



نسخه از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال نهم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۶
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.9, No. 4, Winter 2018

۹۵-۱۱۰

پیش‌بینی فرسایش خندقی

با استفاده از سنجنده راداری Alos و مدل Maxent در حوضه الوند

- سجاد پیروزی‌نژاد^۱، کریم سلیمانی^{۲*}، محمود حبیب‌نژاد^۳، رضا ذاکری‌نژاد^۴
۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۲. استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۳. استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۴. پسادکتر، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۱۶

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۵/۲۶

چکیده

شواهد نشان می‌دهد که سنجش از دور ارزش خود را به‌منزله ابزاری قدرتمند در سراسر جهان تثبیت کرده است. سنجش از دور می‌تواند هزینه‌ها را کاهش دهد و زمان اجرای طرح‌ها را کوتاه کند؛ به‌ویژه با داشتن دیدی جامع از مناطق بزرگ که دسترسی به آنها دشوار است. هدف از پژوهش حاضر پیش‌بینی فرسایش خندقی، با استفاده از داده‌های سنجش از دور و مدل مکسنت (Maxent) در حوضه الوند، در بخش غربی استان کرمانشاه است. حوضه الوند، به‌دلیل وسعت و آلوده‌بودن به مین و هم‌مرزبودن با کشور عراق، با مشکل دسترسی مواجه است. از سوی دیگر، قالب‌بودن اراضی مارنی و نبود پوشش گیاهی مناسب باعث چیرگی فرسایش خندقی در منطقه شده است. بر همین اساس، در پژوهش حاضر، با کار ترکیبی حاصل از بازدید میدانی و سنجش از دور که در محیط گوگل ارث انجام گرفت، لایه تحلیل مکانی مورد نیاز مدل مکسنت تهیه و پهنه مناطق خندقی رقوم‌سازی شد و به‌صورت متغیرهای مستقل، به مدل معرفی شد. همچنین، برای تجزیه و تحلیل سطح زمین، مدل رقوم‌سازی ارتفاعی رادار سنجنده الوس به کار رفت و پانزده لایه محیطی با دقت تفکیک ده متر به‌منزله متغیرهای وابسته تهیه شدند. با استفاده از این مدل کمی و آماری، سه هدف ذیل تحقق یافت: ۱. میزان تأثیر هر لایه محیطی با استفاده از آزمون Jackknife به‌دست آمد؛ ۲. روند بیشترین و کمترین تأثیر هر پارامتر، با استفاده از رگرسیون لجستیک، بررسی شد؛ ۳. نقشه پتانسیل فرسایش خندقی برای کل منطقه تهیه شد. سپس اعتبارسنجی مدل، با استفاده از منحنی ROC و محاسبه مساحت زیرمنحنی (AUC)، صورت گرفت. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد مؤثرترین شاخص در ایجاد فرسایش خندقی مربوط به شاخص ارتفاع، فاصله عمودی از سطح کانال و تجمع جریان است و اعتبارسنجی برابر با $AUC=0.899$ است که سطح خوب نتایج را نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: فرسایش خندقی، سنجش از دور، مدل حداکثر آنتروپی.

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری. تلفن: ۰۹۱۱۱۵۲۱۸۵۸.

۱- مقدمه

خندقی یکی از مهم‌ترین عوامل تخریب اراضی کشاورزی، منشأ تولید رسوب و عامل اصلی بیابان‌زایی منطقه شمرده شده است (Feiznya et al., 2007; Entezari et al., 2015; Shahbazi et al., 2016). این مطالعه در حوضه‌الوند در غرب استان کرمانشاه، که در شکل (۱) نشان داده شده، صورت گرفته است. طی سال‌های اخیر، فرسایش خندقی به دلیل خسارات داخل حوضه از جمله تخریب زمین‌های کشاورزی، ازدست‌دادن خاک، کاهش بازده خاک و ظرفیت نگهداری آب، خسارات ناشی از تخریب زیربناها، تأسیسات و خسارات خارج از حوضه مانند پرشدن مخازن سدها از رسوبات بالادست و تخریب چهره مناظر طبیعی و موارد دیگر بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Soliemanpour et al., 2010; Hadley et al., 1985; Arekhy et al., 2010).

مطالعات صورت‌گرفته، به دلیل تأثیرات فرسایش خندقی در بیابان‌زایی و تخریب اراضی کشاورزی، بیشتر از جنبه کیفی بررسی شده‌اند. مهم‌ترین عناصری که در ارزیابی‌های کیفی به آن توجه شده آب‌وهوا، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، خاک، پوشش گیاهی، کشاورزی، آب، فرسایش (از جمله فرسایش باد و آب)، مسائل اقتصادی-اجتماعی و تکنولوژی توسعه شهری است (Zakerinejad & Märker, 2015). بررسی کمی فرسایش خندقی اغلب به علت نداشتن تجانس مکانی و زمانی فرایندهای مرتبط و مشکلات اندازه‌گیری و نظارت بر فرایندهای کمی، به‌ویژه در مناطق دورافتاده، کمتر مورد توجه قرار گرفته است (Gomez et al., 2003; Poesen et al., 1996; Sidorchuk et al., 2003; Märker, 2001; Vázquez Selem & Zinck, 1994). فرایندهای مربوط به نظارت و اندازه‌گیری فرسایش خندقی، به‌صورت کمی، مستلزم زمان و هزینه بسیار زیاد و کار فشرده در مطالعات میدانی است (Ehiorobo & Audu, 2012) و این درحالی است که سوتلولی و همکاران^۱ (۲۰۱۶) معتقدند روش‌های سنتی بررسی فرسایش خندقی، افزون‌بر هزینه و زمان و کار

فرسایش خندقی یکی از مهم‌ترین عوامل تخریب مناظر طبیعی، گسترش بیابان‌زایی و غیرقابل استفاده‌شدن زمین‌های کشاورزی است (Angileri et al., 2016). علت اصلی ایجاد فرسایش خندقی جریان متناوب آب است (Poesen et al., 2003). تخریب و حمل خاک یکی از ویژگی‌های رفتارهای جریان متناوب است که به‌صورت کانال‌های عمیق و شکل‌های متفاوت در قالب فرسایش خندقی در منطقه دیده می‌شود (Ehiorobo & Audu, 2012). براساس نظر انجمن علوم خاک آمریکا، میانگین عمق کانال‌های خندق از ۰/۵ تا ۳۰ متر است. این انجمن فرسایش خندقی را یکی از مؤثرترین شاخص‌های بیابان‌زایی معرفی می‌کند. فرسایش خندقی در مناطق گوناگون جهان، از جمله مناطق خشک و نیمه‌خشک، گسترش دارد و یکی از عوامل اصلی و مهم تولید رسوب است. فرسایش خندقی فقط ۰/۵٪ مساحت حوضه را دربر می‌گیرد. این درحالی است که تولید ۹۴-۱۰ درصد از کل رسوبات برخی از حوضه‌های آبخیز مربوط به این نوع از فرسایش است (Poesen et al., 2003; Morgan et al., 2003; Martinez-Casasnovas, 2003). این مشکلی جدی است که در بسیاری از بخش‌های جهان که از شرایط آب‌وهوایی، سنگ‌شناسی، خاک، استفاده از زمین و پوشش زمین و ... متأثرند، وجود دارد (Torkashvand, 2008). فرسایش خندقی تأثیر بسزایی در پویایی زهکشی خاک دارد. افزون‌بر این، رطوبت خاک و سطح آب‌های زیرزمینی، به‌ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک، را تحت تأثیر قرار می‌دهد. براساس خسارات مشاهده‌شده از فرسایش خندقی در سراسر جهان، این نوع فرسایش تهدیدی جدی برای پایداری اکوسیستم‌های آبی، زمینی و ثبات اقتصادی شناخته شده است (Lal, 2001; Ionita et al., 2015).

غرب استان کرمانشاه یکی از مناطق مستعد فرسایش خندقی است که تا کنون مطالعات بسیاری در بخش‌های گوناگون آن صورت گرفته و فرسایش

ارتفاعی حاصل از داده‌های سنجش از دور است که به دلیل مشکلات دسترسی، از جمله وسیع بودن و مناطق آلوده به مین مرز و کمبود لایه‌های اطلاعات لازم، اولین بار در غرب کشور و برای ارزیابی فرسایش خندقی استفاده شد. هدف از تحقیق حاضر شناسایی مهم‌ترین شاخص‌های زیست‌محیطی مؤثر در فرسایش خندقی در ناحیه مورد مطالعه است و تلاش می‌شود، در نهایت، نقشه‌ای از توزیع مکانی حساسیت فرسایش خندقی برای حوضه الوند عرضه شود.

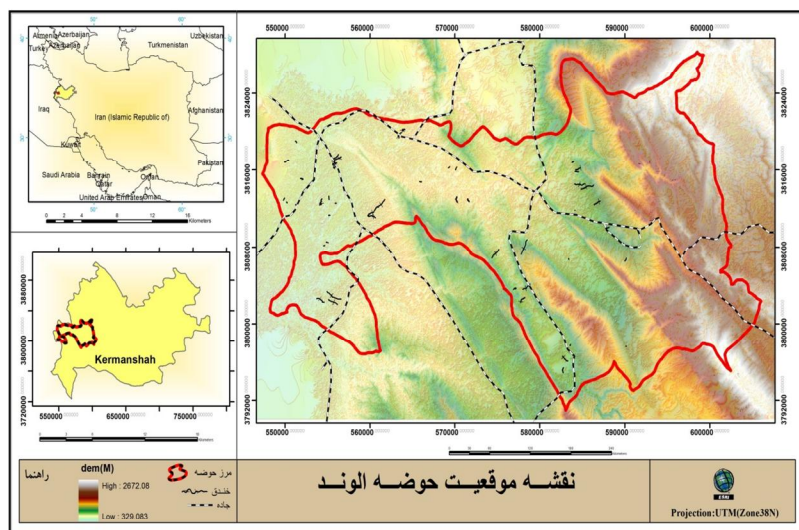
۲- مواد و روش

۲-۱ منطقه مورد مطالعه

حوضه رودخانه الوند در جنوب غرب استان کرمانشاه واقع شده است. رودخانه الوند رودخانه‌ای مرزی است که بین کشورهای ایران و عراق قرار دارد. این منطقه در حد فاصل بین‌النهرین و فلات ایران قرار گرفته است. منطقه مورد پژوهش، با مساحت ۱۱۲۳۳۲.۷۷ هکتار، در $35^{\circ} 32' 34''$ تا $45^{\circ} 35' 56''$ طول شرقی و $34^{\circ} 32' 35''$ تا $34^{\circ} 32' 35''$ عرض شمالی واقع شده است. ارتفاع آن از سطح دریا بین ۳۲۹ تا ۲۶۷۲ متر متغیر است و میانگین ارتفاع حوضه مورد مطالعه نیز ۱۰۹۸ متر است. این منطقه از مجموعه ناهمواری‌های سیستم چین‌خورده زاگرس محسوب می‌شود و طول موج‌های ناهمواری در این بخش بلند و کشیده است. از این نظر، انعکاس ناهمواری‌ها به شکل تپه‌ماهور مشاهده می‌شود. جنس غالب لیتولوژی، در منطقه مورد مطالعه، ماسه‌سنگ آجاجاری است. از مهم‌ترین مناطق مسکونی حوضه الوند، می‌توان به شهرستان‌های سرپل ذهاب و قصرشیرین اشاره کرد.

فشرده، دقت لازم را ندارند و در آنها موقعیت مکانی و زمانی خندق‌ها بررسی نمی‌شود؛ در نتیجه، پیش‌بینی توسعه فرسایش خندقی با استفاده از مدل‌های عددی دشوار، وقتگیر و گران است زیرا تهیه پارامترهای ورودی گوناگون درگیر در پیش‌بینی فرسایش خندقی ساده نیست (Ehiorobo & Audu, 2012). ارزیابی فرسایش خاک در ایران به‌طور عمده در مدل‌های پیش‌بینی تجربی صورت گرفته است؛ از این رو، تحقیقات بیشتری برای درک نقش و توزیع مکانی - زمانی فرسایش آبکندی در ایران مورد نیاز است (Nazari Samani et al., 2010; Bayra- mün et al., 2003). تشخیص خندق‌ها و ارزیابی روند خندقی شدن از طریق فناوری سنجش از دور، در ترکیب با مشاهدات میدانی و فرایندهای مبتنی بر دانش، می‌تواند روش مناسبی برای پیش‌بینی مناطق دارای پتانسیل فرسایش خندقی باشد (Pallaris, 2009; Suriyaprasit, 2008; Angileri, 2012; Shit et al., 2013; Rahmati et al., 2017). همچنین، در تحلیل مکانی - زمانی و صورت‌گرفتن نظارت مستمر، به‌ویژه در مناطق بزرگ‌تر که به‌طور گسترده در حال خندقی شدن هستند، بسیار مناسب و مفید است (Rahmati et al., 2017). تا کنون استفاده از سنجش از دور و ریخت‌شناسی فرسایش خندقی در مطالعات گوناگون صورت گرفته است اما مطالعات اندکی وجود دارد که توزیع مکانی فرسایش خندقی، در مناطق بزرگ، با توجه به عوامل مؤثر در محیط‌زیست را ارزیابی کرده باشند (Zakerinejad & Märker, 2014). یکی از ساده‌ترین اطلاعات حاصل از سنجش، مدل‌های رقومی ارتفاعی دیجیتال است که می‌تواند با دقت لازم برای تجزیه و تحلیل زمین استفاده شود. از مدل رقومی ارتفاعی در مطالعات گوناگونی، برای ارزیابی ریسک فرسایش، استفاده شده است (Pallaris, 2009; Suriyaprasit, 2008).

پژوهش حاضر ترکیبی از مدل‌های تصادفی و تحلیل زمین با استفاده از بازدید میدانی و مدل رقومی



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

جدول ۱. مشخصات تصاویر تهیه شده از سنجنده الوس

گذر	ردیف	تاریخ
۵۸۱	۶۸۰	۲۸ - ۰۹ - ۲۰۰۷
۵۸۱	۶۷۰	۲۸ - ۰۹ - ۲۰۰۷
۵۸۱	۶۸۰	۱۵ - ۰۷ - ۲۰۰۷
۵۸۲	۶۷۰	۱۵ - ۰۷ - ۲۰۰۷

۲-۲-۲- تهیه لایه زیست‌محیطی

تجزیه و تحلیل سطح دیجیتالی زمین فرایندی برای توصیف کمی زمین به‌شمار می‌رود که با استفاده از DEM صورت می‌گیرد. DEM شامل مجموعه‌ای از نقاط ارتفاع است که به‌صورت مکانی ثبت می‌شوند و مجموع سطح توپوگرافی را توصیف می‌کنند. این کار نقش مهمی در توصیف رواناب و غلظت آب در سطح خاک دارد (Montgomery & Dietrich, 1994). تحلیل مورفومتریک حاصل از مدل رقومی ارتفاعی را می‌توان به چهار بخش اصلی تفکیک کرد: ۱. پارامترهای متمایزکننده مورفولوژی از سطح؛ ۲. پارامترهای هیدرولوژیکی برای توصیف تولید رواناب و الگوی جریان

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

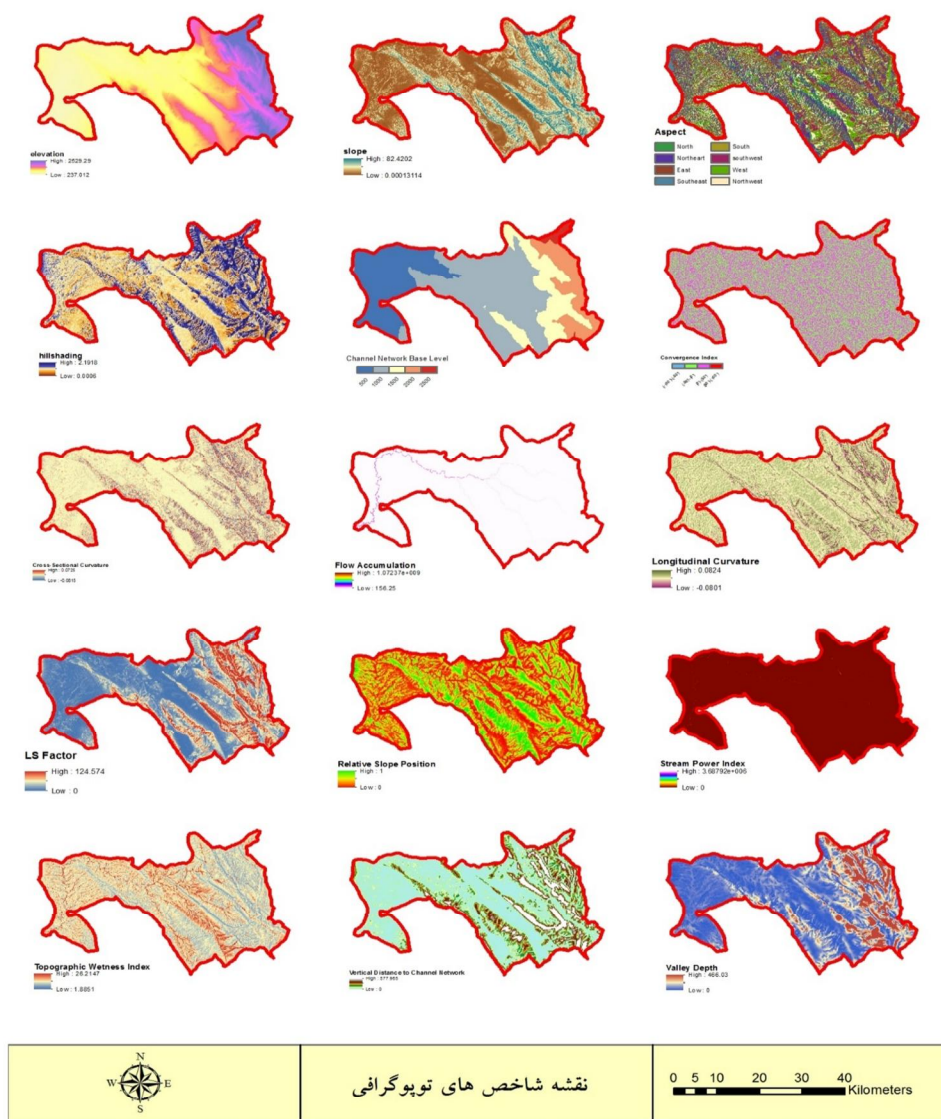
۲-۲-۱- مدل رقومی ارتفاعی

برای تهیه مدل رقومی ارتفاعی منطقه، ابتدا تصاویر سنجنده الوس برای حوضه الوند تهیه شد. مشخصات تصاویر مربوط به حوضه الوند در جدول ۱ نمایش داده شده است. مدل رقومی ارتفاعی تصاویر مورد نظر با استفاده از دستور Mosaicking نرم‌افزار ENVI_{v5.1}، به‌صورت یکپارچه، برای کل حوضه الوند تهیه شد. همچنین، با توجه به نیاز مدل مکسنت^۱ برای بررسی تحلیل مکانی خندق‌ها، مدل رقومی ارتفاعی و تمام‌لایه حاصل از آن، در اندازه پیکسل‌سایز (۱۰ متر) و سیستم مختصات جغرافیایی (UTM Zone 38N) یکسان‌سازی شد. برای افزایش دقت و کاهش خطاهای مدل رقومی ارتفاعی منطقه، فیلترهای لازم اعمال شد. انتخاب بهترین فیلترها از طریق آزمون و خطا و پیشنهادها پژوهشگران دیگر (Zakerinejad & Märker, 2014) انجام گرفت. درنهایت، دو فیلتر (smooth 2*2) Simple filter برای کاهش خطاها و افزایش دقت تشخیص و فیلتر FillSinks (planchon/ Darboux, 2001) برای افزایش دقت در محاسبات هیدرولوژیک اعمال شد.

1. Maxent

مطالعات گوناگون دیگر پژوهشگران شمرده شده که درباره فرسایش خندقی در نقاط متفاوت جهان صورت گرفته است (Zakerinejad & Märker, 2015; Ehiorobo & Audu, 2012; Maerker et al., 2015; Qin et al., 2011, Rahimifar et al., 2011; Rahmati et al., 2017, Shit et al., 2013a; Shit et al., 2013b). لایه محیطی مورد نیاز با استفاده از ابزار Terrain Analysis در نرم افزار SAGAGISv5.0، به صورت لایه های رستری تهیه شد. لایه تهیه شده کمی است و ارزش اطلاعات را خود نرم افزار به طور اتوماتیک اعمال کرد.

بالقوه؛ ۳. حمل و انتقال رسوبات؛ ۴. پارامترهای آب و هوایی (Hengl et al., 2003; Zakerinejad & Märker, 2014). لایه محیطی تهیه شده (شکل ۲) شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، سایه روشن، انحنای متقاطع، انحنای طولی، شیب نسبی، سطح پایه شبکه کانال، فاصله عمودی از سطح پایه شبکه آبراهه، عمق شبکه آبراهه، تجمع جریان، شاخص قدرت آبراهه، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص همگام سازی و فاکتور LS است. اساس انتخاب فاکتورهای مورد بررسی



شکل ۲. نقشه پارامترهای توپوگرافی تهیه شده

۲-۲-۳- عملیات میدانی و برداشت موقعیت خندق‌ها

برای برداشت مختصات طول و عرض خندق‌ها در منطقه مورد مطالعه در بازدید میدانی، GPS و نظر سه کارشناس اداره منابع طبیعی بومی منطقه به منظور تشخیص دقیق خندق‌ها به کار رفت و با استفاده از ابزارهایی مانند شاخص و متر، ویژگی‌های فیزیکی خندق‌ها برداشت شد (شکل ۳). در محل‌هایی که خندق‌های طولی وجود داشت، مسیر خندق با استفاده از GPS پیمایش و برداشت شد. هنگام برداشت موقعیت خندق‌ها، پراکنش مناسب در سراسر حوضه و همچنین، انتخاب انواع گوناگون خندق‌ها در اندازه‌های متفاوت مورد توجه قرار گرفت. برای بررسی صحت مختصات خندق‌های برداشت‌شده، فایل تهیه‌شده به محیط نرم‌افزار گوگل ارث منتقل شد. به علاوه، در مناطق مرزی آلوده به مین که دسترسی به آنها دشوار است،

استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با وضوح بسیار بالا می‌تواند راه‌حل جدیدی برای ارزیابی این مناطق باشد (McInnes et al., 2011). در شکل ۴، تصاویر با وضوح بالا به کار رفت که گوگل ارث به‌رایگان در اختیار گذاشته است (Potere, 2008; Angileri, 2012; Zakerinejad & Märker, 2014). با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه دارای آب‌وهوای خشک با پوشش گیاهی ضعیف و بدون جنگل است، مشکلی برای تشخیص ویژگی‌ها و اشکال گوناگون و ایجاد نقشه خندق‌ها براساس تصاویر ماهواره‌ای با دقت و وضوح بالا وجود ندارد (Zakerinejad & Märker, 2014). لایه خطی رقومی موقعیت خندق‌ها، که در محیط گوگل ارث تهیه شده بود، به محیط ARC MAP انتقال یافت و از فرمت kml به فرمت Shp تغییر پیدا کرد. آن‌گاه براساس اندازه پیکسل لایه تهیه‌شده (۱۰ متر)، همسان‌سازی شد. در مجموع، ۱۰۱۵ پیکسل ۱۰×۱۰ به‌منزله متغیرهای مستقل تهیه شد.



شکل ۳. تصاویر بازدید میدانی حوضه ووند



شکل ۴. رقومی‌سازی خندق‌ها با استفاده از تصاویر گوگل ارث

۲-۳- روش کار

در این مطالعه، از توزیع حداکثر آنتروپی یا مدل مکسنت استفاده شد (Phillips et al., 2006). مدل مکسنت نوعی الگوریتم یادگیری مبتنی بر آمارهای تصادفی است که برای ارزیابی عوامل زیست‌محیطی مؤثر در فرسایش خندقی، از توزیع مکانی خندق‌ها استفاده می‌کند و با استفاده از آزمون Jackknife، اهمیت هریک از لایه‌های زیست‌محیطی در ایجاد فرسایش خندقی را بررسی می‌کند. همچنین، براساس رگرسیون لجستیک، مهم‌ترین محدوده تأثیر هریک از عوامل زیست‌محیطی را در فرسایش خندقی نشان می‌دهد. مزیت کاربرد این مدل استفاده از موقعیت مکانی اطلاعات موجود است و این ویژگی، زمانی که فقط موقعیت یک پدیده یا سوژه در دسترس باشد، به‌خصوص در مواقعی که ویژگی‌های دیگر، به‌دلیل نداشتن دسترسی موجود نیست، می‌تواند بسیار بااهمیت باشد (Phillips et al., 2004; Elith et al., 2006; Howard, 2012). داده‌های مورد نیاز مدل شامل موقعیت مکانی خندق‌هاست که به‌صورت متغیر وابسته مدل و نیز مجموعه‌ای از متغیرهای محیطی به‌منزله متغیرهای مستقل به مدل معرفی می‌شود. در این پژوهش، از نقشه موقعیت خندق‌ها، که به‌صورت ترکیبی از بازید میدانی و سنجش از دور تهیه شده بود، به‌منزله متغیرهای وابسته، و از لایه‌های محیطی تهیه‌شده با مدل رقومی ارتفاعی منطقه، به‌منزله متغیرهای مستقل، استفاده شد (Kumar & Stohlgren, 2009). طبق نتایج مدل رگرسیون لجستیک، براساس عدم قطعیت برای هر پارامتر محیطی که بین ۰ و ۱ متغیر باشد، در حالت صفر بدون تأثیر و در حالت ۱ دارای بیشترین تأثیر در ایجاد فرسایش خندقی است. به‌علاوه، در پیش‌بینی احتمال وقوع، در صورت ۰ کمترین حساسیت و در صورت ۱ بیشترین حساسیت به ایجاد فرسایش خندقی را نشان می‌دهد (Zakerinejad & Märker, 2014).

۲-۴- ارزیابی مدل

برای ارزیابی عملکرد مدل و پیش‌بینی‌های حاصل از آن، داده‌ها برای آموزش و تست به‌طور تصادفی تقسیم‌بندی شدند (Findinh Bell, 1977). از مجموع ۱۰۱۵ پیکسل متغیر وابسته به حساسیت فرسایش خندقی، ۸۰٪ (۸۱۲) داده‌ها برای آموزش و ۲۰٪ داده‌ها برای تست (۲۰۳) انتخاب شدند (Zakerinejad & Märker, 2014). نتایج مدل‌ها با استفاده از منحنی مشخصه عامل گیرنده (ROC) مشخص شد. دقت مدل براساس مساحت زیرمنحنی یا (AUC) مورد سنجش قرار گرفت. مقدار (AUC) در حالت کلی بین ۰ و ۱ است (Märker et al., 2012). طبق نظر هاسمر و لمشاو^۱ (۲۰۰۰)، اگر مقادیر (AUC) بیش از ۰/۷، ۰/۸ و ۰/۹ باشد، نشان می‌دهد پیش‌بینی‌ها قابل قبول، خوب و عالی است.

۳- نتایج

۳-۱- توزیع مکانی حاصل از نقشه‌برداری

با توجه به نقشه توزیع خندق حاصل از نقشه‌برداری دیجیتالی با استفاده از گوگل ارث و مشاهدات میدانی، خندق‌ها بیشتر در مرتع فقیر و تخریب‌یافته و اراضی کشاورزی دیم تشکیل شده‌اند (Ahmadi, 2008; Nazari Samani, 2008; Solomonpour et al., 2015; Heidary & Sabohy, 2015). بیشتر خندق‌ها در اراضی مارنی و در اراضی با مقدار سلیت بالای ۵۰٪ تشکیل شده‌اند (Ahmadi, 2008; Shahbazi et al., 2016). بررسی‌های میدانی نیز نشان داد خندق‌ها، تا عمق لایه ریزبافت مارن که در منطقه مورد مطالعه نمود بیشتری دارد، ادامه یافته‌اند (Shahbazi et al., 2016). عملکرد خندق‌ها در مناطق شیب‌دار، به‌خصوص در منطقه سرپل ذهاب، بسیار متفاوت با مناطق کم‌شیب قصرشیرین است. در مناطق شیب‌دار، بیشتر خندق‌ها با طول بیشتر از یک کیلومتر و عمق ۸ متر و عرض ۶

1. Hosmer and Lemeshow

مستقل، آموزش دید. مدل با استفاده از (AUC) مساحت زیرمنحنی (ROC) ارزیابی شد (شکل ۵) که با توجه به مفاهیم منحنی (ROC)، در صورتی که $AUC=0.05$ باشد، نشان‌دهنده اتفاقی بودن نتایج است. اگر مقدار مساحت زیرمنحنی $0.7 < AUC < 0.9$ باشد، نتایج اعتبار خوبی خواهد داشت و در صورتی که $AUC > 0.9$ باشد، نتایج به دست آمده در سطح عالی قرار دارد. با توجه به شکل ۶، مقدار $AUC=0.899$ است که سطح خوب نتایج را بیان می‌کند.

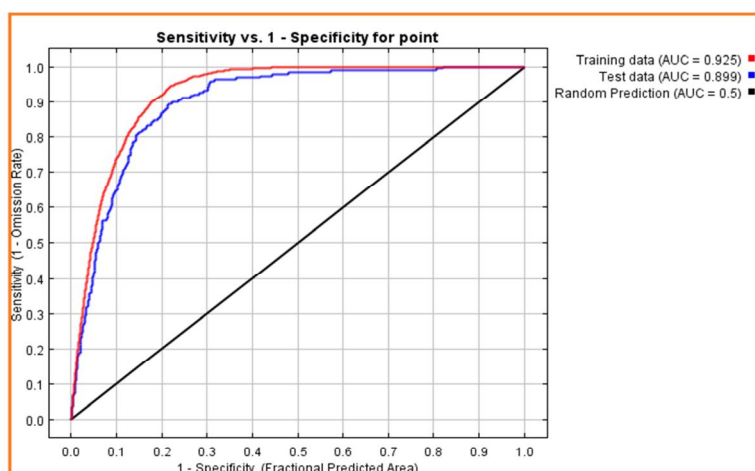
۳-۳- اهمیت متغیرها

نتایج حاصل از ارزیابی مدل نشان می‌دهد مدل‌های تصادفی می‌توانند ابزاری قدرتمند برای مطالعه روابط بین موقعیت مکانی خندق‌ها و ویژگی‌های زیست‌محیطی به شمار روند که در این مورد، به‌طور انحصاری، از پارامترهای توپوگرافی استفاده شد. براساس نظر پژوهشگران گوناگون در زمینه فرسایش خندقی (Vandekerckhove et al., 2001; Nazari; Kheir et al., 2007; Flügel Samani et al., 2010; et al., 2003; Märker et al., 2012; Zakerinejad & Märker, 2014)، پراکنش موقعیت خندق‌ها، تغییرات لایه خاک و ناهمواری‌های سطح زمین و کاربری اراضی معمولاً به محدودیت‌های توپوگرافی وابسته‌اند که این

متر دیده می‌شوند؛ در حالی که در مناطق کم‌شیب، بیشتر خندق‌ها از نظر عرض گسترش یافته‌اند و میانگین عمق آنها ۱/۵ متر و میانگین طول آنها کمتر از ۲۰ متر است که با مطالعات مشابه دیگر پژوهشگران در اراضی شیب‌دار و شبه دشت‌سر هم‌خوانی دارد (Solomonpour et al., 2015; Heidary & Sabohy, 2015). همچنین، تراکم بیشتر خندق‌ها در قسمت خروجی حوضه و نبود پوشش گیاهی مناسب در منطقه، به علت وجود اراضی ماری، بسیار قابل توجه است (Zakerinejad & Märker, 2014). مشکلات متعددی در ارتباط با تأثیرات مسایل اجتماعی و اقتصادی در فرسایش خندقی منطقه وجود دارد که مهم‌ترین آنها چرای بیش از حد مراتع، تغییر کاربری اراضی، به‌خصوص مراتع به کشاورزی دیم کم‌بازده، کاهش سطح آب‌های زیر زمینی به دلیل برداشت و خشکسالی محسوب می‌شود.

۳-۲- عملکرد مدل

مدل مکسنت، با استفاده از ۸۰٪ داده‌های نقطه‌ای مناطق حساس به فرسایش خندقی حاصل از نقشه برداری، به‌منزله متغیر وابسته و لایه‌های محیطی حاصل از DEM سنجنده ALOS، به‌منزله متغیر



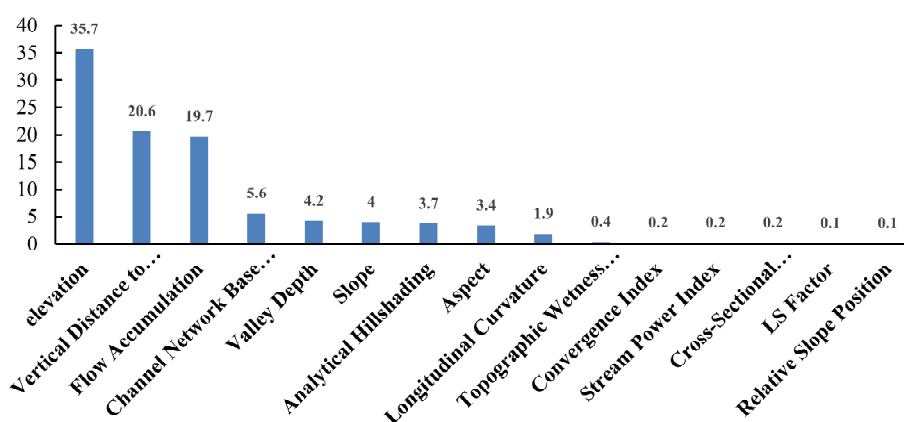
شکل ۵. منحنی (ROC)

محدودیت‌ها در قالب پارامترهای توپوگرافی تهیه شد. براساس نتایج حاصل از مدل مکسنت (شکل ۶)، مهم‌ترین پارامترهای توپوگرافی مؤثر در فرسایش خندقی حوضه الوند شامل این موارد است: ۱. ارتفاع؛ ۲. فاصله عمودی تا سطح کانال؛ ۳. تجمع جریان. پارامتر ارتفاع، با میزان ۳۵/۷٪، مهم‌ترین پارامتر مؤثر در فرسایش خندقی در حوضه الوند محسوب می‌شود. بین ارتفاع و مناطق مستعد فرسایش آبکندی (از نظر کمی) رابطه معکوس برقرار است که بیشترین خندق‌ها در قسمت خروجی و مناطق کم‌ارتفاع قرار دارند. اراضی کم‌ارتفاع منطقه مربوط به خروجی حوضه دارای خاک مارنی است که موجب کاهش اختلاف ارتفاع و به‌طور مستقیم، کاهش شیب می‌شود (Zakerinejad & Märker, 2014). پارامتر فاصله عمودی از سطح شبکه کانال با ۲۰/۶٪، بعد از ارتفاع، بیشترین تأثیر را داشته است. همچنین، پارامتر سطح پایه شبکه کانال، که تأثیر عوامل هیدرولوژیکی و شبکه آبراهه مؤثر در فرسایش خندقی را بیان می‌کند، با نتایج شهبازی و همکاران (۱۳۹۴) همخوانی دارد. تجمع جریان، با ۱۹/۷٪، سومین پارامتر مؤثر است. میزان این پارامتر با حجم آب و مساحت حوضه بالادست ارتباط مستقیمی دارد (Hengl & Reuter, 2009).

۳-۴- بررسی روند تأثیرات هریک از پارامترهای توپوگرافی در فرسایش خندقی با استفاده از رگرسیون لجستیک

براساس مفاهیم رگرسیون دوسویی لجستیک، هریک از شاخص‌های توپوگرافی به‌منزله واقعه‌ای تصادفی،

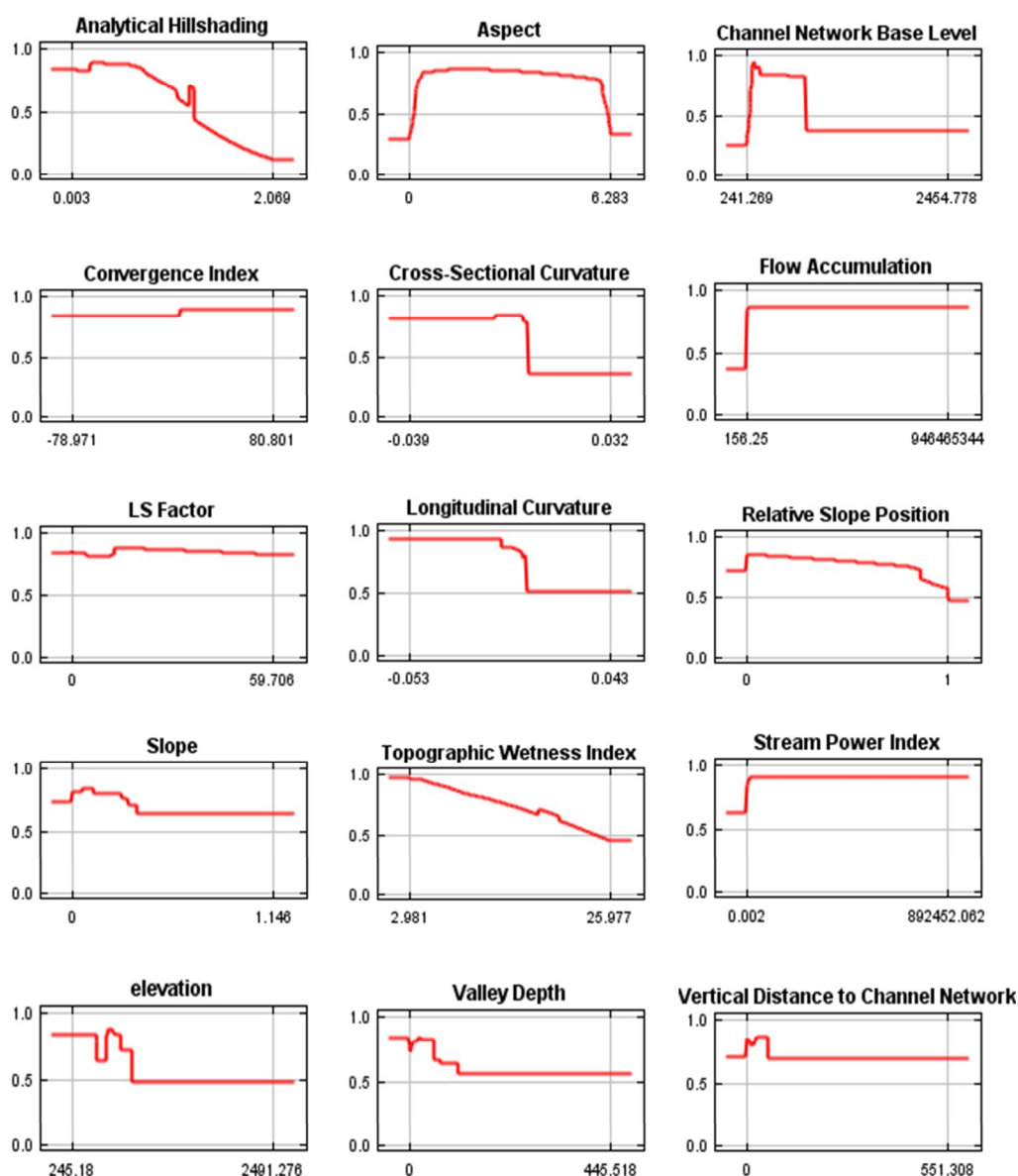
پارامترهای مؤثر در فرسایش خندقی (درصد)



شکل ۶. نمودار تأثیر پارامترهای مؤثر در فرسایش خندقی

برای هریک از پارامترهای توپوگرافی این مدل آماری اجرا و براساس بازه‌های طبقه‌بندی‌های صورت گرفته، مؤثرترین طبقه‌ها معرفی شده‌اند. در شکل ۷، نمودار تأثیر هریک از شاخص‌های توپوگرافی در ایجاد فرسایش خندقی مشخص شده است.

می‌تواند در ایجاد فرسایش خندقی، در دو حالت یا دو موقعیت، مؤثر باشد. این دو حالت به صورت تأثیر داشتن و یا بی تأثیر بودن بررسی می‌شود که مجموع احتمال هریک از آنها، در نهایت، یک خواهد شد. در این بخش،



شکل ۷. نمودار روند تأثیر پانزده پارامتر توپوگرافی در فرسایش خندقی

۳-۵- پیش‌بینی مناطق مستعد

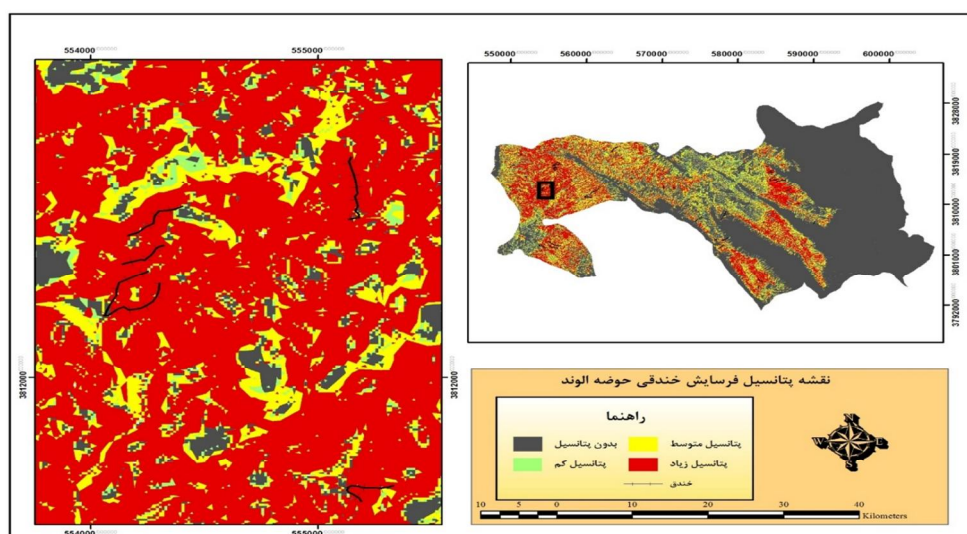
نقشه مکانی مناطق مستعد فرسایش خندقی در شکل ۸ برای کل حوضه آبخیز تهیه شد. هنگام تهیه نقشه موقعیت مکانی خندق‌ها، تعدادی از خندق‌ها به‌طور تصادفی، برای بررسی صحت مناطق پیش‌بینی‌شده از طریق مدل، انتخاب شدند. شایان ذکر است موقعیت مکانی این خندق‌ها در ارزیابی مدل و پیش‌بینی مناطق مستعد فرسایش خندقی به‌کار نرفته است. نقشه مناطق مستعد با خندق‌ها انطباق داده شد. ارتباط مکانی خندق‌ها و نقشه پتانسیل تهیه‌شده از مدل مورد تأیید قرار گرفت. نقشه حاصل از مناطق مستعد فرسایش خندقی در چهار طبقه حساس طبقه‌بندی شد که

اساس طبقه‌بندی و مساحت هر طبقه در منطقه بدین صورت است:

۱. بدون پتانسیل (احتمال ۰-۱۰٪، ۶۴٪ از مساحت حوضه)؛
۲. پتانسیل اندک (احتمالاً ۱۰-۱۵٪، ۶٪ از مساحت حوضه)؛
۳. پتانسیل متوسط (احتمال ۱۵-۳۰٪، ۱۳٪ از مساحت حوضه)؛
۴. پتانسیل زیاد (۳۰-۱۰۰٪، ۱۷٪ از مساحت حوضه) که به فرسایش خندقی حساس‌اند. در صورتی که نقشه پتانسیل را فقط به مناطق حساس نسبت دهیم، ۱۶.۷۱٪ دارای پتانسیل اندک، ۳۶.۰۷٪ دارای پتانسیل متوسط و ۴۷.۲۱٪ با پتانسیل بالا به فرسایش خندقی حساس‌اند. در جدول ۲، به‌صورت خلاصه به این مطلب اشاره شده است.

جدول ۲. تفکیک مناطق مستعد برحسب پتانسیل

پتانسیل مناطق برای خندقی شدن	بازه احتمال نسبت داده شده (درصد)	مساحت به نسبت کل حوضه (درصد)	به نسبت مناطق حساس (درصد)
بدون پتانسیل	۰-۱۰	۶۴	-
اندک	۱۰-۱۵	۶	۶۱.۷۱
متوسط	۱۵-۳۰	۱۳	۳۶.۳۷
زیاد	۳۰-۱۰۰	۱۷	۴۷.۲۱



شکل ۸. نقشه پیش‌بینی مناطق مستعد فرسایش خندقی

کنترلی فرسایش خندقی بسیار اهمیت دارد. افزون‌بر پیش‌بینی مناطق حساس به فرسایش خندقی، می‌توان یک مدل اطلاعاتی درمورد مهم‌ترین لایه‌های محیطی، که باعث فرایند خندقی شدن در حوضه الوند می‌شوند، مطرح کرد. این درحالی است که بیشتر مطالعات فرسایش خندقی در ایران، به‌ویژه حوضه الوند، براساس مورفولوژی و مراحل توسعه خندق صورت گرفته (Nazari Samani et al., 2009; Ahmadi et al., 2007;) Sadeghi & Noormohamadi, 2011; Shahrivivar et al., 2012) و تا کنون مدلی برپایه تحلیل مکانی خندق‌ها در این حوضه ارائه نشده است. نتایج حاصل با شواهد میدانی و نتایج مورد انتظار همخوانی داشت. مهم‌ترین عامل ارتفاع، فاصله عمودی از سطح کانال، تجمع جریان و مساحت حوضه بالادست محسوب می‌شود. افزون‌بر این، عملکرد بسیار مناسب مدل، با توجه به مقادیر (AUC) برای مجموع داده‌های آموزش (۰.۹۲۵) و برای مجموع داده‌های تست (۰.۸۹۹)، تأثیر بسیار بالای پارامترهای در نظر گرفته‌شده در فرسایش خندقی حوضه الوند را نشان می‌دهد. استفاده از این مدل برای مناطقی که به داده‌های زمینی دسترسی ندارند و یا مشکل نواقص آمار و اطلاعات کافی دارند توصیه می‌شود. برای افزایش دقت مدل و ایجاد همگنی بیشتر نیز، استفاده از پارامترهای دیگر، از جمله کاربری و پوشش گیاهی در مدل، توصیه می‌شود.

۶- منابع

- Ahmadi, H., 1999, **Applied Geomorphology (Water Erosion)**, Volume I, Tehran University Press.
- Ahmadi, h., Mohammadi, A., Ghodousi, J., & Salajegheh, A., 2007, **Testing the four models for prediction of gully head advancement (case study: Hableh Rood basin - Iran)**, Biaban, 12, pp 61-68.
- Angileri, S. E., Conoscenti, C., Hochschild, V., Märker, M., Rotigliano, E., & Agnesi, V., 2016, **Water erosion susceptibility mapping by applying Stochastic Gradient Treeboost to the Imera Meridionale River Basin (Sicily, Italy)**, *Geomorphology*, 262, pp. 61-76.

با توجه به نقشه پیش‌بینی حساسیت فرسایش خندقی برای حوضه الوند (شکل ۵)، به‌طور کلی، غرب و جنوب‌غرب این حوضه به فرسایش خندقی حساس است. نتایج به‌دست‌آمده با نتایج دیگر پژوهش‌های صورت‌گرفته در منطقه مورد مطالعه همسو و همخوان است (Feiznya et al., 2007; Entezari et al., 2015;) (Shahbazi et al., 2016).

۴- بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، یکی از مهم‌ترین اولویت‌های حوضه الوند، با وجود خندق‌های به طول چندصد متر و عمق ۶ تا ۱۰ متر، کنترل فرسایش خندقی است. قرارگرفتن بیشتر خندق‌ها در زمین‌های کشاورزی و وابستگی شدید حوضه‌نشینان به کشاورزی می‌تواند اقتصاد و مسائل اجتماعی آینده آنها را تحت تأثیر خود قرار دهد؛ به همین سبب، مطالعه فرسایش خندقی برای پیشگیری، کنترل و جلوگیری از پیشروی مناطق مستعد بسیار اهمیت دارد. در این مطالعه، نشان داده شد که تجزیه و تحلیل زمین، با استفاده از داده‌های سنجش از دور و مدل‌سازی تصادفی، ابزاری قدرتمند برای پیش‌بینی مکانی مناطق حساس به فرسایش خندقی به‌شمار می‌رود. همچنین، بیان شد که، با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی حاصل از داده‌های سنجش از دور با دقت بالا، می‌توان عوامل توپوگرافی مؤثر در فرسایش خندقی در قالب پارامترهای توپوگرافی را مشخص کرد. هدف اصلی انتخاب عوامل توپوگرافی دسترسی آسان و ارزان و اهمیت این عوامل در مطالعات خارجی و داخلی است که بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند (Koco, 2006;) Nazari Samani et al., 2010; Zakerinejad & Märker, 2014). بالاین‌حال، ارزیابی فرسایش خندقی، با استفاده از تجزیه و تحلیل سطح زمین و یک مدل تصادفی، نخستین‌بار در حوضه الوند صورت گرفته و نتایج بیانگر دقت بالای این مدل برای ارزیابی فرسایش خندقی مؤثر است. ایجاد و طرح نقشه پیش‌بینی مناطق مستعد فرسایش خندقی برای امور مدیریتی و

- Angileri, E.S., 2012, **water erosion prediction by stochastic and empirical models in the Mediterranean: a case study in northern Sicily (Italy)**.PH.D thesis, department of geography Eberhard Karl's university Tubingen, Germany.
- Arekhy, S., and Niyazi, E., 2010, **Application of GIS and RS to estimate soil erosion and sediment (model RUSLE)**, Magazine researches soil and water conservation, Volume 17, Issue 2, pp. 27-1.
- Bayramün, I., Dengüz, O., Bapkan, O., & Parlak, M., 2003, **Soil Erosion Risk Assessment With ICONA Model; Case Study: Beypazary area**, Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 27, pp. 105-116.
- Capra, A., & Scicolone, B., 2002, **Ephemeral gully erosion in a wheat- cultivated area in Sicily (Italy)**, Biosystems Engineering, 83 (1), pp 119- 126.
- Ehiorobo, J.O., & Audu, H.A.P., 2012, **Monitoring of Gully Erosion in an Urban Area Using Geoinformation Technology**, Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences (JETEAS), 3 (2), pp. 270-275.
- Elith, J., Graham, C.H., Anderson, R.P., Dudik, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R.J., Huettmann, F., Leathwick, J.R., Lehmann, A., Li J., Lohmann, L.G., Loiselle, B.A., Manion, G., Moritz C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J.M., Peterson, A.T., Phillips, S.J., Richardson, K., Scachettipereira, R., Schapire, R.E., SOBERON, J., Williams, S., Wisz, M.S., & Zimmermann, N.E., 2006, **Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data**, Ecography, 29, pp. 129-151.
- Entezari, M., maleki, A., Moradi, S., 2015, **Erosion gully catchment area of Deira using a weighted combination of index and stream power**, Geographical Research Quarterly, Vol. 30, No. 3, serial number 118, pp. 297-312.
- Feiznya, S., heshmati, M., Ahmadi, H., and Ghodousi, J., 2007, **brssy marl Aghajari gully erosion in the area of Qasre Shirin**, Journal of Natural Resources, Issue 74, Pp. 32-40.
- Fielding, A.H., & Bell, J.F., 1997, **A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/ absence models**, Environmental Conservation, 24, pp. 38-49.
- Flugel, W., Marker, M., Moretti, S., Rodolfi, G., & Sidorchuk, A., 2003, **Integrating geographical information systems, remote sensing, ground trothing and modeling approaches for regional erosion classification of semi-arid catchments in South Africa**. Hydrological Processes, 17 (5), pp.929-942.
- Gomez, B., Banbury, K., Marden, M., Trustrum, N.A., Peacock, D.H., & Hoskin, P.J., 2003, **Gully erosion and sediment production, The War Area Stream, New Zealand**, Water Resources Research, 39 (7), pp.1187.
- Hadley, R.F., Lal, R., Onstad, C.A., Walling, D.E., Yair, A., 1985, **Recent Developments in Erosion and Sedement Yield Studies**, Technical Documents in Hydrology, UNESCO, Paris.
- Heidary, f., & sabohy, r., 2015, **Investigating the Factors Affecting the Growth of Gulls and Determining Their Propagation Model in Kerman Province (Case Study of Baft, Rabor and Rhine Area)**, Engineering Sciences of Iran, 9 (29), pp.1-10.
- Hengl, T., Gruber S., & Shrestha, D.P., 2003, **Digital terrain analysis in ILWIS: lecture notes and user guide. Enschede. Netherlands: International Institute for Geo information**. Science and Earth Observation (ITC).
- Hengl, T., & Reuter, I.H., 2009, **Geomorphometry. Concepts, Software, Applications**, Developments. In: Soil Science, 33, Amsterdam, Oxford, (a cura di).
- Hosmer, D.W., & Lemeshow, S., 2000, **Applied Logistic Regression**, 2nd ed. Wiley, NewYork,
- Howard, A.M., Bernardes, S., Nibbelink, N., Biondid, L., Presotto, A., Fragaszy, D.M., & Madden, M., 2012, **A maximum entropy model of the bearded capuchin monkey habitat incorporating topography and spectral unmixing analysis**, ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, I-2. XXII ISPRS Congress, Melbourne, Australia.
- Ionita, I., Fullen, M.A., Zgłobicki, W., Poesen, J., 2015, **Gully erosion as a natural and human-induced hazard**, Nat. Hazards, 79, pp. 1-5.
- Kheir, R., Wilson, J., & Deng, Y., 2007, **Use of terrain variables for map- ping gully erosion susceptibility in Lebanon**, Earth Surface

- Processes and Landforms, 32, pp.1770-1782.
- KOCO, S., 2006, **Modeling the inception of gully erosion around town of Bardejov using geographic information systems**, Katedra geografie a regionálneho rozvoja, M.sc thesis, Slovenia.
- Kumar, S. & Stohlgren, T., 2009, **Maxent modeling for predicting suitable habitat for threatened and endangered tree *Canacomycricamonticola* in New Caledonia**, Journal of Ecology and Natural Environment, 1 (4), pp. 094-098.
- Lal, R., 2001, **Soil degradation by erosion**, Land Degrad. Dev, 12 (6), pp. 519-539.
- Maerker, M., Quénéhervé, G., Bachofer, F., & Mori, S., 2015, **A simple DEM assessment procedure for gully system analysis in the Lake Manyara area, northern Tanzania**, Natural Hazards, 79(1), pp. 235-253.
- Marker, M., 2001, **Assessment of gully erosion process dynamics for water resources management in a semiarid catchment of Swaziland (Southern Africa)**, Erosion Prédiction in Ungauged Basins: Integrating Methods and Techniques (Proceedings of symposium HS01 held during IUGG2003 at Sapporo, July 2003), AHS Publ. no. 279.
- Marker, M., Pelacani, S., & Schroder, B., 2012, **A functional entity approach to predict soil erosion processes in a small Plio-Pleistocene Mediterranean catchment in Northern Chianti, Italy**, Geomorphology, 125 (4), pp.530-540.
- Martinez-Casasnovas, J. A., 2003, **A spatial information technology approach for the mapping and quantification of gully erosion**, Catena, 50(2), pp. 293-308.
- McInnes, J., Vigiak, O., & Roberts, A.M., 2011, **Using Google Earth to map gully extent in the West Gippsland region (Victoria, Australia)**, 19th International Congress on Modeling and Simulation, Perth, Australia, 12-16 December.
- Montgomery, D.R., & Dietrich, W.E., 1994, **A physically based model for the topographic control on shallow land sliding**, Water Resources Research, 30, pp. 1153-1171.
- Morgan, R.P.C., Mongomezulu, 2003, **Threshold conditions for initiation of valley side gullies in Middleveld of Swaziland**, Catena, volume50, Issues 2-4, pp. 401-414.
- Nazari Samani A., Ahmadi, H., Jafari, M., & Boggs, G., 2009, **Geomorphic threshold conditions for gully erosion in Southwestern Iran (Boushehr-Samal watershed)**.
- Nazari Samani, A., Ahmadi, H., Mohammadi, A., Ghoddousi, J., Salajegheh, A., Boggs, B., & Pishyar, R., 2010, **Factors Controlling Gully Advancement and Models Evaluation (Hableh Rood Basin, Iran) Water Resource Management**, 24, pp.1531-1549.
- Pishyar, R., 2010, **Factors Controlling Gully Advancement and Models Evaluation (Hableh Rood Basin, Iran)**, Water Resource Management, 24, pp. 1531-1549.
- Poesen, J., Nachtergaele, J., Verstracten, G. and Volentin, C., 2003, **Gully erosion and environmental change: Importance and research needs**, Catena, 50, 91, pp. 133.160.
- Pallaris, K., 2000, **Terrain modelling for erosion risk assessment in the Cabuyal river catchment: comparison of results with farmer perceptions**, Advances in Environmental Monitoring and Modelling, 1 (1), pp. 149-177.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P., & Schapire, R.E., 2006, **Maximum entropy modeling of species geographic distributions**, Ecological Modelling, 190, pp. 231-259.
- Phillips, S.J., Dudik, M., & Schapire, R.E., 2004, **A maximum entropy approach to species distribution modeling**, Proceedings of the 21st International Conference on Machine Learning. ACM Press, New York, pp. 655-662.
- Poesen, J.W., 1996, **Contribution of gully erosion to sediment production on cultivated lands and rangelands**, Yield, Global and Regional Perspectives (Proceedings of the Exeter Symposium July 1996), Iahs Publ., 236.
- Potere, D., 2008, **Horizontal positional accuracy of Google earth's high resolution imagery archive**, Sensors, 8, 7973-7981.
- Qin, C-Z., Zhu, A-X., Pei, T., Li, B-L., Scholten, T., Behrens, T. and Zhou, C-H., 2011, **An approach to computing topographic wetness index based on maximum downslope gradient**, Precision Agriculture, 12, pp. 32-43.
- Rahimifar, A., Bordisheikh, V., Bahrehmand, A., 2011, **Introducing and mapping of topographic wetness index (TWI)**, The fifth conference of watershed management, soil and water resources, March 2011.
- Rahmati, O., Tahmasebipour, N., Haghizadeh, A.,

- Pourghasemi, H. R., & Feizizadeh, B., 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, pp. 913-927.
- Sadeghi, S.H., & Noormohamadi, F., 2011, **Gullies' allometric models in Dareshahr region, Ilam province, Iran**, Watershed Management Research, 85, Sciences, 35, pp. 180-189.
- Shahbazi, kh., Salajegheh, A., Jafar, M., Ahmadi, H., nazari, S., Khosroshahi, M., 2016, **Comparison of the threshold hydraulic flow gully erosion in different land uses (CASE STUDY: Al Qasre Shirin, Kermanshah Province)**, Rangeland and Watershed Journal, Volume 69, Issue 4, Pp. 931-947.
- Shahrivar, A., Tehbconsung, C., Jusop, S., Abdul Rahim, A., & Soufi, M., 2012, **Roles of SAR and EC in Gully Erosion Development (A Case Study of Kohgiloye va Boyerahmad Province, Iran)**, Journal of Research in Agricultural Science, 8 (1), pp.1-12.
- Shit, P. K., Paira, R., Bhunia, G., & Maiti, R., 2015, **Modeling of potential gully erosion hazard using geo-spatial technology at Garbheta block, West Bengal in India**, Modeling Earth Systems and Environment, 1(1-2), pp. 1-16.
- Shit, P.K., Bhunia G.S., Maiti, R., 2013a, **Assessment of Factors Affecting Ephemeral Gully Development in Badland Topography: a Case Study at Garbheta Badland (PashchimMedinipur)**, Int J Geosci4(2), pp.461-470.
- Shit, P.K., Bhunia G.S., Maiti, R., 2013a, **Assessment of Factors Affecting Ephemeral Gully Development in Badland Topography: a Case Study at Garbheta Badland (PashchimMedinipur)**, Int J Geosci4(2), pp. 461-470.
- Shit, P.K., Bhunia G.S., Maiti, R., 2013b, **Assessing the performance of check dams to control rill-gully erosion: small catchment scale study**, Int J Curr Res 5(4), pp. 899-906.
- Sidorchuk, A., Märker, M., Moretti, S., & Rodolfi, G., 2003, **Gully erosion modelling and landscape response in the Mbuluzi River catch- ment of Swaziland**, Catena, 50, pp. 507-525.
- Soil Science Society of America, 2001, Glossary of Soil Science Terms. Soil Science Society of America, Madison, WI. <http://www.soils.org/sssagloss/>.
- Solimanpour, s.m., Soufi, m., & Ahmadi, h., 2010, **A Study on the Topographic Threshold and Effective Factorson Sediment Production and Gully Development in Neyriz, Fars Province**. Journal of Range and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources, 63 (1), pp.41-53.
- Solomonpour, M., Hedayati, B., Sufi, M., And Ahmadi, H., 2015, **Determination of the threshold of effective factors on the longitudinal extension of gullies using data mining techniques in Mahoor milati area of Fars province**, Engineering Sciences of Iran. 9 (29), pp.47-57.
- Suriyaprasit, M., 2008, **Digital terrain analysis and image processing for assessing erosion prone areas**, M.Sc thesis, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Netherland.
- Torkashvand, A.M., 2008, **Investigation of some methodologies for gully erosion mapping**, Journal of Applied Sciences, 8 (13), pp. 2435-2441.
- Vandekerckhove, L., Muys, B., Poesen, J., Deweerdt, B., & Coppé, N., 2001, **A method for dendrochronological assessment of medium- term gully erosion rates**, Catena, 45, pp.123-161.
- Vázquez selem L, & Zinck, J.A, 1994, **Modelling gully distribution on volcanic terrains in the Huasca area, Central Mexico**. ITC Journal, 3, pp. 238-251.
- Wilson, J.P., & Gallant, J.C., 2000, **Digital terrain analysis**. In: Wilson J.P. & Gallant J.C. (Eds.), «Terrain Analysis: Principles and Applications», J. Wiley, New York, pp.1-27.
- Zakerinejad, R., & Märker, M., 2014, **Prediction of Gully erosion susceptibilities using detailed terrain analysis and maximum entropy modeling: a case study in the Mazayejan Plain, Southwest Iran**, Geogr Fis Din Quat, 37(1), pp.
- Zakerinejad, R., Maerker, M., 2015, **An integrated assessment of soil erosion dynamicswith special emphasis on gully erosion in the Mazayjan basin, southwestern Iran**. Nat. Hazards, 79 (1), pp. 25-50.