

کاربرد روش ژئومورفون‌ها در شناسایی عناصر اشکال زمین (مطالعه موردی حوضه حبله رود)

زهرا عادلی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی.
منیژه قهرودی تالی* - استاد گروه جغرافیا طبیعی، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی.
سید حسن صدوق - استاد گروه جغرافیا طبیعی، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۷/۱۲ تأیید نهایی: ۱۴۰۰/۰۴/۱۲

چکیده

شناسایی عناصر اشکال زمین در تحلیل چشم اندازهای ژئومورفولوژی از اهمیت خاصی برخوردار است. و منجر به طبقه‌بندی لندفرم‌ها در مقیاس بزرگ می‌شود. استخراج الگوها و عناصر ناهمواری اولین گام اساسی در شناسایی لندفرم‌ها است در این پژوهش روش ژئومورفون برای استخراج اتوماتیک عناصر لندفرمی بر اساس تشخیص الگوی حاصل از ژئومتری DEM به کار گرفته شده است. ژئومورفون الگویی از مورفولوژی زمین و به عبارتی ساختارهای ریز چشم‌انداز هستند. این روش در حوضه آبریز حبله‌رود پیاده سازی شد. حوضه حبله‌رود از نظر موقعیت جغرافیایی در جنوب رشته کوه البرز بین استان تهران و سمنان واقع شده است. هدف این پژوهش شناسایی عناصر لندفرمی و استخراج الگوی حاکم بر ناهمواری‌ها در منطقه مورد مطالعه است. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل مدل رقومی ارتفاع ALOSPOL SAR 12.5 مربوط به سال ۲۰۱۰، تصاویر Landsat8 برداشت در تاریخ ۲۰۱۹-۰۶-۲۹ و برداشتهای میدانی بوده است. روش ژئومورفون برای تولید شناسایی و استخراج عناصر لندفرم‌ها در حوضه حبله رود به کار گرفته شده است. ۱۰ عنصر غالب از شکل زمین در منطقه مورد مطالعه شامل محدوده‌های مسطح(دشت)، قله، خط الراس، شانه خط الراس، خط الراس پهلویی، دامنه، دره کوچک پای دامنه، پای دامنه، دره، گودال(دره عمیق) شناسایی گردید. نتایج مستخرج از این پژوهش اشکال سطح زمین و ماهیت فرایندهایی که در این ناحیه عمل کرده و یا در حال حاضر فعال هستند را آشکار ساخت و منجر به شناسایی عناصر و الگوی ناهمواری‌ها گردید و این عناصر به نوبه خود تفاوت‌ها، شباهت‌ها و ناپایداری‌های ناهمواری‌ها را بیان کرده است.

واژگان کلیدی: ژئومورفون، عناصر لندفرم، الگو، حبله رود.

مقدمه

توانایی توصیف محیط ژئومورفولوژیکی بر اساس طبقه‌بندی لندفرم‌ها بخش مهمی از تحلیل محیطی و مدل‌سازی چشم‌انداز است. لندفرم‌ها به عنوان عنصر اصلی چشم‌اندازها و یکی از ارکان اصلی ژئومورفولوژی هستند که به سطح زمین ماهیت مکانی می‌دهند (درگوت^۱، ۲۰۰۶). لندفرم‌ها محدوده‌ها برای انواع فرایندهای ژئومورفولوژیکی، اکولوژیکی و هیدرولوژیکی را، مشخص می‌کنند (ژائو^۲، ۲۰۱۷). کمیت و شناسایی لندفرم‌ها به دلیل اهمیت حیاتی آنها در روشن ساختن ساز و کار تشکیل ناهمگونی مکانی تکامل چشم‌انداز اهمیت دارد. به همین دلیل نیاز به اطلاعات در زمینه لندفرم‌ها ضروری است. به دست آوردن اطلاعات در زمینه لندفرم‌ها علاوه بر ارزیابی چشم‌انداز و فرایندها برای پیش بینی و کاهش بلایای طبیعی و برنامه ریزی و مدیریت منطقه‌ای می‌تواند مفید باشد. این اطلاعات از طریق مدل‌هایی که شامل تجزیه و تحلیل بصری و تکنیک‌های کمی و در مواردی تکنیک‌های ژئواکو سیتیم به دست می‌آید با این حال، تمام این مدل‌ها و تکنیک‌ها مبتنی بر یافتن عناصر اصلی چشم‌انداز هستند (درگوت^۳، ۲۰۰۶). یکی از روش‌هایی که در شناخت تغییرات لندفرم‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد طبقه‌بندی پدیده‌ها و عوارض زمین با داده‌های سنجش از دور می‌باشد (رعیتی، ۱۳۹۶). همچنین با استفاده از طبقه‌بندی لندفرم‌ها می‌توان ویژگی‌های کمی ژئومورفولوژیکی آنها را اندازه گیری کرد (ایوانز^۴، ۲۰۱۲). یکی از علومی در این زمینه می‌تواند کمک کند ژئومورفومتری است، علم نسبتاً جوانی که از روش‌ها و تکنیک‌های کمی برای توصیف و طبقه‌بندی لندفرم‌ها استفاده می‌کند (ورهاگن^۵، ۲۰۱۲). پایه اصلی ژئومورفومتری بر وجود ارتباط بین ناهمواری و پارامترهای عددی مذکور می‌باشد (بیرانوند، ۱۳۹۸). شاید بتوان گفت به دست آوردن طبقه‌بندی لندفرم‌ها درک بهتر و ملموس‌تری از محرک‌های زیست محیطی، فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی در سطح چشم‌انداز را ارائه می‌دهد (نونجیر^۶، ۲۰۲۰). در طبقه‌بندی ژئومورفولوژیکی لندفرم‌ها، در مقیاس بزرگ (دشت، کوه) تا مقیاس کوچک (تپه و دره) همچنین اجزاء تشکیل دهنده لندفرم‌ها (خط‌الراس، تیغه) مشخص می‌شود (پنتالی^۷، ۲۰۱۹). طبقه‌بندی لندفرم‌ها علاوه بر ژئومورفولوژی در علوم دیگری چون زمین‌شناسی، هیدرولوژی، اقلیم‌شناسی، اکولوژی، باستان‌شناسی کاربرد دارد (استپینسکی^۸، ۲۰۱۱). بررسی لندفرم‌ها در مقیاس بزرگ و یکپارچه نیازمند روش استخراج الگوها و عناصر است (ورهاگن^۹، ۲۰۱۲) و توانایی استخراج عناصر و الگوهای ژئومورفولوژیکی با استفاده از تکنیک‌های طبقه‌بندی اتوماتیک رویکرد مهمی از هرگونه تحلیل محیطی در چشم‌انداز را دارد (سامرل^{۱۰}، ۲۰۰۳) چرا که شناسایی عناصر اولین گام اساسی در شناسایی لندفرم‌ها است. با توجه به فشار فزاینده بر منابع طبیعی و افزایش تعهدات نظارت بر چشم‌انداز از یک طرف و تنوع پیشرفت‌های اخیر در به دست آوردن خصوصیات کمی نیاز به طبقه‌بندی وجود دارد (درگوت^{۱۱}، ۲۰۰۶). بهترین روش‌های طبقه‌بندی نیاز به یک تحلیل منظم و قابل تکرار دارند که بتوانند اجزاء را به صورت جداگانه توصیف کنند. به این دلیل که روش‌های کلاسیک برای ادغام واحدها و استخراج لندفرم‌ها در یک چشم‌انداز زمان‌بر، هزینه‌بر و همچنین تصمیمات ذهنی مفسر که نه شفاف است نه قابل تکرار، دخیل است. به طوری که در روش‌های اتوماتیک با استفاده از متغیرهای کمی و سلسله مراتبی در مناطق بزرگ می‌توان اجزاء و عناصر را در

1. Drăguț

2. Zhao

3. Drăguț

4. Evans

5. Verhagen

6. Ngunjiri

7. Pintilie

8. Stepinski

9. Verhagen

10. Summerella

11. Drăguț

مقیاس‌های بزرگ تا کوچک همچنین از نظر اندازه، ترتیب و پیچیدگی هندسی به صورت اتومات طبقه‌بندی کرد (مارتینز^۱، ۲۰۱۵).

طبقه‌بندی اتوماتیک لندفرم‌ها در دهه ۱۹۹۰ شروع شد و با ظهور DEM های نسبتاً دقیق جهانی و منطقه‌ای، توسعه پیدا کرد (نونجیر^۲، ۲۰۲۰). طبقه‌بندی اتوماتیک لندفرم‌ها بسیار آسان و دقیق‌تر از دیگر روش‌های معمولی طبقه‌بندی است. این نوع طبقه‌بندی شرایط مرزی برای فرایندهای مختلف ژئومورفولوژی را مشخص می‌کند (مکرم^۳، ۱۳۹۳).

در این مقاله یک روش نسبتاً جدید جهت شناسایی و استخراج عناصر شکل زمین بر اساس تشخیص الگوی حاصل از ژئومتری DEM می‌باشد. الگویی از مورفولوژی زمین به نام ژئومورفون‌ها می‌باشد، ژئومورفون‌ها ساختارهای ریز اساسی چشم‌انداز هستند که همزمان ویژگی‌های اصلی عناصر و انواع لندفرم‌ها را نشان می‌دهند (جاسویچ^۴، ۲۰۱۳). در حقیقت یک نوع مدل‌سازی در مقیاس منطقه‌ای بر اساس ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی در مقیاس کوچک و به دست آوردن الگوهای ژئومورفولوژیکی است (مارتینز^۴، ۲۰۱۵). دانش ژئومورفون‌ها مسئله انتخاب مناسب‌ترین روش طبقه‌بندی را تا حدی آسان می‌سازد زیرا مجموعه‌ای کلی از انواع عناصر لندفرم‌ها را تشکیل می‌دهند. تمام آنچه که به منظور تولید نقشه لندفرم‌ها باید انجام شود، شناسایی ژئومورفون‌ها توسط الگوها با رنگ‌های مختلف است. به نظر می‌رسد مدل حاصل از ژئومورفون یک دیدگاه جدید در مورد چگونگی تجزیه و تحلیل کمی لندفرم‌ها است (لیبوهوا^۵، ۲۰۱۶). این روش طبقه‌بندی کاربردهای متنوعی در زمینه‌های مختلف دارد از جمله: شناسایی عوارض کف بستر دریا، مدل‌های توپوگرافی برای طراحی چشم‌انداز، محاسبات مناسب جغرافیایی جهت شبیه‌سازی عوامل اصلی، تهیه نقشه حساسیت لغزش (هینس^۶، ۲۰۲۱)

الگوریتم‌های بسیاری برای طبقه‌بندی اتومات لندفرم‌های وجود دارد و در این رابطه پژوهش‌های مختلفی انجام شده است که به مواردی از آنها اشاره می‌شود؛ از جمله آنها موارد ذیل است

بهرامی و همکارانش (۱۳۹۳) با استفاده از شاخص TPI طبقه‌بندی خودکار را برای حوضه بروجن انجام داده‌اند طبق روش مورد نظر ۹ لندفرم را برای حوضه مورد نظر شناسایی کرده‌اند. طبقه‌بندی را در چند مرحله انجام داده‌اند ابتدا لندفرم‌ها بزرگ را دسته‌بندی سپس داخل هر کدام از لندفرم‌ها به دست آمده در مرحله اول، لندفرم‌های کوچکتر رو شناسایی و طبقه‌بندی کرده‌اند. مکرم و نگهبان (۱۳۹۳) طبقه‌بندی بر مبنای شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) جهت شناسایی و طبقه‌بندی لندفرم‌ها انجام داده‌اند. ۱۰ نوع لندفرم و درصد مساحت بیشترین و کمترین لندفرم‌ها را در منطقه مورد مطالعه مشخص کرده‌اند. استپینکی و همکارش^۷ (۲۰۱۱) برای اولین بار روش ژئومورفون رو معرفی کردند که هدف طبقه‌بندی زمین بر اساس ۱۰ شکل غالب و عمده بوده است که این کار را با استفاده از DEM ۱۰ متر با ۲ الگوریتم LTP, LBP انجام داده‌اند. جاسویچ^۸ (۲۰۱۳) در پژوهشی در این زمینه نقشه ژئومورفومتریکی - نقشه تفسیر توپوگرافی - با کلیه ژئومورفون‌ها تهیه کرده‌اند. در مقیاس‌های مختلف این کار را انجام می‌هند. در نهایت نقشه ژئومورفولوژی له‌ستان را با روش ژئومورفون تهیه کرده‌اند در نهایت به مزایای این روش جهت تهیه نقشه در مقیاس متفاوت کوچک تا بزرگ اشاره کرده‌اند. لیبوا^۹ و همکارانش (۲۰۱۶) در مقاله‌ای از الگوریتم ژئومورفون‌ها در خاک شناسی استفاده کرده‌اند با استفاده از روش ژئومورفون به طبقه‌بندی لندفرم‌ها استفاده کرده و که با این طبقه‌بندی به توصیف چشم‌انداز و

1. Martins

2. Ngunjiri

3. Jasiewicz

4. Martins

5. Libohova

6. Heyns

7. Stepinski

8. Jasiewicz

9. libohova

پیش‌بینی ویژگی‌های خاک پرداخته‌اند. روبینا^۱ و همکارانش (۲۰۱۷) طبقه‌بندی عناصر لندفرمی را بر اساس روش ژئومورفون انجام داده‌اند آنها بیان کرده‌اند که واحدهای طبقه‌بندی شده با ویژگی‌هایی ژئومورفولوژی مطابقت داشته است. کرام^۲ و همکارانش (۲۰۱۷) پژوهش جالبی را در زمینه ژئومورفومتری انجام داده‌اند. آنها بیان کردند که توصیف ژئومورفومتری دقیق از لندفرم‌ها به درک فرایندهای ژئومورفولوژی از گذشته و حال چشم‌انداز کمک می‌کند. در این پژوهش^۳ روش طبقه‌بندی به منظور به دست آوردن نتایج دقیق تر و با داده‌های حاصل مشاهده زمینی مقایسه کرده از جمله روش: شاخص توپوگرافی، ژئومورفون، طبقه‌بندی شی‌گرا در نهایت بعد از مقایسه نتایج قابل قبولی را از روش ژئومورفون‌ها و شاخص توپوگرافی به دست آوردند. بارکر^۳ (۲۰۱۸) از همین روش در طبقه‌بندی عناصر لندفرمی ۱۴ کانال رودخانه استفاده کرده است. در پژوهش^۴ دیگر فیلین^۴ و همکارانش (۲۰۲۰) طبقه‌بندی بر اساس روش ژئومورفون انجام داده‌اند همانند پژوهش لیبا از نقشه ژئومورفون به دست آمده تمام ویژگی‌های خاک را بررسی و طبقه‌بندی کرده‌اند. یان^۵ (۲۰۲۰) از ژئومورفون جهت طبقه‌بندی عوارض کف بستر رودخانه استفاده کرده و این روش را بهینه تو صیف کرده است در این طبقه‌بندی به دلیل وجود عناصر لندفرمی چون قله و مسطح (دشت) و اهمیت این عناصر در ثبات آب‌های زیرزمینی دارند که در سایر طبقه‌بندی نادیده گرفته شده‌اند. گوریاسیاک^۶ و همکارانش (۲۰۲۰) از روش ژئومورفون‌ها جهت طبقه‌بندی عناصر لندفرمی قطب شمال استفاده کرده‌اند. آنها این روش را به دلیل وجود فرم‌های منحصر بفردی مانند دره‌های کوچک بسیار کاربردی توصیف کرده‌اند که می‌توان به نوع و پویایی فرایندهای منطقه دست پیدا کرد.

هدف از این تحقیق، شناسایی و استخراج عناصر لندفرمی بر اساس ژئومورفون در حوضه آبریز حبله رود است که بتوان حوضه را به عناصر تشکیل دهنده زمین به صورت یک الگوریتم نشان داد که به راحتی قابل تفسیر و تجزیه و تحلیل باشد. که در نهایت تفاوت بین قلمروهای مختلف حوضه به خوبی آشکار شود. با توجه به وسعت منطقه مورد مطالعه، پیچیدگی و تنوع عناصر لندفرمی روشی به نظر مناسب بود که به تواند تا حدی از میزان این پیچیدگی کاسته و عناصر لندفرم‌ها در مقیاس کوچک تا بزرگ مهیا سازد، زیرا درک پیچیدگی الگوها و عناصر ژئومورفیک همراه با آنالیز بصری آسان و سریع امکان‌پذیر می‌سازد. این روش این امکان را فراهم کرد که به توان تا حد قابل قبولی عناصر اصلی لندفرمی را با جزئیات بالا شناسایی، بطوری که درک ارتباطات بین خصوصیات لندفرم در مقیاس کوچک و درک انواع فرایندها، روابط بین عناصر لندفرمی و درک الگوی فضایی لندفرم‌ها در مقیاس بزرگ را به خوبی فراهم سازد.

محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در جنوب کوه‌های البرز بین $35^{\circ}06'16''$ تا $35^{\circ}07'22''$ عرض شمالی و $52^{\circ}00'15''-43''$ تا $53^{\circ}08'53''$ طول شرقی در مرز بین استان‌های سمنان و تهران واقع شده است (Error! Reference source not found). مساحت منطقه مورد مطالعه ۳۲۷۲۴ کیلومربع می‌باشد. حوضه آبریز حبله رود گرچه از نظر موقعیت جغرافیایی در جنوب رشته کوه البرز واقع شده است. ولی از نظر ساختمانی و رسوبی در مرز پهنه‌های ساختاری البرز جنوبی - ایران مرکزی واقع شده است. وجود اختلاف ارتفاعی بین ۹۷۵ متر در جنوب منطقه در محل خروج از پشته کوهستان تا ۴۰۵۰ متر در غرب منطقه و ارتفاعات کوه سفیدآب سبب گردیده تا شرایط اقلیمی متفاوتی در سراسر منطقه حکم فرما باشد. این اختلاف ارتفاع تأثیر بسیاری بر دینامیک بیرونی محدوده گذاشته است. در محدوده مورد مطالعه

1. Robaina

2. Kramm

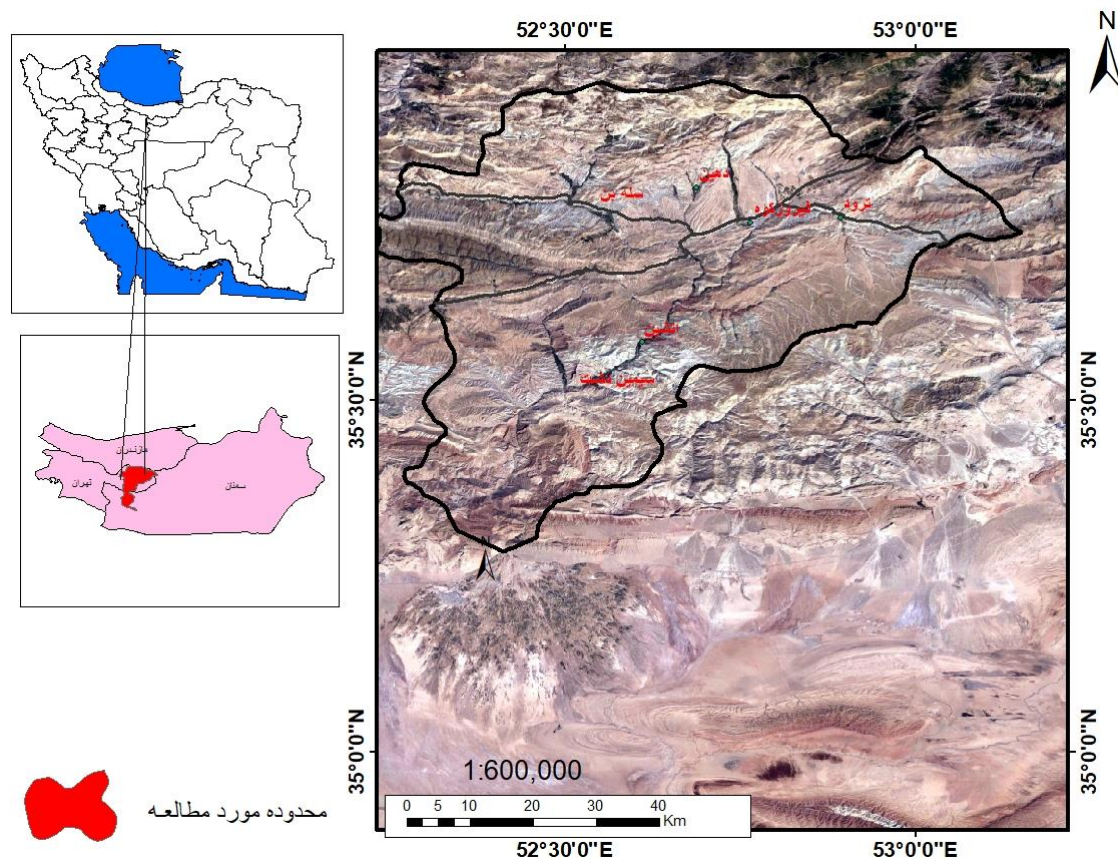
3. Barker

4. Flynn

5. Gc-yan

6. Gawrysiak

علاوه بر فاکتورهای اقلیمی (دما و بارش) عوامل ساختاری نظیر گنبد نمکی، چین‌ها و گسل‌ها در شکل دادن به لندفرم‌های متنوع منطقه در طی کواترنری نقش داشته‌اند. (فرچ‌زاده، ۱۳۷۸).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز حبله رود

روش تحقیق

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل مدل رقومی ارتفاع^۱ ALOSPOL SAR 12.5 مربوط به سال ۲۰۱۰^۲

تصاویر Landsat8 برداشت در تاریخ 2019-06-29^۳ و برداشتهای میدانی بوده است. ابزارهای اصلی مورد استفاده ArcGIS10.5 و SAGA6 GIS، google earth بوده است. روش ژئومورفون^۴ برای تولید شناسایی و استخراج عناصر لندفرم‌ها در حوضه حبله رود به کار گرفته شده است.

ژئومورفون یک ناهمواری ثابت با جهت‌گیری ثابت و انعطاف‌پذیر است (استپینسکی^۵، ۲۰۱۱). الگوی خاکستری DEM شامل الگوهای پیچیده‌ای است (جا سویچ^۶، ۲۰۱۳) که بر اساس شباهت بافت به بهترین شکل در ساختارهای تشکیل

^۱- DEM

^۲ <https://asf.alaska.edu/data-sets/sar-data-sets/alos-palsar>

^۳ https://earthexplorer.usgs.gov/LC08_L1TP_164035_20190629_20190706_01_T1

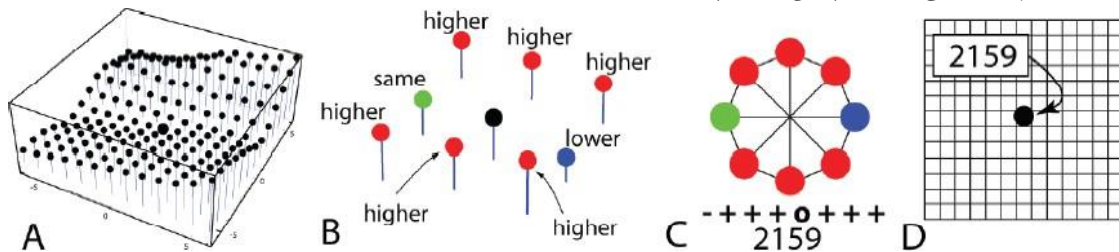
^۴ Geomorphon

^۵ Stepinski

^۶ Jasiewicz

دهنده آن تقسیم شده که در این روش تضادها بر اساس استخراج الگوهای سه گانه ساده محلی^۱ از DEM انجام می شود (نونجیری^۲، ۲۰۲۰). **Error! Reference source not found.** نمونه ای از الگوی سه گانه محلی را نشان می دهد.

توصیف یک مورفولوژی مستقل از سطح مورد نظر با استفاده از الگوی سه گانه محلی به این صورت است که مفاهیم بالاتر، پایین تر، همسطح برای یک سلول مرکزی برای شناسایی فرم ایجاد می شود. این سطح با استفاده از اصل خط دید^۳ بدست می آید. این اصل توسط یوکایامن^۴ پیشنهاد شد که با استفاده از ناهمواری سطح و فاصله افقی تو صیف و از زاویه های زینت^۵ و نادیر^۶ در هشت جهت اصلی قطب نما جهت تفسیر کمک گرفت که این زوایا یک الگوی ۸ گانه (متشکل از سه نماد "0"، "0" یا "+") را به وجود آورده اند. پیکسل مشخص شده این الگوی به عنوان مثال، [+، -، -، -، -، +، +، +] یک الگوی هشت گانه را توصیف می کند. (استپینسکی^۷، ۲۰۱۱). در این روش همسایگان لزوماً همسایگان خیلی نزدیک پیکسل مشخص شده در شبکه نیستند، بلکه پیکسل های تعیین شده از اصل خط دید در کنار هشت گانه جهت اصلی هستند. (فلین^۸، ۲۰۲۰).



شکل ۱: مفهوم کاربردی الگوی سه گانه محلی در هشت جهت - طرح Jarosław Jasiewicz منبع

(جاسویچ^۹، ۲۰۱۳)

نتیجه الگوی سه جهت (۸ گانه) به مقادیر دو پارامتر بستگی دارد: شعاع جستجو^{۱۰} (L) و حد همواری^{۱۱} (d) شعاع جستجو حداکثر فاصله مجاز برای محاسبه زوایای زینت و نادیر است. هموار بودن به معنای حداقل زاویه دید بینایی (زینت یا نادیر) بوده که با زاویه افق متفاوت است. مقایسه زاویه ها با حد ناهمواری با سه علامت "0"، "0" یا "+" نسبت به جهت های اصلی مشخص می شوند. مقدار (L) در شناسایی و طبقه بندی لندفرمها بسیار مهم است (جاسویچ^{۱۲}، ۲۰۱۳).

شکل ۲، مفهوم زوایای زینت و نادیر و الگوی طبقه بندی را نشان می دهد. از لحاظ بصری می توان یک قله و گودال توصیف کرد. زاویه زینت $D\phi L = 90^\circ - D\beta L$ به عنوان حداکثر زاویه ارتفاع تعریف می شود. و زاویه نادیر به عنوان $D\delta L = 90^\circ - D\psi L$ به عنوان حداقل ارتفاع تعریف می شود. D نمایانگر هشت جهت قطب نماست. بنابراین، زاویه زینت بین خط زینت و خط دید فرسی و زاویه نادیر بین خط نادیر و خط دید فرسی ناشی از

¹ Local ternary patterns

² Ngunjiri

³ The line-of-sight principle

⁴ Yokayaman

⁵ Zenith

⁶ Nadir

⁷ Stepinski

⁸ Flynn

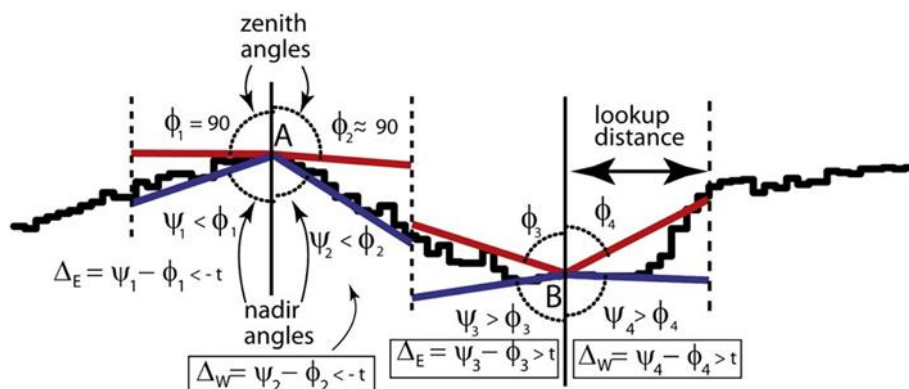
⁹ Jasiewicz

¹⁰ Look distance

¹¹ Dependence on direction

¹² Jasiewicz

بازتاب مشخصات ارتفاع با توجه به صفحه افقی به وضوح تعریف شده اند و دامنه آنها از ۰ تا ۱۸۰ درجه است. مقدار ΔS در نقطه A منفی است و یک قله را نشان می‌دهد و در حالی که مقدار ΔS در نقطه B مثبت است و نشانگر یک گودال است. در یک چشم‌انداز معمولی بیشترین و موثرترین ژئومورفون‌های قابل تشخیص شامل ۱۰ عنصر می‌باشد که در جدول ۱ معادل فارسی ژئومورفون‌ها آورده شده است (استپینسکی، ۲۰۱۱). که در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۲: الگوریتم ژئومورفون مربوط به زوایای زینت و نادیر درهشت جهت از یک نقطه مرکزی - منبع

(جاسویچ^۲، ۲۰۱۳)

در رابطه (۱) از کمیت Δ برای نشان دادن خصوصیات سطح محلی با استفاده از اصل خط دید استفاده می‌شود جهت (D)، فاصله جستجو (L) را با نماد $D\Delta L$ نشان می‌دهد. دو پارامتر مهم فاصله جستجو (L) و آستانه همواری (t) است.

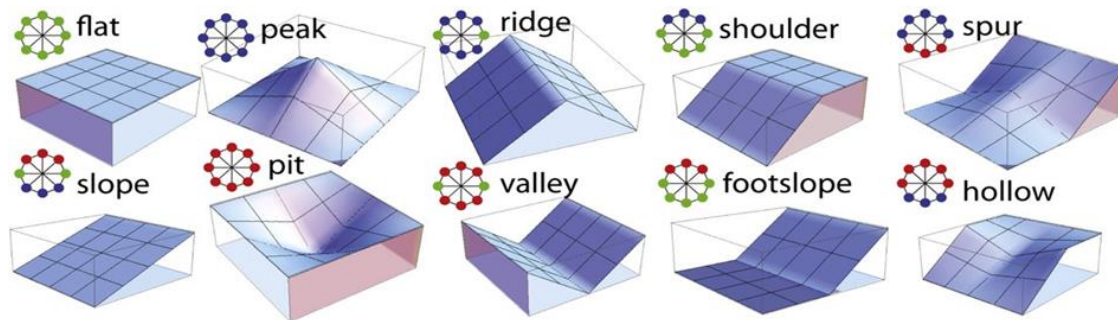
$$D\Delta L \begin{cases} 1 \text{ if } D\phi L - D\phi L > t \\ 0 \text{ if } |D\phi L - D\phi L| < t \\ -1 \text{ if } D\phi L - D\phi L < -t \end{cases} \quad \text{رابطه (۱)}$$

جدول ۱: معادل فارسی ۱۰ لندفرم غالب

Flat: مسطح (دشت)	slope: دامنه	peak: قله	ridge: خط الراس	shoulder: شانه خط الراس
valley: دره	foot slope: پای دامنه	Pit: گودال (دره عمیق)	hollow: دره کوچک پای دامنه	spur: خط الراس پهلویی یا جانبی

¹. Stepinski

². Jasiewicz



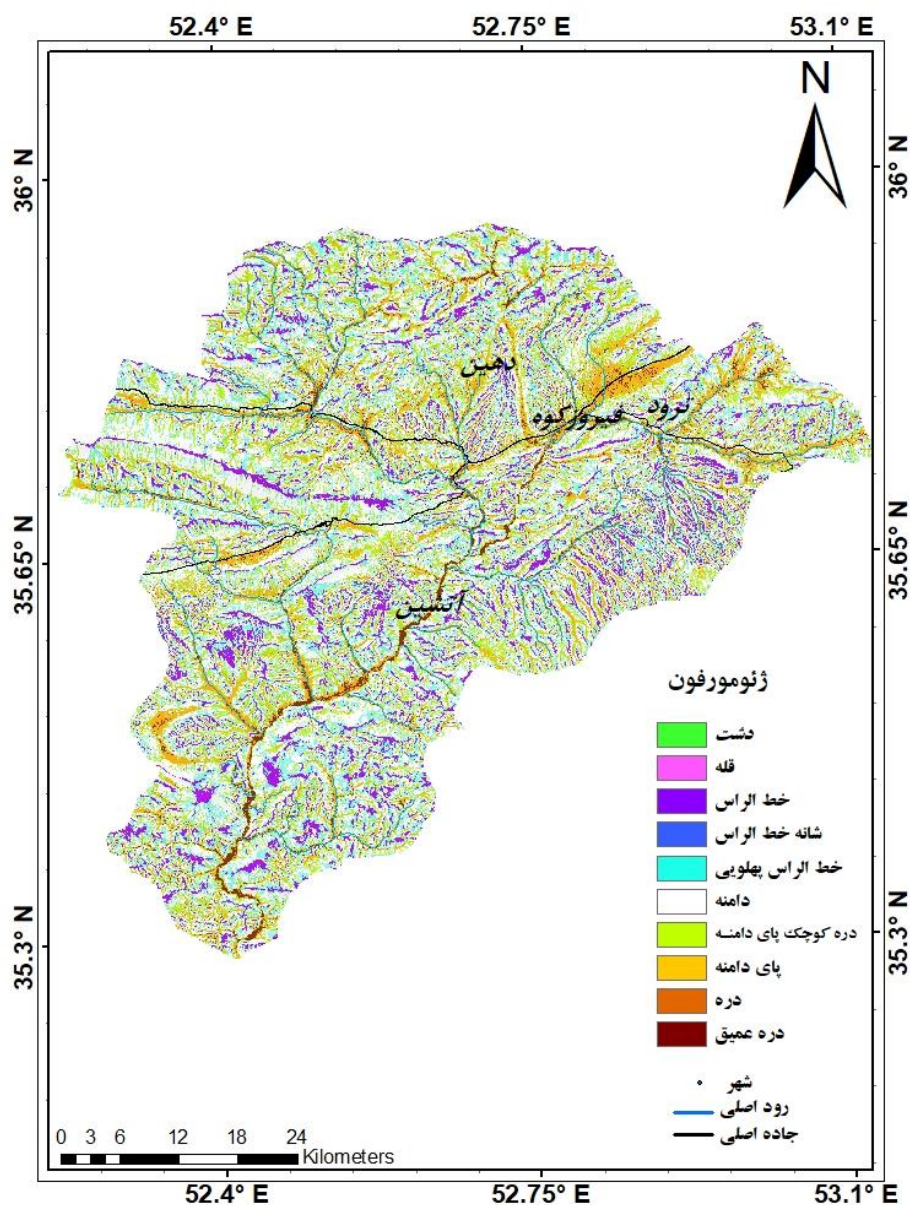
شکل ۳: ده ژئومورفون غالب در چشم انداز منبع (جاسویچ، ۲۰۱۳)

بحث و یافته‌ها

نقشه ژئومورفون به دست آمده شامل متداول‌ترین ۱۰ نوع ژئومورفون است. همانگونه که **Error! Reference source not found.** نشان می‌دهد. ۱۰ عنصر غالب از شکل زمین در منطقه مورد مطالعه شامل محدوده‌های مسطح (دشت)، قله، خط الراس، شانه خط الراس، خط الراس پهلویی، دامنه، دره کوچک پای دامنه، پای دامنه، دره، گودال (دره عمیق) شنا سایی گردید. به بیانی دیگر نقشه اخیر توزیع فضایی الگوهای ژئومورفون در حوضه حبله رود را نشان می‌دهد که در آن لندفرم‌های بزرگتر به اجزای ریزتر یا عناصر لندفرمی تقسیم شده‌اند. الگوهای شنا سایی شده بیانگر عناصر اصلی لندفرم‌های این حوضه می‌باشند. به عبارت دیگر نقشه فوق‌الذکر نمایانگر اشکال سطح زمین و ماهیت فرایندهایی است که در این ناحیه عمل کرده و یا در حال حاضر فعال هستند. نکته قابل توجه این است که در ژئومورفون‌های دشت و قله تقریباً انتقالی رخ نمی‌دهد چرا که عناصر سه‌گانه در الگوهای آنها مشابه هستند. در ژئومورفون‌های شانه خط الراس، خط الراس پهلویی، دره کوچک پای دامنه دو انتقال در ژئومورفون‌های خط الراس و دره چهار انتقال شکل می‌گیرد. این الگوها نشان می‌دهند هر چقدر ژئومورفون‌ها شکل پیچیده‌تری داشته باشند میزان انتقال بین سه عنصر بیشتر خواهد بود (جاسویچ، ۲۰۱۳).

1. Jasiewicz

2. Jasiewicz



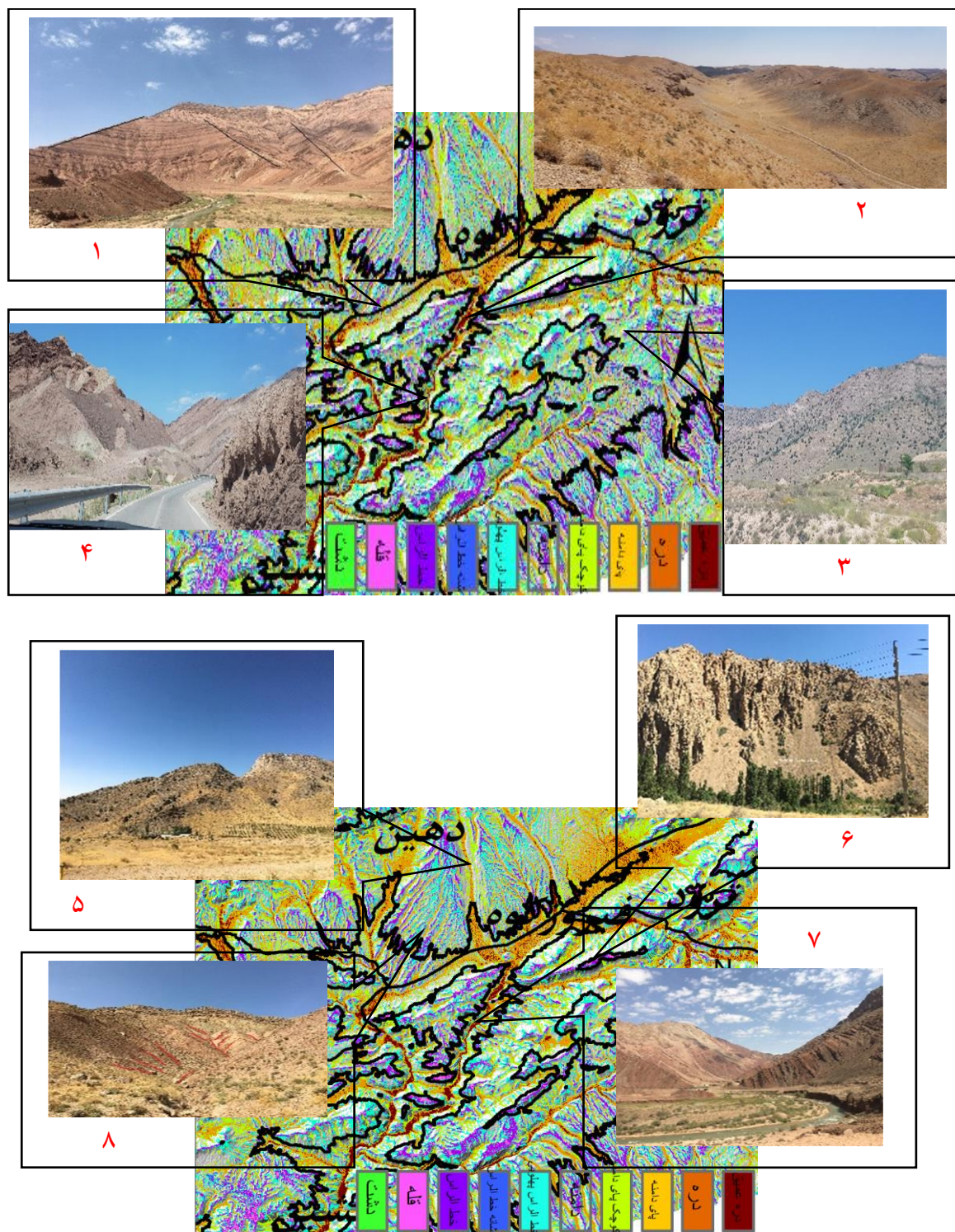
شکل ۵: نقشه ده ژئومورفون غالب حوضه حبله رود

در نقشه عناصر لندفرمی حاصل از ژئومورفون‌ها الگوی چشم‌اندازهای متعدد ایجاد شده است که با توجه به پراکندگی لندفرم‌ها و ساختار فیزیوگرافی، حوضه آبریز حبله‌رود دارای لندسکیپ‌های دره‌های پرشیب و دشت‌های سیلابی باریک در قسمت‌های شمالی، مرکزی و جنوب است. در یک تقسیم‌بندی کلی بیشترین تراکم، شامل دامنه‌ها می‌باشد که پراکندگی بیشتری با توجه به فرم و توپوگرافی منطقه در قسمت جنوبی دارند و کمترین مقدار مربوط به عنصر مسطح (دشت) می‌باشد. با توجه به حضور مناطق مرتفع و کوهستانی در قسمت شمالی منطقه، عناصر قله و خط الراس تراکم بیشتری را در این قسمت دارند. همچنین شنا سایی لندفرم‌ها در اندازه‌های مختلف مانند، دره‌های کوچک و دره تیپیکال و دره‌های عمیق یا شیب دار در نقشه ژئومورفون مشخص شده است. نتایج تطبیق عناصر لندفرمی با سطح زمین از طریق مطالعات میدانی و تصویر پانکروماتیک نشان داد که قرارگیری دره‌های عمیق در داخل دره‌های تیپیکال یا فراوانی و تراکم دره‌های کوچک بر روی دامنه‌ها بیانگر عملکرد فرآیندهای فرسایشی در سطح زمین است (شکل ۶). دره‌ها در شکل اخیر

نمایان هستند، در قسمت‌هایی از دره که به وسیله جریان آب عمیق‌تر شده‌اند در نقشه ژئومورفون به عنوان دره عمیق (گودال) مشخص شده است که با تصاویر ۲، ۴، ۷ مطابقت دارند. انطباق فراوانی و تراکم دره‌های کوچک بر روی دامنه‌ها در نقشه ژئومورفون با تصاویر ۳، ۵، ۸ بارز است. عناصر خط‌الراس و در مجاروت آن خط‌الراس پهلویی با عناصر روی نقشه نیز در تصاویر عکس ۱ و ۶ مشخص است. همچنین مقایسه نتایج به دست آمده با مطالعات میدانی نشان می‌دهد که عناصر تشکیل دهنده لندفرم‌های حوضه حبله‌رود به وضوح تفاوت چشم اندازه‌های مختلف حوضه را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

روش اتوماتیک استخراج ژئومورفون‌ها برای تشخیص و استخراج عناصر لندفرم‌ها در حوضه حبله‌رود، الگوی حاکم بر ناهمواری‌ها را استخراج نموده است. نتایج مستخرج از این پژوهش اشکال سطح زمین و ماهیت فرایندهایی است که در این ناحیه عمل کرده و یا در حال حاضر فعال هستند را آشکار ساخت، به طوری‌که تحول ناهمواری‌ها در عناصر شانه خط‌الراس، خط‌الراس پهلویی، دره کوچک پای دامنه و به طور پیشرفته‌تری در خط‌الراس و دره رخ داده است. همچنین در ژئومورفون‌هایی که دارای اشکال پیچیده‌تری بودند تحول عناصر آن بیشتر بودند.



شکل ۴: تطابق نقشه ژئومورفون با عکس‌های تهیه شده از حوضه آبریز حبله‌رود

۱. خط الراس پهلویی- ۲. دره عمیق - ۳. دامنه - ۴. دره - ۵. دامنه - ۶. خط الراس - ۷. دره - ۸. دره کوچک پای دامنه

نتایج این پژوهش تا حدی با پژوهش‌های دیگر که در این زمینه انجام شده است مطابقت دارد که چند نمونه از نتایج پژوهش‌ها اشاره می‌شود. مقایسه نتایج این پژوهش با تحقیقات لیو (۲۰۱۷) بیانگر این موضوع است که لیو هم از استخراج عناصر لندفرمها به تحول اشکال پی برد و از آن در تهیه نقشه حساسیت لغزش استفاده نمود. استفانو در سال ۲۰۱۸ از استخراج عناصر لندفرمی به ناپایداری در بستر رودخانه پی برد. سیو در سال ۲۰۱۹ از این روش در شناسایی عناصر لندفرمی کف دریا استفاده نمود. همچنین مارتن در سال ۲۰۱۲ عناصر لندفرمی را در استخراج تنوع ژئومورفولوژیکی ارزیابی ژئودایورستی پارک ملی مجارستان استفاده کرده است. بنابراین استخراج اتوماتیک عناصر لندفرمها به ارائه الگوی ناهمواری‌ها و شناسایی عناصر آنها منجر می‌شود و این عناصر به نوبه خود تفاوت‌ها، شباهت‌ها و ناپایداری‌های ناهمواری‌ها را بیان کرده‌است.

منابع

- بهرامی، حسین - احمد نوحه‌گر - وفا، محمودی (۱۳۹۲) طبقه بندی خودکار لندفرمهای حوضه آبخیز با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی مطالعه موردی: حوضه آبخیز بروجن در استان چهارمحال و بختیار، پژوهش‌های کمی ژئومورفولوژی شماره ۳، ۱۷-۳۰
- بیرانوند حجت- عبدالله سیف (۱۳۹۹) شناسایی، طبقه بندی و مورفومتری سیرک‌های یخچالی ارتفاعات جویبار کرمان پژوهش‌های کمی ژئومورفولوژی شماره ۴، ۸۰-۶۳
- حجتی مجید- مرضیه مکرم (۱۳۹۵) استفاده از مدل زیر پیکسل جاذبه attraction به منظور طبقه‌بندی لندفرمها، پژوهش‌های کمی ژئومورفولوژی شماره ۴، ۵۵-۴۰
- رعیتی شوازی، منیره-امیر کرم، حمیدرضا غفاریان، عادل سپهر (۱۳۹۶) مقایسه کارایی برخی الگوریتم‌های طبقه‌بندی در مطالعه تغییرات لندفرم‌های بیابانی دشت یزد-اردکان، پژوهش‌های کمی ژئومورفولوژی شماره ۱، ۷۳-۵۷
- فرج‌زاده، منوچهر، ۱۳۷۸، طرح آمایش استان تهران، مطالعات آب و زرات نیرو
- مددی، عقیل - مظفری، حسن (۱۳۹۷) مقایسه و ارزیابی روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده در استخراج و آشکارسازی تغییرات لندفرم‌های ژئومورفولوژی حوضه آبریز سجاسرود، پژوهش‌های کمی ژئومورفولوژی شماره ۳، ۳۰-۱۷
- مکرم، مرضیه - نگهبان، سعید (۱۳۹۳) طبقه‌بندی لندفرمها با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) مطالعه موردی: منطقه جنوبی شهرستان داراب، فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سپهر شماره ۹۲
- Alin Mihu-Pintilie, Ionut Cristi Nicu, 2019. GIS-based Landform Classification of Neolithic 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, II, 915
- Baker, M., Saavedra, D., & Norton, M. (2018). Scope# 10: Methodology for developing high-resolution stream and waterbody datasets for the Chesapeake Bay watershed.

- Cui, X., Xing, Z., Yang, F., Fan, M., Ma, Y., & Sun, Y. (2020). A method for multibeam seafloor terrain classification based on self-adaptive geographic classification unit. *Applied Acoustics*, 157, 107029.
- de Souza Robaina, L. E., Trentin, R., de Cristo, S. S. V., & Scotti, A. A. V. (2017). Application of the concept of geomorphons to the landform classification in Tocantins state, Brazil. *Raega-O Espaço Geográfico em Análise*, 41, 37-48.
- Di Stefano, M., & Mayer, L. A. (2018). An automatic procedure for the quantitative characterization of submarine bedforms. *Geosciences*, 8(1), 28.
- Fernando M. G. Martins, Helena M. Fernandez, Antonio Jordán & Lorena Zavala, 2015. Classification of landforms in Southern Portugal (RIA Formosa Basin), *Journal of map*
- G.K. Summerella, c, e, J. Vazeb, e, N.K. Tutejab, e, R.B. Grayson, c, e, and T.I. Dowling, d, 2003. Development of an objective terrain analysis based method for delineating the major landforms of catchments
- Gawrysiak, L., & Kociuba, W. (2020). Application of geomorphons for analysing changes in the morphology of a proglacial valley (case study: The Scott River, SW Svalbard). *Geomorphology*, 371, 107449.
- Heyns, A. M., du Plessis, W., Curtin, K. M., Kosch, M., & Hough, G. (2021). Analysis and exploitation of landforms for improved optimisation of camera-based wildfire detection systems. *Fire Technology*, 1-35.
- Hoffmeister, D., & Kramm, T., 2018. Suitability of different digital elevation models for landform classification methods and further geomorphometric analysis in the Atacama Desert. In *EGU, General Assembly Conference Abstracts* (p. 13326).
- Ian S. Evans, 2012. *Geomorphometry and landform mapping: What is a landform, geomorphology* 137, 94-106
- Jaroslaw Jasiewicz, Pawel Netzel, Tomasz F. Stepinski, 2014. Landscape similarity, retrieval, and machine mapping of physiographic units, *Geomorphology* 221, 104-112
- Jaroslaw Jasiewicz, Tomasz F. Stepinski, 2013. Geomorphons- a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms: *Geomorphology* 182, 147-156
- Lucian Drăguț, Thomas Blaschke, 2006. Automated classification of landform elements using object-based image analysis, *Geomorphology* 81, 330-344
- Luo, W., & Liu, C. C., 2018. Innovative landslide susceptibility mapping supported by geomorphon and geographical detector methods. *Landslides*, 15(3), 465-474.
- Mercy W. Ngunjiri, Zamir Libohova, Phillip R. Owens, Darrell G. Schulze, 2020. Landform pattern recognition and classification for predicting soil types of the Uasin Gishu Plateau, Kenya, *Catena* 188, 104390
- Pál, Marton, & Albert, G., 2021. The use of geomorphons in geodiversity assessment. In *EGU, General Assembly Conference Abstracts* (pp. EGU21-1363).
- Philip Verhagen Lucian Drăguț, 2012. Object-based landform delineation and classification from DEMs for archaeological predictive mapping, *Archaeological Science* 39
- Tanja Kramm 1, Dirk Hoffmeister 1, Constanze Curdt, Sedigheh Maleki, Farhad Khormali 2 and Martin Kehl, 2017. Accuracy Assessment of Landform Classification Approaches on Different Spatial Scales for the Iranian Loess Plateau. *Geo information*.

- Tomasz F. Stepinski, Jarosław Jasiewicz, 2011. *Geomorphons - a new approach to classification of landforms. Geomorphetry*
- Trevan Flynn, Andrei Rozanov, Freddie Ellis, Willem de Clercq, Cathy Clarke, 2020. *Farm-scale soil patterns derived from automated terrain classification, Catena*185, 104311
- Trevan Flynn, Andrei Rozanov, Willem de Clercq, Benjamin Warr, Cathy Clarke, 2019. *Semi-automatic disaggregation of a national resource inventory into a farm scale soil depth class map, Geoderma* 337, 1136-1145
- Wu-fan Zhao, Li-yang Xiong, Hu Ding , Guo-an Tang, 2017. *Automatic recognition of loess landforms using Random Forest method, Mountain Science*1,4, 885–897
- Yan, G., Cheng, H., Teng, L., Xu, W., Jiang, Y., Yang, G., & Zhou, Q. (2020). *Analysis of the Use of Geomorphic Elements Mapping to Characterize Subaqueous Bedforms Using Multibeam Bathymetric Data in River System. Applied Sciences*, 10(21), 7692.
- 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 .