

## مدل‌سازی پتانسیل رخداد فرسایش‌های آبکندی در منطقه‌ی سیمره با استفاده از مدل‌های آنتروپی‌شانون و شاخص آماری

سمیرا قربانی‌نژاد\*: گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان

امید رحمتی: گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان

فرهاد نورمحمدی: گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۹/۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۲۶)

### چکیده

وقوع فرسایش‌های آبکندی به دلیل تولید رسوب بالا در حوضه‌های آبخیز، یکی از مشکلات منابع طبیعی در زمینه-ی مدیریت و حفاظت خاک تلقی می‌شود. در این تحقیق، پتانسیل وقوع فرسایش آبکندی براساس مدل‌های آنتروپی‌شانون و شاخص آماری در منطقه‌ی سیمره استان لرستان ارزیابی شد. ابتدا لایه‌های رقوم‌ی عوامل مؤثر در پتانسیل مناطق حساس به فرسایش شامل ارتفاع، سنگ‌شناسی، شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، فاصله از رودخانه، رده خاک‌شناسی، شاخص رطوبت توپوگرافی و شاخص توان جریان در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.2 تهیه شد. از ۱۰۰ آبکنده موجود، گروه آموزشی (۷۰ درصد) و اعتبارسنجی (۳۰ درصد) به صورت تصادفی تفکیک شد. سپس وزن کلاس‌های هر یک از عوامل مؤثر، براساس تجزیه و تحلیل احتمالاتی مدل‌های شاخص آماری (SI) و آنتروپی‌شانون تعیین گردید. نقشه‌ی حساسیت به فرسایش آبکندی نیز براساس این مدل‌ها تهیه شد. در نهایت، اعتبارسنجی نقشه‌ی نهایی براساس داده‌های گروه اعتبارسنجی و روش منحنی مشخصه‌ی عامل گیرنده (ROC) انجام شد. نتایج نشان داد نقشه‌ی حساسیت به فرسایش آبکندی که براساس مدل‌های آنتروپی‌شانون و شاخص آماری تهیه شده، به ترتیب دارای میزان اعتبار ۷۷/۳ درصد و ۷۹/۸ درصد است؛ این امر بیانگر قابلیت بالای این مدل‌ها در شناسایی مناطق حساس به فرسایش آبکندی است. علاوه بر آن براساس نتایج مدل آنتروپی‌شانون، عوامل سنگ‌شناسی، ارتفاع و کاربری اراضی بیشترین تأثیر را در وقوع فرسایش‌های آبکندی داشتند. تعیین میزان حساسیت مناطق مختلف نسبت به فرسایش آبکندی برای اجرای برنامه‌های حفاظتی ضروری است که تحقیق حاضر این مهم را فراهم می‌کند.

واژگان کلیدی: اعتبارسنجی، پیش‌بینی مکانی، مدیریت و حفاظت خاک، متغیرهای زمین-محیطی.

### ۱- مقدمه

فرسایش آبکندی از دو بعد بر محیط زیست اثرگذارند؛ نخست با تخریب افق‌های سطحی و زیرین خاک باعث تولید رسوب در حجم زیاد و تخریب بستر تولید می‌شود، سپس با کوتاه کردن ارتباط میان مناطق بالادست و پایین-دست، به تشدید تخلیه‌ی رواناب‌های سطحی و کاهش تغذیه‌ی آب‌های زیرزمینی منجر می‌شود (Prosser, 1996 & Poesen et al, 2003). بنابراین این نوع فرسایش، نه تنها اثرات مضر از طریق تخریب اراضی ایجاد می‌کند بلکه رسوب تولید شده از آنها، تعادل هیدرولوژیکی مناطق پایین دست را به هم می‌زند و به پر شدن مخازن سدها منجر می‌شود. در صورتی که این نوع فرسایش کنترل نشود، می‌تواند خسارات زیادی را برای زیرساخت‌های حمل و نقل از

قبیل جاده‌ها و خطوط راه آهن به بار آورد. همچنین کیفیت آب‌های سطحی در اثر وجود رسوبات و گل‌آلودگی جریان، کاهش می‌یابد و سلامت حوضه‌ی آبخیز به شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

فرسایش آبکندی تحت تأثیر متقابل میان عوامل محیطی اثرگذار است؛ مانند سرعت رواناب، خصوصیات خاک، وضعیت پوشش گیاهی، شیب زمین، سنگ‌شناسی، بارندگی، کاربری اراضی و اقدامات و فعالیت‌های انسانی (Morgan and Mngomezulu, 2003). در دهه‌ی اخیر فرسایش‌های آبکندی در اثر مدیریت نادرست سرزمین، کشت غیراصولی و تغییرات کاربری اراضی، روند سریعی در پیش گرفته‌است (Renschler and Harbor, 2002 & Bayat, 2005 & Khatibi, 2008 & Dotterweich, 2005). از آنجایی که عوامل محیطی مختلف توپوگرافی و هیدرولوژیکی، در وقوع فرسایش‌های آبکندی تأثیر دارد و اقدامات انسانی موجب تشدید آن می‌شود، بایستی تحقیقات گسترده‌ای برای درک و شناخت بیشتر ارتباط میان این عوامل و رخداد‌های فرسایش آبکندی صورت گیرد (Ghodousi, 2003).

Shahab و همکاران (2017) در مقایسه‌ی دو روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و منطق فازی برای پهنه‌بندی خطر فرسایش آبکندی در سه منطقه از استان اردبیل بیان کردند که روش گامای فازی برای بررسی خطر این فرسایش، مناسب‌تر از روش AHP است. Soufi (2004) و Fattahi (2010) معتقدند که علت عمده‌ی ایجاد آبکندها عبارت است از: تخریب پوشش گیاهی، تغییر کاربری، طراحی و ساخت غیراصولی جاده‌ها، آبیاری غیر اصولی و وقوع سیل. Zakerinejad and Maerker (2015) با استفاده از مدل پیشینه بی‌نظمی (ME)، به بررسی حساسیت مکانی منطقه‌ی مازیجان استان فارس نسبت به فرسایش‌های آبکندی پرداختند و نشان دادند که وقوع و گسترش این فرسایش‌ها تحت تأثیر عوامل زیادی از جمله شیب، خاک‌شناسی، سنگ‌شناسی و کاربری اراضی است که با یافتن مناطق دارای پتانسیل فرسایش آبکندی و با برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح می‌توان از وقوع این نوع فرسایش پیشگیری کرد. Moradi and Olfati (2014) با استفاده از ۵ شاخص اقلیمی، به بررسی وضعیت فرسایش آبکندی در حوضه‌ی آبریز دیره پرداختند. نتایج ناشی از شاخص‌های اقلیمی - که تأییدکننده‌ی پتانسیل قوی آبکنندزایی حوضه و مدل‌های مورد استفاده در برآورد میزان رسوب حاصل از این فرسایش است - بیانگر وضعیت بحرانی فرسایش خاک است. Entezary و همکاران (2013) با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، به پهنه‌بندی فرسایش آبکندی در حوضه‌ی آبریز دیره پرداختند و نشان دادند ۳۶ درصد از این حوضه، در پهنه‌ی با خطر زیاد و خیلی زیاد قرار دارد که باعث جابه‌جایی حجم زیادی از خاک می‌شود. Dube و همکاران (2014)، به پهنه‌بندی فرسایش آبکندی با روش وزن شواهد در نیوزلند پرداختند و نشان دادند که نوع خاک، فاصله از آبراهه و کاربری اراضی از عوامل اصلی و تأثیرگذار در وقوع این نوع از فرسایش به شمار می‌رود. Rahmati و همکاران (2016) با استفاده از مدل‌های نسبت فراوانی و وزن شواهد، به پهنه‌بندی مناطق مستعد فرسایش خندقی پرداختند. نتایج آنها بیانگر توانایی بالای هر دو مدل در تعیین پتانسیل فرسایش خندقی است. علاوه بر آن، در تحقیق مذکور با استفاده از مدل آموزش بردار کمی، میزان اثر هر پارامتر محیطی در ایجاد فرسایش خندقی نیز مشخص شد. نتایج آنها نشان داد که تراکم زهکشی، فاصله از رودخانه و کاربری اراضی مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در ایجاد فرسایش آبکندی است. Angileri (2016)، پتانسیل وقوع فرسایش‌های آبکندی را با استفاده از مدل درخت تصمیم‌یافته‌ی

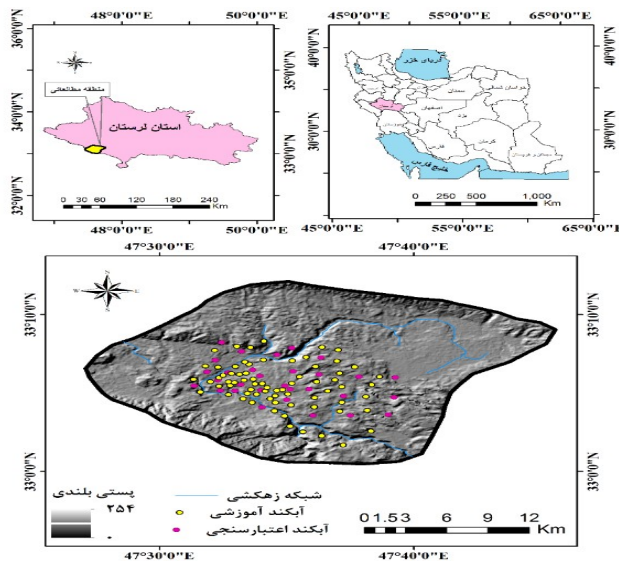
گرادپان تصادفی<sup>۱</sup> (SGT) بررسی و بیان کردند که مقدار صحت کلی نتایج مدل، بسیار خوب بوده است. به هر حال برخلاف روش‌های مبتنی بر نظر کارشناسی‌ها مانند روش تحلیل سلسله مراتبی، مدل‌های آنتروپی‌شانون و شاخص آماری، براساس رخدادهای فرسایش آبکندی در منطقه مورد مطالعه، به تجزیه و تحلیل روابط بین عوامل محیطی و فرسایش‌های آبکندی می‌پردازد؛ بنابراین، فقدان قطعیت پیش‌بینی در مدل‌های آنتروپی‌شانون و شاخص آماری کمتر است و انتظار می‌رود کارایی بیشتری برای مدیریت سرزمین داشته باشد.

مدل‌های آنتروپی‌شانون و شاخص آماری به عنوان مدل‌های داده‌کاوای شناخته می‌شوند و تاکنون از آنها در زمینه‌ی مدل‌سازی و پیش‌بینی فرسایش آبکندی استفاده نشده است؛ از این رو، ارزیابی کارایی این مدل‌ها برای پیش‌بینی مکانی فرسایش‌های آبکندی، نوآوری این تحقیق را تأمین می‌سازد. همچنین ذکر این امر لازم است که منطقه‌ی سیمره به شدت تحت تأثیر وقوع فرسایش‌های آبکندی است که اراضی منطقه را تحت تأثیر قرار داده است. رسوبات تولید شده از این آبکندها، به مناطق پایین دست منتقل و به آلوده شدن رودخانه‌های پایین دست همچنین پرشدن دریاچه‌ی سد کرخه منجر می‌شود (Tahmasebi pour et al, 2016). هدف از این تحقیق، ارزیابی و مقایسه‌ی کارایی مدل‌های آنتروپی‌شانون و شاخص آماری برای پیش‌بینی توان وقوع فرسایش آبکندی در منطقه‌ی سیمره استان لرستان است.

## ۲- مواد و روش

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه‌ی سیمره در بخش جنوبی شهرستان پلدختر و بین طول‌های جغرافیایی ۴۷ درجه و ۲۷ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۴۵ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۳ درجه و ۱ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۱۲ دقیقه شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). مساحت منطقه‌ی سیمره ۳۹۳ کیلومتر مربع است. میانگین بارش منطقه ۳۵۷/۵ میلی‌متر، متوسط دمای حداقل سالانه ۱۶/۹ و دمای حداکثر سالانه ۱۷ درجه‌ی سانتی‌گراد است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی سیمره و آبکند آموزشی و اعتبارسنجی

<sup>1</sup> Stochastic Gradient Treeboost

بزرگترین جریان سطحی منطقه، رودخانه‌ی سیمره است که یکی از سرشاخه‌های مهم غرب کشور به شمار می‌رود و به سد کرخه می‌پیوندد؛ بنابراین، منطقه‌ی سیمره با توجه به موقعیت قرارگیری‌اش نسبت به سد کرخه اهمیت بسیاری دارد؛ چرا که رسوب خارج شده از این منطقه پس از پیمودن مسافتی کوتاه، به دریاچه‌ی سد کرخه انتقال می‌یابد. از دیدگاه ناهمواری‌های ژئومورفولوژیکی، منطقه‌ی سیمره شامل اراضی دشتی و ناهمواری‌های کم ارتفاع است. همچنین کاربری غالب این منطقه، اراضی مرتعی است که به شدت تحت تأثیر چرای مفرط دام و فرسایش شدید خاک قرار دارد. پوشش جنگلی منطقه‌ی مورد مطالعه، ضعیف است و به دلیل خشکسالی‌ها و زوال درختان بلوط یکی از اکوسیستم‌های حساس به شمار می‌رود. اراضی کشاورزی موجود در منطقه، اغلب توسط آب رودخانه‌ها آبیاری می‌شود. در این منطقه به دلیل فقدان برنامه‌های مدیریتی صحیح در کشاورزی، آبیاری با روش سنتی به وقوع فرسایش‌ها و حفره‌های پاپینگ منجر می‌شود. نمونه‌هایی از آبکندها موجود در منطقه، در شکل (۲) ارائه شده‌است.



شکل ۲: نمونه‌های آبکندها موجود در منطقه‌ی سیمره

## ۲-۲- انتخاب عوامل مؤثر بر وقوع فرسایش آبکندی

طبق بررسی‌های به عمل آمده در این تحقیق و ویژگی‌های طبیعی منطقه، لایه‌های ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از رودخانه، شاخص رطوبت توپوگرافی<sup>۱</sup> (TWI)، شاخص توان جریان<sup>۲</sup> (SPI)، کاربری اراضی، خاک و سنگ‌شناسی به عنوان لایه‌های مؤثر در ایجاد آبکندها انتخاب شد. نقشه‌ی سنگ‌شناسی منطقه، از نقشه‌ی ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه شده در سازمان زمین‌شناسی کشور استخراج شد. مطابق نقشه‌ی سنگ‌شناسی، ۷ نوع ساختار سنگ‌شناسی مختلف در منطقه‌ی مورد بررسی وجود داشت. نقشه‌ی خاک منطقه، سه رده‌ی مختلف خاک را نشان می‌دهد که عبارتند از: انتی-سول، اینسپتی سول و ریگوسول. نقشه‌ی کاربری اراضی، از نقشه‌ی تهیه شده در اداره کل منابع طبیعی استان لرستان استخراج شد و مطابق شکل (۲-ب)، پنج کاربری مختلف را در برمی‌گیرد که بیشترین کاربری موجود مربوط به کشاورزی است. از لایه‌ی رقومی ارتفاع سنجنده ASTER با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر به عنوان نقشه‌ی پایه مدل رقومی ارتفاع<sup>۳</sup> (DEM) استفاده شد. لایه‌های شیب و جهت شیب نیز از نقشه‌ی پایه‌ی مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک ۳۰ متری به دست آمده بود. با توجه به مقاله‌ی Rahmati و همکاران (2016)، این لایه‌ها به تعداد طبقات

<sup>1</sup> Topographic wetness index

<sup>2</sup> Stream power index

<sup>3</sup> Digital elevation model

مختلفی مطابق شکل (۳ و ۲) کلاس بندی شد. پس از تهیه نقشه‌ی آبراهه‌ها با نرم‌افزار ArcGIS10.2 و اجرای اصلاحات لازم، این نقشه به ۸ کلاس تقسیم شد (شکل ۲- پ). شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) که از نقشه‌های مفید برای تعیین مناطق حساس به فرسایش است، از رابطه‌ی زیر به دست آمد (Moore et al, 1991):

$$TWI = \ln \left( \frac{As}{S} \right) \quad (1)$$

که در آن  $As$  و  $S$ ، به ترتیب بیانگر سطح ویژه‌ی منطقه و درصد شیب زمین است. این نقشه در نهایت به چهار طبقه، مطابق شکل (۳- چ) کلاس بندی شد. علاوه بر شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص دیگری تحت عنوان شاخص توان جریان برای نشان دادن مناطق حساس نسبت به فرسایش وجود دارد که از طریق تعیین اثر توپوگرافی و شبکه زهکشی، در ایجاد آبکند مفید است. این شاخص از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید (Sulebak et al, 2000):

$$SPI = As * \tan \beta \quad (2)$$

که در آن  $As$  سطح ویژه‌ی منطقه و  $\beta$  شیب آن است. نقشه‌ی شاخص توان جریان منطقه‌ی نهایی، به ۶ طبقه، کلاس-بندی شد (شکل ۳- ح).

### ۲-۳- ثبت موقعیت مکانی آبکندها

پس از بازدید میدانی در منطقه‌ی سیمره، موقعیت مکانی ۱۰۰ آبکند به وسیله‌ی دستگاه GPS ثبت شد و در نهایت، این نقاط در نرم‌افزار ArcGIS10.2 به صورت نقشه‌ی موقعیت آبکند درآمد. آبکندهای منطقه غالباً در اثر تنش برشی جریان‌های سطحی به وجود آمده‌اند و شکل خطی دارند. عمق آنها از ۵ تا ۱۲/۵ متر و طول آنها از ۳۰ تا ۱۱۷۴ متر متغیر است. براساس سوابق تحقیق موجود Van Westen (1997)، از میان نقاط ثبت شده ۷۰ آبکند به عنوان آبکندهای گروه آموزش به طور تصادفی و ۳۰ مورد باقی به عنوان گروه اعتبارسنجی انتخاب شد (شکل ۱).

### ۲-۴- مدل شاخص آماری<sup>۱</sup>

مدل شاخص آماری یکی از مدل‌های داده‌کاوی است که در مطالعات مختلف پیش‌بینی مکانی به کار رفته‌است (Bui et al, 2011 & Cevik and Topal, 2003 & Yalcin, 2008). در مدل‌سازی و پیش‌بینی فرسایش‌های آبکندی، این مدل براساس توزیع مکانی وقایع آبکندها به تجزیه و تحلیل روابط بین عوامل محیطی و این وقایع آبکندی می‌پردازد. وزن هر یک از کلاس‌های عوامل محیطی براساس رابطه‌ی (۳) تعیین می‌شود (Yin and Yan, 1988):

$$Si = \ln \left[ \frac{\left( \frac{Npix(Gi)}{Npix(Ni)} \right)}{\frac{\sum Npix(Gi)}{\sum npix(Ni)}} \right] \quad (3)$$

که در آن  $Gi$  فراوانی آبکند در هر کلاس و  $Ni$  فراوانی پیکسل هر کلاس،  $\sum Npix(Gi)$  مجموع آبکندها در هر کلاس و  $\sum Npix(Ni)$  مجموع پیکسل‌ها در هر کلاس است. در این روش، وزن کم هر طبقه بیانگر کم بودن تعداد آبکند در آن طبقه است و بالعکس. طبقات با ارزش وزنی صفر نیز فقدان آبکند را در آن طبقه نشان می‌دهد. در نهایت وزن‌های به دست آمده برای هر کلاس در نرم‌افزار ArcGIS10، در تمامی لایه‌ها اعمال؛ سپس با به کارگیری توابع روی هم گذاری و ماشین حساب رستری، نقشه‌ی پتانسیل رخداد آبکند تهیه شد.

<sup>1</sup> Statistical index

## ۲-۵- آنتروپی شانون

مدل آنتروپی شانون - که برگرفته شده از تئوری اطلاعات است - نخستین بار توسط (Yin and Yan, 1988) ارائه شد. آنتروپی، معیار سنجش بی‌نظمی در یک سیستم است (Bednarik et al, 2011) و در تئوری اطلاعات، معیاری است برای مقدار فقدان اطمینان ارائه شده توسط یک توزیع احتمال گسسته (Pi)؛ به نحوی که این فقدان اطمینان در صورت پخش بودن توزیع، بیش از مواردی است که توزیع فراوانی تیزتر باشد (Asghar pour, 2004 & Soleimani-damaneh and Zarepisheh, 2009). از مهمترین مزیت‌های این روش می‌توان به در نظر گرفتن تعداد زیادی شاخص کمی و کیفی اشاره کرد که به طور همزمان در ارزیابی شدت فرسایش، سهولت و سادگی کاربرد، امکان تغییر اطلاعات ورودی و ارائه‌ی پهنه‌بندی جدید براساس این اطلاعات به کار می‌رود و نتایج حاصل شده به صورت ضریب اولویت بیان می‌شود که این مقادیر وزن نهایی راهبردها در اولویت‌بندی است؛ در نظر گرفتن توأمان ارزش هر شاخص در هر واحد کاری و اولویت شاخص‌ها نسبت به هم که باعث دستیابی به نتایج با ضریب اطمینان بیشتر می‌گردد. در آنتروپی، متغیرهایی با حداکثر تأثیر در وقوع یک رخداد تعیین و مشخص می‌شود. روابط زیر، میزان اثرگذاری عوامل مؤثر را در تعیین نقشه‌ی پهنه‌بندی فرسایش آبکندی نشان می‌دهد (Shannon, 1948):

$$(P_{ij}) = \frac{P_{ij}}{\sum_{j=1}^{S_j} P_{ij}} \quad (4)$$

$$(H_j) = \sum_{j=1}^{S_j} (P_{ij}) \log_2 (P_{ij}), j = 1, \dots, n \quad (5)$$

$$H_{j \max} = \log_2 S_j, S_j - \text{Number of Class} \quad (6)$$

$$I_j = \frac{H_{j \max} - H_j}{H_{j \max}}, I = (1, 1), j = 1, \dots, n \quad (7)$$

$$W_j = I_j P_{ij} \quad (8)$$

که در آن  $P_{ij}$  تراکم آبکنند،  $(P_{ij})$  احتمال وجود آبکنند در هر عامل و کلاس مربوط به آن، در هر طبقه  $H_j$  و  $H_{j \max}$  مقادیر آنتروپی و ماکزیمم آنتروپی،  $I_j$  ضریب اطلاعات و  $W_{ij}$  وزن نهایی هر عامل را مشخص می‌کند. پس از تعیین وزن نهایی با ضرب وزن آن در کلاس همان عامل، یعنی مقدار  $P_{ij}$  مربوط به هر عامل و کلاس آن عامل براساس تقسیم تعداد آبکندها بر تعداد پیکسل‌های کلاس‌های عوامل (جدول ۲)، نقشه‌های وزنی با هم جمع و نقشه‌ی نهایی پتانسیل فرسایش آبکندی تهیه شد.

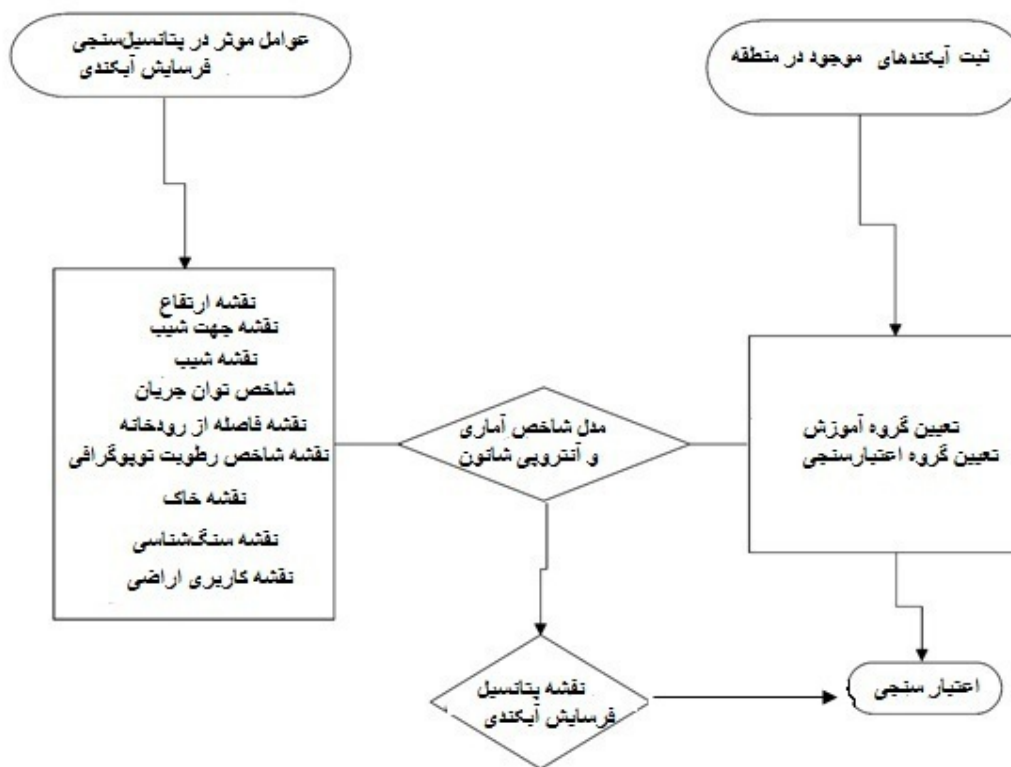
## ۲-۶- اعتبارسنجی نقشه‌ی پتانسیل وقوع فرسایش آبکندی

در اعتبارسنجی نقشه‌ی نهایی پتانسیل‌سنجی مناطق مستعد آبکنند در منطقه‌ی آبخیز سیمره، از ۳۰ درصد از داده‌هایی که در مدل به کار گرفته نشده‌اند، استفاده شد. برای این منظور، نقشه‌ی ۳۰ مورد آبکنند که در پتانسیل‌سنجی استفاده نشده‌اند، با نقشه‌ی پتانسیل‌سنجی مناطق مستعد آبکنند در منطقه‌ی مذکور روی هم گذاری و تجزیه و تحلیل شد. سپس برای اعتبارسنجی دقت نقشه‌ی نهایی از روش منحنی ROC<sup>۱</sup> استفاده شد. با استفاده از نرم‌افزار SPSS19،

<sup>۱</sup> Receiver Operating Characteristic: ROC



منحنی ROC مربوط به نقشه‌ی پتانسیل‌سنجی مناطق حساس به فرسایش آب‌کندی در منطقه‌ی آبخیز سیمره تهیه شد. مساحت زیر این منحنی (AUC)<sup>۱</sup>، بیانگر میزان دقت نقشه‌ی نهایی به صورت کمی است (Hashemi and Kavehee, 2004). سطح زیرپوشش هر نمودار، توانایی مدل را در پیش‌بینی درست نشان می‌دهد. در بهترین شرایط و یک حالت ایده‌آل، مقدار زیر نمودار برابر یک خواهد بود. این شاخص یک شاخص مناسب برای ارزیابی صحت مدل است (۱۷). مراحل اجرای کار در شکل (۳) آمده‌است:

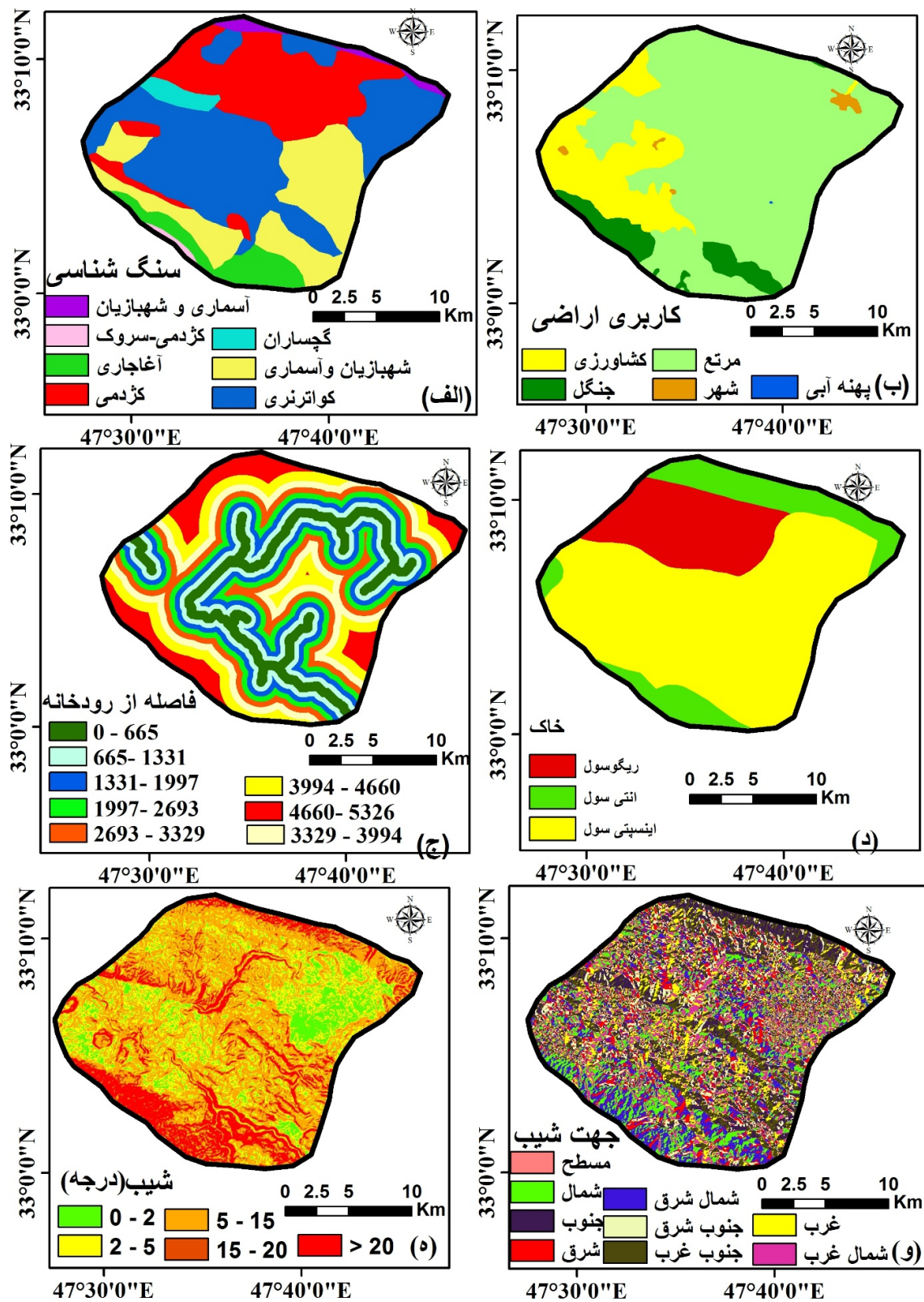


شکل ۳: نمودار فرآیند اجرای تحقیق

### ۳- یافته‌ها (نتایج)

نقشه‌ی عوامل ورودی مدل شاخص آماری و آنتروپی شانون، لایه‌های ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از رودخانه، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص توان جریان، کاربری اراضی، خاک و سنگ‌شناسی تهیه و در شکل (۴) ذکر شد.

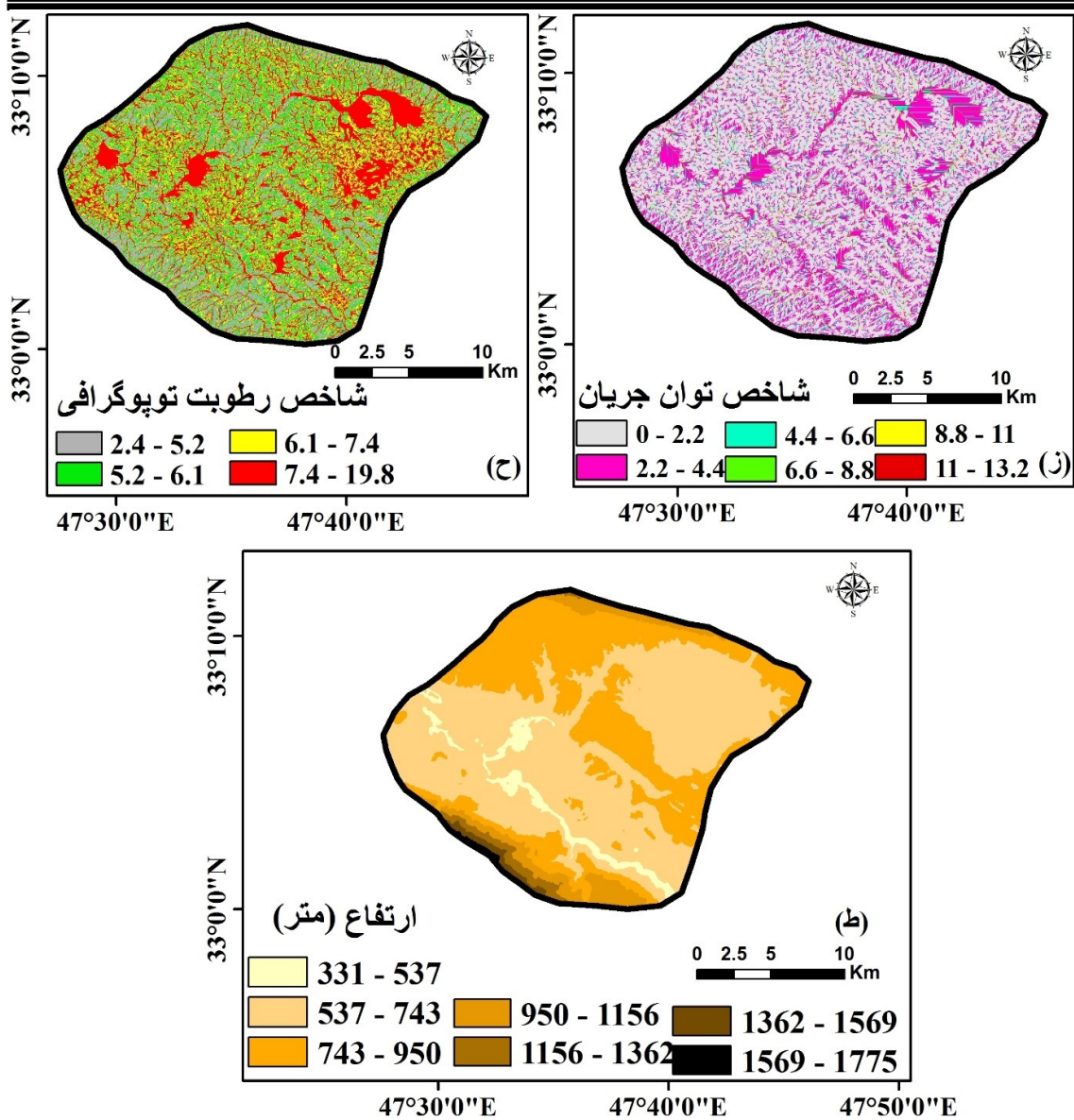
<sup>1</sup> Area Under Curve: AUC



شکل ۴: نقشه‌ی عوامل مؤثر در وقوع فرسایش آبکندی منطقه‌ی سیمیره: (الف) سنگ‌شناسی (ب) کاربری اراضی (ج) فاصله از رودخانه (د) خاک

(ه) شیب (و) جهت شیب





ادامه‌ی شکل ۴: نقشه‌ی عوامل مؤثر در وقوع فرسایش آبکندی منطقه‌ی سیمره: TWI (ج)، SPI (ح) و ارتفاع (خ)

نتایج حاصل از ارتباط بین پتانسیل فرسایش آبکندی، عوامل مؤثر و حداکثر هر کدام از آنها با استفاده از مدل شاخص آماری و آنتروپی‌شانون در جدول ۱ و ۲ ارائه شده‌است.

جدول ۱: رابطه‌ی مکانی بین عوامل مؤثر بر وقوع فرسایش آبکندی و موقعیت این فرسایش با استفاده از روش شاخص آماری در منطقه‌ی سیمره

عامل	کلاس	تعداد پیکسل طبقه	تعداد آبکند	شاخص آماری
توپوگرافی شاخص رطوبت	۲/۵-۵/۲	۱۱۱۵۷۸	۲۰	۱۶/۸۰
	۵/۲-۶/۱	۱۲۰۱۲۷	۱۴	-۲۶/۲۵
	۶/۱-۷/۴	۱۱۵۲۱۷	۱۶	-۸/۷۳
	۷/۴-۱۹/۸	۱۱۵۰۲۲	۲۰	۱۳/۷۶
درجه شیب	۰-۲	۴۷۲۵۶	۶	-۱۷/۶۹
	۲-۵	۱۰۰۴۶۶	۲۰	۲۷/۲۹
	۵-۱۵	۱۹۸۶۹۳	۲۶	-۱۴/۶۷
	۱۵-۲۰	۴۶۹۹۱	۷	-۱/۷۱
	>۲۰	۶۸۵۳۸	۱۱	۵/۷۵
سنگ شناسی	EMas-sb	۱۱۴۶۵	۰	۰/۰۰
	Kbgs	۳۰۱۸	۰	۰/۰۰
	KEpd-gu	۳۱۰۰۹	۱	-۱۵۴/۷۳
	Mgs	۱۱۹۱۷۹	۵	-۱۲۸/۴۲
	MuPlaj	۹۹۴۸	۰	۰/۰۰
	OMas	۱۰۶۲۶۷	۸	-۶۹/۹۶
	Qft2	۱۸۱۰۵۸	۵۶	۷۱/۳۵
کاربری اراضی	کشاورزی	۸۳۸۲۰	۲۲	۵۴/۹۳
	جنگل	۳۲۸۸۳	۲	-۹۱/۲۹
	مرتع	۳۴۱۱۷۶	۴۶	-۱۱/۶۸
	شهر	۴۰۱۳	۰	۰/۰۰
	پهنه‌ی آبی	۵۲	۰	۰/۰۰
فاصله از رودخانه (متر)	۰-۶۶۵	۵۷۸۵۷	۱۶	۶۰/۱۶
	۶۶۵-۱۳۳۱	۵۷۷۲۷	۲۱	۸۷/۵۷
	۱۳۳۱-۱۹۹۷	۵۷۹۱۱	۱۳	۳۹/۳۰
	۱۹۹۷-۲۶۹۳	۵۷۸۲۱	۸	-۹/۱۰
	۲۶۹۳-۳۳۲۹	۵۷۷۳۷	۵	-۵۵/۹۵
	۳۳۲۹-۳۹۹۴	۵۷۶۵۳	۵	-۵۵/۸۱
	۳۹۹۴-۴۶۶۰	۵۷۶۵۲	۲	-۱۴۷/۴۳
	۴۶۶۰-۵۳۲۶	۵۷۵۸۶	۰	۰/۰۰
ارتفاع (متر)	۳۳۱-۵۳۷	۱۷۶۰۳	۹	۱۲۱/۶۱
	۵۳۷-۷۴۳	۲۵۰۲۶۲	۴۷	۲۱/۴۶

<http://magazine.hormozgan.ac.ir>

-۵۰/۳۱	۱۴	۱۵۲۷۸۹	۷۴۳-۹۵۰	
۰/۰۰	۰	۲۶۵۲۸	۹۵۰-۱۱۵۶	
۰/۰۰	۰	۸۵۲۲	۱۱۵۶-۱۳۶۲	
۰/۰۰	۰	۴۸۵۷	۱۳۶۲-۱۵۹۶	
۰/۰۰	۰	۱۳۸۳	۱۵۹۶-۱۷۷۵	
-۹۸/۹۰	۵	۸۸۷۱۳	ریگوسول	ک
۰/۰۰	۰	۷۹۳۴۶	انتی سول	
۳۷/۸۱	۶۵	۲۹۳۸۸۵	اینسپتی سول	
۰/۰۰	۰	۲۰۰۶	هموار	جهت سپین
-۲/۶۹	۹	۶۱۰۱۲	شمال	
-۴/۶۵	۱۰	۶۹۱۳۶	شمال شرق	
-۹/۸۷	۷	۵۰۹۸۶	شرق	
۷/۷۶	۸	۴۸۸۵۴	جنوب شرق	
۵/۰۴	۱۱	۶۹۰۲۴	جنوب	
-۱۳/۷۳	۹	۶۸۱۳۶	جنوب غرب	
۱۹/۳۸	۹	۴۸۹۲۷	غرب	
۵/۱۸	۷	۴۳۸۶۳	شمال غرب	
-۲/۹۴	۴۵	۳۰۵۸۱۵	۰-۲/۲	فنا خاص توان جریان
-۳/۴۴	۱۸	۱۲۲۹۳۷	۲/۲-۴/۴	
۳۷/۷۹	۵	۲۲۶۱۳	۴/۴-۶/۶	
-۹/۲۷	۱	۷۲۴۰	۶/۶-۸/۸	
۱۰۷/۹۶	۱	۲۲۴۲	۸/۸-۱۱	
۰/۰۰	۰	۱۰۹۷	۱۱-۱۳/۲	

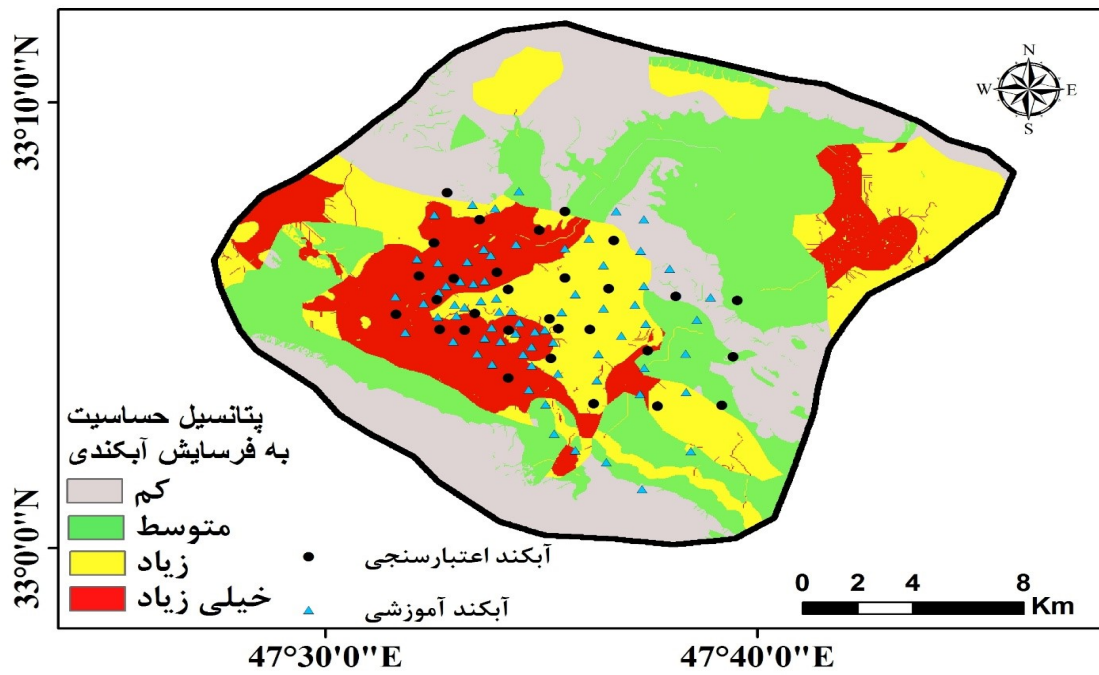
جدول ۲: رابطه‌ی مکانی بین عوامل مؤثر بر وقوع فرسایش آبکندی و موقعیت آبکنده‌های گروه آموزش با استفاده از روش آنالیز شانون در منطقه‌ی سیمره

عامل	کلاس	تعداد پیکسل طبقه	درصد طبقه	درصد آبکنند	تعداد آبکنند	FR	P <sub>ij</sub>	H <sub>j</sub>	H <sub>jmax</sub>	I <sub>j</sub>	W <sub>ij</sub>
جهت شیب	هموار	۲۰۰۶	۰/۴۳	۰	۰	۰/۰۰	۰/۰۰				
	شمال	۶۱۰۱۲	۱۳/۲۰	۱۲.۸۶	۹	۰/۹۷	۰/۱۲				
	شمال شرق	۶۹۱۳۶	۱۴/۹۶	۱۴.۲۹	۱۰	۰/۹۵	۰/۱۲				
	شرق	۵۰۹۸۶	۱۱/۰۳	۱۰.۰۰	۷	۰/۹۱	۰/۱۱				
	جنوب شرق	۴۸۸۵۴	۱۰/۵۷	۱۱.۴۳	۸	۱/۰۸	۰/۱۳	۲/۹۹	۳/۱۷	۰/۰۶	۰/۰۵
	جنوب	۶۹۰۲۴	۱۴/۹۴	۱۵.۷۱	۱۱	۱/۰۵	۰/۱۳				
	جنوب غرب	۶۸۱۳۶	۱۴/۷۴	۱۲.۸۶	۹	۰/۸۷	۰/۱۱				
	غرب	۴۸۹۲۷	۱۰/۵۹	۱۲.۸۶	۹	۱.۲۱	۰/۱۵				
کاربری اراضی	شمال غرب	۴۳۸۶۳	۹/۴۹	۱۰/۰۰	۷	۱/۰۵	۰/۱۳				
	کشاورزی	۸۳۸۲۰	۱۸/۱۵	۳۱/۴۳	۲۲	۱/۷۳	۰/۵۷				
	جنگل	۳۲۸۸۳	۷/۱۲	۲/۸۶	۲	۰/۴۰	۰/۱۳				
	مرتع	۳۴۱۱۷۶	۷۳/۸۶	۶۵/۷۱	۴۶	۰/۸۹	۰/۲۹	۱/۳۷	۲/۳۲	۰/۴۱	۰/۲۵
ارتفاع (متر)	شهر	۴۰۱۳	۰/۸۷	۰/۰۰	۰	۰/۰۰	۰/۰۰				
	پهنه ی آبی	۵۲	۰/۰۱	۰/۰۰	۰	۰/۰۰	۰/۰۰				
	۵۳۷-۳۳۱	۱۷۶۰۳	۸۶/۱۲	۸۱/۳	۹	۳۷/۳	۰/۶۵				
	۷۴۳-۵۳۷	۲۵۰۲۶۲	۱۴/۶۷	۵۴/۱۸	۴۷	۱/۲۴	۰/۲۴				
	۹۵۰-۷۴۳	۱۵۲۷۸۹	/	۳۳/۰۸	۱۴	۰/۶۰	۰/۱۲				
	۱۱۵۶-۹۵۰	۲۶۵۲۸	۰۰/۰	۵/۷۴	۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۲۶	۲/۸۱	۰/۵۵	۰/۴۱
شاخص رطوبت توپو گرافی (TWI)	۱۳۶۲-۱۱۵۶	۸۵۲۲	۰۰/۰	۱/۸۴	۰	۰/۰۰	۰/۰۰				
	۱۵۶۹-۱۳۶۲	۴۸۵۷	۰۰/۰	۱/۰۵	۰	۰/۰۰	۰/۰۰				
	۱۷۷۵-۱۵۶۹	۱۳۸۳	۰۰/۰	۰/۳۰	۰	۰/۰۰	۰۰/۰				
	۵,۲-۲,۴	۱۱۱۵۷۸	۲۴/۱۵	۲۸/۵۷	۲۰	۱/۱۸	۰/۲۹	۱/۹۸	۲/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱
فاصله از رودخانه (متر)	۶,۱-۵,۲	۱۲۰۱۲۷	۲۶/۰۰	۲۰/۰۰	۱۴	۰/۷۷	۰/۱۹				
	۷,۴-۶,۱	۱۱۵۲۱۷	۲۴/۹۴	۲۲/۸۶	۱۶	۰/۹۲	۰/۲۳				
	۱۹,۸-۷,۴	۱۱۵۰۲۲	۲۴/۹۰	۲۸/۵۷	۲۰	۱/۱۵	۰/۲۹				
	۶۶۵-۰	۵۷۸۵۷	۱۲/۵۲	۲۲/۸۶	۱۶	۱/۸۲	۰/۲۳				
	۱۳۳۱-۶۶۵	۵۷۷۲۷	۱۲/۵	۳۰	۲۱	۲/۴۰	۰/۳۰				
	۱۹۹۷-۱۳۳۱	۵۷۹۱۱	۱۲/۵۴	۱۸/۵۷	۱۳	۱/۴۸	۰/۱۹	۲/۵۱	۳/۰۰	۰/۱۶	۰/۱۶
	۲۶۹۳-۱۹۹۷	۵۷۸۲۱	۱۲/۵۲	۱۱/۴۳	۸	۰/۹۱	۰/۱۱				
	۳۳۲۹-۲۶۹۳	۵۷۷۳۷	۱۲/۵۰	۷/۱۴	۵	۰/۵۷	۰/۰۷				
	۳۹۹۴-۳۳۲۹	۵۷۶۵۳	۱۲/۴۸	۷/۱۴	۵	۰/۵۷	۰/۰۷				

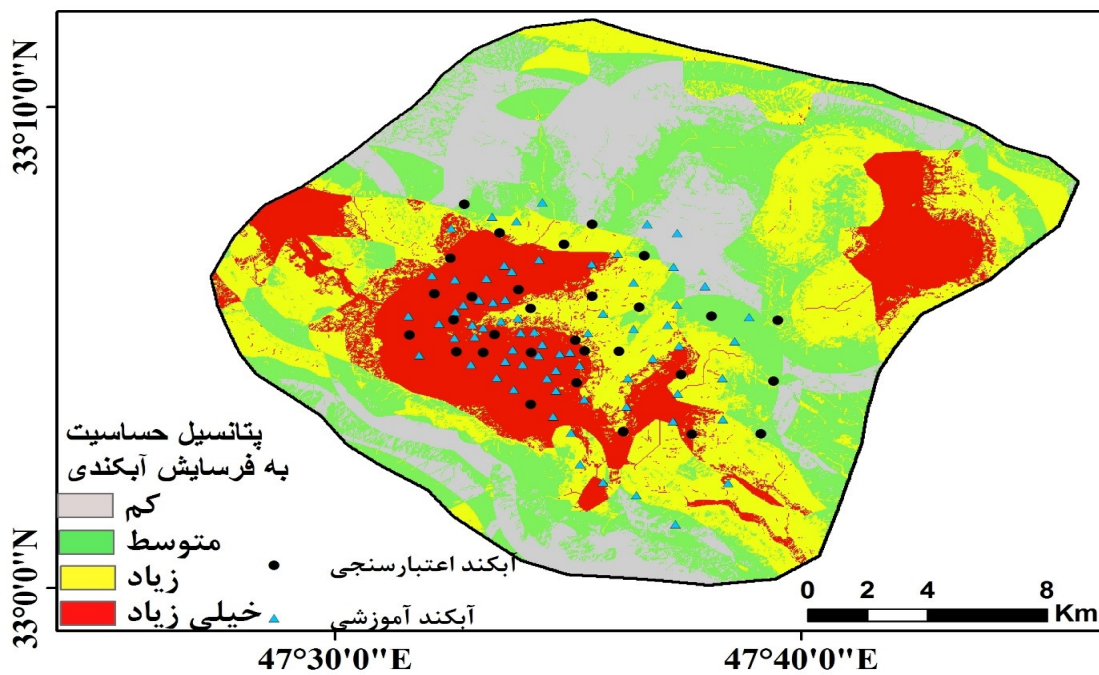
				۰/۰۳	۰/۲۳	۲	۲/۸۶	۱۲/۴۸	۵۷۶۵۲	۴۶۶۰-۳۹۹۴	
				۰/۰۰	۰/۰۰	۰	۰	۱۲/۴۷	۵۷۵۸۶	۵۳۲۶-۴۶۶۰	
				۰/۰۰	۰/۰۰	۰	۰/۰۰	۲/۴۸	۱۱۴۶۵	EMas-sb	سنگ شناسی
				۰/۰۰	۰/۰۰	۰	۰۰/۰	۰/۶۵	۳۰۱۸	Kbgp	
				۰/۰۷	۰/۲۱	۱	۱/۴۳	۶/۷۱	۳۱۰۰۹	KEpd-gu	
۰/۶۵	۱/۵۰	۲/۸۱	-۱/۴۰	۰/۰۹	۰/۲۸	۵	۷/۱۴	۲۵/۸۰	۱۱۹۱۷۹	Mgs	
				۰/۰۰	۰/۰۰	۰	۰/۰۰	۲/۱۵	۹۹۴۸	MuPlaj	
				۰/۱۶	۰/۵۰	۸	۱۱/۴۳	۲۳/۰۰	۱۰۶۲۶۷	OMas	
				۰/۶۷	۲/۰۴	۵۶	۸۰/۰۰	۳۹/۱۹	۱۸۱۰۵۸	Qft2	
				۰/۱۳	۰/۹۷	۴۵	۶۴/۲۹	۶۶/۲۰	۳۰۵۸۱۵	۲-۰/۲	شاخص توان جریان SPI
				۰/۱۳	۰/۹۷	۱۸	۲۵/۷۱	۲۶/۶۱	۱۲۲۹۳۷	۲/۴-۲/۴	
۰/۲۱	۰/۱۷	۲/۵۸	۲/۱۵	۰/۲۰	۱/۴۶	۵	۷/۱۴	۴/۹۰	۲۲۶۱۳	۴/۶-۴/۶	
				۰/۱۳	۰/۹۱	۱	۱/۴۳	۱/۵۷	۷۲۴۰	۶/۸-۶/۸	
				۰/۴۱	۲/۹۴	۱	۱/۴۳	۰/۴۹	۲۲۴۲	۸/۱۱-۸	
				۰/۰۰	۰/۰۰	۰	۰/۰۰	۰/۲۴	۱۰۹۷	۱۳-۱۱/۲	
				۰/۱۷	۰/۸۴	۶	۸/۵۷	۱۰/۲۳	۴۷۲۵۶	۲-۰	درجه شیب
				۰/۲۶	۱/۳۱	۲۰	۲۸/۵۷	۲۱/۷۵	۱۰۰۴۶۶	۵-۲	
۰/۰۱	۰/۰۱	۲/۲۳	۲/۳۰	۰/۱۷	۰/۸۶	۲۶	۳۷/۱۴	۴۳/۰۱	۱۹۸۶۹۳	۱۵-۵	
				۰/۱۹	۰/۹۸	۷	۱۰/۰۰	۱۰/۱۷	۴۶۹۹۱	۲۰-۱۵	
				۰/۲۱	۱/۰۶	۱۱	۱۵/۷۱	۱۴/۸۴	۶۸۵۳۸	>۲۰	
				۰/۵۸	۱/۶۴	۲۲	۳۱/۴۳	۱۹/۲۰	۸۸۷۱۳	بدلند	خاکی
۰/۲۱	۰/۲۲	۱/۵۸	۱/۲۳	۰/۰۶	۰/۱۷	۲	۲/۸۶	۱۷/۱۸	۷۹۳۴۶	انتی سول	
				۰/۳۶	۱/۰۳	۴۶	۶۵/۷۱	۶۳/۶۲	۲۹۳۸۸۵	انسپتی سول	

برای هر کلاس از عوامل تأثیرگذار، این عوامل براساس وزن محاسبه شده با مدل شاخص آماری و آنتروپی-شانون وزن‌دهی شدند، پس از آن با ترکیب لایه‌ها، نقشه‌ی پتانسیل‌سنجی آب‌کنند به دست آمد و در نهایت نقشه‌ی پتانسیل آب‌کنند در نرم‌افزار ArcGIS10.2 به چهار کلاس با پتانسیل وقوع کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد کلاس‌بندی و در شکل‌های (۴) و (۵) ارائه شد.





شکل ۵: نقشه‌ی پتانسیل وقوع فرسایش آبکندی با روش شاخص آماری در منطقه‌ی سیمره



شکل ۶: نقشه‌ی پتانسیل وقوع فرسایش آبکندی با روش آنترופی شانون در منطقه‌ی سیمره

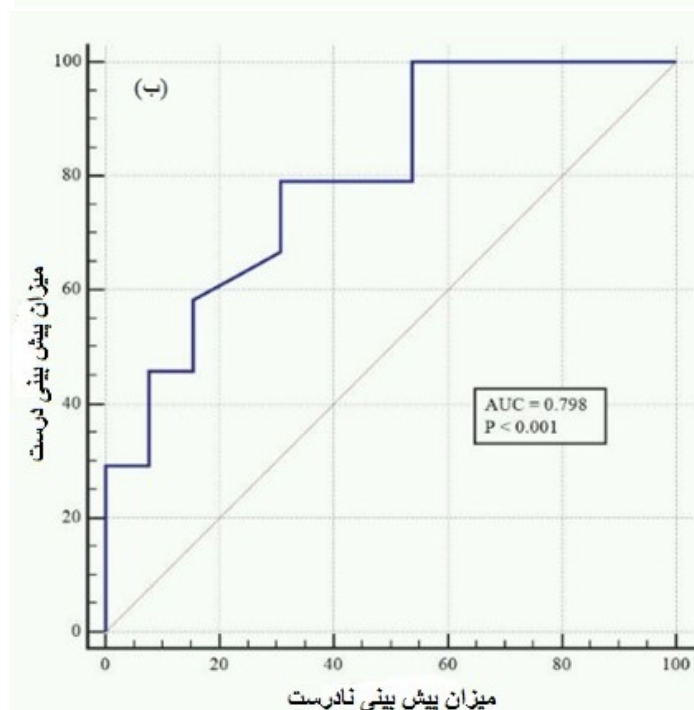
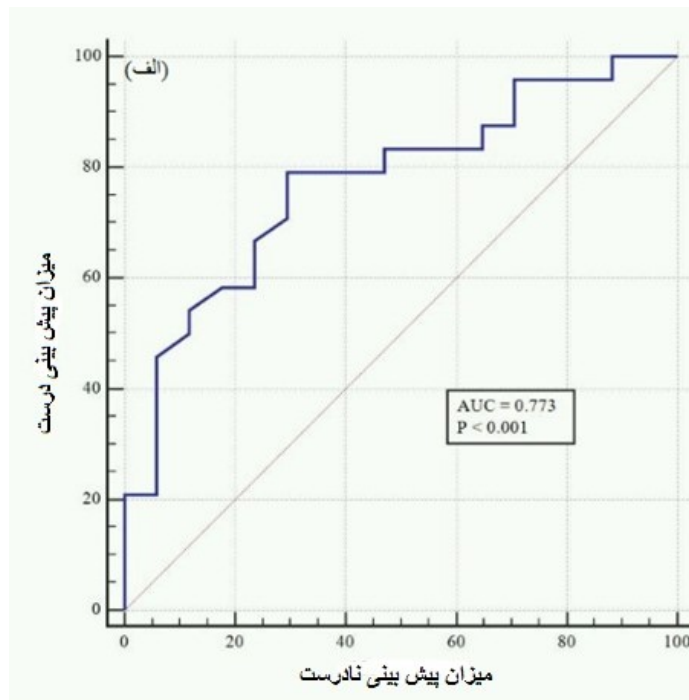
درصد مساحت هریک از کلاس‌های پتانسیل فرسایش آبکندی در جدول ۳ ارائه شده است:

جدول ۳: درصد مساحت فرسایش آبکندی با روش آنتروپی شانون و شاخص آماری در منطقه‌ی سیمره

شاخص آماری		آنتروپی شانون		
درصد مساحت هر طبقه	تعداد پیکسل	درصد مساحت هر طبقه	تعداد پیکسل	
۱۹/۶	۹۰۷۰۸	۳۰/۹	۱۴۲۸۰۹	کم
۲۸/۴	۱۳۱۰۳۹	۲۸/۷	۱۳۲۶۱۳	متوسط
۳۰/۸	۱۴۲۶۲۴	۲۳/۱	۱۰۶۶۴۷	زیاد
۲۱/۱	۹۷۵۷۳	۱۷/۳	۷۹۸۷۵	خیلی زیاد

نقشه‌ی عوامل ورودی مؤثر بر فرسایش آبکندی در مدل شاخص آماری و آنتروپی شانون شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از رودخانه، سنگ‌شناسی، خاک، کاربری اراضی، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) و شاخص توان جریان (SPI) تهیه و در شکل (۳ و ۲) ارائه شده است. نقشه‌های نهایی که بیانگر وضعیت پتانسیل فرسایش در منطقه است، پس از تجزیه و تحلیل عوامل محیطی شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از رودخانه، سنگ‌شناسی، خاک، کاربری اراضی، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)، شاخص توان جریان (SPI) و اطلاعات آبکندهای موجود در منطقه به دست آمد. این نقشه‌ها بیانگر وضعیت فرسایشی مشابه در هر دو مدل است؛ به نحوی که در هر دو آنها فرسایش خیلی زیاد در بخش مرکزی و غربی منطقه‌ی سیمره مشاهده می‌شود و مناطق با حساسیت کم نسبت به فرسایش در بخش‌های شمالی این منطقه واقع است. در ادامه، وزن‌های محاسبه شده‌ی هر دو مدل در جدول (۲ و ۱) ارائه شده است. مطابق آنچه در این جدول مشاهده می‌شود، توان فرسایش آبکندی در شیب‌های ۲-۵ درصد بالا است. وجود شیب کم، فرصت نفوذ آب را به درون بافت خاک افزایش می‌دهد و در پی آن، میزان انحلال و فرسایش افزایش می‌یابد. نتایج، بیانگر بالا بودن توان فرسایش در ارتفاعات پایین منطقه است. بالاترین وزن در میان جهات مختلف شیب، به شیب غربی منطقه اختصاص داشت. از دیدگاه کاربری اراضی، کاربری کشاورزی در این منطقه از بالاترین میزان حساسیت به فرسایش آبکندی برخوردار است که با نتایج Maghsoudi و همکاران (2012) همخوانی دارد. درصد بالای فرسایش آبکندی در مناطق مرتعی و کشاورزی منطقه می‌تواند به دلیل بهره‌برداری و اعمال مدیریت‌های نادرست از اراضی مذکور باشد. خاک‌های بدلند بالاترین توان فرسایش را در مقایسه با خاک‌های اینسپتی سول و انتی سول دارد. بالاترین میزان پتانسیل فرسایش آبکندی را می‌توان در ساختار سنگ‌شناسی Qft2 مشاهده کرد. مطابق نتایج به دست آمده، هرچه از رودخانه فاصله‌ی بیشتری وجود داشته باشد میزان پتانسیل فرسایش آبکندی نیز کاهش می‌یابد. همچنین با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۲ (Wij) می‌توان دریافت که عوامل سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، شاخص توان جریان، خاک، فاصله از رودخانه، جهت شیب، شیب و شاخص رطوبت، به ترتیب بیشترین وزن (۰/۶۵، ۰/۲۵، ۰/۲۱، ۰/۲۱، ۰/۱۶، ۰/۰۵، ۰/۰۱، ۰/۰۱) را به خود اختصاص داده‌اند. یکی از روش‌های تعیین دقت و ارزیابی مدل‌ها، استفاده از منحنی تشخیص عملکرد نسبی است. نتایج به دست آمده از ارزیابی مدل‌ها با استفاده از ۳۰ درصد آبکندها، نشان می‌دهد که هر دو مدل شاخص آماری و آنتروپی شانون در تعیین مناطق مستعد فرسایش از توان بالایی برخوردارند که به ترتیب این

میزان اعتبار ۷۷/۳ و ۷۹/۸ درصد است. نتایج ارزیابی مدل‌ها با استفاده از منحنی تشخیص عملکرد نسبی، در شکل ۵ نشان داده می‌شود.



شکل ۵: منحنی ROC مربوط به نقشه پتانسیل فرسایش آبکندی با استفاده از مدل شاخص آماری و (ب) مدل آنتروپی شانون

### بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق، پتانسیل مناطق حساس به آبکند در منطقه‌ی سیمره با بررسی ۱۰۰ مورد از آبکندهای موجود با استفاده از مدل شاخص آماری و آنتروپی‌شانون بررسی شد. ۷۰ درصد آبکندها (۷۰ آبکند) برای کالیبره و ۳۰ درصد باقی (۳۰ آبکند) برای اعتبارسنجی استفاده شد. ۹ لایه‌ی مؤثر در پتانسیل حساسیت به فرسایش عبارتند از: لایه‌ی ارتفاع، شیب، جهت شیب، سنگ‌شناسی، خاک، کاربری اراضی، شاخص رطوبت توپوگرافی، فاصله از رودخانه و شاخص توان جریان. در مدل آنتروپی‌شانون، لایه‌های ارتفاع، کاربری اراضی و سنگ‌شناسی، مؤثرترین لایه‌ها در ایجاد فرسایش آبکندی به شمار می‌رود که با نتایج Rahmati و همکاران (2017) مطابقت دارد. در تحقیق کنونی برای تعیین پتانسیل فرسایش خندقی، از دو مدل آنتروپی‌شانون و شاخص آماری استفاده شد که تاکنون با این دو مدل، مطالعه‌ای برای پهنه‌بندی فرسایش خندقی در این منطقه صورت نگرفته‌است. از جمله مزایای این مدل‌ها در مقایسه با مدل‌هایی نظیر روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، عدم دخالت کارشناس است. تعیین میزان حساسیت مناطق مختلف به فرسایش‌های آبکندی، از نظر اولویت‌بندی اجرای اقدامات حفاظت خاک و آبخیزداری بسیار حائز اهمیت است. میزان دقت مدل شاخص آماری در تعیین توان پتانسیل سنجی مناطق مستعد و حساس به فرسایش آبکندی، ۷۷/۳ درصد و مدل آنتروپی‌شانون، ۷۹/۸ درصد است. صحت با میزان ۷۷/۳ درصد برای مدل شاخص آماری و ۷۹/۸ درصد برای مدل آنتروپی‌شانون، بیانگر دقت قابل قبول این مدل‌ها در تعیین مناطق حساس به فرسایش در منطقه‌ی سیمره است. در تحقیقات دیگر Rahmati و همکاران (2016) و Tahmasebi pour و همکاران (2016)، دو مدل داده‌کاوی دیگر شامل مدل‌های نسبت فراوانی و وزن شواهد - که به بررسی پتانسیل مناطق حساس به فرسایش در منطقه‌ی مطالعاتی تحقیق کنونی می‌پردازند و براساس متغیرهای محیطی موردنظر بودند - توانستند مدل‌سازی با دقت مناسب ارائه دهند. بنابراین می‌توان گفت استفاده از مدل‌های مبتنی بر GIS، برای پتانسیل‌سنجی مناطق حساس به فرسایش آبکندی مفید و قابل‌اعتماد است. همچنین نتایج پیش‌بینی حاکی از این بود که عوامل ارتفاع، جهت شیب، شیب، فاصله از رودخانه، سنگ، خاک، کاربری اراضی منطقه، شاخص رطوبت توپوگرافی و شاخص توان جریان، در پتانسیل‌سنجی مناطق حساس به فرسایش آبکندی مناسب است. نقشه‌ی حاصل از مدل آنتروپی‌شانون توانست بین مناطقی که حساسیت زیادی به فرسایش آبکندی و واقعیات زمینی (موقعیت و تراکم آبکندها) دارند، تطابق بهتری ایجاد کند. در نهایت برای بررسی پتانسیل فرسایش آبکندی، بکارگیری هر یک از این دو مدل در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) دارای دقت قابل قبول بود؛ ولی استفاده از مدل آنتروپی‌شانون به دلیل دقت بیشتر و تطابق بهتر میان کلاس دارای حساسیت بیشتر و واقعیات زمینی فرسایش‌های آبکندی گذشته، پیشنهاد می‌شود. تعیین استعداد این فرسایش با توجه به هدر رفت بالای خاک، برای مدیریت و حفاظت از مناطق مستعد آبکند بسیار مهم است. در نهایت، به منظور ارزیابی دقت مدل‌های مختلف داده‌کاوی در شناسایی مناطق مستعد فرسایش، پیشنهاد می‌شود تا سایر مدل‌ها از جمله دمپستر- شفر و تابع شواهد قطعی نیز برای مدل‌سازی مکانی پیش‌بینی فرسایش‌های آبکندی به کار رود و نتایج آنها با یافته‌های تحقیق حاضر مقایسه شود.

## References

1. Angileri, S. E.; Conoscenti, C.; Hochschild, V.; Märker, M.; Rotigliano, E.; & V. Agnesi, 2016. Water erosion susceptibility mapping by applying Stochastic Gradient Treeboost to the Imera Meridionale River Basin (Sicily, Italy), *Geomorphology*, 262, pp:61- 76.
2. Asgharpour, M. J., 2010. *Multivariate Analysis*, University Press, Tehran, In Persian.
3. Bayat Khatibi, M., 2008. Features of Gully and factors controlling ditching processes, Case study: Ahar - Meshkinshahr, *Geography and Development Magazine*, Spring and Summer 2006, No. 7, 115-136 (In persian).
4. Bednarik, M.; Magulova, B.; Matys, M.; & M. Marschalko, 2010. Landslide Susceptibility Assessment of the Kral ovany–Liptovsky Mikulas Railway Case Study, *J. Physics and Chemistry of the Earth*, 35 (3- 5): 162- 171.
5. Bui, D.; Lofman, O.; Revhaug, I.; & O. Dick, 2011. Landslide susceptibility analysis in the Hoa Binh province of Vietnam using statistical index and logistic regression, *Natural Hazards*, 59 (3), 1413- 44.
6. Cevik, E., & T. Topal, (2003). GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek (Turkey). *Environmental Geology*. 44 (8), 949 –62.
7. Dotterweich, M., 2005. "High Resolution Reconstruction of a 1300 Year Old Gully system in Northern Bavarian", *the Holocene*, 15, 7, 997- 1005.
8. Dube, F.; Nhapi, I.; Murwira, A.; Gumindoga, W.; Goldin, J.; & D. A. Mashauri, 2014. Potential of weight of evidence modelling for gully erosion hazard assessment in Mbire District Zimbabwe, *Physics and Chemistry of the Earth*, <http://dx.Doi.org/10,,1016/j.pce>.
9. Entezari, M.; Maleki, A.; Moradi, Kh.; & S. Olfati, 2013. Gully erosion zonation in Deira basin using AHP (Analytic Hierarchy Process), *The Journal of Spatial Planning*, 17 (4), 86 - 63. In Persian.
10. Fattahi, M. M., & H. R. Javidkia., (2011). Morpho-climatic study of gully erosion in arid areas, Case study: Qom province. *Watershed Engineering and Management*. Volume 3, Issue 3. In Persian.
11. Ghodousi, J., 2003. Modeling of Gully erosion morphology and its hazard zonation (case study: Zanjanrood), Thesis of Wakhorizadari Ph.D., Faculty of Natural Resources, University of Tehran. In Persian.
12. Hashemi, M.; Ghorbani, R.; & B. Kavehee, 2004. ROC Curve Analysis for Comparison of Medical Diagnostic Tests, *Journal of Semnan University of Medical Sciences*, Vol. 6, No. 2. In persian.
13. Maghsoudi, M.; Shadfar, p.; & M. Abbasi, 2012. Landslide sensitivity zoning to gully erosion in Zavaryan basin of Qom province, *Quantitative Geomorphology Researches*, Volume 1, Issue 2, pp. 35-52. In Persian.
14. Moore, I. D.; Grayson, R. B.; & A. R. Ladson, 1991. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications, *Hydrol Process*, 5, 3- 30.
15. Morgan, R. P. C., & D. Mngomezulu, (2003). Threshold condition of vally-side gullies in the middle veld of swaliand, *catena*, 50, 401- 414.



16. OlFati, S., & Q. Moradi., (1393). Study of Gully erosion in the Deira catchment area using climatic indices, *Sepehr*, 23 (89), 43- 45. In Persian.
17. Poesen, J.; Nachtergaele, J.; Verstraeten, G.; & C. Valentin, 2003. Gully Erosion and Environment Change: Importance and Research Needs, *Catena*, 50, 91-133.
18. Prosser, I. P., 1996. Thresholds of Channel Initiation in Historical and Holocene Times.
19. Rahmati, o.; Haghizadeh, A.; Pourghasemi, H. R.; & F. Noormohamadi, 2016. Gully erosion susceptibility mapping: the role of GIS based bivariate statistical models and their comparison, *Natural Hazards*, 82 (2), 1231- 1258.
20. Rahmati, O.; Tahmasebipour, N.; Haghizadeh, A.; Pourghasemi, H. R.; & B. Feizizadeh, 2017. Evaluating the influence of geo-environmental factors on gully erosion in a semi-arid region of Iran: An integrated framework, *Science of the Total Environment*, 579, 913- 927.
21. Renschler, C. S., & J. Harbor., (2002). Soil Erosion Assessment Tools from Point to Regionalscales-the Role of Geomorphologists in Land Management Research and Implementation, *Geomorphology*, 47, 189 - 209.
22. Shahab, H.; Emami, H.; Haghnia, Gh. H.; & A. Esmali, 2016. Comparing the Analytic Hierarchy Process and fuzzy logic for zoning the risk of gully erosion in the three regions of the Ardebil province, *Quarterly journal of Environmental Erosion Research*, 6, 1 (21), 1-16. In Persian.
23. Shannon, C. E., 1948. A Mathematical Theory of Communication, *Bell System Technical Journal*, 27 (3), 379- 423.
24. Soleimani-damaneh, M., & M. Zarepisheh., (2009). Shannon's entropy combining the efficiency results of different DEA models: Method and application, *J. Expert System with Applications*, 36 (3), 5146 - 5150.
25. Sufi, M., 2004. Investigation of morpho-climatic characteristics of gully in Fars province. Final report of research project, *Publications of Soil Conservation and Watershed Management Institute*, p. 243. In Persian.
26. Sulebak, J. R.; Tallaksen, L. M.; & B. Erichsen, 2000. Estimation of areal soil moisture by use of terrain data, *Geogr. Ann. Ser. A: Phys. Geogr.*, 82, 89 – 105.
27. Tahmasebi Pour, N.; Rahmati, A.; S. Ghorbani-Nejad, 2016. The prediction of erosion sensitivity in the Seymare area based on the Hamel model is definite and determining the importance of the factors affecting it, *Ecocheidrology*, 3(1) , 83 -93. In persian.
28. Van Westen, C. J., 1997. Statistical landslide hazard analysis. ILWIS 2 و 1. for Windows application guide, ITC Publication, Enschede, 73- 84.
29. Yalcin, A., 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations, *Catena*, 72 (1), 1 - 12.
30. Yin, K. L., & T. Z. Yan., 1988. Statistical prediction models for slope instability of metamorphosed rocks. *Landslides. Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides.*
31. Zakerinejad, R., & M. Maerker., 2015. An integrated assessment of soil erosion dynamics with special emphasis on gully erosion in the Mazayjan basin, southwestern Iran. *Natural Hazards*. 79 (1), 25 – 50.

# Modeling the Potential of Gully Erosion Occurrence Applying Shannon Entropy and Statistical Index Models in Seymareh Region

Samira Ghorbani nejad<sup>1\*</sup>, Omid Rahmati<sup>1</sup>, Farhad Noormohammadi<sup>1</sup>  
1. Rangeland & Watershed Management Department, Faculty of Agriculture & Natural Resources,  
University of Lorestan University

Article History (Received: 2016/11/27

Accepted: 2017/09/17)

## Extended abstract

### 1- Introduction

The gully erosion occurrence, due to the high rate of sediment production in the watershed, is one of the problems of natural resources management in the context of soil management and protection. It is known as an important signature of land degradation and forming as well as a source of sediment in a range of environments. Gully erosion often has severe environmental and economic ramifications worldwide such as destroying soil, damaging agricultural fields, undermining infrastructure, altering transportation corridors, and degrading surface water quality, which can be difficult to reverse. In this study, the potential of gully erosion occurrence was evaluated using Shannon entropy and statistical index models in the Seymareh region of Lorestan province. Firstly, digital layers of gully conditioning factors including altitude, lithology, slope angle, slope aspect, land use, distance from river, soil, topographic wetness index and stream power index were produced using ArcGIS 10.2. In modeling the gully erosion occurrence, the mentioned factors were regarded as independent variables and gully erosion occurrence was considered as dependent variable, whose interrelations will be determined based on Statistical Index and Shannon's entropy models.

### 2- Methodology

Initially, a gully erosion inventory was prepared through a field survey. An inventory of 100 gullies was randomly divided into training group (70 %) and validation group (30 %). The weight of each conditioning factor was determined through the probability analysis of Statistical Index and Shannon's entropy models. The weights of gully conditioning factors were specified in each model based on the frequency and density of gullies. These weights were associated to each class of conditioning factors in GIS environment. Then, the map of gully-prone areas was produced using both models. Subsequently, the produced maps were validated using receiver operating characteristic (ROC) curve method and validation group. The area under this curve (AUC) was calculated for the quantitative comparison of models performances. Finally, the gully erosion potential values were reclassified into four levels, including 'low', 'medium', 'high', and 'very high' susceptibility, using the natural breaks.

### 3- Results

The results showed that the generated maps based on Statistical Index and Shannon's entropy models have the prediction accuracy rate of 77.3 % and 79.8 %, respectively, implying that these models are capable of detecting gully-erosion-prone areas. In addition, according to the Shannon entropy results, lithology, elevation, and land use were represented as having significant effects on the gully erosion occurrences. Visually, the highest gully erosion

susceptibility of the Seymareh region was located on the center, eastern and western parts of the study area where the lithology and land use are Quaternary deposits and agriculture, respectively. From a geomorphological point of view, the areas with gentle slopes, located in high TWI and near the streams show a high gully erosion susceptibility.

#### **4- Discussion and Conclusions**

These models exhibited acceptable cases of accuracy for the area under study, indicating that they are highly appropriate for gully erosion susceptibility mapping. This study, not only analyzed the relationship between the gully erosion inventory and geo-environmental variables, but also illustrated susceptibility to gully erosion based on statistical analysis of conditional probability technique. Determining the susceptibility level of different regions in terms of gully erosion occurrence in order to measure the soil erosion protection is necessary, which was provided in the current study. The results of the study can provide useful information to understand gully erosion mechanisms and scientific policy-planning and decision-making in the semi-arid regions

**Key Words:** management and protection of soil, validation, geo-environmental variables, spatial prediction