IJAE
Iranian Journal of Applied Ecology
بوم‌شناسی کاربردی/ سال چهاردهم / شماره چهارم / ۱٤۰٤/ صفحات ۵۹ تا ۷۰

بررسی اثر میکروتوپوگرافی بر ساختار پوشش‌گیاهی و برخی خصوصیات فیزیکی وشیمیایی خاک در مراتع گمیشان (شمال استان گلستان)

زهره عزیززاده[۱] ، مجید محمد اسمعیلی[۲*]، علی ستاریان[۳]، سید علی حسینی[٤] و بهاره بهمنش[۵]

(تاریخ دریافت: ۱٤۰٤/۰۵/۱۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱٤۰۵/۰۳/۲۰)

چکیده

میکروتوپوگرافی به‌عنوان یکی از عوامل کلیدی در ناهمگنی اکوسیستم‌های مرتعی، می‌تواند ساختار پوشش‌گیاهی و ویژگی‌های خاک را به‌طور همزمان تحت تأثیر قرار دهد. با وجود مطالعات پراکنده در خصوص تأثیر توپوگرافی بر یکی از این مؤلفه‌ها، بررسی یکپارچه‌ی اثرات آن در مقیاس خرد بر پوشش‌گیاهی و خصوصیات خاک در اکوسیستم‌های تحت چرای دام، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. این مطالعه با هدف بررسی اثر میکروتوپوگرافی بر ابعاد لکه‌های گیاهی، فرم رویشی گونه‌های غالب و برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در مراتع گمیشان استان گلستان انجام شد. نمونه‌برداری از ۳۰ لکه گیاهی در سه موقعیت میکروتوپوگرافیک (برآمده، مسطح و فرورفته) در دو منطقه مدیریتی (قرق ۲٤ ساله و خارج قرق) صورت گرفت. نمونه‌های مرکب خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر برداشت شدند. نتایج نشان داد که EC و pH بیشترین همبستگی منفی معنی‌دار را با ابعاد لکه‌های گیاهی دارند. در منطقه خارج قرق، میکروتوپوگرافی بر EC، pH، آهک و فسفر اثر معنی‌داری داشت، در حالی‌که در منطقه قرق، تنها EC تحت تأثیر معنی‌دار قرار گرفت. فرم رویشی گیاهان غالب در موقعیت‌های میکروتوپوگرافیک مختلف تفاوت معنی‌داری نشان داد. این یافته‌ها بیانگر نقش مهم توپوگرافی خردمقیاس در تنظیم توزیع مکانی خاک و پوشش گیاهی در مراتع شور-قلیایی است.

واژه‌های کلیدی: احیای مراتع، خصوصیات خاک، لکه گیاهی، شدت چرا، مراتع گمیشان.

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد مرتعداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبد کاووس،ایران.
۲ .دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبد کاووس، ایران.
۳ .دانشیار گروه زیست شناسی، دانشکده علوم پایه و فنی مهندسی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبد کاووس، ایران.
٤ .استادیار پژوهشی مؤسسه تحقیقات منابع طبیعی و کشاورزی استان گلستان، استان گلستان، ایران.
۵. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبد کاووس، ایران.
* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: ma_456@yahoo.com

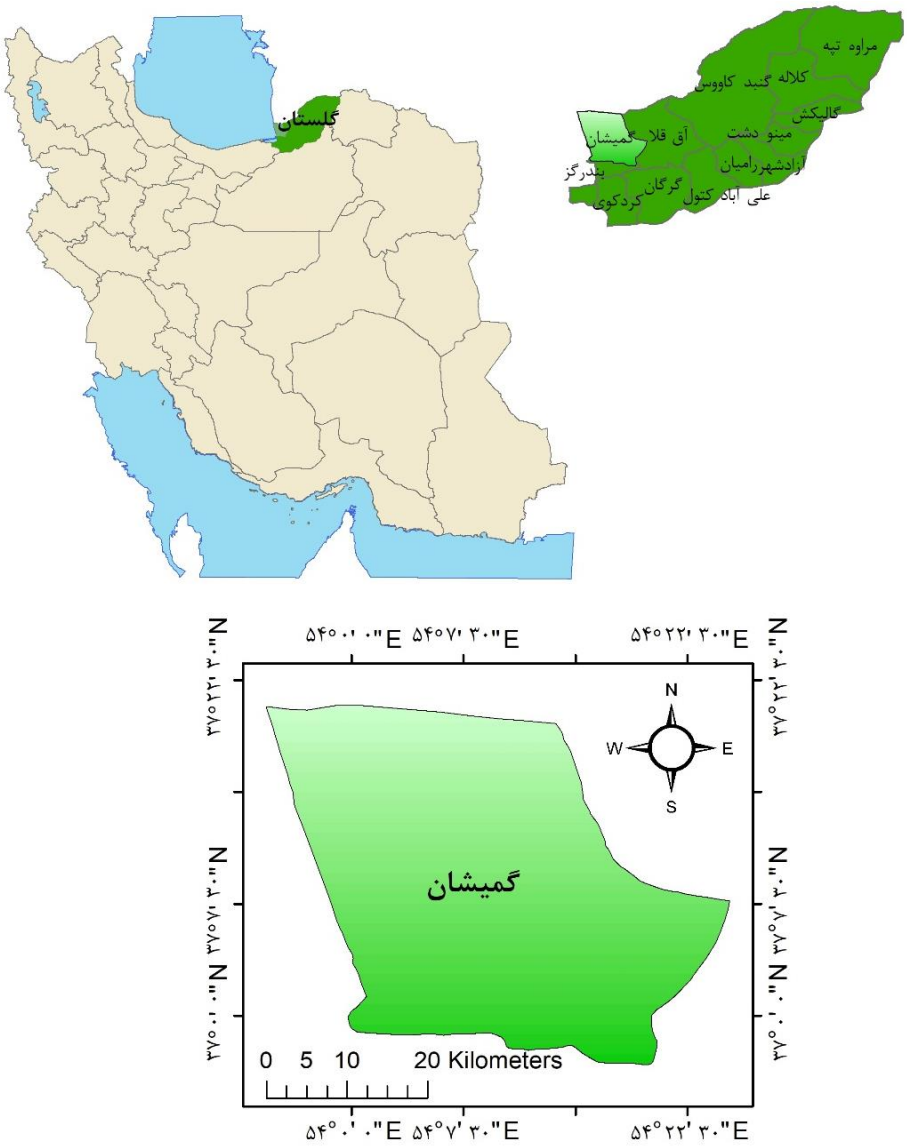
۱-مقدمه

خاک یک سامانه طبیعی پیچیده و پویا است که از طریق کارکردهای زیست‌محیطی خود، نقشی اساسی در حفظ زیستگاه‌ها، تولید غذا و تداوم حیات بر روی زمین ایفا می‌کند. خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آن برای تعادل و پایداری بوم شناختی بسیار مهم است و بر چرخه مواد مغذی و رشد گیاه تأثیر می‌گذارد (۱). مطالعه تغییرات خواص خاک ناشی از جنبه‌های توپوگرافی و تغییرات پوشش گیاهی، برای مدیریت صحیح مناطق حاشیه‌ای و اکوسیستم‌های مستعد تخریب و فرسایش ضروری است (۱۱). توپوگرافی یک عامل حیاتی است که ویژگی‌های تشکیل خاک منطقه‌ای را تعیین می‌کند. لو و همکاران (٦) تغییرات توپوگرافی در مقیاس کوچک به عنوان میکروتوپوگرافی شناخته می‌شوند. میکروتوپوگرافی، به‌معنای تغییرات خردمقیاس در ارتفاع سطح زمین، یکی از عوامل کلیدی در تعیین الگوهای اکولوژیکی در مراتع به‌شمار می‌رود. در اکوسیستم‌های مرتعی، که معمولاً در معرض محدودیت‌های آبی، فرسایش خاک و تغییرات اقلیمی قرار دارند، ناهمواری‌های کوچک سطح زمین می‌توانند تفاوت‌های چشمگیری در توزیع منابع، رطوبت خاک، دمای سطحی و نرخ نفوذ آب ایجاد کنند. این تفاوت‌ها به‌نوبه خود ساختار پوشش گیاهی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک را شکل می‌دهند و موجب ناهمگنی مکانی در عملکردهای اکوسیستمی می‌شوند (۵ و ۱۰). بنابراین، بررسی نقش میکروتوپوگرافی در مراتع از منظر بوم‌شناسی کاربردی اهمیت فراوانی دارد.

مراتع به‌عنوان یکی از گسترده‌ترین اکوسیستم‌های خشکی، نقشی کلیدی در تولید علوفه، چرخه مواد مغذی، تثبیت کربن، و حفظ تنوع زیستی دارند. با این حال، این اکوسیستم‌ها به شدت در معرض تخریب ناشی از چرای مفرط، تغییرات کاربری زمین و تغییر اقیلم قرار دارند. در چنین شرایطی، درک بهتر از عوامل ایجادکننده تنوع در ساختار پوشش گیاهی و وضعیت خاک می‌تواند به اتخاذ راهبردهای مؤثر در مدیریت و احیای مراتع کمک کند (۱۳). بررسی روابط بین میکروتوپوگرافی و ویژگی‌های اکولوژیکی، راهی نو برای شناخت قابلیت‌های اکولوژیکی مراتع و بهینه‌سازی طرح‌های مدیریتی در مقیاس محلی فراهم می‌سازد. با وجود اهمیت موضوع، تاکنون بیشتر مطالعات (۲، ۳، ۷ و ۹) به بررسی تأثیرات توپوگرافی در مقیاس‌های بزرگ (مانند شیب، جهت شیب و ارتفاع کلان) پرداخته‌اند و کمتر به تأثیرات خردمقیاس میکروتوپوگرافی بر ساختار پوشش گیاهی و ویژگی‌های خاک در مراتع پرداخته شده است. همچنین، اغلب پژوهش‌ها (٤، ٦، ۱۲ و ۱۳) به‌صورت منفک به تحلیل پوشش گیاهی یا ویژگی‌های خاک پرداخته‌اند و مطالعاتی که این دو مؤلفه را در چارچوبی یکپارچه و در بستر تغییرات ریزتوپوگرافی بررسی کنند، محدود و پراکنده‌اند. این خلأ پژوهشی، لزوم انجام مطالعات میدانی دقیق با رویکردی ترکیبی و اکولوژیکی را ضروری می‌سازد. لذا این مطالعه با اهداف، بررسی اثر میکروتوپوگرافی بر ابعاد لکه‌های گیاهی و فرم رویشی گونه‌های غالب، ارزیابی تأثیر موقعیت میکروتوپوگرافیک بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، و مقایسه این اثرات در دو وضعیت مدیریتی متفاوت (قرق و خارج قرق) در مراتع شور-قلیایی گمیشان طراحی گردید. یافته‌های حاضر عمدتاً در مقیاس میکروتوپوگرافی و مدیریت موضعی لکه‌های گیاهی قابل تفسیر بوده و می‌تواند در اولویت‌بندی ریزموقعیت‌های احیایی در واحدهای مرتعی مشابه به‌کار گرفته شود.

۲-مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در مراتع منطقه گمیشان استان گلستان با مساحتی حدود ۳۷۹٦ هکتار، با طول جغرافیایی ٥٤ درجه و ۱۵ دقیقه تا ٥٤ درجه و ۲ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱۸ دقیقه شمالی قرار دارد. این منطقه در حاشیه شرقی دریای خزر و در ۲۰ کیلومتری شهرستان بندرترکمن واقع شده است (شکل ۱). متوسط بارندگی در یک دوره ۲۷ ساله ۳٤۳/۳ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱٦/٦ درجه سانتی‌گراد است. اقلیم منطقه با استفاده از روش دومارتن، نیمه



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه نسبت به استان گلستان و ایران

خشک تعیین شده است. میانگین بارندگی سالانه آن ۳۰۰ میلیمتر بوده که معمولاً در ماه‌های آبان تا اردیبهشت ریزش می‌کند. مراتع گمیشان دارای خاک شور و قلیا است. گونه های *Halocnemum strobilaceum*، *Halostachys caspica* و *Hordeum glaucum* تیپ غالب گیاهی منطقه را تشکیل می‌دهد. از دیگر گونه‌های مهم مرتعی این منطقه می‌توان به *Hordeum glaucum* اشاره کرد. این تحقیق در یک منطقه قرق ۲٤ ساله و یک منطقه خارج از قرق در اطراف منطقه حفاظت شده مراتع گمیشان انجام شد. با استفاده از روش ترانسکت خطی درصد پوشش تاجی کل گونه های *H. strobilaceum*، *H. caspica* منطقه قرق (۲۵ درصد) نسبت به منطقه تحت چرا (٤درصد) برآورد شد. غالب بودن گونه *H. strobilaceum* و *H. caspica* در منطقه قرق بیانگر پایداری بیشتر ساختار پوشش گیاهی در این منطقه است، در حالی‌که در منطقه تحت چرا، کاهش پوشش تاجی و غلبه گونه‌های متحمل به چرا مانند *H. glaucum* نشان‌دهنده تأثیر فشار چرای دام بر ترکیب و ساختار پوشش گیاهی است. این مطالعه در قالب طرح

شکل۲. استقرار ترانسکت‌ها در منطقه مورد مطالعه

کاملاً تصادفی نامتعادل با ٦ ترکیب تیماری (۲ سطح مدیریتی × ۳ کلاس میکروتوپوگرافی) اجرا شد. تعداد تکرارها در هر ترکیب تیماری متناسب با فراوانی طبیعی لکه‌ها در عرصه متفاوت بود. تحلیل اثر میکروتوپوگرافی به‌صورت جداگانه در هر وضعیت مدیریتی انجام شد. نمونه‌برداری در اردیبهشت‌ماه و هم‌زمان با گلدهی کامل گونه‌های غالب از ۳۰ لکه گیاهی در موقعیت‌های مختلف توپوگرافیک (برآمده، فرو رفته و مسطح) انجام شد. در این مطالعه، لکه گیاهی به‌عنوان یک واحد پیوسته پوشش گیاهی قابل تشخیص تعریف شد که به‌وسیله نوارهای خاک لخت یا فواصل فاقد پوشش از لکه‌های مجاور جدا می‌شد. در هر منطقه، پس از تعیین محدوده همگن نمونه‌برداری، یک نقطه شروع به‌صورت تصادفی با استفاده از مختصات GPS انتخاب شد. در هر منطقه، سه ترانسکت ۵۰ متری با جهت‌های شمال–جنوب، شرق–غرب و شمال‌شرق–جنوب‌غربی مستقر شدند. این جهت‌ها به‌گونه‌ای انتخاب شد که هم‌پوشانی با شیب کلی منطقه (۰–۳ درصد) کاهش یابد و پوشش مناسبی از ناهمگنی مکانی مرتع فراهم گردد. هر ترانسکت با رعایت فاصله حداقل ۱۵ متر از سایر ترانسکت‌ها قرار گرفت تا استقلال نمونه‌ها حفظ شود (شکل ۲). طول، عرض و ارتفاع لکه‌های گیاهی و میکروتوپوگرافی در محل لکه‌ها و همچنین طول و عرض فضای خاک لخت بین لکه‌ها و میکروتوپوگرافی آن‌ها در طول ترانسکت با خط‌کش و متر اندازه‌گیری شد. لکه‌های گیاهی شناسایی شده و فرم رویشی آن‌ها نیز تعیین شد. در هر یک از مناطق مورد مطالعه (قرق و تحت چرا)، نمونه‌برداری خاک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری در محل لکه‌های گیاهی و فضاهای بین لکه‌ای انجام شد. در هر موقعیت میکروتوپوگرافیک، چند نمونه خاک به‌صورت تصادفی برداشت و پس از اختلاط کامل، یک نمونه مرکب به‌منظور انجام آنالیزهای آزمایشگاهی تهیه شد. نمونه‌های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه، در دمای محیط هوا خشک شده، بقایای گیاهی و سنگ‌ریزه‌ها از آن‌ها جدا و سپس از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. هدایت الکتریکی و اسیدیته خاک در عصاره اشباع اندازه‌گیری شد. کربن آلی خاک با استفاده از روش والکلی–بلک تعیین گردید. نیتروژن کل به روش کجلدال اندازه‌گیری شد. فسفر قابل جذب با روش اولسن و پتاسیم قابل جذب با استفاده از فلیم‌فتومتر تعیین گردید. درصد آهک معادل به روش تیتراسیون محاسبه شد. بافت خاک (درصد رس، سیلت

جدول ۱. همبستگی بین خصوصیات خاک و ابعاد لکه‌های گیاهی

متغیر خاک	ارتفاع لکه گیاهی (r)	*p*-value	عرض لکه گیاهی (r)	*p*-value	طول لکه گیاهی (r)	*p*-value
(EC)	−۰/۵۷	۰/۰۴۷*	−۰/۶۱	۰/۰۳۴*	−۰/۶۸	۰/۰۱۲*
pH	−۰/۵۲	۰/۰۴۹*	−۰/۴۹	۰/۰۶۱ns	−۰/۵۴	۰/۰۴۳*
آهک	−۰/۰۸	۰/۷۴۱ns	−۰/۱۱	۰/۶۳۷ ns	−۰/۱۹	۰/۴۲۸ ns
کربن آلی	۰/۲۱	۰/۲۴۷ ns	۰/۲۴	۰/۱۸۶ ns	۰/۲۹	۰/۱۱۴ ns
نیتروژن کل	۰/۲۳	۰/۱۹۴ ns	۰/۱۸	۰/۳۳۲ ns	۰/۲۶	۰/۱۳۸ ns
فسفر	۰/۰۷	۰/۷۷۴ ns	۰/۱۴	۰/۵۵۸ ns	۰/۰۹	۰/۷۰۱ ns
پتاسیم	۰/۱۰	۰/۶۶۹ ns	۰/۱۶	۰/۴۸۹ ns	۰/۱۲	۰/۶۱۵ ns
رس	−۰/۰۴	۰/۸۷۱ ns	−۰/۰۹	۰/۷۰۸ ns	−۰/۰۶	۰/۸۰۳ ns
سیلت	۰/۱۱	۰/۶۴۲ ns	۰/۱۳	۰/۵۸۶ ns	۰/۱۵	۰/۵۲۷ ns
شن	−۰/۱۲	۰/۶۰۳ ns	−۰/۱۴	۰/۵۴۹ ns	−۰/۱۷	۰/۴۶۲ ns

*** اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد ، ns عدم وجود اختلاف معنی‌دار، r ضریب همبستگی پیرسون، n =۳۰**

و شن) با استفاده از روش هیدرومتری تعیین گردید. پس از کنترل و تکمیل داده‌ها، موقعیت‌های میکروتوپوگرافیک در قالب چند بازه طبقه‌بندی شدند تا اثر میکروتوپوگرافی بر خصوصیات لکه‌های گیاهی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بررسی شود. برای ارزیابی روابط بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و ابعاد لکه‌های گیاهی (طول، عرض و ارتفاع)، از تحلیل همبستگی پیرسون استفاده شد. به‌منظور بررسی اثرات اصلی مدیریت (قرق و خارج قرق)، میکروتوپوگرافی (برآمده، فرورفته و مسطح) و اثر متقابل آن‌ها بر خصوصیات خاک، از مدل خطی عمومی (GLM) دوعاملی با مجموع مربعات نوع III استفاده شد. استفاده از مجموع مربعات نوع III به‌دلیل نامتعادل بودن تعداد تکرارها در ترکیب‌های تیماری الزامی بود. پیش‌فرض‌های نرمال بودن و همگنی واریانس داده‌ها به‌ترتیب با آزمون شاپیرو–ویلک و آزمون لون بررسی شد. در صورت نقض پیش‌فرض‌ها، داده‌ها تبدیل شد. مقایسه میانگین‌ها در سطح معنی‌داری ۰/۰۵با آزمون تعقیبی توکی انجام شد. برای بررسی رابطه بین موقعیت‌های میکروتوپوگرافیک (برآمده، مسطح و فرورفته) و نوع فرم رویشی لکه‌های گیاهی شامل سه طبقه (بوته‌ای–چوبی، بوته‌ای–گوشتی و علفی یک‌ساله)، از آزمون کای اسکوار پیرسون با درجه آزادی ٤ استفاده شد. تمامی تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲٦ انجام شد و سطح معنی‌داری ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

۳-نتایج

نتایج همبستگی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و ابعاد لکه‌های گیاهی در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج تحلیل همبستگی پیرسون نشان داد که برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با ابعاد (طول، عرض و ارتفاع) لکه‌های گیاهی دارای ارتباط معنی‌داری هستند. از میان متغیرهای مورد بررسی، هدایت الکتریکی (EC) و اسیدیته (pH) بیشترین همبستگی منفی و معنی‌دار را با ابعاد لکه‌های گیاهی نشان دادند ($p < ۰/۵$). این همبستگی منفی به این معناست که با افزایش میزان شوری و یا

تغییرات نامطلوب در pH خاک، رشد و گسترش لکه‌های گیاهی کاهش می‌یابد. در واقع، شرایط شیمیایی نامساعد خاک می‌تواند محدودکننده توسعه ساختارهای گیاهی در اکوسیستم‌های نیمه‌خشک باشد. در مقابل، متغیرهایی مانند کربن آلی و نیتروژن کل با ابعاد لکه‌ها همبستگی مثبت نشان دادند، اگرچه این همبستگی‌ها در سطح آماری ۵ درصد معنی‌دار نبودند (p > ۰/۰۵). بنابراین، بر اساس داده‌های حاضر نمی‌توان درباره وجود اثر مشخص این متغیرها بر توسعه لکه‌های گیاهی نتیجه‌گیری قطعی ارائه کرد. این الگو می‌تواند در مطالعات آتی با حجم نمونه بیشتر مورد بررسی قرار گیرد. در خصوص سایر خصوصیات خاک مانند آهک، فسفر، پتاسیم و اجزای بافت خاک (رس، سیلت و شن)، هیچ‌گونه همبستگی معنی‌داری با ابعاد لکه‌ها مشاهده نشد. در مجموع، می‌توان نتیجه گرفت که شرایط شیمیایی خاک، به‌ویژه شوری (EC) و pH، نقش تعیین‌کننده‌ای در گسترش لکه‌های گیاهی دارند و می‌توانند به عنوان شاخص‌های کلیدی برای ارزیابی وضعیت سلامت خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک مورد استفاده قرار گیرند.

به‌منظور ارزیابی اثرات مدیریت، میکروتوپوگرافی و اثر متقابل آن‌ها بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، از مدل خطی عمومی دوطرفه (مجموع مربعات نوع سوم) استفاده شد. همان‌طور که در جدول ۲ ارائه شده است، مدیریت دارای اثر اصلی معنی‌داری بر هدایت الکتریکی، اسیدیته، آهک و فسفر بود (p < ۰/۰۵)، اما بر کربن آلی، نیتروژن کل، پتاسیم، رس، سیلت و شن معنی‌دار نبود (p >۰/۰۵). میکروتوپوگرافی نیز اثر اصلی معنی‌داری بر هدایت الکتریکی، اسیدیته، آهک و فسفر نشان داد (p <۰/۰۵)، در حالی‌که اثر اصلی آن بر سایر خصوصیات معنی‌دار نبود (p > ۰/۰۵). اثر متقابل مدیریت و میکروتوپوگرافی تنها برای هدایت الکتریکی معنی‌دار بود (p < ۰/۰۵)، برای اسیدیته، آهک و فسفر در آستانه معنی داری شد (p ≈۰/۰۵). سایر اثرات متقابل معنی‌دار نبودند. ضرایب تغییرات خصوصیات خاک از ۰/۷۵ درصد (آهک) تا ۷۰ درصد (کربن آلی) متغیر بود.

در شکل (۳) مقایسه میانگین هدایت الکتریکی (EC) در شش ترکیب تیماری (مدیریت × میکروتوپوگرافی) با آزمون تعقیبی توکی نشان می‌دهد که میانگین EC در تیمار خارج قرق – فرورفته به طور معنی‌داری بیشتر از همه تیمارهای دیگر است. تیمارهای خارج قرق – مسطح و خارج قرق – برآمده تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند، ولی با تیمارهای قرق تفاوت دارند. در منطقه قرق، تیمار فرورفته با تیمار برآمده تفاوت معنی‌دار دارد، اما با تیمار مسطح تفاوت معنی‌دار ندارد. pH نیز در تیمار خارج قرق – فرورفته بالاترین مقدار را دارد و با تیمارهای قرق – مسطح و قرق – برآمده تفاوت معنی‌دار دارد. الگوی افزایش pH از موقعیت برآمده به فرورفته در هر دو منطقه مدیریتی مشاهده می‌شود. درصد آهک در منطقه خارج قرق به طور معنی‌داری بیشتر از منطقه قرق است. در خارج قرق، موقعیت مسطح بیشترین آهک را دارد، اگرچه با موقعیت فرورفته تفاوت معنی‌دار ندارد. فسفر در منطقه خارج قرق به طور معنی‌داری بیشتر از منطقه قرق است. در خارج قرق، موقعیت مسطح بیشترین فسفر را دارد و با موقعیت برآمده تفاوت معنی‌دار دارد. در منطقه قرق هیچ تفاوت معنی‌داری بین موقعیت‌ها مشاهده نمی‌شود.

در جدول ۳ فرم رویشی لکه‌های گیاهی در موقعیت‌های میکروتوپوگرافیک ارائه شده است. نتایج نشان داد که توزیع فرم‌های رویشی در موقعیت‌های مختلف میکروتوپوگرافیک تفاوت معنی‌داری دارد (χ^2 = ۱۱/۱۸ ،df = ٤ p = ۰/۰۲۵). موقعیت برآمده با حضور غالب‌تر فرم رویشی بوته‌ای–چوبی (*H. strobilaceum*) مشخص بود، در حالی‌که در موقعیت فرورفته، فرم رویشی علفی یک‌ساله (*H. glaucum*) فراوانی بیشتری داشت. موقعیت مسطح نیز توزیعی نسبتاً متعادل‌تر از فرم‌های رویشی نشان داد. این الگو بیانگر آن است که ناهمواری‌های خردمقیاس از طریق تأثیر بر توزیع رطوبت، شوری و در نتیجه شرایط رقابتی، ترکیب فرم‌های رویشی را در سطح لکه‌ای شکل می‌دهند.

جدول۲. اثر مدیریت، میکروتوپوگرافی و اثر متقابل بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

منبع تغییر	درجه آزادی	متغیر	میانگین مربعات	F	p
مدیریت	۱	هدایت الکتریکی(dS/m)	۱۲٤/۳	٦/٥٦	***۰/۰۱۸**
		اسیدیته(pH)	۰/۰۲٥	۳/۱۲	***۰/۰٤٥**
		آهک (درصد)	۱/٤۲	۷/۸۹	***۰/۰۱۰**
		فسفر(mg/kg)	۲۱٥/۰	۷/۳٦	***۰/۰۱۲**
		کربن آلی (درصد)	۰/۰۹	۰/۸٦	۰/۳٦٤
		نیتروژن کل (درصد)	۰/۰۰۰۸	۰/۸۰	۰/۳۸۰
		پتاسیم(mg/kg)	۱۲۳۰	۰/٦٦	۰/٤۲٥
		رس (درصد)	۰/۳۸	۰/۷۸	۰/۳۸٥
		سیلت (درصد)	۱٤/۲	۰/۸۳	۰/۳۷۲
		شن (درصد)	۱۱/۷	۰/۸٤	۰/۳٦۸
میکروتوپوگرافی	۲	هدایت الکتریکی	۹۷/٤	٥/۱٤	***۰/۰۱٤**
		اسیدیته	۰/۰۲۲	۲/۷٥	***۰/۰٤۸**
		آهک	۱/۳۸	۷/٦۷	***۰/۰۱۱**
		فسفر	۱۸۸/۳	٦/٤٥	***۰/۰۱۹**
		کربن آلی	۰/٥۲	۰/۹۲	۰/۳٤۲
		نیتروژن کل	۰/۰۰۰٤	۰/۷٦	۰/۳۱۲
		پتاسیم	۱۱۲۰	۰/٥٦	۰/۳۱۷
		رس	۰/٤۲	۰/۸۲	۰/۲۹۷
		سیلت	۱۳/۷	۰/۳۷	۰/۳۷۳
		شن	۱۲/۳	۰/٤۳	۰/۳۹۲
مدیریت × میکروتوپوگرافی	۲	هدایت الکتریکی	۹۸/٦	٥/۲۰	***۰/۰٤۹**
		اسیدیته	۰/۰۳۹	٤/۸۸	**†۰/۰٥٥**
		آهک	۰/۸۸	٤/۸۹	**†۰/۰٥٤**
		فسفر	۱٤۲/٥	٤/۸۸	**†۰/۰٥٤**
		کربن آلی	۰/۱۱	۰/۸۹	۰/۲٦۸
		نیتروژن کل	۰/۰۰۰۱۲	۰/۸٤	۰/۳٥۹
		پتاسیم	۱۸۹۰	۰/٤۷	۰/۳۱٥
		رس	۰/٥۲	۰/٦۹	۰/۳۲٥
		سیلت	۱٦/۹	۰/٤٥	۰/۳۱٤
		شن	۱٤/۱	۰/٥۱	۰/۳۱۱
خطا	۲٤	هدایت الکتریکی	۱۸/۹٥	–	–
		اسیدیته	۰/۰۰۸	–	–
		آهک	۰/۱۸	–	–
		فسفر	۲۹/۲	–	–

علامت * نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۰/۰٥ (p < ۰/۰٥) و علامت † نشان‌دهنده مقادیر در آستانه معنی‌داری (۰/۰٦ > p > ۰/۰٥) است؛ درجه آزادی خطا برابر ۲٤ = (٦ − ۳۰) بر اساس تعداد کل نمونه‌ها (۳۰) منهای تعداد پارامترهای برآوردی (٦) محاسبه شده است و به منظور اختصار، میانگین مربعات خطا برای سایر متغیرها (کربن آلی، نیتروژن کل، پتاسیم، رس، سیلت و شن) در جدول گزارش نشده است.

شکل ۳. مقایسه میانگین و خطای معیار (SE±) ٤ متغیر معنی‌دار در شش ترکیب تیماری با آزمون توکی دو منطقه مدیریتی قرق و خارج قرق در مراتع گمیشان: الف) اسیدیته (PH) ب) هدایت الکتریکی (EC) پ) آهک و ت) فسفر

*میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند، در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ تفاوت معنی‌دار ندارند (گروه همگن). میانگین‌هایی که هیچ حرف مشترکی ندارند تفاوت معنی‌دار با یکدیگر نشان می‌دهند.

جدول ۳. جدول توافقی فراوانی فرم‌های رویشی در موقعیت‌های میکروتوپوگرافیک

فرم رویشی	فرورفته	مسطح	برآمده	جمع کل
بوته‌ای—چوبی (*H. strobilaceum*)	۱	۳	۷	۱۱
بوته‌ای—گوشتی (*H. caspica*)	۲	٤	۲	۸
علفی یک‌ساله (*H. glaucum*)	۷	۳	۱	۱۱
جمع کل	۱۰	۱۰	۱۰	۳۰

بحث و نتیجه گیری

یافته‌های این مطالعه نشان داد که ابعاد لکه‌های گیاهی در منطقه مورد مطالعه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر ویژگی‌های شیمیایی خاک، به‌ویژه هدایت الکتریکی (EC) و اسیدیته (pH) قرار دارند. همبستگی منفی و معنی‌دار این دو ویژگی با ابعاد لکه‌های گیاهی، بیانگر آن است که افزایش شوری و تغییرات شدید در pH می‌تواند به‌طور قابل توجهی از گسترش فضایی لکه‌ها جلوگیری کند. این موضوع با توجه به شرایط اقلیمی نیمه‌خشک منطقه، که اغلب با کمبود بارندگی، تبخیر بالا و تجمع املاح همراه است، کاملاً منطقی به نظر می‌رسد. یافته‌های ما با نتایج گزارش‌شده توسط وانگ و همکاران (۹) که اثر منفی شوری بر توسعه لکه‌های گیاهی را در اکوسیستم‌های خشک شمال چین تأیید کرده‌اند، هم راستا می‌باشد. تبیین مکانیستی این یافته از طریق سه فرآیند اکولوژیک امکان‌پذیر است: نخست، موقعیت‌های فرورفته به‌دلیل جریان جانبی آب و کاهش تبخیر، رطوبت بیشتری را حفظ می‌کنند، اما در اقلیم نیمه‌خشک گمیشان همین جریان مویینگی صعودی موجب تجمع نمک‌های محلول می‌شود؛ دوگانگی رطوبت–شوری که توسعه لکه‌های گیاهی را محدود می‌کند (۵). دوم، لکه‌های گیاهی از طریق بازخوردهای مثبت گیاه–خاک EC و pH را به‌صورت موضعی تعدیل می‌کنند؛ این فرآیند همبستگی منفی معنی‌دار این دو شاخص با ابعاد لکه را توجیه می‌کند. سوم، موقعیت‌های برآمده در معرض فرسایش بادی بیشتری قرار دارند که موجب کاهش افق سطحی خاک و تمرکز نمک می‌شود. همچنین لی و همکاران (۵) گزارش کردند که تغییرات خردتوپوگرافی از طریق کنترل توزیع رطوبت و عناصر غذایی، ساختار فضایی پوشش گیاهی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. یکی از نکات قابل توجه در نتایج حاضر، نقش بالقوه مثبت کربن آلی و نیتروژن کل در گسترش لکه‌های گیاهی بود،اگرچه کربن آلی و نیتروژن کل روند مثبتی با ابعاد لکه‌های گیاهی نشان دادند، این روابط در سطح آماری پنج درصد معنی‌دار نبودند ($p > ۰/۰۵$). بنابراین، هیچ استنتاج علّی قطعی درباره نقش این متغیرها در توسعه لکه‌های گیاهی مجاز نیست. این عدم معنی‌داری احتمالاً ناشی از تغییرپذیری بالای کربن آلی و نیتروژن در خاک‌های شور–قلیایی منطقه و محدودیت حجم نمونه است. از منظر آماری، با $n = ۳۰$ و اجرای همزمان ۳۰ آزمون همبستگی (۱۰ متغیر × ۳ بعد لکه)، توان آزمون برای شناسایی همبستگی‌های با اندازه اثر متوسط ($r \approx ۰/۳۰$) به سطح مطلوب ($۱-\beta = ۰/۸۰$) نمی‌رسد و احتمال بروز خطای نوع دوم برای این متغیرها قابل توجه است. بررسی این روابط با حجم نمونه بزرگ‌تر در مطالعات آینده پیشنهاد می‌شود. بر اساس آزمون توکی، مقدار EC در منطقه خارج قرق در موقعیت فرورفته به طور معنی‌داری بالاتر از هر پنج ترکیب تیماری دیگر بود ($p < ۰/۰۵$)، در حالی‌که در منطقه قرق، EC تنها در موقعیت فرورفته با موقعیت برآمده تفاوت معنی‌دار نشان داد. همچنین بارزترین اثر متقابل در EC مشاهده می‌شود، تفاوت بین موقعیت فرورفته و برآمده در منطقه خارج قرق بسیار بیشتر از منطقه قرق است. به عبارت دیگر، چرای دام حساسیت خاک به ریزتوپوگرافی را افزایش می‌دهد، زیرا تخریب پوشش گیاهی فرآیندهای تجمع موضعی املاح را تشدید می‌کند. همچنین اثر متقابل مدیریت و میکروتوپوگرافی بر اسیدیته، آهک و فسفر در آستانه معنی‌داری آماری قرار گرفت. هرچند این مقادیر از حد استاندارد اندکی فراتر هستند، اما نزدیکی آن‌ها به این آستانه از نظر اکولوژیک حائز اهمیت است و نمی‌توان به سادگی از کنار آن گذشت. چنین الگویی نشان می‌دهد که با افزایش حجم نمونه یا کاهش تغییرات درون گروهی، این اثرات نیز معنی‌دار می‌شوند. تبیین مکانیستی این نزدیکی به معنی‌داری را می‌توان در واکنش‌های متفاوت خاک شور–قلیایی به چرای دام در ریزموقعیت‌های توپوگرافیک جستجو کرد. در مقابل، عدم وجود همبستگی معنی‌دار بین ابعاد لکه‌ها و عناصری مانند فسفر، پتاسیم و ویژگی‌های بافتی خاک (رس، سیلت، شن) ممکن است ناشی از پویایی پایین این عناصر در مقیاس خرد و یا کنترل‌شدن آن‌ها توسط عوامل دیگر مانند نوع گونه گیاهی، کاربری تاریخی یا وضعیت مدیریتی منطقه باشد. این امر بیانگر پیچیدگی تعاملات بین گیاه و خاک در مقیاس لکه‌ای است که صرفاً از طریق

ویژگی‌های شیمیایی به طور کامل قابل تبیین نیست و نیازمند مطالعات مکمل از جمله بررسی ویژگی‌های میکروبی و فیزیکی خاک است. نتایج ژائو و همکاران (١٤) نیز حاکی از آن بود که ناهمواری‌های خردمقیاس عامل تعیین‌کننده‌ای در الگوی پراکنش عناصر خاک و تنوع پوشش گیاهی در اکوسیستم‌های خشک است. علاوه بر آن، نتایج تجزیه واریانس تأثیر میکروتوپوگرافی بر خصوصیات خاک نشان داد که این عامل در منطقه خارج از قرق اثرات گسترده‌تر و معنی‌دارتری نسبت به داخل قرق دارد. در منطقه خارج قرق، موقعیت‌های میکروتوپوگرافیک منجر به تغییرات معنی‌داری در شوری، pH، آهک و فسفر خاک شدند، در حالی که در داخل قرق تنها اثر معنی‌دار بر هدایت الکتریکی مشاهده شد. این تفاوت احتمالاً ناشی از نقش پوشش گیاهی در تثبیت شرایط سطحی خاک و کاهش فرآیندهای فرسایشی در مناطق قرق‌شده است. در واقع، پوشش گیاهی متراکم‌تر در مناطق قرق‌شده، از طریق کاهش سرعت رواناب، افزایش نفوذ آب، و تثبیت ذرات خاک، نقش مهمی در تعدیل فرآیندهای فرسایشی ایفا می‌کند. در مقابل، در منطقه خارج از قرق که به‌دلیل چرای شدیدتر و تخریب پوشش گیاهی با ناپایداری سطحی بیشتری مواجه است، میکروتوپوگرافی می‌تواند توزیع مکانی ویژگی‌های خاک را به‌طور چشمگیری تحت تأثیر قرار دهد. یافته‌های گائو و همکاران (۳) نیز نقش تغییرات جزئی ارتفاع را در تنظیم الگوهای استقرار گیاهان و پاسخ اکوسیستم به تنش‌های محیطی تأیید می‌کند. در مقابل، برخی مطالعات مانند دشتی و همکاران (۲) اثر میکروتوپوگرافی را کمتر از شدت چرای دام در تعیین الگوی پوشش گیاهی گزارش کرده‌اند. یمر و همکاران (۱۳) نیز تغییرات عمقی خاک را عامل مهم‌تری نسبت به ناهمواری سطحی دانسته‌اند که این تفاوت احتمالاً ناشی از تفاوت در عمق نمونه‌برداری، ساختار خاک و شرایط اقلیمی مناطق مورد مطالعه است. همچنین واو و همکاران (۱۰) اثرات شدیدتر میکروتوپوگرافی را در مناطق با شیب بیشتر گزارش کردند که با شیب ملایم منطقه گمیشان تفاوت دارد. در واقع شیب‌های کوچک و ناهمواری‌های ریز، سبب تمرکز یا پراکندگی رواناب، شوری و املاح در موقعیت‌های خاصی از زمین می‌شوند. در چنین شرایطی، فرآیندهای تجمع یا شسته‌شدن عناصر معدنی مانند فسفر و آهک به‌صورت موضعی تقویت می‌شود و این امر منجر به تفاوت‌های معنی‌دار در ویژگی‌های خاک در موقعیت‌های مختلف میکروتوپوگرافیک می‌شود. در بررسی اثر ریزتوپوگرافی بر ویژگی‌های خاک در مناطق نیمه‌خشک چین لی و همکاران (۵) گزارش شد که نقش میکروتوپوگرافی در مناطق بدون پوشش گیاهی به‌مراتب برجسته‌تر از مناطق دارای پوشش گیاهی است که با یافته‌های ما هم‌راستا می‌باشد. همچنین وانگ و همکاران (۱۱) نشان دادند که در اکوسیستم‌های مرتعی، تعامل میان موقعیت‌های توپوگرافیک و پوشش گیاهی می‌تواند سبب الگوهای متفاوتی از تجمع عناصر غذایی خاک شود، به‌ویژه در خاک‌های شور–قلیایی شود. به‌عبارت دیگر، در نبود حفاظت گیاهی، نقش توپوگرافی در کنترل فرآیندهای زمین زیست شیمیایی برجسته‌تر می‌شود. همچنین مقایسه اثر میکروتوپوگرافی در دو منطقه مدیریتی نشان می‌دهد که پوشش گیاهی متراکم‌تر در منطقه قرق از طریق کاهش رواناب سطحی و افزایش نفوذپذیری، تا حدودی تفاوت‌های ناشی از ریزناهمواری را در توزیع خصوصیات خاک هموار می‌سازد. در مقابل، در منطقه خارج قرق، چرای دام با تغییر فیزیک خاک (فشردگی و کاهش تخلخل) و کاهش پوشش گیاهی، تمایز بین موقعیت‌های میکروتوپوگرافیک را تشدید می‌کند؛ به‌گونه‌ای که میکروتوپوگرافی علاوه برEC ، برpH ، آهک و فسفر نیز اثر معنی‌داری داشت. این الگو از یک اثر متقابل بالقوه بین مدیریت چرا و میکروتوپوگرافی حکایت دارد.

در مجموع، نتایج این پژوهش نشان داد که تغییرات میکروتوپوگرافی در مراتع گمیشان با تغییر در برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، به‌ویژه هدایت الکتریکی و اسیدیته، همراه است و این ویژگی‌ها نیز با ابعاد لکه‌های گیاهی ارتباط معنی‌داری نشان دادند. این یافته‌ها بیانگر آن است که میکروتوپوگرافی می‌توانند از طریق اثرگذاری بر شرایط خاک، در شکل‌گیری الگوهای فضایی پوشش گیاهی نقش داشته باشند.

برای تفکیک اثرات مستقیم میکروتوپوگرافی بر ابعاد لکه‌های گیاهی از اثرات غیرمستقیم آن از مسیر تغییر در ویژگی‌های شیمیایی خاک، پایش فصلی همزمان رطوبت، شوری و pH در هر موقعیت میکروتوپوگرافیک همراه با ثبت دقیق مختصات مکانی لکه‌ها و به‌کارگیری رگرسیون چندمتغیره مکانی در مطالعات آینده توصیه می‌شود، چنین رویکردی امکان مدل‌سازی کمّی روابط علّی میان ریزناهمواری، خصوصیات خاک و ساختار فضایی پوشش گیاهی را در مراتع شور–قلیایی فراهم خواهد ساخت.

تشکر و قدردانی

از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه گنبد کاووس و تمام کسانی که در این مطالعه یاری نمودند تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

منابع

1. Al-Kaisi, M. M., Lal, R., Olson, K. R., and Lowery, B., 2017. Fundamentals and functions of soil environment. *In Soil Health and Intensification of Agroecosytems* (pp. 1–23). Elsevier, the Netherlands.
2. Dashti, M., Mirdavoudi, H., Ghasemi Arian, A., and Azizi, N., 2021. Effects of topography and soil variables on abundance of *Onobrychis chorassanica* bunge in Kardeh and Kurtian rangelands, Mashhad, Iran. *Journal of Rangeland Science*, 11(3): 283–299. (In Persian)
3. Gao, M., Wang, Y., Ren, Y., Zhan, J., and Xie, T., 2024. Manipulated microtopography alters plant community development in fragile farm–pastoral transition zone. *Journal of Plant Ecology*, 17(5): rtae070.
4. Gxasheka, M., Gajana, C. S., and Dlamini, P., 2023. The role of topographic and soil factors on woody plant encroachment in mountainous rangelands: *A mini literature review*. Heliyon, 9(10): e20615.
5. Li, X., Zhang, Y., and Wang, Y., 2016. Effects of micro-topography and vegetation restoration on soil physicochemical properties in semi-arid regions. *Catena*, 139: 105–113.
6. Luo, B., Li, J., Tang, J., Wei, C., and Zhong, S., 2024. Microtopography effects on pedogenesis in the mudstone-derived soils of the hilly mountainous regions. *Scientific Reports*, 14(1): 11998.
7. Moghaddam,. M., Lamb, E. G., Ghorbani, A., Arzani, H., Mobaser, J. A., and Mostafazadeh, R., 2022. Interactions among climate, topography, soil structure and rangeland aboveground net primary production. *The Rangeland Journal*, 44(3): 137-147. (In Persian).
8. Wang, J., Cao, W., Shi, H. and Li, W., 2024. Forage plants in grasslands with different topographies affect yak foraging preferences on the eastern Tibetan plateau. *Frontiers in Plant Science*, 15: 1347576.
9. Wang, J., Chen, Y., and Huang, L., 2021. Microtopography-driven variation in soil properties and nutrient distribution in grassland ecosystems. *Geoderma*, 387: 114887.
10. Wu, Y., Zhao, W., Li, J., 2022. Influence of microrelief on soil moisture and vegetation in degraded rangelands. *Catena*, 208: 105770.
11. Yimer, F., Ledin, S., and Abdelkadir, A., 2006. Soil property variations in relation to topographic aspect and vegetation community in the south-eastern highlands of Ethiopia. *Forest Ecology and Management*, 232(1-3): 90-99.
12. Zhang, S., Li, L., Zhu, Z., and Zhang, P., 2024. Spatial distribution and relationship between slope micro-topography changes and soil aggregate stability under rainfall conditions. *Water*, 16(5): 648.
13. Zhao, K., Hai, L., Qin, F., Liu, L., Hong, G., Li, Z., Li, L., Yue, Y., Dong, X., He, R., and Shi, D., 2025. Effects of micro-topography on soil nutrients and plant diversity of artificial shrub forest in the Mu Us sandy land. *Plants*, 14(14): 2163.

IJAE
Iranian Journal of Applied Ecology

Investigating the Effect of Microtopography on the Structure of Vegetation Cover and Some Soil Chemical and Physical Properties in the Gomishan Rangelands (Northern Golestan Province)

Zohreh Azizzadeh[1], Majid Mohammad Esmaili[2]*, Ali Sattarian[3], Seyed Ali Hosseini[4] and Bahareh Bahmanesh[5]

(Received: August 02-2025; Accepted: June 10-2026)

Abstract

Microtopography, a key factor in the heterogeneity of rangeland ecosystems, can simultaneously affect the structure of vegetation cover and soil properties. Although there are several studies on the effect of topography on these components, an integrated study of its effects at the microscale on vegetation cover and soil properties in ecosystems under livestock grazing has received less attention. This study aimed to investigate the effects of microtopography on the dimensions of vegetation patches, the vegetative form of dominant species, and some physical and chemical properties of soil in the Gomishan rangelands, Golestan Province, Iran. Sampling was conducted from 30 vegetation patches in three microtopographic positions in two management areas. Composite soil samples were collected from a depth of 0-30 cm. The results showed that EC and pH had the most significant negative correlations with the dimensions of vegetation patches. In the out-of-the-enclosure area, microtopography had a significant effect on EC, pH, lime, and phosphorus, whereas in the enclosure area, only EC was significantly affected. The vegetative forms of the dominant plants showed significant differences in different microtopographic positions. These findings indicate the important role of microtopography in regulating the spatial distribution of soil and vegetation in saline-alkaline rangelands.

Keywords: Restoration of pastures, Soil properties, Vegetation patches, Grazing intensity, Gomishan rangelands

1. Master of Science in Rangeland Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad-Kavos University, Gonbad-Kavos, Iran.
2. Associate Professor, Rangeland and Watershed Management Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad-Kavos University, Gonbad-Kavos, Iran.
3. Associate Professor, Biology Department, Faculty of Basic Sciences and Engineering, Gonbad-Kavos University, Gonbad-Kavos, Iran.
4. Research Assistant Professor, Golestan Province Natural Resources and Agriculture Research Institute, Golestan Province, Iran.
5. Assistant Professor, Rangeland and Watershed Management Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad-Kavos University, Gonbad-Kavos, Iran.

* Corresponding Author, Email: ma_456@yahoo.com