



دانشگاه گواران

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و هفتم، شماره اول، ۱۳۹۹

۹۱-۱۰۷

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2020.16720.3202

## مدل‌سازی الگوی نقطه‌ای دامنه و آبراهه با استفاده از تصاویر پهپاد در بخشی از فلات لسی، استان گلستان

\*صدیقه ملکی<sup>۱</sup>، فرهاد خرمالی<sup>۲</sup>، نرگس کریمی‌نژاد<sup>۳</sup> و محسن حسینعلی‌زاده<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>دانش‌آموخته دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، <sup>۲</sup>استاد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و

منابع طبیعی گرگان، <sup>۳</sup>دانشجوی دکتری گروه آبخیزداری و مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

<sup>۴</sup>استادیار گروه آبخیزداری و مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۲۶

### چکیده

**سابقه و هدف:** درک فرآیندهای بوم‌شناختی و ژئومورفولوژی نهفته در توزیع مکانی نهشته‌های لسی و رخساره‌های مربوطه و هم‌چنین تحلیل الگوی مکانی آن‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک، برهمکنش آن‌ها را در این محیط‌ها آشکار می‌سازد. فلات لسی استان گلستان نیز منطقه‌ای با توپوگرافی منحصربه‌فرد و پیچیده که با پوشش گیاهی مرتعی در منطقه نیمه‌خشک واقع شده است. تحلیل الگوی نقطه‌ای جهت دامنه و آبراهه و بررسی اثرات متقابل آن‌ها با استفاده از آماره‌های اختصاری مختلف در بخشی از فلات لسی استان گلستان از اهداف این پژوهش می‌باشد. با توجه به فواصل اندک بین تپه‌ها و پیچیدگی‌های پستی‌وبلندی منطقه، تکنیک عکس‌برداری بدون سرنشین (UAV) برای تهیه عکس هوایی دقیق از منطقه مطالعاتی به‌منظور استفاده در تحلیل نقطه‌ای به‌کار گرفته شد. لازم به ذکر است با توجه به اهداف گفته‌شده، این پژوهش نسبت به مطالعات پیشین نوآوری داشته و در مطالعه الگوی مکانی رخساره‌های لسی گامی به جلو محسوب می‌شود؛ به عبارتی این پژوهش تلاشی برای یافتن ارتباط مؤثر دامنه و آبراهه بر گسترش فرسایش آبراهه‌ای برای مطالعات آبی در این منطقه می‌باشد.

**مواد و روش‌ها:** منطقه مطالعاتی به لحاظ شرایط اقلیمی دارای رژیم رطوبتی و حرارتی زیرک خشک و ترمیک است. تکنیک UAV برای تهیه عکس هوایی رنگی با دقت مکانی و زمانی بالا، به‌منظور مدل‌سازی الگوی نقطه‌ای جهت دامنه و تراکم آبراهه‌ها در منطقه استفاده شد. مشتقات اولیه و ثانویه توپوگرافی از مدل رقومی ارتفاع (DEM) تهیه‌شده توسط UAV با تفکیک مکانی ۲۰×۲۰ سانتی‌متری استخراج گردید. تحلیل نقطه‌ای تک و چندمتغیره (مدل‌سازی) متغیرها با استفاده از بسته‌های تخصصی در محیط نرم‌افزار R و Programita انجام گرفت. در نهایت، از تابع همبستگی نشان‌دار (MCF)، به‌منظور بررسی پرسش‌هایی در زمینه کاهش اندازه وابسته به تراکم، استفاده شد.

\* مسئول مکاتبه: emaleki67@gmail.com

**یافته‌ها:** نتایج حاصل از توابع تک‌متغیره  $g(r)$  و  $O\text{-ring}(r)$  نشان داد جهت‌های مختلف شیب شامل: مسطح، شمالی، جنوبی، شرقی و غربی در کل فاصله‌ها در دامنه انتخابی از منطقه مورد مطالعه، دارای الگوی مکانی کپه‌ای می‌باشند. این مهم بیانگر آن است دامنه‌های با جهت‌های یکسان در محدوده تحت‌تأثیر عوامل مختلف بیش‌تر در مجاور یکدیگر پراکنش داشته و نظم آن‌ها از الگوی خاصی پیروی می‌کند. علاوه بر آن، روابط متقابل بین آبراه‌ها و جهت دامنه‌های شمالی در قطعه نمونه با استفاده از تابع دو متغیره  $g_{12}(r)$  و  $O_{12}(r)$ ، ارتباط مثبت و تجمع آبراه‌ها و دامنه‌های شمالی در همه فاصله‌ها در کنار یکدیگر را تأیید کرد. تحلیل MCF نیز نشان داد که شیب به‌عنوان یک عامل مؤثر دارای ارتباط متقابل مثبت با تراکم آبراه‌ها بودند و احتمال وجود تراکم بیش‌تر آبراه‌ها در شیب‌های بیش‌تر، به‌مراتب زیادتر از حالتی است که در آن شیب منطقه کم است. این موضوع بیانگر آن است که در شیب‌های تندتر احتمال تشکیل آبراه زیادتر از اراضی مسطح می‌باشد.

**نتیجه‌گیری:** به‌طور کلی، با توجه به انرژی برشی آب در شیب‌های تند، تعدد آبراه‌ها نیز به‌مراتب بیش‌تر خواهد بود. در نتیجه هدررفت خاک در شیب‌های تند بیش‌تر از زمین‌های مسطح خواهد بود. نهایتاً، استفاده از فناوری UAV برای بررسی دقیق الگوی مکانی نهشته‌ها به‌منظور مشاهدات و داده‌های با دقت بالا و تصمیم‌گیری مدیران منابع طبیعی در جهت کاهش فرسایش خاک توصیه می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** الگوی نقطه‌ای، آماره اختصاری، تحلیل مکانی، عکس برداری بدون سرنشین

### مقدمه

سرانجام حمل مواد معلق و محلول در آب از نقطه‌ای به نقطه دیگر را تعیین می‌کند و نقش مهمی در تعادل خاک (خاک‌سازی و فرسایش) ایفا می‌کند (۱۹). به‌طوری‌که واعظی و همکاران (۲۰۱۶) درصد سیلت و تندی شیب به‌عنوان یک خصوصیت توپوگرافی را مهم‌ترین عوامل بروز فرسایش شیاری در حوزه آبخیز تهم‌چای، استان زنجان می‌دانند (۴۰).

در اقلیم نیمه‌خشک فلات لسی استان گلستان، جهت دامنه نقش مهمی را در تکامل خاک از طریق حفظ رطوبت در جهت‌های شمالی ایفا می‌کند؛ به‌طوری‌که تقریباً جهت‌های جنوبی فاقد پوشش گیاهی و در مقابل شیب‌های شمالی حاوی پوشش گیاهی متراکم می‌باشند (۳۲) (شکل ۱ الف). ضمن این سطوح شیب‌دار معمولاً پوشیده از رخساره میکروتراس (تردد دام) (شکل ۱ ب) هستند. با توجه به این‌که اغلب اوقات سال، سطح خاک در مقابل

رسوبات لسی یکی از تشکیلات مهم عصر یخبندان هستند که حدود ۱۰ درصد از سطح زمین را پوشش داده و اغلب در عرض‌های جغرافیایی ۳۰ تا ۶۰ درجه نیمکره شمالی، موسوم به کمربند لس قرار گرفته‌اند (۲۵). استان گلستان با سطحی بالغ بر ۲۲ هزار کیلومتر مربع، دارای تشکیلات لسی گسترده‌ای می‌باشد که عمدتاً در حوزه‌های آبخیز اترک و گرگان‌رود قرار گرفته‌اند (۱). مطالعات اخیر انجام‌شده در فلات لسی استان گلستان نشان می‌دهند این لس‌ها حاوی اطلاعات مفیدی برای تغییر اقلیم و تکامل زمین‌نما برای دوره میانی تا انتهای کواترنری می‌باشند (۴۲)؛ افزون بر این توپوگرافی یکی از پارامترهای تأثیرگذار در تشکیل خاک‌های منطقه است که مقدار آب واردشده در خاک، نگهداری آب در خاک، کاهش مواد از خاک به‌وسیله فرسایش (۲۳، ۳۰ و ۳۹) و

مقدمات هر پژوهشی جهت شناخت تغییرات و پایش متغیرهای مربوطه به شمار می آید (۴۵). شایان ذکر است که مطالعات اندکی در ارتباط با الگوی مکانی در خاک‌های لسی انجام شده است (۱۸). از این رو در این پژوهش سعی شده است الگوی مکانی جهت دامنه و آبراهه و روابط متقابل آن‌ها با استفاده از تابع همبستگی نشان‌دار و تابع‌های متداول  $O\text{-ring}(r)$  و  $g(r)$  در بخشی از فلات لسی استان گلستان مورد مطالعه قرار گیرد.

بارندگی‌ها بدون پوشش گیاهی می‌باشد (فاقد پوشش دائمی) که یکی از عوامل تشدیدکننده سیلاب و ایجاد فرسایش در منطقه است، مطالعه روابط متقابل بین متغیرهای طبیعی در این منطقه جهت مدیریت مناسب لس‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است.

یکی از راه‌های بررسی نحوه قرار گرفتن نقاط نسبت به هم و آرایش مکانی آن‌ها، تعیین الگوی مکانی است (۹ و ۱۴) که آگاهی از آن در عرصه‌های خشک و نیمه‌خشک به دلیل وقوع تغییرات ناگهانی در این مناطق و ناهمگنی‌های محیطی (۶) از ضروریات و



شکل ۱- تأثیر جهت شیب بر تراکم پوشش گیاهی (عکس گرفته شده توسط کهل، ۲۰۱۴) (الف) و میکرو تراس‌های به وجود آمده در اثر چرای دام (عکس گرفته شده توسط ملکی، ۱۳۹۴) (ب) در منطقه مطالعاتی.

**Figure 1. Effect of slope aspect on vegetation density (photo was taken by Kehl, 2014) (A) and micro-terraces which created by sheep and goat (photo was taken by Maleki, 2015) (B) in the study area.**

آنالیزهای ارزان‌تر مهیا می‌نمایند (۳۲، ۳۳، ۴۱ و ۴۶). پژوهش‌های قبلی نیز اهمیت و دقت این تصاویر را در تهیه داده‌های محیطی و نقشه کاربری اراضی (۲۷)، مطالعات میکروتوپوگرافی و تشخیص اثرات هیدرولوژیکی (۲۶)، مدل‌سازی فرسایش خاک (۱۱)، نقشه لندفرم و شناسایی عوارض زمینی (۳)، نقشه سه‌بعدی توپوگرافی (۷)، نقشه ژئومرفولوژی (۳۲)، مدل‌سازی نقشه خاک (۳۱)، تهیه تصاویر و داده‌های توپوگرافی با دقت بالا به‌منظور تشخیص فرسایش‌های گالی (۲۰) و مدل‌سازی الگوی مکانی گالی (۱۹) نشان داده است. از دیگر سو، نتایج کرام و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد که برای تهیه نقشه ژئومورفومتری و استخراج خصوصیات توپوگرافی در فلات لسی استان گلستان به تصاویر با

با توجه به وجود تغییرات زیاد جهات و شیب منطقه، یکی از مهم‌ترین ابزارهای اطلاعات مکانی، مدل رقومی ارتفاع (DEM) می‌باشد که برای استخراج پارامترهای مهمی مانند نقشه‌های شیب، جهت شیب، میزان انحنای زمین و جهت جریان بکار می‌رود (۳۴). از دیگر سو، داده‌های ارتفاعی می‌توانند از سه طریق به دست بیایند: ۱. مطالعات میدانی؛ ۲. نقشه‌های توپوگرافی موجود (۱۲)؛ و ۳. داده‌های سنجش‌ازدور و عکس‌های هوایی (۱۶). روش‌های عکس‌برداری نوین همانند پرنده‌های هدایت‌پذیر از راه دور (پهپاد، UAV) نیز برای تهیه DEM به‌کار گرفته می‌شوند که توانایی ارائه اطلاعات و دید دقیق از منطقه را در زمان کوتاه‌تر (۲۰)، سریع‌تر و

می‌باشد و بر روی پهپاد فانتوم ۲ ساخت شرکت DJI (۸) نصب شده بود انجام گردید (شکل ۳). قبل از انجام پرواز و تصویربرداری ابتدا اقدام به جانمایی نقاط کنترل زمینی (GCP) توسط دستگاه GPS دو فرکانسه (DGPS Trimble R3) گردید و سپس با استفاده از نرم‌افزار Trimble Business Center مورد پردازش قرار گرفت. نقاط کنترل زمینی در مناطق مختلف (دره و تپه‌ها) با ارتفاع و موقعیت‌های مختلف انتخاب شدند. خروجی این مرحله نقاط کنترل هدف‌گذاری شده و تعیین مسیرهای پروازی بود که برای منطقه تهیه گردید. مسیرهای پرواز مطابق با محدوده موردنظر جهت نقشه‌برداری به نرم‌افزار هدایت خودکار پرند معرفی شده و پرند بر اساس همین اطلاعات، مأموریت پروازی خود را انجام می‌دهد (۳۱).

یکی از موارد مهم در تکنیک UAV تعیین ارتفاع مناسب پرواز می‌باشد که بر تفکیک مکانی تصاویر و دقت خروجی‌ها بسیار تأثیرگذار است (۲۰)؛ بنابراین ارتفاع پرواز به صورت دقیق براساس وضعیت توپوگرافی منطقه تعیین گردید. درنهایت پرواز در شرایط آفتابی، بدون ابر و بارندگی در منطقه مطالعاتی انجام گردید.

پس از انجام عملیات پرواز و برداشت تعداد ۲۱۲ تصویر، تصاویر جهت پردازش آماده شد؛ به طوری که تصاویر ناکارآمد از تمامی تصاویر حذف گردید. به عبارتی تصاویری که دارای کشیدگی هستند و یا در هنگام نشست و برخاست پرند اخذ شده‌اند و یا به طور کلی هر تصویری که باعث کاهش کیفیت نتیجه پردازش و یا افزایش بیهوده زمان پردازش شود باید از لیست تصاویر حذف شوند (۲۸). پردازش‌ها نیز شامل توجیهات داخلی، نسبی و مطلق، خودکار بوده که منجر به تهیه ابر نقاط منطقه، ارتوفتو و DEM شدند. نکته دارای اهمیتی که باعث می‌شود سامانه پهپاد

دقت بالا نیاز هست (۲۴)؛ بنابراین یکی از اهداف این پژوهش استفاده از تکنیک UAV برای تهیه DEM و عکس هوایی از منطقه مطالعاتی خواهد بود. لازم به ذکر است با توجه به اهداف گفته شده، این پژوهش نسبت به مطالعات پیشین نوآوری داشته و در مطالعه الگوی مکانی رخساره‌های لسی گامی به جلو محسوب می‌شود؛ زیرا در بررسی الگوی مکانی، تنها درک ساختار مکانی نهشته‌ها هدف نیست؛ بلکه مهم‌تر از این موضوع، آشکار ساختن برخی ویژگی‌های ریخت‌شناسی و روابط بین آن‌ها موردنظر است که در مدیریت دارای اهمیت است.

### مواد و روش‌ها

**معرفی منطقه مورد مطالعه:** منطقه مطالعاتی به مساحت تقریبی ۲۰۰ هکتار در بین طول‌های جغرافیایی  $55^{\circ}08'55''$  تا  $55^{\circ}09'47''$  شرقی و عرض‌های جغرافیایی  $37^{\circ}37'10''$  تا  $37^{\circ}37'49''$  شمالی در فلات لسی استان گلستان قرار گرفته است (شکل ۲). میانگین بارش و دمای سالانه‌ی منطقه به ترتیب ۳۵۰ میلی‌متر و ۱۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک منطقه مطالعاتی، به ترتیب، زیرک خشک و ترمیک می‌باشند. از دیدگاه ژئومورفولوژی، منطقه مورد مطالعه، دو سیمای سرزمینی مختلف شامل اراضی تپه‌ماهوری<sup>۱</sup> و دره<sup>۲</sup> را دربرمی‌گیرد.

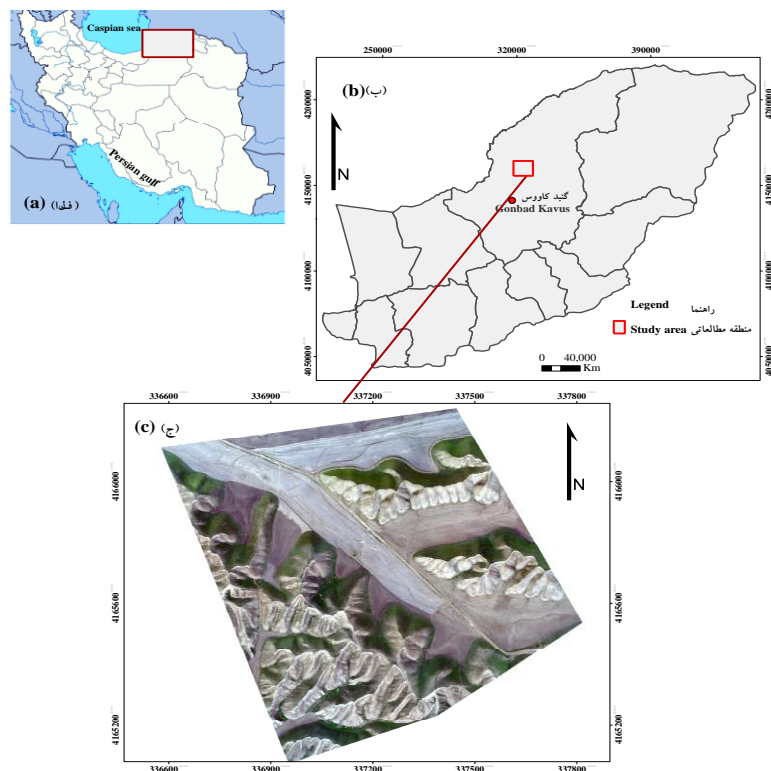
**مراحل تولید عکس هوایی و DEM منطقه با استفاده از روش فتوگرامتری پهپاد:** آبان‌ماه ۱۳۹۵، تصویربرداری از منطقه جهت تهیه DEM و تصاویر عکس هوایی RGB با قدرت تفکیک مکانی  $20 \times 20$  سانتی‌متر به وسیله دوربین تجاری Gopro Hero3 plus که قادر به ثبت تصویر با رزولوشن ۱۲ مگاپیکسل

1- Hillslope

2- Valley

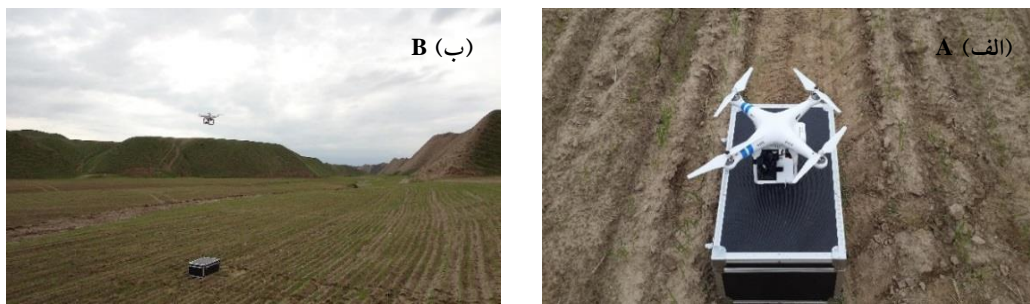
پردازش گردید تا به توان خروجی‌های موردنیاز برای بررسی منطقه را استخراج نمود. در نهایت پس از اتمام پردازش تصاویر از تلفیق خروجی‌های مختلف تولیدشده، نقشه‌های موردنیاز تهیه گردید. روند کار بدین صورت بود که از ابر نقاط یا DEM جهت تولید منحنی‌های میزان (۴) و هم‌چنین با ترسیم بر روی تصویر قائم، نقشه مسطحاتی تهیه شد. پس از تهیه DEM، ویژگی‌های اولیه و ثانویه پستی‌وبلندی مورد استفاده در این پژوهش مانند شیب، جهت، شبکه آبراهه، انحنای شیب، شاخص خیسی توپوگرافی و جریان تجمعی با استفاده از محاسبات در محیط سامانه جغرافیایی (<http://www.saga-gis.org>) SAGA استخراج گردید. روش استخراج پارامترهای مزبور از DEM در مقاله هنگل و همکاران (۲۰۰۳) شرح داده شده است (۱۵).

فتوگرامتری را از دیگر روش‌های تهیه نقشه متمایز سازد، پردازش‌های خودکار تصاویر بوده که سرعت تهیه نقشه را به مقدار قابل توجهی افزایش می‌دهد. به طوری که با توسعه سخت‌افزارها و نرم‌افزارهای کامپیوتری فرآیند پردازش تصاویر به صورت خودکار پیاده‌سازی شده است به شکلی که به جای مشاهده هم‌زمان دو عکس توسط اپراتور و تناظریابی و عمقیابی نقاط مختلف قابل مشاهده، نرم‌افزارهای فتوگرامتری هم‌زمان چندین عکس را مورد مقایسه قرار داده و به پیکسل‌های مختلف مشترک در تصاویر با استفاده از محاسبات کامپیوتری (بر مبنای مهندسی فتوگرامتری) مختصات‌دهی فضایی (سه‌بعدی) می‌کند (۳۱). در این پژوهش نیز مبنای کار فتوگرامتری برد کوتاه بوده است به شکلی که تصاویر اخذشده توسط پهپاد به کمک نرم‌افزار Pix4Dmapper 2.0.100 (<https://pix4d.com>)



شکل ۲- موقعیت منطقه مطالعاتی. موقعیت استان گلستان در ایران (الف)، منطقه مطالعاتی در استان گلستان (ب) و موزاییک عکس‌های هوایی تهیه شده توسط تکنیک UAV با قدرت تفکیک مکانی ۲۰ سانتی متری (ج).

Figure 2. Location of the study area. Location of Golestan province in Iran (A), the study area in Golestan province (B), the orthoimagery which prepared by UAV technique in a 20-cm spatial resolution (C).



شکل ۳- تصویری از پهپاد فانتوم ۲ (الف) و پهپاد در حال پرواز در منطقه مطالعاتی (ب).  
**Figure 3. The DJI Phantom 2 (A) and the UAV taking off (B) in the study area.**

تحلیل الگوی نقطه‌ای با استفاده از آماره‌های اختصاری تک‌متغیره  $g(r)$  و  $O\text{-ring}(r)$  و دومتغیره  $g_{12}(r)$  و  $O_{12}(r)$  در محیط نرم‌افزار Programita در این پژوهش شامل دو مرحله می‌باشد. مرحله اول، استفاده از تابع تک‌متغیره همبستگی جفتی  $(g(r))$  می‌باشد که یکی از مشتقات تابع  $K$  ریپلی است و بیانگر تراکم نقاط (جهت دامنه و آبراهه) در دایره با شعاع  $r$  و مرکز تصادفی در محدوده موردبررسی است (۲۱). با توجه به این‌که از تابع  $K$  مشتق گرفته می‌شود (رابطه ۱)، تغییرات در فاصله‌های مکانی مختلف بهتر نشان داده می‌شود. همچنین این روش در مقایسه با روش‌های دیگر (تابع  $K$ ،  $L$  و ...) حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات الگوی مکانی در هر نقطه دارد.

$$g(r) = \frac{1}{2\pi} \frac{dK(r)}{dr} \quad (1)$$

که در آن،  $dk(r)$  و  $dr$  مشتق تابع  $K$  ریپلی و  $r$  شعاع است. مقدار این تابع در یک الگوی مکانی تصادفی برابر یک بوده و بیش‌تر بودن این تابع از یک، بیانگر الگو مکانی خوشه‌ای و کم‌تر بودن آن نشان‌دهنده الگوی مکانی پراکنده است.

روش‌های تحلیل الگوی مکانی: در سال‌های اخیر، تحلیل الگوهای نقطه‌ای به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای پیشرفت داشته است، به‌نحوی که اکنون با استفاده از روش‌های آماری مناسب می‌توان ناهمگنی‌های محیطی را در بررسی روابط متقابل لحاظ نمود (۱۰، ۲۱، ۴۳ و ۴۴) (در این مطالعه جهت دامنه و آبراهه‌ها). در پژوهش پیش‌رو، ابتدا ۵ جهت دامنه اصلی مسطح، شمالی، شرقی، جنوبی و غربی در منطقه مورد مطالعه شناسایی شدند و نقشه‌های آن‌ها با استفاده از تصویر پهپاد و در نرم‌افزار ArcGIS تهیه و به‌منظور تعیین الگوی مکانی هر یک از شیب‌های موجود در منطقه ابتدا یکی از دامنه‌های تپیک تعیین و آنالیزهای آماری با استفاده از پکیج "spatstat" در نرم‌افزار R (۳۷) و نرم‌افزار Programita (۴۳) انجام گرفت. استفاده از این نرم‌افزارها که براساس اطلاعات دقیق DEM مستخرج از پهپاد و موقعیت مکانی رخساره‌های موردنظر می‌باشند، رویکرد جدیدی در پژوهش‌های ژئومرفولوژیکی ایجاد می‌کند که به درک جامعی از پویایی رخساره‌ها و ارتباط آن‌ها با تغییرات محیطی می‌انجامد، روابط بین رخساره‌های موجود در طبیعت را شبیه‌سازی کرده و آن‌ها را به‌صورت مدل‌هایی با قابلیت فهم بالا ارائه می‌دهد.

که این حدود می‌تواند معنی‌دار بودن یا غیرمعنی‌دار بودن توزیع توابع را نشان دهد. در صورتی که خط تابع خارج از محدوده مونت باشد، نتایج در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار می‌باشد و در صورتی که خط تابع در داخل محدوده مونت کارلو قرار داشته باشد، بیانگر غیرمعنی‌داری تابع در محدوده موردنظر و نبود اختلاف با حالت تصادفی است (۲۱).

### نتایج و بحث

**الگوی مکانی جهت‌های دامنه و آبراه‌ها با استفاده از تابع تک متغیره همبستگی  $g(r)$  و  $O\text{-ring}(r)$ :**  
 نتایج نشان داد که الگوی مکانی جهت‌های دامنه (شکل‌های ۴ و ۵) و آبراه‌ها (شکل ۶) براساس توابع گفته شده در منطقه مورد مطالعه در همه فاصله‌ها کپه‌ای و مقدار آن در خارج از محدوده مونت کارلو قرار داشت و بیانگر این است که تجمع جهت‌های دامنه و آبراه‌ها تا مقیاس فاصله‌ای مذکور به لحاظ آماری و در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است؛ بنابراین دامنه‌های با جهت‌های یکسان در محدوده مطالعاتی تحت تأثیر عوامل مختلف بیشتر در مجاور یکدیگر پراکنش داشته و نظم آن‌ها از الگوی خاصی پیروی می‌کند. همچنین آبراه‌ها نیز به تبع آن و جاری شدن بارندگی در جهت دامنه از این الگو تبعیت کرده و تحت تأثیر شیب قرار دارند.

مرحله دوم شامل استفاده از تابع دو متغیره همبستگی جفتی ( $g_{12}(r)$ ) که از جمله توابع همبستگی مکانی می‌باشد و به منظور بررسی اثرات متقابل بین جهت دامنه و آبراه و مطالعه اجتماع‌پذیری آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند (رابطه ۲) (۵ و ۳۶):

$$g_{12}(r) = \frac{1}{2\pi} \frac{dK(r)}{dr} \quad (2)$$

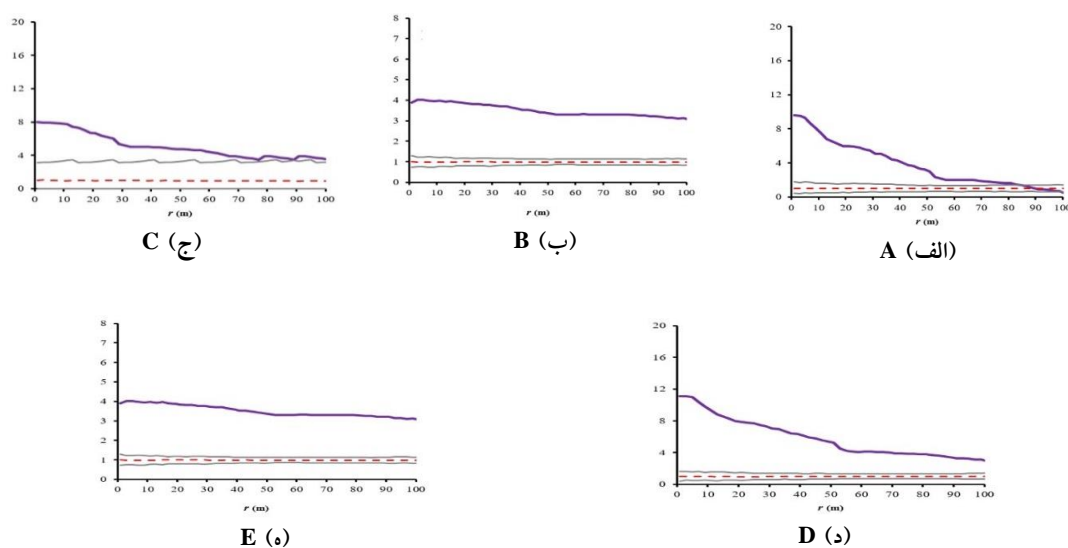
بیشتر بودن مقدار این تابع از یک، بیانگر روابط متقابل مثبت و کم‌تر بودن آن نشان‌دهنده روابط متقابل منفی است.

در نهایت، از تابع همبستگی نشان‌دار ( $MCF$ )، به منظور بررسی پرسش‌هایی در زمینه کاهش اندازه وابسته به تراکم، استفاده شد. تابع  $MCF$  نرمال شده از تابع آزمون، جفت نمونه‌ای از نقاطی است که به وسیله فاصله  $r$  از هم جدا شده‌اند. برای محاسبه تابع  $MCF$ ، از رابطه ۳ استفاده می‌شود.

$$K_{mm}(r) = \frac{E_{ij}[m_i, m_j]}{E(m, m')} \quad (3)$$

که در آن،  $E$  امید ریاضی است و  $m$  و  $m'$  نشان‌های تصادفی هستند که از محدوده نشان‌ها انتخاب می‌شوند.

علاوه بر آن، روند تغییرات الگوی نقطه‌ای تعیین شده با استفاده از تابع‌های مختلف آماری با بازه شبیه‌سازی، برای توزیع تصادفی مقایسه شدند. برای شبیه‌سازی بازه تصادفی با توزیع پواسون همگن از آزمون مونت کارلو با ۱۹۹ تکرار و در سطح ۰/۰۵ استفاده شد. حدود بالا و پایین برای آزمون مونت کارلو مقدار عددی ۵ در نظر گرفته شد



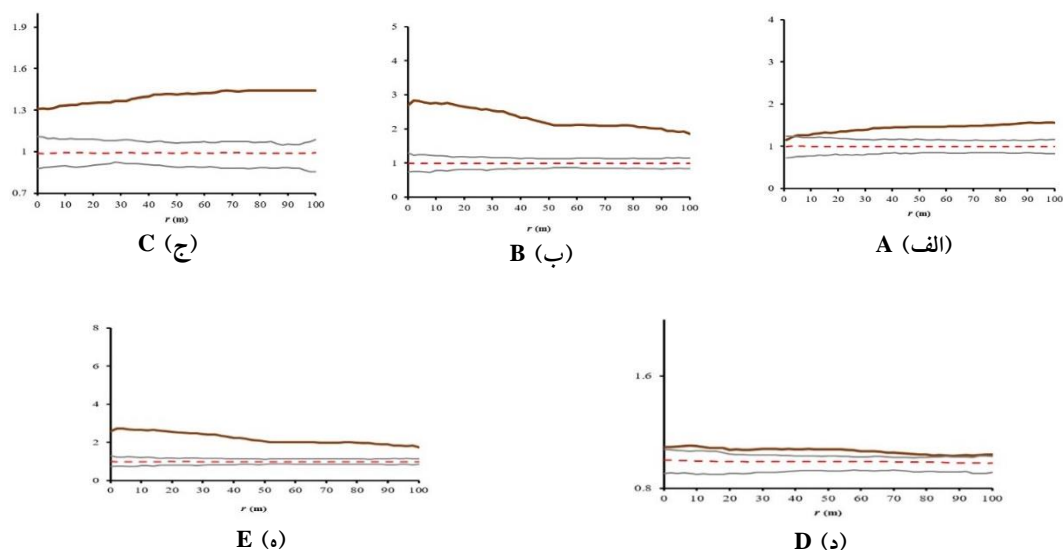
شکل ۴- تابع  $g(r)$  نشان‌دهنده پراکنش مکانی: اراضی مسطح (الف)، جهت شمالی (ب)، جهت شرقی (ج)، جهت جنوبی (د) و جهت غربی (ه)، در محدوده مورد مطالعه. خط بنفش بیانگر تغییرات مشاهده شده و خطوط خاکستری محدوده شبیه‌سازی شده با ۱۹۹ بار تکرار آزمون مونت کارلو و خط چین نشان‌دهنده حالت پیش فرض است.

Figure 4. Spatial point analysis based on the univariate summary statistics  $g(r)$ : flat- facing slope (A), north-facing slope (B), east- facing slope (C), south- facing slope (D) and west- facing slope (E). The observed changes are indicated by purple line, the simulation envelopes by gray lines with a 199-repeat Monte Carlo and the expectation of the null model by a red dotted line.

بین آبراهه و دامنه‌های جنوبی تا فاصله ۵۰ متر معنی‌دار نیست، اما پراکنش آن‌ها از فاصله حدود ۵۰ متر تا فاصله ۱۰۰ متر در خارج از حدود مونت‌کارلو قرار داشته که بیانگر ارتباط مثبت معنی‌دار آن‌ها در سطح ۰/۰۵ است؛ بنابراین دامنه‌های جنوبی دارای تراکم آبراهه کم‌تری نسبت به دامنه‌های شمالی هستند؛ به طوری که این مهم بر روی توزیع مکانی برخی از ویژگی‌های لایه بالایی خاک مانند جذب و نگهداشت آب، به طور غیرمستقیم بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (به عنوان مثال pH، هدایت الکتریکی، کربن آلی خاک) (۳۰) و نهایتاً تکامل خاک در منطقه تأثیر می‌گذارد.

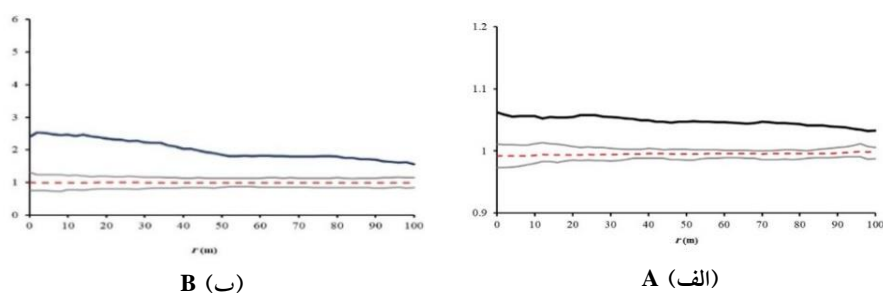
رابطه متقابل بین آبراهه و دامنه‌های شمالی و جنوبی در منطقه مورد مطالعه با استفاده از تابع دومتغیره همبستگی جفتی  $g_{12}(r)$  و  $O_{12}(r)$ : نتایج استفاده از توابع دومتغیره نشان‌دهنده ارتباط مثبت تجمع آبراهه‌ها و دامنه‌های شمالی در همه فاصله‌ها در کنار یکدیگر بود (شکل ۷)؛ بنابراین دامنه شمالی دارای تراکم آبراهه بسیار زیادی است که این تراکم به لحاظ آماری در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است که نقشه جهت دامنه و آبراهه‌های منطقه نیز این مطلب را تأیید می‌نمایند (شکل ۸). در ارتباط با دامنه‌های جنوبی نیز نتایج تابع دومتغیره  $g_{12}(r)$  نشان‌دهنده ارتباط مثبت تجمع آبراهه و این دامنه‌ها در همه فاصله‌ها در کنار یکدیگر بود (شکل ۹ الف). هرچند که رابطه متقابل





شکل ۵- تابع  $O\text{-ring}(r)$  نشان‌دهنده پراکنش مکانی: اراضی مسطح (الف)، جهت شمالی (ب)، جهت شرقی (ج)، جهت جنوبی (د) و جهت غربی (ه). خط قهوه‌ای بیانگر تغییرات مشاهده شده و خطوط خاکستری محدوده شبیه‌سازی شده با ۱۹۹ بار تکرار آزمون مونت کارلو و خط چین قرمز نشان‌دهنده حالت پیش فرض است.

Figure 5. Spatial point analysis based on the univariate summary statistics  $O\text{-ring}(r)$ : flat- facing slope (A), north- facing slope (B), east- facing slope (C), south- facing slope (D) and west- facing slope (E). The observed changes are indicated by brown line, the simulation envelopes by gray lines with a 199-repeat Monte Carlo and the expectation of the null model by a red dotted line.



شکل ۶- الگوی مکانی آبراهه‌ها: براساس تابع  $g(r)$ ، خط مشکی بیانگر تغییرات مشاهده شده (الف) و براساس تابع  $O\text{-ring}(r)$ ، خط آبی تیره بیانگر تغییرات مشاهده شده (ب). خطوط خاکستری محدوده شبیه‌سازی شده با ۱۹۹ بار تکرار آزمون مونت کارلو و خط چین قرمز نشان‌دهنده حالت پیش فرض است.

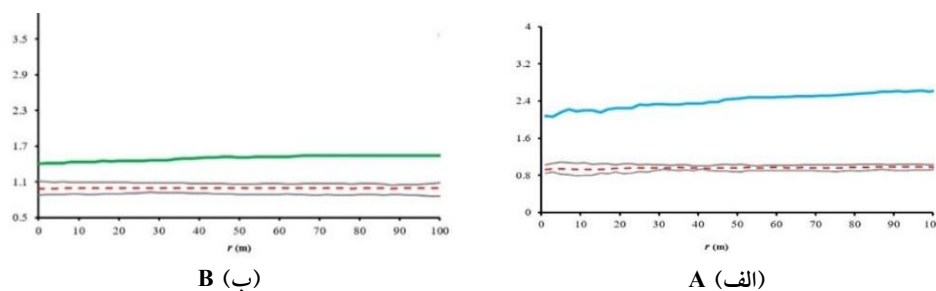
Figure 6. Spatial point analysis of stream density based on the univariate summary statistics:  $g(r)$ , the observed changes are indicated by black line (A) and  $O\text{-ring}(r)$  (B), the observed changes are indicated by dark blue. The simulation envelopes by gray lines with a 199-repeat Monte Carlo and the expectation of the null model by a red dotted line.

Typic Calcixerepts و در دامنه جنوبی خاک‌های انتی سولز در سطح زیرگروه Typic Xerorthents با تکامل و عمق کم خاک شده است (۳۲). افزون بر این ضخامت کم افق سطحی (A) در جهت‌های جنوبی نشان‌دهنده فرسایش شدید خاک در این موقعیت‌ها

پژوهش‌های ملکی و همکاران (۲۰۱۸) در بخشی از فلات لسی استان گلستان نشان داده است که تجمع بیش‌تر آبراهه‌ها در جهت شمالی منجر به حفظ بیش‌تر رطوبت و متعاقباً سبب تشکیل خاک‌های اینسپتی سولز در دو سطح زیرگروه Typic Haploxerepts و

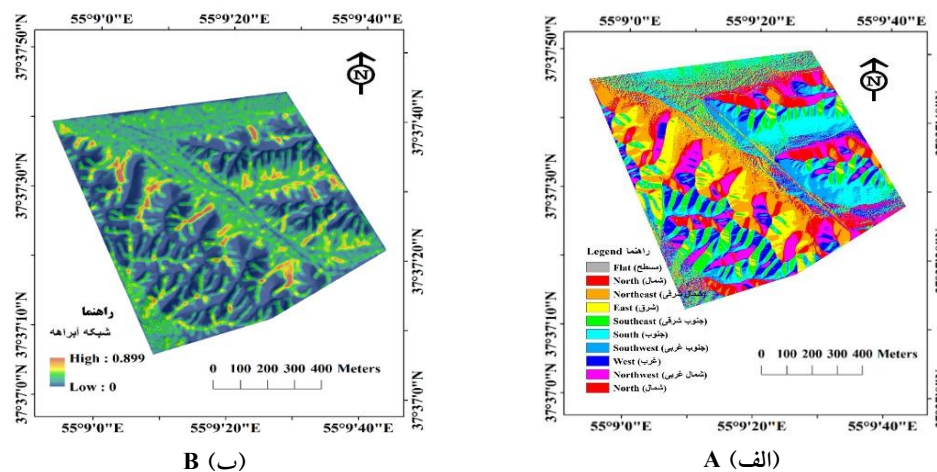
جهت‌های شمالی را عامل اصلی حفظ پوشش گیاهی، وجود خاک‌های با کیفیت و تکامل بالاتر می‌دانند (۲۹ و ۳۸).

می‌باشد که ناشی از عدم وجود پوشش گیاهی و تراکم آبراهه کم است (۲۲). همسو با این نتایج، تکا و همکاران (۲۰۱۵) و لوزانگاریا و همکاران (۲۰۱۶) نیز وجود تراکم آبراهه و رطوبت بیش‌تر در



شکل ۷- ارتباط متقابل تراکم آبراهه‌ها و دامنه‌های شمالی: براساس تابع  $g_{12}(r)$ ، خط آبی بیانگر تغییرات مشاهده شده (الف) و براساس تابع  $O\text{-ring}_{12}(r)$ ، خط سبز بیانگر تغییرات مشاهده شده (ب). خطوط خاکستری محدوده شبیه‌سازی شده با ۱۹۹ بار تکرار آزمون مونت‌کارلو و خط چین قرمز نشان‌دهنده حالت پیش‌فرض است.

Figure 7. Interaction among stream density and north-facing: based on the bivariate summary statistics  $g_{12}(r)$ , the observed changes are indicated by blue line (A) and  $O\text{-ring}_{12}(r)$ , the observed changes are indicated by green line (B). The simulation envelopes by gray lines with a 199-repeat Monte Carlo and the expectation of the null model by a red dotted line.



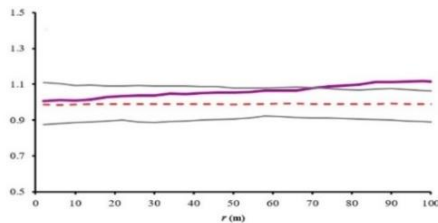
شکل ۸- نقشه جهت شیب (الف) و نقشه شبکه آبراهه (ب) در منطقه مطالعاتی.

Figure 8. Slope aspect map and (A) and drainage network map (B) in the study area.

پیش‌تر توضیح داده شد، دامنه‌های شمالی رطوبت بیش‌تری را به دلیل دریافت تابش کم‌تر نور خورشید نسبت به سایر جهات حفظ می‌نمایند و تشکیل و توسعه آبراهه در ارتباط مستقیم با عامل رطوبت و بارندگی در یک منطقه می‌باشد در این منطقه نیز

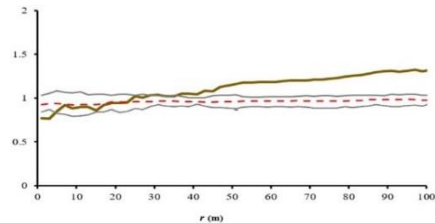
تابع دومتغیره  $O\text{-ring}_{12}(r)$  تا فاصله ۱۰۰ متر در درون محدوده مونت‌کارلو قرار داشته که نشان‌دهنده ارتباط مثبت معنی‌دار (سطح ۰/۰۵) تجمع آبراهه و جهت دامنه‌های جنوبی در همه فاصله‌ها در کنار یکدیگر بود (شکل ۹ ب): بنابراین همان‌گونه که

با یکدیگر می‌باشند. در خصوص سایر جهت‌ها و ارتباط آن‌ها بر آبراهه‌های موجود نیز این موضوع صدق می‌کند. حسینعلی‌زاده و همکاران (۲۰۱۸b) نیز در تحلیل الگوی نقطه‌ای فرسایش‌های پایبینگ در منطقه آق‌چاتال استان گلستان نشان دادند که الگوی مکانی پایبینگ‌ها در کل عرصه مورد مطالعه به صورت خوشه‌ای بوده و عوارض خطی آبراهه و خط‌الرأس در سطح ۵ درصد، رابطه معکوس و معنی‌داری با پایبینگ‌ها داشته و با کم شدن فاصله پایبینگ‌ها نسبت به آبراهه و خط‌الرأس، تعداد آن‌ها افزایش یافته است (۱۸).



B (ب)

بارندگی با روانابی که در سطح شیب ایجاد کرده است بر تشکیل و توسعه این رخساره تأثیر مثبتی داشته است. هم‌چنین آبراهه می‌تواند با افزایش عمق و توسعه بیشتر، موجب ایجاد دو دامنه مجزا از یکدیگر در سطح منطقه شود که هر دامنه دارای جهت‌های مختلف خواهد بود. به عبارتی با طولانی شدن طول دامنه نقش دبی جریان نسبت به باران در فرآیند جدا نمودن و انتقال ذرات خاک پررنگ‌تر شده و با تشدید شدت بارندگی و درجه شیب، از دست رفت خاک در دامنه‌های جنوبی بیش‌تر فراهم می‌شود (۴۷)؛ بنابراین شکل‌گیری هر یک از این دو عامل در ارتباط مستقیم



A (الف)

شکل ۹- ارتباط متقابل تراکم آبراهه‌ها و دامنه‌های جنوبی: براساس تابع  $g_{12}(r)$ ، خط قهوه‌ای بیانگر تغییرات مشاهده‌شده (الف) و براساس تابع  $O\text{-ring}_{12}(r)$ ، خط بنفش بیانگر تغییرات مشاهده‌شده (ب). خطوط خاکستری محدوده شبیه‌سازی شده با ۱۹۹ بار تکرار آزمون مونت‌کارلو و خط چین قرمز نشان‌دهنده حالت پیش‌فرض است.

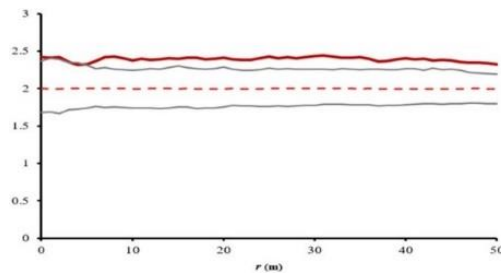
Figure 9. Interaction among stream density and south-facing: based on the bivariate summary statistics  $g_{12}(r)$ , the observed changes are indicated by brown line (A) and  $O\text{-ring}_{12}(r)$ , the observed changes are indicated by purple line (B). The simulation envelopes by gray lines with a 199-repeat Monte Carlo and the expectation of the null model by a red dotted line.

انرژی برشی آب در حالت تند شیب‌ها که موجب کنده شدن مقدار زیادتری از خاک می‌شود تعداد آبراهه‌ها نیز به مراتب بیشتر خواهد بود. در نتیجه هدررفت خاک در شیب‌های تند بیشتر از زمین‌های مسطح خواهد بود. در پژوهشی مطابق با پژوهش پیش‌رو، حسینعلی‌زاده و همکاران (۲۰۱۸a)، به تحلیل فضایی الگوی نقطه‌ای و مدل‌سازی توسعه تپه‌های ماسه‌ای نیکا در دشت صوفیکم استان گلستان پرداختند (۱۷). نتایج تحلیل مکانی نیکاها با استفاده از توابع تک و چندمتغیره بیانگر الگوی مکانی نیکاها در

نتایج تحلیل تابع همبستگی نشان‌دار (MCF) نیز نشان داد که شیب به‌عنوان یک ویژگی کمی در قطعه‌نمونه مورد مطالعه می‌تواند برکنار هم قرار گرفتن تراکم آبراهه‌ها تأثیر بگذارد. شیب در فاصله‌های ۱ تا ۵۰ متر دارای ارتباط متقابل مثبت با تراکم آبراهه‌ها بودند و احتمال وجود تراکم بیشتر آبراهه‌ها در شیب‌های بیشتر، به مراتب زیادتر از حالتی است که در آن شیب منطقه کم است (شکل ۱۰). این موضوع بیانگر آن است که در شیب‌های تندتر احتمال تشکیل آبراهه زیادتر از اراضی مسطح می‌باشد. با توجه به

نتایج تحلیل تابع MCF برای پارامترهای طول نیکا، کج‌شدگی رسوبات و ماده آلی خاک نیکاهای بیانگر تأثیر این متغیرها بر الگوی پراکنش آن‌ها بوده است.

دشت صوفیکم به صورت کپه‌ای بود. از جمله مشخصه عمده الگوی مکانی کپه‌ای ایجاد شرایط تسهیلگری است که یک رخساره بر خود و محیط اطرافش می‌گذارد که این عامل موجب ایجاد پراکنش بیش‌تر عارضه موردنظر در بخش مشخصی از منطقه می‌شود.



شکل ۱۰- تأثیر شیب بر تشکیل آبراه‌ها با استفاده از تابع همبستگی نشان‌دار.

Figure 10. Effect of slope on steams formation based on the mark correlation function (MCF).

### نتیجه‌گیری کلی

تحلیل پراکنندگی نهشته‌های لسی با توجه به کاربری اراضی در منطقه موردبررسی، بیانگر آن است که در حال حاضر بخش پهناوری از نهشته‌های لسی پوشیده از مراتع هستند. ضخامت قابل‌توجه لس در این منطقه و تشکیل شدن آن‌ها از سیلت و رس که دارای توان جذب و حفظ رطوبت بالایی هستند و هم‌چنین رخداد درصدی از آن‌ها در شیب پایین، سبب شده است که زمین‌های زیرپوشش آن‌ها برای کشاورزی مناسب باشد؛ بنابراین به‌نظر می‌رسد بهترین راهکار برای جلوگیری از شدت یافتن فرسایش، درک فرآیندهای طبیعی نهفته در ساختار مکانی نهشته‌های موجود در شرایط محیطی طبیعی باشد تا با استفاده از آن بتوان به درک درستی از تغییرات انسانی مؤثر در منطقه رسید و راهکارهایی را جهت مدیریت به‌نگام در این عرصه‌ها ارائه داد. در این پژوهش مشخص گردید نهشته‌های لسی تحت تأثیر عوامل مختلف، الگوی پراکنش متفاوتی دارند. جهت‌های مختلف

با توجه به نتایج به‌دست آمده و چندمتغیره بودن، روابط پیچیده و یا تأثیرات غیرخطی همراه با مکانیزم‌های بازخورد بسیاری از سیستم‌های ژئومورفیک در طبیعت (۳۵)، استفاده از این روش‌های آماری برای کاهش خطا در تصمیم‌گیری همراه با افزایش سطح عینیت، فرموله کردن و آزمون فرضیات ضروری به‌نظر می‌رسد (۲ و ۱۳) که می‌توان از طریق آن‌ها، الگوی پراکنش رخساره‌ها در اراضی لسی را شناسایی و به تحلیل روابط متقابل بین آن‌ها به‌منظور شکل‌گیری آن‌ها پرداخت؛ بنابراین، می‌توان بیان نمود که استفاده از این توابع می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را به سادگی و به‌صورت قابل فهم در رابطه با سیستم‌های پیچیده در اختیار ما قرار بدهد. از این‌رو پیشنهاد می‌شود در اراضی با بسترهای لسی که در معرض خطر فرسایش هستند این روش‌ها بیش‌تر مورد استفاده قرار گیرد تا کارایی آن‌ها بررسی شده و بتوانند به‌عنوان راه‌حل مناسب به مدیران در تصمیم‌گیری‌های کلان کمک مؤثر نمایند.

در تصمیم‌گیری مدیران منابع طبیعی در جهت کاهش فرسایش و هدررفت خاک مؤثر واقع شود.

### سیاسگزاری

پژوهش حاضر با اعتبار پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان با شماره شناسه ۱۶۴-۳۵۴-۹۵ انجام شده است که بدین‌وسیله مراتب قدردانی از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه به عمل می‌آید.

تحت تأثیر بارندگی تغییر شکل داده و از الگوی کپه‌ای پیروی می‌کنند همچنین آبراهه‌ها با شیب‌های مختلف همبستگی بالایی داشته و در شیب‌های تند دارای تعدد بیش‌تر از زمین‌های مسطح می‌باشند؛ بنابراین ترانس‌بندی زمین‌های شیب‌دار، استفاده از الگوی کشت مناسب در مجاورت آبراهه‌ها و استفاده از بافرهای گیاهی می‌تواند کمک بسیاری به کاهش میزان فرسایش آبی در اراضی لسی داشته باشد. بررسی الگوی پراکنش و الگوی مکانی این نهشته‌ها می‌تواند

### منابع

1. Amini, A., and Najafinezhad, A. 1998. Effect of loess and loess-like in economic development of province. Proceedings of the 1<sup>th</sup> congress of capabilities of Golestan province. Pp: 13-15. (In Persian)
2. Ayalew, L., and Yamagishi, H. 2005. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*. 65: 15-31.
3. Barneveld, R., Seeger, M., and Maalen-Johansen, I. 2013. Assessment of terrestrial laser scanning technology for obtaining high-resolution DEMs of soils. *Earth Surf. Process. Landf.* 38: 90-94.
4. Chang, B., and Chen, Y. 1983. Basic principles and methods of digital differential correction. *J. Surv. Mapp.* 3: 31-40.
5. Churchill, D., Larson, A., Dahlgren, M., Franklin, J., Hessburg, P., and Luts, J. 2013. Restoring forest resilience: from reference spatial patterns to silvicultural prescriptions and monitoring. *Forest Ecol. Manag.* 291: 442-457.
6. Cipriotti, P.A., Aguiar, M.R., Wiegand, T., and Paruelo, J.M. 2014. A complex network of interactions controls coexistence and relative abundances in Patagonian grass-shrub steppes. *J. Ecol.* 102: 776-788.
7. Cook, K.L. 2017. An evaluation of the effectiveness of low-cost UAVs and structure from motion for geomorphic change detection. *Geomorphology*. 278: 195-208.
8. Dà-Jiāng Innovations Science and Technology Co (DJI). 2016. Phantom 3 Professional User Manual v1.8; DJI: Shenzhen, China, 59p.
9. Dale, M.R.T., and Powell, R.D. 2001. A new method for characterizing point patterns in plant ecology. *J. Veg. Sci.* 12: 597-608.
10. Diggle, P.J. 2003. Statistical analysis of point processes. Academic Press, London, 240p.
11. Eltner, A., Mulsow, C., and Maas, H.G. 2013. Quantitative measurement of soil erosion from TLS and UAV data. ISPRS. XL-1/W2, UAV. 4-6 September, Rostock, Germany, 119-124.
12. Fabris, M., and Pesci, A. 2005. Automated DEM extraction in digital aerial photogrammetry: precision and validation for mass movement monitoring. *Ann. Geophys.* 48: 973-988.
13. Fronzek, S., Carter, R., Rasanen, J., Ruokolainen, L., and Luoto, M. 2010. Applying probabilistic projections of climate change with impact models: a case study for subarctic palsa mires in Fennoscandia. *Climatic Change*. 99: 515-534.

14. Genet, A., Grabarnik, P., Sekretenko, O., and Pothier, D. 2014. Incorporating the mechanisms underlying inter-tree competition into a random point process model to improve spatial tree pattern analysis in forestry. *Ecol. Model.* 288: 143-154.
15. Hengl, T., Gruber, S., and Shrestha, D. 2003. Digital Terrain Analysis in ILWIS. Lecture notes, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC) Enschede, 62p.
16. Höhle, J. 2009. Dem generation using a digital large-format frame camera. *Photogramm. Eng. Remote. Sens.* 75: 87-93.
17. Hosseinalizadeh, M., Kariminejad, N., Alinejad, M., and Mohammadian Behbahani, A. 2018a. The spatial association between *Holocnemun strobliaceum* and *Nebkas* in North of Golestan Province, Iran. *DEEJ.* 1: 2. 55-66.
18. Hosseinalizadeh, M., Kariminejad, N., Campetella, G., Jalalifard, A., and Alinejad, M. 2018b. Spatial point pattern analysis of piping erosion in loess-derived soils in Golestan Province, Iran. *Geoderma.* 328: 20-29.
19. Hosseinalizadeh, M., Kariminejad, N., Chen, W., Pourghasemi, H.R., Alinejad, M., Mohammadian Behbahani, A., and Tiefenbacher, J.P. 2019. Spatial modelling of gully headcuts using UAV data and four best-first decision classifier ensembles (BFTree, Bag-BFTree, RS-BFTree, and RF-BFTree). *Geomorphology.* 329: 184-193.
20. Hu, Sh., Qiu, H., Xingang Wang, X., Gao, Y., Wang, N., Wu, J., Yang, D., and Cao, M. 2018. Acquiring high-resolution topography and performing spatial analysis of loess landslides by using low-cost UAVs. *Landslides.* 15: 593-612.
21. Illian, J., Penttinen, A., Stoyan, H., and Stoyan, D. 2008. Statistical analysis and modeling of spatial point patterns. John Wiley & Sons Inc, 534p.
22. Kehl, M., and Khormali, F. 2014. Excursion book of international symposium on loess, soils & climate change in southern Eurasia. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, 51p.
23. Knapen, A., and Poesen, J. 2010. Soil erosion resistance effects on rill and gully initiation points and dimensions. *Earth Surf. Process. Landf.* 35: 217-228.
24. Kramm, T., Hoffmeister, D., Curdt, C., Maleki, S., Khormali, F., and Kehl, M., 2017. Accuracy assessment of landform classification approaches on different spatial scales for the Iranian loess plateau. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 6: 366. 1-22.
25. Karimi, A.R. 2008. Survey of soil development and determination of origin and dating of silty sediment in landforms at Mashhad. A thesis for the degree of PhD in soil sciences. Isfahan University. 108p. (In Persian)
26. Kung, O., Strecha, C., Beyeler, A., Zufferey, J.C., Floreano, D., Fua, P., and Gervais, F. 2011. The accuracy of automatic photogrammetric techniques on ultra-light UAV imagery. *Int. Arch. Photogramm. Remote. Sens. Spat. Inf. Sci.* XXXVIII: 1-7.
27. Laliberte, A., Herrick, J., Rango, A., and Winters, C. 2010. Acquisition, orthorectification, and object-based classification of unmanned aerial vehicle (UAV) imagery for rangeland monitoring. *Photogramm. Eng. Remote. Sens.* 76: 661-672.
28. Liu, Y., Zheng, X., Ai, G., Zhang, Y., and Zuo, Y. 2018. Generating a High-Precision True Digital Orthophoto Map Based on UAV Images. *International Journal of Geo-Information (ISPRS).* 7: 333.
29. Lozano-García, B., Parras-Alcántara, L., and Brevik, E.C. 2016. Impact of topographic aspect and vegetation (native and reforested areas) on soil organic carbon and nitrogen budgets in Mediterranean natural areas. *Sci. Total Environ.* 544: 963-970.

30. Maleki, S., Khormali, F., and Karimi, A.R. 2014. Introducing different flow direction algorithms to map topographic wetness index and soil organic carbon in a loess hillslope of Toshan area, Golestan Province, Iran. *J. Water Soil Cons.* 21: 1. 145-162. (In Persian)
31. Maleki, S. 2018. Effect of accuracy of topographic data on improving estimations of digital soil mapping (Case study: a part of loess plateau, Golestan Province. A thesis for the degree of PhD in soil sciences. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 153p. (In Persian)
32. Maleki, S., Khormali, F., Bagheri Bodaghabadi, M., Mohammadi, J., Hoffmeister, D., and Kehl, M. 2018. Role of geomorphic surface on the above-ground biomass and soil organic carbon storage in a semi-arid region of Iranian loess plateau. *Quaternary International*. Pp: 1-22. (In Press)
33. Mlambo, R., Woodhouse, I., Gerard, F., and Anderson, K. 2017. Structure from motion (SfM) Photogrammetry with drone data: a low cost method for monitoring greenhouse gas emissions from forests in developing countries. *Forests*. 8: 68.
34. Nelson, A., Reuter, H.I., and Gessler, P. 2009. DEM production methods and sources. *Geomorphometry: concepts, software, applications*. *Dev. Soil Sci.* 33: 65-85.
35. Phillips, J.D. 2009. Changes, perturbations and responses in geomorphic systems. *Prog. Phys. Geogr.* 33: 1-14.
36. Pommerening, A., and Stoyan, D. 2008. Edgecorrection needs in estimating indices of spatial forest structure. *Can. J. For. Res.* 36: 1723-1739.
37. R Development Core Team. 2013. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Retrieved from <http://www.R-project.org>.
38. Teka, K., Nyssen, J., Teha, N., Haile, M., and Deckers, J. 2015. Soil, land use and landform relationship in the Precambrian lowlands of northern Ethiopia. *Catena*. 131: 84-91.
39. Torri, D., and Poesen, J. 2014. A review of topographic threshold conditions for gully head development in different environments. *Earth Sci. Rev.* 130: 73-85.
40. Vaezi, A.R., Gharehdaghi, H., and Marzvan, S. 2016. The role of slope steepness and soil properties in rill erosion in the hillslopes (A case study: Taham Chai catchment, NW Zanjan). *J. Water Soil Cons.* 23: 4. 83-100. (In Persian)
41. Vega, F., Ramírez, F., Siaz, M., and Rosua, F. 2015. Multi-temporal imaging using an unmanned aerial vehicle for monitoring a sunflower crop. *Biosyst. Eng.* 132: 19-27.
42. Wang, X., Wei, H., Khormali, F., Taheri, M., Kehl, M., Frechen, M., Lauer, M., and Chen, M. 2016. Grain-size distribution of Pleistocene loess deposits in northern Iran and its palaeoclimatic implications. *Quaternary International*. 429: 1-11.
43. Wiegand, T., and Moloney, K.A. 2014. *Handbook of spatial point-pattern analysis in ecology*. CRC Press, New York, 538p.
44. Yu, H., Wiegand, T., Yang, X., and Ci, L. 2009. The impact of fire and density-dependent mortality on the spatial patterns of a pine forest in the Hulun Buir sandland, Inner Mongolia, China. *For. Ecol. Manage.* 257: 2098-2107.
45. Zare, L., Erfani Fard, S., and Karim Nejad, N. 2015. Effectiveness of distance sampling in the estimation of biochemical properties *Pistacia atlantica* subs. *Mutica* masses in Zagros. *Research on Science and Technology of Wood and Forest*. 125: 23-144. (In Persian)
46. Zongjian, L. 2008. UAV for mapping-low altitude photogrammetric survey. *Int. Arch. Photogramm. Remote. Sens. Beijing China*. 37: 1183-1186.
47. Zoratipour, A., and Moazami, M. 2016. The participation of hill slopes sediment delivery contribution in rainfalls different patterns by determine of the degraded rills volume. 23: 33. 327-336. (In Persian)



## **Modeling of the spatial point pattern of hillside and stream using unmanned aerial vehicle in a part of loess plateau, Golestan province**

**\*S. Maleki<sup>1</sup>, F. Khormali<sup>2</sup>, N. Kariminejad<sup>3</sup> and M. Hosseinalizadeh<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Ph.D. Graduate, Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>2</sup>Professor, Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>3</sup>Ph.D. Student, Dept. of Watershed and Arid Zone Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>4</sup>Assistant Prof., Dept. of Watershed and Arid Zone Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 06.02.2019; Accepted: 09.17.2019

### **Abstract**

**Background and Objectives:** Understanding the ecological and geomorphological processes of the spatial distribution of loess deposits helps us to find their interactions in the arid and semi-arid regions. The Iranian loess plateau with a unique landscape and complex topography also located in steppe vegetation with semi-arid climate. The aims of present study are point pattern analysis of hillside, stream and their interactions using different summary statistics in the particular part of Iranian loess plateau. As there is a small distance between hillslope and complex topography in the study area, unmanned aerial vehicle (UAV) imagery used to prepare precise colored aerial photos for statistical analyses. Further, regarding to the mentioned purposes, this research has enough novelty compare with previous studies, and thus, it is a new step in studying the spatial pattern of loess facies; In other words, this study attempts to find the effective relationship between the hillside and streams in terms of the expansion of channel erosion in the study region.

**Materials and Methods:** The study area has dry Xeric soil moisture and Thermic soil temperature regimes. The UAV technique used to prepare the precise colorful images with highly spatial/temporal resolution to model the spatial patterns of hillside and streams density. The topographic attributes (primary and secondary) obtained from digital elevation model (DEM) applied with a spatial resolution of 20×20 cm. The univariate and bivariate point analyses (modelling) used for variable analyses in Spatstat package in R and Progammita software. Finally, Mark correlation function (MCF) used to investigate the question of reducing the size of density dependent.

**Results:** The results of univariate  $g(r)$  and O-ring ( $r$ ) showed that different hillside facing i.e. flat, north, south, east, and west have the aggregated pattern in all distances in the study area. These implied that the same directions are distributed more closely next to each other and their arrangements follow the special pattern. In addition, the interaction between streams and north-face using the bivariate  $g_{12}(r)$  and  $O_{12}(r)$  confirmed the positive interaction between streams and north-face in all distances in the study area. The MCF analysis also showed that the slope as the effective factor has positive interaction with streams, and steep slopes are more aggregated compare with the low slopes. This suggests that the steeper slopes are more likely to form streams than flat lands.

---

\* Corresponding Author; Email: emaleki67@gmail.com



**Conclusion:** Generally, the streams probability form in the steep slopes more than flat areas due to their shear energy, which leads to more soil losses. Further, the soil loss on the steep slopes is more than flat terrain. Finally, UAV technologies are recommended in the study of spatial pattern of deposits for detailed observations, highly accurate data, and deciding natural resource managers to reduce soil erosion.

**Keywords:** Point pattern, Spatial analysis, Summary statistics, Unmanned aerial vehicle

*Arc*