

## ارتباط طبقه بندی شکل زمین، کاربری اراضی و مناطق دارای پتانسیل سیل خیزی در استان بوشهر

سعید نگهبان\* - دانشیار ژئومورفولوژی بخش جغرافیا، دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اجتماعی، دانشگاه شیراز.  
مرضیه مکرّم - دانشیار ژئومورفولوژی بخش جغرافیا، دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اجتماعی، دانشگاه شیراز.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۰۶      تأیید نهایی: ۱۴۰۳/۰۳/۲۴

### چکیده

با توجه به ویژگی‌های ذاتی، فرم‌های زمین به طور قابل توجهی بر توسعه و استفاده از اکوسیستم‌ها تأثیر می‌گذارند که شامل جنبه‌های مختلف کاربری زمین مانند کشاورزی، توسعه شهری و تلاش‌های حفاظتی است. علاوه بر این، توپوگرافی و پیکربندی لندفرم‌ها نقش مهمی در تعیین الگوها و شدت سیل در مناطق مختلف ایفا می‌کند. با توجه به اهمیت موضوع در این مطالعه هدف دسته‌بندی اشکال زمینی با استفاده از شاخص موقعیت زمین‌شناختی (TPI) در همسایگی‌های مختلف در محیط GIS و تعیین ارتباط آن با کاربری اراضی و میزان سیلاب در استان بوشهر واقع در جنوب ایران می‌باشد. برای این منظور در مقیاس‌های مختلف فضایی (میانگین، ۱۰ متر، ۲۰ متر، ۳۰ متر، ۴۰ متر، ۵۰ متر، ۶۰ متر) نقشه‌های شاخص موقعیت زمین‌شناختی و در نهایت نقشه‌های اشکال زمینی زمین تهیه شد. دسته‌بندی اشکال زمینی شامل ده سطح دره‌های زیرین، زهکش‌های میان دامنه‌ای، زهکش‌های بلند زمین، دره ملایم، دشت، شیب‌های باز، دامنه، برآمدگی‌های دامنه‌ای، رؤس میان دامنه‌ای و رؤس بلند (کوه) شد. نتایج این مطالعه نشان داد که با تغییر بین مقیاس کوچک ۱۰ متر و مقیاس بزرگ ۶۰ متر، درصد مساحت دره‌های II شکل کاهش یافت از ۵,۶۴٪ به ۲,۶۱٪، و در دره‌ها و بریدگی‌های واقع بر ارتفاعات و دامنه‌ها درصد مساحت از ۶۷,۵۵٪ به ۶۶,۰۵٪ کاهش یافت. اما برای خط الراس‌های مرتفع، درصد افزایش از ۰,۸۱٪ به ۲,۸۴٪ بود و برای خط الراس‌های مرتفع، قله کوه درصد افزایش از ۰,۱۱٪ به ۰,۳۹٪ بود. بطوریکه با افزایش میزان همسایگی (۶۰ متر)، شکل اصلی زمین از بین می‌رود و دره‌های باریک و زهکش‌ها محو می‌شوند. اما با کاهش میزان همسایگی (۱۰ متر)، همه اشکال، به ویژه تپه‌ها، دره‌ها و زهکش‌ها، حفظ می‌شوند. همچنین نتایج ارتباط بین نوع لندفرم و کاربری اراضی نشان داد که در بخش‌های مختلف شکل زمین انواع متنوعی از کاربری اراضی دیگر مانند مراتع حفاظت شده، آگروفارستی، گردشگری و پارک‌های طبیعی را می‌توان ایجاد کرد. در نهایت، مشخص شد که می‌توان با استفاده از نقشه‌های اشکال زمینی سطوح خطر برای سیلاب‌ها را تعیین نمود. بطوریکه کلاس‌های سیلاب کم در اراضی مرتفع (رؤس بلند)، سیلاب متوسط در زهکش‌های میان دامنه‌ای، سیلاب زیاد در بسیاری از شکل‌های زمین از جمله زهکش‌ها، دره‌ها، اراضی شیب‌دار، اراضی مرتفع دیده می‌شود. سیلاب خیلی زیاد بیشتر در زهکش‌های میان دامنه‌ای دیده می‌شود. بنابراین نتیجه‌گیری می‌شود که با توجه به ارتباط زیادی که بین اشکال زمینی، نوع کاربری زمین و سیلاب وجود دارد می‌توان بر اساس نوع لندفرم‌ها مناطق مناسب برای کاربری‌های مختلف و مستعد سیلاب را پیش‌بینی نمود.

واژگان کلیدی: اشکال زمینی، شاخص موقعیت زمین‌شناختی (TPI)، کاربری اراضی، سیلاب، GIS، استان بوشهر.

## مقدمه

اشکال زمینی بر توسعه و بهره‌برداری از اکوسیستم‌ها (کاربری اراضی) و همچنین سیلاب مناطق مختلف تأثیر می‌گذارند. از طرفی مطالعه و تمرکز بر پایداری و حفظ سیستم‌های طبیعی برای رسیدن به اهداف توسعه پایدار مهم می‌باشد. بنابراین تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی و مدل‌های داده‌های ارتفاعی برای تعیین وضعیت اشکال مختلف زمینی دارای اهمیت زیادی است (لین و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۲۱، دیکائو<sup>۲</sup>، ۲۰۲۰). مطالعات نشان می‌دهد که ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه دارای ارتباط زیادی با نوع اشکال زمین می‌باشد (نازارودین<sup>۳</sup>، ۲۰۲۰، کورنیانتو و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۲۳). دلیل این امر این است که داده‌های ارتفاعی دقیقاً با فرآیندهای ژئومورفولوژیک و نوع سازند مرتبط است و می‌تواند به عنوان جایگزین مهمی در سازندهای زمین‌شناسی عمل نماید (دد و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۲۴). همچنین، توزیع اشکال زمینی به تکامل آن در واحدهای اکوسیستمی با استفاده از متغیرهای زمین‌شناسی و تجزیه و تحلیل خوشه‌ای توسط داده‌های ارتفاعی در محیط GIS وابسته است (سها و همکاران<sup>۶</sup>، ۲۰۲۰). به دلیل توانایی این اشکال در شناسایی منظره با دقت و کارآمدی بالا، بسیار مناسب برای دسته‌بندی اشکال زمینی به‌ویژه برای ارزیابی و برنامه‌ریزی فضایی می‌باشد (جاکوویچووا و همکاران<sup>۷</sup>، ۲۰۲۳). این روش برای بررسی اشکال زمین توسط ویز و جنس برای دسته‌بندی اشکال زمینی استفاده شده است. مفهوم TPI در کنفرانس بین‌المللی ESRI با ارائه یک پوستر مفید و جالب در مورد نحوه محاسبه آن توصیف شد (ویز<sup>۸</sup>، ۲۰۰۱). با این حال، بسیاری از دسته‌بندی‌های اشکال زمینی نیازمند بررسی مراحل دقیقی از ویژگی‌های زمین‌شناسی مختلف به عنوان ورودی‌ها هستند (لامرانی و همکاران<sup>۹</sup>، ۲۰۱۴، دراگوت و همکاران<sup>۱۰</sup>، ۲۰۰۶).

مطالعات نشان می‌دهد که ابزارهای GIS امکان انجام محاسبات مورفومتری و محاسبات زمین با کارایی بالا را فراهم می‌کنند (سافانلی و همکاران<sup>۱۱</sup>، ۲۰۲۰). این در صورتی است که به اجرای آسان و موثر الگوریتم‌های فضایی، دسته‌بندی زمین‌شناسی و مدل‌سازی روابط فضایی بین اشکال زمینی و کاربری اراضی و سیلاب منجر می‌شود. الگوریتم‌های متعددی برای طبقه‌بندی خودکار لندفرم‌ها ارائه شده‌اند و تحقیقات گوناگونی در این زمینه صورت گرفته است که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. این تلاش‌ها از جمله پژوهش‌هایی هستند که بهبود روش‌های طبقه‌بندی و شناسایی لندفرم‌ها را به هدف دارند.

در یکی از مطالعات مهم این زمینه، با استفاده از شاخص TPI، توسط بهرامی و همکارانش در سال ۱۳۹۳، طبقه‌بندی خودکار برای حوضه بروجن انجام شد. این پژوهشگران در چند مرحله طبقه‌بندی را انجام دادند؛ ابتدا لندفرم‌های بزرگ را دسته‌بندی کرده و سپس درون هر یک از این دسته‌بندی‌ها، لندفرم‌های کوچکتر را شناسایی و طبقه‌بندی کردند. همچنین، مکرم و نگهبان در تحقیقی از شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) برای شناسایی و طبقه‌بندی لندفرم‌ها استفاده کردند و ده نوع لندفرم را در منطقه مورد مطالعه تعیین کردند.

در پژوهش دیگری، ایان اس اوانز<sup>۱۲</sup> در سال ۲۰۱۲ از روش چندمقیاسی و با در نظر گرفتن ویژگی‌های مورفومتریکی با استفاده از روش Dikau، طبقه‌بندی اتوماتیک لندفرم‌ها را انجام داده و همبستگی بین لندفرم‌ها و ویژگی‌های خاک را

<sup>1</sup>. Lin et al

<sup>2</sup>. Dikau

<sup>3</sup>. Nazaruddin

<sup>4</sup>. Kurnianto et al

<sup>5</sup>. Dede et al

<sup>6</sup>. Saha et al

<sup>7</sup>. Jackovičová et al

<sup>8</sup>. Weiss

<sup>9</sup>. Laamrani et al

<sup>10</sup>. Dragut et al

<sup>11</sup>. Safanelli et al

<sup>12</sup>. Ian S. Evans

شناسایی کردند. این تلاش‌ها نشان می‌دهد که استفاده از روش‌های مختلف و ترکیبی در طبقه‌بندی لندفرم‌ها، می‌تواند به دقت و کارایی بیشتر در تشخیص و شناسایی آن‌ها منجر شود. توماسز و همکارانش<sup>۱</sup> (۲۰۱۱) روش ژئومورفون را معرفی کرده‌اند که بر اساس ده شکل غالب و عمده زمین طبقه‌بندی می‌شود. این کار را با استفاده از DEM ۱۰ متر با الگوریتم‌های LBP و LTP انجام دادند.

جاسویکز و همکارانش<sup>۲</sup> (۲۰۱۳) نقشه ژئومورفومتریک را با کلیه ژئومورفون‌ها تهیه کرده و در نهایت نقشه ژئومورفولوژی لهستان را با روش ژئومورفون تهیه کرده‌اند. فرناندو و همکارانش<sup>۳</sup> (۲۰۱۵) از ویژگی‌های ژئومورفومتریک مانند ارتفاع، انحنا سطح، انواع دامنه‌ها، و سطوح مسطح برای طبقه‌بندی اتوماتیک لندفرم‌ها استفاده کرده‌اند. لیوهوا و همکارانش<sup>۴</sup> (۲۰۱۶) از الگوریتم ژئومورفون‌ها در خاک‌شناسی استفاده کرده‌اند و با این طبقه‌بندی به توصیف چشم‌انداز و پیش‌بینی ویژگی‌های خاک پرداخته‌اند.

گرام و همکارانش<sup>۵</sup> (۲۰۱۷) از روش RF برای طبقه‌بندی اتوماتیک لندفرم‌ها استفاده کرده‌اند و این روش را برای درک عمیق مورفولوژی سطح زمین پیشنهاد داده‌اند. Mihiu-Pintilie و Cristi Nicu و همکارانش (۲۰۱۹) با استفاده از ترکیب دو روش TPI و DEV، طبقه‌بندی اتوماتیک را بر روی منطقه مورد مطالعه انجام داده‌اند و الگوی سیل در منطقه را استخراج کرده‌اند. در پژوهشی دیگر، Flynn و همکارانش (۲۰۲۰) از روش ژئومورفون‌ها برای مشخص کردن مرزهای خاک‌شناسی و به عنوان اولین نشانه تغییرپذیری مکانی خاک استفاده کرده‌اند و به واحدهایی شبیه هم ادغام شده‌اند.

تجزیه و تحلیل اشکال زمینی برای بررسی وضعیت زیست‌محیطی منطقه از جمله کاربری اراضی بسیار مفید است. علاوه بر این، داده‌های ارتفاعی نمای دوبعدی اکوسیستم‌های طبیعی را ارائه می‌دهند که ادغام آنها با داده‌های مکانی دیگر و تجزیه و تحلیل‌های پیشرفته‌تر می‌تواند منجر به نتایج بهتر در زمینه‌های زیست‌محیطی در منطقه شود. بنابراین با توجه به اهمیت موضوع هدف از این مطالعه استفاده از روش TPI در نقاط همسایگی مختلف و انتخاب بهترین نوع همسایگی می‌باشد. از دیگر اهداف این تحقیق استفاده از نتایج دسته‌بندی اشکال زمینی برای تعیین بهترین استفاده از زمین و وضعیت سیلاب در منطقه مورد مطالعه است.

در پایان قابل ذکر است که به دلیل عدم استفاده از اراضی برای کاربری‌های مختلف و وجود سیلاب در جنوب کشور، مکان‌های مستعد سیلاب تعیین شود. همچنین با تعیین نوع کاربری اراضی بتوان بهترین بهره‌وری را از منطقه داشت. از جنبه‌های نوآوری این تحقیق نسبت به دیگر مطالعات می‌توان بررسی ارتباط بین طبقات مختلف اشکال زمینی و وضعیت سیلاب و کاربری اراضی در نقاط همسایگی مختلف اشاره نمود که در دیگر مطالعات به آن پرداخته نشده است. در مطالعاتی مانند مکرم (۱۳۹۵) به بررسی ارتباط بین پوشش گیاهی و اشکال زمینی پرداخته و نگهبان و مکرم (۱۴۰۱) فقط به بررسی ارتباط بین خشکسالی و اشکال مختلف زمینی پرداخته است و ارتباط بین سیلاب و اشکال زمینی را بررسی نموده است. از جمله اثر گذاری‌های این مطالعه می‌توان به بهره‌وری بهتر اراضی و مدیریت بهتر سیلاب‌ها اشاره نمود که در مطالعات دیگر به آن پرداخته نشده است.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲.۱. منطقه مطالعاتی

<sup>2</sup> Tomasz

<sup>3</sup> Jasiewicz et al

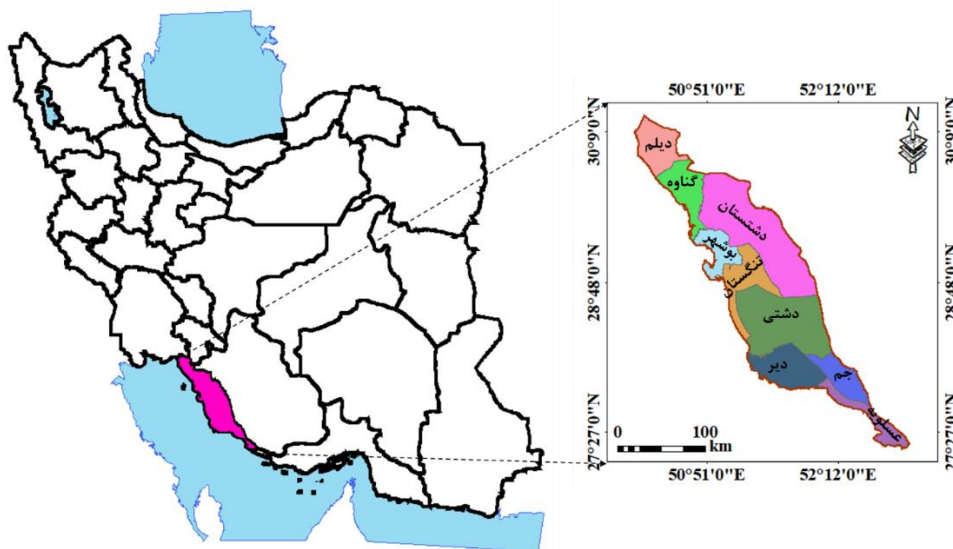
<sup>4</sup> Fernando et al

<sup>5</sup> Libohova et al

<sup>6</sup> Kramm et al

منطقه مورد بررسی استان بوشهر در جنوب ایران واقع شده است. این استان با موقعیت جغرافیایی میان ۲۷ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۱ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۵۹ دقیقه طول شرقی در جنوب غربی ایران واقع شده است (شکل ۱). این منطقه دارای مساحتی حدود ۲۷۶۵۳ کیلومتر مربع می‌باشد و جمعیتی برابر با ۱'۱۶۳'۴۰۰ نفر دارد. اقلیم این استان از نوع گرم و خشک است، با تغییراتی که در نواحی ساحلی به شکل گرم و مرطوب تجلی می‌یابد. استان بوشهر به دلیل مجاورت با خلیج فارس، ارتفاع کم، بارندگی ناکافی، درجه حرارت بالا و حاصلخیزی ضعیف خاک، در برخی مناطق دارای پوشش گیاهی کم و در برخی دیگر فاقد پوشش گیاهی است. این استان فاقد جنگل‌های صنعتی است، اما مناطق خاصی دارای پوشش گیاهی است که به «مراتع جنگلی» معروف است. ۱۶ کانون بحران فرسایش بادی در بیابان‌های استان بوشهر شناسایی شده است که مساحت تقریبی ۴۵۴ هزار و ۶۴۱ هکتار را شامل می‌شود. بیشتر این کویرها در شهرستان‌های دشتستان، تنگستان، گناوه و دیلم قرار دارند. عمده‌ترین اقدامات کاهش بیابان‌زایی در استان بوشهر شامل کاشت نهال و مدیریت رواناب ناشی از بارندگی است.

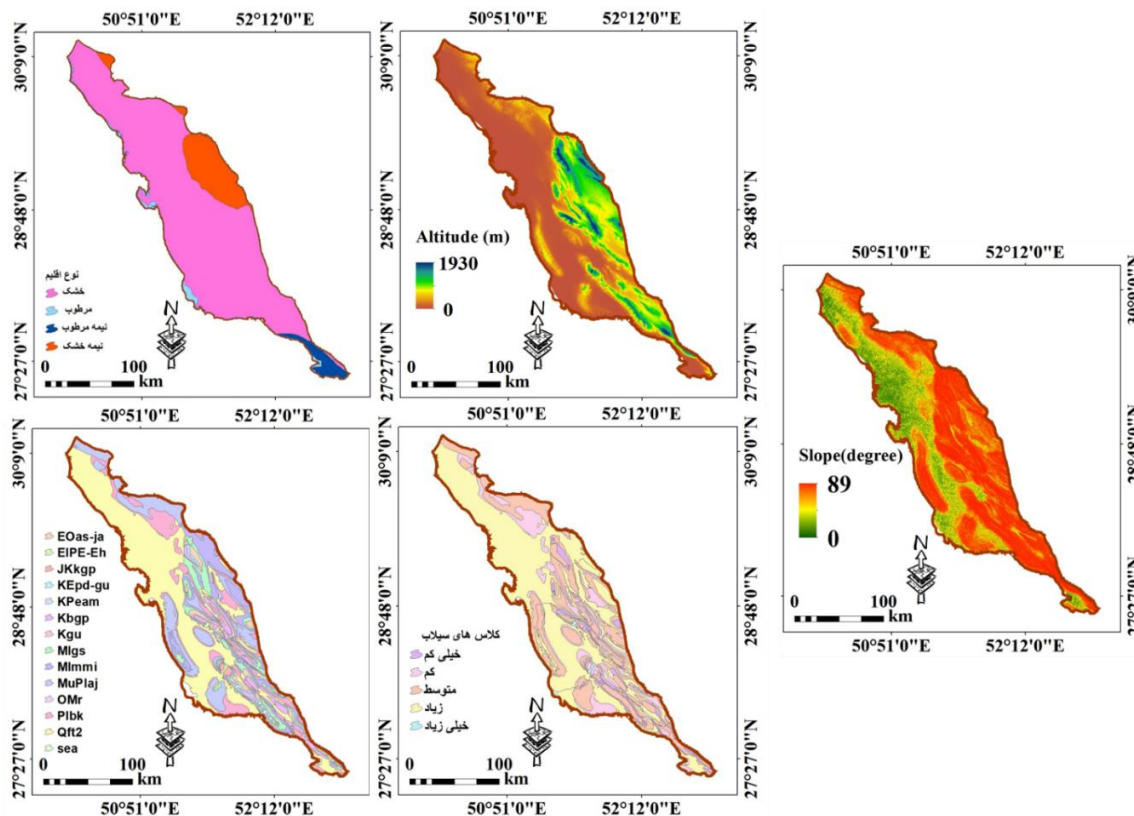
دمای مطلق در این استان به ۵۲/۵ درجه سانتی‌گراد می‌رسد، در حالی که دمای مینیمم آن به ۱- درجه می‌رسد. دمای متوسط سالانه استان حدود ۲۵/۷ درجه است. این اطلاعات می‌تواند در فهم و تحلیل اقلیم و محیط زیست این منطقه کمک کننده باشد. همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده، اقلیم منطقه به ۴ کلاس اصلی شامل خشک، مرطوب، نیمه خشک و نیمه مرطوب تقسیم می‌شود. بر اساس این طبقه‌بندی، بیشتر منطقه دارای اقلیم خشک است. استان بوشهر شامل ۹ شهرستان با نام‌های تنگستان، جم، دشتستان، دشتی، دیلم، دیر، عسلویه، کنگان، گناوه می‌باشد. این شهرستان‌ها با تنوع جغرافیایی، اقلیمی و فرهنگی، منطقه‌ای بسیار جالب برای مطالعات جغرافیایی و طبیعی محسوب می‌شوند و ارزش بررسی دقیق‌تر را دارند.



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه به عنوان یک منطقه کوهستانی و با ویژگی‌های مورفولوژیک مرتفع است. با این حال، در نواحی ساحلی، منظره‌ای مسطح و دشتی دیده می‌شود. این تفاوت‌ها باعث شده است که استان دارای دو شکل متفاوت از نظر ژئومورفولوژیکی باشد. مناطق کوهستانی استان، شبیه به دیگر نواحی زاگرس هستند و دارای روندی از تناوب تپه‌های نامتقارن و دره‌های فشرده به سمت جنوب است. در حالی که نواحی ساحلی استان شاهد افزایش فرسایش هستند که مناطق از پایه‌های کوه تا سواحل دریا را فرا می‌گیرند. بخش جنوب غربی استان، از گناوه تا بخشی از شمال برازجان، قسمتی از کمان فارس است که الگوی ساختاری آن شامل تپه‌ها و دره‌های موازی و ممتد با روندی از شمال غربی به

جنوب شرقی است. تپه‌ها عموماً نامتقارن هستند و سوی جنوب غربی آن‌ها شیب‌دارتر است. در این بخش، توالی سنگی کامل‌تری مشاهده می‌شود. بطوریکه بیشترین ارتفاع در منطقه حدود ۱۹۳۰ متر واقع در بخش‌های شرقی منطقه قرار دارد، در حالی که کمترین ارتفاع، یعنی صفر متر، در بخش‌های شمال غربی منطقه قرار دارد (شکل ۲).



شکل ۲. نقشه‌های اقلیم، ارتفاع، زمین‌شناسی، سیلاب و شیب منطقه مورد مطالعه

از نظر سیلاب، بیشترین کلاس‌های سیلاب در بخش‌های غربی منطقه با مساحت تقریباً ۱۱۸۹۳ کیلومتر مربع مشاهده می‌شود، در حالی که کمترین میزان سیلاب مربوط به بخش‌هایی از شرق منطقه با ۲۰۱۶ کیلومتر مربع است. همچنین از نظر شیب بیشتر بخش‌های شرقی منطقه دارای شیب زیاد می‌باشند.

### ۲.۲.۲ داده

داده‌های مورد مطالعه شامل داده‌های ارتفاعی تهیه شده از سایت USGS با دقت تفکیک ۳۰ متری، نقشه‌های کاربری اراضی که از جهاد کشاورزی تهیه شده‌اند، نقشه‌های زمین‌شناسی از سازمان زمین‌شناسی کشور و همچنین نقشه‌های سیلاب از اداره منابع طبیعی در سال ۱۴۰۲ تهیه شده‌اند.

### ۲.۳ روش‌ها

در این مطالعه از روش TPI برای تهیه شاخص موقعیت توپوگرافی منطقه مورد مطالعه در مقیاس‌های کوچک و بزرگ در GIS استفاده شد. همچنین نقشه‌های اشکال زمینی در طبقات مختلف با استفاده از مقادیر TPI تهیه شد. در ادامه با استفاده از طبقات مختلف اشکال زمینی، نقشه‌های طبقه‌بندی شده کاربری اراضی و سیلاب برای منطقه مورد مطالعه در GIS تهیه شد. توضیح در مورد هر یک از روش‌ها در ادامه آمده است.

### ۲.۳.۱ روش TPI

در این مطالعه از روش TPI برای تهیه نقشه لندفرم‌های منطقه استفاده شده است. TPI اختلاف بین ارتفاع در نقطه مرکزی ( $Z_0$ ) و ارتفاع میانگین ( $\hat{Z}$ ) در اطراف آن در شعاع مشخص شده ( $R$ ) را اندازه‌گیری می‌کند. در این فرمول، ( $n$ ) تعداد کل نقاط اطراف مورد استفاده در ارزیابی قرار می‌گیرد.

$$\hat{Z} = \frac{1}{nR} \sum_{i \in R} Z_i \quad (1)$$

خروجی مقدار TPI مثبت زمانی است که نقطه مرکزی در موقعیتی با ارتفاع بالاتر از همسایگانش قرار دارد و مقادیر منفی زمانی که در موقعیتی با ارتفاع پایین‌تر قرار دارد. مقادیر خروجی اغلب بین  $+1$  و  $-1$  قرار دارند و مقادیر خارج از این محدوده ممکن است نشانه‌های ناهنجاری در داده‌های ارتفاعی باشند. علاوه بر این، DEV موقعیت زمین‌شناسی نقطه مرکزی ( $Z_0$ ) را با استفاده از TPI اندازه‌گیری می‌کند و انحراف معیار ارتفاع ( $SD$ ) که معادلات هر یک در ادامه آمده است (Wilson J., Gallant, 2000):

$$DEV = \frac{Z_0 - \hat{Z}}{SD} \quad (2)$$

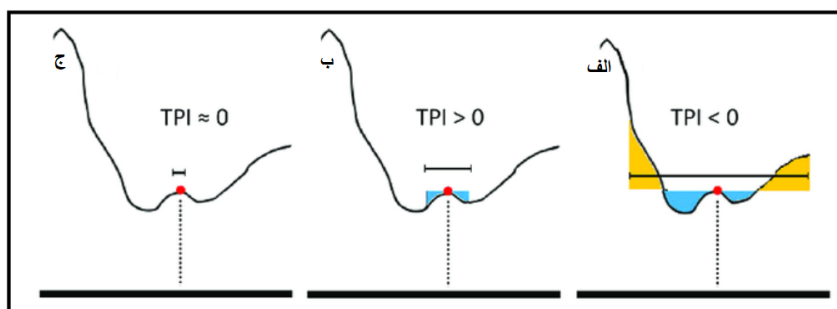
$$SD = \sqrt{\frac{1}{nR} \sum_i (Z_i - \hat{Z})^2} \quad (3)$$

$$TPI < -focal(x, w = f, fun = function(x, ...) \times [5] - mean(x[-5])) \quad (4)$$

مقادیر مثبت TPI به مناطق با ارتفاع زیاد مانند قله‌ها اشاره می‌کنند، مقادیر منفی نواحی با ارتفاع کم مانند دره‌ها را نشان می‌دهند و مقدار صفر به مناطق صاف مانند دشت‌ها اشاره دارد (Wilson J., Gallant, 2000) (شکل ۳). قابل ذکر است که در این مطالعه از مقیاس‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ متر برای تهیه نقشه‌های TPI و در نهایت نقشه‌های لندفرم استفاده شد. مطالعات نشان می‌دهد که استفاده از مقیاس‌های مختلف (مقادیر مجاور) برای TPI منجر به نتایج مختلفی می‌شود (Melgoza et al., 2018) (شکل ۴).



شکل ۳. مقادیر مثبت و منفی TPI



شکل ۴. تغییرات ارتفاع بر اساس مقادیر TPI، در سه مقیاس: (الف) TPI صفر است، (ب) TPI بیشتر از صفر است، (ج) TPI کمتر از صفر

در واقع، استفاده از TPI در مقیاس‌های مختلف (محیط‌های بزرگ و کوچک) و به‌طور متناسب، امکان دسته‌بندی شکل زمین را به ده کلاس شکل زمین فراهم می‌کند. بنابراین، می‌توان تعیین کرد که هر سلول در هر مقیاس به یک کلاس قله، دره، یا دشت تعلق دارد (Jenness, 2006) (شکل ۵).



شکل ۵. TPI در مقیاس‌های مختلف (الف) مقیاس کوچک، (ب) مقیاس بسیار بزرگ

### ۲.۳.۲. طبقه‌بندی شکل زمین

در منطقه مورد مطالعه، به دلیل مناظر پیچیده‌ای که ناشی از تنوع شیب و ارتفاع وجود دارد، امکان تشخیص وضوح اشکال مختلف زمین وجود دارد. در جدول ۱، ده کلاس شکل زمین که در منطقه مورد مطالعه شناسایی شده است نمایش داده شده است، که از TPI و DEV با استفاده از عملگرهای محلی ArcGIS V.8 محاسبه شده‌اند. برای هر دو TPI و DEV، از همسایگی‌های با اندازه‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ متر استفاده شده است.

جدول ۱. ویژگی لندفرم‌های مختلف بر اساس اندازه همسایگی‌ها (Weiss, ۲۰۰۶)

اندازه همسایگی بزرگ	اندازه همسایگی کوچک	نوع لندفرم	شماره کلاس
$Z_0 < -SD$	$Z_0 < -SD$	دره‌ها و بریدگی‌های واقع بر ارتفاعات و دامنه‌ها	۱
$0 \leq Z_0 \leq SD$	$Z_0 < -SD$	دره‌های آبراهه‌های میانی	۲
$Z_0 > SD$	$Z_0 < -SD$	زهکش‌های مرتفع	۳
$Z_0 < -SD$	$-SD \leq Z_0 \leq SD$	دره‌های u شکل	۴
$-SD \leq Z_0 < 0$	$-SD \leq Z_0 \leq SD$	دشت‌های کوچک	۵
$0 \leq Z_0 \leq SD$	$-SD \leq Z_0 \leq SD$	دشت سر	۶
$Z_0 > SD$	$-SD \leq Z_0 \leq SD$	فلات‌های بالایی (سطوح مسطح واقع بر ارتفاعات)	۷
$-SD \leq Z_0 < 0$	$Z_0 > SD$	خط‌الراس‌های مرتفع	۸
$0 \leq Z_0 \leq SD$	$Z_0 > SD$	تپه	۹
$Z_0 > SD$	$Z_0 > SD$	خط‌الراس‌های مرتفع، قله کوه	۱۰

### ۲.۳.۳. طبقه‌بندی کاربری اراضی و سیلاب بر اساس شکل زمین

روش TPI مورد استفاده در طبقه‌بندی شکل زمین، اهمیت زیادی در طبقه‌بندی مناسب برای استفاده بهینه از زمین و اجرای فعالیت‌های انسانی مناسب دارد (جدول ۲). در این مطالعه بعد از طبقه‌بندی شکل زمین در ۱۰ کلاس وضعیت لندفرم‌ها در هر یک از کاربری‌های اراضی تعیین می‌شود و مقایسه‌ای از کاربری‌های اراضی کنونی با استانداردهای آن بر اساس شکل زمین تعیین می‌شود.

جدول ۲. طبقه بندی کاربری اراضی براساس کلاس های شکل زمین (Al-Sababhah, 2023)

کاربری اراضی	لندفرم
کشاورزی	دشت
منابع طبیعی، حیات وحش، نواحی ساخته شده، شبکه های جاده ای	دره
مراعات، مراعات حفاظت شده، آگروفارستی، منابع طبیعی، گردشگری (زمین شناسی)	اراضی شیب دار
آگروفارستی، منابع طبیعی، اکوتوریسم (زمین شناسی)، نواحی طبیعی	اراضی شیب دار و قله
اراضی طبیعی، اکوتوریسم، پارک های طبیعی، آگروفارستی	اراضی شیب دار، اراضی مرتفع و زهکش های بالا دست

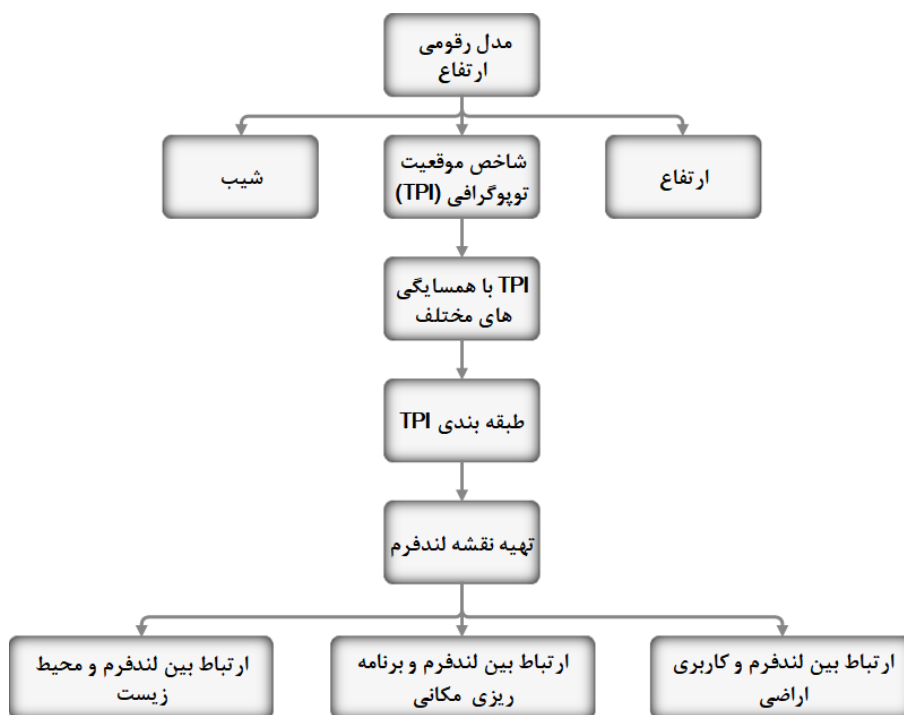
## ۲.۳.۴. طبقه بندی سطوح خطر محیطی (سیل) بر اساس اشکال زمین

روش TPI می تواند در تجزیه و تحلیل شکل زمین، برای طبقه بندی خطرات محیطی مربوط به سیل استفاده شود (جدول ۳).

جدول ۳. طبقه بندی سطوح خطر محیطی (سیل) (Al-Sababhah, 2023)

کلاس های لندفرم	کلاس های ریسک مخاطرات سیل
دشت	خیلی زیاد
دره	زیاد
زهکش با شیب متوسط و اراضی شیب دار	متوسط
اراضی با شیب زیاد و قله	کم
قله های با شیب متوسط و زیاد با زهکش های بالادست	خیلی کم

روش های کلی استفاده شده برای ایجاد یک مدل که به ما امکان تعریف کلاس های شکل زمین را می دهد، در شکل ۶ نشان داده شده است.

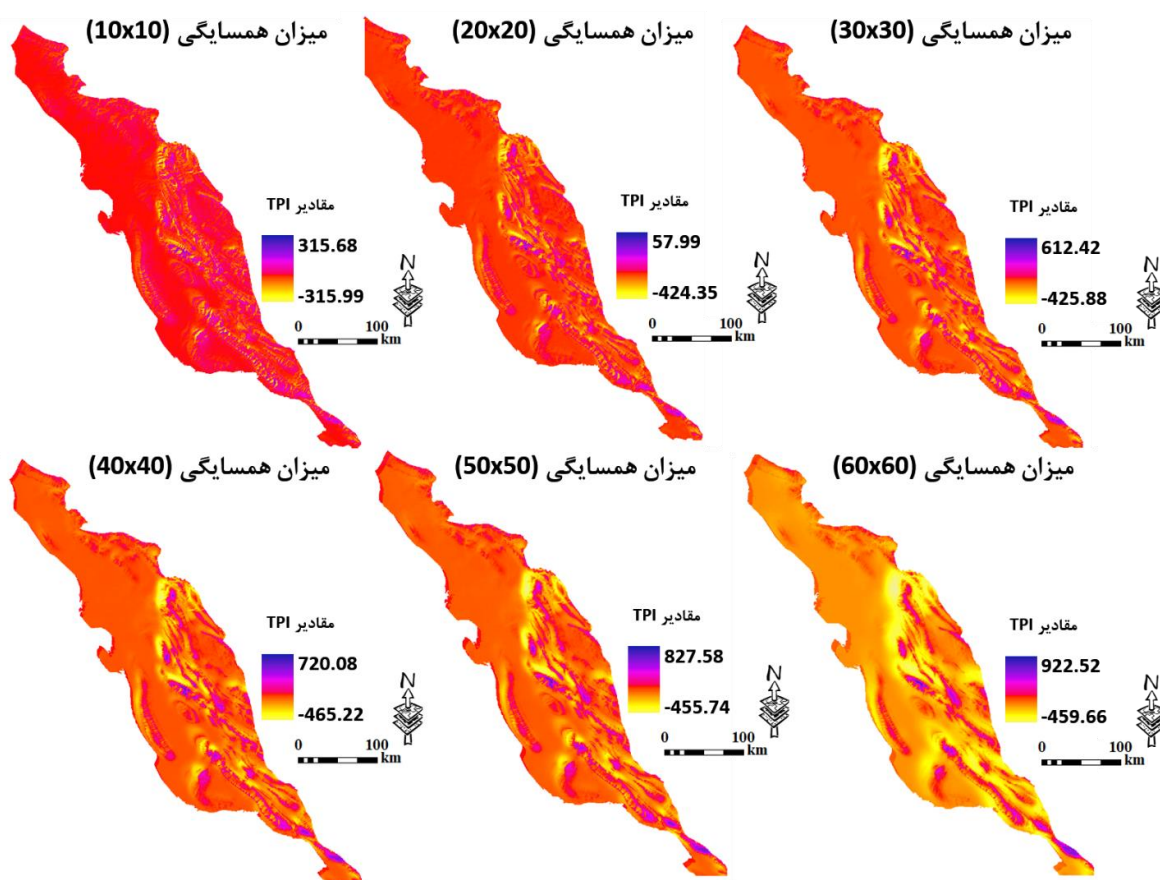


شکل ۶. مراحل تحقیق

### ۳. نتایج و بحث

#### ۳.۱. تجزیه و تحلیل TPI

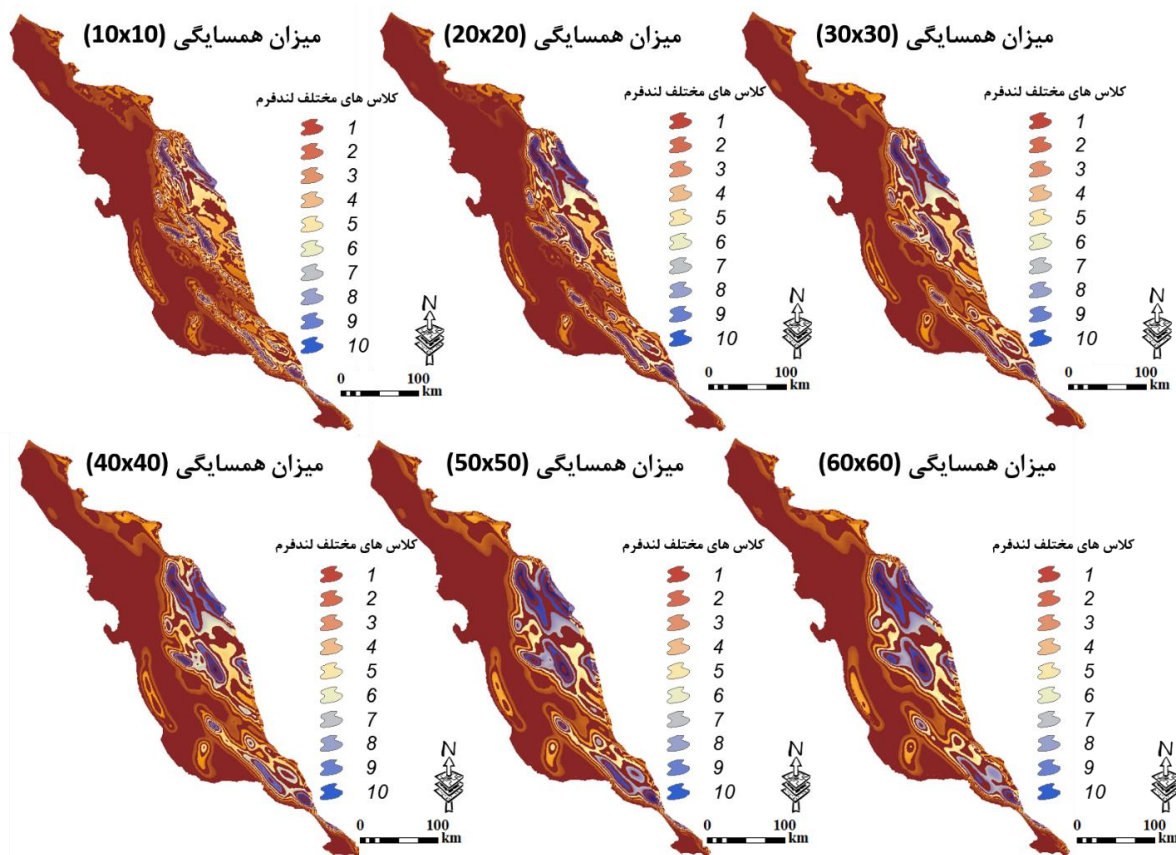
در این مطالعه، روش تجزیه و طبقه‌بندی شکل زمین بر اساس TPI به کار گرفته شد. از روش TPI با ابعاد مختلف (میانگین، ۱۰ متر، ۲۰ متر، ۳۰ متر، ۴۰ متر، ۵۰ متر، ۶۰ متر) استفاده شد و از TPI raster برای مقایسه نتایج با مقیاس‌های مختلف استفاده شد. همانطور که در شکل ۷ نشان داده شده است، با افزایش میزان همسایگی (۶۰ متر)، شکل اصلی زمین از بین می‌رود و دره‌های باریک و زهکش‌ها محو می‌شوند. اما با کاهش میزان همسایگی (۱۰ متر)، همه اشکال، به ویژه تپه‌ها، دره‌ها و زهکش‌ها، حفظ می‌شوند.



شکل ۷. TPI در مقیاس‌های مختلف (میانگین، ۱۰ متر، ۲۰ متر، ۳۰ متر، ۴۰ متر، ۵۰ متر، ۶۰ متر)

#### ۳.۲. کلاس‌های شکل زمین

TPI با نمایش تفاوت‌های میان مقیاس‌های مختلف، به طبقه‌بندی شکل زمین کمک می‌کند. مقادیر بالای TPI (مقادیر مثبت) برجستگی‌ها و قله‌ها را نشان می‌دهند، در حالی که مقادیر منفی TPI به مناطق با ارتفاع پایین اشاره می‌کنند و مقادیر نزدیک به صفر به مناطق صاف، شیب کم و متوسط در شیب اشاره می‌کنند. بنابراین، شکل زمینی منطقه مورد مطالعه بر اساس تغییرات در مقادیر TPI و با استفاده از شش مقیاس مختلف که در این مطالعه استفاده شده با دقت ۹۰ درصد، به ۱۰ کلاس طبقه‌بندی شده‌اند که در شکل ۸ نمایش داده شده است.



شکل ۸. نقشه های شکل زمین حاصل از طبقه بندی TPI در مقیاس های مختلف (میانگین، ۱۰ متر، ۲۰ متر، ۳۰ متر، ۴۰ متر، ۵۰ متر، ۶۰ متر)

بنابراین، نتایج TPI تولید شده نشان داد که اندازه محیط تأثیرگذار بر طبقه بندی شکل زمین دارد و تفاوت هایی در نسبت مساحت شکل زمین بین مقادیر بالا و پایین در TPI ایجاد می کند. به عنوان مثال، در تغییر بین مقیاس کوچک ۱۰ متر و مقیاس بزرگ ۶۰ متر، درصد مساحت دره های U شکل کاهش یافت از ۵۶٫۶۴٪ به ۲۶٫۶۱٪، و در دره ها و بریدگی های واقع بر ارتفاعات و دامنه ها درصد مساحت از ۶۷٫۵۵٪ به ۶۶٫۰۵٪ کاهش یافت. اما برای خط الراس های مرتفع، درصد افزایش از ۰٫۸۱٪ به ۲٫۸۴٪ بود و برای خط الراس های مرتفع، قله کوه درصد افزایش از ۰٫۱۱٪ به ۰٫۳۹٪ بود (جدول ۴).

جدول ۴. توزیع عناصر شکل زمین حاصل از طبقه بندی TPI در مقیاس های مختلف

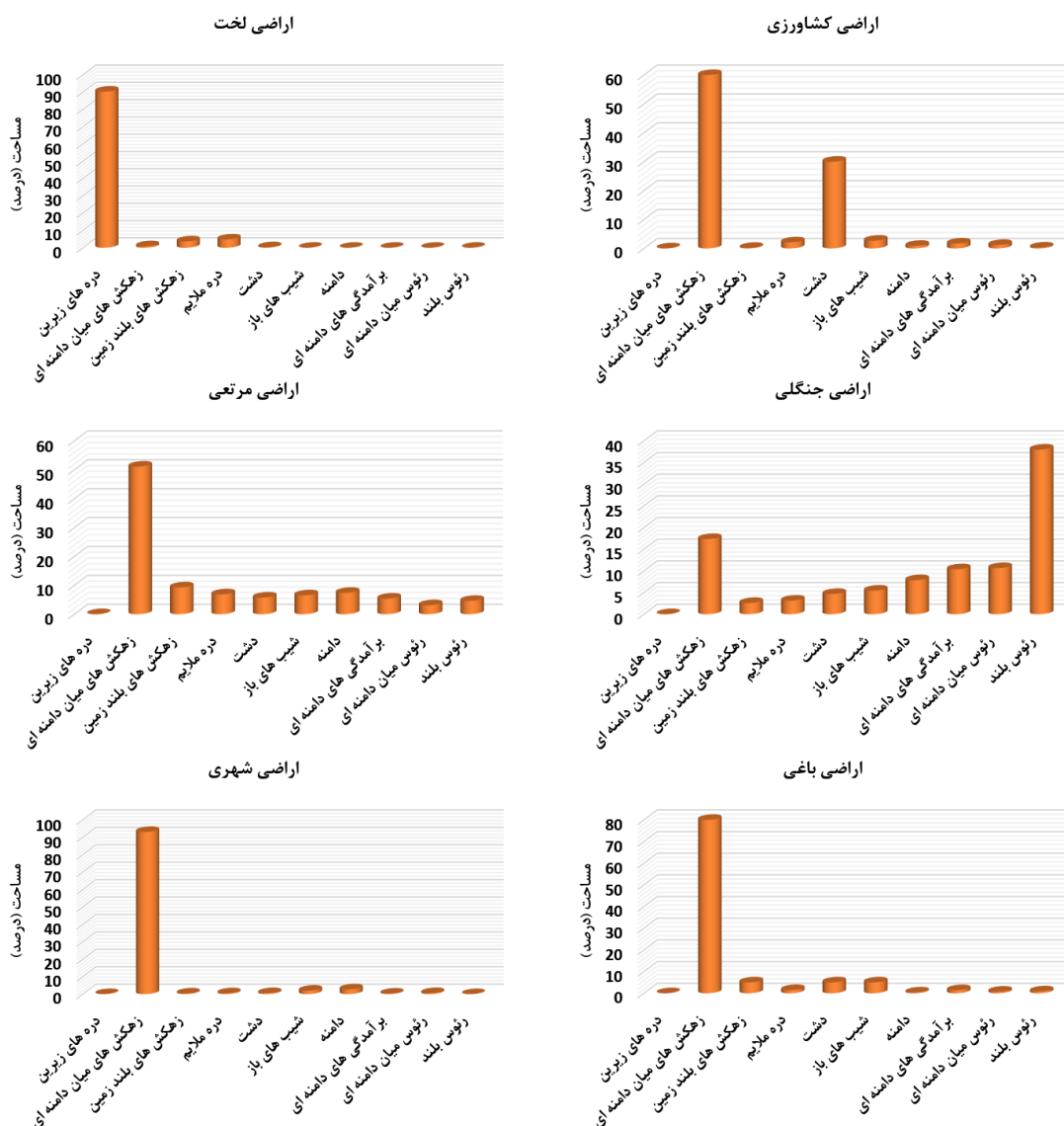
کلاس های لندفرم	همسایگی (۱۰*۱۰)	همسایگی (۲۰*۲۰)	همسایگی (۳۰*۳۰)	همسایگی (۴۰*۴۰)	همسایگی (۵۰*۵۰)	همسایگی (۶۰*۶۰)
دره ها و بریدگی های واقع بر ارتفاعات و دامنه ها	67.55	67.77	68.01	67.70	66.12	66.05
دره های آبراهه های میانی	11.03	11.17	11.17	11.00	12.68	12.90
زهکش های مرتفع	5.87	5.57	4.97	5.02	4.72	4.71
دره های U شکل	5.64	5.76	5.94	2.35	2.56	2.51
دشت های کوچک	5.18	2.61	2.85	3.72	3.52	3.64

دشت سر	2.37	2.64	2.78	5.67	3.26	3.44
فلات های بالایی (سطوح مسطح واقع بر ارتفاعات)	0.87	2.55	2.62	1.45	2.79	2.92
خط الراس های مرتفع	0.81	0.63	0.60	1.58	3.13	2.84
تپه	0.58	0.79	0.62	1.33	0.61	0.59
خط الراس های مرتفع، قله کوه	0.11	0.51	0.43	0.19	0.63	0.39

### ۳.۳. کاربری اراضی

روش TPI می‌تواند در مقیاس‌های مختلف در طبقه‌بندی شکل زمین برای تعیین کاربری‌های اراضی مختلف مانند کشاورزی، منابع طبیعی، حیات وحش، نواحی ساخته شده، شبکه‌های جاده‌ای، مراتع، مراتع حفاظت شده، آگروفارستی، منابع طبیعی، گردشگری (زمین شناسی)، آگروفارستی، منابع طبیعی، اکوتوریسم (زمین شناسی)، اکوتوریسم، پارک‌های طبیعی مورد استفاده قرار گیرد. این طبقه‌بندی کاربری اراضی می‌تواند به عنوان یک مبنا برای برنامه‌ریزی بلندمدت منطقه مورد مطالعه استفاده شود. کلاس‌های لندفرم شامل دره‌ها و بریدگی‌های واقع بر ارتفاعات و دامنه‌ها، دره‌های آبراهه‌های میانی، زهکش‌های مرتفع، دره‌های U شکل، دشت‌های کوچک، دشت سر، فلات‌های بالایی (سطوح مسطح واقع بر ارتفاعات)، خط‌الرأس‌های مرتفع، تپه‌ها، خط‌الرأس‌های مرتفع، و قله‌های کوه است که طبق جدول لندفرم می‌توان در بخش‌هایی از منطقه که دارای کاربری اراضی مرتع، بایر، صخره، و تپه‌های شنی می‌باشد، به ترتیب برای کاربری‌های اراضی دیگر طبق طبقه‌بندی نوع شکل زمین جایگزین نمود. به طور مثال، در بخش‌هایی که دشت تعریف شده، بهترین نوع کاربری اراضی کشاورزی است. در بخش‌هایی که دره‌ها هستند، بهترین نوع کاربری اراضی به ترتیب منابع طبیعی، حیات وحش، نواحی ساخته شده، شبکه‌های جاده‌ای، در اراضی با شیب متوسط، بهترین نوع کاربری اراضی مراتع، مراتع حفاظت شده، آگروفارستی، منابع طبیعی، و گردشگری (زمین شناسی) است. در اراضی با شیب زیاد و ارتفاعات، بهترین نوع کاربری اراضی آگروفارستی، منابع طبیعی، اکوتوریسم (زمین شناسی)، و نواحی طبیعی است. در انتها، اراضی شیب‌دار و اراضی مرتفع با زهکش‌های بالا دست مناسب برای کاربری اراضی طبیعی، اکوتوریسم، پارک‌های طبیعی، و آگروفارستی می‌باشند.

در شکل ۹، دیده می‌شود که اراضی لخت در دره‌ها دارای بیشترین درصد (۹۲٪) هستند، در حالی که اراضی کشاورزی بیشتر در زهکش‌های میان دامنه‌ای و دشت با مساحت حدود ۹۲٪ وجود دارند. اراضی مرتعی بیشتر در زهکش‌های میان دامنه‌ای و اراضی جنگلی علاوه بر زهکش‌های میان دامنه‌ای، در اراضی مرتفع و شیب‌دار نیز مشاهده می‌شوند. اراضی شهری در زهکش‌های میان دامنه‌ای و دامنه‌ها دارای بیشترین درصد هستند و اراضی باغی در زهکش‌ها، دره‌ها و اراضی شیب‌دار دارای بیشترین درصد می‌باشند. این نشان می‌دهد که می‌توان در بخش‌های مختلف شکل زمین انواع متنوعی از کاربری اراضی دیگر مانند کشاورزی، منابع طبیعی، حیات وحش، نواحی ساخته شده، شبکه‌های جاده‌ای، مراتع، مراتع حفاظت شده، آگروفارستی، منابع طبیعی، گردشگری (زمین شناسی)، آگروفارستی، منابع طبیعی، اکوتوریسم (زمین شناسی)، اکوتوریسم، پارک‌های طبیعی را ایجاد کرد. قابل ذکر است که در ارتباط بین کاربری اراضی و شکل زمین برای مقادیر همسایگی ۱۰ متر در نظر گرفته شد.

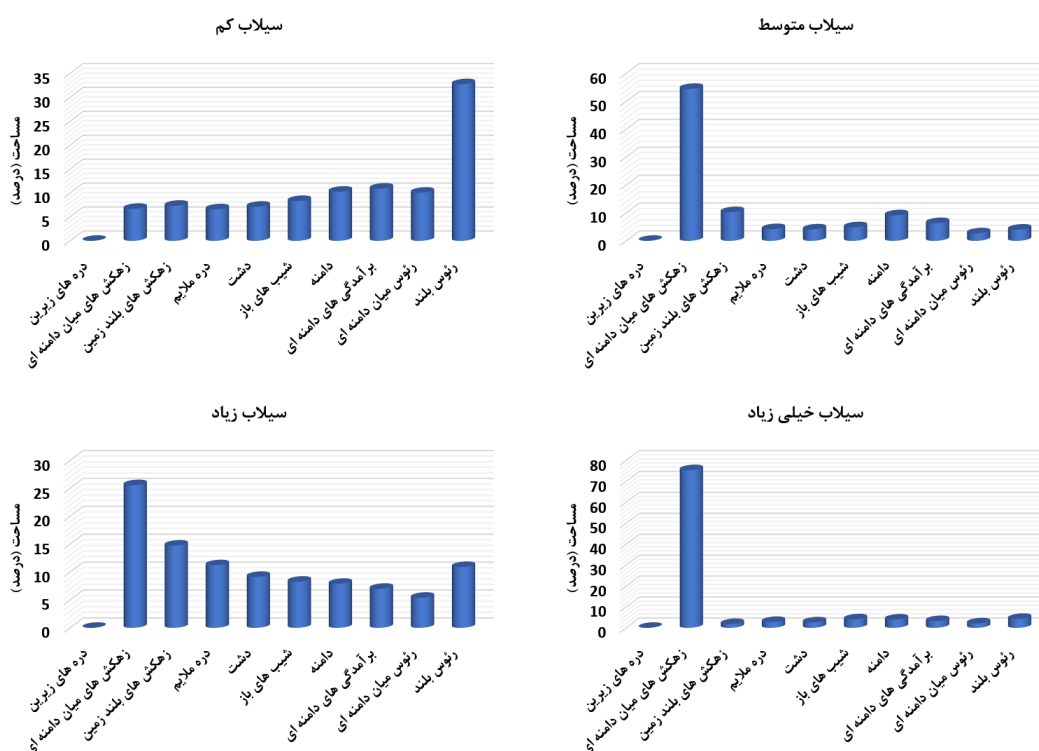


شکل ۹. توزیع کاربری اراضی حاصل از طبقه بندی شکل زمین در مقیاس ۱:۱۰.

مطالعه کرویترو و همکاران. (۲۰۲۰) اهمیت ادغام ویژگی های شکل زمین در برنامه ریزی کشاورزی را برجسته می کند. نتایج ما این را تأیید می کند و نشان می دهد که دشت ها برای کشاورزی مناسب هستند، در حالی که دره ها برای منابع طبیعی و زیرساخت ها بهتر استفاده می شوند. این رویکرد هدفمند تضمین می کند که شیوه های استفاده از زمین با ویژگی های توپوگرافی ذاتی سازگار است و در نتیجه بهره وری و پایداری را افزایش می دهد. علاوه بر این، یافته ها با کار کانگ و همکاران همبستگی دارد. (۲۰۲۰)، که اهمیت توپوگرافی را در حفظ زیستگاه حیات وحش و اکوتوریسم شناسایی کرد. در واقع سیاست گذاران می توانند با دسته بندی شکل های زمین و مرتبط ساختن آنها با کاربری های مناسب، استراتژی هایی را توسعه دهند که در عین به حداقل رساندن اثرات زیست محیطی، مطلوبیت زمین را به حداکثر برسانند. این رویکرد با یافته های لیو و همکاران (۲۰۲۲) که بر نقش تجزیه و تحلیل دقیق لندفرم در برنامه ریزی شهری و مدیریت منابع طبیعی تأکید داشتند، مطابقت دارد.

### ۳,۴. خطرات زیست محیطی (خطر سیل)

بسیاری از طبقه‌بندی‌های خطرات زیست محیطی نیازمند استخراج ویژگی‌های مختلف زمین به عنوان ورودی برای طبقه‌بندی دقیق هستند. روش طبقه‌بندی شکل زمینی انجام شده توسط روش TPI می‌تواند با تعیین سطوح خطر سیل با توجه به شرایط زیست محیطی کمک زیادی برای توسعه پایدار منطقه نماید. در واقع، ابزارهای پیشرفته در داخل GIS امکان تجزیه و تحلیل و نمایش مناطق خطر سیل را برای دستیابی به مدیریت پایدار منابع طبیعی فراهم می‌کند. شکل ۱۰ کلاس‌های خطر سیلاب در طبقات مختلف شکل زمین در مقیاس ۱۰ متر را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰. توزیع سیلاب در طبقات مختلف شکل زمین در مقیاس ۱۰ متر

همانطور که در شکل ۷ نشان داده شده کلاس‌های سیلاب کم در اراضی مرتفع (رتوس بلند)، سیلاب متوسط در زهکش‌های میان دامنه‌ای، سیلاب زیاد در بسیاری از شکل‌های زمین از جمله زهکش‌ها، دره‌ها، اراضی شیب‌دار، اراضی مرتفع دیده می‌شود. سیلاب خیلی زیاد بیشتر در زهکش‌های میان دامنه‌ای دیده می‌شود. با توجه به جدول ۳ مشخص می‌شود که بیشترین کلاس‌های ریسک مخاطرات سیل مربوط به دشت می‌باشد. در حالیکه کمترین کلاس‌های ریسک مخاطرات سیل در قله‌های با شیب متوسط و زیاد با زهکش‌های بالادست می‌باشد. اراضی با شیب زیاد و قله دارای خطر سیل کم، زهکش با شیب متوسط و اراضی شیب دار در کلاس متوسط از نظر سیلخیزی و دره‌ها نسبتاً دارای خطر سیلاب زیاد می‌باشند. از این‌الگو برای تعیین خطر سیلاب و مدیریت پایدار منطقه می‌توان استفاده نمود.

یافته‌های این مطالعه با استفاده از روش TPI برای ارزیابی مؤثر سطوح خطر سیل در اشکال مختلف زمین، به حجم رو به رشد تحقیقات در طبقه‌بندی خطرات زیست محیطی کمک می‌کند. این روش با مطالعات قبلی که بر اهمیت طبقه‌بندی شکل زمین برای مدیریت زیست محیطی و کاهش خطر تأکید می‌کنند، همسو است. به عنوان مثال، لسترا و همکاران (۲۰۰۸) نشان داد که ترکیب ویژگی‌های توپوگرافی و ژئومورفولوژیکی در مدل‌های خطر سیل به طور قابل توجهی دقت پیش‌بینی سیل را بهبود می‌بخشد. نتایج ما این را تأیید می‌کند و نشان می‌دهد که مناطق با ویژگی‌های شکل زمین

متفاوت، مانند پشته‌های بلند، دره‌ها و دشت‌ها، پروفایل‌های خطر سیل متمایز را نشان می‌دهند. به طور خاص، شناسایی خطرات بالای سیل در دره‌ها و دشت‌ها بازتاب یافته‌های نگوین و همکاران (۲۰۲۱) است که حساسیت مناطق کم ارتفاع را به سیل به دلیل ویژگی‌های توپوگرافی و هیدرولوژیکی آن‌ها برجسته کردند. علاوه بر این، استفاده از ابزارهای GIS در مطالعه ما با وانگ (۲۰۱۸)، که بر نقش فناوری‌های پیشرفته GIS در مدیریت منابع طبیعی و پیش‌بینی خطر تأکید داشتند، همسو است. با استفاده از GIS، ما توانستیم یک تحلیل مکانی دقیق از خطر سیل ارائه دهیم و مداخلات هدفمند را برای مدیریت سیل امکان پذیر کنیم. این رویکرد به ویژه برای توسعه پایدار ارزشمند است، زیرا امکان شناسایی دقیق مناطق پرخطر را فراهم می‌کند و اجرای اقدامات کاهش‌دهنده را اطلاع‌رسانی می‌کند.

#### ۴. نتیجه‌گیری

این مطالعه اثربخشی استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) را به عنوان یک روش کلیدی برای طبقه‌بندی لندفرم نشان می‌دهد که امکان ایجاد نقشه‌های لندفرم دقیق در سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) را فراهم می‌کند. این تحقیق که در استان بوشهر، جنوب ایران انجام شد، نشان می‌دهد که شبیه‌سازی مدل رقومی ارتفاع (DEM) با TPI در GIS می‌تواند به‌طور دقیق لندفرم‌های مختلف را در مناطق مختلف طبقه‌بندی و نقشه‌برداری کند. یکی از یافته‌های مهم تأثیر مقیاس بر رویت و طبقه‌بندی شکل زمین است. بطوریکه ویژگی‌های بزرگ در مقیاس‌های بزرگتر به وضوح مشاهده می‌شوند، در حالی که کلاس‌های کوچکتر در مقیاس‌های کوچکتر (با اندازه محیط کمتر) قابل مشاهده هستند، که نشان می‌دهد انتخاب مقیاس برای تحلیل دقیق شکل زمین بسیار مهم است. این رویکرد چند مقیاسی تضمین می‌کند که هر دو ویژگی توپوگرافی کلان و میکرو به طور مناسب شناسایی شده اند و دقت برنامه ریزی فضایی را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، این مطالعه بر کاربردهای عملی این یافته‌ها در برنامه ریزی فضایی و مدیریت ریسک زیست محیطی تأکید دارد. برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران با درک و ترسیم لندفرم‌ها می‌توانند استراتژی‌هایی را توسعه دهند که با زمین‌های طبیعی همسو می‌شوند و پیش‌بینی و مدیریت خطرات زیست محیطی مانند سیل را بهبود می‌بخشند. این رویکرد استفاده پایدار از زمین و مدیریت منابع را ترویج می‌کند که برای مناطق مستعد خطرات طبیعی ضروری است. در نتیجه، ادغام TPI با GIS برای شبیه‌سازی DEM، چارچوبی قوی برای طبقه‌بندی دقیق شکل زمین و نقشه‌برداری فراهم می‌کند. توانایی این روش برای تولید نقشه‌های دقیق در مقیاس‌های مختلف، از برنامه ریزی فضایی و مدیریت ریسک موثر پشتیبانی می‌کند. پیشنهاد می‌شود که تحقیقات آینده بر اصلاح این تکنیک‌ها و کاوش در کاربردهای آن‌ها در زمینه‌های جغرافیایی دیگر برای اعتبارسنجی و گسترش بیشتر کاربردهای آن تمرکز کند.

#### منابع

- بهرامی، حسین - احمد نوحه گر - وفا محمودی (۱۳۹۲) طبقه بندی خودکار لندفرم‌های حوضه آبخیز با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی مطالعه موردی: حوضه آبخیز بروجن در استان چهارمحال و بختیاری، پژوهش‌های کمی ژئومورفولوژی شماره ۳، ۱۷-۳۰
- مکرم، مرضیه - نگهبان سعید (۱۳۹۳) طبقه بندی لندفرم‌ها با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) مطالعه موردی: منطقه جنوبی شهرستان داراب، پژوهش‌های کمی ژئومورفولوژی شماره ۳، ۱۷-۳۰
- مکرم، م.، ۱۳۹۵. بررسی شکل زمین و میزان NDVI در سازندهای زمین شناسی به منظور ارزیابی حساسیت آنها به فرسایش (مطالعه موردی: شمال شهرستان داراب). مجله علمی پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان. ۱۱. ۶۶-۵۵.
- نگهبان، س.، مکرم، م.، ۱۴۰۱. بررسی ارتباط بین وضعیت توپوگرافی و خشکسالی در غرب استان فارس با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. ۵۴. ۳۳۱-۳۴۵.

- Weiss A, "Topographic position and landforms analysis". Poster Presentation, ESRI Users Conference, San Diego, CA, 2001. URI: [http://www.jennessent.com/downloads/tpi-poster-tnc\\_18x22.pdf](http://www.jennessent.com/downloads/tpi-poster-tnc_18x22.pdf).
- Dragut L., Blaschke T, "Automated classification of landform elements using object-based image analysis". *Geomorphology*, vol.81, pp. 330-344, 2006. DOI: 10.1016/j.geomorph.2006.04.013.
- Laamrani A., Valeria O., Bergeron Y., Fenton N., Cheng L., Anyomi K, "Effects of topography and thickness of organic layer on productivity of black spruce boreal forests of the Canadian Clay Belt region". *Forest Ecology Management*, vol.330, pp.144–157, 2014. DOI: 10.1016/j.foreco.2014.07.013.
- Wilson J., Gallant J, "Terrain analysis: principles and applications". John Wiley and Sons, Inc. Chichester; Canada, pp. 479, 2000. URI:<https://www.wiley.com/en-us/exportProduct/pdf/9780471321880>
- Salinas-Melgoza M., Skutsch M., Lovett J, "Predicting aboveground forest biomass with topographic variables in human-impacted Ecosphere, vol.9, no. 1, 2018. DOI: 10.1002/ecs2.2063.
- Alin Miha-Pintilie, Ionut Cristi Nicu, 2019. GIS-based Landform Classification of Eneolithic Archaeological Sites in the Plateau-plain Transition Zone (NE Romania): Habitation Practices vs. Flood Hazard Perception, Remote Sensing and GIS for Environmental Analysis and Cultural Heritage, 11, 915
- Fernando M. G. Martins, Helena M. Fernandez, Antonio Jordán & Lorena Zavala, 2015. Classification of landforms in Southern Portugal (RIA Formosa Basin), *Journal of map*
- Ian S. Evans, 2012. *Geomorphometry and landform mapping: What is a landform*, *geomorphology* 137, 94-106
- Jarosław Jasiewicz, Tomasz F. Stepinski, 2013. *Geomorphons- a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms: Geomorphology* 182, 147-156
- Tomasz F. Stepinski, Jarosław Jasiewicz, 2011. *Geomorphons - a new approach to classification of landforms. Geomorphetry*
- Zamir Libohova, Hans E. Winzeler, Brad Lee, Philip J. Schoeneberger, Jyotishka Datta Phillip R. Owens, 2016. *Geomorphons- Landform and property predictions in a glacial moraine in Indiana landscapes, Catena* 142, 66-76
- Lin, S., Chen, N., & He, Z. (2021). Automatic landform recognition from the perspective of watershed spatial structure based on digital elevation models. *Remote Sensing*, 13(19), 3926.
- Dikau, R. (2020). The application of a digital relief model to landform analysis in geomorphology. In *Three dimensional applications in GIS* (pp. 51-77). CRC Press.
- Nazaruddin, D. A. (2020). Granite landforms of Samui Island (southern Thailand) from geoheritage, geoconservation and geotourism perspectives. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 8(2), 75-86.
- Kurnianto, F. A., Nurdin, E. A., Pangastuti, E. I., & Ribtyanti, H. D. (2023). Vegetation Distribution Pattern at Several Landforms and Its Implications towards Surface Run Off. *International Journal of Earth Sciences Knowledge and Applications*, 5(2), 227-236.
- Dede, V., Dengiz, O., Demirağ Turan, İ., Türkeş, M., Şenol, H., & Serin, S. (2024). Development of periglacial landforms and soil formation in the Ilgaz Mountains and effect of climate (Western Black Sea Region-Türkiye). *Journal of Geographical Sciences*, 34(3), 543-570.

- Saha, S., Paul, G. C., & Hembram, T. K. (2020). Classification of terrain based on geo-environmental parameters and their relationship with land use/land cover in Bansloi River basin, Eastern India: RS-GIS approach. *Applied Geomatics*, 12(1), 55-71
- Jackovičová, J., Dolejš, M., & Riezner, J. (2023). Spatial determinants of the distribution of lynchets and stone walls in NW Czechia: A broad-scale study. *Applied Geography*, 158, 103036.
- Safanelli, J. L., Poppiel, R. R., Ruiz, L. F. C., Bonfatti, B. R., Mello, F. A. D. O., Rizzo, R., & Demattê, J. A. (2020). Terrain analysis in google earth engine: A method adapted for high-performance global-scale analysis. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(6), 400.
- Lastra, J., Fernández, E., Díez-Herrero, A., & Marquínez, J. (2008). Flood hazard delineation combining geomorphological and hydrological methods: an example in the Northern Iberian Peninsula. *Natural Hazards*, 45, 277-293.
- Nguyen, T. T., Nakatsugawa, M., Yamada, T. J., & Hoshino, T. (2021). Flood inundation assessment in the low-lying River basin considering extreme rainfall impacts and topographic vulnerability. *Water*, 13(7), 896.
- Wang, X., & Xie, H. (2018). A review on applications of remote sensing and geographic information systems (GIS) in water resources and flood risk management. *Water*, 10(5), 608
- Croitoru, A. E., Man, T. C., Vâtcă, S. D., Kobulniczky, B., & Stoian, V. (2020). Refining the Spatial Scale for Maize Crop Agro-Climatological Suitability Conditions in a Region with Complex Topography towards a Smart and Sustainable Agriculture. Case Study: Central Romania (Cluj County). *Sustainability*, 12(7), 2783
- Kang, S., Zhang, X., & He, M. (2020). Impact and protection of eco-tourism activities in nature reserves on animal habitat. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias*, 30(5), 2710-2719
- Liu, X., Ming, Y., Liu, Y., Yue, W., & Han, G. (2022). Influences of landform and urban form factors on urban heat island: Comparative case study between Chengdu and Chongqing. *Science of the Total Environment*, 820, 153395.