

Effects of Different Livestock Grazing Intensities on the Structural and Functional Characteristics of Ecological Patches in the Rangelands of the Mouteh Wildlife Refuge

Zahra Heidari Ghahfarrokhi^{1*}, Pejman Tahmasebi² and Ali Asghar Naghipour²

1*. Corresponding author, Ph.D. in Range Management, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: z.heidari.gh@gmail.com

2. Associate Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

Received: 11/05/2025

Revised: 08/13/2025

Accepted: 09/22/2025

Published: 06/17/2026

Abstract

Background and Objectives

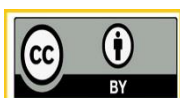
The functional condition of rangeland ecosystems is strongly influenced by the structural and compositional characteristics of vegetation patches and the intervening interpatch spaces. Landscape Function Analysis (LFA) is a widely used approach for assessing patch organization and evaluating key functional attributes of rangeland ecosystems. The present study aimed to investigate the effects of different livestock grazing intensities on the structural characteristics and functional performance of ecological patches in the rangelands of the Mouteh Wildlife Refuge, central Iran.

Materials and Methods

Three rangeland sites representing different levels of livestock grazing pressure were selected along a grazing-intensity gradient. At each site, two representative areas were selected, and within each area, three transects, each at least 30 m long and separated by more than 60 m, were established. Along the transects, at least three replicates of each major patch type, including shrub patches and plant hummocks (grasses and forbs), as well as interpatch spaces, were identified and evaluated. Three major LFA functional indices, including stability, infiltration, and nutrient cycling, were assessed using LFA software based on 11 soil-surface indicators recorded in the field. In total, 162 patches and interpatch spaces were evaluated. Structural and functional characteristics of patches were compared among grazing intensities using one-way analysis of variance (ANOVA; `aov` function), followed by Duncan's multiple range test (`duncan.test`) in R software.

Results

The highest values of the structural attributes of ecological patches, including the landscape organization index, number of patches per 10 m, patch area index, total patch area, and mean patch length and width, were recorded under light grazing intensity. In contrast, the highest structural values for interpatch spaces, including mean, minimum, and maximum interpatch lengths, were observed under heavy grazing intensity. In



contrast to interpatch spaces and plant hummock patches, most soil-surface indicators in shrub patches differed significantly among grazing intensities ($p \leq 0.001$ and $p \leq 0.01$). With increasing grazing intensity, soil cover, perennial vegetation cover, crust stability, soil erosion type and severity, and slaking-test scores decreased, with the highest values recorded under light grazing (4.000, 7.429, 2.357, 3.500, and 5.429, respectively). Light grazing also resulted in the highest overall stability and infiltration indices (49.619% and 24.351%, respectively), as well as the highest values in interpatch spaces (47.994% and 23.079%), plant hummock patches (42.917% and 22.651%), and shrub patches (56.528% and 29.700%). The highest nutrient-cycling index values were also recorded under light grazing, both overall and in plant hummock patches (15.707% and 15.490%, respectively).

Conclusion

Appropriate rangeland management, particularly in arid and semi-arid environments, plays a critical role in maintaining and improving the structural organization and functional condition of ecological patches. Maintaining adequate vegetation cover and a diverse combination of shrubs, grasses, and forbs can enhance patch connectivity, soil-surface protection, and overall ecosystem functionality. The findings indicate that light grazing pressure is more compatible with the maintenance of organized patch structures, greater patch extent, and higher functional integrity. Consequently, grazing management based on appropriate stocking rates and controlled grazing intensity can contribute to maintaining rangeland resilience, reducing soil degradation, and sustaining key ecosystem functions in the Mouteh Wildlife Refuge.

Keywords: Ecological patches, grazing intensity, infiltration, Landscape Function Analysis (LFA), nutrient cycling, stability.

تأثیر شدت‌های مختلف چرای دام بر ویژگی‌های ساختاری و عملکردی لکه‌های اکولوژیک در مراتع پناهگاه حیات وحش مونه

زهرا حیدری قهفرخی^{۱*}، پژمان طهماسبی کهیانی^۲ و علی اصغر نقی‌پور^۲

*-نویسنده مسئول، دکتری علوم و مهندسی مرتع، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

پست الکترونیک: z.heidari.gh@gmail.com

۲-دانشیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۱ تاریخ اصلاح نهایی: ۱۴۰۴/۰۵/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۳۱ تاریخ چاپ: ۱۴۰۵/۰۳/۲۷

چکیده

سابقه و هدف

وضعیت عملکردی اکوسیستم‌ها به‌طور قابل توجهی به ویژگی‌های ساختاری و ترکیبی لکه‌های گیاهی و فضاها بین لکه‌های وابسته است. روش تحلیل عملکرد چشم‌انداز (LFA) برای مقایسه ویژگی‌های لکه‌ها و تعیین ویژگی‌های عملکردی مرتع به کار می‌رود. این مطالعه با هدف بررسی تأثیر شدت‌های مختلف چرای دام بر ویژگی‌های ساختاری و عملکردی لکه‌های اکولوژیک در مراتع پناهگاه حیات وحش مونه انجام شده است.

مواد و روش‌ها

در طول گرادانت شدت چرای دام، سه مکان مرتعی با سطوح متفاوت فشار چرا انتخاب شدند. در هر مکان، ۲ منطقه معرف انتخاب و در هر منطقه سه ترانسکت با طول حداقل ۳۰ متر و فاصله بیش از ۶۰ متر از یکدیگر برای تعیین حداقل ۳ تکرار از هریک از لکه‌ها (بوته‌ای و کپه‌های گیاهی (گندمی + پهن برگ علفی)) و فضای بین لکه‌ای مستقر شد. سه ویژگی عملکردی شامل پایداری، نفوذپذیری و چرخه مواد غذایی، با استفاده از نرم‌افزار LFA و داده‌های حاصل از نمونه‌برداری صحرایی (۱۱ شاخص سطح خاک) برای ۱۶۲ لکه و فضای بین لکه‌ای به دست آمد. مقایسه خصوصیات ساختاری و عملکردی لکه‌ها و تفاوت بین شدت‌های مختلف چرای دام با آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه با استفاده از توابع aov و duncan.test در نرم‌افزار R انجام شد.

نتایج

نتایج نشان داد که بیشترین ویژگی‌های ساختاری لکه‌های اکولوژیک (شاخص سازمان‌یافتگی، تعداد لکه‌ها در هر ۱۰ متر، شاخص سطح لکه، سطح کل لکه، میانگین طول لکه و میانگین عرض لکه) در شدت چرای سبک و بیشترین ویژگی‌های ساختاری مرتبط با فضای بین لکه‌ای (میانگین طول و میانگین حداقل و حداکثر طول فضای بین لکه‌ای) در چرای سنگین مشاهده شدند. برخلاف فضاها بین لکه‌ای و کپه‌های گیاهی، اغلب شاخص‌های سطح خاک در لکه‌های بوته‌ای بین سطوح مختلف چرای دام تفاوت معنی داری در سطح ۰/۰۰۱ و ۰/۰۱ درصد نشان دادند. با افزایش شدت چرای دام، میزان شاخص پوشش سطح خاک، پوشش گیاهان چندساله، شکستگی پوسته، نوع و شدت فرسایش و پایداری در برابر رطوبت کاهش یافتند، به گونه‌ای که بیشترین مقادیر مربوط به شدت چرای سبک (به ترتیب ۴/۰۰۰، ۷/۴۲۹، ۲/۳۵۷، ۳/۵۰۰ و ۵/۴۲۹) بود. چرای سبک بالاترین مقدار شاخص پایداری و نفوذپذیری در حالت کلی (به ترتیب ۴۹/۶۱۹٪ و ۲۴/۳۵۱٪)، فضای بین لکه‌ای (به ترتیب ۴۷/۹۹۴٪ و ۲۳/۰۷۹٪)، لکه‌های کپه‌ای (به ترتیب ۴۲/۹۱۷٪ و ۲۲/۶۵۱٪) و بوته‌ای (به ترتیب ۵۶/۵۲۸٪ و ۲۹/۷۰۰٪) و بیشترین مقدار چرخه مواد غذایی در حالت کل و لکه‌های کپه‌ای (به ترتیب ۱۵/۷۰۷٪ و ۱۵/۴۹۰٪) را دارا بود.

نتیجه‌گیری

مدیریت مراتع، به‌ویژه در مناطق خشک، نقش کلیدی در بهبود ویژگی‌های ساختاری و عملکردی لکه‌های اکولوژیک دارد. افزایش پوشش گیاهی به‌ویژه ترکیبی از بوته‌ای‌ها، گیاهان گندمی و علفی پهن‌برگ منجر به مدیریت بهتر و افزایش ویژگی‌های عملکردی مراتع خواهد شد. چرای سبک باعث حفظ ساختار منظم، وسعت و یکپارچگی لکه‌ها می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پایداری، تحلیل عملکرد چشم‌انداز، چرخه مواد غذایی، شدت چرا، لکه‌های اکولوژیک، نفوذپذیری.

مقدمه

وضعیت عملکردی اکوسیستم‌ها به‌طور قابل‌توجهی به ویژگی‌های ساختاری و ترکیبی انواع لکه‌های گیاهی و فضا‌های بین لکه‌ای وابسته است (Zhang and Hu, 2019). در این محیط‌ها، چشم‌انداز به صورت مجموعه‌ای از لکه‌های غنی از منابع گیاهی و نواحی فاقد منابع گیاهی سازمان‌یافته است (Ludwig and Tongway, 1995). لکه‌های پوشش گیاهی پدیده‌هایی با عمر طولانی هستند که قابلیت حفظ و توزیع دوباره آب حاصل از بارندگی را داشته و از جریان سطحی جلوگیری کرده یا آن را تغییر مسیر می‌دهند (Whitford and Duval, 2019)، همچنین ذرات خاک و مواد آلی را از رواناب جمع‌آوری کرده و منجر به تجمع منابع درون چشم‌انداز می‌شوند (Tongway, 2004b; Muñoz-Ludwig et al., 2005; Robles et al., 2011). لکه‌های گیاهی با افزایش چرخه مواد غذایی از طریق تجزیه لاشبرگ گیاهان انباشته شده یا ترشحات ریشه (Ávila-Puigdefábregas, 2005) (Valdés et al., 2019)، فعالیت میکروبی و رطوبت خاک، یا ایجاد میکروسایته‌ها برای حفاظت از گونه‌ها در برابر شرایط سخت اقلیمی و علفخواران چراکننده، نقش مهمی در حفظ عملکرد چشم‌انداز ایفا می‌کنند (Callaway, 1995; Maestre and Cortina, 2004). نسبت به فضا‌های بین لکه‌ای عملکرد بیشتری دارند (Bastin et al., 2002; Maestre and Puche, 2009). هرچه فراوانی و نسبت لکه‌های گیاهی کاهش و فضای بین لکه‌ای (خاک لخت) افزایش یابد، تجمع منابع درون چشم‌انداز نیز کاهش یافته و منجر به هدررفت منابع

می‌شود. همچنین، فضا‌های بین لکه‌ای کوتاه‌تر نشان‌دهنده آسیب‌پذیری کمتر خاک در برابر فرسایش است که این موضوع بیانگر پایداری بیشتر سطح خاک است (Reid et al., 1999; Schlesinger et al., 1999). از آنجا که اکوسیستم‌های مرتعی به لکه‌های مختلف تقسیم می‌شوند، روش تحلیل عملکرد چشم‌انداز (LFA) برای مقایسه ویژگی‌های لکه‌ها به‌کار می‌رود (Azimi et al., 2018). هدف از توصیف ساختار چشم‌انداز، تعیین الگوی مکانی تجمع یا هدررفت منابع از این اکوسیستم‌ها است. پوشش لکه‌های گیاهی نشان‌دهنده چگونگی حفظ آب و مواد غذایی در چشم‌اندازهای خشک و نیمه‌خشک است (Tongway and Ludwig, 1997). تنوع در الگوهای پوشش گیاهی در بین انواع لکه‌ها نیز می‌تواند تنوع عملکرد خاک را در مقیاس چشم‌انداز با تأثیرگذاری بر پویایی منبع - مخزن مانند فرایندهای ورودی - خروجی (رواناب) افزایش دهد (Maestre and Cortina, 2004; Garibotti et al., 2018; Saco et al., 2007). همچنین تخریب لکه‌های گیاهی به عنوان یکی از شاخص‌های وضعیت سلامت مرتع در نظر گرفته می‌شود (Azimi et al., 2018). روش LFA با استفاده از شاخص‌های سطح خاک، کارایی بالایی در تجزیه و تحلیل عملکرد مرتع داشته و یک مجموعه ساده، مقرون به صرفه و کاربردی برای تعیین ویژگی‌های عملکردی مرتع می‌باشد (Ding and Eldridge, 2021). در این روش برای ارزیابی سه ویژگی عملکردی شامل پایداری (توانایی خاک برای مقاومت در برابر فرسایش و میزان بازسازی آن بعد از وقوع آشفستگی)، نفوذپذیری (میزان نگهداشت آب در بین خاکدانه‌ها یا آب

در خاک‌های شنی و رسی مراتع نیمه‌خشک جنوب شرقی استرالیا نشان می‌دهند. [Molaeinasab](#) و همکاران (۲۰۲۱) تأثیر لکه‌های مختلف پوشش گیاهی بر عملکرد خاک را در پارک ملی و پناهگاه حیات وحش قمیشلو مطالعه کردند. نتایج آنان نشان داد بین لکه بوته‌ای و ناحیه بین لکه‌ای برای شاخص‌های نفوذپذیری و چرخه مواد مغذی اختلاف معنی‌داری وجود دارد اما برای پایداری خاک تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. لکه‌های بوته‌ای، درختچه‌ها و علفی‌ها کیفیت خاک و عملکرد اکوسیستم را به‌طور مؤثرتری نسبت به پهن‌برگان علفی و ناحیه بین لکه‌ای بهبود بخشیدند. از این‌رو، حفاظت از این لکه‌ها، راه‌حلی برای حفاظت از اکوسیستم‌های خشک و شکننده می‌باشد. در این میان، لکه‌های اکولوژیک به عنوان واحدهای عملکردی اساسی در ساختار مرتع، شاخص‌های مهمی برای ارزیابی تأثیر مدیریت و بهره‌برداری بر پایداری اکوسیستم محسوب می‌شوند ([Tongway and Hindley, 2004a](#)). سیاست‌های مدیریتی شامل قرق، حفاظت و بهره‌برداری کنترل‌شده می‌تواند بر ویژگی‌های فیزیکی و بیولوژیکی لکه‌های اکولوژیک تأثیر بگذارد و تغییرات ساختاری و عملکردی در آنها ایجاد کند ([Ludwig et al., 2005](#)). از سوی دیگر، روش تحلیل عملکرد چشم‌انداز (LFA) به عنوان ابزاری علمی و معتبر برای بررسی تأثیر مدیریت بر پایداری مرتع، امکان ارزیابی دقیق شاخص‌های سطح خاک و پایش روندهای تخریب یا بهبود اکوسیستم را فراهم می‌سازد ([Tongway and Hindley, 2004a](#)). پناهگاه حیات وحش موته به عنوان یکی از مهمترین اکوسیستم‌های مرتعی ایران با دارا بودن بیش از ۵۸۰ گونه گیاهی نقشی حیاتی در حفظ تنوع زیستی، پایداری اکولوژیکی و عملکردهای اکوسیستم ایفا می‌کند ([Asri, 2008](#)). مراتع این منطقه زیستگاه گونه‌های با ارزشی از حیات وحش مانند آهو، قوچ و میش و پرندگان شکاری است. با این حال، عوامل مدیریتی و فشارهای انسانی به‌ویژه چرای دام، بهره‌برداری بیش از حد از منابع طبیعی و تغییرات کاربری اراضی، تهدیداتی جدی برای ساختار و عملکرد این زیست‌بوم به

قابل استفاده برای گیاهان و مقدار از دست رفته از سیستم از طریق رواناب) و نیز چرخه عناصر غذایی (ترکیب چرخه مواد آلی و مواد غذایی و میزان بازگشت مواد آلی به خاک) از ۱۱ شاخص بصری ساده ارزیابی سطحی خاک استفاده شده است ([Maestre and Cortina, 2004](#)). این سه ویژگی جنبه‌های مختلف عملکرد اکوسیستم را خلاصه می‌کنند و به‌شدت با معیارهای کمی فرایندهای اکوسیستم مرتبط هستند ([Holm](#), 2002; [Rezaei et al., 2006](#); [Bartley et al., 2006](#)). ویژگی عملکردی چرخه عناصر غذایی به‌طور گسترده توسط مدیران اراضی در سراسر جهان برای به دست آوردن اطلاعات سریع و مقرون به صرفه در مورد وضعیت خاک و وضعیت مواد غذایی در اکوسیستم‌های زمینی استفاده می‌شود ([Eldridge and Delgado-Baquerizo, 2018](#)). مطالعات متعددی نشان داده‌اند که افزایش شدت چرای دام، به‌طور معنی‌داری موجب کاهش شاخص‌های عملکردی در روش LFA می‌شود و مناطق قرق و یا دارای چرای سبک نسبت به سایر مناطق دارای وضعیت بهتری هستند ([Mohebbi Kargar et al., 2016](#); [Rafigh et al., 2016](#); [Alilou et al., 2017](#); [Chamani et al., 2018](#)). برای نمونه، [Chamani](#) و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از مدل تحلیل عملکرد چشم‌انداز (LFA)، ویژگی‌های ساختاری و عملکردی لکه‌های اکولوژیک مراتع پارک ملی گلستان را در سطوح مختلف مدیریتی بررسی کردند. نتایج آنان نشان داد بیشتر خصوصیات ساختاری (میانگین طول لکه، تعداد لکه، میانگین عرض لکه، سطح کل، شاخص سطح لکه و شاخص سازمان‌یافتگی چشم‌انداز) و عملکردی به‌جز شاخص پایداری در منطقه پارک ملی بیشتر از منطقه حفاظت‌شده قرخود و منطقه بیلاقی اسپاخو است. [McDonald](#) و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از روش تحلیل عملکرد چشم‌انداز (LFA) گزارش کردند که لکه‌های گیاهی در مقایسه با فضاها بین لکه‌ای، مقادیر بالاتری از شاخص‌های پایداری، نفوذپذیری و چرخه مواد غذایی را

شمار می‌آیند (Moazam et al., 2020; Asri, 2008). در همین راستا، این مطالعه با هدف بررسی تأثیر سطوح مختلف شدت چرای دام بر ویژگی‌های ساختاری و عملکردی لکه‌های اکولوژیک در مراتع پناهگاه حیات وحش موته انجام شده است. یافته‌های این پژوهش می‌تواند به مدیران محیط‌زیست و سیاست‌گذاران در اتخاذ تصمیمات بهینه برای مدیریت پایدار مراتع کمک کند.

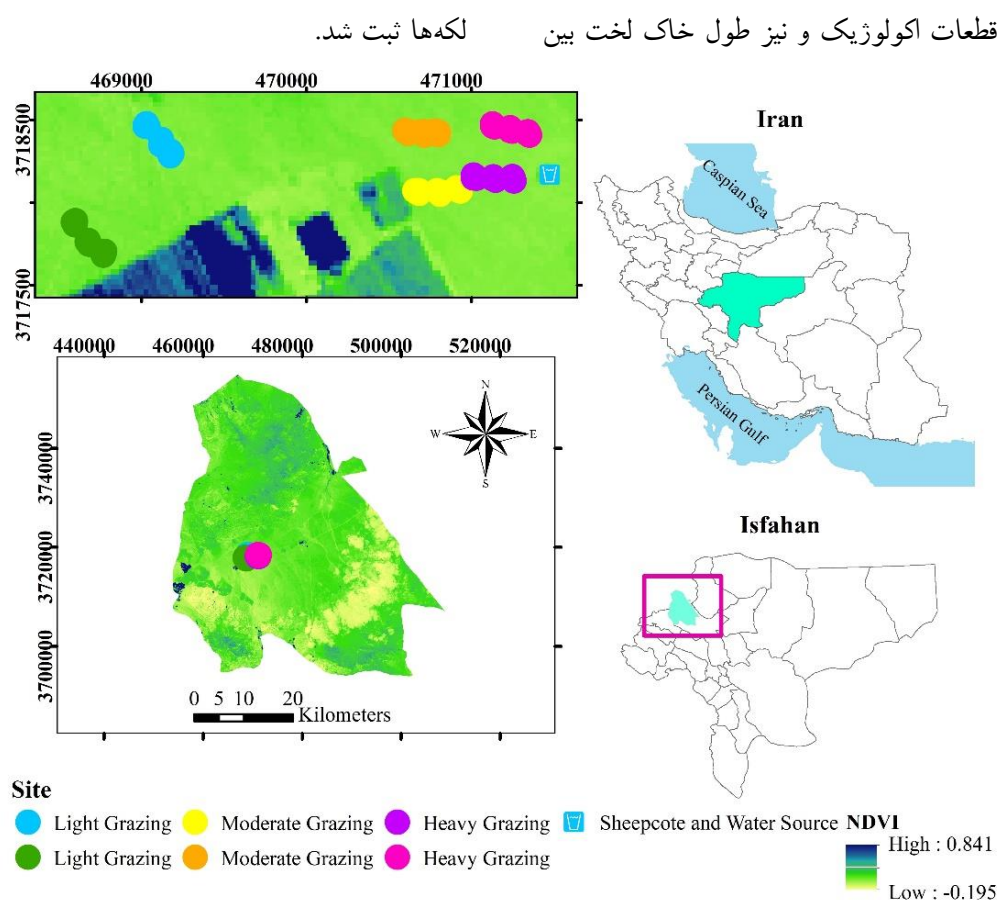
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

پناهگاه حیات وحش موته با وسعتی برابر ۲۰۴۰۰۰ هکتار بین مختصات جغرافیایی $50^{\circ}30'12''/95^{\circ}$ تا $51^{\circ}05'47''/16^{\circ}$ طول شرقی و $33^{\circ}23'11''/11^{\circ}$ تا $33^{\circ}56'22''/22^{\circ}$ عرض شمالی واقع شده است. این منطقه دارای حداقل ارتفاع ۱۴۹۷ و حداکثر ۲۸۹۱ متر از سطح دریای آزاد است. از نظر تقسیمات کشوری، این منطقه در شمال غربی استان اصفهان، شمال بخش میمه و جنوب غربی شهرستان دلیجان قرار دارد (شکل ۱). دامنه ارتفاعی محدوده مورد مطالعه در این پژوهش، ۱۸۵۰ تا ۱۹۵۰ متر است و با توجه به دشت مانند بودن آن دارای شیب کمتر از ۱۰ درصد می‌باشد. جهت غالب نیز شمالی است. میانگین بارندگی سالانه منطقه ۱۵۰ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت آن $14/52^{\circ}$ درجه سانتی‌گراد در سال است (پارامترهای اقلیمی دریافت شده از سازمان هواشناسی کشور). براساس دو اقلیم نمای گوسن و آمبرژه، این منطقه در قلمرو اقلیمی نیمه‌بیابانی و استپی سرد قرار گرفته است (Yaghmaei et al., 2009). نزدیک‌ترین ایستگاه به منطقه مورد مطالعه، ایستگاه سینوپتیک میمه است. پوشش گیاهی غالب منطقه مورد مطالعه شامل درمنه دشتی (*Artemisia sieberi* Besser)، گاو چاق‌کن (*Scariola orientalis* (Boiss.) Sojak)، علف‌بام (*Bromus tectorum* L.)، پنجه شیر (*Andrachne fruticulosa* Bioss.)، استپی بیابانی (*Stipa hohenackeriana* Trin. and Rupr.)، باد غلطانک

محاسبه شاخص‌های عملکردی روش تحلیل عملکرد چشم‌انداز

در طول گرادینت شدت چرای دام، سه مکان مرتعی که در بلندمدت تحت فشار چرای متفاوتی قرار داشته و در سایر ویژگی‌های محیطی و فیزیوگرافی مشابه بودند، انتخاب شدند (جدول ۱). با توجه به عدم دسترسی به داده‌های دقیق در مورد تعداد دام و مدت زمان استفاده از مرتع، تعیین شدت چرای دام در منطقه به صورت کیفی و با استفاده از شاخص‌هایی مانند فاصله از منابع آب، روستا و محل‌های استقرار دام (آغل) و سوابق بهره‌برداری انجام شد. این مکان‌های مرتعی شامل شدت چرای سبک، شدت چرای متوسط و شدت چرای سنگین می‌باشند (شکل ۲). در هر مکان مرتعی، ۲ منطقه معرف انتخاب و در هر منطقه سه ترانسکت حداقل ۳۰ متری با فاصله بیش از ۶۰ متر از یکدیگر برای تعیین حداقل تعداد ۳ تکرار از هریک از لکه‌ها و فضای بین لکه‌ای مستقر شد (Tongway and Hindley, 2018; McDonald et al., 2018). لکه‌های پوشش گیاهی و خاک لخت، ساختار هر چشم‌انداز را تشکیل می‌دهد. پس از استقرار ترانسکت‌ها، انواع لکه‌های گیاهی شامل بوته‌ای و کپه‌های گیاهی (گندمی + پهن‌برگ علفی) که به صورت توده‌ای در طول ترانسکت قرار دارند، شناسایی شدند. گونه‌های *Scariola orientalis*، *Artemisia sieberi*، *Astragalus glaucacanthos*، *Andrachne fruticulosa*، *Stachys inflata* و *Noaea mucronate* لکه‌های بوته‌ای و گونه‌های *Stipa hohenackeriana*، *Onopordon* و *Peganum harmala*، *acanthodes*، *leptolepis* کپه‌های گیاهی را تشکیل می‌دهند (شکل ۳). براساس دستورالعمل روش LFA بر روی هر ترانسکت،



شکل ۱- موقعیت پناهگاه حیات وحش موته در استان اصفهان و ایران

Figure 1- Location of the Mouteh Wildlife Refuge in Isfahan and Iran

فضای بین لکه‌ای، فضای خالی بین دو لکه گیاهی را می‌گویند که منابع به شکلی آزادانه‌تر می‌توانند جریان یابند و از دست بروند (Tongway and Hindley, 2008). حداقل اندازه قاعده گیاهان برای اندازه‌گیری لکه گیاهی، یک سانتی‌متر در نظر گرفته شد. عرض مانع با زاویه قائمه نسبت به خط ترانسکت و طول لکه نیز در امتداد خط ترانسکت اندازه‌گیری شد (Tongway and Hindley, 2004a). حداقل سه تکرار از هر نوع لکه و فضای بین لکه‌ای در امتداد هر ترانسکت ارزیابی شد (McDonald et al., 2018). سه ویژگی عملکردی شامل پایداری، نفوذپذیری و چرخه مواد غذایی، با استفاده از نرم‌افزار تحت اکسل LFA براساس داده‌های حاصل از نمونه‌برداری صحرایی (۱۱ شاخص سطح خاک) برای ۱۶۲ لکه و فضای بین لکه‌ای به دست آمد (جدول ۲).

فضای بین لکه‌ای، فضای خالی بین دو لکه گیاهی را می‌گویند که منابع به شکلی آزادانه‌تر می‌توانند جریان یابند و از دست بروند (Tongway and Hindley, 2008). حداقل اندازه قاعده گیاهان برای اندازه‌گیری لکه گیاهی، یک سانتی‌متر در نظر گرفته شد. عرض مانع با زاویه قائمه نسبت به خط ترانسکت و طول لکه نیز در امتداد خط ترانسکت اندازه‌گیری شد (Tongway and Hindley, 2004a). حداقل سه تکرار از هر نوع لکه و فضای بین لکه‌ای در امتداد هر ترانسکت ارزیابی شد (McDonald et al., 2018). سه ویژگی عملکردی شامل پایداری، نفوذپذیری و چرخه مواد غذایی، با استفاده از نرم‌افزار تحت اکسل LFA براساس داده‌های حاصل از نمونه‌برداری صحرایی (۱۱ شاخص سطح خاک) برای ۱۶۲ لکه و فضای بین لکه‌ای به دست آمد (جدول ۲).

جدول ۱- مشخصات مناطق مورد بررسی

Table 1- Characteristics of the studied areas

Characteristics	Light Grazing		Moderate Grazing		Heavy Grazing	
	Region 1	Region 2	Region 1	Region 2	Region 1	Region 2
Longitude first point- transect 1 – end point transect 3	50° 39' 58.32"	50° 39' 40.67"	50° 41' 1.35"	50° 40' 58.99"	50° 41' 15.04"	50° 41' 19.17"
	50° 40' 4.74"	50° 39' 48.21"	50° 41' 12.30"	50° 41' 7.27"	50° 41' 24.92"	50° 41' 28.55"
first point- Latitude transect 1 – end point transect 3	33° 36' 20.27"	33° 36' 7.16"	33° 36' 7.16"	33° 36' 19.17"	33° 36' 9.47"	33° 36' 19.51"
	33° 36' 14.22"	33° 35' 54.08"	33° 36' 7.85"	33° 36' 19.03"	33° 36' 8.96"	33° 36' 18.00"
Altitude - Study Area (m)	1858 - 1852	1857 - 1853	1869 - 1865	1869 - 1863	1874 - 1868	1869 - 1867
Slope - Study Area (%)	7.51 - 1.38	7.90 - 1.74	6.67 - 0.00	12.17 - 2.22	5.52 - 1.74	7.40 - 2.54
Aspect - Study Area	N	N	S	N	W	W
Dominant plant species	<i>Artemisia sieberi</i>	<i>Artemisia sieberi</i>	<i>Artemisia sieberi</i>	<i>Artemisia sieberi</i>	<i>Artemisia sieberi</i>	<i>Artemisia sieberi</i>
Companion plant species	<i>Scariola orientalis</i> , <i>Bromus tectorum</i> , <i>Stipa hohenackeriana</i>	<i>Bromus tectorum</i> , <i>Stipa hohenackeriana</i>	<i>Andrachne fruticulosa</i> , <i>Launaea acanthodes</i>	<i>Astragalus glaucacanthus</i> , <i>Bromus tectorum</i>	<i>Scariola orientalis</i> , <i>Peganum harmala</i>	<i>Scariola orientalis</i> , <i>Peganum harmala</i>
Vegetation cover (%)	17.733	16.378	11.056	13.122	4.633	10.533
Litter cover (%)	3.267	1.511	10.889	4.467	0.989	0.556
Bare soil (%)	71.233	68.833	47.611	64.700	67.656	53.672
Gravel and Ston (%)	7.767	13.278	30.444	17.711	26.722	35.239
Texture	sandy loam	sandy loam	sandy loam	sandy loam	sandy loam	sandy loam



a) Light Grazing



b) Moderate Grazing



c) Heavy Grazing

شکل ۲- نمای کلی سایت‌های اکولوژیک

Figure 2- An Overview of Ecological Sites



a) Interpatch Areas (Bare Soil)



b) Plant Patches (Grasses + Forb)



c) Shrub Patches

شکل ۳- نمایی از لکه‌ها و فضای بین لکه‌ای

Figure 3-An Overview of Ecological Patch and Interpatch Areas

شد ([Bihamta and Zare Chahouki, 2008](#)). تحلیل‌ها با استفاده از توابع aov و duncan.test در نرم‌افزار R انجام شدند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها برای مقایسه خصوصیات ساختاری و عملکردی لکه‌ها و نیز بررسی تفاوت بین شدت‌های مختلف چرای دام، از تجزیه واریانس یک‌طرفه (One-Way ANOVA) استفاده

جدول ۲- توصیف شاخص‌ها و ارتباط آنها با سه ویژگی عملکردی مرتع (Tongway and Hindley, 2004b)

Table 2- Description of indicators and their relationship with three functional features of rangeland (Tongway and Hindley, 2004b)

Indicators	description	Class	Stability	Infiltration	Nutrient Cycling
Rain-splash protection or (soil cover%)	Assessing projected perennial vegetation cover, woody material > 1 cm in diameter and rocks > 2 cm	5	■		
Perennial vegetation cover (%)	Estimating basal cover of perennial plant species and/or the density of canopy cover of trees and shrubs	4		■	■
Litter cover (%)	Assessing the amount, origin and degree of decomposition of plant litter	6	■	■	■
Cryptogam cover (%)	Assessing the cover percentage of cryptogams on the soil surface	4	■		■
Crust brokenness	Assessing the soil surface crust brokenness	4	■		
Soil erosion type and severity	Assessing the type and severity of recent various soil erosion	4	■		
Deposited materials	Assessing the nature and amount of transported alluvium sediments to query zone	4	■		
Soil surface roughness	Assessing the soil capacity to capture and retain mobile resources	5		■	■
Surface nature	Assessing the soil surface resistance to disturbance	5	■	■	
Slaking test	Assessing the stability of natural soil fragments to rapid wetting	4	■	■	
Soil texture	Classifying the soil surface texture	4		■	

نتایج

بررسی ویژگی‌های ساختاری لکه‌های اکولوژیک در شدت‌های مختلف چرای دام
نتایج تحلیل واریانس یک‌طرفه نشان داد که بین شدت‌های مختلف چرای دام از نظر ویژگی‌های ساختاری لکه‌های اکولوژیک تفاوت معنی‌داری وجود دارد. شاخص سازمان‌یافتگی (landscape organization index) ($P < 0.05$)، شاخص سطح لکه (patch area index) ($P < 0.001$)،

سطح کل لکه (total patch area) ($P < 0.001$)، میانگین طول لکه (total patch length) ($P < 0.05$) و میانگین عرض لکه (total patch width) ($P < 0.01$) در سطوح مختلف شدت چرای دام، اختلاف آماری معنی‌داری را نشان دادند. بیشترین میزان شاخص سازمان‌یافتگی (۰/۱۹۶)، تعداد لکه‌ها در هر ۱۰ متر (number of patches/10m) (۴/۴۴۴)، شاخص سطح لکه (۰/۰۱۵)، سطح کل لکه (۹/۲۴۲ مترمربع)، میانگین طول لکه (۵/۸۸۲)

length - max) (۴/۹۹۳ متر) نیز در همین منطقه مشاهده شد؛ در حالی که بیشترین مقادیر این متغیرها به منطقه دارای چرای سنگین تعلق داشت. منطقه با شدت چرای متوسط، از نظر بیشتر شاخص‌ها در حالت بینابینی قرار گرفته است (جدول ۳).

متر) و میانگین عرض لکه (۹۲۶/۰۰۰ سانتی‌متر) در منطقه با چرای سبک ثبت شد. همچنین کمترین میزان میانگین طول فضای بین لکه‌ای (average interpatch length) (۱/۸۷۹ متر)، میانگین حداقل طول فضای بین لکه‌ای (range interpatch length - min) (۰/۲۳۵ متر) و میانگین حداکثر طول فضای بین لکه‌ای (range interpatch)

جدول ۳- میانگین و اشتباه معیار ویژگی‌های ساختاری لکه‌های اکولوژیک در شدت‌های مختلف چرای دام

Table 3- Mean and Standard Error of Structural Characteristics of Ecological Patch under Different Livestock Grazing Intensities

Grazing Intensity			F	Structural Characteristics of Ecological Patch
Heavy Grazing	Moderate Grazing	Light Grazing		
2.764 ± 0.639 a	2.158 ± 0.305 a	1.879 ± 0.191 a	1.142 ns	Average Interpatch Length (m)
0.117 ± 0.026 b	0.117 ± 0.016 b	0.196 ± 0.009 a	6.119 *	Landscape Organization Index
3.500 ± 0.563 a	4.056 ± 0.434 a	4.444 ± 0.410 a	1.005 ns	Number of Patches/10m
0.006 ± 0.001 b	0.007 ± 0.001 b	0.015 ± 0.001 a	19.348 ***	Patch Area Index
3.304 ± 0.766 b	4.435 ± 0.761 b	9.242 ± 0.614 a	19.348 ***	Total Patch Area (m ²)
3.498 ± 0.787 b	3.513 ± 0.482 b	5.882 ± 0.265 a	6.119 *	Total Patch Length (m)
457.000 ± 78.994 b	683.333 ± 89.767 b	926.000 ± 63.354 a	9.013 **	Total Patch Width (cm)
0.708 ± 0.354 a	0.472 ± 0.104 a	0.235 ± 0.087 a	1.170 ns	Range Interpatch length - min (m)
6.593 ± 1.109 a	5.992 ± 0.318 a	4.993 ± 0.455 a	1.274 ns	Range Interpatch length - max (m)

***, **, *, and ns denote significant differences at the levels of 0.001, 0.01, and 0.05, respectively, as well as the absence of significant differences.

The variation in the English letters used in each row indicates significant differences in the values, while the uniformity of these symbols indicates no significant difference.

مقدار (به ترتیب ۱/۹۲۳ و ۴/۰۰۰) را داشت و این مقدار به طور معنی‌داری با مقادیر مشاهده شده در شدت‌های چرای متوسط و سبک متفاوت بود. شاخص پوشش نهان‌زادان (cryptogam cover (%)) ($P < 0.05$) در شدت چرای متوسط بیشترین مقدار (۱/۷۷۸) را نشان داد. همچنین، شاخص‌های نوع و شدت فرسایش (soil erosion type) (and severity) ($P < 0.01$) و پایداری در برابر رطوبت (slaking test) ($P < 0.01$) در منطقه چرای سبک امتیاز بالاتری (به ترتیب ۳/۳۵۷ و ۴/۲۸۶) را کسب کردند و اختلاف معنی‌داری با دیگر مناطق داشتند (جدول ۴).

امتیاز شاخص‌های سطح خاک

در هر سطح شدت چرای و برای انواع لکه‌های اکولوژیک، ۱۱ شاخص سطح خاک مرتبط با سه معیار ارزیابی پایداری، نفوذپذیری و چرخه مواد غذایی استخراج و نتایج آنها در جدول‌های ۴ تا ۶ ارائه شد. در فضاهای بین لکه‌ای (خاک لخت)، اغلب شاخص‌های سطح خاک بین سه شدت چرای دام تفاوت معنی‌داری نداشتند. با این حال، شاخص پوشش سطح خاک (rain-splash protection or (soil cover%)) ($P < 0.05$) و مواد رسوبی (deposited materials) ($P < 0.001$) در شدت چرای سنگین بیشترین

جدول ۴- مقایسه مقادیر برآورد شده شاخص‌های سطح خاک فضای بین لکه‌ای (خاک لخت) در شدت‌های مختلف چرای دام با استفاده از

روش LFA

Table 4- Comparison of Estimated Values of Soil Surface Indicators in Interpatch Areas (Bare Soil) under Different Livestock Grazing Intensities Using the LFA Method

Indicators	F	Grazing Intensity		
		Light Grazing	Moderate Grazing	Heavy Grazing
Rain-splash protection or (soil cover%)	4.025 *	1.357 ± 0.133 ^b	1.722 ± 0.135 ^{ab}	1.923 ± 0.137 ^a
Perennial vegetation cover (%)	-	2.000 ± 0.000 ^a	2.000 ± 0.000 ^a	2.000 ± 0.000 ^a
Litter Cover (simple) (%)	0.179 ^{ns}	1.214 ± 0.114 ^a	1.111 ± 0.111 ^a	1.154 ± 0.154 ^a
Litter cover, orig and incorp.	0.282 ^{ns}	4.845 ± 0.454 ^a	4.323 ± 0.463 ^a	4.604 ± 0.614 ^a
Cryptogam cover (%)	4.652 *	1.429 ± 0.532 ^a	1.778 ± 0.454 ^a	0.000 ± 0.000 ^b
Crust brokenness	1.334 ^{ns}	2.286 ± 0.125 ^a	2.111 ± 0.076 ^a	2.077 ± 0.077 ^a
Soil erosion type and severity	8.037 **	3.357 ± 0.133 ^a	3.000 ± 0.000 ^b	3.000 ± 0.000 ^b
Deposited materials	15.569 ***	3.929 ± 0.071 ^a	3.222 ± 0.152 ^b	4.000 ± 0.000 ^a
Soil surface roughness	1.608 ^{ns}	3.286 ± 0.266 ^a	3.667 ± 0.291 ^a	4.154 ± 0.421 ^a
Surface nature	0.000 ^{ns}	6.300 ± 0.000 ^a	6.300 ± 0.000 ^a	6.300 ± 0.000 ^a
Slaking test	7.849 **	4.286 ± 0.354 ^a	3.333 ± 0.362 ^a	2.000 ± 0.453 ^b
Soil texture	0.463 ^{ns}	2.571 ± 0.173 ^a	2.500 ± 0.121 ^a	2.692 ± 0.133 ^a

***, **, *, and ns denote significant differences at the levels of 0.001, 0.01, and 0.05, respectively, as well as the absence of significant differences.

The variation in the English letters used in each row indicates significant differences in the values, while the uniformity of these symbols indicates no significant difference.

جدول ۵- مقایسه مقادیر برآورد شده شاخص‌های سطح خاک کپه‌های گیاهی (گندمی + پهن‌برگ علفی) در شدت‌های مختلف چرای دام

با استفاده از روش LFA

Table 5- Comparison of Estimated Values of Soil Surface Indicators in Plant Patches (Grasses + Forbes) under Different Livestock Grazing Intensities Using the LFA Method

Indicators	F	Grazing Intensity		
		Light Grazing	Moderate Grazing	Heavy Grazing
Rain-splash protection or (soil cover%)	3.947 *	3.000 ± 0.258 ^{ab}	3.750 ± 0.479 ^a	2.000 ± 0.000 ^b
Perennial vegetation cover (%)	1.125 ^{ns}	5.333 ± 0.422 ^a	6.000 ± 1.155 ^a	4.000 ± 0.000 ^a
Litter cover (%)	1.421 ^{ns}	1.500 ± 0.224 ^a	1.750 ± 0.479 ^a	2.500 ± 0.500 ^a
Litter cover, orig and incorp.	1.421 ^{ns}	5.985 ± 0.892 ^a	6.983 ± 1.910 ^a	9.975 ± 1.995 ^a
Cryptogam cover (%)	11.605 **	2.333 ± 0.333 ^a	3.500 ± 0.500 ^a	0.000 ± 0.000 ^b
Crust brokenness	-	2.000 ± 0.000 ^a	2.000 ± 0.000 ^a	2.000 ± 0.000 ^a
Soil erosion type and severity	2.250 ^{ns}	3.500 ± 0.224 ^a	3.000 ± 0.000 ^a	3.000 ± 0.000 ^a
Deposited materials	1.000 ^{ns}	4.000 ± 0.000 ^a	3.750 ± 0.250 ^a	4.000 ± 0.000 ^a
Soil surface roughness	0.918 ^{ns}	2.667 ± 0.422 ^a	2.500 ± 0.500 ^a	4.000 ± 2.000 ^a
Surface nature	-	6.300 ± 0.000 ^a	6.300 ± 0.000 ^a	6.300 ± 0.000 ^a
Slaking test	1.577 ^{ns}	4.667 ± 0.843 ^a	3.500 ± 0.500 ^a	2.000 ± 2.000 ^a
Soil texture	1.125 ^{ns}	2.667 ± 0.211 ^a	3.000 ± 0.000 ^a	3.000 ± 0.000 ^a

***, **, *, and ns denote significant differences at the levels of 0.001, 0.01, and 0.05, respectively, as well as the absence of significant differences.

The variation in the English letters used in each row indicates significant differences in the values, while the uniformity of these symbols indicates no significant difference.

بیشتر شاخص‌های سطح خاک در کپه‌های گیاهی (گندمی + پهن‌برگ علفی) بین سه شدت چرایي اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. تنها در شاخص‌های پوشش سطح خاک (۳/۷۵۰) و پوشش نهان‌زادان (۳/۵۰۰)، منطقه با شدت چرای متوسط بیشترین مقدار را نشان داد که این تفاوت در مقایسه با دو منطقه دیگر از نظر آماری معنی‌دار بود (به ترتیب $P < 0.05$ و $P < 0.01$) (جدول ۵).

برخلاف دو حالت قبل، بیشتر شاخص‌های سطح خاک در لکه‌های بوته‌ای بین سه شدت چرایي اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نشان دادند. با افزایش شدت چرا، میزان شاخص پوشش سطح خاک ($P < 0.001$)، پوشش گیاهان چندساله

(perennial vegetation cover (%)) ($P < 0.05$)، شکستگی پوسته (crust brokenness) ($P < 0.05$)، نوع و شدت فرسایش ($P < 0.001$) و پایداری در برابر رطوبت ($P < 0.01$) کاهش یافتند، به گونه‌ای که بیشترین مقادیر مربوط به شدت چرای سبک (به ترتیب ۴/۰۰۰، ۷/۴۲۹، ۲/۳۵۷، ۳/۵۰۰ و ۵/۴۲۹) بود. در این بین، شدت چرای متوسط بیشترین میزان پوشش نهان‌زادان (۳/۸۵۷) و شدت چرای سنگین بیشترین میزان ناهمواری سطحی (soil surface roughness) (۳/۸۶۷) را به خود اختصاص دادند (به ترتیب $P < 0.001$ و $P < 0.01$) (جدول ۶).

جدول ۶- مقایسه مقادیر برآورد شده شاخص‌های سطح خاک لکه‌های بوته‌ای در شدت‌های مختلف چرای دام با استفاده از روش LFA
Table 6- Comparison of Estimated Values of Soil Surface Indicators in Shrub Patches under Different Livestock Grazing Intensities Using the LFA Method

Indicators	F	Grazing Intensity		
		Light Grazing	Moderate Grazing	Heavy Grazing
Rain-splash protection or (soil cover%)	9.941 ***	4.000 ± 0.148 ^a	2.929 ± 0.165 ^b	3.600 ± 0.190 ^a
Perennial vegetation cover (%)	5.575 **	7.429 ± 0.251 ^a	6.143 ± 0.254 ^b	6.000 ± 0.436 ^b
Litter cover (%)	2.387 ^{ns}	1.500 ± 0.139 ^a	2.000 ± 0.257 ^a	1.467 ± 0.165 ^a
Litter cover, orig and incorp.	2.387 ^{ns}	5.985 ± 0.553 ^a	7.980 ± 1.025 ^a	5.852 ± 0.659 ^a
Cryptogam cover (%)	72.866 ***	3.571 ± 0.374 ^a	3.857 ± 0.254 ^a	0.000 ± 0.000 ^b
Crust brokenness	4.438 **	2.357 ± 0.133 ^a	2.143 ± 0.097 ^{ab}	1.933 ± 0.067 ^b
Soil erosion type and severity	13.488 ***	3.500 ± 0.139 ^a	3.000 ± 0.000 ^b	3.000 ± 0.000 ^b
Deposited materials	7.494 **	4.000 ± 0.000 ^a	3.643 ± 0.133 ^b	4.000 ± 0.000 ^a
Soil surface roughness	6.037 **	2.429 ± 0.228 ^b	3.571 ± 0.309 ^a	3.867 ± 0.363 ^a
Surface nature	1.038 ^{ns}	6.464 ± 0.164 ^a	6.300 ± 0.000 ^a	6.300 ± 0.000 ^a
Slaking test	5.612 **	5.429 ± 0.609 ^a	3.714 ± 0.462 ^b	2.667 ± 0.667 ^b
Soil texture	0.124 ^{ns}	2.857 ± 0.097 ^a	2.786 ± 0.114 ^a	2.800 ± 0.107 ^a

***, **, *, and ns denote significant differences at the levels of 0.001, 0.01, and 0.05, respectively, as well as the absence of significant differences.

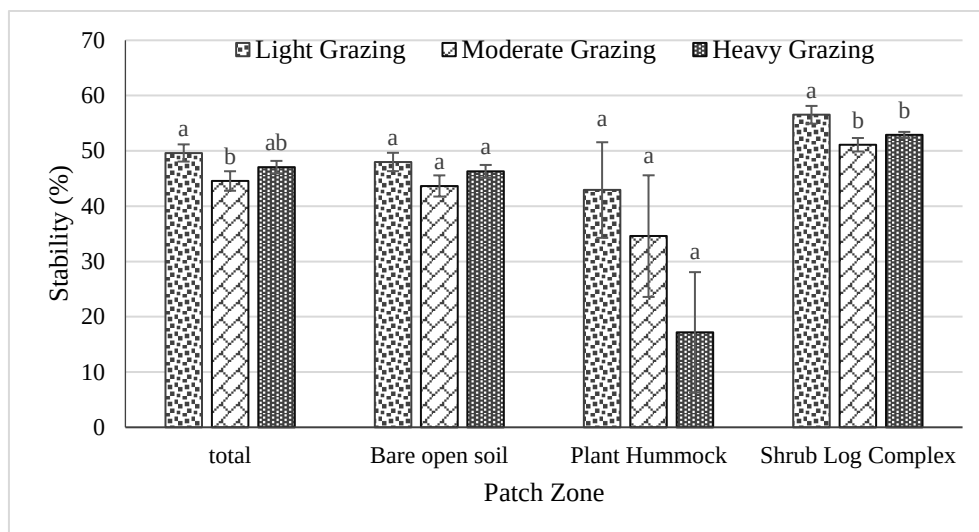
The variation in the English letters used in each row indicates significant differences in the values, while the uniformity of these symbols indicates no significant difference.

دارای اختلاف معنی‌دار بودند. چرای سبک بالاترین مقدار شاخص پایداری کل (۴۹/۶۱۹٪) و پایداری لکه‌های بوته ای (۵۶/۵۲۸٪) را دارا بود. با اینکه پایداری فضای بین لکه ای (خاک لخت) و لکه‌های کپه‌ای بین شدت‌های چرای مختلف دارای اختلاف معنی‌دار نبود، اما بیشترین مقدار آنها در منطقه با چرای سبک (به ترتیب ۴۷/۹۹۴٪ و

بررسی معیارهای ارزیابی برای هریک از قطعات اکولوژیک در شدت‌های مختلف چرای دام لکه‌های اکولوژیک موجود در محدوده مطالعاتی شامل کپه‌های گیاهی (گندمی + پهن‌برگ علفی)، بوته‌ای و خاک لخت بودند. نتایج نشان داد که شدت‌های مختلف چرای دام از لحاظ شاخص پایداری کل لکه‌های کپه‌ای و بوته‌ای

بیشترین میزان نفوذپذیری کل، فضای بین لکه‌ای (خاک لخت)، کپه‌های گیاهی و بوته‌ای (به ترتیب ۲۴/۳۵۱٪، ۲۳/۰۷۹٪، ۲۲/۶۵۱٪ و ۲۹/۷۰۰٪) مشاهده شد (شکل ۵).

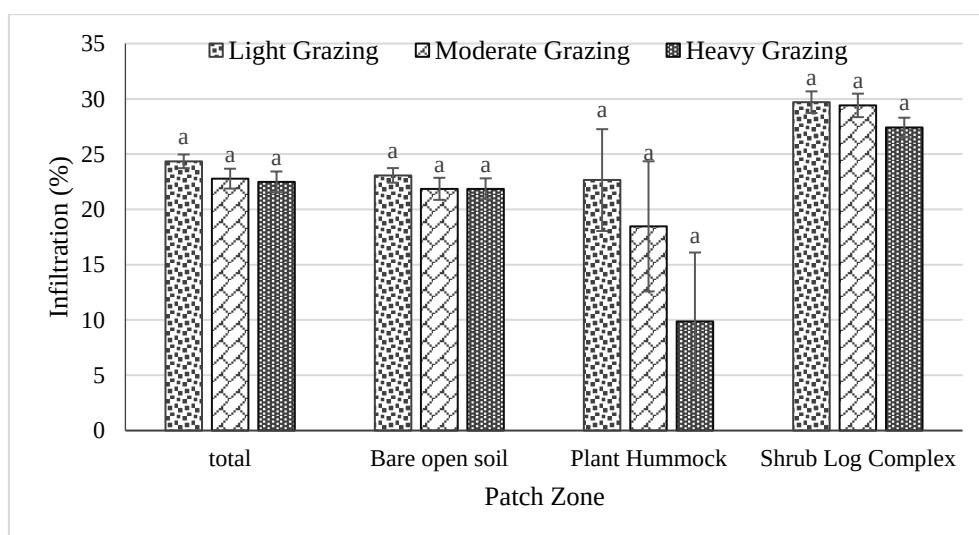
۴۲/۹۱۷٪) ثبت شد (شکل ۴). بررسی شاخص نفوذپذیری نیز نشان داد که بین لکه‌های اکولوژیک و فضای بین لکه‌ای در شدت‌های مختلف چرای دام تفاوت معنی‌دار وجود ندارد؛ اما در منطقه چرای سبک



شکل ۴- نمودار شاخص پایداری (٪) لکه‌های اکولوژیک

Figure 4- Stability Index (%) of Ecological Patches

The variation in the English letters used indicates significant differences in the values, while the uniformity of these symbols indicates no significant difference.



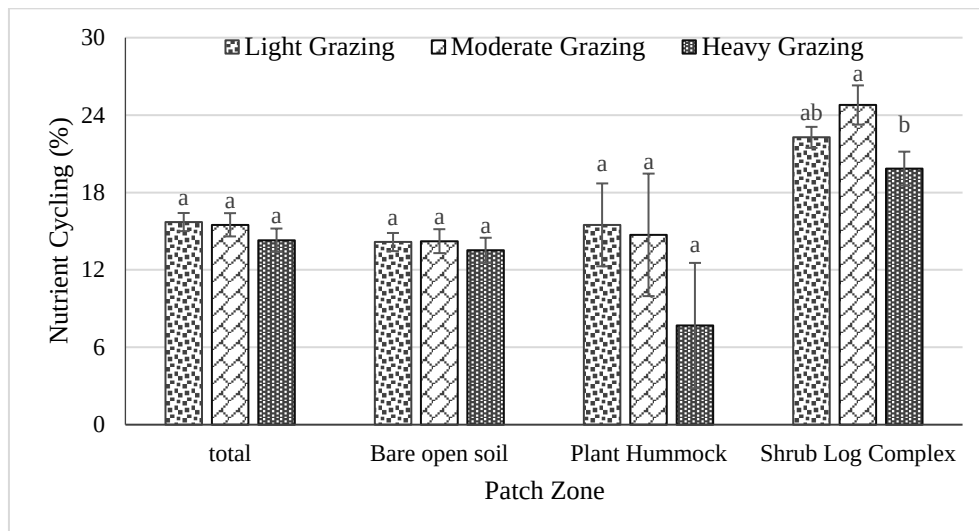
شکل ۵- نمودار شاخص نفوذپذیری (٪) لکه‌های اکولوژیک

Figure 5-Infiltration Index (%) of Ecological Patches

The variation in the English letters used indicates significant differences in the values, while the uniformity of these symbols indicates no significant difference.

چرای مختلف دارای اختلاف معنی‌دار نبود، اما بیشترین مقدار آنها در منطقه با چرای سبک (به ترتیب ۱۵/۷۰۷٪ و ۱۵/۴۹۰٪) ثبت شد. همچنین چرای متوسط بیشترین مقدار چرخه مواد غذایی فضای بین لکه‌ای (خاک لخت) (۱۴/۲۲۶٪) را داشت (شکل ۶).

نتایج نشان داد که شدت‌های مختلف چرای دام از لحاظ شاخص چرخه مواد غذایی لکه‌های بوته‌ای دارای اختلاف معنی‌دار بودند. چرای متوسط بالاترین مقدار شاخص چرخه مواد غذایی لکه‌های بوته‌ای (۲۴/۷۸۴٪) را دارا بود. با اینکه چرخه مواد غذایی کل و لکه‌های کپه‌ای بین شدت‌های



شکل ۶- نمودار شاخص چرخه مواد غذایی (٪) لکه‌های اکولوژیک

Figure 6- Nutrient Cycling Index (%) of Ecological Patches

The variation in the English letters used indicates significant differences in the values, while the uniformity of these symbols indicates no significant difference.

که چرای دام از طریق تخریب پوشش گیاهی و ایجاد آشفتگی در چشم‌انداز، ویژگی‌های ساختاری لکه‌های اکولوژیک را تضعیف و ویژگی‌های فضای بین لکه‌ای را افزایش داده است. فاصله‌های خالی بزرگ‌تر بین لکه‌ها باعث کاهش عملکرد اکوسیستم در نگهداشت آب و مواد مغذی می‌شود. یافته‌های این مطالعه نشان داد که چرای دام باعث کوچک شدن لکه‌های گیاهی شده که خود منجر به فرسایش خاک و کاهش کارایی اکولوژیکی، کاهش پیوستگی و عملکرد لکه‌ها در جذب و نگهداری منابع می‌شود. همچنین کاهش واضح و معنادار سطح کلی لکه‌ها در شدت چرای شدید نشان‌دهنده از دست رفتن پوشش گیاهیست. کاهش معنادار شاخص سازمان‌یافتگی نیز با افزایش چرا بیانگر کاهش توانمندی و قابلیت اکوسیستم در

بحث

لکه‌های اکولوژیک، عناصر کلیدی در اکوسیستم‌های مرتعی به‌شمار می‌روند و نقش مهمی در حفظ پایداری، نفوذپذیری و چرخه عناصر غذایی خاک ایفا می‌کنند. تغییر در پوشش گیاهی مراتع، مستقیماً بر ویژگی‌های عملکردی خاک تأثیر می‌گذارد (Yari and Heshmati, 2016). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که شدت و مدیریت چرای دام می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی این ویژگی‌ها را تحت تأثیر قرار دهد (Alilou et al., 2017). با افزایش شدت چرا، ویژگی‌های ساختاری لکه‌های اکولوژیک مانند فاصله بین لکه‌ها، افزایش می‌یابد و شاخص سازمان‌یافتگی، تعداد لکه‌ها در ۱۰ متر، سطح لکه‌ها، سطح کل لکه‌ها، میانگین طول لکه‌ها و میانگین عرض لکه‌ها کاهش می‌یابد. این نتایج نشان می‌دهد

شدت چرای سنگین است. نتایج محققان دیگر که ویژگی‌های ساختاری لکه‌های اکولوژیک را در سطوح مختلف مدیریتی در مراتع کوهستانی خوی (Alilou et al., 2017) و پارک ملی گلستان (Chamani et al., 2018) بررسی کرده‌اند، با این نتایج همخوانی دارد. براساس یافته‌های این پژوهش، تفاوت معنی‌داری در مقادیر پایداری، نفوذپذیری و چرخه مواد غذایی کل در شدت‌های مختلف چرای دام مشاهده نشد؛ هرچند در چرای سبک، مقادیر این شاخص‌ها به‌طور نسبی بالاتر بود. پناهگاه حیات‌وحش موته که در قلمرو اقلیمی نیمه‌بیابانی و استپی سرد واقع شده، تحت تأثیر محدودیت‌های اکولوژیک ناشی از کمبود رطوبت و پراکنش نامتوازن بارش قرار دارد. نتایج شاخص‌های LFA برای کل اکوسیستم (شامل لکه‌ها و فضا‌های بین لکه‌ای) نشان داد که این مقادیر عمدتاً تحت تأثیر عملکرد مناطق بین لکه‌ای یا همان خاک لخت قرار دارند (Heidari Ghahfarrokhi et al., 2024). از آنجا که بین این سه ویژگی در فضا‌های بین لکه‌ای تفاوت معنی‌داری مشاهده نشده، می‌توان نتیجه گرفت که بخش عمده عدم تفاوت معنی‌دار این شاخص‌ها در مقیاس اکوسیستم، به عملکرد پایین و یکنواخت خاک‌های فاقد پوشش گیاهی بازمی‌گردد (Bastin et al., 1993; Rezaei et al., 2006). به بیان دیگر، خاک لخت به دلیل نبود حفاظت توسط تاج‌پوشش گیاهی، در معرض فرسایش بادی و آبی، کاهش نفوذپذیری، کاهش ماده آلی و کاهش فعالیت میکروبی قرار دارد (Ludwig et al., 1997; Tongway and Hindley, 2008). این شرایط منجر به ثبت کمترین مقادیر عملکرد در شاخص‌های پایداری و چرخه عناصر غذایی می‌شود. از این‌رو، حفاظت از عرصه با استفاده از پوشش گیاهی بومی سازگار یکی از مؤثرترین راهبردها برای بهبود عملکرد اکولوژیکی و ارتقای سلامت خاک در این زیست‌بوم‌های شکننده است (Eldridge et al., 2011; Whitford and Duval, 2019). نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که لکه‌های بوته‌ای نسبت به کپه‌های گیاهی (گندمی + پهن‌برگ علفی) و خاک لخت مقادیر بالاتری را از پایداری، نفوذپذیری و چرخه مواد غذایی کل

نشان داده‌اند. این موضوع احتمالاً به اثرهای مثبت گونه درمنه دشتی (*Artemisia sieberi*) بازمی‌گردد. این گیاه یکی از گونه‌های غالب در بسیاری از مراتع خشک و نیمه‌خشک ایران است که به‌دلیل ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی خود، تأثیر بسزایی بر معیارهای ارزیابی لکه‌های بوته‌ای دارد. Azimi و همکاران (۲۰۱۸) نیز به نقش مثبت لکه‌های اکولوژیک متشکل از *Agropyron intermedium* و *Artemisia aucheri* به دلیل دارا بودن تاج پوشش گسترده و خوابیدن روی زمین و سیستم ریشه‌ای قوی و عمیق آنها بر پایداری، نفوذپذیری و چرخه مواد غذایی خاک مناطق نیمه استپی اشاره نموده و این دو گونه را عامل مهمی در حفظ و ترسیب ذرات خاک معرفی کرده‌اند (Mahdavi and Esmaili, 1973; Noy-Meir, 2015; Mirdavoudi et al., 2022). Saffariha و همکاران (۲۰۱۴) نیز بیان کردند که در مناطقی که گونه *Artemisia sieberi* جزو گونه‌های غالب منطقه باشد، میزان ماده آلی، نیتروژن و فسفر خاک در مناطق حفاظت‌شده افزایش یافته است که نشان‌دهنده بهبود چرخه مواد غذایی می‌باشد. همچنین هرچه ساختار لکه گیاهی بزرگ‌تر باشد، میزان پایداری آن در برابر عوامل مخرب محیطی و مدیریتی بالاتر است (Mohebbi and Heshmati, 2017). این موضوع به ویژه در شدت چرای سبک و متوسط بیشتر مشاهده شده، زیرا فشار کمتر چرای دام فرصت بازیابی ساختار لکه‌ها را فراهم می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که سلامت و پایداری اکولوژیکی مراتع تحت تأثیر مدیریت انسانی و تغییرات اکوسیستمی قرار دارد (Rahimi Balkanlou et al., 2016). مدیریت مراتع، به‌ویژه در مناطق خشک، نقش کلیدی در بهبود ویژگی‌های ساختاری و عملکردی لکه‌های اکولوژیک دارد. عوامل مختلفی مانند چرای دام، عملیات بیولوژیک و تغییرات پوشش گیاهی می‌توانند تأثیرات مثبت یا منفی بر این لکه‌ها داشته باشند. افزایش پوشش گیاهی به‌ویژه با ساختار بوته‌ای به همراه گیاهان گندمی و علفی پهن‌برگ منجر به مدیریت بهتر و افزایش ویژگی‌های عملکردی مراتع خواهد شد (Yari and Heshmati, 2016). از خصوصیات

پناهگاه حیات وحش موته باید با دقت و براساس اصول علمی انجام گردد تا از تخریب لکه‌های اکولوژیک و کاهش عملکرد اکوسیستم جلوگیری شود. این موضوع نیازمند برنامه‌ریزی دقیق و نظارت مستمر بر فعالیتهای چرای در این منطقه است. بنابراین، چرای سبک باعث حفظ ساختار منظم، وسعت و یکپارچگی لکه‌ها می‌شود.

عملکردی و ساختاری می‌توان به عنوان هشدارهای اولیه برای تعیین تخریب مرتع استفاده کرد و از این طریق، اقدامات لازم را برای جلوگیری از شدت تخریب یا بهبود شرایط فراهم نمود (Chamani et al., 2018). با توجه به این مطالعات، می‌توان نتیجه گرفت که مدیریت چرای دام در

References

- Alilou, F., Keivan Behjou, F., Sheidae karkaj, E., Ahmadkhani, R. and Motamedi, J., 2017. Surveying effect of livestock grazing management on functional and structural characteristics of ecosystem in khoy mountain rangelands. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 24(3): 596-609. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2017.113367> (In Persian)
- Asri, Y., 2008. Plant diversity in Mouteh Refuge, Iran. *Rostaniha*, 9(1): 25-48. https://rostaniha.areeo.ac.ir/article_101716.html?lang=fa (In Persian)
- Ávila-Valdés, A., Piper, F.I. and Zúñiga-Feest, A., 2019. Cluster root formation and function vary in two species with contrasting geographic ranges. *Plant and Soil*, 440(1): 25-38. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04056-3>
- Azimi, R., Heshmati, G.A., Kianian, M.K., Hossein Jafari, S. and Zakeri, D., 2018. Role of plant species and ecological patches in conserving and fixing natural lands' soil using landscape functional analysis (LFA)(Case study: Dehbar rangeland, Torghabeh, Mashhad, Iran). *Journal of Rangeland Science*, 8(2): 166-175. <https://oiccpres.com/jrs/article/view/2657>
- Bartley, R., Roth, C.H., Ludwig, J., McJannet, D., Liedloff, A., Corfield, J., Hawdon, A. and Abbott, B., 2006. Runoff and erosion from Australia's tropical semi-arid rangelands: Influence of ground cover for differing space and time scales. *Hydrological Processes: An International Journal*, 20(15): 3317-3333. <https://doi.org/10.1002/hyp.6334>
- Bastin, G., Pickup, G., Chewings, V. and Pearce, G., 1993. Land Degradation Assessment in Central Australia Using a Grazing Gradient Method. *The Rangeland Journal*, 15(2): 190-216. <https://doi.org/10.1071/RJ9930190>
- Bastin, G.N., Ludwig, J.A., Eager, R.W., Chewings, V.H. and Liedloff, A.C., 2002. Indicators of landscape function: comparing patchiness metrics using remotely-sensed data from rangelands. *Ecological Indicators*, 1(4): 247-260. [https://doi.org/10.1016/S1470-160X\(02\)00009-2](https://doi.org/10.1016/S1470-160X(02)00009-2)
- Bihamta, M.R. and Zare Chahouki, M.A., 2008. Principles of statistics for the natural resources science. University of Tehran Press, First Edition, 300 p. (In Persian)
- Callaway, R.M., 1995. Positive interactions among plants. *The Botanical Review*, 61(4): 306-349. <https://doi.org/10.1007/BF02912621>
- Chamani, A., Akbarlo, M., Sepehri, A., Mesdaghi, M. and Mazandarani, M., 2018. Investigating structural and functional features of ecological patches rangelands in several levels of management in National Golestan Park, Ghorkhond. *Plant Ecosystem Conservation*, 6(12): 23-38. <http://pec.gonbad.ac.ir/article-1-407-en.html> (In Persian)
- Ding, J. and Eldridge, D.J., 2021. Climate and plants regulate the spatial variation in soil multifunctionality across a climatic gradient. *Catena*, 201: 105233. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105233>
- Ebrahimi, M., Arab, M. and Ajorloo, M., 2014. Effects of Enclosure on Ecological Indexes of Rangeland Health Using Landscape Function Analysis Method (Case Study: Jiroft Jbalbareh Rangeland). *Journal of Rangeland*, 8(3): 261-271. <http://rangelandsrm.ir/article-1-152-en.html> (In Persian)
- Eldridge, D.J., Bowker, M.A., Maestre, F.T., Roger, E., Reynolds, J.F. and Whitford, W.G., 2011. Impacts of shrub encroachment on ecosystem structure and functioning: towards a global synthesis. *Ecology Letters*, 14(7): 709-722. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2011.01630.x>
- Eldridge, D.J. and Delgado-Baquerizo, M., 2018. Grazing reduces the capacity of Landscape Function Analysis to predict regional-scale nutrient

- availability or decomposition, but not total nutrient pools. *Ecological Indicators*, 90: 494-501. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.03.034>
- Garibotti, I.A., Gonzalez Polo, M. and Tabeni, S., 2018. Linking biological soil crust attributes to the multifunctionality of vegetated patches and interspaces in a semiarid shrubland. *Functional Ecology*, 32(4): 1065-1078. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13044>
- Heidari Ghahfarrokhi, Z., Tahmasebi, P. and Naghipour, A.A., 2024. Relationship Between Plant Diversity and Functional Diversity Indices with Landscape Function Analysis (LFA) Functionalities. *Journal of Rangeland*, 18(1): 132-151. <http://rangelandsrm.ir/article-1-1239-en.html> (In Persian)
- Holm, A.M., Bennett, L.T., Loneragan, W.A. and Adams, M.A., 2002. Relationships between empirical and nominal indices of landscape function in the arid shrubland of Western Australia. *Journal of Arid Environments*, 50(1): 1-21. <https://doi.org/10.1006/jare.2001.0856>
- Kargar, M., Jafarian, Z. and Ehsani, M., 2016. The Effect of Grazing on Soil Surface Indicators Using Landscape Function Analysis (LFA) method (Case Study: Dona rangelands, Siah Bisheh Watershed). *Journal of Range and Watershed Management*, 69(3): 691-698. <https://doi.org/10.22059/jrwm.2016.61510> (In Persian)
- Ludwig, J.A. and Tongway, D.J., 1995. Spatial organisation of landscapes and its function in semi-arid woodlands, Australia. *Landscape Ecology*, 10(1): 51-63. <https://doi.org/10.1007/BF00158553>
- Ludwig, J.A., Tongway, D.J., Freudenberger, D.O., Noble, J.C. and Hodgkinson, K.C., 1997. *Landscape ecology, function and management: principles from Australia's rangelands*. CSIRO Publishing, Collingwood, 326 p.
- Ludwig, J.A., Wilcox, B.P., Breshears, D.D., Tongway, D.J. and Imeson, A.C., 2005. Vegetation patches and runoff-erosion as interacting ecohydrological processes in semiarid landscapes. *Ecology*, 86(2): 288-297. <https://doi.org/10.1890/03-0569>
- Maestre, F.T. and Cortina, J., 2004. Insights into Ecosystem Composition and Function in a Sequence of Degraded Semiarid Steppes. *Restoration Ecology*, 12(4): 494-502. <https://doi.org/10.1111/j.1061-2971.2004.03106.x>
- Maestre, F.T. and Puche, M.D., 2009. Indices based on surface indicators predict soil functioning in Mediterranean semi-arid steppes. *Applied Soil Ecology*, 41(3): 342-350. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2008.12.007>
- Mahdavi, S.K. and Esmaili, M., 2015. Investigation of Carbon Sequestration Potential in Four Species Including *Atriplex canescens*, *Haloxylon persicum*, *Artemisia sieberi* and *Agropyron desertorum* (Case Study: Zarandieh, Saveh, Iran). *Journal of Rangeland Sciences*, 5(2): 135-142. <https://oiccpres.com/jrs/article/view/2538>
- McDonald, S.E., Reid, N., Waters, C.M., Smith, R. and Hunter, J., 2018. Improving ground cover and landscape function in a semi-arid rangeland through alternative grazing management. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 268: 8-14. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.08.021>
- Mirdavoudi, H., Ghorbanian, D., Zarekia, S., Soleiman, J.M., Ghonchehpur, M., Sweeney, E.M. and Mastinu, A., 2022. Ecological Niche Modelling and Potential Distribution of *Artemisia sieberi* in the Iranian Steppe Vegetation. *Land*, 11(12): 2315. <https://doi.org/10.3390/land11122315>
- Moazam, F., Bashari, H. and Jafari, R., 2020. Effects of livestock and wildlife grazing on species diversity indices in a cold Steppe region of Isfahan Province. *Journal of Rangeland*, 14(1): 120-131. <http://rangelandsrm.ir/article-1-871-en.html> (In Persian)
- Mohebbi, S., Dianati Tilaki, G.A. and Abedi, M., 2016. Applying Landscape Function Analysis Method in Order to Assess the Ecological Function of Plant Patches in Rangeland Management Treatments (Pilot: Kojour Noshahr Rangelands). *Journal of Range and Watershed Management*, 69(1): 187-199. <https://doi.org/10.22059/jrwm.2016.61743> (In Persian)
- Mohebbi, Z. and Heshmati, G.A., 2017. Effect of different patches on qualitative Indexes of soil surface (erosion, sedimentation, etc.) using Landscape Function Analysis (LFA) (Case study: Faraman Rangeland, Kermanshah). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 24(3): 560-569. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2017.113365> (In Persian)
- Molaeinasab, A., Bashari, H., Mosaddeghi, M.R. and Tarkesh Esfahani, M., 2021. Effects of Different Vegetation Patches on Soil Functionality in the Central Iranian Arid Zone. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21(2): 1112-1124. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00426-y>
- Muñoz-Robles, C., Reid, N., Tighe, M., Briggs, S.V. and Wilson, B., 2011. Soil hydrological and erosional responses in patches and inter-patches in vegetation states in semi-arid Australia. *Geoderma*, 160(3-4): 524-534.

- <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.10.024>
- Noy-Meir, I., 1973. Desert Ecosystems: Environment and Producers. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4: 25-51. <http://www.jstor.org/stable/2096803>
- Puigdefábregas, J., 2005. The role of vegetation patterns in structuring runoff and sediment fluxes in drylands. *Earth Surface Processes and Landforms*, 30(2): 133-147. <https://doi.org/10.1002/esp.1181>
- Rafigh, E., Naseri, K., Mesdaghi, M. and Melati, F., 2017. An investigation on spacial heterogeneity of rangeland ecosystems function caused by different grazing intensity and geographical aspects. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 24(3): 547-559. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2017.113362> (In Persian)
- Rahimi Balkanlou, K., Ghorbani, M., Jafari, M. and Tavili, A., 2016. Evaluation and comparison of ecological health in three arid rangeland using Landscape Function Analysis (LFA) (Case study: Kalateh Roudbar, Damghan). *Desert Management*, 4(7): 35-45. <https://doi.org/10.22034/jdmal.2016.22242> (In Persian)
- Reid, K.D., Wilcox, B.P., Breshears, D.D. and MacDonald, L., 1999. Runoff and erosion in a Piñon-Juniper woodland influence of vegetation patches. *Soil Science Society of America Journal*, 63(6): 1869-1879. <https://doi.org/10.2136/sssaj1999.6361869x>
- Rezaei, S.A., Arzani, H. and Tongway, D., 2006. Assessing rangeland capability in Iran using landscape function indices based on soil surface attributes. *Journal of Arid Environments*, 65(3): 460-473. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.08.003>
- Saco, P.M., Willgoose, G.R. and Hancock, G.R., 2007. Eco-geomorphology of banded vegetation patterns in arid and semi-arid regions. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(6): 1717-1730. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1717-2007>
- Saffariha, M., Azarnivand, H., Tavili, A. and Khani, H.M., 2014. Investigation effects of rangeland exclosure on some soil properties in *Artemisia sieberi*, *Stipa hohenacheriana* and *Salsola rigida* habitats (case study: Roodshoor, Saveh, Iran). *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES)*, 4(1): 195-204. <http://www.innsupub.net>
- Schlesinger, W.H., Abrahams, A.D., Parsons, A.J. and Wainwright, J., 1999. Nutrient losses in runoff from grassland and shrubland habitats in Southern New Mexico: I. Rainfall simulation experiments. *Biogeochemistry*, 45: 21-34. <https://doi.org/10.1007/BF00992871>
- Tongway, D.J. and Hindley, N.L., 2004a. Landscape function analysis: a system for monitoring rangeland function. *African Journal of Range and Forage Science*, 21(2): 109-113. <https://doi.org/10.2989/10220110409485841>
- Tongway, D.J. and Hindley, N.L., 2004b. Landscape function analysis: procedures for monitoring and assessing landscapes with special reference to minesites and rangelands. *CSIRO Sustainable Ecosystems*, 82 p.
- Tongway, D.J. and Hindley, N.L., 2008. Landscape function analysis: procedures for monitoring and assessing landscapes (Heshmati, G., Naseri, K., and Ghanbarian, G., Trans.). *jdmppress*, 112 p. (In Persian)
- Tongway, D.J. and Ludwig, J.A. 1997. The conservation of water and nutrients within landscapes. Chapter 2. In Ludwig, J.A., Tongway, D.J., Freudenberger, D., Noble, J., and Hodgkinson, K. (Eds.), *Landscape Ecology, Function and Management: Principles from Australia's Rangelands*. CSIRO Publishing, Canberra, Australia, pp. 13-22.
- Whitford, W.G. and Duval, B.D., 2019. *Ecology of desert systems* (2 ed.). Academic Press, 473 p.
- Yaghmaei, L., Soltani, S. and Khodaghali, M., 2009. Bioclimatic classification of Isfahan province using multivariate statistical methods. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 29(12): 1850-1861. <https://doi.org/10.1002/JOC.1835>
- Yari, R. and Heshmati, G.A., 2016. Investigating the effect of rangelands structure on the surface indicators and soil functional attributes in arid and semi-arid areas. *Plant Ecosystem Conservation*, 3(7): 29-39. <http://pec.gonbad.ac.ir/article-1-195-en.html> (In Persian)
- Zhang, G. and Hu, J., 2019. Effects of patchy distributed *Artemisia capillaris* on overland flow hydrodynamic characteristics. *International Soil and Water Conservation Research*, 7(1): 81-88. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.12.003>