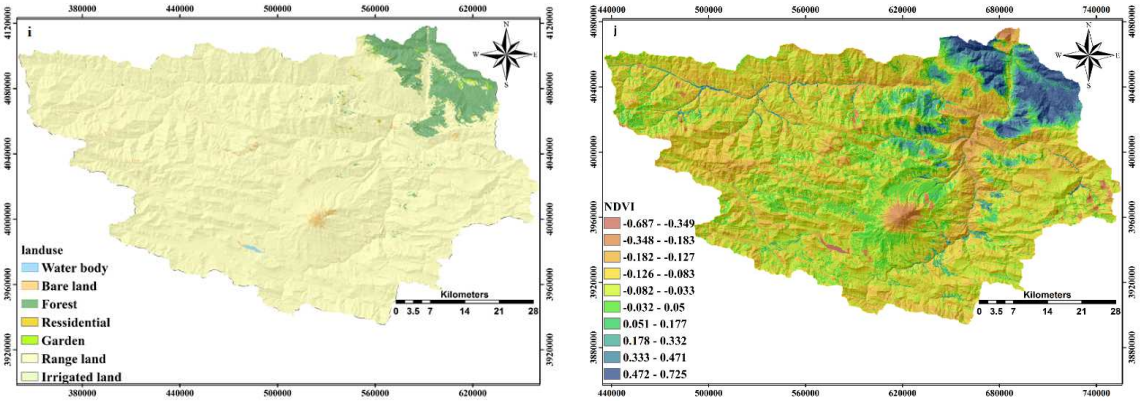

d
Legend
River
buffer
0-500
500-1000
1000-1500
1500-2000
2000-2500
>2500
Kilometers
0 3 6 12 18 24


e
TWI
1.9 - 3.7
3.8 - 4.1
4.2 - 4.5
4.6 - 4.9
5 - 5.3
5.4 - 5.7
5.8 - 6.2
6.3 - 7
7.1 - 8
8.1 - 11.5
Kilometers
0 3.5 7 14 21 28


f
SPI
0 - 27,432
27,433 - 164,594
164,595 - 411,486
411,487 - 768,107
768,108 - 1,234,458
1,234,459 - 1,810,539
1,810,540 - 2,496,349
2,496,350 - 3,319,322
3,319,323 - 4,745,807
4,745,808 - 6,995,265
Kilometers
0 3.5 7 14 21 28


g
Rainfall(mm)
183-267
267-329
329-375
375-409
409-434
434-468
468-514
514-576
>576
Kilometers
0 3.5 7 14 21 28


h
Lithology
Mesozoic
Paleozoic
Cenozoic
Kilometers
0 3.5 7 14 21 28



شکل ۲: نقشه‌های ورودی: (a) شیب، (b) انحنای زمین، (c) فاصله از رودخانه، (d) طبقات ارتفاعی (e) TWI (f) SPI (g) بارندگی (h) لیتولوژی (i) کاربری اراضی (j) NDVI

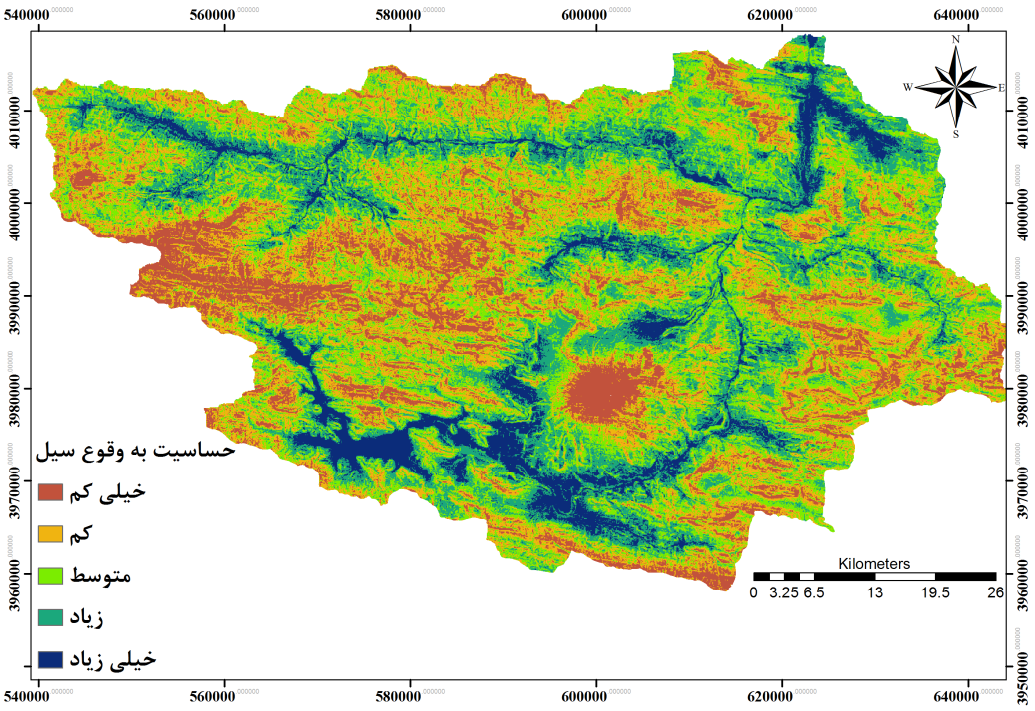
به منظور تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل، ۱۰ فاکتور فوق تهیه شدند و پس از وزن نهایی هر عامل توسط مدل انتروپی شانون و ضرب آن در کلاسهای عامل مذکور، نقشه های وزنی باهم جمع شده و نقشه نهایی حساسیت به وقوع سیل تیه گردید. سپس نقشه نهایی براساس روش Natural break (Bednarik et al, 2010; Tehrany et al, 2014 a,b) به ۵ کلاس حساسیت خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم بندی گردید که در شکل ۳ نشان داده شده است. در شکل ۴ نیز نقشه احتمال به وقوع سیل که بین ۰ تا ۱ قرار دارد نشان داده شده است.

جدول ۱: ارتباط بین سیلاب، عوامل موثر و تعیین میزان تاثیر آنها با استفاده از مدل انتروپی شانون

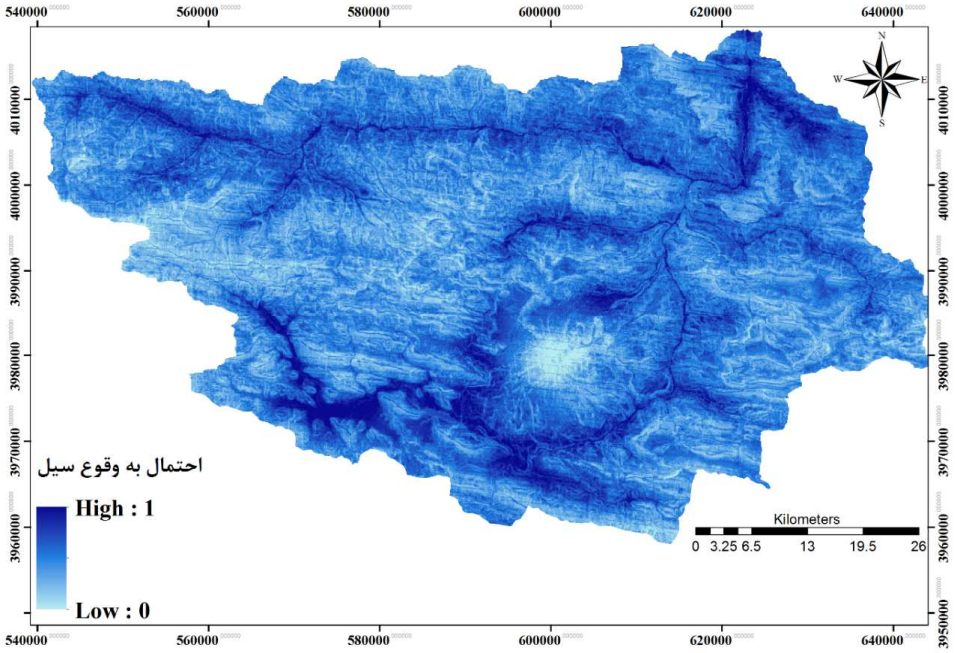
پارامتر	کلاس	٪ پیکسل ها	٪ وقوع سیل	FR	Eij	Hj	Hjmax	Ij	Vj
شیب	۵/۷-۰	۴/۶۹	۳۱/۱۳	۶/۶۴	۰/۶۹۱	۱/۳۰۰	۲/۳۲۲	۰/۴۴	۰/۸۴۷
	۱۵/۹-۵/۷	۲۲/۸۵	۴۶/۳۶	۲/۰۳	۰/۲۱۱				
	۲۴/۶-۱۵/۹	۳۱/۲۹	۱۴/۵۷	۰/۴۷	۰/۰۴۸				
	۳۳/۲۵-۲۴/۶	۲۷/۴۰	۲/۶۵	۰/۱۰	۰/۰۱۰				
	۶۶/۷۷-۳۳/۲۵	۱۳/۷۷	۵/۳۰	۰/۳۸	۰/۰۴۰				
انحنای زمین	محدب	۴۰/۶۲	۱۵/۲۳	۰/۳۷	۰/۱۱۹	۱/۳۸۰	۱/۵۸۵	۰/۱۳۰	۰/۱۳۶
	مسطح	۲۵/۶۲	۲۹/۱۴	۱/۱۴	۰/۳۶۰				
	مقعر	۳۳/۷۶	۵۵/۶۳	۱/۶۵	۰/۵۲۱				
فاصله از رودخانه	۰-۵۰۰	۹/۴۲	۸۴/۷۷	۹/۰۰	۰/۸۶۸	۰/۸۰۰	۲/۵۸۵	۰/۶۹۱	۱/۱۹۴
	۵۰۰-۱۰۰۰	۸/۸۶	۵/۹۶	۰/۶۷	۰/۰۶۵				
	۱۰۰۰-۱۵۰۰	۸/۵۶	۳/۳۱	۰/۳۹	۰/۰۳۷				
	۱۵۰۰-۲۰۰۰	۸/۲۶	۱/۳۲	۰/۱۶	۰/۰۱۵				
	۲۰۰۰-۲۵۰۰	۷/۹۷	۰/۶۶	۰/۰۸	۰/۰۰۸				
	>۲۵۰۰	۵۶/۹۴	۳/۹۷	۰/۰۷	۰/۰۰۷				

طبقات ارتفاعی	۳۲۸-۱۱۴۱	۳/۳۷	۳۹/۰۷	۱۱/۶۰	۰/۶۵۴	۱/۵۷۰	۳/۱۷۰	۰/۵۰۵	۰/۹۹۵
	۱۱۴۱-۱۶۵۸	۶/۵۲	۱۱/۹۲	۱/۸۳	۰/۱۰۳				
	۱۶۵۸-۲۰۹۳	۸/۴۰	۲۰/۵۳	۲/۴۴	۰/۱۳۸				
	۲۰۹۳-۲۴۵۶	۱۲/۵۵	۱۴/۵۷	۱/۱۶	۰/۰۶۵				
	۲۴۵۶-۲۷۷۰	۱۹/۷۱	۱۳/۹۱	۰/۷۱	۰/۰۴۰				
	۲۷۷۰-۳۰۷۵	۲۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰۰				
	۳۰۷۵-۳۴۱۷	۱۷/۲۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰۰				
	۳۴۱۷-۳۹۵۴	۱۰/۹۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰۰				
	>۳۹۵۴	۱/۲۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰۰				
TWI	۳/۷-۱/۸	۱۰/۹۱	۱/۹۹	۰/۱۸	۰/۰۰۹	۲/۷۱۰	۳/۱۷۰	۰/۱۴۵	۰/۳۰۹
	۴/۱-۳/۸	۲۲/۵۲	۱/۹۹	۰/۰۹	۰/۰۰۴				
	۴/۵-۴/۲	۲۰/۵۱	۵/۳۰	۰/۲۶	۰/۰۱۲				
	۴/۹-۴/۶	۱۸/۴۲	۱۱/۹۲	۰/۶۵	۰/۰۳۰				
	۵/۳-۵	۱۲/۱۹	۲۱/۸۵	۱/۷۹	۰/۰۸۴				
	۵/۷-۵/۴	۷/۷۱	۲۱/۱۹	۲/۷۵	۰/۱۲۹				
	۶/۲-۵/۸	۴/۹۳	۲۶/۴۹	۵/۳۷	۰/۲۵۲				
	-۳/۷۶	۱/۸۶	۵/۳۰	۲/۸۵	۰/۱۳۴				
	-۸۷/۱	۰/۶۱	۳/۳۱	۵/۴۲	۰/۲۵۴				
	۱۱/۵-۸/۱	۰/۳۴	۰/۶۶	۱/۹۴	۰/۰۹۱				
SPI	۲۷۴۳۲/۴-۰	۸۵/۱۱	۵۵/۶۳	۰/۶۵	۰/۰۲۲	۲/۰۰۰	۳/۱۷۰	۰/۳۶۹	۱/۰۹۹
	-۲۷۴۳۲/۴ ۱۶۴۵۹۴/۴	۱۰/۴۲	۲۱/۱۹	۲/۰۳	۰/۰۶۸				
	-۱۶۴۵۹۴/۴ ۴۱۱۴۸۶/۲	۲/۶۱	۱۳/۹۱	۵/۳۳	۰/۱۷۹				
	-۴۱۱۴۸۶/۲ ۷۶۸۱۰۷/۵	۱/۰۷	۵/۳۰	۴/۹۶	۰/۱۶۷				
	-۷۶۸۱۰۷/۵ ۱۲۳۴۴۵۸/۶	۰/۴۶	۱/۳۲	۲/۸۷	۰/۰۹۷				
	-۱۲۳۴۴۵۸/۶ ۱۸۱۰۵۳۹/۳	۰/۱۹	۲/۶۵	۱۳/۹۳	۰/۴۶۸				
	-۱۸۱۰۵۳۹/۳ ۲۴۹۶۳۴۹/۶	۰/۰۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰۰				
	-۲۴۹۶۳۴۹/۶ ۳۳۱۹۳۲۲	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰۰				
	-۳۳۱۹۳۲۲ ۴۷۴۵۸۰۷/۵	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰۰				
	-۴۷۴۵۸۰۷/۵ ۶۹۹۵۲۶۵/۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰۰				

لیتولوژی	سنوزوییک	۳۸/۸۴	۳۶/۴۲	۰/۹۴	۰/۲۹۲	۱/۵۷۰	۲/۵۸۵	۰/۳۹۳	۰/۴۲۱
	مزوزوییک	۵۶/۴۳	۵۷/۶۲	۱/۰۲	۰/۳۱۸				
	پالئوزوییک	۴/۷۳	۵/۹۶	۱/۲۶	۰/۳۹۳				
کاربری اراضی	مرتع	۹۲/۵۸	۸۷/۴۲	۰/۹۴	۰/۰۱۶	۱/۲۰۳	۲/۸۰۷	۰/۵۷	۰/۲۲۳
	خاک لخت	۰/۷۳	۵/۹۶	۸/۱۵	۰/۱۴۰				
	جنگل	۵/۹۳	۳/۳۱	۰/۵۶	۰/۰۱۰				
	باغ	۰/۱۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰۰				
	مسکونی	۰/۲۳	۰/۶۶	۲/۸۴	۰/۰۴۹				
	اراضی آبیاری	۰/۳۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰۰				
	پهنه های آبی	۰/۰۷	۲/۶۵	۳۵/۶۷	۰/۶۱۴				
NDVI	-۰/۳۵--۰/۶۹	۰/۱۱	۳/۳۱	۲۹/۳۵	۰/۶۱۷	۱/۹۰۰	۳/۳۲۲	۰/۴۲۸	۲/۰۳۷
	-۰/۱۸--۰/۳۴	۲/۴۷	۴/۶۴	۱/۸۸	۰/۰۴۰				
	-۰/۱۳--۰/۱۷	۱۵/۱۸	۱۱/۲۶	۰/۷۴	۰/۰۱۶				
	-۰/۰۸--۰/۱۲	۳۱/۸۰	۹/۹۳	۰/۳۱	۰/۰۰۷				
	-۰/۰۳--۰/۰۷	۲۸/۳۰	۲۱/۱۹	۰/۷۵	۰/۰۱۶				
	-۰/۰۵-۰/۰۲	۱۰/۶۳	۱۴/۵۷	۱/۳۷	۰/۰۲۹				
	۰/۱۸-۰/۰۶	۳/۳۲	۹/۹۳	۳/۰۰	۰/۰۶۳				
	۰/۳۳-۰/۱۹	۲/۳۹	۱۳/۲۵	۵/۵۵	۰/۱۱۷				
	۰/۴۷-۰/۳۴	۲/۵۱	۱۰/۶۰	۴/۲۲	۰/۰۸۹				
	۰/۷۳-۰/۴۸	۳/۲۹	۱/۳۲	۰/۴۰	۰/۰۰۸				
بارندگی	۱۸۳-۲۶۷	۰/۴۹	۲/۶۵	۵/۳۷	۰/۴۰۴	۲/۰۰۰	۳/۱۷	۰/۳۶۹	۰/۵۴۵
	۲۶۷-۳۲۹	۳/۶۵	۱۷/۲۲	۴/۷۱	۰/۳۵۵				
	۳۲۹-۳۷۵	۱۸/۷۱	۲۳/۱۸	۱/۲۴	۰/۰۹۳				
	۳۷۵-۴۰۹	۴۳/۲۸	۴۱/۰۶	۰/۹۵	۰/۰۷۲				
	۴۰۹-۴۳۴	۲۳/۰۴	۱۲/۵۸	۰/۵۵	۰/۰۴۱				
	۴۳۴-۴۶۸	۷/۰۹	۳/۳۱	۰/۴۷	۰/۰۳۵				
	۴۶۸-۵۱۴	۲/۳۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰۰				
	۵۱۴-۵۷۶	۰/۷۹	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰۰				
	۵۷۶G>	۰/۶۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰۰				



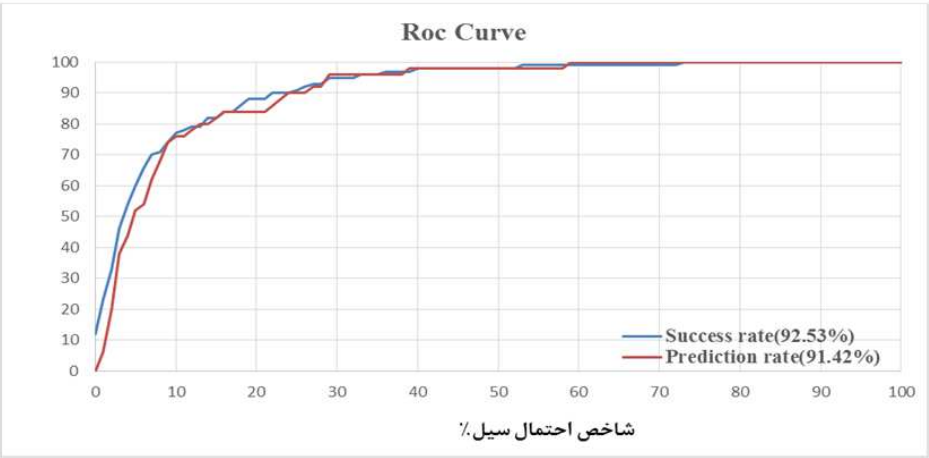
شکل ۳: نقشه حساسیت به وقع سیل حوزه آبخیز هراز، استان مازندران، طبق مدل انتروپی شانون



شکل ۴: نقشه احتمال به وقوع سیل حوزه آبخیز هراز، استان مازندران، طبق مدل انتروپی شانون

ارزیابی نقشه

اعتبارسنجی نقشه های حساسیت تهیه شده در این مطالعه با محاسبه شاخص ویژگی های نسبی یا ROC به دست آمد (Oh and Pradhan, 2011; oh and Lee, 2010; Tehrany et al, 2015 a and b). این منحنی از کارامدترین روش ها در ارائه خصوصیت تعیینی، شناسایی احتمالی و پیش ینی سیستم هاست که میزان دقت مدل را به صورت کمی براورد می کند(Swets, 1988). در این روش، مساحت زیر منحنی یا AUC دارای مقادیر بین ۰/۵ تا ۱ بوده و از آن برای ارزیابی دقت مدل استفاده می شود (Nandi and Shakoor, 2009). بهترین مدل دارای سطح زیر منحنی نزدیک به ۱ دارد، در حالی که مقادیر نزدیک به ۰/۵ نشان دهنده عدم صحت در مدل است (Fawcett, 2006). بر اساس نتایج منحنی ROC، برای میزان پیش بینی[1] مقدار سطح زیرمنحنی با ۳۰ درصد (۶۰ موقعیت) داده های اعتبارسنجی برابر با (۰/۹۱۴۲) یا ۹۱/۴۲ ٪ و برای میزان موفقیت[2] با ۷۰ درصد داده های آموزش برابر با ۹۲/۵۳ ٪ می باشد (شکل ۵). پس مدل انتروپی شانون دارای صحت قابل قبول در تهیه نقشه حساسیت به قوع سیل در حوزه آبخیز هراز می باشد.



شکل ۵: منحنی ROC

نتیجه گیری

به دلیل رخداد وقوع سیل در قسمت های شمالی کشور و روند رو به افزایش آن ها، تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل، پیش زمینه ای در شناخت عوامل موثر بر وقوع سیل، رخداد آن، مدیریت خطر و روشهای پیشگیری از خطر و ریسک است. هدف از تحقیق حاضر اولویت بندی عوامل موثر بر وقوع سیل با استفاده از شاخص انتروپی شانون می

1 – prediction rate

2 – Success rate

باشد. پس از تهیه نقشه موقعیت سیل‌ها، ۱۰ فاکتور شیب، انحنای زمین، طبقات ارتفاعی، فاصله از رودخانه، بارندگی، TWI، SPI، لیتولوژی، کاربری اراضی و NDVI به عنوان عوامل موثر در وقئع سیل حوزه ابخیز هراز در استان مازندران انتخاب شدند. اولویت بندی عوامل موثر در وقوع سیل توسط شاخص انتروپی شانون نشان داد که لایه های NDVI با وزن ۲/۰۳، فاصله از رودخانه (۱/۱)، SPI(۱/۰۹)، طبقات ارتفاعی(۰/۹۹۵)، شیب (۰/۸۴۷)، بارندگی(۰/۵۴)، لیتولوژی (۰/۴۲۱)، TWI (۰/۳۰۹)، کاربری اراضی (۰/۲۲۳) و انحنای زمین (۰/۱۳۶) به ترتیب دارای بیشترین تا کمترین تاثیر بر وقوع سیل می باشند. بر اساس نتایج منحنی ROC، برای میزان پیش بینی مقدار سطح زیرمنحنی با ۳۰ درصد (۶۰ موقعیت) داده های اعتبارسنجی برابر با (۰/۹۱۴۲) یا ۹۱/۴۲ ٪ و برای میزان موفقیت با ۷۰ درصد داده های آموزش برابر با ۹۲/۵۳ ٪ می باشد. پس مدل انتروپی شانون دارای صحت قابل قبول در تهیه نقشه حساسیت به قوع سیل در حوزه آبخیز هراز می باشد. بر طبق نقشه نهایی حساسیت به وقوع سیل، اطراف رودخانه هراز دارای حساسیت به وقوع سیل بالایی می باشند پس از ساخت مناطق مسکونی یا باغات میوه و حتی اراضی کشاورزی در اطراف رودخانه خود داری شود، و برای مناطق مسکونی و باغات موجود تمهیداتی مانند دیواره سیل بند یا گوره ساخته شود تا از وارد امدن خسارات زیاد به این بخش ها جلوگیری گردد. پس تهیه نقشه های حساسیت به وقوع بلایای طبیعی نظیر سیل، زمین لغزش و .. جهت مدیریت و برنانه ریزی های آتی لازم و واجب بوده تا از وارد آمدن خسارات جانی و مالی به این بخش ها جلوگیری گردد. . نتایج این تحقیق برای اداره جهاد کشاورزی، منابع طبیعی، آب منطقه ای، وزارت نیرو و تمامی محققان و تصمیم گیرندگان جهت اندیشیدن تمهیدات لازم برای تخفیف سیل و کاهش خسارات موثر و ضروری می باشد.

منابع

پورقاسمی، حمیدرضا؛ مرادی، حمیدرضا؛ فاطمی عقدا، سید محمود (۱۳۹۳). اولویت بندی عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش و پهنه‌بندی حساسیت آن، مجله علوم آب و خاک، دوره ۱۸، شماره ۷۰، صفحات ۱۸۱-۱۹۲.

خسروشاهی، محمد؛ ثقفیان، بهرام (۱۳۸۲). بررسی نقش مشارکت زیرحوزه‌های آبخیز در شدت سیل خیزی حوزه، مجله پژوهش و سازندگی، تابستان ۱۳۸۲، دوره ۱۶ شماره ۲، صفحات ۷۵-۶۷.

زرین، هدایت الله؛ مقدم نیا، علیرضا؛ نام درست، جواد؛ مساعدی، ابوالفضل(۱۳۹۲). شبیه سازی رواناب خروجی در حوزه های آبخیز فاقد آمار با استفاده از مدل بارش رواناب AWBM در سیستان و بلوچستان، مجله پژوهش های حفاظت اب و خاک، دوره ۲۰، شماره ۲، صفحات ۲۰۸-۱۹۵.

مسلمی، عبدالرضا (۱۳۸۵). آشنایی با بلاهای طبیعی وشرایط غیرمترقبه واقدامات امدادی، انتشارات معاونت ترویج ومشارکت مردمی وزارت جهادسازندگی سابق. جلد اول، چاپ دوم.۵۶ ص.

Bednarik, M., B. Magulova, M. Matys and M. Marschalko. 2010. Landslide susceptibility assessment of theKralovany–Liptovsky Mikulaš railway case study. Phys. Chem. Earth 35: 162–171

Bronstert, A., 2003. Floods and climate change: interactions and impacts. Risk Anal. 23, 545–557.

Bubeck, P., Botzen, W., Aerts, J., 2012. A review of risk perceptions and other factors that in fl uence fl ood mitigation behavior. Risk Anal. 32, 1481–1495.

Fawcett, T., 2006- An introduction to ROC analysis. Pattern Recognition Letters, V. 27, p. 861-874.

Feng CC, Wang YC (2011) GIScience research challenges for emergency management in Southeast Asia. Nat Hazards, 59:597–616.

Gokceoglu, C., Sonmez, H., Nefeslioglu, H.A., Duman, T.Y., Can, T., 2005. The 17 March 2005 Kuzulu landslide (Sivas, Turkey) and landslide-susceptibility map of its near vicinity. Eng. Geol. 81, 65–83.

Kjeldsen TR (2010) Modelling the impact of urbanization on flood frequency relationships in the UK. Hydrol Res 41:391–405.

Khosravi, K., Pourghasemi, H.R., Chapi, K. Bahri, M. 2016. Environ Monit Assess, 188: 656. doi:10.1007/s10661-016-5665-9.

Komac, M.A. 2006. Landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Sloveni. Geomorphology 74: 17-28.

Kourgialas, N.N., Karatzas, G.P., 2011. Flood management and a GIS modelling method to assess fl ood-hazard areas—a case study. Hydrol. Sci. J. 56, 212–225.

Lee, M.J., J.E. Kang and S. Jeon. 2012. Application of frequency ratio model and validation for predictive flooded area susceptibility mapping using GIS. In: Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Munich. 895–898.

Levy, J.K., Hartmann, J., Li, K.W., An, Y., Asgary, A., 2007. Multi-criteria decision support systems for fl ood hazard mitigation and emergency response in urban watersheds 1. J. Am. Water Resour. Assoc. 43, 346–358.

Manandhar, B., 2010. Flood Plain Analysis and Risk Assessment of Lothar Khola, MSc Thesis, Tribhuvan University, Phokara, Nepal, pp. 64.

Massey DS, Nancy AD (1988) The Dimensions of Residential. Social Forces 67(2):281–315

Merz, B., Thieken, A.H., Gocht, M., 2007. Flood Risk Mapping at the Local Scale: Concepts and Challenges, Flood Risk Management in Europe. Springer, Netherlands, pp. 231–251.

Miller JR, Ritter DF, Kochel RC. 1990. Morphometric assessment of lithologic controls on drainage basin evolution in the Crawford Upland, south-central Indiana. Am J Sci. 290:569–599.

Moore, I.D., Grayson, R.B., Ladson, A.R., 1991. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. Hydrol. Proc. 5, 3–30.

Naghibi.S.A., Pourghasemi, H.R., Pourtaghi, Z.S., Rezaei A. 2014. Groundwater qanat potential mapping using frequency ratio and Shannon's entropy models in the Moghan watershed, Iran. Earth Sci Inform, DOI 10.1007/s12145-014-0145-7.

Nandi, A. & Shakoor, A., 2009- A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses. Engineering Geology, V. 110, p. 11–20.

Nefeslioglu, H.A., T.Y. Duman and S. Durmaz. 2008, Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Easten Black Sea Region of Turkey), Geomorphology 94: 401-418.

Oh, H. J. & Lee, S., 2010- Cross-validation of logistic regression model for landslide susceptibility mapping at Geneoung areas, Korea .Disaster Advances, V. 3, p. 44–55.

Oh, H.J., Pradhan, B., 2011. Application of a neuro-fuzzy model to landslide- susceptibility mapping for shallow landslides in a tropical hilly area. Computer and Geoscience, 37, 1264–1276.

Pourghasemi, H.R., H.R. Moradi, S.M. Fatemi Aghda, C. Gokceoglu and B. Pradhan. 2012. GIS-based landslide susceptibility mapping with probabilistic likelihood ratio and spatial multi-criteria evaluation models (North of Tehran, Iran). arabian journal of geosciences, 7: 1857-1878.

Pradhan, B., Oh, H.J., Buchroithner, M., 2010. Weights-of-evidence model applied to landslide susceptibility mapping in a tropical hilly area. Geomat. Nat. Haz. Risk, 1, 199-223

Ramakrishna, D., M.K., Ghose, R., Vinu Chandra and A. Jeyaram. 2005. Probabilistic techniques, GIS and remote sensing in landslide hazard mitigation: a case study from Sikkim Himalayas, India. Geocartography Int. 20 (4): 53–58.

Sharma, L.P., N. Patel, M. K. Ghose and P. Debnath. 2010. Influence of Shannon's entropy on landslide-causing parameters for vulnerability study and zonation-a case study in Sikkim, India. Arab. J. Geosci. 5 (3): 421-431.

Swets, J.A. 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. Sci. 240: 1285-1293.

Taylor J, Davies M, Clifton D, Ridley I, Biddulph P (2011) Flood management: prediction of microbial contamination in large- scale floods in urban environments. Environ Int 37:1019–1029

Tehrany, M.S., Lee, M.J., Pradhan, B., Jebur, M.N., Lee, S. 2014b. Flood susceptibility mapping using integrated bivariate and multivariate statistical models. Environ. Earth sci. 72(10): 4001-4015.

Tehrany, M.S., Pradhan, B and Jebur, M.N. 2014a. Flood susceptibility mapping using a novel ensemble weights-of-evidence and support vector machine models in GIS. J. Hydrol. 512: 332-343.

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

Tehrany, M.S., Pradhan, B., Jebur, M.N., 2015b. Flood susceptibility analysis and its verification using a novel ensemble support vector machine and frequency ratio method. Stoch Environ Res Risk Assess 29:1149–1165.

Tehrany, M.S., Pradhan, B., Mansor, Sh., Ahmad, N., 2015a. Flood susceptibility assessment using GIS-based support vector machine model with different kernel types. Catena 125, 91-101.

Theil H (1972) Statistical decomposition analysis. North-Holland Publishing Company, Amsterdam

Youssef, A.M., Pradhan, B., Hassan, A.M., 2011. Flash fl ood risk estimation along the St. Katherine road, southern Sinai, Egypt using GIS based morphometry and satellite imagery. Environ. Earth Sci. 62, 611–623.

Yufeng S, Fengxiang J (2009) Landslide Stability Analysis Based on Generalized Information Entropy. 2009 International Conference on Environmental Science and Information Application Technology: 83–85.

Evaluation of Shannon Entropy in Order to Flood Probability and Susceptibility Mapping At Haraz Catchment

Ebrahim Nohani*[1], Fariba Darabi[2], Edris Maroufinia[3], Khabat Khosravi[4]

1- Assistant prof., Department of Hydraulic Structures, Young Researchers and Elite Club, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran

Email: Nohani.e@iaud.ac.ir

2- MS Student of watershed management engineering, faculty of natural resources, Sari agricultural and natural resources, Malayer University, Hamedan, Iran

3- Young Researchers and Elite Club, Mahabad Branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran

4- Ph.D Student of watershed management engineering, faculty of natural resources, Sari agricultural and natural resources, Mazandaran, Iran

Received: 2016.10.19 Accepted: 2017.01.08

Abstract

One of the main measures in order to financial and life damages reduction is a production of flood susceptibility mapping. In the current research, Shannon entropy has been studied to determine the flood probability and susceptibility mapping. In this research 211, flood locations were prepared. 211 flood locations are divided into two categories based on random selection: 70 % for training and 30% for validation of final map. In the next step, 10 flood conditioning factors such as slope, plan curvature, distance from the river, altitude, rainfall, stream power index, topographic wetness index, lithology, land use and NDVI was selected. By using the Shannon entropy the weight of each factor in flooding have been determined. ROC curve has been drowned and area under the curve (AUC) was determined for validation of flood susceptibility mapping by success rate and prediction rate. The result showed that AUC for success rate in entropy model was 92.53% with a prediction accuracy of 91.42%. The high accuracy of the Shannon entropy model showed that this model is proper for flood susceptibility mapping.

Keywords: Shannon Entropy, Haraz, Flood Susceptibility, AUC.