

ارزیابی میزان حساسیت به فرسایش گالی در منطقه بیجار، استان کردستان

رضا اسماعیلی*^۱، عیسی جوکار سرهنگی^۱، روناک شوکتی^۲

۱- استادیار گروه جغرافیای دانشگاه مازندران

۲- کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه مازندران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۶/۵

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۲/۱۲/۱۳

چکیده

گالی‌ها یکی از مهم‌ترین اشکال فرسایش آبی در مناطق مختلف جهان هستند. فرسایش گالی موجب افزایش بار رسوبی، تخریب خاک‌های حاصلخیز و آسیب رساندن به زیرساخت‌ها می‌شوند. این مطالعه حساسیت به فرسایش گالی را در یک حوضه رودخانه‌ای (از زیر حوضه‌های قزل اوزن) در منطقه بیجار استان کردستان ارزیابی می‌کند. شناسایی گالی‌ها از طریق برداشت‌های میدانی و تصاویر ماهواره‌ای انجام شده است. نقشه‌های سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، شیب، جهت دامنه، شکل دامنه، عامل طول دامنه، شاخص قدرت رود و شاخص رطوبت توپوگرافی به‌عنوان عوامل موثر در فرسایش گالی در نظر گرفته شدند. نقشه حساسیت به فرسایش گالی با استفاده از مدل آماری دو متغیره انجام شد. مقادیر وزن هر کلاس از یک پارامتر به‌صورت لگاریتم طبیعی تراکم گالی‌ها هر کلاس تقسیم بر مساحت تراکم گالی‌ها در کل منطقه مورد مطالعه مشخص گردید. سپس، هر لایه بر اساس مقادیر وزن محاسبه‌شده دوباره کلاس‌بندی شدند. همپوشانی نقشه‌های دوباره کلاس‌بندی شده در محیط GIS انجام گردید. مقادیر حساسیت در پنج گروه طبقه‌بندی شدند. نتایج اعتبارسنجی منحنی ROC نشان می‌دهد بین نقشه حساسیت و داده‌های گالی‌های موجود رابطه رضایت‌بخشی وجود دارد. بنابراین، تقریباً ۸۷ درصد گالی‌ها به‌طور صحیح در طبقات با حساسیت بالا و بسیار بالا قرار گرفته‌اند.

واژه‌های کلیدی: فرسایش گالی، بیجار، GIS، آمار دو متغیره، ارزیابی حساسیت

مقدمه

قرارگرفته‌اند که از جمله آنها می‌توان تحقیقات جعفری گرزین و کاویان، ۱۳۸۸؛ مقصودی و همکاران، ۱۳۹۰؛ عرب قشقایی، ۱۳۹۰؛ کانفورتی و پیتر، ۲۰۱۱؛ لوکا و همکاران، ۲۰۱۱؛ بوازی و همکاران، ۲۰۱۱؛ کونوستی و همکاران، ۲۰۱۳ اشاره نمود.

هدف اصلی این تحقیق تهیه نقشه مناطق حساس به فرسایش گالی و ارزیابی میزان حساسیت به فرسایش گالی در منطقه بیجار (استان کردستان) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

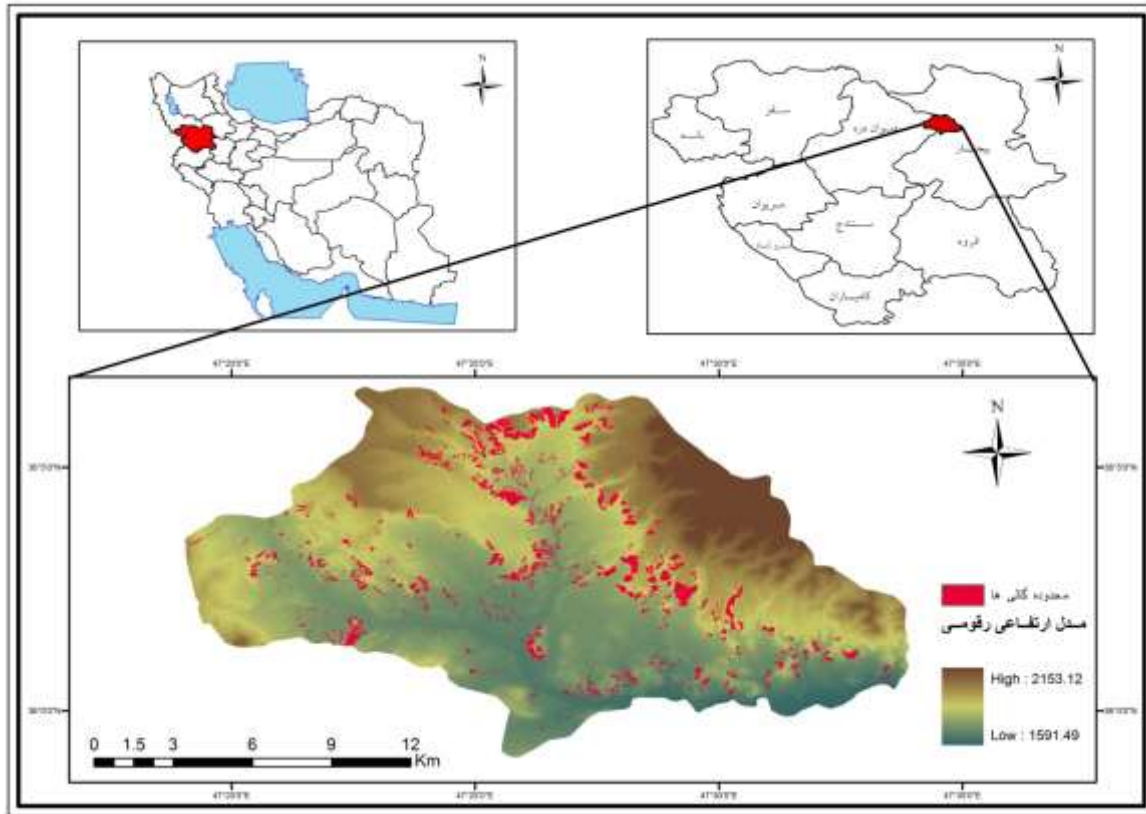
منطقه مورد مطالعه: منطقه‌ی مورد مطالعه با مساحت ۱۸۶/۲ کیلومترمربع در محدوده‌ی ۳۰" ۴۷' ۱۸" تا ۳۰" ۴۷' ۳۴" طول شرقی و ۳۵' ۵۹" تا ۳۰" ۶' ۳۶" عرض شمالی در شمال غرب شهرستان بیجار در استان کردستان واقع شده است (شکل ۱). این منطقه یکی از زیر حوضه‌های رودخانه قزل‌اوزن است. این رودخانه در مسیر خود بعد از عبور از استان‌های کردستان و زنجان در محلی بنام منجیل به رودخانه شاهرود پیوسته و رودخانه سفیدرود را تشکیل داده و در نهایت به دریای خزر می‌ریزد. محدوده مورد مطالعه طبق تقسیم‌بندی بربریان (۱۹۸۱) در محل برخورد زون‌های سنندج- سیرجان و ایران مرکزی جای گرفته است. حداکثر و حداقل ارتفاع منطقه به ترتیب ۲۱۵۳ و ۱۶۰۰ متر از سطح دریای آزاد می‌باشد. شکل شبکه زهکشی حوضه از نوع شاخه درختی می‌باشد و تراکم زهکشی حوضه مورد مطالعه ۵/۹ کیلومتر در هر کیلومترمربع است. میزان بارش در استان کردستان از غرب به شرق کاهش پیدا می‌کند و در بیجار به حدود ۳۰۰ میلی‌متر در سال می‌رسد. به طور کلی متوسط

فرسایش آبی یکی از مهم‌ترین فرایندهای تخریب زمین به‌ویژه در مناطق نیمه‌خشک به شمار می‌آید. از میان انواع مختلف اشکال فرسایش آبی، فرسایش گالی یکی از مهم‌ترین رخداد‌های مؤثر در نابودی خاک، تغییر سطح زمین و منابع آب و پسرقت اراضی است (احمدی، ۱۳۸۶). گالی‌ها کانال‌هایی هستند که مساحت مقطع عرضی آنها بیش از ۹۲۹ سانتیمتر مربع باشد (زوکا و همکاران ۲۰۰۶). گالی، آبراهه‌ای است نسبتاً دائمی که جریان‌های موقتی آب در هنگام بارندگی از آن می‌گذرد و مقدار بسیار زیادی رسوب در خود حمل می‌کند. در نتیجه گالی‌ها سبب تلفات فراوان خاک و تولید مقادیر فراوان رسوب شده و با ترسیب در آبراهه‌ها، مخازن سدها، آبگیرها و عرصه بنادر، کاهش ظرفیت آبگیری آنها، زیان‌های اقتصادی فراوانی به بار می‌آورد.

به دلیل اهمیت زیادی که فرسایش گالی در فرسایش خاک دارد در زمینه‌های مختلف مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. برخی از مطالعات، مورفومتری گالی‌ها را در ارتباط با خصوصیات خاک (نکویی مهر و امامی، ۱۳۸۶؛ حسین زاده و همکاران ۱۳۸۹؛ نوحه‌گر و حیدر زاده، ۱۳۹۰) مورد بررسی داده‌اند. برخی دیگر عوامل مؤثر در وقوع و شکل‌گیری گالی‌ها (فیض‌نیا و همکاران، ۱۳۸۶؛ ثروتی و همکاران، ۱۳۸۷؛ خزایی و همکاران؛ ۱۳۹۱) را مورد بررسی قرار داده‌اند. پهنه‌بندی وقوع فرسایش گالی نیز به‌عنوان یکی از زمینه‌های مطالعاتی که در سال‌های اخیر با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌از دور مورد بررسی

ماه‌هاست. میانگین دمای سالانه منطقه بیجار ۱۱/۳ درجه سانتی‌گراد بوده و اقلیم منطقه نیز بر اساس روش آمبرژه سرد و خشک می‌باشد.

بارش منطقه مورد مطالعه بین ۲۸۰-۳۲۰ میلی‌متر در سال بوده و مقدار آن در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و آبان بیشتر از سایر



شکل ۱: نقشه‌ی موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در شهرستان بیجار، استان کردستان

مانند شاخص قدرت رود (SPI^۲)، شاخص طول دامنه (LS^۳) و شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI^۴) از روابط زیر استفاده گردید.

- عامل طول دامنه: پارامتری است که با در نظر گرفتن اثرات توپوگرافی در فرسایش، در معادله‌ی اصلاح‌شده جهانی فرسایش خاک (RUSLE^۵) مورد استفاده قرار گرفته است (رنارد و همکاران ۱۹۹۷). روش‌های مختلفی برای تعیین عامل طول شیب (LS) بر اساس مدل ارتفاعی رقومی وجود

روش کار: در ابتدا با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی رقومی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری محدوده مورد مطالعه مشخص گردید و مدل ارتفاعی رقومی (DEM) آن تهیه شد. نقشه سنگ‌شناسی منطقه از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه و رقومی گردید. نقشه پراکنش گالی‌های منطقه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Google earth و بازدیدهای میدانی تهیه گردید. نقشه‌های زاویه شیب، جهت دامنه و شکل دامنه با استفاده از توابع موجود در نرم‌افزار ARC GIS ایجاد گردید. برای ایجاد لایه‌های مرتبط با عامل‌های توپوگرافی

- 2 - Stream power index
- 3 - Length slope
- 4- Topographic wetness index
- 5 - Revised Universal Soil Loss Equation

توپوگرافی که در تولید نقشه حساسیت به فرسایش گالی مورد استفاده قرار گرفتند. هر یک از لایه‌های فوق کلاس‌بندی شده و مساحت گالی‌ها در هر یک از کلاس‌ها محاسبه و تراکم گالی‌ها در هر کلاس به دست آمد. سپس با استفاده از فرمول وان وستن وزن هر کلاس محاسبه گردید (رابطه ۴) (لوکا و همکاران ۲۰۱۱):

(رابطه ۴)

$$Wi = \ln \frac{DensClas}{DensMap} = \ln \frac{NpixSi/NpixNi}{(\sum NpixSi)/(\sum NpixNi)}$$

که در این رابطه، Wi : مقدار وزن هر یک از کلاس‌ها، $DensClas$: تراکم گالی‌های موجود در هر کلاس، $DensMap$: تراکم کل گالی‌های موجود در منطقه، $NpixSi$: تعداد پیکسل گالی-های موجود در هر کلاس، $NpixNi$: تعداد پیکسل‌های هر یک از کلاس‌ها، $\sum NpixSi$: مجموع کل پیکسل گالی‌های موجود در منطقه مورد مطالعه، $\sum NpixNi$: مجموع کل پیکسل-های منطقه مورد مطالعه. مقدار Wi به علت وجود لگاریتم طبیعی در فرمول می‌تواند به صورت مثبت یا منفی محاسبه گردد که به ترتیب می‌توانند نشان‌دهنده تأثیر یا عدم تأثیر کلاس مورد نظر در وقوع پدیده (گالی) باشند.

برای برآورد میزان حساسیت به فرسایش گالی از یک روش آماری دو متغیره در محیط GIS استفاده گردید و نقشه حساسیت منطقه به فرسایش گالی نیز تهیه شد. پس از محاسبه وزن هر کلاس از لایه‌های تأثیرگذار در ایجاد گالی، هر یک از لایه‌های اطلاعاتی مجدداً بر اساس وزن محاسبه شده، طبقه‌بندی شدند. با همپوشانی مجموع این لایه‌ها نقشه حساسیت به فرسایش گالی تهیه گردید و در نهایت از نظر اعتبارسنجی در نرم‌افزار SPSS مورد تحلیل قرار گرفت.

دارد که در این تحقیق بر اساس رابطه مور و بروچ محاسبه گردید (رابطه ۱) (کانفورتی و پیترو، ۲۰۱۱):

(رابطه ۱)

$$LS = \left(\frac{fa \times cellsize}{22.13} \right)^{0.4} \times \left(\frac{\sin \sigma}{0.0896} \right)^{1.3}$$

که fa : جریان تجمعی است و بر اساس مدل

ارتفاعی رقومی منطقه در GIS تهیه شد و σ :

شیب بر حسب درجه می‌باشد.

- شاخص قدرت رود (SPI): برای اندازه‌گیری قدرت فرساینده‌گی جریان آب مورد استفاده قرار گرفته و یکی از عوامل کنترل فرسایش دامنه-ها می‌باشد. شاخص قدرت رود (SPI) بر اساس مدل رقومی منطقه و رابطه مور و همکاران (۱۹۹۱) محاسبه گردید (رابطه ۲) (لوکا و همکاران ۲۰۱۱):

$$SPI = AS \times \tan \sigma \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن AS : جریان تجمعی و σ : شیب بر حسب درجه می‌باشد.

- شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI): ارتباط مستقیمی با فرایندهای فرسایش خاک دارد. مور و همکاران (۱۹۹۱) پیشنهاد کرده‌اند که شاخص رطوبت توپوگرافی در حالت شرایط پایدار و خاک-هایی با ویژگی‌های یکسان محاسبه شود. شاخص توپوگرافی رطوبت (TWI) بر اساس رابطه مور و همکاران (۱۹۹۱) محاسبه گردید (رابطه ۳) (کانفورتی و پیترو، ۲۰۱۱):

$$TWI = \ln \left(\frac{AS}{\tan \sigma} \right) \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در آن AS : جریان تجمعی، σ : شیب بر

حسب درجه می‌باشد.

بعد از تهیه لایه‌های اطلاعاتی سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، شیب، جهت دامنه، شکل دامنه، شاخص قدرت رود، طول دامنه و شاخص رطوبت

نتایج

عوامل تأثیرگذار در ایجاد فرسایش گالی در

منطقه

در این تحقیق عوامل تأثیرگذار در تهیه نقشه حساسیت به گالی به صورت کلاس‌های مختلف تقسیم‌بندی شدند که عبارت‌اند از:

- **سنگ‌شناسی**: سنگ‌شناسی منطقه به ده کلاس طبقه‌بندی شده است (شکل ۲ الف و جدول ۱) که مارن ماسه‌ای سبز با میان لایه آهک کرم (سازند قم) گسترده‌ترین واحد سنگ‌شناسی بوده و ۵۲/۴ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهد. بیشترین تراکم گالی‌های منطقه هم در آهک‌های ریفی و مارن‌های سبز سازند قم ثبت شده است.

- **کاربری اراضی**: کاربری اراضی منطقه به چهار گروه تقسیم‌بندی شدند (شکل ۲ ب). زمین‌هایی زیر کشت دیم بیشترین کاربری منطقه بوده و ۵۱/۸ درصد مساحت منطقه را شامل می‌شود. سپس مراتع فقیر با ۴۶/۷ درصد از مساحت منطقه در رتبه بعدی قرار دارد. بیشترین تعداد گالی‌ها نیز مراتع مشاهده شده است (جدول ۱).

- **شیب**: شیب دامنه‌های منطقه مورد مطالعه در هفت گروه طبقه‌بندی شدند (شکل ۲ پ). طبقه شیب ۵-۱۰ درصد بیشترین مساحت از منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود (جدول ۱). بیشترین تراکم گالی‌های در طبقات بیش از ۲۰ درصد و خصوصاً در شیب بیش از ۴۰ درصد بوده است.

- **جهت دامنه**: نقشه جهت شیب منطقه مورد مطالعه در نه طبقه‌ی مسطح، شمال، شمال شرق، شرق، جنوب شرق، جنوب، جنوب غربی، غرب و شمال غرب تقسیم‌بندی شدند (شکل ۲ ت). جهت

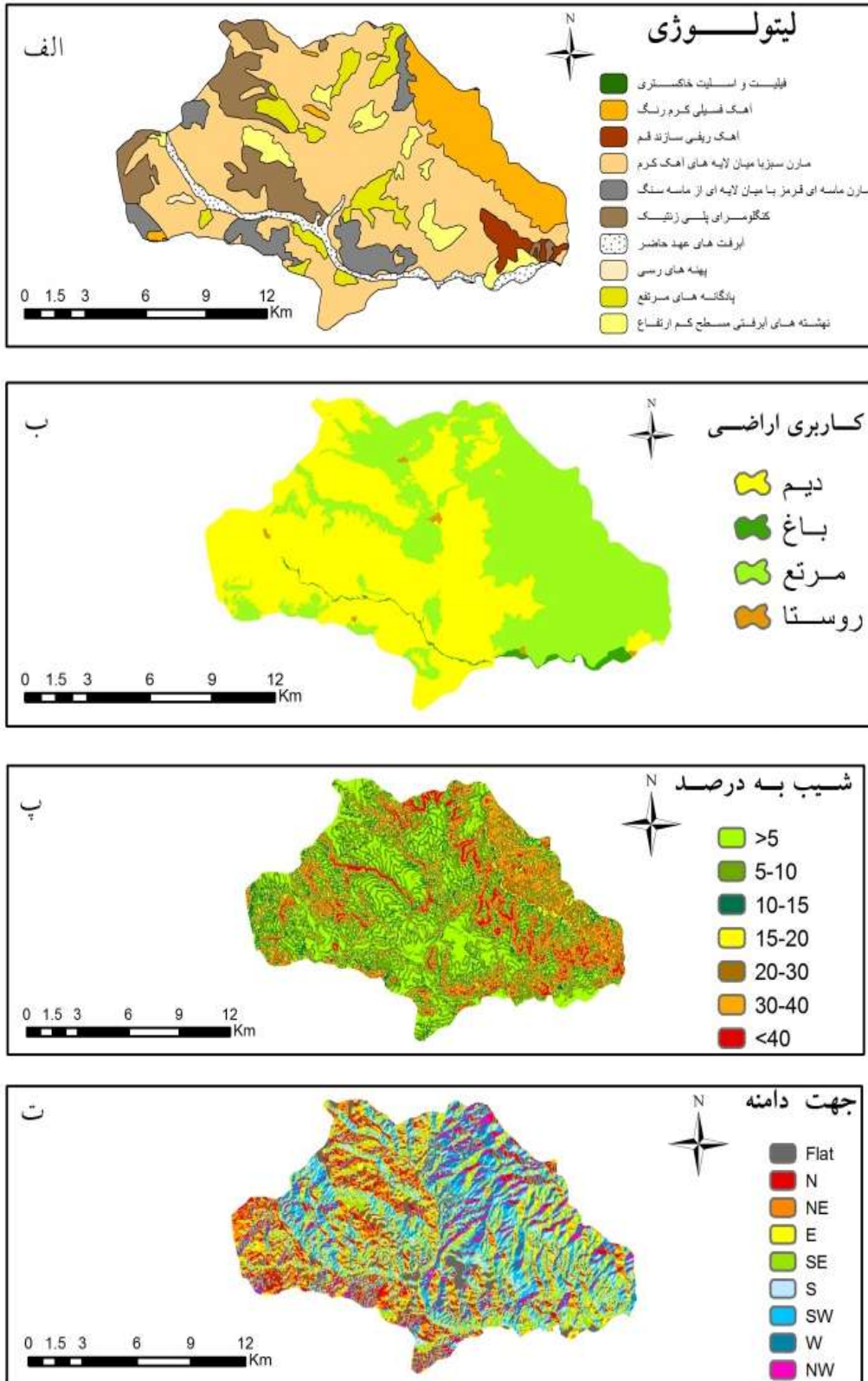
جنوب و جنوب شرقی حدود ۳۰ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده‌اند. گالی‌ها به ترتیب در جهت‌های غرب و جنوب غربی بیشترین تراکم را داشته‌اند (جدول ۱).

- **شکل دامنه**: شکل دامنه یکی از عوامل مؤثر در همگرایی یا واگرایی جریان آب بر روی دامنه بوده و در فرایندهای فرسایش آبی تأثیرگذار می‌باشد. شکل دامنه در سه گروه مقعر، محدب و مستقیم طبقه‌بندی شدند (شکل ۲ ث). بیشترین تراکم گالی‌ها در دامنه مقعر ثبت شده است (جدول ۱).

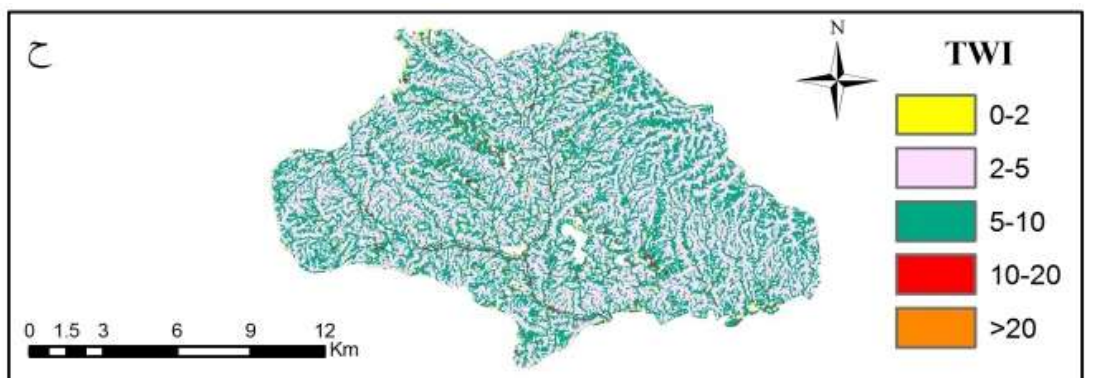
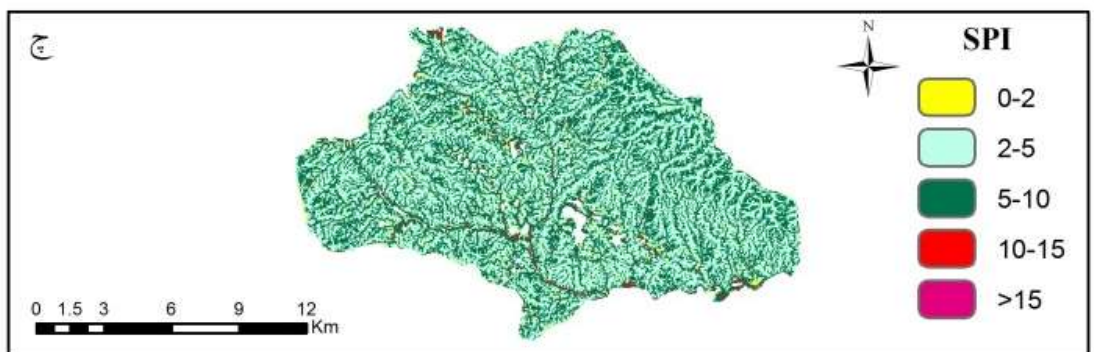
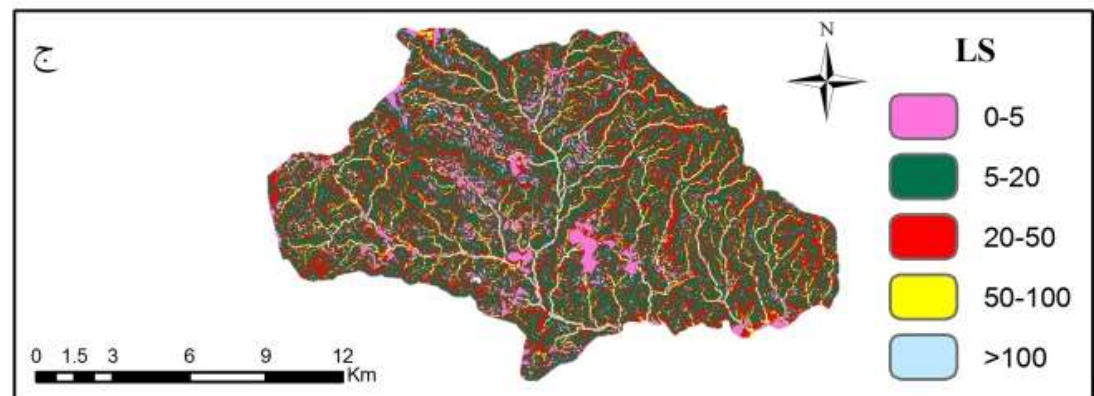
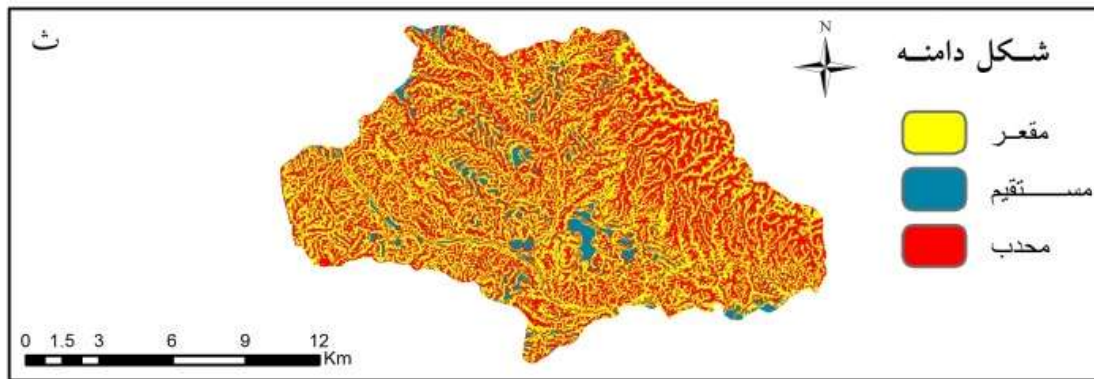
- **عامل طول دامنه (LS)**: پراکنش فضایی LS منطقه در شکل ۲ ج نشان داده شده است. این نقشه در پنج گروه تقسیم‌بندی گردید که بیشترین تراکم گالی‌ها در طبقه‌ی ۲۰-۵۰ مشاهده شده است، یعنی در محدوده‌ی با مقدار LS بالاتر مساحت گالی‌ها نیز بیشتر بوده است (جدول ۱).

- **شاخص قدرت رود (SPI)**: مناطقی که شاخص قدرت جریان بالایی دارند از پتانسیل زیادی برای فرسایش برخوردار هستند (نفس‌لیگلو و همکاران ۲۰۰۸). در منطقه مورد مطالعه، مقادیر SPI در پنج گروه تقسیم‌بندی شدند (شکل ۲ چ). بیشترین تراکم گالی‌ها در SPI با مقادیر بالا (طبقه ۱۵-۱۰) شکل گرفته‌اند (جدول ۱).

- **شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)**: شاخص رطوبت توپوگرافی منطقه در پنج گروه تقسیم‌بندی شدند (شکل ۲ ح). بیشترین تراکم گالی‌ها در رطوبت توپوگرافی کم (طبقه ۵-۲) تشکیل شده‌اند (جدول ۱).



شکل ۲: لایه های کلاس بندی شده عوامل مؤثر در وقوع گالی ها در منطقه مورد مطالعه (الف) لیتولوژی (ب) کاربری اراضی (پ) شیب (ت) جهت دامنه



ادامه شکل ۲: لایه‌های کلاس‌بندی شده (ث) شکل دامنه (ج) LS (چ) SPI (ح) TWI

جدول ۱: طبقه‌بندی پارامترهای مؤثر در وقوع گالی در منطقه مورد مطالعه

Wi	تراکم گالی (تعداد پیکسل)	درصد مساحت طبقه	مساحت طبقه (کیلومتر مربع)	سنگ‌شناسی
۰	۰	۰/۰۱	۰/۰۲	فیلیت و اسلیت خاکستری
-۱/۳	۰/۰۱۴	۰/۵	۰/۹	آهک فسیلی کرم
۰/۴۹	۰/۰۸۶	۲	۳/۶	آهک ریفی (سازند قم)
۰/۴۵	۰/۰۸۳	۵۲/۴	۹۷/۴	مارن سبز با میان لایه آهک کرم (سازند قم)
-۰/۸۹	۰/۰۲۲	۷/۱	۱۳/۲	مارن ماسه‌ای قرمز با میان لایه‌هایی از ماسه‌سنگ
-۰/۹۴	۰/۰۲۱	۱۰/۹	۲۰/۲	کنگلومرای پلی ژنتیک
-۱/۵۵	۰/۰۱۱	۴	۷/۵	آبرفت‌های عهد حاضر در مسیل رودخانه
۰	۰	۰/۲	۰/۴	پهنه‌های رسی
-۲/۱۶	۰/۰۰۶	۶/۴	۱۱/۹	پادگانه‌های مرتفع
-۰/۵۸	۰/۰۳	۵/۲	۹/۷	نهشته‌های آبرفتی مسطح کم ارتفاع
کاربری اراضی				
-۰/۸۵	۰/۰۲۳	۵۱/۸	۹۶/۳	دیم
-۵/۷	۰/۰۰۰۲	۱/۲	۲/۳	باغ
۰/۵۱	۰/۰۸۸	۴۶/۷	۸۶/۹	مرتع
۰	۰	۰/۳	۰/۶	روستا
شیب به درصد				
-۱/۴۹	۰/۰۱۱	۱۸/۸	۳۵	۵ >
-۱/۳۲	۰/۰۱۳	۲۲/۴	۴۱/۶	۵-۱۰
-۰/۵۵	۰/۰۲۸	۱۴/۶	۲۷/۲	۱۰-۱۵
-۲/۳۵	۰/۰۰۵	۱۱/۸	۲۲	۱۵-۲۰
۰/۴۱	۰/۰۷	۱۷/۴	۳۲/۴	۲۰-۳۰
۰/۹۱	۰/۱۲	۹/۶	۱۸	۳۰-۴۰
۱/۷۳	۰/۲۷	۵/۴	۱۰	>۴۰
جهت دامنه				
-۱/۲	۰/۰۱۶	۵/۷	۱۰/۷	هموار
-۰/۳۵	۰/۰۳۷	۹/۹	۱۸/۴	N
-۰/۰۳	۰/۰۵۱	۱۱/۸	۲۱/۹	NE
۰/۰۳	۰/۰۵۴	۱۳/۲	۲۴/۶	E

-۰/۰۸	۰/۰۴۹	۱۴/۸	۲۷/۶	SE
۰/۰۳	۰/۰۵۴	۱۵/۲	۲۸/۳	S
۰/۲۶	۰/۰۶۹	۱۳	۲۴/۱	SW
۰/۳۲	۰/۰۷۲	۱۰	۱۸/۵	W
۰/۰۱	۰/۰۵۳	۶/۴	۱۲	NW
شکل دامنه				
۰/۲۹	۰/۰۷	۴۸	۸۹/۳	مقعر
-۱/۲۸	۰/۰۱	۶/۳	۱۱/۷	مستقیم
-۰/۲۸	۰/۰۴	۴۵/۸	۸۵/۲	محدب
LS				
-۱/۷۷	۰/۰۰۹	۸/۴	۱۵/۹	۰-۵
-۰/۰۴	۰/۰۵	۵۲/۴	۹۸/۵	۵-۲۰
۰/۳۶	۰/۰۷۵	۲۹/۵	۵۵/۴	۲۰-۵۰
-۰/۲۸	۰/۰۳۹	۶/۳	۱۱/۹	۵۰-۱۰۰
-۰/۷	۰/۰۲	۳/۳۱	۶/۲۱	>۱۰۰
SPI				
-۰/۷۴	۰/۰۲۵	۲/۶	۴/۸	۰-۲
-۵/۲۶	۰/۰۰۰۳	۵۴	۹۹/۶	۲-۵
-۰/۰۴۵	۰/۰۵	۴۱/۹	۷۷/۲	۵-۱۰
۳/۶۵	۲/۰۳	۱/۵	۲/۷	۱۰-۱۵
۰	۰	۰/۰۱	۰/۰۲	>۱۵
TWI				
-۰/۸۷	۰/۰۲۲	۲/۶	۴/۸	۰-۲
۰/۰۷	۰/۰۵۷	۵۴/۳	۱۰۰/۱	۲-۵
-۰/۰۳	۰/۰۵۱	۴۱/۷	۷۶/۹	۵-۱۰
-۱/۵۲	۰/۰۱۲	۱/۳	۲/۴	۱۰-۲۰
-۱/۷۵	۰/۰۰۹	۰/۰۲	۰/۰۳	>۲۰

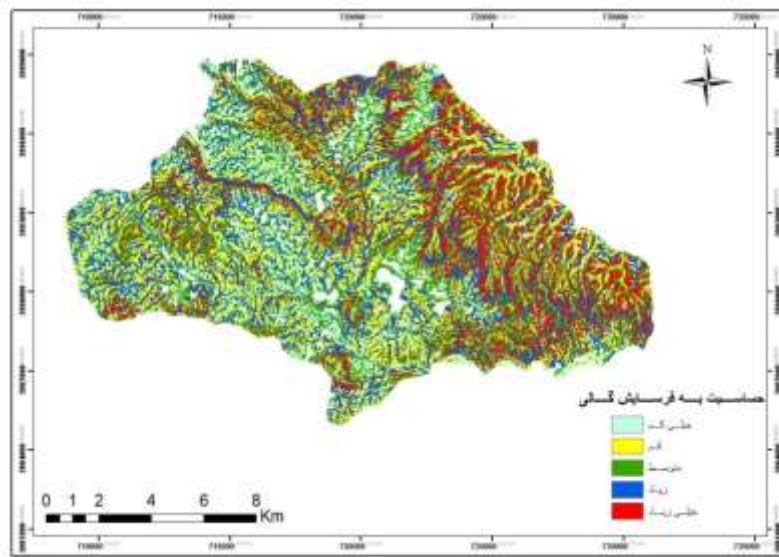
تجزیه و تحلیل میزان حساسیت

مقادیر تراکم گالی‌های منطقه و مقدار وزن آن‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. ارزش مثبت یا منفی W_i نشان می‌دهد که هر طبقه از عوامل تأثیرگذار چه مقدار در شکل‌گیری و گسترش گالی‌ها نقش داشته است. بالاترین W_i در سنگ‌شناسی مربوط به آهک ریفی سازند قم ($W_i = ۰/۴۹$)، در کاربری مرتع ($W_i = ۰/۵۱$)،

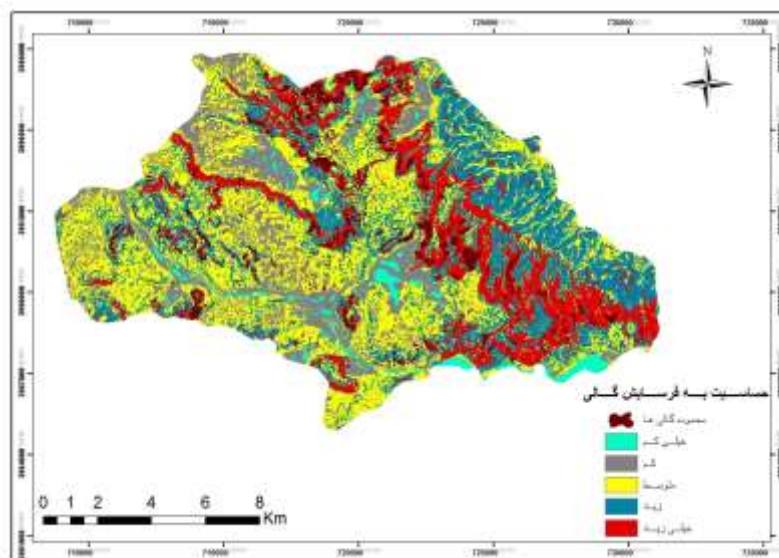
شیب $40 > (W_i = ۱/۷۳)$ ، جهت غربی ($W_i = ۰/۳۲$) (=)، دامنه‌های مقعر ($W_i = ۰/۲۹$)، طول شیب در طبقه ۲۰-۵۰ ($W_i = ۰/۳۶$)، شاخص قدرت رود در طبقه ۱۰-۱۵ ($W_i = ۳/۶۵$) و شاخص رطوبت توپوگرافی در طبقه ۲-۵ ($W_i = ۰/۰۷$) مشاهده شده است. در مقابل، تراکم گالی‌ها در پادگانه‌های مرتفع ($W_i = -۲/۱۶$)، کاربری باغ ($W_i = -۵/۷$)، شیب ۲۰-۱۵ درصد ($W_i = -۲/۳۵$)، دامنه‌های

اراضی، شیب، جهت دامنه و شکل دامنه) در تهیه نقشه حساسیت نقش داشته‌اند (شکل ۴). نقشه‌های ایجادشده با استفاده از روش شکست طبیعی به پنج کلاس با حساسیت‌های خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شدند (شکل‌های ۳ و ۴). در روش شکست طبیعی، نقاط عطف داده، مرز بین طبقات را مشخص می‌کنند (قهرودی تالی، ۱۳۸۴).

مستقیم ($WI = -1/28$)، LS طبقه ۵-۰ ($WI = -1/77$) و $WI = -5/26$ SPI، طبقه ۵-۲ ($WI = -5/26$) و TWI طبقه $20 > TWI = -1/75$) کم می‌باشد. بعد از تهیه لایه‌های فوق، نقشه حساسیت به فرسایش گالی در دو حالت تهیه شدند. در حالت اول همه‌ی ۸ پارامتر مرحله قبلی در ایجاد نقشه نهایی مورد استفاده قرار گرفتند (شکل ۳) و در حالت دوم فقط ۵ پارامتر (سنگ‌شناسی، کاربری



شکل ۳: نقشه حساسیت به فرسایش گالی در منطقه مورد مطالعه (۸ پارامتری)



شکل ۴: نقشه حساسیت به فرسایش گالی در منطقه مورد مطالعه (۵ پارامتری)

اعتبار یابی مدل

در مدل سازی پیش بینی مهم ترین مؤلفه انجام اعتبار یابی نتایج پیش بینی است (چونگ و فابری، ۲۰۰۳). در این تحقیق از تکنیک ROC استفاده شده است. نمودار ROC تکنیکی برای تصویر سازی، سازمان دهی و انتخاب طبقه بندی کننده ها بر اساس کارایی آنها می باشد (فاوست،

۲۰۰۶).

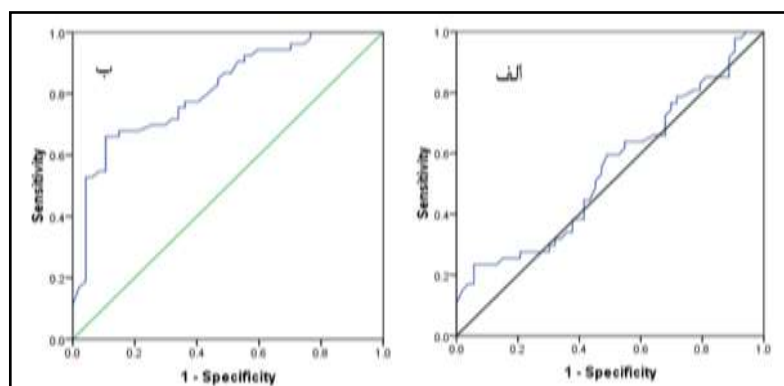
روش متداول محاسبه ی مساحت زیر منحنی ROC به طور مختصر AUC نام دارد و مقدار آن بین صفر تا یک متغیر است. هوسمر و لمشو (۲۰۰۰) مقادیر زیر را برای تفسیر AUC ارائه نمودند (جدول ۲).

جدول ۲: تفسیر مقادیر AUC (هوسمر و لمشو ۲۰۰۰)

AUC مقادیر	تفسیر
< 0.5	بدون تشخیص
$0.7 - 0.8$	تشخیص قابل قبول
$0.8 - 0.9$	تشخیص عالی
> 0.9	تشخیص برجسته (اما بسیار کمیاب)

شده و مدل قابلیت تشخیص ندارد (جدول ۳). در نقشه دیگر (شکل ۴) که پیش بینی با استفاده از ۵ پارامتر (سنگ شناسی، کاربری اراضی، زاویه شیب، جهت دامنه، شکل دامنه) انجام شد. منحنی ROC به صورت محدب بوده (شکل ۵ ب) و مساحت زیر منحنی (مقدار AUC) 0.81 محاسبه گردید که در سطح معنی داری 0.05 قابل قبول بوده و مدل با استفاده از این پارامترها قابلیت پیش بینی را داراست (جدول ۳).

در پیش بینی نقشه حساسیت به فرسایش گالی در منطقه بیجار، نقشه های نهایی از ۵ و ۸ پارامتر تهیه شدند (شکل های ۳ و ۴). در نقشه ۸ پارامتری که از لایه های سنگ شناسی، کاربری اراضی، زاویه شیب، جهت دامنه، شکل دامنه و عامل های توپوگرافی (SPI، TWI و LS) استفاده شده است. منحنی ROC در نزدیکی خط 0.5 قرار گرفته (شکل الف) و مقدار AUC آن 0.547 محاسبه گردید که در سطح معنی داری 0.05 رد



شکل ۵: نمودار ROC نقشه حساسیت به گالی در منطقه مورد مطالعه، الف) منحنی ROC برای نقشه ۸ پارامتری و ب) منحنی ROC برای نقشه ۵ پارامتری

بر اساس مدل اخیر تقریباً ۴۹ درصد منطقه در گروه حساسیت زیاد و بسیار زیاد قرار گرفته و ۸۷/۲ درصد گالی‌های منطقه نیز در این طبقات قرار گرفته‌اند (جدول ۴).

جدول ۴: مساحت طبقات حساسیت به فرسایش گالی در نقشه ۵ پارامتری

طبقات	تعداد پیکسل هر طبقه	درصد پیکسل‌های هر طبقه	تعداد پیکسل‌های گالی	تراکم گالی به درصد	درصد تجمعی گالی
خیلی کم	۴۳۲۱۲	۲/۳	۲۸	۰/۰۳	۰/۰۳
کم	۳۲۹۷۸۴	۱۷/۸	۲۴۸۷	۲/۵	۲/۵۶
متوسط	۵۹۸۲۱۹	۳۲/۲	۱۰۰۷۴	۱۰/۳	۱۲/۸۴
زیاد	۵۴۰۰۷۹	۲۹/۱	۲۳۷۰۶	۲۴/۲	۳۷/۰۱
خیلی زیاد	۳۴۴۸۰۳	۱۸/۶	۶۱۷۷۳	۶۳	۱۰۰
مجموع	۱۸۵۶۰۹۷	۱۰۰	۹۸۰۶۸	۱۰۰	-

جدول ۳: مقادیر AUC نقشه‌های حساسیت به فرسایش گالی

مدل	AUC	خطای استاندارد	سطح معنی‌داری Sig
۸ پارامتری	۰/۵۴۷	۰/۰۵۸	۰/۴۱۵
۵ پارامتری	۰/۸۱۳	۰/۰۴۲	۰

نتیجه‌گیری

فرسایش گالی، ۵ درصد مساحت منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود. تحلیل عوامل مؤثر در وقوع فرسایش گالی نشان می‌دهد که سنگ‌شناسی مارنی و کاربری اراضی مرتع فقیر به همراه عوامل ژئومورفولوژیکی مانند گرادیان شیب (بیش از ۴۰ درصد)، جهت (غرب و جنوب غربی) و شکل دامنه (مقعر) نقش مهمی در وقوع فرسایش گالی در منطقه مورد مطالعه داشته‌اند. با توجه به مباحث مطرح‌شده در قسمت نتایج، عوامل توپوگرافی مانند شاخص قدرت رود، شاخص رطوبت توپوگرافی و طول دامنه با تراکم گالی‌ها در منطقه ارتباط دارند، اما در مدل‌سازی

نهایی که با استفاده از روش آماری دو متغیره انجام گردید مقدار کم ROC (۰/۵۴۷) نشان می‌دهد که مدل هشت پارامتری قابلیت پیش‌بینی مناسبی ندارد. در کار مشابهی که توسط کانفورتی و پیتر (۲۰۱۱) انجام گردید نشان می‌دهد که مدل آماری دو متغیره با دقت خوبی توانسته است محدوده‌های حساس به فرسایش گالی را پیش‌بینی نماید که در این تحقیق نیز مورد تأیید قرار گرفته است. البته در مطالعه کانفورتی و پیتر هر هشت پارامتر فوق در پیش‌بینی مدل مناسب تشخیص داده شده‌اند. اما در این تحقیق مدل هشت پارامتری مورد تأیید قرار نگرفته است. البته استفاده از روابط تجربی برای محاسبه SPI، TWI

رو، تقریباً ۸۷ درصد گالی‌ها با احتمال ۹۵ درصد به‌درستی در محدوده‌های حساسیت زیاد و بسیار زیاد قرار گرفته‌اند. با توجه به تأیید این مدل پیشنهاد می‌شود که کارایی این مدل برای مناطق دیگر هم مورد ارزیابی قرارگیرد.

و LS به‌اندازه پیکسل‌های مدل ارتفاعی رقومی (DEM) و دقت آنها بستگی دارد. در مجموع در منطقه مورد مطالعه، مدل پنج پارامتری، با توجه به مقادیر ROC، پیش‌بینی مناسبی از پهنه‌های حساس به فرسایش گالی را نشان می‌دهد. از این

منابع

- احمدی، ح.، ۱۳۸۶. بررسی فرسایش آبکندی سازند مارنی آغاچاری در منطقه قصر شیرین، پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۷۴، ص ۳۲-۴۰.
- قهرودی تالی، م.، ۱۳۸۴. سیستم اطلاعات جغرافیایی در محیط سه بعدی GIS سه بعدی در ARC GIS، جهاد دانشگاهی واحد تربیت معلم، ۲۶۶ ص.
- مقصودی، م.، شاد فر، ص.، و عباسی، م.، ۱۳۹۰. پهنه‌بندی حساسیت اراضی به فرسایش خندقی در حوضه‌ی زواریان استان قم، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۲، ص ۵۲-۳۵.
- نکویی مهر، م.، و امامی، س.، ۱۳۸۶. تعیین مهم‌ترین ویژگی‌های شکل‌شناسی خندق‌ها در طبقه‌بندی مورفوکلیماتیک مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی (مطالعه موردی استان چهارمحال بختیاری)، پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۷۷، ص ۸۴-۹۲.
- نوحه گر، ا.، و حیدر زاده، م.، ۱۳۹۰. مطالعه خصوصیات فیزیکی - شیمیایی و مورفومتری خندقی (مطالعه موردی، گزیر استان هرمزگان)، پژوهش فرسایش محیطی، سال ۱، شماره ۱، ص ۲۹-۴۳.
- احمدی، ح.، ۱۳۸۶. ژئومورفولوژی کاربردی، جلد ۱ فرسایش آبی، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۷۵ ص.
- ثروتی، م.، قدوسی، ج.، و دادخواه، م.، ۱۳۸۷. عوامل موثر در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی در لس‌ها، پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۷۸، ص ۲۱-۳۳.
- جعفری گرزین، ب.، و کاویان، ع.، ۱۳۸۸. ارزیابی وقوع فرسایش خندقی در حوزه آبخیز سرخ‌آباد مازندران با استفاده از سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، مجله علمی پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، شماره ۱۷، ص ۵۵-۶۸.
- حسین زاده، م.، م.، اسماعیلی، ر.، جوری، م. ح.، و پور کلهر، س.، ۱۳۸۸. طبقه‌بندی گالی‌ها بر مبنای ویژگی‌های مورفومتریک با استفاده از تکنیک آماری چند متغیره (مطالعه موردی: فیروز کلا-نوشهر)، پژوهش‌های دانش زمین، شماره ۳، ص ۲۹-۴۰.
- خزایی، م.، شفیعی، ا.، و ملایی، ع.، ۱۳۹۱. بررسی تأثیر عوامل مؤثر در فرسایش آبکندی در حوضه آبخیز مارون، پژوهش‌های خاک، جلد ۲۶، شماره ۲، ص ۱۶۳-۱۵۳.
- عرب قشقایی، ز.، ۱۳۹۰. پهنه‌بندی فرسایش خندقی در حوزه آبخیز طرود فیروزکوه، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، شماره ۳۱، ص ۱۱۹-۱۰۷.

- Bouaziz, M., Wijaya, A., and Gloaguen, R., 2011. Remote gully erosion mapping using aster data and geomorphologic analysis in the Main Ethiopian Rift, *Geo-spatial Information Science*, v. 14 (4), p 246-254.
- Chung, C.F., and Fabbri, A.G., 2003. Validation of spatial prediction models for landslide hazard mapping. *Natural Hazards*, v. 30, p.451-472.
- Conforti, M., and Pietro, P.C., 2011. Geomorphology and GIS analysis for mapping gully erosion susceptibility in the Turbolo stream catchment (Northern Calabria, Italy), *Nat Hazards*, v. 56, p. 881-898.
- Conoscenti, C., Agnesi, V., Angileri, S., Cappadonia, C., Rotigliano, E., and Märker, M., 2013. A GIS-based approach for gully erosion susceptibility modelling: a test in Sicily, Italy, *Environmental Earth Sciences*, v. 70 (3), p. 1179-1195.
- Fawcett, T., 2006. An introduction to ROC analysis, *Pattern Recognition Letters*, v. 27, p. 861-874.
- Hosmer, D.W., and Lemeshow, S., 2000. *Applied logistic regression*. 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc. P. 156-164.
- Moore, I.D., Grayson, R.B., and Ladson, A.R., 1991. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications, *Hydrol Process*, v. 5, p. 3-30.
- Lucà, F., Conforti, M., and Robustelli, G., 2011. Comparison of GIS-based gullying susceptibility mapping using bivariate and multivariate statistics: Northern Calabria, South Italy, *Geomorphology*, v. 134, p. 297-308.
- Moore, I.D., Grayson, R.B., and Ladson, A.R., 1991. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrol Process*, v. 5, p.3-30.
- Nefeslioglu, H.A., Duman, T.Y., and Durmaz ,S., 2008. Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea region of Turkey), *Geomorphology*, v. 94, p. 401- 418.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., Mccool, D.K., and Yoder, D.C., 1997. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised soil loss equation (RUSLE). US Dept. of Agriculture. *Agric, Handbook No*, v. 703, p. 404.
- Zucca, C., 2006. Annalisa Canu and Raniero Della Peruta, Effects of land use and landscape on spatial distribution and morphological features of gullies in an agropastoral area in Sardinia (Italy), *Catena*, v. 68, p.87- 95.