

## روابط بیوزئومورفولوژی بین پوشش گیاهی، خاک، و عناصر لندفرمی (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  
سیدحسین صدوق - استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی

دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۳۱ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۰۷

### چکیده

مطالعه روابط فرایندهای ژئومورفولوژیکی و بیولوژیکی در مقیاس‌های متعدد در دانش بیوزئومورفولوژی بررسی می‌شود. هدف از این پژوهش ارزیابی الگوی توزیع پوشش گیاهی در مقیاس کوچک در ارتباط با عناصر لندفرمی سطح زمین در حوضه حبله رود است. این حوضه در جنوب کوه‌های البرز بین استان‌های سمنان و تهران واقع شده است. در شناسایی عناصر لندفرمی استفاده از روش ژئومورفون و پوشش گیاهی از شاخص SAVI استفاده شده است و برای درک ارتباط آن‌ها نمونه برداری در ۴۰ پلات ۱ متر مربعی، ویژگی‌های پوشش گیاهی، خصوصیات آزمایشگاهی خاک از جمله بافت، EC، PH، مواد آلی، و رطوبت برداشت شده است و برای روابط آن‌ها تحلیل‌های آماری به کار برده شده است. یافته‌های پژوهش در خصوص ویژگی‌های پوشش گیاهی نشان داده است که بیشترین الگوی متراکم نقطه‌ای در پای دامنه، دره‌های کوچک پای دامنه، و دامنه و کمترین آن در خط‌الرأس پهلویی رخ داده است. الگوی پراکنده نقطه‌ای بیشترین سهم را به ترتیب بر روی دامنه‌ها، خط‌الرأس پهلویی، دره‌های کوچک پای دامنه، و پای دامنه داشته است. در الگوی متراکم گیی سهم دامنه‌ها بیشتر از سایر عناصر بوده است. نتایج حاصله در زمینه تغییرات الگوی گیاهی با نوع لندفرم و خصوصیات خاک بیانگر این است که نوع الگوی پوشش گیاهی با میزان شن، PH، و EC همبستگی مثبت و با عناصر لندفرمی، درصد رس و سیلت، ارتفاع، رطوبت، و مواد آلی همبستگی منفی دارد. تحلیل عاملی و رگرسیون خاطرنشان ساخت که حدود ۷۰ درصد تغییرات الگو و تراکم پوشش گیاهی توسط متغیرهای نوع لندفرم، رطوبت، مواد آلی، و ارتفاع ارتباط قابل تبیین است.

واژگان کلیدی: الگو، بیوزئومورفولوژی، خاک، رگرسیون، ژئومورفون.

### مقدمه

بیوزئومورفولوژی به مطالعه روابط فرایندهای ژئومورفولوژیکی و بیولوژیکی می‌پردازد. تعامل بین ژئومورفولوژی و گیاهان به عنوان سازندهای اکوسیستم در همه محیط‌های خشکی و آبی در همه مقیاس‌ها، به‌ویژه در مقیاس کوچک مورد توجه دانش بیوزئومورفولوژی است؛ به طوری که با بررسی زیستگاه‌های مختلف در مقیاس کوچک اطلاعات ناهمگنی در اکوسیستم‌ها و تنوع زیستی به دست می‌آید. این پژوهش‌ها از طریق استخراج الگوهای ترکیب‌شده از گیاهان، فرایندها، و فرم‌ها در چشم‌انداز حاصل می‌شود و تنوع عوامل زیستی (نوع پوشش، فراوانی، الگو، تراکم) و عوامل غیرزیستی (فرم، خاک، زمین‌شناسی، اقلیم) در مقیاس‌های مختلف را مشخص می‌کند (والنتی، ۲۰۱۳: ۱۵۹). در این میان ویژگی‌های خاک به عنوان یکی از عوامل مهم است که با تکامل الگوی پوشش گیاهی مرتبط و باعث ظهور اولیه الگوها می‌شود و از سوی دیگر توزیع خاک و پوشش گیاهی در اکوسیستم‌ها با نوع لندفرم‌ها در تعامل است (دانکرلی، ۲۰۱۴: ۳۱۵).

در بسیاری از مطالعات بیوژئومورفولوژیک به اهمیت ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک پرداخته شده است (پولیکینگ، ۲۰۱۵: ۵۸۵؛ زائو، ۲۰۲۰: ۲)، زیرا خاک نه تنها محیط، آب، و مواد معدنی را برای گیاه فراهم می‌کند، بلکه در الگو و پراکندگی، نوع، و دینامیک گیاه نیز مؤثر است (نی، ۲۰۱۹: ۱۰۴). از جمله ویژگی‌های شیمیایی خاک، که به اهمیت آن‌ها اشاره شده است، EC، PH، و رطوبت و مواد آلی (تامپسون، ۲۰۰۵: ۶۱۴؛ هاپ، ۲۰۰۷: ال کیلوی، ۲۰۱۵: ۳۱؛ رودری گوس، ۲۰۱۸: ۲۲۷؛ کیم، ۲۰۱۶: ۲۳؛ هلسبرگر، ۲۰۲۱: ۵) و ویژگی مهم فیزیکی خاک و بافت است، که در بیشتر پژوهش‌ها اهمیت آن ذکر شده است؛ به طوری که ۷۰ درصد خصوصیات خاک به فاکتورهای بافت و هدایت الکتریکی و آهک خاک مرتبط است. تأثیرات بافت خاک به سبب اختلاف در میزان رطوبت خاک است که به تغییرات در شکل‌دهی، هوادهی، و میزان شوری خاک منجر می‌شود (وانگ، ۲۰۱۶: ۵؛ لوکینا، ۲۰۱۹: ۸۰۰؛ نی، ۲۰۱۹: ۱۰۶؛ کیم، ۲۰۱۶: ۴؛ ال کیلوی، ۲۰۱۵: ۳۱؛ کاسلین، ۲۰۱۹: ۳۵۶؛ جوادی و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۴).

خصوصیات خاک در لندفرم‌ها سبب تغییرات الگو، تراکم، و ترکیب پوشش گیاهی می‌شود. از طرفی دیگر، ویژگی‌های خاک به شدت تحت تأثیر پوشش گیاهی در مقیاس‌های مکانی کوچک‌تر قرار دارد. مطالعات متعدد بیوژئومورفولوژیکی در مقیاس‌های کوچک در واحدهای لندفرمی مختلف انجام شده و به اهمیت اکولوژیک میکرو لندفرم‌ها پرداخته شده است (دک، ۲۰۲۱: ۱). موری و همکاران روابط بیوژئومورفولوژی میکرو مقیاس را در خط ساحلی مطالعه کرده‌اند (موری، ۲۰۰۲: ۱۶). برانکلی و کانو الگوهای پوشش گیاهی را در ارتباط با لندفرم‌ها در مقیاس کوچک در قطب جنوب و شمال (برانکلی، ۲۰۰۳: ۴۰۴؛ کنونه، ۲۰۰۴: ۵۶۲)، لی و همکاران (۲۰۱۰: ۹۳۴) در سیستم‌های کویری شمال چین، پودل و وتاس (۲۰۱۴: ۱۱۱۴-۱۱۲۰) علت متفاوت بودن الگوها را روی دامنه‌ها، الکساندرا و همکاران (۲۰۱۶: ۹۱۹) استخراج الگوهای لندفرمی و پوشش گیاهی با استفاده از شاخص توپوگرافی (TPI) را در مناطق کوهستانی و مسطح، و مارچتی و همکاران (۲۰۲۰: ۱۲) تعاملات بیوژئولوژیکی را بر روی دلتاها و دک و همکاران (۲۰۲۱: ۱۱) بر روی تپه‌های باستانی مجارستان بررسی کرده‌اند. مزیت بررسی بیوژئومورفولوژیک در مقیاس کوچک این است که تأثیر الگوهای شکل گرفته درک بهتری از فرایندها و تغییرات اکوسیستم‌ها را نشان می‌دهد. همچنین، الگوهای لندفرمی در مقیاس کوچک نقش عمده‌ای در تعیین الگوی توزیعی گیاه دارد و ابزار مناسبی برای ارزیابی روابط بیوژئومورفولوژیکی در مقیاس بزرگ است (کنونه، ۲۰۰۴: ۵۶۲).

در سال‌های اخیر ژئومورفون روشی نسبتاً جدید برای شناسایی و استخراج عناصر لندفرمی معرفی شده است (استپنیکی و جاسویز، ۲۰۱۱: ۱۰۹). در این بین، می‌توان به کارهای جاسویز (۲۰۱۳: ۱۰۸)، لیبوا و همکاران (۲۰۱۶: ۶۸)، روبینا (۲۰۱۷: ۳۹)، فلین و همکاران (۲۰۲۰: ۱۱۳۹)، و یان (۲۰۲۰: ۶) اشاره کرد.

در پژوهش‌های داخلی از ویژگی‌های خاک به‌عنوان شاخص مناسب در تفکیک جوامع گیاهی و پراکنش آن‌ها نام برده‌اند (احمدی و همکاران، ۱۳۸۱: ۹۱؛ زارع و همکاران، ۱۳۸۵: ۱۴۷؛ قادری و همکاران، ۱۳۹۴: ۴۸۸). همچنین، علاوه بر اهمیت ویژگی‌های خاک، عوامل فیزیوگرافی و مورفومتری لندفرم‌ها را هم بررسی کرده‌اند (شکرالهی و همکاران، ۱۳۹۱: ۶۶۵؛ علی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۷: ۷۰۸؛ تایا و همکاران، ۱۳۹۸: ۷۱۱).

هدف از این پژوهش ارزیابی الگوی توزیعی پوشش گیاهی در مقیاس کوچک در ارتباط با واحدهای لندفرمی سطح زمین در حوضه حبله رود است و این باور دنبال شده است که توزیع و تنوع واحدهای لندفرمی نقش عمده‌ای در تراکم و نوع الگوی پوشش گیاهی دارد.

## مواد و روش‌ها

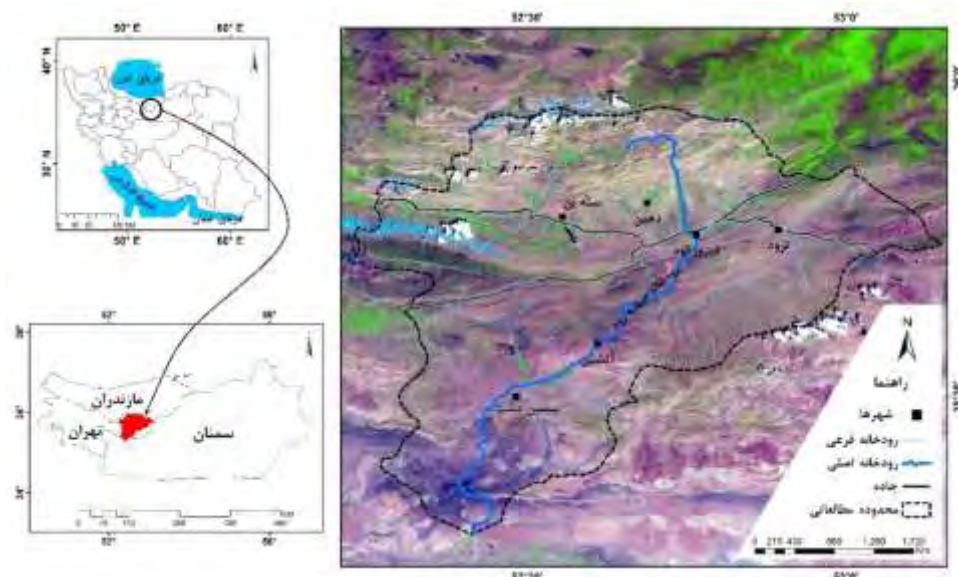
## محدوده مورد مطالعه

حوضه حبله‌رود ۳۲۷۴ کیلومتر مربع وسعت دارد. از نظر موقعیت جغرافیایی، حوضه آبخیز حبله‌رود بین  $35^{\circ}57'22''$  تا  $35^{\circ}56'16''$  عرض شمالی و  $52^{\circ}15'43''$  تا  $53^{\circ}8'53''$  طول شرقی در مرز بین استان‌های سمنان و تهران واقع شده است (شکل ۱).

حوضه حبله‌رود در جنوب رشته‌کوه البرز و در پهنه زمین‌ساختی البرز مرکزی قرار دارد. روند کوه‌ها شرقی-غربی بوده و تحت تأثیر کوه‌زایی آپی به شکل کنونی درآمده است. حوضه حبله‌رود یک پیشینه‌رود است که در مسیر خود ساختارهای زمین‌شناسی بسیاری همچون تاق‌دیس‌ها، ناودیس‌ها، و دره‌های گسلی را قطع کرده که این مسئله بیانگر اقلیم پویا در دوره‌های بارانی کواترنری است (جابری و همکاران، ۱۳۹۱: ۸۴). در حوضه حبله‌رود از قدیمی‌ترین سازندها نظیر بایندور تا جوان‌ترین نهشته‌های منفصل مانند تراس‌های آبرفتی کواترنری و واریزه‌ها و زمین‌لغزش‌ها و رسوبات بستر رودخانه دیده می‌شود. ارتفاعات منطقه گسلی بوده و تکتونیک فعال منطقه باعث به‌وجود آمدن درز و شکست ثانویه در آن‌ها شده است. گستره بسیار وسیعی از منطقه مورد مطالعه را واحدهایی با سن کواترنری تشکیل می‌دهند که به دلیل وسعت زیاد دارای تنوع این رسوبات است. در مجموع، واحدهای رسوبی کواترنری شامل رسوبات آبرفتی قدیمی و جدید، رسوبات بادی، تراس‌های رودخانه‌ای قدیمی و جدید، و تراورتن است.

این حوضه، که از زیرحوضه‌های دشت کویر است، جزو مناطق بسیار گرم با میانگین دمای سالانه  $25^{\circ}$  سانتی‌گراد محسوب می‌شود. رژیم بارش در منطقه مطالعاتی مدیرانه‌ای است (فرج‌زاده، ۱۳۷۸) و با میانگین بارش  $250$  میلی‌متر در سال و فصل خشک متمرکز بر تابستان است. در سال‌های خشک‌سالی، میزان بارش سالانه آن به زیر  $100$  میلی‌متر رسیده است (سازمان هواشناسی، ۱۳۹۹) که بیانگر حاکمیت شدید شرایط بیابانی در این منطقه داخلی ایران است.

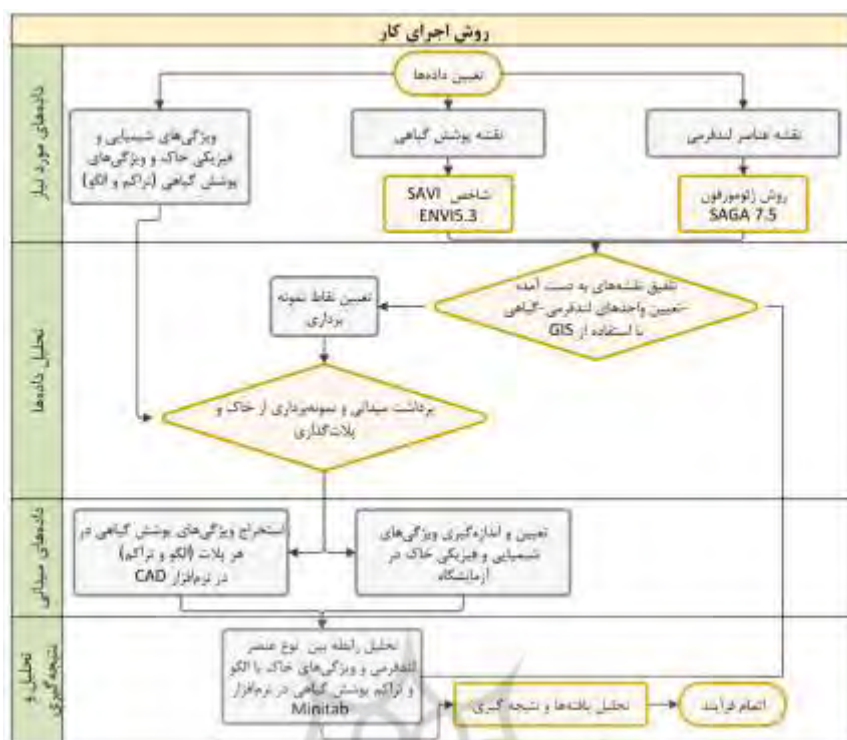
تغییرات خاک در این ناحیه کاملاً مشخص است؛ به نحوی که در دامنه‌های ارتفاعات اغلب قهوه‌ای‌رنگ و در بعضی از شیب‌های تند نوع خاک بلوطی شیری‌رنگ مشاهده می‌شود و در ارتفاعات خاک‌های لیتول آهکی، که اکثراً به علت شیب زیاد و عوامل نامساعد جوی خاک کم‌عمق با پوشش گراولی موجب ایجاد رویشگاه shallow to gravel شده است. در این منطقه به علت کم‌عمق بودن خاک و نزدیک بودن سنگ مادر به سطح زمین عموماً بیرون‌زدگی‌های سنگی رخمون سنگی مشاهده می‌شود (فرج‌زاده، ۱۳۷۸). بنابراین، محدودیت برای استقرار گیاهان ریشه‌بلند را به‌وجود آورده و شرایط برای استقرار گونه‌هایی با ریشه افشان و کوتاه را مناسب کرده است. بنابراین، در این منطقه انواع گیاهان خانواده گرامینه و چتریان همچنین گونه‌های درختی ارس و گز و تاغ را می‌توان دید. وسعت، تنوع آب و هوایی، خاک، شیب، شکل و ساختار زمین سبب شده که پوشش گیاهی منطقه متنوع باشد و گونه‌های متفاوت، که سازگاری مختلفی با شرایط اکولوژیک خاص دارند، در منطقه دیده شده است. در کنار این گونه‌ها، گیاهانی با ریشه قوی، به علت مطلوب بودن سایر شرایط، با نفوذ ریشه در شکاف سنگ‌ها، امکان استقرار را برای خود ایجاد کرده‌اند. بیشتر این گیاهان، گونه‌های بالشتکی و خاردار، مانند گون‌ها، چوبک‌ها، یا درختچه‌های زرشک شیرخشت و راناس (ألوی وحشی) نیز در منطقه به‌صورت پراکنده توزیع شده‌اند (طرح وزارت جهاد کشاورزی، ج ۵، ۱۳۸۹: ۲۴).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

متغیرهای مورد بررسی در این تحقیق شامل نوع عنصر لندفرمی، ارتفاع، ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک، و خصوصیات پوشش گیاهی (الگو و تراکم) است. نقشه عناصر لندفرمی با استفاده از مدل رقومی ارتفاع<sup>۱</sup> و روش ژئومورفون<sup>۲</sup> استخراج شده و کلیه محاسبات در نرم‌افزار SAGA7.5 GIS انجام شده است. نقشه پوشش گیاهی با استفاده از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ و استخراج شاخص SAVI<sup>۳</sup> تهیه شده است و شاخص در نرم‌افزار ENVI5.3 محاسبه شده است. نقشه واحدهای نمونه‌برداری با استفاده از تلفیق نقشه عنصر لندفرمی (ژئومورفون) و نقشه پوشش گیاهی (SAVI) در نرم‌افزار ArcGIS10.5 به دست آمده است. عملیات برداشت نمونه خاک و ویژگی‌های پوشش گیاهی با پلات‌های ۱ متر مربعی از عمق ۰-۲۰ سانتی‌متر انجام شده است. ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک در آزمایشگاه تجزیه و تحلیل شده و الگوها و تراکم پوشش گیاهی در هر پلات با استفاده از نرم‌افزار CAD استخراج شده است. پس از تهیه اطلاعات از واحدهای لندفرمی، خاک و پوشش گیاهی، برای بررسی روابط بین عوامل ذکر شده از تجزیه رگرسیون چندمتغیره در نرم‌افزار Minitab18 استفاده شده است (شکل ۲). روش اجرای پژوهش به شرح زیر است:

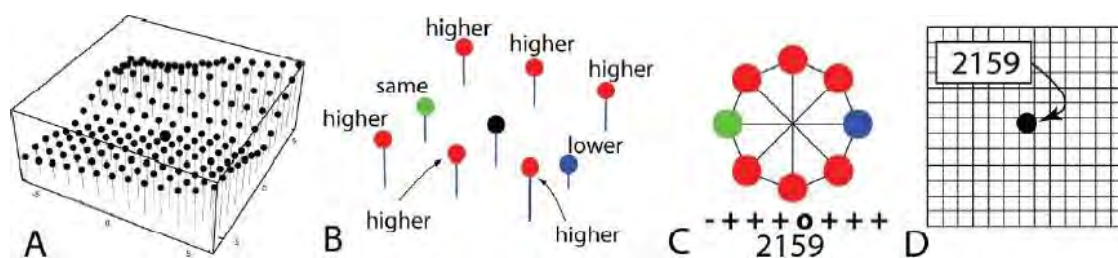
1. DEM
2. Geomorphon
3. Soil Adjusted Vegetation Index



شکل ۲. مراحل اجرای پژوهش

برای تهیه نقشه عناصر لندفرمی از مدل رقومی ارتفاع ALOSPOL SAR 12.5<sup>۱</sup> مربوط به سال ۲۰۱۰<sup>۲</sup> و نرم‌افزار GIS SAGA7.5 استفاده شده است. ژئومورفون یک ناهمواری با جهت‌گیری ثابت و انعطاف‌پذیر است (استپینسکی و جاسویز، ۲۰۱۱: ۱۰۹). شباهت‌های بافت و تضادهای ارتفاع بر اساس استخراج الگوهای سه‌گانه ساده محلی<sup>۳</sup> از DEM استخراج می‌شود (شکل ۳) (نونجیری، ۲۰۲۰: ۴). الگوی سه‌گانه محلی به این صورت است که برای شناسایی فرم‌ها، مفاهیم بالاتر، پایین‌تر، هم‌سطح برای یک سلول مرکزی ایجاد می‌شود. این سطح با استفاده از اصل خط دید<sup>۴</sup> به دست می‌آید. این اصل توسط یوکایامن پیشنهاد شد که با استفاده از ناهمواری سطح و فاصله افقی قابل توصیف است و از زاویه‌های زینت<sup>۵</sup> و نادیر<sup>۶</sup> در هشت جهت اصلی قطب‌نما برای تفسیر استفاده می‌کند که یک الگوی هشت‌گانه (متشکل از سه نماد "+", "0", "-", "یا "+", "0", "-") را به وجود آورده‌اند. پیکسل مشخص‌شده این الگو به‌عنوان مثال، +, 0, -, -, -, -, -, +, + توصیف‌کننده یک الگوی هشت‌گانه است (استپینسکی و جاسویز، ۲۰۱۱: ۱۱۰).

1. DEM
2. <https://asf.alaska.edu/data-sets/sar-data-sets/alos-palsar>
3. Local ternary patterns
4. The line-of-sight principle
5. Zenith
6. Nadir

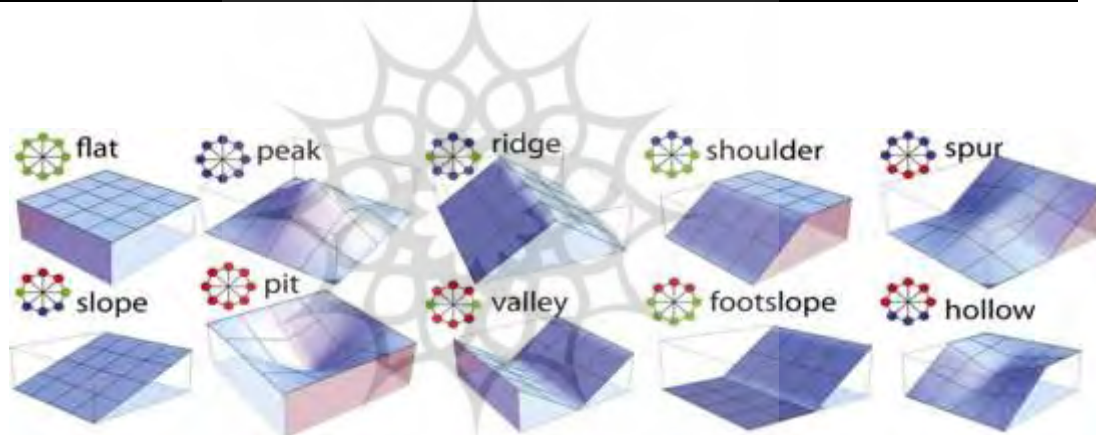


شکل ۳. مفهوم کاربردی الگوی سه‌گانه محلی در هشت جهت- طرح Jarosław Jasiewicz (جاسویز، ۲۰۱۳)

در یک چشم‌انداز معمولی، بیشترین و مؤثرترین ژئومورفون‌های قابل تشخیص شامل ده عنصر است که در جدول ۱ معادل فارسی و در شکل ۴ آن‌ها نشان داده شده است.

جدول ۱. معادل فارسی ده لندفرم غالب

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



شکل ۴. ده ژئومورفون غالب در چشم‌انداز (جاسویز، ۲۰۱۳)

نقشه پوشش گیاهی منطقه با استفاده از تصویر لندست ۸ سال ۲۰۲۰ و شاخص پوشش گیاهی (SAVI) تهیه شده است. زیرا، با توجه به مطالعات انجام گرفته به وسیله برخی پژوهشگران، شاخص NDVI نمی‌تواند به خوبی بیانگر درصد پوشش گیاهی در مناطق خشک باشد. شاخص‌هایی که بازتاب خاک را در نظر می‌گیرند، با دقت بیشتری می‌توانند درصد پوشش گیاهی را تخمین بزنند (درویش‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱).

کلید این شاخص در مقدار ضریب (L) است. ضریب خاک بین صفر برای پوشش و صد درصد تا یک برای خاک لخت تغییر می‌کند. مقدار این ضریب در بیشتر مطالعات ۰٫۵ در نظر گرفته می‌شود (مسعود و کویک، ۲۰۰۶: ۱۵۶).

شاخص SAVI برای لندست ۸ برای منطقه مورد مطالعه به صورت رابطه ۱ تعریف شده است که در آن B5 باند مادون قرمز نزدیک، B4 باند قرمز، و L ضریب خاک است.

$$SAVI = [(B5 - B4) / (B5 + B4 + L)] * (1 + L)$$

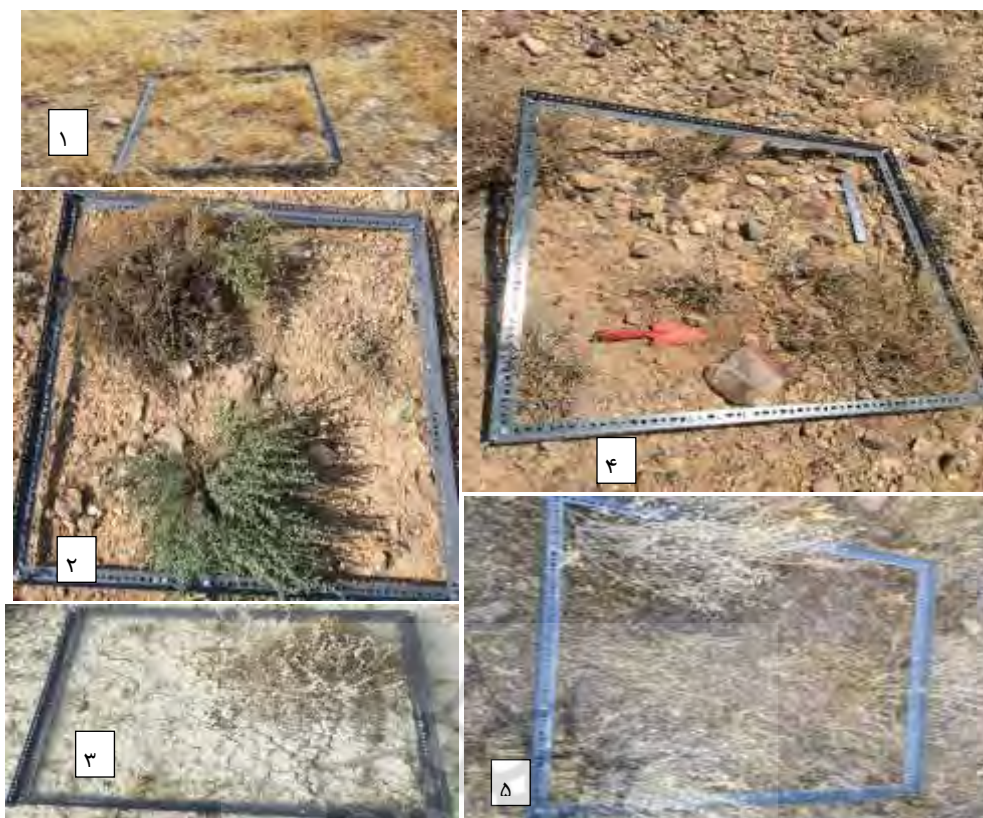
از تلفیق واحدهای لندفرمی و پوشش گیاهی نقشه واحدهای لندفرمی- گیاهی تهیه شده است و عناصر ژئومورفون، که دارای پوشش گیاهی طبیعی و مناسب‌اند، انتخاب شده‌اند. در نقشه واحدهای لندفرمی- گیاهی، چهار نوع ژئومورفون

شامل دامنه، دره‌های کوچک پای دامنه، خط‌الرأس پهلویی، پای دامنه با پوشش گیاهی متراکم تا پراکنده استخراج شده است. چهل نمونه به صورت تصادفی - سیستماتیک برای اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک و استخراج پوشش گیاهی در نقشه اخیر مشخص شده است. شکل ۷ محل نقاط نمونه‌برداری و پلات‌گذاری در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با پیمایش‌های میدانی، چهل نمونه خاک از بین چهار عنصر فوق در پلات‌های یک متر مربعی برداشت شده است (شکل ۵).

پس از پرس و خشک‌کردن نمونه‌های خاک برداشت‌شده، از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی در عصاره ۱:۵ درجه حرارت عصاره اشباع با ترمومتر تعیین شد و سپس با استفاده از جدول استاندارد مقدار هدایت الکتریکی در ۲۵ درجه سانتی‌گراد مشخص شد. اندازه‌گیری PH با pH متر، سوسپانسیون خاک را بعد از بهم‌زدن در زیر الکتروود pH متر قرار داده و بعد از ثابت‌شدن عقربه pH متر عدد pH قرائت شده است.

روش مورد استفاده در اندازه‌گیری مواد آلی روش والکلی بلاک است، که خاک را با اسید سولفوریک غلیظ و بی‌کرومات ترکیب کرده، بعد از اتمام واکنش اکسیداسیون و احیای زیادی بی‌کرومات باقی‌مانده با فروآمونیم سولفات تیترو می‌شود. رطوبت خاک به روش وزنی (آون) و از طریق خشک‌کردن نمونه در دستگاه اتوو با درجه حرارت ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد تعیین شده است. انتهای بافت خاک، اندازه‌گیری درصد شن، رس و سیلت نمونه‌ها بر اساس روش هیدرومتری انجام شده است. در این روش ذرات کوچک‌تر از دو میکرون رس و ذرات بین ۲۰ تا ۵۰ میکرون سیلت و ذرات بین ۵۰ تا ۲۰۰۰ میکرون شن تعیین شده‌اند. برای به‌دست‌آوردن الگوهای پوشش گیاهی از تصاویر گوگل‌ارث، مشاهده میدانی (پلات‌گذاری)، و نرم‌افزار CAD استفاده شده است. انواع اصلی پیکربندی الگوها توزیع نواری، نقطه‌ای، و راه‌راه از تناوب خاک و گیاه بسته به توپوگرافی و سایر شرایط خارجی الگوها می‌توانند عمود یا موازی شیب باشند (یوربونگو، ۲۰۰۹: ۲).

با در نظر گرفتن میزان تراکم و پراکندگی در هر پلات الگوهای متفاوتی شامل متراکم نقطه‌ای، متراکم گپی، پراکنده نقطه‌ای، و پراکنده گپی استخراج شده است. پس از جمع‌آوری اطلاعات، نوع لندفرم، ارتفاع، ویژگی‌های خاک (شیمیایی و فیزیکی)، و پوشش گیاهی (استخراج الگوها و تراکم)، برای بررسی و تحلیل بیوژئومورفولوژی از آنالیزهای آماری - از جمله همبستگی، تحلیل عاملی، و رگرسیون چندمتغیره و گام به گام - استفاده شده است. با استفاده از نمودارها و مقایسه محورها می‌توان چگونگی ارتباط بین الگوها و تراکم پوشش گیاهی و واحدهای لندفرمی و ویژگی‌های خاک را بیان کرد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Minitab18 انجام شده است. به منظور تحلیل دقیق‌تر داده‌ها و دستیابی به نتایج علمی و در عین حال عملیاتی از روش تحلیل عاملی استفاده شد. برای دستیابی به عملکرد بیشتر از نتایج همبستگی و تحلیل عاملی جهت پیش‌بینی تغییرات متغیر وابسته (الگو و تراکم پوشش گیاهی) از آزمون رگرسیون استفاده شده است. شکل ۷ توزیع و پراکندگی چهار نوع عنصر لندفرمی را - که نمونه‌برداری و پلات‌گذاری بر روی آن‌ها در منطقه مورد مطالعه انجام شده است - نشان می‌دهد. با توجه به پراکندگی و فراوانی دامنه ۱۲ پلات در دامنه‌ها، ۱۰ پلات در دره‌های کوچک پای دامنه، ۹ پلات در خط‌الرأس پهلویی، و ۹ پلات در پای دامنه انجام شد.



شکل ۵. پلات‌های برداشت‌شده از منطقه مورد مطالعه

### یافته‌های پژوهش و بحث

ده عنصر غالب از شکل زمین در منطقه مورد مطالعه به‌عنوان ژئومورفون شامل محدوده‌های مسطح (دشت)، قله، خط‌الرأس، شانه خط‌الرأس، خط‌الرأس پهلویی، دامنه، دره کوچک پای دامنه، پای دامنه، دره، گودال (دره عمیق) شناسایی شده است. به بیانی دیگر، شکل ۶ (سمت راست) 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 شناسایی شده بیانگر عناصر اصلی لندفرم‌های این حوضه‌اند.

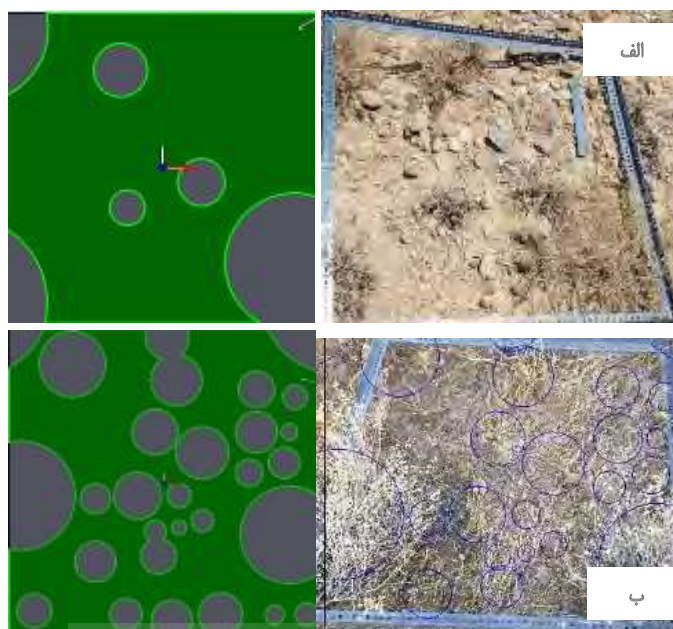




جدول ۲. نتایج آزمایشگاه ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک

ردیف	شن %	سیلت %	رس %	EC Ds/m	PH --	مواد آلی %	رطوبت %	ردیف	شن %	سیلت %	رس %	EC Ds/m	PH --	مواد آلی %	رطوبت %
۱	۴۰٫۴	۳۲	۲۹٫۶	۴۰	۸٫۷	۵۱٫۲	۱٫۵	۲۱	۴۰٫۴	۳۰	۲۹٫۶	۴۰	۸٫۷	۵۱٫۲	۱٫۵
۲	۵۰٫۴	۲۰	۲۹٫۶	۴۰	۸	۹۸٫۰	۰٫۴۵	۲۲	۵۰٫۴	۲۴	۲۹٫۶	۴۰	۸	۹۸٫۰	۰٫۴۵
۳	۴۰٫۴	۳۶	۲۹٫۶	۳۰	۸	۴۹٫۱	۶٫۷	۲۳	۴۰٫۴	۳۶	۲۹٫۶	۴۰	۸	۴۹٫۱	۶٫۷
۴	۴۰٫۴	۴۰	۲۹٫۶	۳۰	۹٫۷	۴۱٫۱	۳۷٫۶	۲۴	۴۰٫۴	۳۰	۲۹٫۶	۴۰	۹٫۷	۴۱٫۱	۳۷٫۶
۵	۴۰٫۴	۳۶	۲۹٫۶	۳۰	۸٫۷	۱۲٫۱	۰٫۳۶	۲۵	۴۰٫۴	۳۰	۲۹٫۶	۴۰	۸٫۷	۱۲٫۱	۰٫۳۶
۶	۴۰٫۴	۳۲	۲۹٫۶	۳۰	۸	۹۵٫۰	۱۱٫۱۱	۲۶	۴۰٫۴	۳۰	۲۹٫۶	۴۰	۸	۹۵٫۰	۱۱٫۱۱
۷	۴۰٫۴	۳۰	۲۹٫۶	۲۰	۸	۷۳٫۰	۴٫۴	۲۷	۴۰٫۴	۴۱	۲۹٫۶	۳۰	۸	۷۳٫۰	۴٫۴
۸	۴۰٫۴	۳۰	۲۹٫۶	۳۰	۸	۸۱٫۰	۲٫۴	۲۸	۴۰٫۴	۴۰	۲۹٫۶	۳۰	۸	۸۱٫۰	۲٫۴
۹	۴۰٫۴	۴۴	۲۹٫۶	۲۰	۹٫۷	۴۵٫۰	۱٫۷	۲۹	۴۰٫۴	۴۰	۲۹٫۶	۴۰	۹٫۷	۴۵٫۰	۱٫۷
۱۰	۴۰٫۴	۲۲	۲۹٫۶	۴۰	۴٫۸	۴۵٫۰	۷٫۶	۳۰	۴۰٫۴	۲۲	۲۹٫۶	۴۰	۴٫۸	۴۵٫۰	۷٫۶
۱۱	۵۰٫۴	۲۳	۲۹٫۶	۴۰	۲٫۸	۴۵٫۰	۸٫۶	۳۱	۵۰٫۴	۲۸	۲۹٫۶	۴۰	۲٫۸	۴۵٫۰	۸٫۶
۱۲	۴۰٫۴	۴۴	۲۹٫۶	۴۰	۶٫۸	۵۲٫۰	۲٫۴	۳۲	۴۰٫۴	۲۵	۲۹٫۶	۴۰	۶٫۸	۵۲٫۰	۲٫۴
۱۳	۴۰٫۴	۳۲	۲۹٫۶	۳۳	۷٫۸	۵۲٫۰	۷٫۴	۳۳	۴۰٫۴	۳۳	۲۹٫۶	۳۳	۷٫۸	۵۲٫۰	۷٫۴
۱۴	۴۰٫۴	۲۴	۲۹٫۶	۴۰	۸٫۵	۴۴٫۰	۹٫۵	۳۴	۴۰٫۴	۳۳	۲۹٫۶	۴۰	۸٫۵	۴۴٫۰	۹٫۵
۱۵	۴۰٫۴	۴۰	۲۹٫۶	۳۰٫۶	۹٫۷	۴۴٫۰	۴٫۵	۳۵	۴۰٫۴	۲۹	۲۹٫۶	۴۰	۹٫۷	۴۴٫۰	۴٫۵
۱۶	۴۰٫۴	۳۶	۲۹٫۶	۴۰	۸٫۷	۴۴٫۰	۳٫۵	۳۶	۴۰٫۴	۴۰	۲۹٫۶	۴۰	۸٫۷	۴۴٫۰	۳٫۵
۱۷	۴۰٫۴	۲۶	۲۹٫۶	۴۰	۳٫۸	۴۴٫۰	۴٫۷	۳۷	۴۰٫۴	۴۰	۲۹٫۶	۴۰	۳٫۸	۴۴٫۰	۴٫۷
۱۸	۴۰٫۴	۳۰	۲۹٫۶	۳۹	۵٫۸	۴۴٫۰	۷٫۵	۳۸	۴۰٫۴	۳۹	۲۹٫۶	۴۰	۵٫۸	۴۴٫۰	۷٫۵
۱۹	۴۰٫۴	۲۸	۲۹٫۶	۳۰	۹٫۷	۴۶٫۰	۴٫۶	۳۹	۴۰٫۴	۲۷	۲۹٫۶	۴۰	۹٫۷	۴۶٫۰	۴٫۶
۲۰	۴۰٫۴	۲۰	۲۹٫۶	۳۰	۷٫۷	۴۶٫۰	۹٫۶	۴۰	۴۰٫۴	۲۴	۲۹٫۶	۳۰	۷٫۷	۴۶٫۰	۹٫۶

نتایج ویژگی‌های پوشش گیاهی (الگو و تراکم) در شکل ۸ نشان داده شده است که ۴ الگوی متراکم نقطه‌ای، متراکم گپی، پراکنده نقطه‌ای، و پراکنده گپی برای چهار پلات استخراج شده است. از ۱۵ الگوی متراکم نقطه‌ای، ۶ الگو در پای دامنه، ۵ الگو در دره‌های کوچک پای دامنه، در دامنه و خط‌الرأس پهلویی هر کدام ۲ الگو تشخیص داده شده است و الگوی پراکنده نقطه‌ای بیشترین سهم را به ترتیب بر روی دامنه‌ها (۵ الگو)، خط‌الرأس پهلویی (۴ الگو) دره‌های کوچک پای دامنه ۳ و ۲ الگو بر روی پای دامنه داشته است. ۶ الگوی متراکم گپی استخراج شد که سهم دامنه‌ها بیشتر از سایر عناصر بود؛ به ترتیب دامنه ۳ الگو، خط‌الرأس پهلویی ۲، و دره‌های کوچک ۱ الگو بود. الگوی پراکنده گپی کمترین تکرار را بر روی عناصر لندفرمی مورد نظر داشت؛ به این صورت که بر روی دامنه‌ها ۲ الگو و سایر عناصر لندفرمی فقط ۱ الگو سهم هر کدام از عناصر بود.



شکل ۸. الگوهای استخراجی از پلات‌ها: الف) الگوی پراکنده نقطه‌ای؛ ب) متراکم نقطه‌ای در آنالیز آماری داده‌ها، ارتباط بین متغیرها بر اساس ضریب همبستگی پیرسون نشان می‌دهد که الگو و تراکم پوشش گیاهی با متغیرهای درصد شن و میزان PH و EC همبستگی مثبت دارد (جدول ۳).

جدول ۳. همبستگی بین متغیرها

مواد آلی	PH	EC	رس	سیلت	شن	ارتفاع	الگو	
							-۰,۴۲۹	ارتفاع
							۰,۰۰۶	
							-۰,۳۳۰	شن
							۰,۳۶۴	
							۰,۰۲۱	
							-۰,۲۳۷	سیلت
							۰,۱۴۲	
							-۰,۲۱۴	رس
							۰,۱۸۵	
							۰,۱۱۷	EC
							۰,۴۷۳	
							۰,۲۴۸	PH
							۰,۱۲۲	
							-۰,۶۰۷	مواد آلی
							۰,۰۰۰	
							-۰,۶۰۵	رطوبت
							۰,۰۰۰	
							-۰,۶۴۲	عنصر لندفرمی
							۰,۰۰۰	
								رطوبت
							۰,۳۲۱	عنصر لندفرمی
							۰,۰۴۴	

نتایج تحلیل عاملی ۳ ترکیب اصلی را متغیرها مشخص کرده است. درصد واریانس به دست آمده توسط هر کدام از ترکیبها در جدول ۴ نشان داده شده است. اولین سری از مؤلفه‌های اصلی متغیرهای ارتفاع، میزان رس، سیلت، مواد آلی، رطوبت خاک، و نوع لندفرم است که دارای واریانس ۳,۵ است و ۳۱ درصد از کل واریانس را تشکیل می‌دهد. دومین و سومین سری از مؤلفه‌های اصلی به ترتیب دارای واریانس ۲,۳ و ۱,۷ است و ۳۷ درصد از تغییرات را به خود اختصاص می‌دهند و مجموع ۳ عامل ۶۹ درصد تغییرات الگوی پوشش گیاهی را برآورد کرده است (جدول ۴). نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون چندگانه توأم (رگرسیون گام به گام) بین متغیرهای مستقل، ارتفاع، نوع واحد لندفرم، PH، EC، مواد آلی، رطوبت، بافت خاک (درصد رس، شن، و سیلت) و متغیر وابسته یعنی الگو و تراکم پوشش گیاهی در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۴. تحلیل عاملی متغیرها

متغیر	فاکتور ۱	فاکتور ۲	فاکتور ۳	مشترک
ارتفاع	۰,۶۹۶	۰,۲۸۴	۰,۱۱۵	۰,۵۷۹
شن	-۰,۶۹۱	۰,۵۲۹	-۰,۴۰۲	۰,۹۱۹
سیلت	۰,۵۱۳	-۰,۴۷	۰,۴۶۱	۰,۶۹۶
رس	۰,۶۰۵	-۰,۴۹۲	۰,۴۰۱	۰,۷۶۹
EC	-۰,۱۵	-۰,۸۴	-۰,۵۰۴	۰,۹۸۲
PH	-۰,۳۸	-۰,۰۰۴	۰,۴۱۵	۰,۳۱۶
مواد آلی	۰,۷۴	۰,۱۸۶	-۰,۱۳۹	۰,۵۹۹
رطوبت	۰,۴۶۷	۰,۲۵۸	-۰,۴۹۵	۰,۵۳
عنصر لندفرمی	۰,۵۵۶	۰,۰۹۸	-۰,۴۳۸	۰,۵۱
الگو	-۰,۸۰۶	-۰,۱۷۶	۰,۳۲۳	۰,۷۸۵
واریانس	۳,۵۰۴۱	۲,۳۷۶۷	۱,۷۸۷۴	۷,۶۶۸۲
Var%	۰,۳۱۹	۰,۲۱۶	۰,۱۶۲	۰,۶۹۷

جدول ۵. رگرسیون بین متغیرها

P-Value	F-Value	Source	P-Value	F-Value	Source
۰,۵۳۶	۰,۳۹	EC	۰,۰۰۰	۷۱,۸	رگرسیون
۰,۷۳۰	۰,۱۲	PH	۰,۶۲۵	۰,۲۴	ارتفاع
۰,۱۸۸	۸۱,۱	مواد آلی	۰,۱۴۷	۲۲,۲	شن
۰,۰۰۳	۱۰,۶۸	رطوبت	۰,۸۷۷	۰,۰۲	سیلت
۰,۰۰۷	۳۴,۸	عنصر لندفرمی	۰,۴۰۰	۰,۷۳	رس
	خلاصه مدل:			۳۰	Error:
S	R-sq	R-sq(adj)		۳۹	Total:
۰,۷۱۴۷۴۶	٪۳۲,۷۲	٪۰,۲۶۴			

با توجه به جدول ۵، همبستگی بین الگو و تراکم پوشش گیاهی با نوع رطوبت خاک و نوع واحد لندفرم به ترتیب با مقدار  $p < ۰/۰۰۳$  و نوع لندفرم با مقدار  $p < ۰/۰۰۷$  معنی دار است. مقدار ضریب تعیین (R-sq) نشان می‌دهد که متغیرهای پیش‌بینی کننده ۷۲,۳۲ درصد از واریانس را در الگوی پوشش گیاهی توضیح می‌دهند. تقریباً ۷۲ درصد از تغییرات پوشش گیاهی به این متغیرها مربوط است. با توجه به داده‌های مدل رگرسیونی الگو و تراکم پوشش گیاهی با لندفرم و ویژگی‌های خاک سطح معنی داری در بین متغیرهای مستقل نوع واحد لندفرم، رطوبت خاک، مواد آلی، و ارتفاع ارتباط معنی داری به دست آمده و مدل رگرسیونی نیز معنی دار شده است. درصد شن و PH با الگو و تراکم پوشش گیاهی ارتباط داشتند، اما مدل رگرسیونی معنی دار نشده است. هیچ ارتباط معنی داری بین سایر متغیرها (درصد سیلت و رس

EC) و الگوی پوشش گیاهی مشاهده نشد و نقشی در پیش‌بینی متغیر وابسته نداشتند. نتایج رگرسیون گام به گام برای درک ترتیب اهمیت متغیرها نشا داد که واحد لندفرمی بیشترین تأثیر را داشته و بنابراین در اولین مرحله وارد مدل رگرسیونی شده است و پس از آن نیز به‌ترتیب متغیرهای رطوبت خاک، میزان مواد آلی، و میزان شن وارد مدل رگرسیونی شده است. مقدار R2 نشان می‌دهد که متغیرهای پیش‌بینی‌کننده مرحله اول ۷۰٫۵۰ درصد از واریانس را در الگوی پوشش گیاهی توضیح می‌دهند. تقریباً ۷۰ درصد از تغییرات پوشش گیاهی به این متغیرها مربوط است (جدول ۶).

جدول ۶. آزمون رگرسیون گام به گام بین متغیرها

مرحله ۱		مرحله ۲		مرحله ۳		مرحله ۴		
P	Coef	P	Coef	P	Coef	P	Coef	
	۹۴۲٫۳		۴۶۴٫۵		۳۰۶٫۵		۴۸۳٫۴	Constant
	۶۵۳٫۰	۰٫۰۱۱	۳۲۵٫۰	۰٫۰۰۰	۵۰۸٫۰	۰٫۰۰۷	۳۳۴٫۰	عنصر لندفرمی
		۰٫۰۰۰	۲۶۹۷٫۰	۰٫۰۰۰	۲۸۰۵٫۰	۰٫۰۰۰	۲۷۰۰۰٫۰	رطوبت
		۰٫۰۰۷	۸۸۴٫۰	۰٫۰۲۹		۰٫۰۳۹	۶۹۸٫۰	مواد آلی
							۰٫۲۲۴	شن
	۰٫۹۲۵۰۹۶		۰٫۷۸۳۴۱۲		۰٫۷۱۶۷۱۴		۰٫۶۸۳۱۴۸	S
	%۲۷٫۴۱		%۹۹٫۵۸		%۶۱٫۶۶		%۷۰٫۵۰	R-sq
	%۷۳٫۳۹		%۷۸٫۵۶		%۸۲٫۶۳		%۱۳٫۶۷	R-sq(adj)
	%۳۰٫۳۵		%۲۱٫۴۸		%۸۱٫۵۷		%۳۱٫۶۱	R-sq(pred)
	۶۶٫۲۷		۱۰٫۴۵		۲۰٫۴		۹۷٫۱	aa oovs' Cp
			۰٫۱۵۵ to t r		۰٫۱۵ a to rooo ee			
								S R-sq R-sq(adj) R-sq(pred)
								۰٫۶۸۳۱۴۸ %۵۰٫۷۰ %۱۳٫۶۷ %۳۱٫۶۱

الگو =  $۴۸۳٫۴ + ۰٫۲۲۴ \text{ شن} - ۰٫۶۹۸ \text{ مواد آلی} - ۰٫۲۷۰۰ \text{ رطوبت} - ۰٫۳۳۴ \text{ عنصر لندفرمی}$

با توجه به تجزیه و تحلیل‌های انجام‌شده در ارتباط با روابط آماری، از بین متغیرهای مستقل متغیرهای درصد شن و میزان EC و PH همبستگی مثبت با متغیر وابسته دارد. در آزمون رگرسیون، رطوبت خاک و نوع واحد لندفرم بیشترین تأثیر را در پیش‌بینی تغییرات متغیر وابسته یعنی الگو و تراکم پوشش گیاهی داشته‌اند. تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد که توزیع فضایی پوشش گیاهی در مقیاس کوچک با واحدهای لندفرمی ارتباط عمیقی دارد. تغییرات الگوهای پوشش گیاهی در مقیاس مورد نظر در موقعیت ارتفاعی و جغرافیایی یکسان بسیار واضح است و حاکی از ارتباط قوی بیژن‌تومورفولوژی در منطقه است. در واحدهای لندفرمی مورد نظر، پوشش گیاهی الگوهای پایداری را شکل می‌دهند و در نهایت این پایداری به تراکم پوشش گیاهی منجر می‌شود. واحدهای لندفرمی، موزاییک ناهمگنی از الگوی پوشش گیاهی را بر سطح لندفرم‌ها در مقیاس بزرگ به‌وجود می‌آورند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داده است که ارتباط معنی‌دار و مستقیمی بین نوع واحد لندفرمی و الگو و تراکم پوشش گیاهی وجود دارد، زیرا واحدهای لندفرمی به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم در سایر عوامل رشد و پراکنش گیاه مانند جذب رطوبت، حرارت، میزان مواد آلی، میزان فرسایش، بافت خاک، و فعالیت میکروارگانیسم‌ها نقش مؤثری دارند. درحقیقت، هر کدام از واحدهای لندفرمی با توجه به شکل و ویژگی‌های فرمی در نتیجه فرایندهای غالب در مقیاس کوچک در الگو و تراکم پوشش گیاهی نقش دارند. از بین واحدها، لندفرم‌های انتخاب‌شده عبارت‌اند از: دامنه، دره کوچک پای دامنه، خط‌الرأس پهلویی، و پای دامنه. لندفرم‌های پای دامنه و دره‌های کوچک پای دامنه دارای بیشترین تراکم و الگوی پراکنش نقطه‌ای‌اند که هر دو لندفرم به دلیل فرم و شکلی که دارند باعث تجمع آب (رطوبت بالا)، فعالیت میکروارگانیسم‌ها (مواد آلی بیشتر)، تولید خاک (بافت خاک)، و فرسایش کمتر شده است و این ویژگی‌ها به افزایش تراکم و نوع الگوی متراکم نقطه‌ای منجر شده است. لندفرم دامنه به‌طور کلی چهار

الگوی استخراجی در منطقه مورد مطالعه را دارد. با توجه به تفاوت دامنه‌ها از نظر موقعیت منطقه، اقلیم، ویژگی‌های توپوگرافی الگوهای متفاوتی از پراکنش پوشش گیاهی را نشان می‌دهند.

### نتیجه‌گیری

بر اساس تحلیل‌های آماری انجام‌شده در مورد ارتباط عناصر لندفرمی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با الگوی پراکنده‌گی پوشش گیاهی، می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات الگوی پراکنش گیاهی ارتباط قابل ملاحظه‌ای با نوع لندفرم و خصوصیات خاک دارد. در خصوص پوشش گیاهی، بیشترین الگوی مترکم نقطه‌ای در پای دامنه، دره‌های کوچک پای دامنه، و کمترین آن در خط‌الرأس پهلویی رخ داده است. الگوی پراکنده نقطه‌ای بیشترین سهم را به ترتیب بر روی دامنه‌ها، خط‌الرأس پهلویی، دره‌های کوچک پای دامنه، و پای دامنه داشته است. در الگوی مترکم گپی سهم دامنه‌ها بیشتر از سایر عناصر بود و الگوی پراکنده گپی کمترین تکرار را بر روی عناصر لندفرمی مورد نظر داشته است که به‌طور کلی در دامنه‌ها مشاهده شده است.

در این مطالعه چهار نوع عنصر لندفرمی همراه ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک در ارتباط با الگو و تراکم پوشش گیاهی تجزیه و تحلیل شد؛ به‌طوری که نوع الگوی پوشش گیاهی با میزان شن، PH، و EC همبستگی مثبت دارد و با باقی‌مانده متغیرها همبستگی منفی دارد. نتیجه تحلیل عاملی و مدل رگرسیونی نشان داد تقریباً ۶۹ تا ۷۰ درصد تغییرات الگوی پوشش گیاهی را می‌توان با متغیرهای ذکرشده در پژوهش تبیین کرد. از بین متغیرهای مستقل نوع واحد لندفرم، رطوبت خاک، مواد آلی، و ارتفاع ارتباط معنی‌داری با متغیر وابسته دارند و بیانگر این است که الگوهای متفاوت پوشش گیاهی در نقاط مختلف حوضه حبله‌رود با توجه به نوع لندفرم و ارتفاع آن و همچنین ویژگی‌های متفاوت خاک آن‌ها مرتبط است. اثر عناصر لندفرمی بسته به اینکه چقدر تحت تأثیر ویژگی‌های خاک باشد کاملاً متفاوت است. نتایج پژوهش اخیر با تحقیقات کاسلین در سال ۲۰۱۹، رابطه پوشش گیاهی و ویژگی‌های شیمیایی خاک در لندفرم‌های مختلف در مقیاس کوچک تطابق دارد و با پژوهش فلین در سال ۲۰۲۰ در خصوص تغییرات خاک برای درک ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و فرایندهای بیولوژیکی با استفاده از روش ژئومورفون مطابقت دارد. همچنین، در مقایسه با نتایج پژوهش دک در سال ۲۰۲۱ در ارتباط با تغییرات پوشش گیاهی در عوارض کوچک لندفرمی نتایج مشابهی به دست آمده است. بنابراین، تأثیرات فرایندهای ژئومورفیک در بررسی ویژگی‌های پوشش گیاهی اجتناب‌ناپذیر است.

## منابع

- احمدی، ح؛ جوانشیر، ک؛ قنبریان، غ. و حبیبیان، س. (۱۳۸۱). بررسی ویژگی‌های اکولوژیک جوامع گیاهی با توجه به واحدهای ژئومورفولوژی (مطالعه موردی: منطقه چنار راهدار استان فارس)، *مجله منابع طبیعی ایران*، ۵۵(۱).
- شکراللهی، ش؛ مرادی، ح و دیانتی، ق. (۱۳۹۱). بررسی اثر ویژگی‌های خاک و عوامل فیزیوگرافی بر پوشش گیاهی (مطالعه موردی: بخشی از مراتع بیلاقی پلور)، *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۱۹(۴): ۶۵۵-۶۶۸.
- قادری، ش؛ امیریان، ع؛ کریمزاده، آ؛ دیفرخش، م. و پوررضایی، ح. (۱۳۹۴). بررسی ارتباط پوشش گیاهی با عوامل خاکی با استفاده از آنالیز چندمتغیره (مطالعه موردی: مراتع قشلاقی حوزه چمران استان خوزستان)، *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۲۴(۳): ۴۹۳-۴۷۸.
- تایا، ع؛ کابلی، س؛ آذرنیون، ح و ناصری، ح (۱۳۹۸). اثر برخی خصوصیات خاک بر الگوی پراکنش گونه‌های گیاهی در حاشیه جنوبی پلایای حاج علیقلی دامغان، مرتع، ۱۳(۴): ۷۰۳-۷۱۴.
- علی‌نژاد، م؛ علی‌زاده، م؛ اونق، م. و محمدیان بهبهانی، ع. (۱۳۹۷). بررسی الگوی پراکنش مکانی نیکا (مطالعه موردی: دشت صوفیکم، استان گلستان)، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۰(۴): ۶۹۷-۷۱۲.
- جوادی، ا؛ خان آرمویی، ع و جعفری، م (۱۳۹۵). بررسی ارتباط فاکتورهای پوشش گیاهی و خصوصیات خاک (مطالعه موردی پارک ملی خجیر)، *مرتع و آبخیزداری*، ۶۹(۲): ۳۵۳-۳۶۶.
- جابری، م؛ شایان، س؛ یمانی، م؛ قاسمی، م و شریفی‌کیا، م (۱۳۹۱). نقش نوزمین ساخت در تحولات ژئومورفولوژیک مرز ساختاری البرز جنوبی - ایران مرکزی (مطالعه موردی: حوضه حبله‌رود)، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۴(۴): ۸۱-۸۹.
- درویش‌زاده، ر؛ متکان، ع. و حسینی اصل، ا. (۱۳۹۱). تخمین درصد پوشش گیاهی منطقه خشک ایران مرکزی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: حوزه شیپور، بافق)، *دو فصل نامه خشک بوم*، ۲۵-۳۷.
- زارع، م؛ قدرتی، ج؛ نوروزی، غ و دادور، ل. (۱۳۸۵). بررسی رابطه بین پوشش گیاهی با خاک و شکل زمین در حوزه دق فینو بندرعباس، *مجله پژوهش و سازندگی*، ۷۶: ۱۴۲-۱۵۰.
- فرج‌زاده، منوچهر (۱۳۷۸). *طرح آمایش استان تهران*، مطالعات آب و وزارت نیرو.
- طرح وزارت جهاد کشاورزی (۱۳۸۹). *پروژه حبله‌رود*، ج ۵.
- سازمان هواشناسی - <http://www.irimo.ir>
- Alexander, C.; Deák, B. and Heilmeyer, H. (2016). Micro-topography driven vegetation patterns in open mosaic landscapes. *Ecological indicators*, 60: 906-920.
- Borgogno, F. et al. (2009). Mathematical models of vegetation pattern formation in ecohydrology. *Reviews of Geophysics*, 47(1).
- Brancaleoni, L. et al. (2003). Relationships between geomorphology and vegetation patterns in subantarctic Andean tundra of Tierra del Fuego. *Polar Biology*, 26(6): 404-410.
- Cannone, N. et al. (2004). Relationships between vegetation patterns and periglacial landforms in northwestern Svalbard. *Polar Biology*, 27(9): 562-571.

- Casalini, A. I.; Bouza, P. J. and Bisigato, A. J. (2019). Geomorphology, soil and vegetation patterns in an arid ecotone. *Catena*, 174: 353-361.
- Deák, B.; Kovács, B.; Rádai, Z.; Apostolova, I.; Kelemen, A.; Kiss, R.; ... and Valkó, O. (2021). Linking environmental heterogeneity and plant diversity: the ecological role of small natural features in homogeneous landscapes. *Science of The Total Environment*, 763: 1-13.
- Dunkerley, D. L. (2014). Vegetation mosaics of arid Western New South Wales, Australia: Considerations of their origin and persistence. *Patterns of Land Degradation in Drylands*, Springer: 315-345.
- El-Keblawy, A.; Abdelfattah, M. A. and Khedr, A. H. A. (2015). Relationships between landforms, soil characteristics and dominant xerophytes in the hyper-arid northern United Arab Emirates. *Journal of Arid Environments*, 117: 28-36.
- Flynn, T.; Rozanov, A.; Ellis, F.; de Clercq, W. and Clarke, C. (2020). Farm-scale soil patterns derived from automated terrain classification. *Catena*, 185: 104311.
- Haselberger, S.; Ohler, L. M.; Junker, R. R.; Otto, J. C.; Glade, T. and Kraushaar, S. (2021). Quantification of biogeomorphic interactions between small-scale sediment transport and primary vegetation succession on proglacial slopes of the Gepatschferner, Austria. *Earth Surface Processes and Landforms*.
- Hupp, C. R. and Rinaldi, (2007). Riparian vegetation patterns in relation to fluvial landforms and channel evolution along selected rivers of Tuscany (Central Italy). *Annals of the Association of American Geographers*, 97(1): 12-30.
- Jasiewicz, J, Pawel N, Tomasz F. Stepinski (2013). Landscape similarity, retrieval, and machine mapping of physiographic units, *Geomorphology*, 221: 104-112
- Kim, D. and Kupfer, J. A. (2016). Tri-variate relationships among vegetation, soil, and topography along gradients of fluvial biogeomorphic succession. *PloS one*, 11(9): e0163223.
- Li, X. R. et al. (2010). Micro-geomorphology determines community structure of biological soil crusts at small scales. *Earth Surface Processes and Landforms*, 35(8): 932-940.
- Libohova, Z, Hans, Winzeler, E, Lee, B, 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.
- Lukina, N. V.; Orlova, M. A.; Bakhmet, O. N.; Tikhonova, E. V.; Tebenkova, D. N.; Kasakova, A. I. and Knyazeva, S. V. (2019). The influence of vegetation on the forest soil properties in the Republic of Karelia. *Eurasian Soil Science*, 52(7): 793-807.
- Marchetti, Z. Y. et al. (2020). Biogeomorphic succession in a fluvial-lacustrine delta of the Middle Paraná River (Argentina): Feedbacks between vegetation and morphodynamics. *Science of The Total Environment*, 739: 139799.
- Masoud, A. A. and Koike, K. (2006). Arid land salinization detected by remotely-sensed landcover changes: A case study in the Siwa region, NW Egypt. *Journal of arid environments*, 66(1): 151-167.



- Murray, J. M. et al. (2002). Biogeomorphological implications of microscale interactions between sediment geotechnics and marine benthos: a review. *Geomorphology*, 47(1): 15-30.
- Ngunjiri, M. W.; Libohova, Z.; Owens, P. R. and Schulze, D. G. (2020). Landform pattern recognition and classification for predicting soil types of the Uasin Gishu Plateau, Kenya. *Catena*, 188: 104390.
- Nie, X.; Guo, W.; Huang, B.; Zhuo, M.; Li, D.; Li, Z. and Yuan, Z. (2019). Effects of soil properties, topography and landform on the understory biomass of a pine forest in a subtropical hilly region. *Catena*, 176: 104-111.
- Paudel, S. and Vetaas, O. R. (2014). Effects of topography and land use on woody plant species composition and beta diversity in an arid Trans-Himalayan landscape, Nepal. *Journal of Mountain Science*, 11(5): 1112-1122.
- Poelking, E. L.; Schaefer, C. E. R.; Fernandes Filho, E. I.; De Andrade, A. M. and Spielmann, A. A. (2015). Soil-landform-plant-community relationships of a periglacial landscape on Potter Peninsula, maritime Antarctica. *Solid Earth*, 6(2): 583-594.
- Robaina, S. Trentin, R. Cristo, S. S. V. and 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.
- Rodrigues, P. M. S.; Schaefer, C. E. G. R.; de Oliveira Silva, J.; Ferreira Júnior, W. G.; dos Santos, R. M. and Neri, A. V. (2018). The influence of soil on vegetation structure and plant diversity in different tropical savannic and forest habitats. *Journal of Plant Ecology*, 11(2): 226-236.
- Stepinski, T. F. and J. Jasiewicz (2011). Geomorphons-a new approach to classification of landforms. *Proceedings of geomorphometry*, 109-112.
- Thompson, D. B.; Walker, L. R.; Landau, F. H. and Stark, L. R. (2005). The influence of elevation, shrub species, and biological soil crust on fertile islands in the Mojave Desert, USA. *Journal of Arid Environments*, 61(4): 609-629.
- Valente, C. et al. (2013). Relationships among vegetation, geomorphology and hydrology in the Bananal Island tropical wetlands, Araguaia River basin, Central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 46: 150-160.
- Wang, J.; Wang, H.; Cao, Y.; Bai, Z. and Qin, Q. (2016). Effects of soil and topographic factors on vegetation restoration in opencast coal mine dumps located in a loess area *Scientific reports*, 6(1): 1-11.
- Yan, G.; Cheng, H.; Teng, L.; Xu, W.; Jiang, Y.; Yang, G. and 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.
- Zhao, Q.; Ding, S.; Liu, Q.; Wang, S.; Jing, Y. and Lu, M. (2020). Vegetation influences soil properties along riparian zones of the Beijiang River in *Southern China*, 8, e9699.