



سنگش از دور

,

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال پانزدهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۲
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.15, No. 2, Summer 2023

۱۷-۳۶

مقاله پژوهشی

طبقه‌بندی لندفرم‌ها با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی و بررسی ریسک واقعی فرسایش آنها در مناطق کوهستانی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز خارستان)

فریده تازی‌پناه^{۱*}، ابوالفضل رنجبر^۲، عباسعلی ولی^۳، مرضیه مکرّم^۳

۱. دانش‌آموخته دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

۲. دانشیار گروه علوم بیابان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

۳. دانشیار بخش مرتع و آبخیزداری دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۱/۲۴

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۸/۲۴

چکیده

یکی از بخش‌های نوین و کم‌سابقه، به‌ویژه در مطالعات داخلی، بررسی کمی ناهمواری‌هاست. شناخت علمی و کمی‌گرایانه موقعیت توپوگرافی همواره از مباحثی بوده که در تحقیقات داخلی، چندان به آن توجه نشده است. این مبحث تأثیر بسزایی در تحلیل‌های ژئومورفولوژیک، هیدرولوژی و محیط‌شناسی دارد. وجود انواع لندفرم‌ها و تنوع آنها معمولاً با تغییر شکل و موقعیت زمین کنترل می‌شود؛ بنابراین طبقه‌بندی و شناسایی مناطق گوناگون، با توجه به ویژگی‌های مورفومتری آنها، ضروری است و از این رو پژوهش حاضر سعی در طبقه‌بندی لندفرم‌ها در منطقه خارستان، واقع در شمال‌غرب استان فارس و عوامل مؤثر در آن دارد. در همین زمینه، در مرحله اول، از روش شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) به‌منظور طبقه‌بندی لندفرم‌ها و روش کورین برای تعیین کلاس‌های ریسک واقعی فرسایش استفاده شد. همچنین به‌منظور تعیین شاخص تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی (NDVI) از تصاویر ماهواره لندست ۸، مربوط به خرداد ۱۳۹۶، بهره گرفته شد. در مرحله بعد، رابطه انواع گوناگون لندفرم با فاکتورهای زمینی ارتفاع، شیب، جهت شیب، شاخص خستگی توپوگرافی (TWI)، شاخص ناهمواری زمین (TRI) و NDVI مشخص شد. در مرحله آخر، وضعیت لندفرم‌های گوناگون در کلاس‌های متفاوت ریسک فرسایش، تعیین شد. نتایج نشان‌دهنده ده گونه لندفرم در منطقه مورد مطالعه بود. بیشترین نوع لندفرم‌ها در منطقه مورد مطالعه، آبراهه و قله‌های مرتفع، به‌ترتیب با مساحت ۲۷/۷۱ و ۲۷/۴۸٪ بود؛ در صورتی که دشت‌های کوچک کمترین مساحت (۱/۱۸٪) منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شدند. کلاس‌های لندفرم با شاخص خستگی توپوگرافی در سطح ۹۵٪ همبستگی معنی‌داری را نشان داد. از نظر توزیع مکانی، بیشترین سطح (۹۱/۷۱٪) منطقه را NDVI کلاس ۰/۱ تا ۰/۳ دربر می‌گرفت. NDVI بزرگ‌تر از ۰/۴ در لندفرم‌های آبراهه و دره‌های لاشکل مشاهده شد. ریسک واقعی فرسایش در سه کلاس کم، متوسط و زیاد با مساحت‌های ۳۱/۱۴٪، ۳۱/۱۱٪ و ۳۷/۷۸٪ طبقه‌بندی شد. در کلاس فرسایش کم، متوسط و زیاد، لندفرم‌های آبراهه و یال‌های مرتفع و قله به‌ترتیب با ۵۷٪، ۴۴٪ و ۵۹٪ بیشترین سطح را به خود اختصاص دادند.

کلیدواژه‌ها: طبقه‌بندی لندفرم، فاکتورهای زمینی، NDVI، ریسک فرسایش، منطقه خارستان.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: کاشان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین. تلفن: ۰۹۰۳۵۷۶۹۱۶۹

Email: Taripناه.f@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-8592-2968>

<https://dx.doi.org/10.48308/gisj.2023.102344>



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

۱- مقدمه

فراوانی سیل را نشان می‌دهد. از دیگرسو، افزایش پوشش گیاهی سبب کاهش وقوع سیل در منطقه می‌شود (Burr et al., 2009; Chalmers et al., 2012).

طبقه‌بندی لندفرم‌ها به دلیل پیچیدگی سطح زمین انجام می‌شود و این کار، با استفاده از تکنیک‌هایی برای اندازه‌گیری شکل و تقسیم آن به اجزا، آسان‌تر است (Gerçek, 2010). طبقه‌بندی لندفرم‌ها از موضوع‌های اصلی تحقیق در ژئومورفولوژی محسوب می‌شود (Pike et al., 2009) و در علوم زمین بسیار مورد توجه قرار گرفته است زیرا دامنه کاربرد گسترده‌ای دارد؛ از جمله این کاربردها می‌توان به تهیه نقشه سنگ‌شناسی، پیش‌بینی ویژگی‌های خاک و تهیه نقشه پوشش گیاهی و کشاورزی دقیق اشاره کرد (Pfiffner & Akühni, 2001; Florinsky et al., 2002).

مدل رقومی ارتفاع (DEM)^۱، به‌طور گسترده‌ای در کره زمین، نمایانگر سطح زمین است (Pakoksung & Takagi, 2016) و از فاکتورهای مهم در ارزیابی هر فرایند از طریق شیب، جهت، زبری و پستی و بلندی‌های کوچک محسوب می‌شود (Pakoksung & Takagi, 2015). در مطالعات مشابه گزارش شده است که ویژگی‌های زمین با استخراج لایه‌های شیب، جهت، ارتفاع، انحنای پروفیل و شاخص رطوبت توپوگرافی توصیف می‌شود (Salvacion, 2016). در طول دهه‌ها، نقشه‌هایی همچون مدل رقومی ارتفاع، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای، به‌منزله داده‌های ورودی، در طبقه‌بندی لندفرم به کار رفتند. امروزه از سیستم اطلاعات جغرافیایی، به‌صورت یکی از ابزارهای قوی داده‌های فضایی، برای تولید نقشه‌هایی مانند لندفرم استفاده می‌شود. این تکنیک را می‌توان در دیگر تجزیه و تحلیل‌های سطح زمین نیز به کار برد (De Reu et al., 2013; Howey & Clark, 2018).^۲ GIS ابزاری است که می‌تواند، به‌صورت نیمه‌خودکار، لندفرم‌ها را

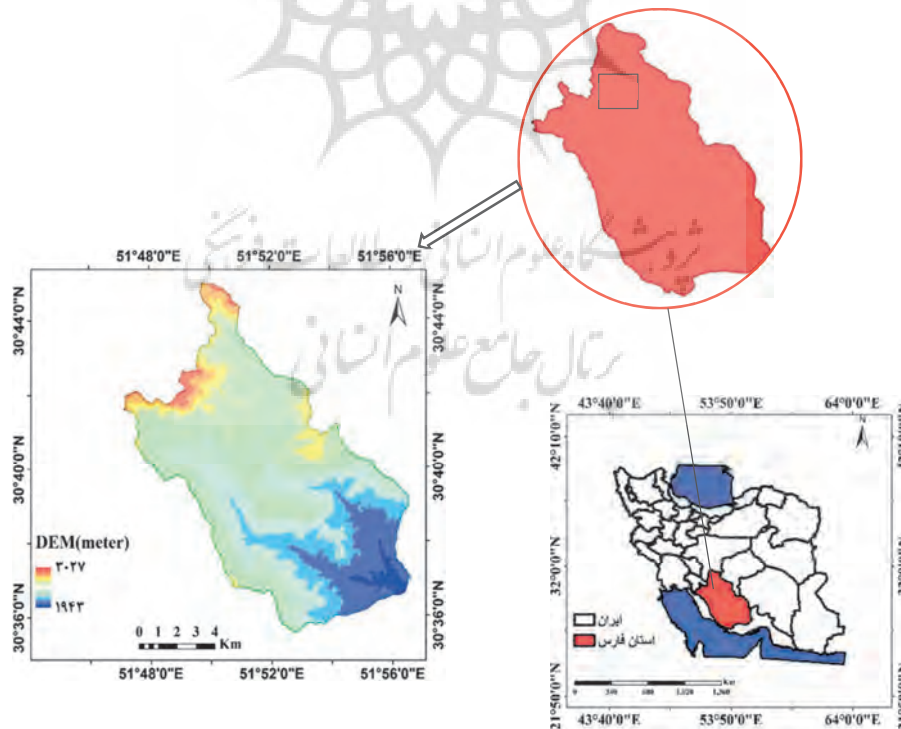
لندفرم‌ها فاکتورهایی مهم‌اند که در شرایط فیزیکی تأثیر می‌گذارند و با توپوگرافی، فرایند و مواد همبستگی بسیاری دارند. توپوگرافی از عوامل مهم کنترل‌کننده لندفرم است و در آنالیز لندفرم‌ها، به رابطه ارتفاع و شیب اشاره دارد (Schaeztl, 2013; Lindsay & Rassel, 2015; Guber et al., 2017). در مقیاس محلی، توپوگرافی به‌منزله یکی از عوامل مؤثر در مدیریت، تنوع و تولیدات جنگل دارای اهمیت است (Kubota et al., 2004). لندفرم‌ها از ویژگی‌های طبیعی سطح زمین‌اند و آرایش آنها در چشم‌انداز به‌منزله توپوگرافی شناخته می‌شود. تجزیه و تحلیل زمین^۱ و لندفرم‌ها، به‌همراه اطلاعات داده‌های خاک و زمین‌شناسی سطحی، به درک توپوگرافی منطقه کمک می‌کند و مناسب‌ترین مکان‌ها را برای استفاده‌های گوناگون زمین، تعیین می‌کند. گسترش و توزیع لندفرم‌های پیچیده همانند پشته‌ها، تپه‌ها و کوه‌ها یا لندفرم‌های ساده همچون دشت و دره اهمیت بسیاری دارد (Lindenmayer & Fischer, 2006). لندفرم‌ها نمایانگر تپه‌ها، کوه‌ها، فلات‌ها، کانیون‌ها، دره‌ها، ویژگی‌های خط ساحلی مانند خلیج‌ها، شبه‌جزیره‌ها و دریاها و نیز از جمله ویژگی‌های زیر آب، مانند پشته‌های میانه اقیانوس، آتشفشان‌ها و حوضه‌های بزرگ اقیانوس هستند. آنها براساس ویژگی‌های فیزیکی متمایز مانند ارتفاع، شیب، جهت، چینه‌بندی و نوع خاک طبقه‌بندی می‌شوند (Nair et al., 2018). برای توضیح محدودیت‌های جغرافیایی و نقشه تغییرات منابع طبیعی در حفظ مدیریت پایدار پوشش گیاهی، به‌منظور ارزیابی ظرفیت کاربری اراضی، اطلاعات درمورد ویژگی‌های زمین بسیار مهم است. علاوه‌براین مطالعه درباره ارتباط بین پوشش گیاهی و طبقه‌بندی لندفرم اهمیت دارد زیرا توزیع پوشش گیاهی، برپایه تجزیه و تحلیل ویژگی‌های لندفرم، از جنبه‌های مهم فرایند درک اکولوژی است (Hoersch et al., 2003; Pfeffer et al., 2003; Zawawi et al., 2014) و همچنین وجود لندفرم‌هایی، مانند یال‌های مرتفع،

1. Terrain
2. Digital Elevation Model
3. Geographical Information System

طبقه‌بندی کند. شاخص موقعیت توپوگرافی با استفاده از داده‌های GIS و سنجش از دور ایجاد می‌شود (Newman et al., 2018). بسیاری از موارد فیزیکی، مانند روند لندفرم‌ها روی چشم‌انداز، بسیار تحت تأثیر شاخص موقعیت توپوگرافی قرار دارند و لندفرم‌ها از ارتفاع، جهت شیب و شیب جدا نیستند (Weiss, 2001; Metelka et al., 2018, Yuan et al., 2019). شاخص موقعیت توپوگرافی براساس ارتفاع هر سلول در مقایسه با ارتفاع سلول‌های اطراف، معین می‌شود؛ از این رو در مطالعه حاضر، طبقه‌بندی لندفرم‌ها با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی، نقشه ریسک واقعی فرسایش و فاکتورهای مؤثر در آن بررسی شده است.

شیب متوسط منطقه ۱۱/۲٪ است و در منطقه‌ای کوهستانی واقع شده و اراضی مسطح به‌ندرت در آن دیده می‌شود. چینه‌های موجود در آن طبق قدمت از سازند هرمز، زون کمپلکس، پابده- گورپی، کشکان، آسماری و رسوب‌های آبرفتی Q₄ تشکیل شده است. مهم‌ترین فعالیت‌های کشاورزی رایج در این منطقه باغداری و کشت محصولات دیم و آبی است. بیشترین کاربری اراضی آن مرتع است و براساس پتانسیل تولید و ظرفیت چرای دام، شامل درجات متوسط و ضعیف و خیلی ضعیف می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها
۲-۱- منطقه مورد مطالعه
حوضه آبخیز خارستان یکی از زیرحوضه‌های آبخیز سد درودزن است که در محدوده جغرافیایی ۹° ۴۷' ۵۱" تا



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه خارستان در کشور ایران و استان فارس

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

به منظور ارزیابی پوشش گیاهی، از تصاویر چندزمانه^۱ لندست OLI8 استفاده شد. تصاویر از سایت زمین‌شناسی امریکا^۲ و در شرایط بدون ابر، با ردیف ۳۹ و مسیر ۱۶۳ به دست آمد. مقادیر NDVI^۳ از تصاویر، با فاصله شانزده روزه و قدرت تفکیک مکانی سی متر، در نرم‌افزار ENVI^۴ (نسخه ۵.۳) استخراج شد.

داده‌های اقلیمی از هفده ایستگاه هواشناسی (محلی) دریافت شد (جدول ۱). تمامی اطلاعات خاک‌شناسی مورد نیاز، شامل عمق و سنگ و سنگریزه و نیز بافت خاک (رس، سیلت و شن) در نقاط مورد مطالعه، از اداره منابع طبیعی و آبخیزداری کل استان فارس تهیه شد (جدول ۲). مدل رقومی-ارتفاعی، با قدرت تفکیک سی متر، از وب‌سایت زمین‌شناسی امریکا به دست آمد.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی (UTM)	عرض جغرافیایی (UTM)	ارتفاع (متر)	بارندگی (میلی‌متر)	دما (درجه سانتی‌گراد)
جمال بیگ	باران سنجی	۵۹۱۴۲۲	۳۳۸۶۵۸۱	۲۰۱۰	۴۵۶	۱۴/۵۵
دهکده سفید	باران سنجی	۵۹۸۰۸۹	۳۱۶۷۵۷۸	۲۱۸۱	۳۳۴	۱۱
منصورآباد	باران سنجی	۶۱۶۹۳۵/۱	۳۳۵۸۱۹۷	۱۶۹۰	۲۶۸	۱۳/۴
برغان	باران سنجی	۵۹۸۰۸۷	۳۳۴۲۴۶۷	۲۱۲۰	۵۲۱	۱۳
دشتک	باران سنجی	۶۴۱۱۱۴	۳۳۵۲۰۷۰	۲۰۴۶	۴۲۲	۱۲
سده	باران سنجی	۶۱۱۴۷۰	۳۳۹۹۱۴۱	۲۱۹۲	۴۱۵	۱۳/۴
چمریز	باران سنجی	۶۰۵۷۰۳	۳۳۷۰۹۰۲	۱۸۴۰	۳۸۶	۱۵
اقلید	سینوپتیک	۶۵۶۱۰۰	۳۴۱۹۶۶۲	۲۳۰۰	۳۱۵	۱۳
سپیدان	سینوپتیک	۵۹۷۱۷۹	۳۳۴۵۸۱۱	۲۲۰۱	۵۲۱	۱۴/۱۴
دروذن	سینوپتیک	۶۳۹۵۹۹	۳۳۳۹۹۸۹	۱۶۴۲	۴۲۴	۱۷/۵۵
تخت جمشید	سینوپتیک	۶۸۱۴۴۷	۳۳۱۳۶۲۳	۱۶۰۵	۲۹۶	۱۷/۴۶
سی سخت	سینوپتیک	۵۴۵۲۸۹	۳۴۱۱۲۳۷	۲۱۴۰	۵۰۸	۱۴
ایزدخواست	سینوپتیک	۶۰۷۲۶۷	۳۴۹۰۰۰۳	۲۱۸۸	۱۵۲	۱۳/۶۶
خرم‌بید	سینوپتیک	۶۹۹۷۶۸	۳۳۸۵۲۷۲	۲۲۵۱	۲۰۳	۱۱/۹۴
آباده	سینوپتیک	۶۵۸۸۱۵	۳۴۵۱۱۱۶	۲۰۳۰	۱۲۸	۱۴/۴
سمیرم	سینوپتیک	۵۵۶۷۲۲	۳۴۴۶۴۳۷	۲۲۳۷	۴۷۹	۱۳/۳
یاسوج	سینوپتیک	۵۵۸۴۳۵	۳۳۹۳۱۸۹	۱۸۱۶	۵۵۸	۱۴

1. Operational Land Imager
2. The United States Geological Survey
3. Normalized Vegetation Index
4. The Environment for Visualizing Image

جدول ۲. مشخصات پروفیل‌های خاک مورد استفاده در حوضه خارستان

شماره پروفیل	طول	عرض	عمق (سانتی‌متر)
۱	۵۸۷۶۰۳/۰۳	۳۳۸۹۶۰۰/۳۹	۱۱۰
۲	۵۸۳۹۵۵/۹	۳۳۸۹۶۶۳/۷۰۳	۸۵
۳	۵۸۱۳۳۳	۳۳۹۱۵۲۱/۵۶	۹۵
۴	۵۸۰۳۷۰/۴	۳۳۹۵۶۷۰/۵۱	۱۵
۵	۵۷۹۷۸۹/۴	۳۳۹۹۸۸۳/۸۸	۱۲
۶	۵۸۳۱۵۹/۴	۳۳۹۲۸۲۸/۵۶	۸۰
۷	۵۸۹۵۶۸/۱	۳۳۹۰۲۶۳/۰۸	۱۰۵
۸	۵۷۸۹۰۱/۵	۳۳۹۲۷۹۶/۵	۶۵
۹	۵۸۵۷۰۳/۵	۳۳۹۰۸۴۷/۳۶۸	۲۰
۱۰	۵۸۶۵۲۴/۳	۳۳۸۸۰۸۳/۱۰۸	۹۰
۱۱	۵۸۷۳۲۶/۱	۳۳۹۰۹۸۳/۵۵	۱۱۰
۱۲	۵۸۶۴۶۴/۶	۳۳۹۵۵۰۲/۲۸	۲۵

شاخص ناهمواری توپوگرافی رایلی^۴ و همکاران (۱۹۹۹) شاخص ناهمواری زمین را مطرح کردند که به‌نوعی اختلاف ارتفاع یک پیکسل با هشت پیکسل اطراف خود محسوب می‌شود. برای سنجش این شاخص، ارتفاع هر پیکسل از پیکسل‌های اطراف خود کم شد. برای مثبت شدن این اعداد، آنها را به توان ۲ می‌رسانند، از آنها میانگین می‌گیرند و ریشه دوم آنها را بار دیگر محاسبه و به پیکسل مورد نظر نسبت می‌دهند. در این پژوهش، شاخص زبری سطح با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS و برپایه مدل رقومی ارتفاع، با دقت سی متر و از طریق رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$TRI = \sqrt{\sum_{P=1}^8 ZMd} \quad \text{رابطه (۲)}$$

P تعداد پیکسل اطراف و ZMd میانگین تفاضل هشت پیکسل اطراف هر پیکسل است.

طبقه‌بندی و شناسایی لندفرم‌ها

به‌منظور جداسازی لندفرم‌های منطقه، از مدل رقومی ارتفاع با وضوح مکانی سی متر در نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. ده نوع لندفرم براساس شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI)^۵ شناسایی می‌شود.

در این پژوهش، با هدف بررسی و طبقه‌بندی لندفرم‌ها از روش همسایگی استفاده شد؛ بدین‌صورت که جداسازی لندفرم‌های منطقه با استفاده از TPI بررسی شد. طبق رابطه (۳)، TPI مقایسه ارتفاع هر سلول در یک مدل رقومی ارتفاع با میانگین ارتفاع سلول‌های همسایه است. در نهایت، ارتفاع میانگین از مقدار ارتفاع در مرکز کم می‌شود (Weiss, 2001).

$$TPI_i = Z_0 - \sum_{n=1}^n Z_n/n \quad \text{رابطه (۳)}$$

1. Spatial Analysis
2. Topographic Wetness Index
3. Terrain Ruggedness Index
4. Riley
5. Topography Position Index

۳-۲- روش پژوهش

در ابتدا، داده‌های مربوط به جهت، شیب و ارتفاع از DEM، با استفاده از بخش آنالیز فضایی^۱ در نرم‌افزار ArcGIS 10.3 تهیه شد. هر یک از این پارامترها که تأثیر شایان توجهی در هیدرولوژیک و توسعه لندفرم‌ها دارد، به‌منظور تولید ویژگی‌های ثانویه، یعنی شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)^۲ و شاخص ناهمواری زمین (TRI)^۳ استفاده شد. هر یک از این ویژگی‌ها، به‌منزله الگوریتم‌های متفاوتی، سلول‌های شبکه‌ای مربوط به روند تشکیل خاک را از هم متمایز می‌کند.

شاخص رطوبت توپوگرافی

این شاخص نشان‌دهنده ترکیب پستی و بلندی است، نسبت بین شیب‌ها را در حوضه به نمایش می‌گذارد و به شاخص خیزی نیز معروف است. شاخص مورد نظر، با استفاده از مدل رقومی ارتفاع، طبق رابطه (۱) و در نرم‌افزار ArcGIS 10.3 محاسبه شد.

$$TWI = 1n(As/\tan(\beta)) \quad \text{رابطه (۱)}$$

می‌شوند. این مدل شامل مراحل زیر است:
 مرحله اول: لایه‌های بافت خاک، عمق و درصد سنگ و سنگریزه (شکل ۲) نقشه فرسایش پذیری خاک را ایجاد می‌کنند. در این مطالعه، داده‌های بافت خاک (درصد رس، لای و شن)، عمق و درصد سنگ و سنگریزه از دوازده پروفیل که اداره منابع طبیعی استان فارس حفر کرده است، استخراج شد. فرسایش پذیری خاک طبق رابطه (۴) محاسبه می‌شود (Kosmas et al., 2003).

شاخص فرسایش پذیری = کلاس سنگریزه × کلاس عمق خاک × کلاس بافت خاک
 رابطه (۴)

مرحله دوم: شاخص‌های فورنیه (MFI) و خشکی بگنولز-گوسن (BGI) که از داده‌های هواشناسی ایستگاه هواشناسی محاسبه شده است، برای تشکیل لایه فرسایش پذیری استفاده می‌شود. شاخص رطوبتی فورنیه از طریق دو پارامتر کل بارش ماهیانه (Pi) و میانگین کل بارش سالیانه (P̄) به دست می‌آید و با استفاده از رابطه (۵) محاسبه می‌شود (Denguz & Akgul, 2004).

$$MFI = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{\bar{P}} \quad \text{رابطه (۵)}$$

در معادله بالا، Z_0 ارتفاع نقطه مدل مورد ارزیابی، Z_n ارتفاع از شبکه و n تعداد کل نقاط اطراف در نظر گرفته شده در ارزیابی است.

شاخص موقعیت توپوگرافی، ارتفاع هر پیکسل در مدل رقومی ارتفاع را با پیکسل مشخص اطراف آن مقایسه می‌کند. مقادیر مثبت TPI نشان‌دهنده مناطقی است که بالاتر از نقاط اطراف قرار گرفته‌اند (تپه‌ها) و مقادیر منفی TPI مناطقی را نشان می‌دهد که پایین‌تر از اطرافشان واقع‌اند (دره‌ها). مقادیر صفر و نزدیک صفر نیز بیانگر مناطق مسطح (جایی که شیب نزدیک صفر است) یا مناطقی با شیب ثابت است. طبق مقادیر TPI، یک طبقه‌بندی برای لندفرم صورت گرفته که به صورت جدول ۳ است.

تعیین نقشه ریسک فرسایش

در این تحقیق، برای تعیین خطر فرسایش، از مدل کورین استفاده شد. شاخص‌های این مدل را فرسایش پذیری خاک، فرسایش پذیری، شیب و پوشش سطح به منزله پایگاه داده‌های ضروری برای ارزیابی ریسک واقعی فرسایش خاک (ASER) در نظر می‌گیرند. پارامترها به صورت چهار شاخص جداگانه داده

جدول ۳. طبقه‌بندی انواع لندفرمها براساس شاخص موقعیت توپوگرافی

مقدار TPI	نوع لندفرم
$TPI \leq -1$	دره‌های باریک، آبراهه‌ها
$-1 < TPI < 1$	زهکش‌های شیب میانی، دره‌های کم عمق
$TPI \geq 1$	زهکش‌های مناطق مرتفع
$TPI \leq -1$	دره‌های U شکل
$-1 < TPI < 1$, Slope $\leq 5^\circ$	دشت
$-1 < TPI < 1$, Slope $> 5^\circ$	شیب‌های باز
$TPI \geq 1$	شیب‌های بالایی، مساه
$TPI \leq -1$	یال‌های موضعی، تپه‌های درون دره
$-1 < TPI < 1$	یال‌های شیب میانی، تپه‌های کوچک داخل دشت
$TPI \geq 1$	قله کوه، یال‌های مرتفع

منبع: Weiss, 2001

1. Assessment Soil Erosion Risk
2. Modified Fournier Index
3. Bagnouls-Gausson Aridity Index

مرحله سوم: کلاس‌های شیب از DEM منطقه مورد مطالعه ایجاد می‌شود. سپس لایه ریسک پتانسیل فرسایش خاک (PSER)^۱ از راه هم‌پوشانی لایه‌های فرسایش‌پذیری خاک، فرساینده‌گی و لایه‌های شیب ایجاد می‌شود.

مرحله چهارم: لایه LULC^۲ مشتق شده از تصاویر لندست و لایه ریسک پتانسیل فرسایش خاک، به منظور تهیه ریسک واقعی فرسایش خاک، ترکیب می‌شوند. شکل ۳ روش‌شناسی مورد استفاده در مدل کورین را نشان می‌دهد.

شاخص خشکی با استفاده از دو پارامتر اقلیمی، شامل میانگین دمای ماهیانه (t_i) و میانگین کل بارش ماهیانه (P_i) و طبق رابطه (۶) به دست می‌آید (Denguz & Akgul, 2004).

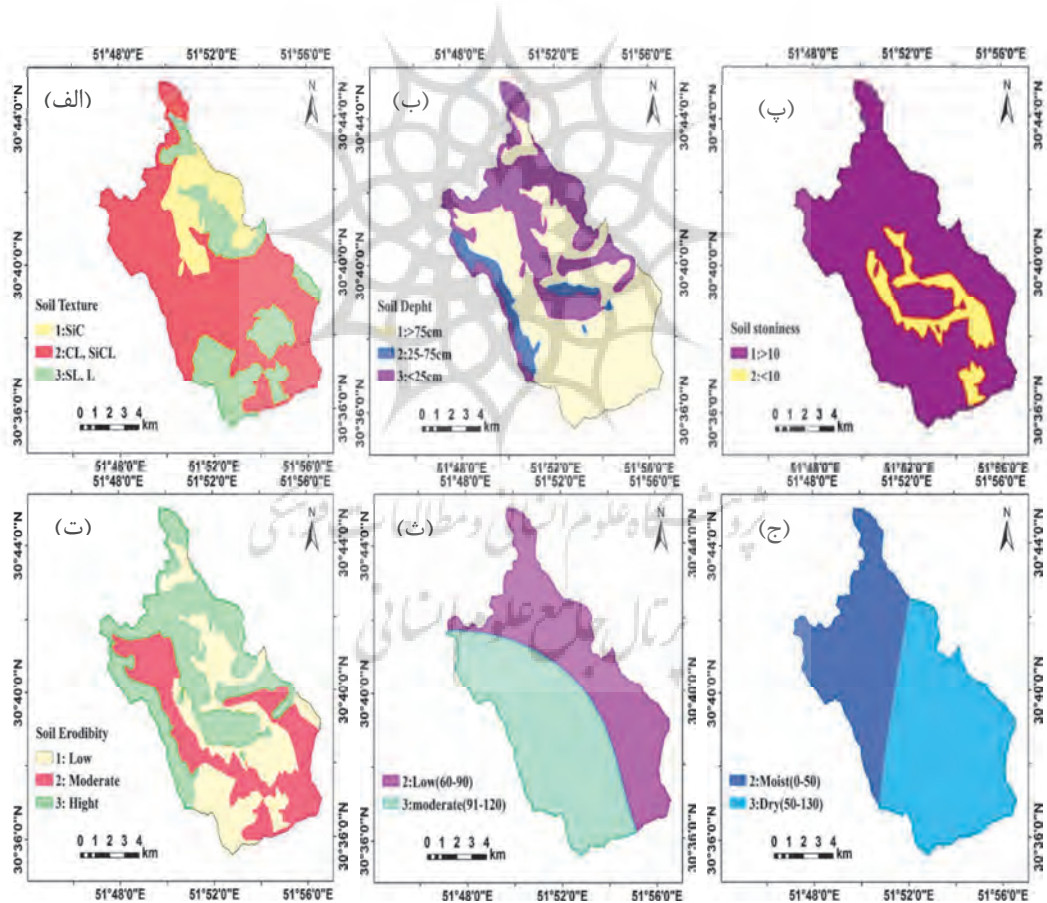
$$BGI = \sum_{i=1}^{12} (2t_i - p_i) k_i \quad (۶)$$

در معادله بالا، k_i نسبتی از ماه است که $2t_i - p_i > 0$ باشد و از منحنی‌های آمبروترمیک به دست می‌آید. سرانجام شاخص فرسایش‌دهندگی طبق رابطه (۷) محاسبه می‌شود.

فرسایش‌دهندگی = کلاس شاخص خشکی × کلاس

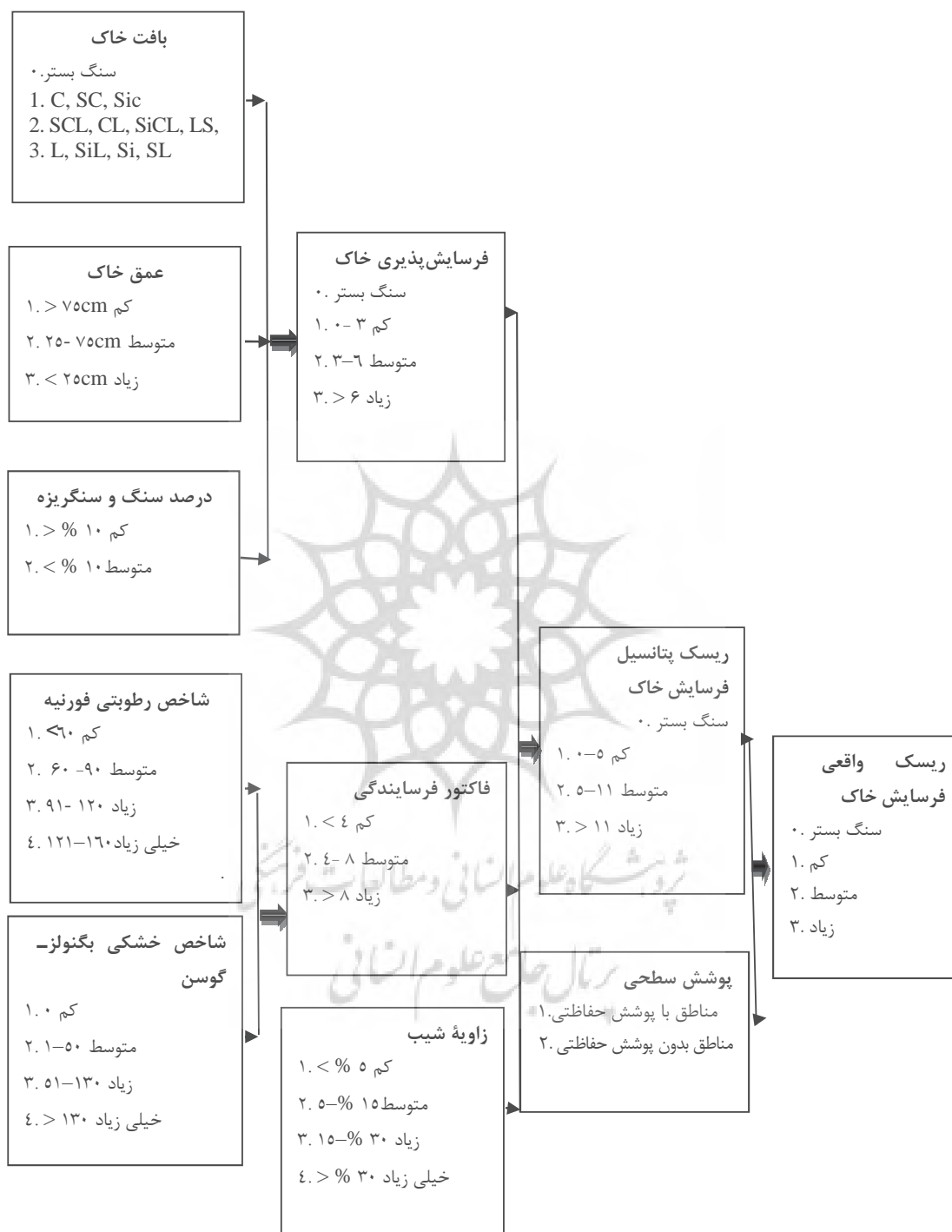
شاخص رطوبتی

رابطه (۷)



شکل ۲. نقشه‌های بافت خاک (الف)، عمق خاک (ب)، درصد سنگریزه (پ)، فرسایش‌پذیری (ت)، شاخص رطوبت (ث) و شاخص خشکی (ج)

1. Potential Soil Erosion Risk
2. Land Use/Land Cover



شکل ۳. نمودار جریانی مدل فرسایش کورین

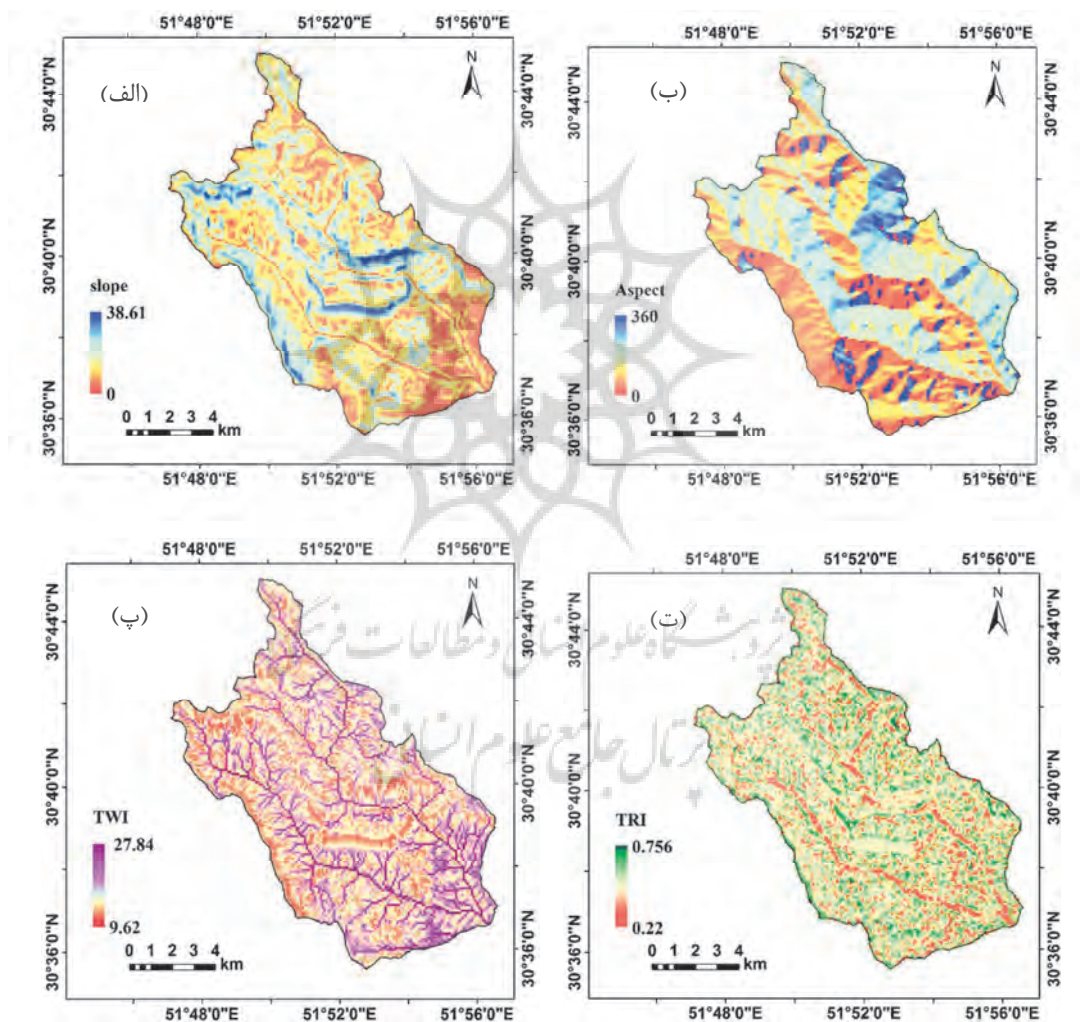
منبع: Denguz & Akgul, 2004

۳- نتایج

۳-۱- ویژگی‌های لندفرم و توضیحات

کمترین و بیشترین شیب، به ترتیب ۰ و ۳۸/۶۱ درجه تعیین شد؛ درحالی‌که تغییرات جهت شیب از ۰ تا ۳۶۰ متغیر بود. میانگین شاخص توپوگرافی خیسی ۱۸ و کمترین و بیشترین مقدار آن، به ترتیب ۹/۶۲ و ۲۷/۸۴ بود. از سوی دیگر، در این منطقه، میانگین شاخص زبری ۰/۴۵ و حداقل و حداکثر این شاخص، به ترتیب ۰/۲۲ و ۰/۷۵ برآورد شد.

متغیرهای زمینی مؤثر در کلاس‌بندی لندفرم در شکل ۴ نشان داده شده است. این شکل رابطه بین هر متغیر با شیب زمین را در جاهایی نشان می‌دهد که تغییرات شیب تندتر و شاخص توپوگرافی خیسی و زبری (TRI) پیچیده‌تر می‌شود. در حوضه خارستان،

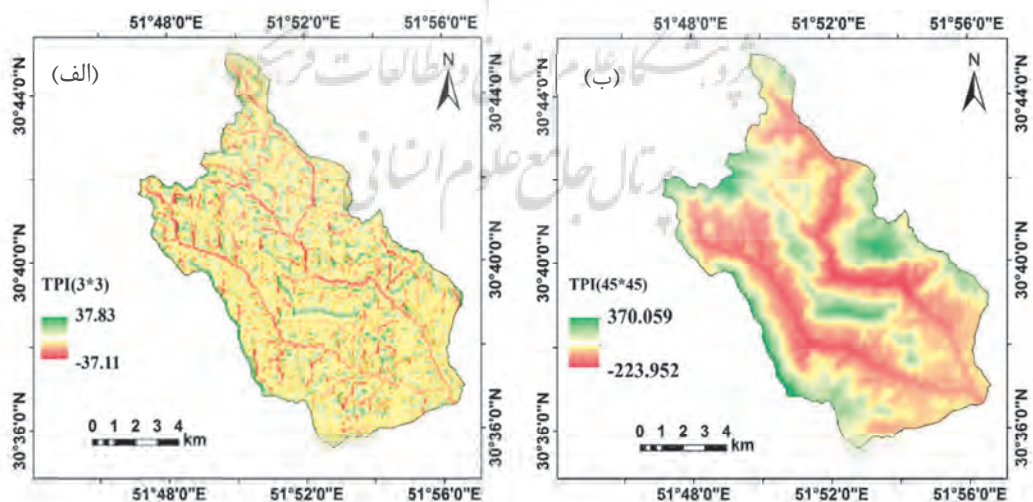


شکل ۴. نقشه‌های شیب (الف)، جهت شیب (ب)، شاخص خیسی خاک (پ) و شاخص پستی و بلندی (ت)

شکل ۶ انواع لندفرم‌های موجود در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. رنگ‌های متفاوت روی نقشه بیانگر ویژگی‌های درخور توجه لندفرم‌ها و موقعیت جغرافیایی لندفرم‌های اصلی است. انواع لندفرم‌های منطقه شامل آبراهه، دره‌های آبراهه‌های میانی، زهکش‌های مرتفع، بالارود، دره‌های U شکل، دشت‌های کوچک، شیب‌های باز، شیب‌های بالایی، بال‌های مرتفع، یال‌های شیب میانی، یال‌های مرتفع و قلّه کوه می‌شود. بر این اساس، ارتفاع شکل لندفرم‌های واقع در مناطق مرتفع بیشتر از مناطق اطراف است. لندفرم‌های واقع در مناطق مسطح و پست، در مقایسه با مناطق اطراف، ارتفاع کمتری را نشان می‌دهند. مساحت هریک از لندفرم‌ها در شکل ۷ نشان داده شده است. آبراهه و قله‌های مرتفع در منطقه مورد مطالعه، به ترتیب با ۲۷/۷۱٪ و ۲۷/۴۸٪ بیشترین مساحت این منطقه را به خود اختصاص داده‌اند که لندفرم غالب در منطقه مورد نظر محسوب می‌شوند و توزیع مناسبی در سطح آن دارند. از سوی دیگر، دشت‌های کوچک کمترین مساحت (۱/۱۱۸٪) این منطقه را دربر می‌گیرند.

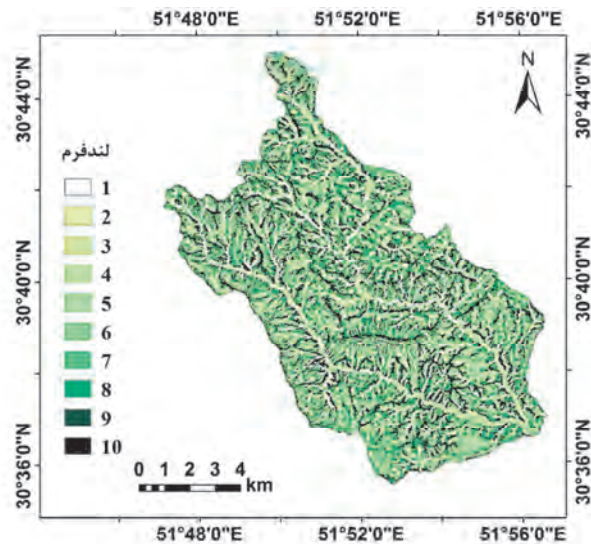
۲-۳- بررسی وضعیت لندفرم‌های منطقه مورد مطالعه
 نتایج حاصل از اعمال تابع توزیع چندجمله‌ای به‌منظور انتخاب بهترین مقیاس، با هدف تفکیک لندفرم‌ها، در شکل ۵ نشان داده شده است. با استفاده از این شکل، مشخص می‌شود از دو پنجره ۳*۳ (حداقل مقیاس) و ۴۵*۴۵ (حداکثر مقیاس) به‌منظور تهیه نقشه شاخص موقعیت توپوگرافی و در نهایت، تهیه نقشه لندفرم‌های منطقه مورد مطالعه استفاده شد. این دو مقیاس با توجه به کوچک‌تر بودن مقادیر RMSE به‌نسبت سایر مقیاس‌ها انتخاب شدند.

نتایج نشان می‌دهد که مقادیر TPI در منطقه مورد مطالعه، برای مقیاس ۳*۳ از ۳۷+ تا ۳۷- و برای مقیاس ۴۵*۴۵ از ۲۲۲- تا ۳۷۰+ است (شکل ۵). با توجه به اینکه مقدار RMSE در مقیاس ۳*۳ کمتر از مقیاس ۴۵*۴۵ بود، از این مقیاس ۳*۳ به‌منظور استخراج لندفرم‌ها در منطقه مورد نظر استفاده شد. براساس شکل ۵، مقادیر مثبت TPI نشان‌دهنده تپه‌ها و یال‌ها، مقادیر منفی TPI بیانگر دره‌ها و مقادیر صفر و نزدیک صفر نیز نشان‌دهنده مناطق مسطح است.

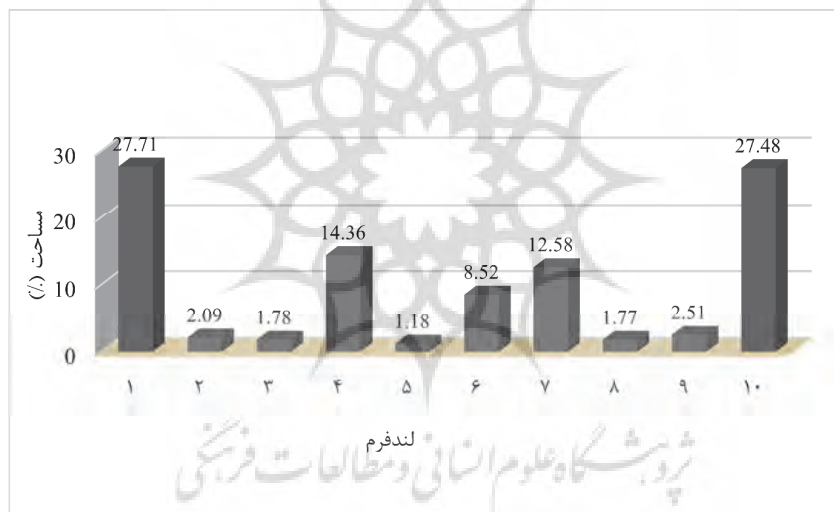


شکل ۵. نقشه TPI حداکثر مقیاس (الف) و حداقل مقیاس (ب) در حوضه خارستان

طبقه‌بندی لندفرم‌ها با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی و ...



شکل ۶. نقشه لندفرم‌های حوضه خارستان



شکل ۷. درصد مساحت لندفرم‌های متفاوت در منطقه خارستان (۱- آبراهه؛ ۲- دره‌های آبراهه‌های میانی؛ ۳- زهکش‌های مرتفع، بالارود؛ ۴- دره‌های لاشکل؛ ۵- دشت‌های کوچک؛ ۶- شیب‌های باز؛ ۷- شیب‌های بالایی؛ ۸- یال‌های مرتفع؛ ۹- یال‌های شیب میانی؛ ۱۰- یال‌های مرتفع و قلّه کوه)

منطقه خارستان را پوشش می‌دهند. در این منطقه، لندفرم دشت‌های کوچک با ۱/۱۸٪ دارای کمترین سطح و در محدوده ارتفاعی $221/56 \pm 2178/75$ و شیب $3/13 \pm 4/85$ درجه واقع شده و این نوع لندفرم دارای بیشترین محدوده عددی شاخص خیزی خاک ($3/13 \pm 15/63$) است. بیشترین محدوده عددی شیب ($6/16 \pm 15$) در لندفرم زهکش‌های مرتفع مشاهده شد که

جدول ۴ داده‌های کمی فاکتورهای زمینی کلاس‌های متفاوت لندفرم را نشان می‌دهد. آبراهه ۲۷/۷۱٪ از منطقه مورد مطالعه را با ارتفاع $2388 \pm 225/11$ متر، پوشش می‌دهد. یال‌های مرتفع و قلّه کوه نیز، در محدوده ارتفاعی با میانگین $235/79 \pm 2419/78$ متر، ۲۷/۴۷٪ از منطقه و دره‌های لاشکل هم، با ارتفاع $2363/96 \pm 228/32$ متر، ۱۴/۳۶٪ از

فریده تاری پناه و همکاران

لندفرم با شاخص توپوگرافی خیزی دارای همبستگی شدید بود. مقدار این همبستگی ۰/۸۳ برآورد شد؛ درحالی که ارتفاع با شاخص توپوگرافی خیزی و شیب همبستگی معنی داری در سطح ۰/۵٪ را نشان داد. مقادیر این همبستگی، به ترتیب ۰/۹۳ و ۰/۸۹ بود. از سوی دیگر، شیب با شاخص خیزی همبستگی معنی داری را به مقدار ۰/۸۴۶ نشان داد؛ در صورتی که همبستگی جهت شیب با شاخص توپوگرافی خیزی و شاخص پستی و بلندی، به ترتیب ۰/۷۳ و ۰/۶۹۲ در سطح ۰/۵٪ معنی دار برآورد شد.

محدوده ارتفاعی آن $2467 \pm 213/49$ متر و شاخص خیزی آن $12/36 \pm 6/19$ و شاخص پستی و بلندی آن بیشتر از سایر لندفرمها بود. بیشترین محدوده عددی، در جهت شیب، مختص شیبهای بالایی و با میانگین عددی $167/14 \pm 95/85$ درجه بود. در این لندفرم میانگین ارتفاع، شیب، شاخص خیزی و شاخص پستی و بلندی به ترتیب $240/077 \pm 2413/45$ متر، $6/05 \pm 11/46$ درجه، $13/34 \pm 6/05$ و $0/077 \pm 0/505$ برآورد شد. در جدول ۵، نتایج همبستگی بین لندفرم و عوامل زمینی نشان داده شده است. طبق نتایج، کلاسهای

جدول ۴. میانگین و انحراف معیار عوامل زمینی در کلاسهای متفاوت لندفرم

لندفرم	مساحت (هکتار)	مساحت (%)	ارتفاع (متر)	شیب (درجه)	جهت (درجه)	TWI (degree)	TRI (m)
آبراهه	341/835	27/71	225/11 ± 23/88	±23/613/1	86/64 ± 138/23	6/23 ± 13/87	0/072 ± 0/48
دره‌های	257/2469	2/09	225/42 ± 2436/19	5/95 ± 13/64	94/8 ± 163/73	5/29 ± 13/11	0/071 ± 0/486
آبراهه‌های میانی							
زهکش‌های مرتفع، بالارود، دره‌های لاشکل	219/06	1/78	213/49 ± 2467/02	6/19 ± 15	90/83 ± 164/15	6/19 ± 12/36	0/076 ± 0/514
دشت‌های کوچک	1767/716	14/36	228/32 ± 2363/96	5/99 ± 11/2	88/89 ± 135/36	5/99 ± 14/41	0/077 ± 0/48
شیب‌های باز	146/11	1/187	221/56 ± 2178/75	4/85 ± 13/3	87/22 ± 133/86	3/13 ± 15/63	0/092 ± 0/498
شیب‌های بالایی	1049/3	8/52	217/36 ± 2384/31	8/85 ± 11/54	92/73 ± 149/41	5/88 ± 13/68	0/074 ± 0/495
یال‌های مرتفع	1548/97	12/58	240/77 ± 2413/45	6/05 ± 11/46	95/85 ± 167/14	6/05 ± 13/34	0/077 ± 0/505
یال‌های شیب میانی	217/9843	1/77	221/26 ± 2389/584	6/35 ± 11/86	76/26 ± 128/77	6/35 ± 13/75	0/069 ± 0/481
یال‌های مرتفع و قلّه کوه	309/09	2/51	207/23 ± 2379/734	6/58 ± 14/50	85/56 ± 147/26	6/59 ± 13/53	0/065 ± 0/490
	3389/23	27/47	225/79 ± 2419/78	6/35 ± 13/06	91/47 ± 165/02	6/35 ± 13/18	0/073 ± 0/504

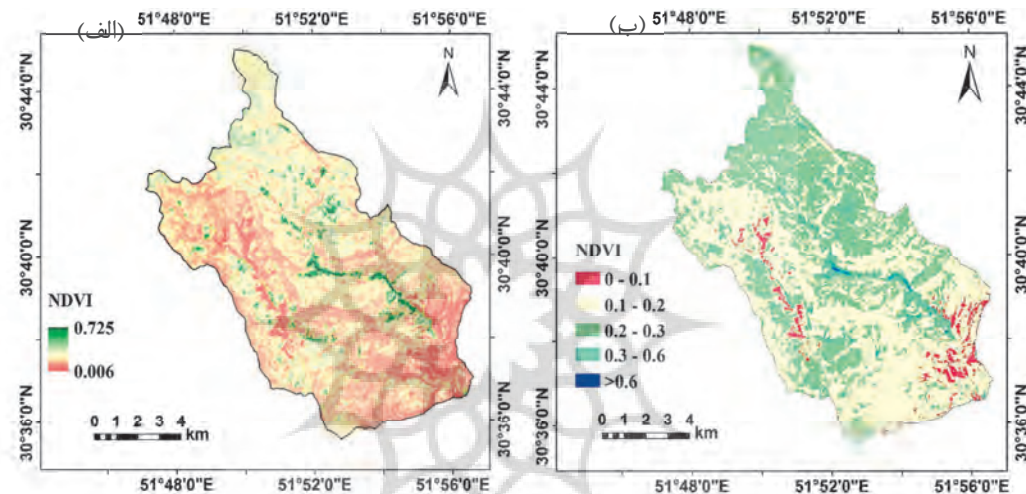
جدول ۵. همبستگی بین لندفرم‌های متفاوت با عوامل زمینی

لندفرم	ارتفاع	شیب	جهت	TWI	TRI	
لندفرم	۱	-۰/۰۳۴	۰/۰۷۶	۰/۰۷۴	** -۰/۸۳	۰/۱۷
ارتفاع	۱	** ۰/۸۹۲	۰/۶۱۵	** -۰/۹۳۵	۰/۱۷	
شیب		۱	۰/۳۰۴	** -۰/۸۴۶	-۰/۰۶۹	
جهت شیب			۱	* ۰/۷۳۴	* ۰/۶۹۲	
TWI				۱	-۰/۳۹۸	
TRI					۱	

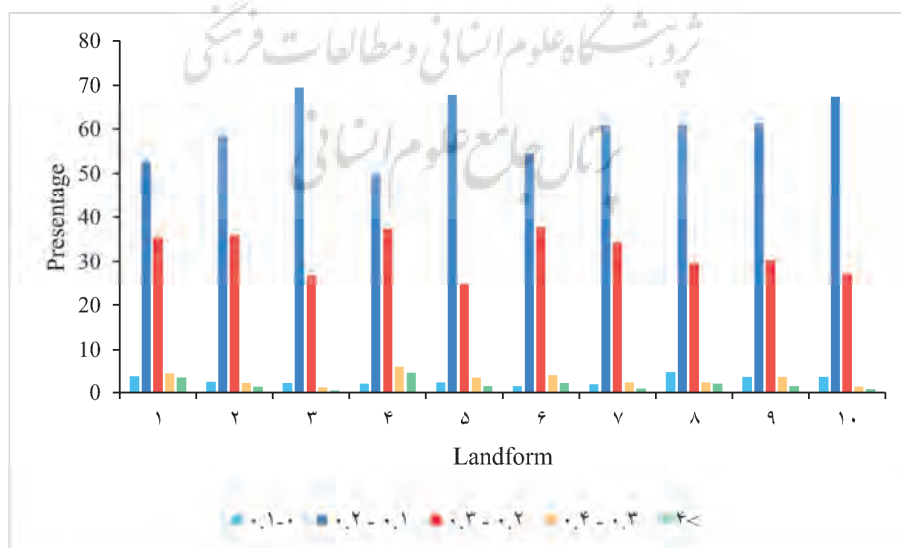
۳-۳- رابطه بین لندفرم و NDVI

NDVI کمتر از ۰/۱ که نشان‌دهنده مناطق آبی و رودخانه‌هاست، در لندفرم یال‌های مرتفع و آبراهه مشاهده شد؛ در صورتی که NDVI بین ۰/۱ تا ۰/۲ که نشان‌دهنده مناطق بدون پوشش و خاک و سنگ است، در لندفرم‌های زهکش‌های مرتفع و قلّه کوه واقع شده بود. مقدار NDVI بین ۰/۲ تا ۰/۳، در لندفرم شیب‌های باز و NDVI ۰/۳ تا ۰/۴ و بیشتر از ۰/۴ در لندفرم دره‌های U شکل و آبراهه مشاهده شد (شکل ۹).

شاخص تفاضلی پوشش گیاهی نشان‌دهنده مقدار پوشش گیاهی در سطح زمین است. مقادیر حداقل و حداکثر NDVI، در منطقه خارستان، به ترتیب ۰/۰۰۶ و ۰/۷۲۵ بود (شکل ۸-الف). بیشترین سطح (۹۱/۷۱٪) از منطقه مورد مطالعه را NDVI کلاس ۰/۱ تا ۰/۳ در بر می‌گیرد؛ در حالی که کمترین سطح (۰/۱۴٪) در طبقه NDVI بیشتر از ۰/۶ مشاهده شد (شکل ۸-ب).



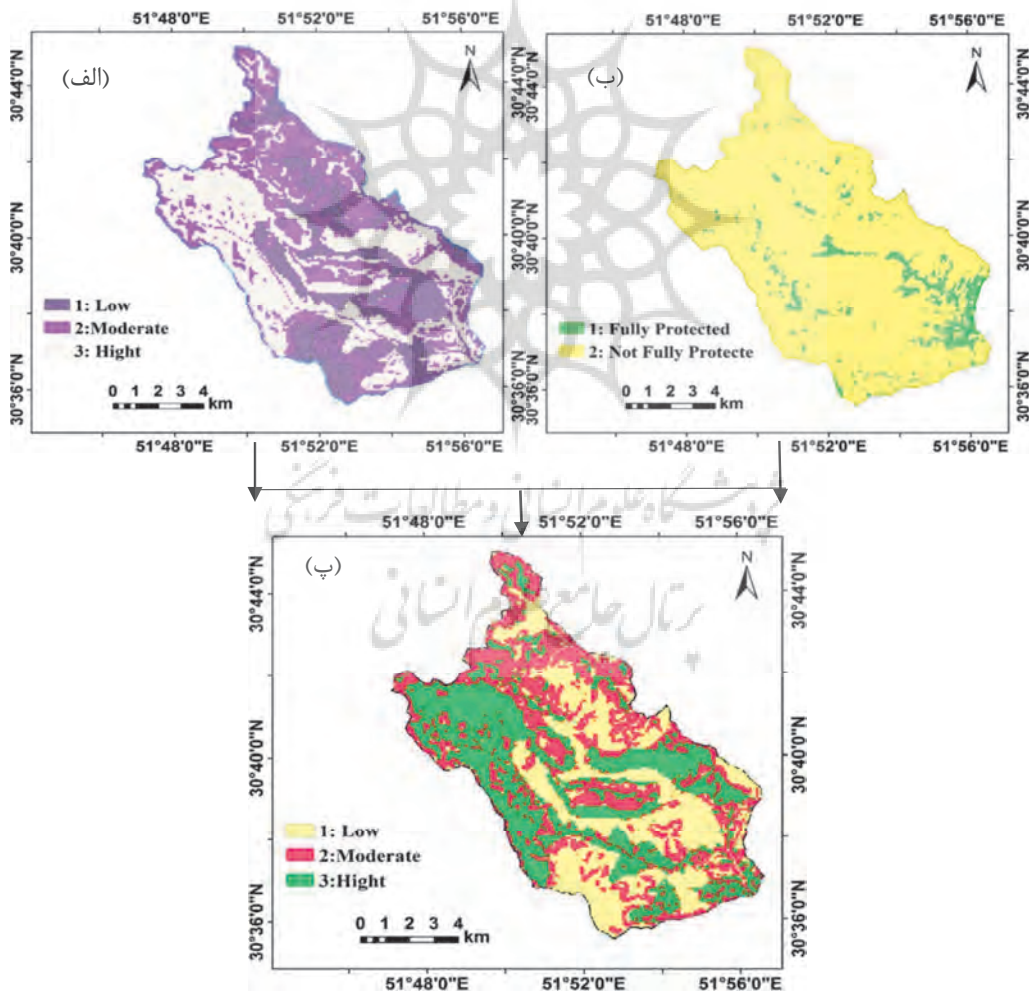
شکل ۸. نقشه NDVI (الف) و طبقات آن (ب) در منطقه خارستان



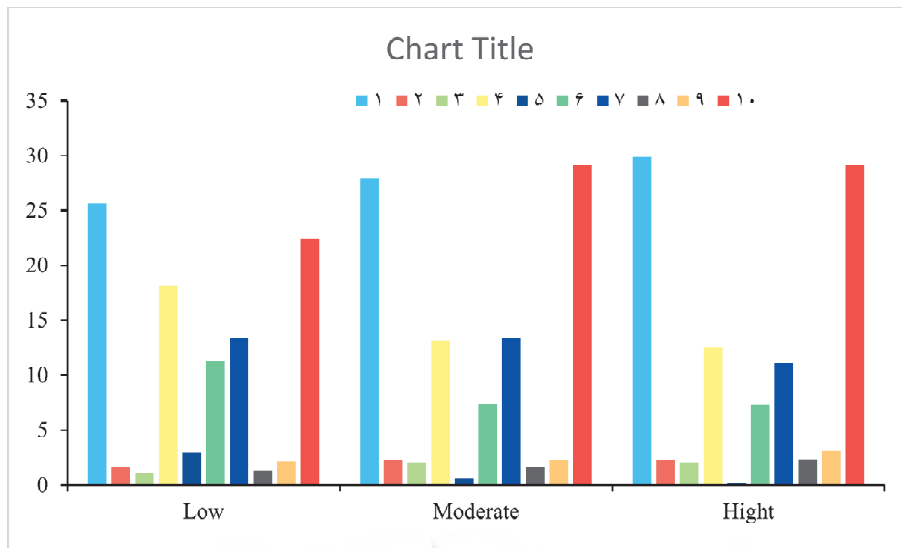
شکل ۹. بررسی وضعیت کلاس‌های گوناگون NDVI در لندفرم‌های متفاوت

لندفرم‌های گوناگون با فرسایش ارتباط قوی دارند. بر همین اساس، در این مطالعه نشان داده شد که در کلاس فرسایش زیاد، لندفرم‌های آبراهه و یال‌های مرتفع و قله 59% را به خود اختصاص دادند؛ در حالی که در کلاس متوسط و کم، به ترتیب 57% و 48% را شامل شدند. دره‌های لاشکل، دشت‌های باز و دشت‌های بالایی، در کلاس فرسایشی کم، 43% بود؛ در صورتی که در کلاس فرسایش متوسط و زیاد، به 34% و 31% کاهش یافت (شکل ۱۱).

۳-۴- طبقه‌بندی لندفرم و ریسک واقعی فرسایش در پژوهش پیش رو، ریسک واقعی فرسایش از ترکیب ریسک پتانسیل و پوشش زمین حاصل شد (شکل ۱۰-الف و ب). محدوده عددی ریسک واقعی فرسایش ۱-۲۴ بود که به ترتیب، در سه کلاس کم، متوسط و زیاد طبقه‌بندی شد. $31/11\%$ از آن در کلاس متوسط و $37/78\%$ در کلاس زیاد واقع شده است (شکل ۱۰-پ). مناطق دارای خطر واقعی فرسایش کم در بخش جنوبی، مرکزی و شرقی منطقه مورد مطالعه و مناطق با خطر واقعی زیاد در جنوب شرق، غرب و شمال غرب آن قرار دارد.



شکل ۱۰. نقشه‌های ریسک پتانسیل فرسایش (الف)؛ پوشش زمین (ب)؛ ریسک واقعی فرسایش (پ)



شکل ۱۱. توزیع لندفرم‌های متفاوت در کلاس‌های گوناگون ریسک واقعی فرسایش

۴- بحث و نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر، طبقه‌بندی لندفرم‌ها با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی و ارتباط آن باریسک واقعی فرسایش آنها، در منطقه خارستان، بررسی شد. بر این اساس، فاکتورهای زمینی مؤثر مانند ارتفاع، شیب، جهت، شاخص خیسی توپوگرافی و شاخص پستی و بلندی به کار رفت. نقشه ریسک واقعی فرسایش نیز با استفاده از روش کورین تعیین شد. طبق نتایج، در منطقه خارستان ده نوع لندفرم شناسایی شد؛ بیشترین سطح متعلق به آبراهه و قلّه کوه و کمترین سطح متعلق به دشت‌های کوچک بود. دلیل این نکته را می‌توان کوهستانی بودن منطقه مورد مطالعه دانست. در مطالعه‌ای مشابه نیز مکرم و ساتیامورتی^۱ (۲۰۱۶) در بررسی لندفرم‌های جنوب غرب استان فارس، بیشترین و کمترین سطح را متعلق به آبراهه و دشت‌های کوچک گزارش کردند که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. زهکش‌های مرتفع و بالارود کمترین مقدار شاخص خیسی توپوگرافی را داشت و بیشترین مقدار شاخص

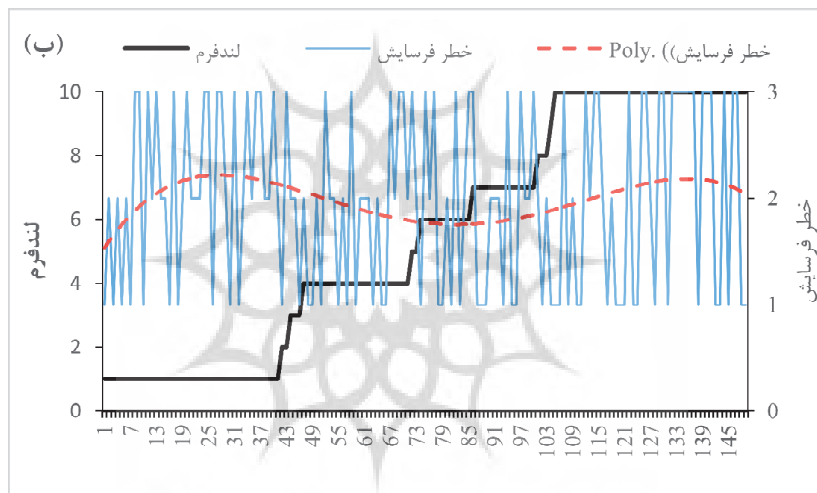
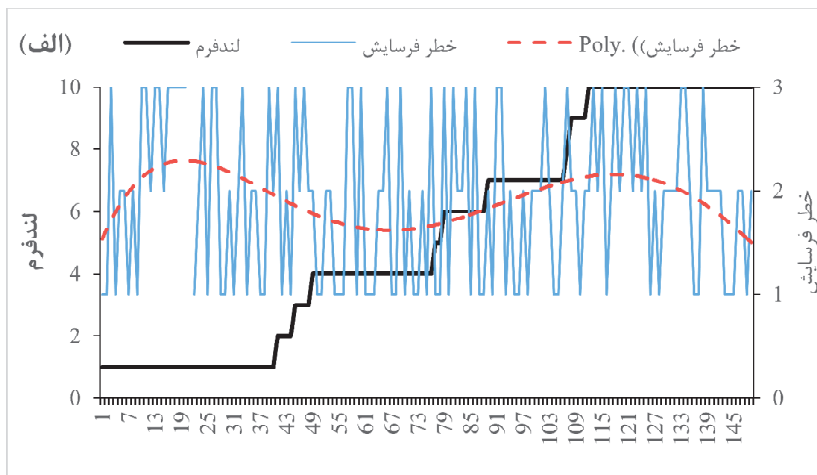
۵-۳- اعتبارسنجی رابطه حساسیت فرسایش در

واحدهای متفاوت ژئومورفیک

به منظور اعتبارسنجی تأثیر لندفرم‌های گوناگون در خطر فرسایش، از مدل MPSIAC استفاده شد. در این بخش، ۱۵۰ نمونه تصادفی انتخاب و رابطه بین لندفرم با خطر فرسایش، برای منطقه، ترسیم شد. نمودار آبی نشان‌دهنده کلاس‌های متفاوت خطر فرسایش، با استفاده از روش کورین و MPSIAC است (شکل ۱۲- الف و ۱۲- ب) و نمودار مشکی لندفرم‌ها را در نقاط مورد نظر نشان می‌دهد. در هر دو نمودار، رابطه بین کلاس خطر فرسایش در واحدهای متفاوت ژئومورفولوژیک بیانگر روند تقریباً مشابهی است. بر این اساس، کلاس‌های فرسایشی (خط قرمز) با عبور در لندفرم آبراهه، دارای روند صعودی است و این روند، به سمت لندفرم دره‌های لاشکل، نزولی می‌شود. از لندفرم دره‌های لاشکل به سمت شیب‌های بالایی، روند به صورت افزایشی و از یال‌های مرتفع به سمت قلّه کوه، نزولی بود.

1. Mokarram & Sathyamoorthy

فریده تاری پناه و همکاران



شکل ۱۲. رابطه بین کلاس خطر فرسایش مدل کورین (الف) و MPSIAC (ب) در واحدهای گوناگون ژئومورفولوژیک

نشان‌دهنده همبستگی مثبت بین این دو شاخص در لندفرم‌های گوناگون است. الگوهای لندفرم، از طریق کنترل حرکت آب و رسوب، تأثیر مهمی در خاک می‌گذارد. در لندفرم‌های گوناگون، عوامل متفاوت زمینی همچون ارتفاع، شیب، جهت و شاخص خیزی خاک مؤثر است. استیج و سالاس^۱ (۲۰۰۷) نیز بیان کردند ارتفاع، شیب و جهت توزیع زمانی و مکانی بارش و تابش را تحت تأثیر قرار می‌دهند و فاکتورهای

خیزی توپوگرافی در دشت‌های کوچک و دره‌های U شکل مشاهده شد. در این لندفرم‌ها، به دلیل افزایش زمان تأخیر جریان‌های سطحی در حوضه نفوذ آب بیشتر می‌شود که ممکن است تأثیر بسزایی در ذخیره نزولات و رواناب‌های سطحی داشته باشد (Baboli & Negahban, 2018). در مطالعه پیش رو، هم‌سو با شاخص خیزی، بیشترین و کمترین مقدار شاخص NDVI نیز به ترتیب در لندفرم‌های دره‌های U شکل و یال‌های مرتفع و قله کوه مشاهده شد. با افزایش مقدار خیزی خاک، مقدار NDVI نیز افزایش می‌یابد که

1. Stage & Salas

پوشش گیاهی نقش مهمی در پویایی مکانی و زمانی تولید و حمل‌ونقل رسوب دارد و هیلکر^۱ و همکاران (۲۰۱۴) نیز، در پژوهش خود، به این موضوع تأکید داشته‌اند. در مطالعه‌ای مشابه، الحسبان^۲ (۲۰۱۹) با بررسی رابطه لندفرم و سیل‌خیزی بیان کرد لندفرم‌های گوناگون با سیل‌خیزی ارتباط دارند؛ طبق پژوهش او، در کلاس زیاد، ریسک فرسایش ۷۵٪ را یال‌های مرتفع و قلّه کوه به خود اختصاص دادند. اعتبارسنجی کلاس‌های ریسک فرسایش در واحدهای گوناگون ژئومورفولوژیک با دو روش متفاوت، روند تقریباً مشابهی را نشان داد. بر این اساس، می‌توان اظهار داشت استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، پیچیدگی محیطی، به‌ویژه در پهنه‌های ناهمگن مناطق کوهستانی را ساده‌تر و قابل فهم‌تر می‌کند؛ از این رو نتایج تحقیق حاضر دقیق‌تر از مطالعات رایج و معمول است.

شاخص موقعیت توپوگرافی کاملاً تحت تأثیر مقیاس است و نوع لندفرم‌های استخراجی، با توجه به مقیاس، فرق می‌کند. براساس مطالعات مروج و کریمیان اقبال^۳ (۲۰۱۲) جداسازی و طبقه‌بندی خودکار لندفرم‌ها، در قیاس با روش‌های معمول، می‌تواند پارامترهای مورد نیاز را با جزئیات بیشتر و دقیق‌تر و متناسب با موقعیت توپوگرافی منطقه ارائه کند. این کار می‌تواند، در مطالعات گوناگون، به محققان کمک شایانی برساند. همچنین می‌شود این روش را در مناطق دارای توپوگرافی و ژئومورفولوژی مشابه، آزمایش کرد. جزئیات در ارائه لندفرم‌ها موجب می‌شود بررسی دقیق‌تر و بهتری در مورد آنها صورت گیرد؛ بنابراین، این نوع طبقه‌بندی لندفرم‌ها را می‌توان به‌منزله الگویی برای طبقه‌بندی و تعیین لندفرم‌ها در مناطق گوناگون به‌کار برد.

مفیدی در زمینه رشد و ترکیب گیاهان شمرده می‌شوند. مناطق باز با شیب‌های ملایم دارای مقادیر کمتر شاخص خیزی خاک‌اند؛ درحالی‌که در مناطق حفاظت‌شده و زبر، مقدار این شاخص بیشتر است. اغلب بین لندفرم، موقعیت شیب و انواع خاک که در جریان‌یافتن آب‌های سطحی، روند رسوب‌گذاری، قرارگرفتن در معرض باد و تابش خورشید نقش دارد، رابطه‌ای قوی برقرار است؛ از این رو این واقعیت کیفیت و توزیع تنوع زیستی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Błaszczynski, 1997). مناطق مرتفع و دامنه‌های شیب‌دار معمولاً از خاک‌های کم‌عمق و ماسه‌ای تشکیل شده‌اند اما دره‌ها و و زهکش‌های میانه کوه‌ها بیشتر از خاک‌های آبرفتی عمیق و غنی تشکیل شده‌اند که مکان مناسبی برای رشد گیاهان شمرده می‌شوند. در مطالعه حاضر، همچنین نشان داده شد که لندفرم‌های گوناگون با فرسایش ارتباطی قوی دارند؛ به‌طوری‌که در کلاس فرسایش زیاد، لندفرم‌های آبراهه و یال‌های مرتفع و قلّه بیشترین سطح را به خود اختصاص دادند اما، در کلاس کم، دره‌های U شکل و دشت‌های باز و دشت‌های بالایی بیشترین سطح لندفرم را شامل شدند. شایان توجه است که در مناطق مرتفع، به‌دلیل شیب‌های تند و توپوگرافی و فرسایش‌پذیری باران، پتانسیل بیشتری برای هدررفت خاک و رسوب‌دهی در قیاس با نواحی دیگر وجود دارد؛ در صورتی‌که برای کلاس کم، فرسایش در دره‌های U شکل را می‌توان با پوشش گیاهی مرتبط دانست (Ahmadi Mirghaed et al., 2018)؛ در این مناطق، تاج‌پوشش گیاهان به‌صورت سیستم ذخیره‌کننده آب عمل می‌کند و سرعت برخورد قطرات باران به خاک و در نتیجه، فرسایش پاشمانی را کاهش می‌دهد (Liu et al., 2018). پوشش گیاهی سرعت جریان آب‌های سطحی را نیز کاهش می‌دهد و بر زمان و حجم نفوذ آب می‌افزاید؛ این به نشست ذرات خاک در آب منجر می‌شود (Wang et al., 2010). به‌طور کلی

1. Hilker
2. Al-Husban
3. Moravej & Karimian Eghbal

۵- منابع

- Ahmadi Mirghaed, F., Souri, B., Mohammadzadeh, M., Salmanmahiny, A. & Mirkarimi, S.H., 2018, **Evaluation of the Relationship between Soil Erosion and Landscape Metrics across Gorgan Watershed in Northern Iran**, Environmental Monitoring and Assessment, 190(11), P. 643.
- Al-Husban, Y., 2019, **Landforms Classification of Wadi Al-Mujib Basin in Jordan, Based on Topographic Position Index (TPI), and the Production of a Flood Forecasting Map**, Dirasat, Human and Social Sciences, 46(3), PP. 23-42.
- Baboli, H. & Negahban, S., 2018, **Investigation of Fermi Characteristics of Land Surface Based on Morphometric Indices and Using GIS (Case Study: Fahlian Watershed)**, Geography (Quarterly Scientific Research and International Journal of Geographical Society of Iran), 19(68), PP. 102-117.
- Blaszczynski, J.S., 1997, **Landform Characterization with Geographic Information System**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 63(2), PP. 183-191.
- Burr, D., Baker, V.R. & Carling, P., 2009, **Megaflooding on Earth and Mars**, Cambridge, UK; New York: Cambridge University Press.
- Chalmers, A.C., Erskine, W.D., Keene, A.F. & Bush, R.T., 2012, **Relationship between Vegetation, Hydrology and Fluvial Landforms on an Unregulated Sand-Bed Stream in the Hunter Valley, Australia**, Austral Ecology, 37(1), PP. 193-203.
- De Reu, J., Bourgeois, J., Bats, M., Zwertvaegher, A., Gelorini, V., De Smedt, P. & Crombé, P., 2013, **Application of the Topographic Position Index to Heterogeneous Landscapes**, Geomorphology, 186, PP. 39-49.
- Denguz, O. & Akgul, S., 2004, **Soil Erosion Risk Assessment of the Golbasi Environmental Protection Area and Its Vicinity Using the CORINE Model**, Turk. J. Agric, 29, PP. 439-448.
- Florinsky, V., Eilers, R.G., Manning, G. & Fuller, L.G., 2002, **Prediction of Soil Properties by Digital Terrain Modelling**, Environ Model Softwar, 17, PP. 295-311.
- Gerçek, D., 2010, **Object-Based Classification of Landforms Based on their Local Geometry and Geomorphometric Context**, PhD Diss., University of Middle East Technical.
- Guber, F., Baruck, J., Geitner, C., 2017, **Algorithm Vs Surveyors: A Comparison of Automated Landform Delineation and Surveyed Topographic Position from Soil Mapping in an Alpine**, Environment Geoderma, 308, PP. 9-25.
- Hilker, T., Lyapustin, A.I., Tucker, C.J., Hall, F.G., Myneni, R.B., Wang, Y. & Sellers, P.J., 2014, **Dynamics and Rainfall Sensitivity of the Amazon**, Proc. Natl. Acad. Sci., 111, PP. 16041-16046.
- Hoersch, B., Braun, G., & Schmidt, U., 2003, **Relation between Landform and Vegetation in Alpine Regions of Wallis, Switzerland**, A Multiscale Remote Sensing and GIS Approach, Computers Environment and Urban Systems.
- Howey, M.C.L. & Clark, M., 2018, **Analyzing Landform Patterns in the Monumental Landscape of the Northern Great Lakes, 1200–1600 CE**, Journal of Archaeological Science: Reports, 19, PP. 886-893.
- Kosmas, C., Tsara, M., Moustakas, N. & Karavitis, C., 2003, **Identification of Indicators for Desertification**, Ann. Arid Zone, 42, PP. 393-416.
- Kubota, Y., Murata, H. & Kikuzawa, K., 2004, **Effects of Topographic Heterogeneity on Tree Species Richness and Stand Dynamics in a Subtropical Forest in Okinawa Island, Southern Japan**, Journal of Ecology, 92, PP. 230-240.
- Lindenmayer, D.B. & Fischer, J., 2006, **Habitat Fragmentation and Landscape Change An Ecological And Conservation Synthesis**, Island Press, USA.
- Lindsay, C. & Rassel, I., 2015, **An Integral Image Approach to Performing Multi-Scale Topographic Position Index**, Analysis Geomorphology, 3, PP. 51-61.

- Liu, H., Zheng, L. & Yin, S.H., 2018, **Multi-Perspective Analysis of Vegetation Cover Changes and Driving Factors of Long Time Series Based on Climate and Terrain Data in Hanjiang River Basin, China**, *Arabian Journal of Geosciences*, 11, PP. 509-524.
- Metelka, V., Baratoux, L., Jessell, M.W., Barth, A., Ježek, J. & Naba, S., 2018, **Automated Regolith Landform Mapping Using Airborne Geophysics and Remote Sensing Data, Burkina Faso, West Africa**, *Remote Sensing of Environment*, 204, PP. 964-978.
- Mokarram, M. & Sathyamoorthy, D., 2016, **Relationship between Landform Classification and Vegetation (Case Study: Southwest of Fars Province, Iran)**, *Open Geosci*, 8, PP. 302-309.
- Moravej, K. & Karimian Eghbal, M., 2012., **Comparison of Automated and Manual Landform Delineation in Semi Detailed Soil Survey Procedure**, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Ir, *African Journal of Agricultural Research*, 7(17), PP. 2592-2600.
- Newman, D.R., Lindsay, J.B. & Cockburn, J.M.H., 2018, **Evaluating Metrics of Local Topographic Position for Multiscale Geomorphometric Analysis**, *Geomorphology*, 312, PP. 40-50.
- Pakoksung, K. & Takagi, M., 2015, **Remote Sensing Data Application for Ood Modeling**, *J. Appl. Surv. Technol.*, 26, PP. 115-122.
- Pakoksung, K. & Takagi, M., 2016, **Digital Elevation Models on Accuracy Validation and Bias Correction in Vertical**, *Modeling Earth Syst. Environ.*, 2(11).
- Pfeffer, K.E., Pebesma, J. & Burroug, P.A., 2003, **Mapping Alpine Vegetation Using Vegetation Observations and Topographic Attributes**, *Landscape Ecology*, 18, PP. 759-776.
- Pfiffner, A. & Kühni O.A., 2001, **The Relief of the Swiss Alps and Adjacent Areas and its Relation to Lithology and Structure—Topographic Analysis from 250-M DEM**, *Geomorphology*, 41, PP. 285-307.
- Pike, R.J., Evans, I.S., Hengl, T., 2009. **Geomorphometry - Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science. In: Geomorphometry: a brief guide**. Edited by: Hengl, T., Reuter, H.I. (Eds.). Elsevier. PP. 330.
- Riley, S.J., DeGloria, S.D. & Elliot., R., 1999, **A Terrain Ruggedness Index that Quantifies Topographic Heterogeneity**, *Intermountain Journal of Sciences*, 5, PP. 1-4.
- Salvacion, A.R., 2016, **Terrain Characterization of Small Island Using Publicly Available Data and Open- Source Software: A Case Study of Marinduque, Philippines**, *Model. Earth Syst. Environ.*, 2, P. 31.
- Schaetzl, R.J., 2013, **Catenas and Soils**, In: John F. Shroder & Pope, G.A. (Eds), *Treatise on Geomorphology*, Vol. 4, *Weathering and Soils Geomorphology*, San Diego: Academic Press, PP. 145-158.
- Stage, A.R. & Salas, C., 2007, **Interactions of Elevation, Aspect and Slope in Models of Forest Species Composition and Productivity**, *Forest Science*, 53(4), PP. 486-492.
- Wang, G., Zhou, K., Sun, L., Qin, Y. & Li, M., 2010, **Study on the Vegetation Dynamic Change and R/S Analysis in the Past Ten Years in Xinjiang**, *Remote Sens. Technol. Appl.*, 25, PP. 84-90.
- Weiss, A.D., 2001, **Topographic Positions and Landforms Analysis**, *ESRI International User Conference*, San Diego, CA, 3, PP. 9-13.
- Wilson, J.P. & Gallant, J.C., 2000, **Terrain Analysis**, New York: John Wiley and Sons.
- Yuan, Z.Q., Fang, C., Zhang, R., Li, F.M., Javaid, M.M. & Janssens, I.A., 2019, **Topographic Influences on Soil Properties and Aboveground Biomass in lucerne-Rich Vegetation in a Semi-Arid Environment**, *Geoderma*, 344, PP. 137-143.
- Zawawi, A., Shiba, M., Janatun, N. & Jemali, N., 2014, **Landform Classification for Site Evaluation and Forest Planning: Integration between Scientific Approach and Traditional Concept**, *Sains Malaysiana*, 43(3), PP. 349-358.



نخستین دور

و

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال پانزدهم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۲
Vol.15, No. 2, Summer 2023 Iranian Remote Sensing & GIS

17-36

Classification of Landforms Using Topographic Location Index and Assessment of their Actual Soil Erosion Risk in Mountainous Areas (Case Study: Kharestan Watershed)

Taripناه F.^{1*}, Ranjbar A.², Vali A.², Mokarram M.³

1. Ph.D. of Desertification Combating, Desert Control and Management Department, University of Kashan
2. Associate Prof., Dep. of Desert Management, University of Kashan,
3. Associate Prof. Dep. of Range and Watershed Management, Darab Compass, Shiraz University

Abstract

One of the new and unique sections, especially in internal studies, is the quantitative examination of unevenness. The scientific and quantitative study of topographic position has always been one of the topics that have received little attention in domestic research. So, classification and identification of different morphometrically distinct regions are necessary. Thus, the present study aims to classify landforms in the northwest of Fars province, Kharestan region and investigate its factors affecting. In this regard, the Topographic Position Index (TPI) method was used in the first stage to classify landforms, followed by the CORINE method to determine erosion risk classes. Additionally, Landsat 8 satellite images from June 2017 were used to determine the normalized differential vegetation index (NDVI). The next step was to determine the relationship between different types of landforms and terrestrial factors such as height, slope, slope direction, topographic wetness index (TWI), Terrain Ruggedness Index (TRI) and NDVI. Finally, the status of different landforms was determined based on erosion risk classes. Results showed ten different types of landforms existed within the study area. Small plains (1.18%) were the lowest in the study area, while waterways (27.71%) and high peaks (27.48%) were the highest. The TWI was significantly correlated with landform classes at 95% level. Most of the region (91.71%) had NDVI classes of 0.1 to 0.3. Stream and u-shaped valleys were found to have higher NDVI values. Real erosion risk was classified into three classes: low, medium, and high with areas of 31.14, 31.11, and 37.78%. There were 44, 57, and 59% erosion levels in the low, medium, and high erosion classes, respectively.

Keywords: Landform classification, Terrain factors, NDVI, Actual erosion risk, Kharestan region.

* Correspondence Address: Kashan, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences. Tel: 09035769169
Email: Taripناه.f@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-8592-2968>
<https://dx.doi.org/10.48308/gisj.2023.102344>



Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).