

هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۶، پاییز ۱۳۹۷، صص ۱۹۷-۱۷۷

وصول مقاله: ۱۳۹۶/۰۹/۲۷ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۷/۰۶/۱۷

## ارزیابی تأثیر مورفومتری لندفرم‌ها بر روی سیل‌خیزی حوضه‌های آبریز (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌های شمالی کوهستان سبلان)

ابراهیم بهشتی جاوید<sup>۱</sup>

فریبا اسفندیاری درآباد<sup>۲\*</sup>

شهرام روستایی<sup>۳</sup>

### چکیده

یکی از مسائل مطرح در هیدرولوژی یک منطقه تولید رواناب و مساله سیل‌خیزی است. لندفرم‌ها با توجه به مورفومتری که دارند نقش مهمی را در ایجاد رواناب و سیل‌خیزی ایفا می‌کنند. در این پژوهش با استفاده از استخراج لندفرم‌ها و لایه‌های کاربری زمین، پوشش گیاهی، جنس سازندها، بارش و کاربری زمین اقدام به پهنه‌بندی سیل‌خیزی در دامنه‌های شمالی سبلان شده است تا از این طریق اثرات مورفومتری لندفرم‌ها در هیدرولوژی منطقه بررسی شود. برای استخراج لندفرم‌ها از روش شی‌گرا در محیط نرم‌افزار Ecognition استفاده شد. ترکیب این لایه با لایه‌های کاربری زمین، تراکم پوشش گیاهی، جنس سازندها، بارندگی و تراکم شبکه‌ی آبراهه با استفاده از روش منطق فازی صورت گرفت و نقشه‌ی پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی برای منطقه به دست آمد. نتایج کار نشان داد در بین ۱۴ لندفرم استخراج شده برای منطقه سه لندفرم دره‌های کوچک کوهستانی، شانه‌خط‌الراس و دامنه‌ی مستقیم، بیشترین تأثیر را در سیل‌خیزی دارند و به ترتیب ۶۷/۳، ۶۲/۹ و ۵۳/۲ درصد از سطح آنها به عنوان زمین‌های با سیل‌خیزی زیاد و خیلی‌زیاد پهنه‌بندی شده است. در مقابل لندفرم‌های از نوع دشتی و چاله‌ها

۱- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۲- دانشیار و عضو هیئت علمی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران (نویسنده مسئول).

E-mail: fariba.darabad@gmail.com

۳- استاد و عضو هیئت علمی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

به صورت مناطق کم‌خطر از نظر سیل‌خیزی پهنه‌بندی شدند. با توجه به نتایج به دست آمده از پژوهش می‌توان گفت تولید رواناب و سیل‌خیزی در سطح زمین به شدت تحت تأثیر مورفومتری لندفرم‌ها قرار دارد که در کنار سایر پارمترهای محیطی می‌تواند در مطالعه هیدرولوژی مناطق بسیار مفید باشد.

کلمات کلیدی: لندفرم، مورفومتری، هیدرولوژی، Ecognition، سبلان.

#### مقدمه

ژئومورفومتری علم تحلیل‌های کمی از سطح زمین و لندفرم‌ها است (پایک<sup>۱</sup>، ۱۹۹۵؛ راسمن و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۰۴). این علم یک شاخه‌ی علمی میان رشته‌ای است که ریاضیات، علوم زمینی و علوم جدید کامپیوتری را در بر می‌گیرد (پایک و همکاران، ۲۰۰۸). در سال ۱۹۷۲ ایوانس برای اولین بار دو نوع اساسی تحلیل‌های ژئومورفومتریک را تشخیص داد، یکی تحت عنوان ژئومورفومتری ویژه که اشکال سطحی مجزا (لندفرم‌ها) را بررسی می‌کند و دیگری ژئومورفومتری عمومی که با سطوح پیوسته زمین سروکار دارد. از این رو می‌توان گفت مورفومتری لندفرم‌ها به خودی خود صرف‌نظر از استفاده یا عدم استفاده از داده‌های دیجیتالی به صورت منطقی به عنوان بخشی از ژئومورفولوژی کمی مطرح است (تورن<sup>۳</sup>، ۱۹۸۸؛ اسچیدگر<sup>۴</sup>، ۱۹۹۱؛ لئوپلدو همکاران<sup>۵</sup>، ۱۹۹۵؛ رادس<sup>۶</sup> و تورن، ۱۹۹۶). شکل زمین همچون لندفرم‌ها، در جریان سطوح آبی، انتقال رسوبات، تولید خاک و تعیین اقلیم در مقیاس‌های محلی و منطقه‌ای اثر می‌گذارد، علاوه بر این پدیده‌های طبیعی مثل پوشش گیاهی مستقیماً توسط الگوی لندفرم‌ها و موقعیت نسبی

1- Pike

2- Rasemann et al.,

3- Thorn

4- Scheidegger

5- Leopold et al.,

6- Rhoads

آنها در میان چشم‌اندازها متأثر هستند (بلاش زینسکی<sup>۱</sup>، ۱۹۹۷؛ بلاشک و استروبل<sup>۲</sup>، ۲۰۰۳). سطح زمین به صورت لندفرم‌هایی که حاصل انباشت تأثیر فرایندهای ژئومورفولوژیکی، زمین‌شناسی، هیدرولوژیکی، اکولوژیکی و خاک است در طول زمان پی‌ریزی شده است (مک‌میلان و شری، ۲۰۰۸). لندفرم‌ها شرایط حدی را برای فرایندهای عملگر در زمینه ژئومورفولوژی، هیدرولوژی، اکولوژیکی و سایر علوم تعیین می‌کنند (دیکائو، ۱۹۸۹، دیکائو و همکاران<sup>۳</sup>، ۱۹۹۵، پایک، ۲۰۰۰، دن و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۰۱). از این رو مطالعه لندفرم‌ها در ژئومورفولوژی بسیار مهم و حائز اهمیت است. روش‌های مختلفی جهت شناسایی و طبقه‌بندی لندفرم‌ها وجود دارد. امروزه استخراج نیمه‌اتوماتیک لندفرم‌ها با استفاده از انواع مدل‌های سطح زمین همچون، مدل رقومی ارتفاع زمین، گرادیان شیب و انحنا از مطالعات ویژه در ژئومورفولوژی، هیدرولوژی و علوم مشابه است (ایسانک و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۱۰). ترسیم و طبقه‌بندی لندفرم‌ها با استفاده از مدل‌های سطح زمین به دلیل تغییرات طبیعی مرز بین لندفرم‌ها از چالش‌های اساسی در این علوم است (فیشر و همکاران<sup>۶</sup>، ۲۰۰۴؛ مارک و اسمیت<sup>۷</sup>، ۲۰۰۴). یکی از روش‌هایی که امروزه در طبقه‌بندی لندفرم‌ها کاربرد روز افزونی دارد روش شی‌گرا است. در این پژوهش با استفاده از روش شی‌گرا و نرم‌افزار Ecognition شناسایی و طبقه‌بندی لندفرم‌های دامنه شمالی سبلان به جهت بررسی تأثیر آنها در سیل‌خیزی این منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است. این منطقه به دلیل برخورداری از رودخانه‌های سیل‌خیزی همچون مشکین‌چای و خیاوچای همواره به عنوان یک منطقه سیل‌خیز در استان مطرح بوده است.

- 1- Blaszczynski
- 2- Blaschke and Strobl
- 3- Dikau et al.,
- 4- Dehn et al.,
- 5- Eisank et al.,
- 6- Fisher
- 7- Mark & Smith

در رابطه با طبقه‌بندی و شناسایی لندفرم‌ها کارهای مختلفی انجام شده که به برخی از آنها اشاره می‌شود. فروغی‌فر و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی تأثیر واحدهای لندفرم بر توزیع فراوانی و تغییرات مکانی ویژگی‌های بیولوژیکی خاک را در دشت تبریز مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که وابستگی مکانی خصوصیات بیولوژیکی خاک بیشتر تحت تأثیر عوامل غیرذاتی و مدیریتی مانند نوع کاربری، شخم و آبیاری می‌باشد. شایان و همکاران (۱۳۹۱) کارایی شاخص‌های ژئومورفومتریک در طبقه‌بندی لندفرم‌های مناطق خشک را با استفاده از روش وود مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج طبقه‌بندی نشان داد سطوح دشتی و صاف با ۴۹/۸ درصد بیشترین سطح را به خود اختصاص داده و خط‌الراس و دره‌ها در رده‌ی بعدی قرار دارند. ستوپاتی و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۲) در پژوهشی لندفرم‌های هیدرولوژیکی حوضه‌ی رودخانه‌ی پوناب را مورد مطالعه قرار دادند. در این پژوهش آنها از تکنیک‌های سنجش از دوری و GIS استفاده کرده و در نهایت نقشه‌ی هیدروژئومورفولوژی منطقه را تهیه کردند. پدرس<sup>۲</sup> (۲۰۱۵) با استفاده از روش شی‌گرا لندفرم‌های آتشفشانی-یخچالی را مورد مطالعه قرار داد. او در این تحقیق لاواها و دشت‌های موجود در منطقه‌ای از ایسلند را مورد شناسایی قرار داده و نقشه‌ی آن را تهیه کرد. پیلویان و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۷) در پژوهشی با استفاده از روش نیمه‌خودکار لندفرم‌های حوضه‌ی آرمنیا<sup>۴</sup> را مورد شناسایی قرار دادند. نتایج پژوهش به صورت یک نقشه از لندفرم‌های منطقه ارائه شد که نشانگر توپوگرافی عمومی منطقه و مشخصات لندفرم‌های آن است. چاتاراج و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۱۷) در پژوهشی با استفاده از روش شی‌گرا لندفرم‌های بخشی از فلات هند مرکزی را مورد طبقه‌بندی قرار دادند. نتایج پژوهش نشان داد لندفرم‌های فرسایشی در منطقه نسبت به لندفرم‌های نهشته‌ای غلبه دارند. همچنین بررسی صحت طبقه‌بندی انجام شده با استفاده از یافته‌های زمینی نشانگر

---

1- Sethupathi et al.,

2- Pedersen

3- piloyan et al.,

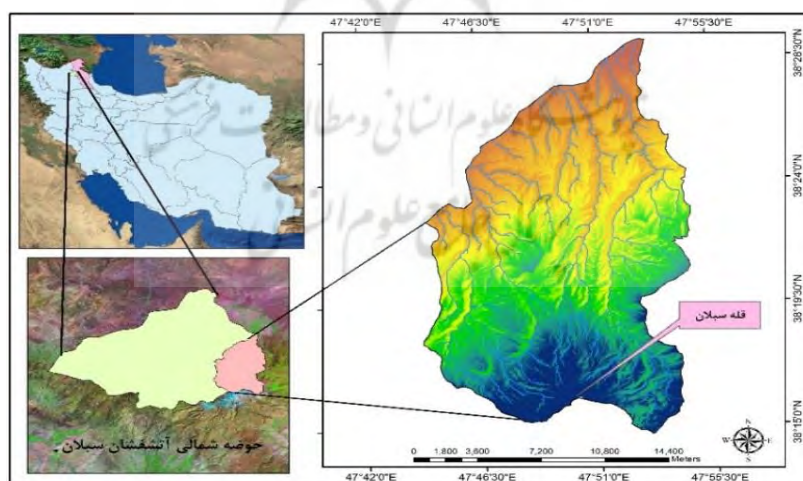
4- Armenia

5- chattaraj et al.,

دقت بالای یافته‌ها بود. با توجه به جمع‌بندی صورت گرفته از پیشینه پژوهش می‌توان گفت در مطالعات صورت گرفته در مورد لندفرمها به جنبه‌های کاربردی آن‌ها در زمینه هیدرولوژی و سیل‌خیزی توجه زیادی نشده است و بیشتر تأکید بر روی انتخاب روش‌های مختلف و کاربرد آن‌ها در جهت شناسایی لندفرمها بوده است. در این پژوهش سعی شده با شناسایی لندفرمها تأثیری که این عوارض می‌توانند در سیل‌خیزی داشته باشند مورد مطالعه قرار گرفته است.

### منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه در این تحقیق حوضه‌های آبریز دامنه‌های شمالی سبلان است که در موقعیت  $47^{\circ} 38'$  تا  $47^{\circ} 54'$  شرقی و  $38^{\circ} 11'$  تا  $38^{\circ} 29'$  شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). آتشفشان سبلان دارای امتداد غربی شرقی بوده و از سه قله بلند آتشفشانی تشکیل شده است. بیشترین ارتفاع منطقه برابر با ۴۸۱۱ متر از سطح دریا است. شیب زمین در دامنه‌ی شمالی بسیار تند است. این منطقه از گدازه‌های آتشفشانی از نوع بازالت که در چندین مرحله بیرون ریخته تشکیل شده است (طالقانی ۱۳۸۸).



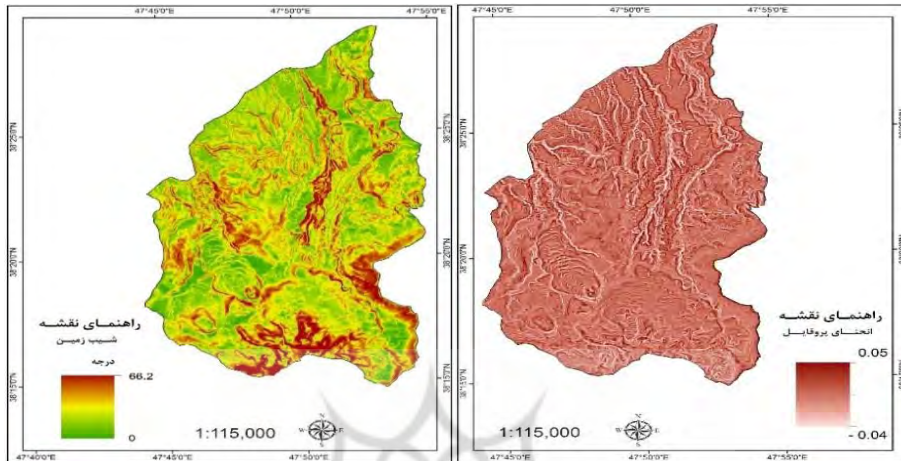
شکل (۱) نقشه‌ی موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

## مواد و روش‌ها

در این مطالعه لایه‌ی مدل رقومی ارتفاعی زمین به عنوان یکی از اساسی‌ترین داده‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. برای تهیه‌ی این لایه از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه استفاده شد و در نهایت لایه‌ی DEM منطقه با اندازه‌ی سلول ۱۰ متری تهیه شد. برای نمایش مورفومتری زمین لایه‌های شیب‌زمین، انحنا‌ی پروفایل و انحنا‌ی پلان<sup>۱</sup>، انحنا‌ی حداکثر و انحنا‌ی حداقل<sup>۲</sup> پنج لایه‌ی اصلی برای استخراج لندفرم‌ها هستند که با استفاده از نرم‌افزار SAGAGIS از لایه‌ی مدل رقومی ارتفاعی زمین استخراج شدند. ترکیب این پنج لایه با هم باعث ایجاد ۱۵ لندفرم عمومی در سطح زمین می‌شود که دارای ویژگی‌های منحصر بفردی از نظر مورفومتری هستند. در شکل‌های شماره‌ی (۲) تا (۶) پنج لایه استفاده شده در استخراج لندفرم‌ها نمایش داده شده است. لایه‌های کاربری زمین، تراکم پوشش گیاهی، بارش، تراکم شبکه‌ی آبراهه و سنگ‌شناسی از دیگر لایه‌هایی هستند که در ارزیابی وضعیت هیدرولوژیکی حوضه به کمک لایه‌های مورفومتری زمین آمده است. برای به دست آوردن تراکم پوشش گیاهی از تصاویر ماهواره لندست و شاخص NDVI استفاده شده (شکل ۷)، لایه‌ی سنگ‌شناسی از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه تهیه شده است (شکل ۸) و برای تهیه‌ی لایه‌ی کاربری زمین از لایه‌های رقومی سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کمک گرفته شده است (شکل ۱۰). اشکال شماره‌ی (۱۰) و (۱۱) لایه بارش و تراکم شبکه‌ی آبراهه را در منطقه نشان می‌دهد.

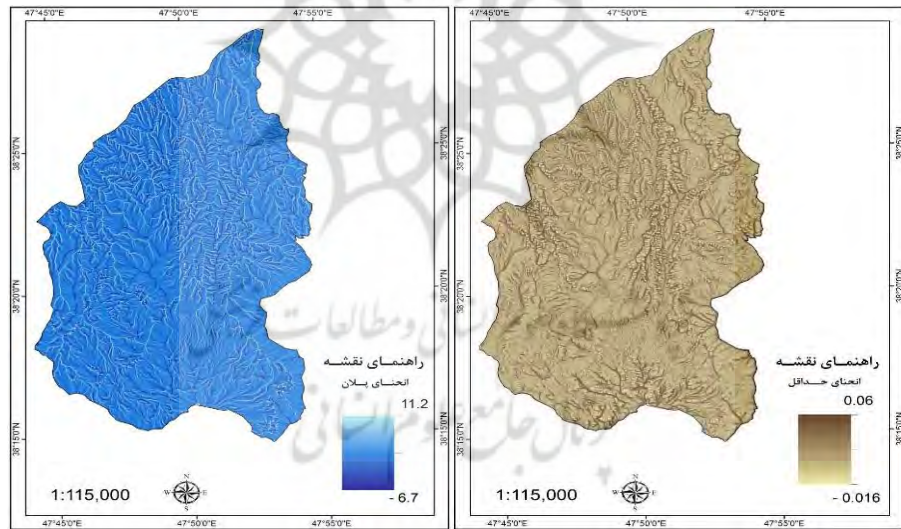
1- profile and plan curvature

2- maximum and minimum curvature



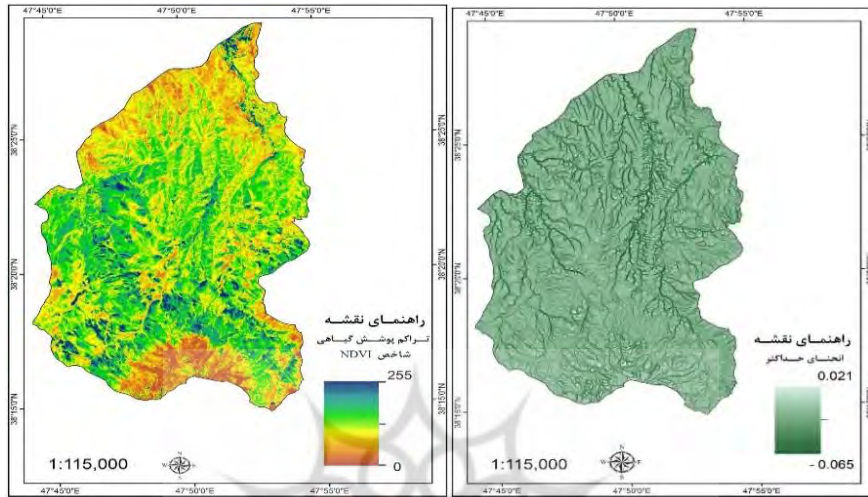
شکل (۲) لایه شیب زمین

شکل (۳) لایه انحنای پروفایل



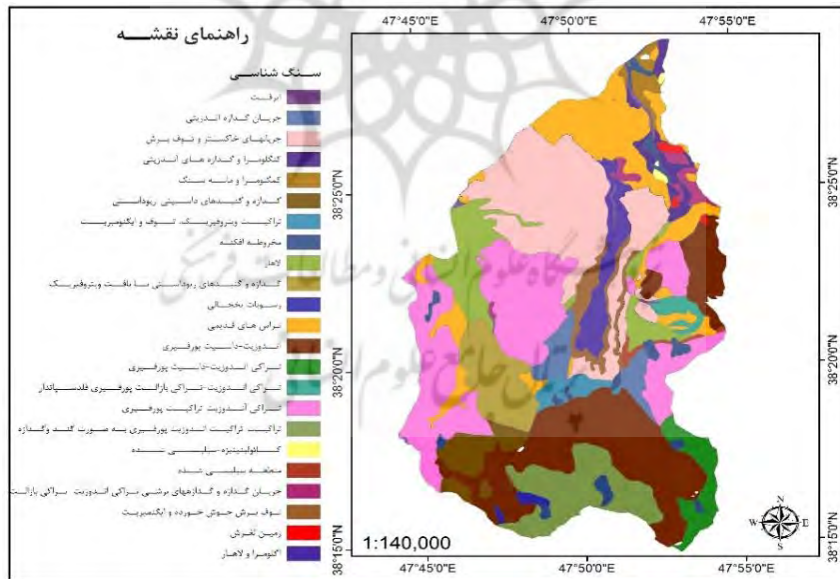
شکل (۴) لایه انحنای پلان

شکل (۵) لایه انحنای حداقل



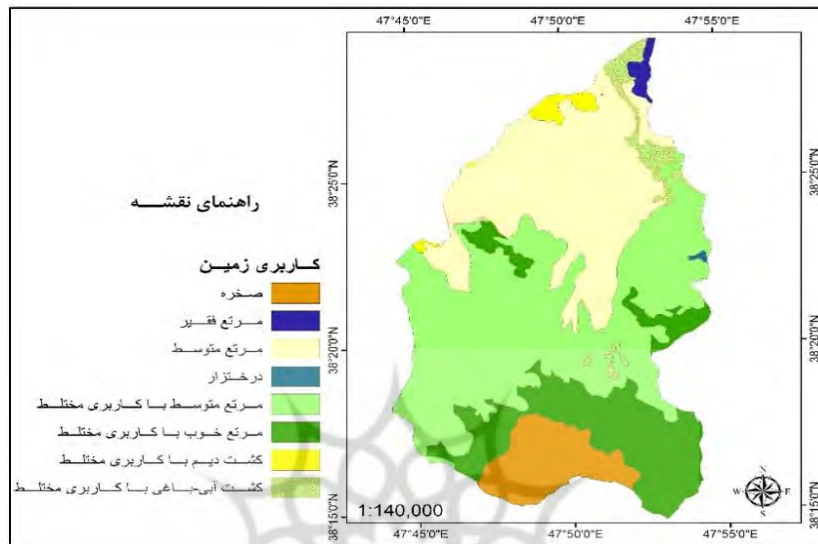
شکل (۷) لایه‌ی تراکم پوشش گیاهی

شکل (۶) لایه‌ی انحنای حداکثر

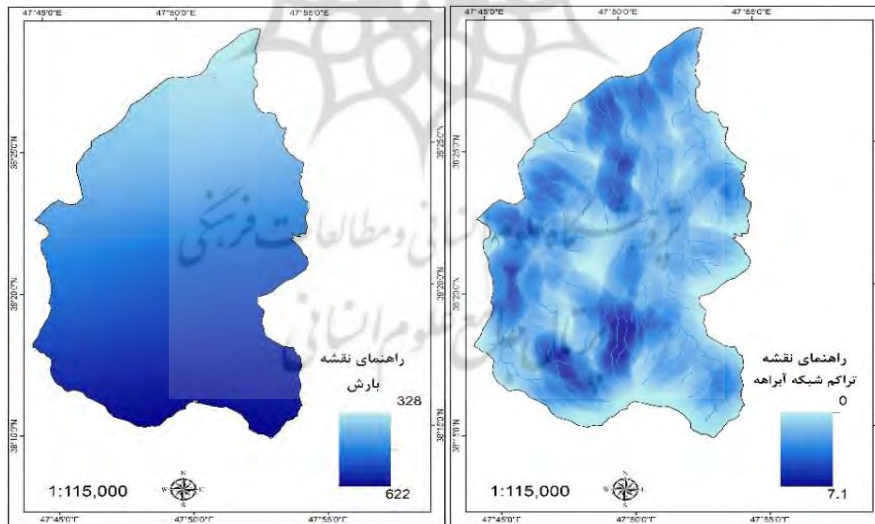


شکل (۸) لایه‌ی سنگ‌شناسی





شکل (۹) لایه‌ی کاربری زمین

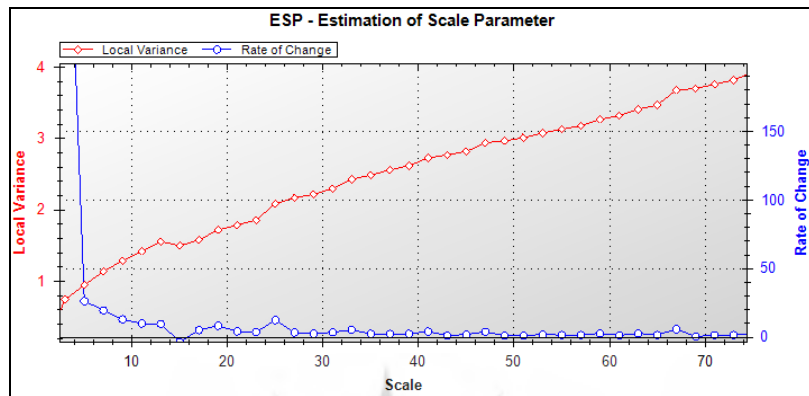


شکل (۱۰) لایه‌ی بارش

شکل (۱۱) لایه‌ی تراکم شبکه‌ی آبراهه

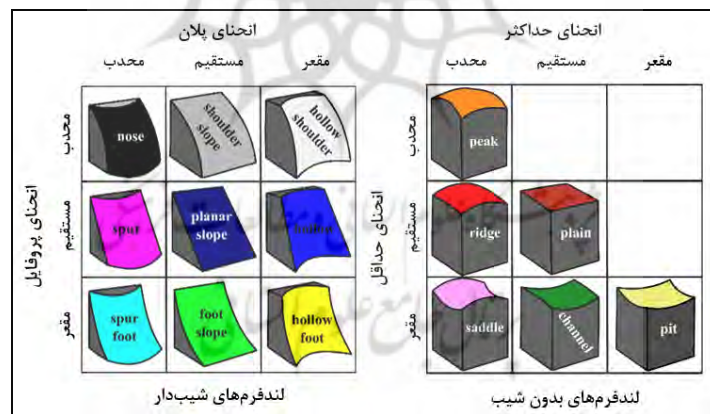
با توجه به هدف اتخاذ شده در این پژوهش، نیاز به شناسایی لندفرم‌های عمومی منطقه‌ی مورد مطالعه است. برای انجام این کار از روش شی‌گرا و نرم‌افزار Ecognition استفاده شده است که یک روش نیمه‌اتوماتیک محسوب می‌شود. در روش شی‌گرا سلول‌های یک تصویر با توجه به اطلاعات طیفی، بافت و زمینه در شی‌های همگن خوشه‌بندی می‌شوند که این اشکال طبقه‌بندی شده می‌توانند ژئومورفولوژیکی باشند (سیجمونبرگ، ۲۰۱۲). در روش شی‌گرا تعیین آستانه‌ی مقیاس پارامتری بسیار مهم برای جداسازی شی‌های مختلف در یک تصویر است، اندازه‌ی مقیاس تعیین شده برای سگمنت‌سازی تأثیر مستقیمی در اندازه‌ی اشکال استخراج شده دارد. برای تعیین مقیاس مناسب جهت جداسازی شی‌ها از روش آزمایش و خطا استفاده می‌شود (گرچک<sup>۱</sup>، ۲۰۱۰). یک روش جدید برای انجام این کار استفاده از روش دراگوت و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۰) است. آنها برای ارزیابی دینامیک واریانس از یک سطح مقیاس به سطحی دیگر نرخ تغییرات واریانس موضعی (ROC-LV) را معرفی کردند. به وسیله‌ی تفسیر آستانه‌ها و قله‌های اصلی در نمودار ROC-LV می‌توان مشخصات مقیاس را نسبت به مشخصه داده‌ها در یک سطح چشم‌انداز پیدا کرد (دراگوت و همکاران، ۲۰۱۰). منحنی فوق برای منطقه با استفاده از نرم‌افزار ESP در ۱۰۰ سطح مقیاس تهیه شد، تفسیر منحنی برای منطقه نشان می‌دهد که مقیاس ۲۵ بهترین تناسب را برای سگمنت‌سازی دارد. جهت تعیین مقیاس علاوه بر روش فوق با توجه به نوع و اندازه لندفرم‌های در نظر گرفته شده، با استفاده از روش آزمایش-خطا و مقایسه و انطباق با یافته‌های میدانی در نهایت مقیاس ۲۵ برای سگمنت‌سازی انتخاب شد.

1- Gerçek et al.,  
2- Drăguța



شکل (۱۲) نمودار ROC-LV به دست آمده از نرم‌افزار ESP

مراحل مربوط به استخراج و شناسایی لندفرم‌ها در محیط نرم‌افزار Ecognition انجام شد برای انجام این کار از دسته‌بندی که دیکائو (۱۹۸۹) برای شناسایی و طبقه‌بندی لندفرم‌ها ارائه کرده استفاده شده است (شکل ۱۳).



شکل (۱۳) لندفرم‌های عمومی پیشنهادی توسط دیکائو (۱۹۸۹)

برای پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی از مدل منطق فازی استفاده شده است. نظریه‌ی مجموعه‌های فازی بر منطق فازی استوار بوده و اساساً به منظور اقدام در شرایط ابهام

ارائه گردیده است. هر فرد همزمان در مجموعه های مختلف ولی به درجات متفاوت عضویت دارد. درجات عضویت مقادیر بین صفر و یک و نیز خود این دو حد را می پذیرد (ون آلن، استرایجل<sup>۱</sup>، ۲۰۰۰). این نظریه در برابر منطق کلاسیک مطرح شده است که هر چیز را بر اساس یک سیستم دودویی نشان می دهد (درست یا غلط، صفر یا یک، سیاه یا سفید). روش فازی یک روش مناسب جهت تعیین عملکرد لایه ها و اثرگذاری آنها در یک پدیده است، توابع عضویت فازی از ابزارهای مهم جهت انجام این کار است. از طریق این توابع و نوع پارامتر مورد استفاده، هم تأثیر لایه ها در پدیده تعیین می شود و هم لایه هایی که دارای مقیاس های اندازه گیری متفاوتی هستند استانداردسازی شده و در بازه ی ۰ تا ۱ قرار می گیرند. در این پژوهش لایه های به کار رفته در پهنه بندی با استفاده از توابع عضویت فازی، استانداردسازی شده و در نهایت با گامای فازی روی هم گذاری شدند.

## بحث و نتایج

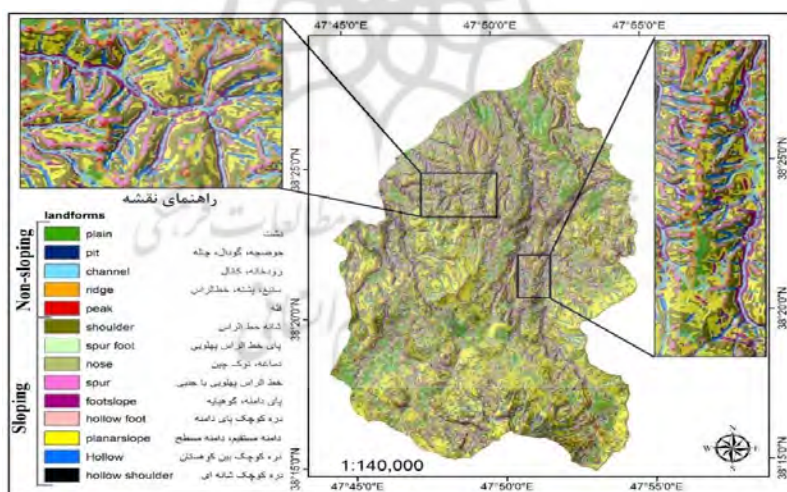
بررسی تأثیر مورفومتری لندفرمها در سیل خیزی از اهداف اصلی این پژوهش است. با بررسی انجام شده از طریق روش آزمایش خطا بر روی داده ها و تحلیل نمودار ROC-LV مقیاس ۲۵ برای سگمنت سازی لایه ها انتخاب شد و از طریق آستانه گذاری و تعریف مجموعه قوانین لندفرمها شناسایی شدند. طبق مدل پیشنهادی دیکائو (۱۹۸۹) در منطقه ی مورد مطالعه ۱۴ لندفرم اصلی شناسایی شدند که عبارتند از: قله، دشت، کانال آب یا رودخانه، چاله و خطالراس، شانه خطالراس، پای خطالراس جانبی، خطالراس پهلوئی یا جانبی، دماغه، دره کوچک بین کوهستان، دره ی کوچک پای دامنه، دره ی کوچک شانه ای، دامنه های مسطح شیب دار و کوهپایه. این لندفرمها از ترکیب پنج پارامتر انحنای پلان، انحنای پروفایل، انحنای حداکثر، انحنای حداقل و شیب زمین ایجاد شده اند. انحنای پروفایل که در واقع بیانگر نوع خمیدگی دامنه در امتداد جهت شیب است وضعیت زمین را از نظر نگهداشت آب (انحنای مقعر) و یا پخش آن (انحنای

1- Van alen, Striigel

مستقیم و محدب) مشخص می‌کند و تأثیر زیادی در حجم رواناب تولیدی دارد. لایه‌ی انحنای پلان از دیگر لایه‌های اصلی شناسایی نوع لندفرم‌هاست. این لایه خمیدگی سطح زمین را در راستای عمود بر امتداد جهت شیب نشان می‌دهد. این ویژگی در سطح زمین باعث همگرایی و یا واگرایی جریانات آب سطحی می‌شود. بر اساس نوع انحنای در این لایه نواحی که دامنه‌ها دارای انحنای محدب هستند باعث واگرایی و پخش آب‌های سطحی می‌شوند و برعکس نواحی که دارای انحنای مقعر هستند باعث تمرکز رواناب‌ها شده و سرعت ایجاد رواناب را افزایش می‌دهند. لایه انحنای حداکثر و انحنای حداقل در شناسایی لندفرم‌های بدون شیب مانند گودال‌ها و قله‌ها نقش مهمی دارند. در لایه‌ی انحنای حداکثر در یک نقطه از زمین حداکثر انحنای موجود در یک امتداد مشخص از سطح زمین شناسایی شده و نوع آن از نظر محدب، مقعر و یا مستقیم بودن مشخص می‌شود. لایه انحنای حداقل نیز انحنای زمین را در جهت عمود بر امتداد انحنای حداکثر نشان می‌دهد. ترکیب این دو لایه با یکدیگر در زمین‌های بدون شیب باعث ایجاد ۵ لندفرم در سطح زمین می‌شود (جدول ۱). که با توجه به نوع محدب یا مقعر بودن انحنای در سطح آنها در تولید رواناب نقش مهمی دارند. در شکل (۱۴) نقشه‌ی لندفرم‌های منطقه نشان داده شده‌اند. با توجه به توپوگرافی کوهستانی که منطقه مورد مطالعه دارد اکثر لندفرم‌ها از نوع لندفرم‌های شیب‌دار هستند. لندفرم‌های بدون شیب مانند دشت‌ها عمدتاً در بخش شمال‌شرقی منطقه تمرکز دارند با این حال در کل منطقه به صورت پراکنده این نوع از لندفرم را می‌توان مشاهده کرد. دامنه‌های مسطح شیب‌دار با ۲۳ درصد از مساحت منطقه بیشترین فراوانی را از نظر وسعت دارا بوده و حوضچه‌ها و دره‌های کوچک شانه‌ای از کمترین فراوانی برخوردارند.

مسئله‌ی دیگر در بحث سیل‌خیزی موضوع جنس زمین و پوشش آن است که در سیل‌خیزی یک منطقه بسیار تأثیرگذار است. با توجه به آتشفشانی بودن منطقه‌ی مورد مطالعه و نوع سنگ‌های غالب، در بخش‌های مختلف آن می‌توان سنگ‌هایی با نفوذپذیری پایین را مشاهده کرد که با افزایش ضریب تولید رواناب باعث افزایش سیل

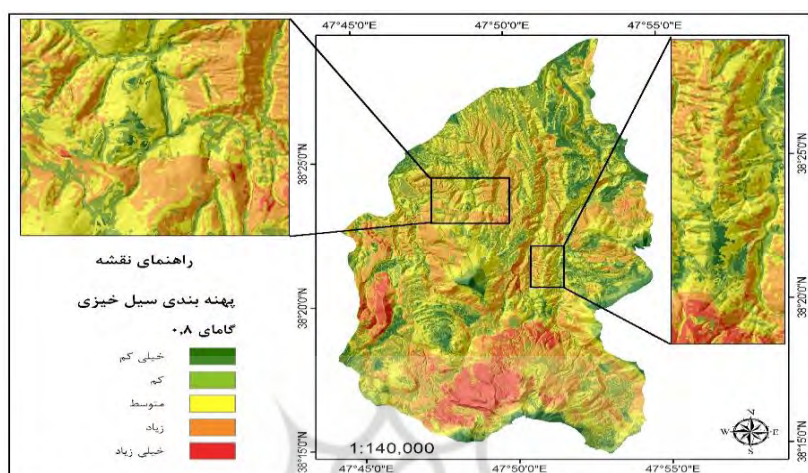
خیزی در این منطقه می‌شود برای مثال می‌توان به بخش‌های جنوبی منطقه‌ی مورد مطالعه اشاره کرد که عمدتاً از نوع سنگ‌های آندوزیت، داسیت و تراکیت پورفیری می‌باشد. در منطقه‌ی مورد مطالعه تراکم شبکه‌ی آبراهه با توجه به پوشش سنگی از درجه تراکم کمتری نسبت به مناطق دیگر برخوردار است. دامنه‌های شمالی سبلان به نسبت دامنه‌های جنوبی آن از بارش و رطوبت بیشتر و نورگیری کمتری برخوردار است، با توجه به این امر تراکم پوشش گیاهی در بیشتر مناطق از شرایط مناسبی برخوردار بوده و به غیر از بخش‌های مرتفع و زمین‌های با پوشش سنگی در اکثر بخش‌های حوضه می‌توان زمین‌هایی با کاربری مرتع متوسط تا خوب را مشاهده کرد که همین موضوع تأثیر زیادی در افزایش نفوذپذیری و کاهش تولید رواناب دارد. با توجه به این امر برای تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی سیل‌خیزی از منطقه، در کنار لایه لندفرم‌ها از لایه‌های دیگری همچون جنس سازند، تراکم پوشش گیاهی، بارش، تراکم شبکه‌ی آبراهه و کاربری زمین نیز استفاده شد.



شکل (۱۴) نقشه‌ی لندفرم‌های عمومی منطقه

لایه‌های فوق در ترکیب با هم جهت پهنه‌بندی سیل‌خیزی مورد استفاده قرار گرفتند. برای اینکار هر کدام از لایه‌ها بر اساس اهمیت و عملکردشان در سیل‌خیزی فازی‌سازی شدند. برای این کار لایه‌های رستری از طریق توابع فازی و لایه‌های وکتوری با وزندهی بین ۰ تا ۱ استانداردسازی شدند. در نهایت با استفاده از گامای ۰/۸، لایه‌ها رویهم‌گذاری شده و نقشه پهنه‌بندی سیل‌خیزی منطقه به دست آمد (شکل ۱۵). نقشه به دست آمده بر اساس پتانسیل سیل‌خیزی در پنج پهنه با حساسیت خیلی کم، کم، متوسط زیاد و خیلی زیاد دسته‌بندی شد.

جهت مشخص کردن تأثیر لندفرم‌ها در سیل‌خیزی منطقه با استفاده از تحلیل‌های آماری-فضایی در نرم‌افزار Arcmap جدولی به شرح جدول (۱) تهیه شد. در این جدول درصد پهنه‌های سیل‌خیز در هر یک از لندفرم‌ها آورده شده است. طبق جدول (۱) لندفرم‌هایی که جز سطوح هموار و بدون شیب هستند عمدتاً به عنوان مناطق با پتانسیل سیل‌خیزی خیلی کم و کم پهنه‌بندی شده‌اند. برای مثال ۹۸ درصد از مساحت لندفرم‌های دشتی در مناطق با سیل‌خیزی خیلی کم و کم قرار گرفته‌اند و این نشانگر تأثیر مورفومتری این لندفرم‌ها در کاهش تولید رواناب و سیل است. در لندفرم‌های دیگر این گروه نیز به همین شکل است و درصد طبقات با خطر متوسط، زیاد و خیلی زیاد در آنها معمولاً صفر یا نزدیک صفر است. در این لندفرم‌ها به دلیل داشتن شیب کم و انحنای مقعر نگهداشت و جذب آب بیشتر است و آب‌ها قادر هستند بهتر در زمین نفوذ کرده و رواناب کمتری تولید کنند. در این گروه دشت‌ها و چاله‌ها به دلیل نگهداشت آب کمترین خطر سیل‌خیزی کمتری را دارا هستند. در منطقه‌ی مورد مطالعه بر اساس لایه‌ی بارندگی مقدار متوسط بارش سالانه در مناطق جنوبی بیشتر از سایر مناطق است با این حال در این مناطق نیز لندفرم‌های اشاره شده در بالا عمدتاً به صورت مناطق با سیل‌خیزی کم و خیلی کم معرفی شده‌اند.



شکل (۱۵) نقشه‌ی پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی دامنه‌های شمالی سبلان

در دسته‌ی لندفرم‌های شیب دار هر چند همه این لندفرم‌ها شیب بالایی دارند با این وجود به دلیل اختلاف در نوع انحنا، اثرگذاری آنها در سیل‌خیزی یکسان نیست. در این گروه لندفرم دره‌های کوچک کوهستانی (Hollow) و شانه‌های خط‌الراس (Shoulder) به ترتیب  $۶۷/۳$  و  $۶۲/۹$  درصد از مساحت‌شان در طبقات با سیل‌خیزی زیاد و خیلی زیاد قرار دارد. علت این امر در نوع انحنای پروفایل و پلان است در لندفرم دره‌های کوچک انحنای پلان به شکل مقعر و انحنای پروفایل به صورت مستقیم است که در کنار شیب بیشتر زمین یک شرایط ایده‌آل را برای تولید رواناب زیاد فراهم می‌کند. هر جایی که در یک لندفرم انحنای پلان به شکل مقعر یا مستقیم و انحنای پروفایل به شکل محدب یا مستقیم هست سیل‌خیزی در آن نقطه در طبقات پرخطر قرار گرفته است.

لندفرم‌ها همچنین به صورت غیر مستقیم از طریق اثرگذاری در پارامترهایی همچون عمق خاک، فرسایش‌پذیری و پوشش گیاهی می‌توانند در تولید رواناب و ایجاد سیل اثرگذار باشند. برای مثال در منطقه مورد مطالعه خط‌الراس‌ها و شانه‌های خط‌الراس به دلیل مورفومتری که دارند امکان نگهداشت آب کمتری دارند، همچنین امکان تراکم رسوبات و رویش گیاهان در آنها به نسبت سایر لندفرم‌ها کمتر است. تراکم پوشش



گیاهی کمتر در این مناطق و عمق خاک کمتر از عوامل مهم و تأثیرگذار در سیل‌خیزی این مناطق هستند و عمدتاً به صورت مناطقی با پتانسیل سیل‌خیزی متوسط و زیاد پهنه‌بندی شده‌اند.

جدول (۱) تحلیل آماری - فضایی از درصد سطوح خطر سیل‌خیزی در هر لندفرم

لندفرم	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
دشت	۴۲	۵۶	۱/۶	۰/۴	۰
قله	۷	۵۶	۳۳	۳/۵	۰/۵
گودال	۴۴/۸	۵۴	۰/۷	۰/۵	۰
ستیغ	۵/۸	۴۴/۴	۴۳/۷	۵/۵	۰/۶
رودخانه	۱۴/۵	۶۹/۸	۱۴/۵	۱/۲	۰
Nose	۵/۷	۵۷	۲۶/۵	۹/۵	۱/۳
Hollow Shoulder	۰/۷	۵/۶	۴۸/۷	۴۱/۳	۳/۷
Spur Foot	۲/۴	۱۷	۵۰/۳	۲۶/۱	۴/۲
Hollow Foot	۳/۳	۳۱/۸	۵۳/۲	۱۰	۱/۷
Spur	۲/۲	۱۹/۲	۵۳/۹	۲۱/۶	۳/۱
Hollow	۲	۵	۲۵/۷	۵۰/۳	۱۷
Shoulder	۲/۷	۶/۶	۲۶/۸	۴۶/۵	۱۶/۴
Foot Slope	۳/۲	۳۰/۶	۵۱/۴	۱۱/۴	۳/۴
Planar slope	۳/۱	۱۳/۷	۳۰	۳۹/۸	۱۳/۴

### نتیجه‌گیری

لندفرم‌ها در هیدرولوژی یک منطقه به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم تأثیرگذار هستند. اثر مستقیم آن از طریق مقدار شیب و نوع انحنای هر لندفرم کنترل می‌شود و می‌تواند در تولید رواناب و نفوذپذیری زمین مؤثر باشد. در تأثیر غیرمستقیم، لندفرم‌ها با اثرگذاری در مواردی همچون کاربری زمین، پوشش گیاهی و عمق خاک و رسوبات انباشته شده در دامنه‌ها می‌توانند هیدرولوژی یک منطقه را تحت تأثیر قرار دهند. در

منطقه‌ی مورد مطالعه بر اساس نتایج به دست آمده سه لندفرم دره‌های کوچک کوهستانی (Hollow)، شانه‌های خط‌الراس (Shoulder) و دامنه‌های مستقیم (planar slope) در مقایسه با سایر لندفرم‌ها بیشترین تأثیر را در سیل‌خیزی دارند و به ترتیب ۶۷/۳، ۶۲/۹ و ۵۳/۲ درصد از سطح آنها به عنوان زمین‌هایی با سیل‌خیزی زیاد و خیلی‌زیاد پهنه‌بندی شده است. هر سه این لندفرم‌ها جز زمین‌های با شیب بالا هستند. در مقابل از بین گروه لندفرم‌های مسطح و کم شیب دشت‌ها و چاله‌ها یا حوضچه‌ها به صورت مناطق کم خطر از نظر سیل‌خیزی پهنه‌بندی شده‌اند.

آنچه که در این پژوهش سعی شد مورد مطالعه قرار گیرد تأثیری بود که هر کدام از لندفرم‌ها می‌توانند در سیل‌خیزی داشته باشند و اینکه بتوان به صورت کمی مقدار این اثرگذاری را نمایش داد. در این پژوهش در کنار لایه‌های مربوط به مورفومتری زمین، لایه‌های پوشش زمین همچون تراکم پوشش گیاهی، کاربری زمین، جنس سازندها و همچنین لایه بارش و تراکم شبکه‌ی آبراهه به عنوان عوامل مؤثر در سیل‌خیزی مورد استفاده قرار گرفتند. در منطقه‌ی مورد مطالعه قسمت زیادی از مناطق جنوبی علی‌رغم دریافت بارش بیشتر از مناطق شمالی در پهنه‌های با سیل‌خیزی کم و خیلی‌کم قرار دارند که این امر ناشی از مورفومتری خاص لندفرم‌ها در این مناطق است که انعکاسی از تأثیر نوع لندفرم در سیل‌خیزی است. از این‌رو می‌توان گفت هر چند مقدار بارش در تولید رواناب و ایجاد سیل تأثیر مستقیمی دارد ولی با این وجود آنچه که پهنه‌های مختلف زمین را از نظر ایجاد سیل و تولید رواناب از هم متمایز می‌سازد عوامل مربوط به پوشش زمین و مورفومتری آن است. به همین خاطر استخراج لندفرم‌های یک منطقه و طبقه‌بندی آنها می‌تواند یک عامل کمکی مناسب به جهت شناسایی هر چه بهتر مناطق بحرانی از نظر تولید رواناب بیشتر و در نتیجه سیل‌خیزی باشد. با توجه به نتایج به دست آمده از پژوهش می‌توان گفت تولید رواناب و سیل‌خیزی در سطح زمین در صورت وجود شرایط یکسان از نظر مقدار بارش، پوشش زمین و لیتولوژی تا حدود زیادی تحت تأثیر مورفومتری لندفرم‌ها قرار دارد.

## منابع

- شایان، سیاوش؛ یمانی، مجتبی؛ فرج‌زاده، منوچهر و علی احمدآبادی (۱۳۹۱)، طبقه‌بندی نظارت شده لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی مناطق خشک با استفاده از پارامترهای ژئومورفومتریک (نمونه موردی: منطقه مرنجاب)، فصلنامه‌ی سنجش از دور و GIS، شماره‌ی ۲ (پیاپی ۱۴)، صص ۱۹-۲۸.
- علایی طالقانی، محمود، (۱۳۸۴)، ژئومورفولوژی ایران، انتشارات قومس، چاپ دوم.
- فروغی‌فر، حامد؛ جعفرزاده، علی‌اصغر؛ ترابی گل‌سفیدی، حسین و ناصر علی‌اصغرزاده (۱۳۹۰)، تأثیر واحدهای لندفرم بر توزیع فراوانی و تغییرات مکانی ویژگی‌های بیولوژیکی خاک در دشت تبریز، دانش آب و خاک (دانش کشاورزی)، شماره‌ی ۴، صص ۳۵-۵۲.
- Dehn, M., Gärtner, H., Dikau, R. (2001), **Principals of semantic modeling of landform structures**, Computers & Geosciences, No.27, PP,1011-1013.
- Dikau, R. (1989), **Entwurf einer geomorphographisch-analytischen Systematik von Reliefeinheiten**, Heidelberger Geographische Bausteine, Vol. 5, PP.45.
- Dikau, R., Brabb, E.E., Mark, R.K., Pike, R.J. (1995), **Morphometric Landform Analysis of New Mexico**, Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementband, No. 101, PP.109-126.
- Drăguța, L, Eisanka, C, Strasser, T. (2010), **Local variance for multi-scale analysis in geomorphometry**, Geomorphology, Vol. 130, No.3-4, 15, PP.162-172.
- Evans, I.S. (1972), **General geomorphometry, derivatives of altitude, and descriptive statistics**. In: Chorley, R.J. (Ed.), Spatial Analysis in Geomorphology, Harper & Row, PP.17-90.
- Fisher, P., Wood, J. & Cheng, T. (2004), **Where is Helvellyn Fuzziness of multi-scale landscape morphometry**, Transactions of the Institute of British Geographers, No.1, PP.106-128.
- Leopold, L.B., Wolman, M.G., Miller, J.P. (1995), **Fluvial Processes in Geomorphology**, Dover, New York, PP.522.

- Lucian, Drăguț, Thomas Blaschke (2006), **Automated classification of landform elements using object-based image analysis**, *Geomorphology*, No.81, PP.30–344.
- MacMillan R.A. Shary P.A. (2008), **Landforms and Landform Elements in Geomorphometry in: Hengl, T. and Reuter, H.I. (Eds), Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Developments in Soil Science**, Vol. 33, PP.227-254.
- Mark, D. & Smith, B. (2004), **A science of topography: From qualitative ontology to digital representations**. In: M. Bishop and J. Shroder (eds), *Geographic Information Science and Mountain Geomorphology*, Springer, Berlin Heidelberg, PP.75-100.
- Nabil S.E, Moawad B.M. (2014), **A semi-automated approach for mapping geomorphology of El Bardawil Lake, Northern Sinai, Egypt using integrated remote sensing and GIS techniques**, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences* , Vol. 17, No. 1, PP.41–60.
- Pedersen, G.B.M. (2016), **Semi-automatic classification of glaciovolcanic landforms: An object-based mapping approach based on geomorphometry**, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol. 311, PP.29–40.
- Pike, R.J., Evans, I.S., Hengl, T. (2008), **Geomorphometry: a Brief Guide**. In: Hengl, T. and Reuter, H.I. (Eds), *Geomorphometry: Geomorphometry: Concepts, Software, Applications*, Developments in Soil Science, Vol. 33, PP.1-28.
- Pike, R.J. (2000), **Geomorphometry diversity in quantitative surface analysis**, *Progress in Physical Geography*, Vol. 24, No. 1, PP.1–20.
- Pike, R.J. (1995), **Geomorphometry progress, practice, and prospect**. *Zeitschrift für Geomorphologie* ,Supplementband, Vol. 101, PP.221–238.
- Scheidegger, A.E. (1991), **Theoretical Geomorphology**, 3rd edition, Springer-Verlag, Berlin, PP.434.
- Seib, N., Kley, J., Büchel, G. (2013), **Identifiication of maars and similar volcanic landforms in the West Eifel Volcanic Field through image**

**processing of DTM data: efficiency of different methods depending  
on preservation state, Int. J. Earth Sci., Vol. 102, No.3, PP.875-901.**

