

مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال پنجم، شماره دهم، زمستان ۱۳۹۵

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۰۷/۲۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۱۰/۱۹

صفحات: ۹۹-۱۱۶

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 0.9253 (92.53%) با صحت پیش بینی 0.9142 (91.42%) می باشد. پس صحت بالای این مدل حاکی از قابل اعتماد بودن آن، جهت تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل می باشد.

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

۱- استادیار گروه عمران سازه های هیدرولیکی، دانشگاه آزاد 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 را که در شرایط عادی زیر آب نیست، فراگیرد (مسلمی، ۱۳۸۵). در بین انواع بلاهای طبیعی سیل به عنوان یکی از مخرب‌ترین 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. هر ساله در شهرهای شمالی ایران از قبیل استان‌های مازندران، گیلان و گلستان سیل‌های مهیبی اتفاق می‌افتند. با توجه به وقوع این سیل‌ها مکان‌های با بیشترین پتانسیل برای وقوع سیل (مناطق حساس) باید قبل از برنامه‌ریزی توسط نقشه‌های حساسیت به وقوع 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 وقوع سیل (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 محیط‌های شهری و روستایی شده و باعث توسعه میکروبی در ساختمانها و زیرساختها می‌شود (Taylor et al, 2011). برای پیشگیری و مهار سیلاب باید در درجه اول مناطقی که پتانسیل بالایی در تولید سیل دارند تعیین و سپس عوامل تولید و ایجاد سیل شناسایی شوند. اخطار سریع و پاسخ اضطراری به وقوع سیلاب مورد نیاز است (Feng and Wang, 2011) بنابراین دولت می‌تواند از بروز خسارت تا حدی که ممکن است جلوگیری کنند (Tehrany et al, 2014a). برای تهیه نقشه‌های 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 داده‌های 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^۱ 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 ۰.۸۴/۶۳، ۰.۸۳/۹۲، ۰.۸۴/۹۷، ۰.۸۱/۸۸ است.

تهرانی و همکاران^۲ (۲۰۱۴b) به ترکیب مدل SVM با WoE^۳ پرداختند. آنها بیان کردند که در ترکیب این مدلها با همدیگر نتایج از صحت بالاتری برخوردار می باشد. در تابع RBF_SVM-WOE سطح زیرمنحنی برای نرخ موفقیت و نرخ پیش بینی به ترتیب برابر با ۰.۹۶/۴۸ و ۰.۹۵/۶۷ 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 ۰.۹۲/۷ و ۰.۸۲/۳ می باشد.

خسروی و همکاران^۴ (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 مازندران 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 کیلومتر مربع می باشد. حداقل ارتفاع حوضه ۳۰۰ متر و حداکثر ارتفاع آن ۵۶۰۰ متر می باشد. میانگین بارندگی سالانه برای سال ۲۰۰۶ برابر با ۷۲۳/۰۷ میلیمتر و برای سال ۲۰۱۲ برابر با ۸۳۱/۳۸ میلیمتر می باشد. مراکز مهم سکونت حوضه آبخیز هراز عبارتند از پلور، نشل، تیران، رینه، کندوان، آب اسک، گزنک، بایجان، بلقلم، بلده و نور می باشند (شکل ۱). به علت اینکه سیل‌های مخرب و ویرانگر بسیاری در این حوضه رخ داده و باعث

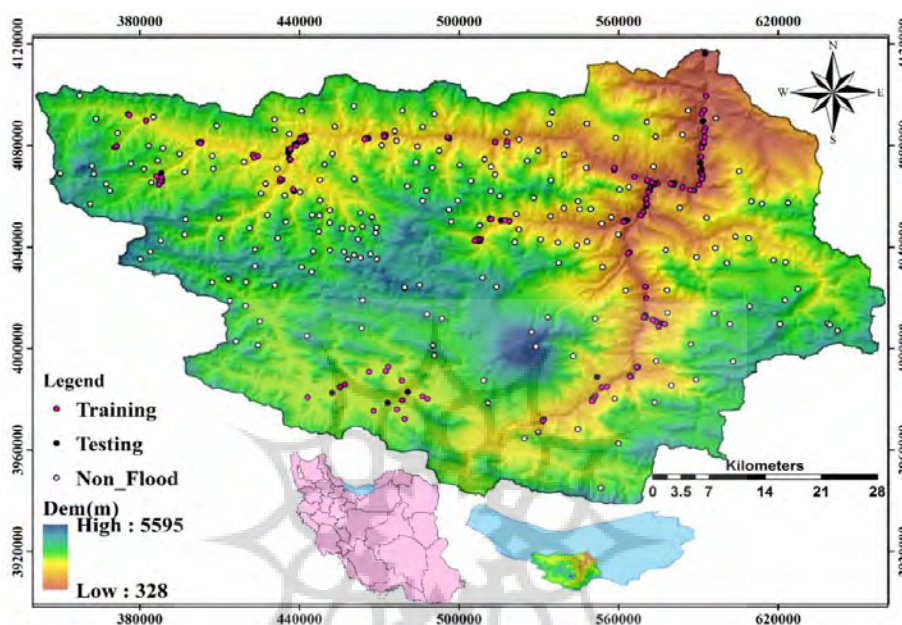
¹ -support vector machine

2 - Tehrani 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 سیل های ثبت شده 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 دهه های اخیر به شدت تحت تاثیر سیل های خطرناک بوده است. یک نقشه از موقعیت ۲۱۱ نقطه سیلابی در حوزه آبخیز هراز تهیه گردید. این ۲۱۱ نقطه به دو گروه 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 مؤثر 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 حوزه های آبخیز تاثیرگذارند (Tehrany et al, 2013; Tehrany et al, 2014 a,b; Tehrany et al, 2015a,b).

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 می‌باشد. جهت تهیه نقشه شیب از مدل رقومی ارتفاع (DEM) (با قدرت تفکیک ۲۰ متر) و نرم افزار ArcGIS 10.1 استفاده شد. پس از تهیه این نقشه، به ۵ کلاس ۵/۷-۰، ۵/۸ تا ۵/۹، 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 گرفته شده در این تحقیق که بر وقوع سیل و سیل گیری موثر می‌باشد انحنای زمین است. نقشه انحنای زمین توسط مدل رقومی ارتفاع و نرم افزار SAGA GIS2 تهیه شد. نقشه مزبور به سه کلاس انحنای مقعر، انحنای محدب و تخت (بدون انحنای) کلاس بندی شد (شکل ۲ b). برای تهیه لایه فاصله از رودخانه، از نقشه رقومی رودخانه توسط دستور *multiring buffer* در نرم افزار ArcGIS 10.1 استفاده شد و به ۶ کلاس ۵۰۰ متر، ۱۰۰۰ متر، ۱۵۰۰ متر، ۲۰۰۰ متر، 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 می‌باشد (Glenn et al, 2010; Wan et al, 2012). در سالهای اخیر به دلیل تغییر اقلیم بارندگی‌ها 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 می‌شود که در ارتفاعات پایین تر، در جاهایی که شیب کمتر می‌گردد و انحنای زمین به صورت فلت می‌باشد سیل‌های مهیبی رخ می‌دهد. جهت تهیه فاکتور موثر طبقات ارتفاعی از مدل رقومی ارتفاع در نرم افزار ArcGIS 10.1 استفاده شد. این فاکتور موثر بر 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 *TWI* و *SPI* 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 هر مکان در حوزه آبخیز و روند جریان به سمت پایین دست توسط نیروی ثقل تعریف می‌گردد (Gokceoglu et al, 2005). رابطه ۱ توسط پورقاسمی و همکاران^۱ (۲۰۱۲) و مور و همکاران^۲ (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) و β زاویه شیب به درجه می‌باشد. 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 و ۱۱/۵-۱۶/۱ طبقه بندی شد که در شکل ۲ e نشان داده شده است. *SPI* نیز توسط رابطه ۲ تهیه و به ۱۰ کلاس تقسیم بندی گردید (شکل ۲ f).

1 - pourghasemi et al.

2 - Moore et al.

$$SPI = (AS \times \tan \beta) \quad (2)$$

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 (۱۳۷۰-۱۳۹۰) 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 داشتن کمترین مقدار RMSE و MAE تهیه گردید (شکل ۲g). 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^۱ (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 طبقه بندی 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 (شکل ۲i). نقشه NDVI نیز که نشان دهنده پوشش سطحی گیاهان و تراکم آنها در تصاویر 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):

$$NDVI = (NIR - VIS) / (NIR + VIS) \quad (3)$$

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^۲ (۱۹۷۲) شاخص آنتروپی را به عنوان اندازه گیری اختلاف متوسط بین سهم گروه های واحد از سیستم ها به عنوان یک کل تعریف می کند. آنتروپی 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^۳ نامیده می‌شود که برای نمایش وضعیت ترمودینامیک یک سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد. آنتروپی 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 متغیرهایی که بیشترین تاثیر را در رخداد یک واقعه دارند برای ما مشخص من نماید (پورقاسمی و همکاران، ۱۳۹۲). از آن جایی که در پهنه بندی حساسیت به وقع بلایای طبیعی نظیر لغزش، سیلاب و.. بسته به شرایط منطقه معمولاً فاکتورهای مختلفی تاثیر گذار بوده و همچنین در تعیین میزان خطر با استفاده از مدل های آماری دومتغیره و احتمالاتی نظیر بیزین^۱، 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 (V_j) نشان دهنده میزان ارزش پارامتر از کل می باشد که بر اساس معادله زیر تعیین شده است (پورقاسمی و همکاران، ۱۳۹۲ و نقیبی و همکاران^۲، ۲۰۱۴):

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

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

$$H_j = -\sum_{i=1}^{M_j} E_{ij} \log_2 E_{ij}, j = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$H_{jmax} = \log_2 M_j, M_j \text{ -number of classes} \quad (3)$$

$$I_j = (H_{jmax} - H_j / H_{jmax}), I = (0,1), j = 1, \dots \quad (4)$$

$$V_j = I_j FR \quad (5)$$

که H_j و H_{jmax} مقادیر (ارزش های) آنتروپی؛ I_j ضریب اطلاعات و M_j تعداد کلاس ها می باشد. همچنین V_j نمایش دهنده ارزش وزن برآیند از پارامتر کلی می باشد. دامنه تغییرات بین صفر و ۱ می باشد. 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:

$$FSI = \sum (SE)_i (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (6)$$

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 می باشد. 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 آنتروپی 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. تقریباً 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^۱ ROC 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

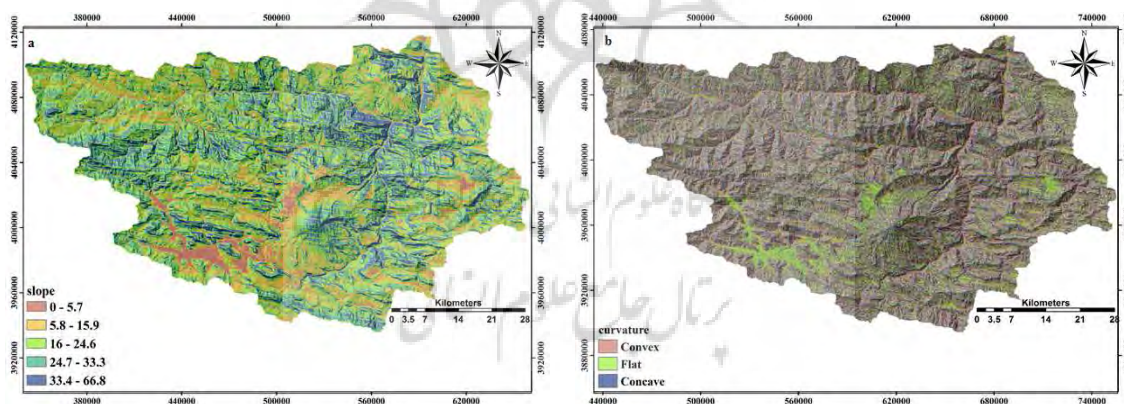
نقشه پارامترهای ورودی به مدل آنتروپی شانون شامل شامل شیب، انحنای زمین، فاصله از رودخانه، طبقات ارتفاعی بارندگی، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)، شاخص توان رودخانه (SPI)، کاربری اراضی، و NDVI در شکل (۲) مشاهده می گردد.

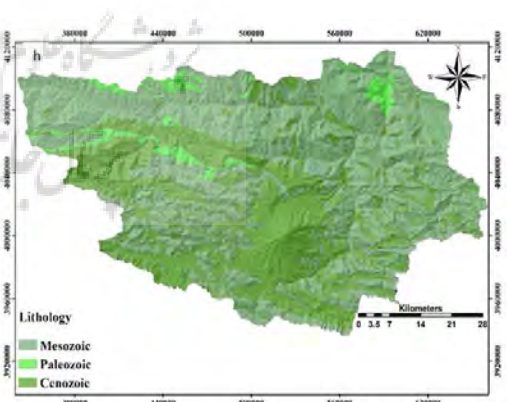
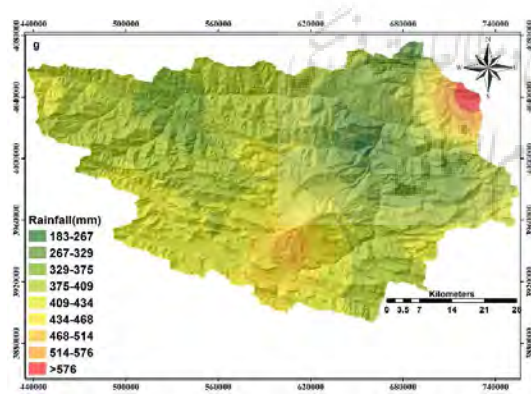
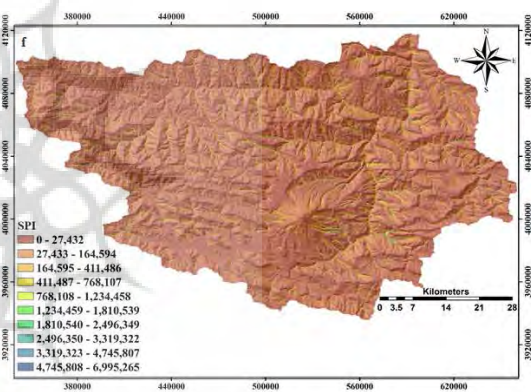
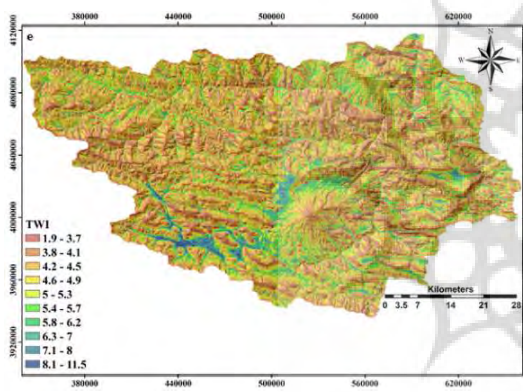
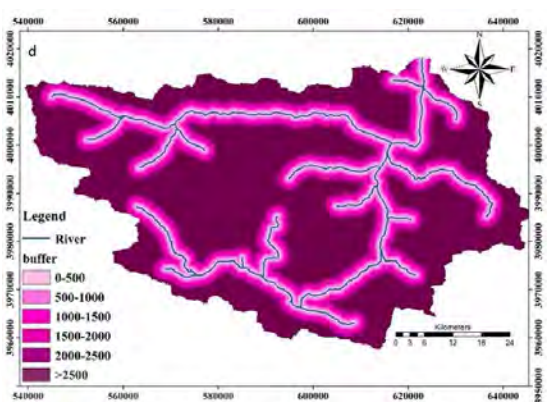
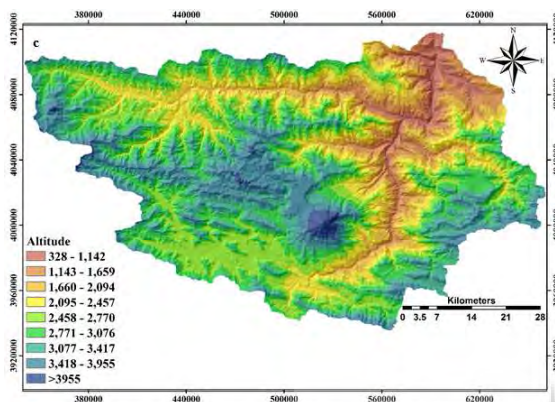
نرخ تأثیر کلاس پارامترهای مؤثر در سیل گرفتگی

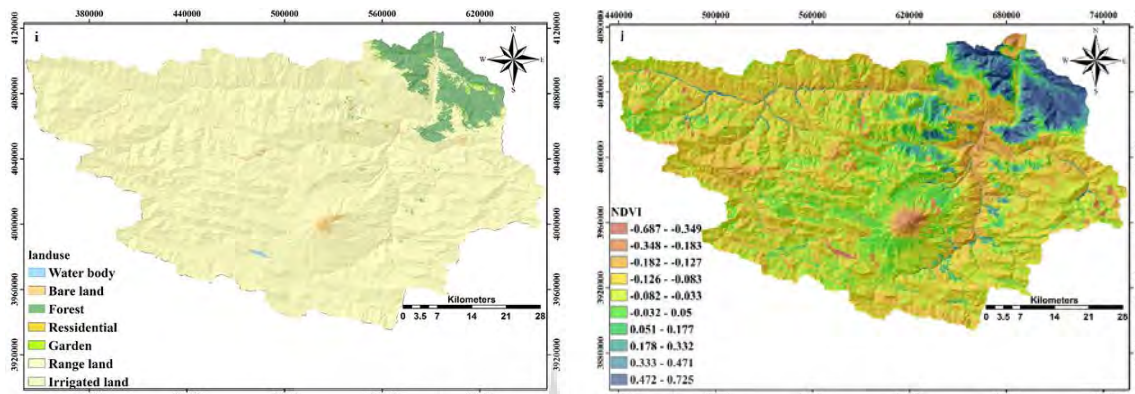
تجزیه و تحلیل های مقایسه ای بین موقعیت وقوع سیل های گذشته و پارامترهای محیطی مؤثر بر وقوع سیل توسط روش نسبت فراوانی (FR) و آنتروپی شانون انجام گرفت و براساس آن، وزن هریک از پارامترها بدست آمد. وزن های مؤثر هریک از پارامترها برای مدل آنتروپی شانون جهت تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل در جدول (۱) مشاهده می گردد. برای فاکتور شیب کلاسهای ۵/۷-۰ و ۵/۸-۱۵/۹ 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 مؤثر 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 مؤثر در وقوع سیل فاصله از رودخانه می باشد که تاثیر کلاس ۵۰۰-۰ متر در وقوع 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 مؤثر بر وقوع سیل بوده که تاثیر بسیار زیادی بر وقوع سیل دارد. معمولاً 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 آنتروپی 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 وقوع 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 آنتروپی، 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 شناسی 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 پتانسیل 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- می باشد 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 آنتروپی شانون مهمترین فاکتور در وقوع سیل می باشد و کم تاثیرترین آن نیز انحنای زمین می باشد.







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

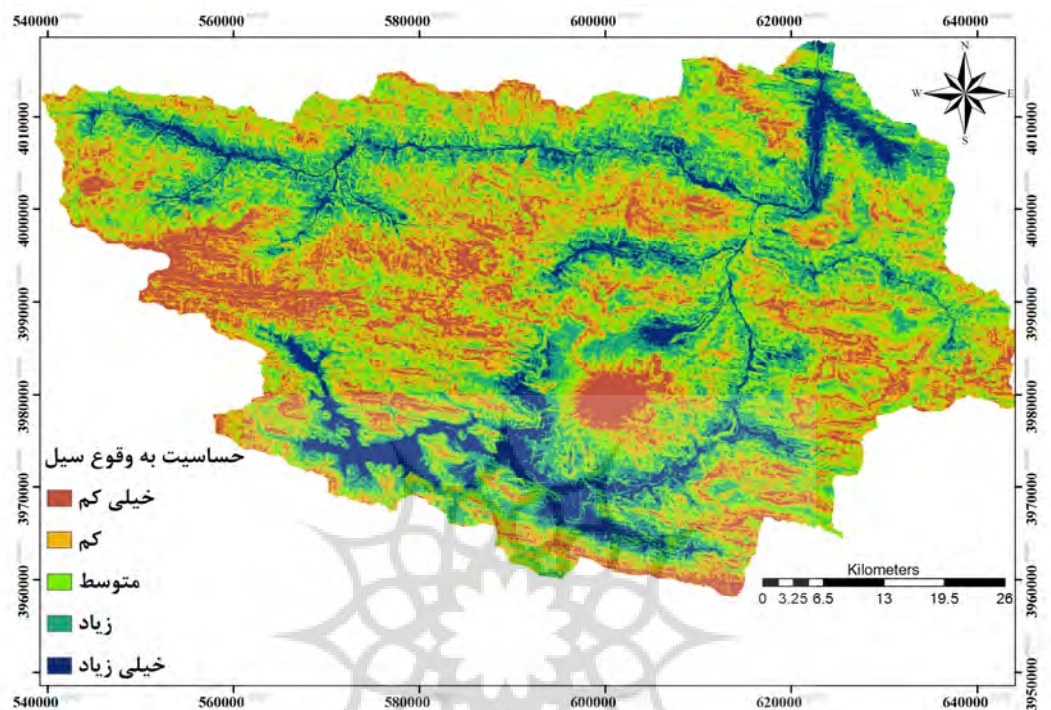
به منظور تهیه نقشه حساسیت به وقوع سیل، ۱۰ فاکتور فوق تهیه شدند و پس از وزن نهایی هر عامل توسط مدل آنتروپی شانون و ضرب آن در کلاسهای عامل مذکور، نقشه های وزنی باهم جمع شده و نقشه نهایی حساسیت به وقوع سیل تیه گردید. سپس نقشه نهایی براساس روش Natural break (Bednarik et al, 2010; Tehrany et al, 2014 a,b) 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 آنتروپی شانون

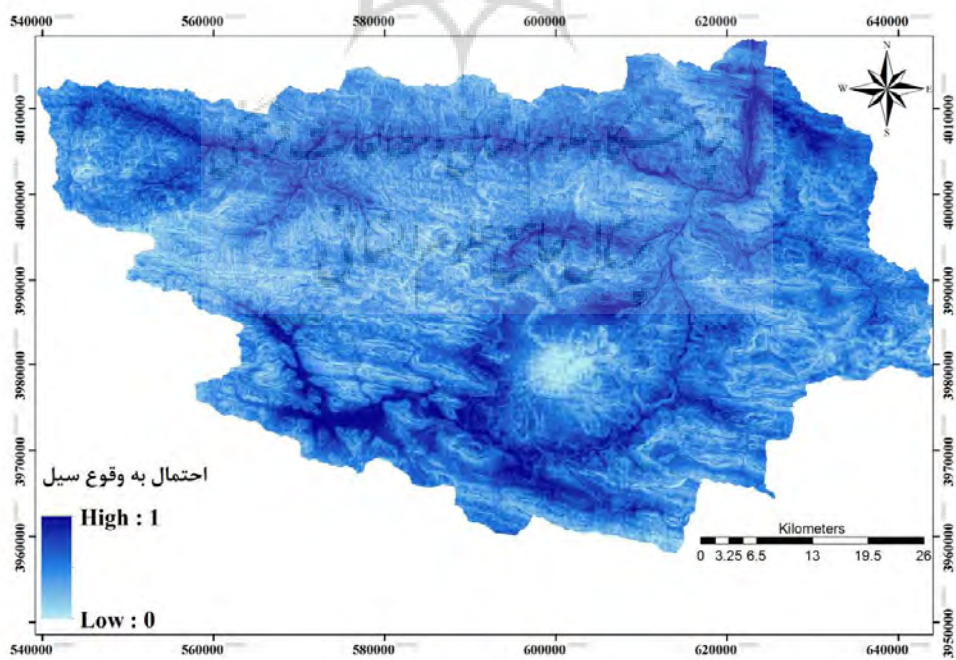
Vj	Ij	Hjmax	Hj	Eij	FR	٪ وقوع سیل	٪ پیکسل ها	کلاس	پارامتر
۰/۸۴۷	۰/۴۴	۲/۳۲۲	۱/۳۰۰	۰/۶۹۱	۶/۶۴	۳۱/۱۳	۴/۶۹	۵/۷۰۰	شیب
				۰/۲۱۱	۲/۰۳	۴۶/۳۶	۲۲/۸۵	۱۵/۹۰-۵/۷	
				۰/۰۴۸	۰/۴۷	۱۴/۵۷	۳۱/۲۹	۲۴/۶-۱۵/۹	
				۰/۰۱۰	۰/۱۰	۲/۶۵	۲۷/۴۰	۳۳/۲۵-۲۴/۶	
۰/۱۳۶	۰/۱۳۰	۱/۵۸۵	۱/۳۸۰	۰/۱۱۹	۰/۳۷	۱۵/۲۳	۴۰/۶۲	محدب	انحنای زمین
				۰/۳۶۰	۱/۱۴	۲۹/۱۴	۲۵/۶۲	مسطح	
				۰/۵۲۱	۱/۶۵	۵۵/۶۳	۳۳/۷۶	مقعر	
۱/۱۹۴	۰/۶۹۱	۲/۵۸۵	۰/۸۰۰	۰/۸۶۸	۹/۰۰	۸۴/۷۷	۹/۴۲	۰-۵۰۰	فاصله از رودخانه
				۰/۰۶۵	۰/۶۷	۵/۹۶	۸/۸۶	۵۰۰-۱۰۰۰	
				۰/۰۳۷	۰/۳۹	۳/۳۱	۸/۵۶	۱۰۰۰-۱۵۰۰	
				۰/۰۱۵	۰/۱۶	۱/۳۲	۸/۲۶	۱۵۰۰-۲۰۰۰	
				۰/۰۰۸	۰/۰۸	۰/۶۶	۷/۹۷	۲۰۰۰-۲۵۰۰	
				۰/۰۰۷	۰/۰۷	۳/۹۷	۵۶/۹۴	>۲۵۰۰	

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

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



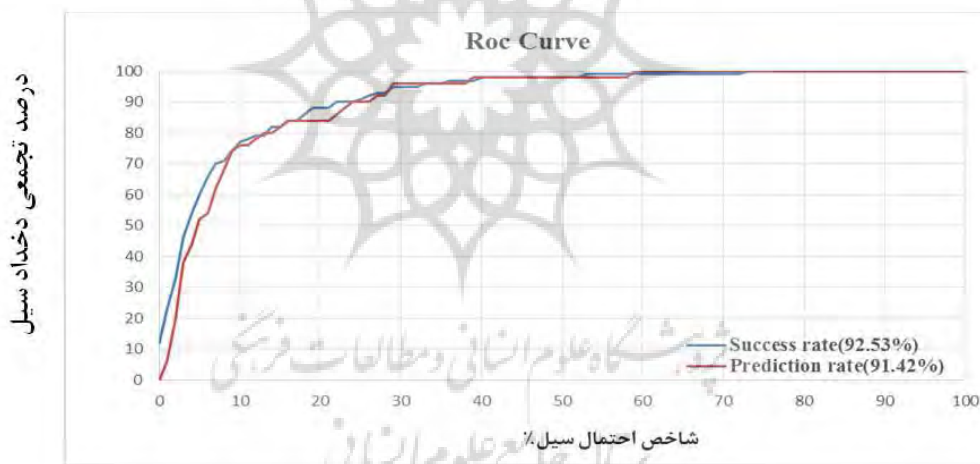
شکل ۳: نقشه حساسیت به وقع سیل حوزه آبخیز هراز، استان مازندران، طبق مدل انتروپی شانون



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 کارآمدترین روش ها در ارائه خصوصیت تعیینی، شناسایی احتمالی و پیش بینی سیستم هاست که میزان دقت مدل را به صورت کمی برآورد 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^۱ مقدار سطح زیرمنحنی با ۳۰ درصد (۶۰ موقعیت) داده های اعتبارسنجی برابر با (۰/۹۱۴۲) یا ۹۱/۴۲٪ و برای میزان موفقیت^۲ با ۷۰ درصد داده های آموزش برابر با ۹۲/۵۳٪ می باشد (شکل ۵). پس مدل آنتروپی 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 آنتروپی 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 وقوع سیل حوزه آبخیز 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 وقوع 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 آمدن 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 زمین لغزش و پهنه بندی حساسیت آن، مجله علوم آب و خاک، دوره ۱۸، شماره ۷۰، صفحات ۱۸۱-۱۹۲.
- خسروشاهی، محمد؛ ثقفیان، بهرام (۱۳۸۲). بررسی نقش مشارکت زیرحوزه های آبخیز در شدت سیل خیزی حوزه، مجله پژوهش و سازندگی، تابستان ۱۳۸۲، دوره ۱۶ شماره ۲، صفحات ۶۷-۷۵.
- 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 آب و خاک، دوره ۲۰، شماره ۲، صفحات ۲۰۸-۱۹۵.
- مسلمی، عبدالرضا (۱۳۸۵). آشنایی با بلاهای طبیعی و شرایط غیرمترقبه واقدامات امدادی، انتشارات معاونت ترویج و مشارکت مردمی وزارت جهادسازندگی سابق. جلد اول، چاپ دوم. ۵۶ ص.
- Bednarik, M., B. Magulova, M. Matys and M. Marschalko. 2010. Landslide susceptibility assessment of the Kralovany-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 influence flood 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 Slovenia. *Geomorphology* 74: 17-28.
- Kourgialas, N.N., Karatzas, G.P., 2011. Flood management and a GIS modelling method to assess flood-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 flood hazard mitigation and emergency response in urban watersheds I. *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., Thielen, 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.
- Naghbi.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 flood 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 Darabi², Edris Maroufinia³, Khabat Khosravi⁴

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.