

Evaluation of planting of the species *Nitraria schoberi* to combat desertification on the western shore of Lake Urmia using the ecosystem multi-functional index

Javad Motamedi^{1*} , and Esmail Sheidai-Karkaj²

1*-Corresponding author, Associate Professor, Rangeland Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran, E-mail: motamedi@rifr-ac.ir

2- Associate Professor, Range and Watershed Department, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

Received: 06/01/2024

Revised: 08/10/2025

Accepted: 08/16/2025

Published: 09/29/2025

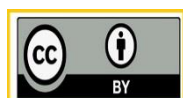
Abstract

Background and objectives

Various indicators are used to assess, evaluate, and quantify the effectiveness of desertification control projects. One of the newer and more comprehensive indicators is the ecosystem multi-functionality index. Ecosystem multifunctionality emphasizes that ecosystems simultaneously provide multiple functions and services, and that their integrated, comprehensive assessment offers a much greater advantage than examining each function individually. This index reflects each ecological site's overall ability to sustain high levels of multiple ecosystem processes simultaneously. A higher numerical value for this index indicates that desertification control operations, particularly through the planting of different plant species, have produced an additive and synergistic effect on ecosystem functioning. The present study introduced and applied this index to assess the effectiveness of desertification control projects at different ecological zones located along the soil salinity gradient on the western margin of Lake Urmia.

Methodology

Initially, 12 sites across three ecological zones were selected along a 1500-meter gradient. At each site, fifteen 2-m² grid plots were established along a 150-meter transect at 10-meter intervals, and the canopy cover and aerial biomass of understory plants were measured within these plots. Additionally, along each transect, 15 stands of the species *Nitraria schoberi*, planted in 10-m² grids since 2013 as part of desertification control efforts, were identified, and their plant traits were recorded as ecosystem-related characteristics. Soil samples were also collected along each transect at the beginning, middle, and end points, from a depth of 20 cm, to evaluate the relationship between the distribution of understory vegetation and the plant traits of *N. schoberi* stands with soil properties. Redundancy Analysis (RDA) was then used to investigate the relationships between *N. schoberi* plant traits, understory vegetation attributes, habitat characteristics, and the spatial distribution of sites in the soil-parameter space. To calculate the ecosystem multi-functionality index, ecological data in all sites were normalized across all variables, and standardized scores were integrated and averaged to obtain the final multi-functionality value. After calculating the index for each site, its correlation with soil characteristics was examined, and the most influential variables determining the index values were identified. The index across the ecological zones were also compared to determine the superior zone in terms of ecosystem multi-functionality.



Results

According to the results, the values of plant traits in *N. schoberi* stands increased along the salinity gradient from the first zone (farthest from the salinity focus) to the third zone (closest to the salinity focus). However, the percentage of dry stands, the values of understory vegetation attributes, and the rangeland condition class were higher in the first zone than in the third zone. Consequently, the magnitude of the ecosystem multi-functionality index—derived from the magnitude of plant traits—increased progressively from the first to the third zone. As the salinity focus was approached, the values of Sand, Mg, and Ca increased, whereas Clay, N, OM, and Silt increased in the opposite direction. Bulk density (BD) and bicarbonate (HCO_3^-) did not play a significant role in distinguishing sites along the salinity gradient. The ecosystem multi-functionality index exhibited the strongest positive correlation with the percentage of sand, sodium, sodium adsorption ratio, and exchangeable sodium percentage—variables aligned with the ecological requirements of *N. schoberi*. Therefore, *N. schoberi* grew more successfully in the third ecological zone, where soils were sandy and light-textured. The index showed the strongest negative correlation with percentages of silt, organic carbon, and available phosphorus. Thus, in the first and second ecological zones, where soils were clayey and heavy, *N. schoberi* exhibited reduced growth and smaller plant-trait values. As a result, the multi-functionality index in these zones was also lower than in the third zone.

Conclusion

The ability of ecological sites to maintain high levels of ecosystem processes in response to desertification control operations is not uniform across zones. The numerical value of the ecosystem multi-functionality index indicates that desertification control interventions using *N. schoberi* on the western edge of Lake Urmia had a greater positive effect on ecosystem functioning in the third ecological zone—closer to the salinity focus where soils are sandy and light—while this effect was markedly lower in the first and second zones, which are farther from the salinity source and characterized by heavy, clayey soils.

Keywords: Desertification, ecosystem multi-functional index, plant traits, salinity gradient, soil properties.

ارزیابی مرتع‌کاری گونه قره‌داغ (*Nitraria schoberi*) برای مقابله با بیابان‌زدایی در حاشیه غربی دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص چندکارکردی اکوسیستم

جواد معتمدی^{*۱} و اسماعیل شیدای کرکج^۲

^۱*- نویسنده مسئول: دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات مرتع، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

پست الکترونیک: motamedi@rifr-ac.ir

^۲- دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۲

تاریخ اصلاح نهایی: ۱۴۰۴/۰۵/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۲۰

تاریخ چاپ: ۱۴۰۴/۰۷/۰۷

چکیده

سابقه و هدف

شاخص‌های مختلفی برای بررسی اثربخشی پروژه‌های مقابله با بیابان‌زدایی استفاده می‌شود. یکی از شاخص‌های همه‌جانبه و جدید، «شاخص چندکارکردی اکوسیستم» است. چندکارکردی اکوسیستم بر این واقعیت تأکید دارد که اکوسیستم‌ها عملکردهای متعددی را به‌طور همزمان ارائه می‌دهند و مطالعه همه‌جانبه آنها نسبت به مطالعه منفرد آنها مزیت بالایی دارد. این شاخص نشان‌دهنده توانایی کلی هر سایت اکولوژیک برای حفظ سطوح بالایی از فرایندهای اکوسیستمی متعدد به‌طور همزمان است. به‌طوری‌که هرچه مقدار عددی این شاخص بیشتر باشد، تداعی‌کننده آن است که عملیات مبارزه با بیابان‌زدایی با کاشت گونه‌های مختلف گیاهی، نقش افزایشی بر عملکرد اکوسیستم داشته است. این پژوهش، شاخص مذکور را با هدف بررسی اثربخشی پروژه‌های مقابله با بیابان‌زدایی در نواحی مختلف اکولوژیک حاشیه غربی دریاچه ارومیه در امتداد گرادیان شوری خاک، ارائه نمود.

مواد و روش‌ها

ابتدا، ۱۲ سایت در سه ناحیه اکولوژیک در امتداد گرادیان شوری به طول ۱۵۰۰ متر در نظر گرفته شد. آنگاه در هر سایت بر روی یک ترانسکت ۱۵۰ متری، ۱۵ پلات دو مترمربعی مشبک با فاصله ۱۰ متر مستقر گردید و پوشش تاجی و بیوماس هوایی گیاهان زیر آشکوب، در آنها اندازه‌گیری شد. همچنین در امتداد هر ترانسکت، ۱۵ پایه گونه قره‌داغ (*Nitraria schoberi*) که از سال ۱۳۹۲ برای عملیات مقابله با بیابان‌زدایی، در شبکه‌های ۱۰ مترمربعی کاشته شده بودند، انتخاب و صفات گیاهی آنها به‌عنوان ویژگی‌های اکوسیستم اندازه‌گیری گردید. نمونه‌های خاک نیز در امتداد هر ترانسکت، از نقاط ابتدایی، وسط و انتهای هریک از ترانسکت‌ها، از عمق ۲۰ سانتی متری، به‌منظور بررسی ارتباط پراکنش پوشش گیاهی زیر آشکوب و صفات گیاهی پایه‌های قره‌داغ با خصوصیات خاک، برداشت شد. در ادامه، برای بررسی ارتباط صفات گیاهی قره‌داغ و شاخص‌های پوشش گیاهی زیر آشکوب با ویژگی‌های رویشگاه و توزیع سایت‌ها در فضای پارامترهای خاک، از آنالیز افزونگی (RDA) استفاده شد. سپس، به‌منظور محاسبه شاخص چندکارکردی اکوسیستم، داده‌های ویژگی‌های اکولوژیک سایت‌ها، از لحاظ تمامی متغیرها، نرمال‌سازی شدند و نمرات استاندارد شده، برای محاسبه شاخص چندکارکردی، یکپارچه‌سازی و میانگین‌گیری شد. بعد از محاسبه شاخص چندکارکردی برای هریک از سایت‌ها، همبستگی آن با ویژگی‌های خاک آزمون شد و ویژگی‌های اثرگذار بر مقدار شاخص چندکارکردی، معرفی گردید. مقدار شاخص مذکور در نواحی مختلف اکولوژیک نیز مورد مقایسه قرار گرفت و ناحیه اکولوژیک برتر از لحاظ شاخص چندکارکردی، معرفی شد.

نتایج

بر مبنای نتایج، مقادیر صفات گیاهی پایه‌های قره‌داغ، در امتداد گرادیان شوری، از ناحیه اول (فاصله دورتر از کانون شوری) به ناحیه سوم (فاصله نزدیک به کانون شوری) افزایش پیدا می‌کند ولی درصد خشکیدگی پایه‌ها و مقادیر مشخصه‌های پوشش گیاهی زیر آشکوب و طبقه وضعیت مرتع، در ناحیه اول نسبت به ناحیه سوم، بیشتر است. در نتیجه، اندازه شاخص چندکارکردی اکوسیستم که مبتنی بر اندازه

صفات گیاهی است، از ناحیه اول به ناحیه سوم، بیشتر می‌شود. با نزدیک شدن به کانون شوری، مقادیر Sand، Mg و Ca افزایش می‌یابد و در مقابل، مقادیر (OM، N، Clay، Silt) افزایش می‌یابد. وزن مخصوص ظاهری (BD) و بیکربنات (HCO_3^-) نیز نقش معنی‌داری در تفکیک سایت‌ها از همدیگر در امتداد گرادیان شوری نداشتند. در این رابطه، شاخص چندکارکردی اکوسیستم، بیشترین همبستگی مثبت را با درصد شن، سدیم، نسبت جذب سدیم و درصد سدیم‌تبادلی دارد. این ویژگی‌ها، ارتباط مستقیم با نیازهای اکولوژیک گونه قره‌داغ دارند. از این رو، گونه قره‌داغ در ناحیه سوم اکولوژیک که خاک حالت شنی و سبک دارد، رشد بهتری داشته است. شاخص مذکور، بیشترین همبستگی منفی را با درصد سیلت، کربن آلی و فسفر قابل جذب دارد. بنابراین، در ناحیه اول و دوم اکولوژیک که خاک حالت رسی و سنگین دارد، گونه قره‌داغ رشد موفق نداشته و اندازه صفات گیاهی آن، کمتر است. در نتیجه مقدار شاخص چندکارکردی نیز نسبت به ناحیه سوم اکولوژیک، کمتر می‌باشد.

نتیجه‌گیری

توانایی سایت‌های اکولوژیک برای حفظ سطوح بالایی از فرایندهای اکوسیستمی، در نتیجه عملیات مقابله با بیابان‌زایی، یکسان نیست. مقدار عددی شاخص چندکارکردی اکوسیستم، تداعی‌کننده آن است که عملیات مقابله با بیابان‌زایی توسط کاشت گونه قره‌داغ در حاشیه غربی دریاچه ارومیه، در ناحیه سوم اکولوژیک (فاصله نزدیک به کانون شوری یا دریاچه که خاک حالت شنی و سبک دارد)، نقش بیشتری بر افزایش عملکرد اکوسیستم داشته است ولی این نقش در نواحی اول و دوم (فاصله دورتر از کانون شوری که خاک حالت رسی و سنگین دارد)، کمتر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بیابان‌زایی، شاخص چندکارکردی اکوسیستم، صفات گیاهی، گرادیان شوری، ویژگی‌های خاک.

مقدمه

در حال حاضر، به دلیل پسروری دریاچه ارومیه ناشی از افت آب زیرزمینی و کاهش حجم ورودی سیلاب‌ها، بر وسعت و تعداد کانون‌های گردوغبار افزوده شده است و نیاز به استمرار عملیات بیابان‌زایی در دیگر کانون‌ها می‌باشد (Motamedi et al., 2019). آنچه مسلم است، قبل از اقدام به این کار، لازم است که اقدامات انجام‌شده قبلی، مورد ارزیابی قرار گیرد و چشم‌اندازهای بهتری در مکان‌یابی اجرای طرح‌ها، ترسیم شود. در ارزیابی اقدامات قبلی، سؤال مطرح می‌شود که خصوصیات ساختاری و عملکردی پوشش گیاهی، در اثر اجرای عملیات بیابان‌زایی، چگونه تغییر کرده است؟ آیا روند تغییرات مثبت بوده یا اینکه اثر مخرب بر اکوسیستم داشته است؟

معیارها و شاخص‌های مختلفی برای بررسی اثربخشی پروژه‌های مقابله با بیابان‌زایی، استفاده می‌شود. در بسیاری موارد، از تغییرات مثبت در ویژگی‌های گیاهی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و بهبود کیفیت خاک، به عنوان شاخص‌های اثربخشی نام برده می‌شود. یکی از شاخص‌های پرکاربرد، «شاخص چندکارکردی اکوسیستم» می‌باشد. چندکارکردی

اکوسیستم، بر این واقعیت تأکید دارد که اکوسیستم‌ها، عملکردهای متعددی را به طور همزمان ارائه می‌دهند (Loewen et al., 2020). عملکرد اکوسیستم، ذاتاً چندبعدی است، بنابراین، معیارهای چندعملکردی، به طور فزاینده‌ای برای خلاصه‌کردن توانایی یک اکوسیستم برای ارائه چندین عملکرد یا خدمات به طور همزمان، مورد استفاده قرار می‌گیرد (Manning et al., 2018).

شرایط محیطی آینده، ممکن است رابطه بین تنوع‌زیستی و چندکارکردی اکوسیستم را تغییر دهد (Byrnes et al., 2014). اکوسیستم‌ها، اغلب به دلیل توانایی آنها در ارائه خدمات چندگانه و حفظ یکسری عملکردها به طور همزمان، ارزشمند هستند (Smith et al., 2013). اخیراً، تعداد زیادی از مطالعات بررسی کرده‌اند که چگونه فراوانی، تولید و تنوع گونه‌ها با حفظ عملکردهای چندگانه اکوسیستم مرتبط است (Le Bagousse-Pinguet et al., 2019). تأثیر عوامل غیرزیستی مانند عوامل خاکی بر عملکرد اکوسیستم نیز قابل توجه است. تفاوت در عوامل غیرزیستی اکوسیستم، منجر به تغییر شرایط زیستی و تأمین مواد تغذیه‌ای برای رشد

گونه قره‌داغ (*Nitraria schoberi*) و وضعیت رویشگاه به‌عنوان عملکرد اکوسیستم، شاخص چندکاربردی اکوسیستم را با هدف اثربخشی پروژه‌های مقابله با بیابان‌زایی (بوته‌کاری گونه قره‌داغ)، در نواحی مختلف اکولوژیک حاشیه غربی دریاچه ارومیه در امتداد گرادیان شوری خاک، ارائه نمود.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه

برای انجام پژوهش، رویشگاه‌های شور منطقه سپرغان با موقعیت جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴۵ دقیقه و ۱۴ ثانیه شمالی و ۴۵ درجه و ۱۴ دقیقه و ۱۹ ثانیه شرقی (شکل ۱)، به‌عنوان عرصه مطالعاتی و معرف رویشگاه‌های شور حاشیه غربی دریاچه، انتخاب گردید.

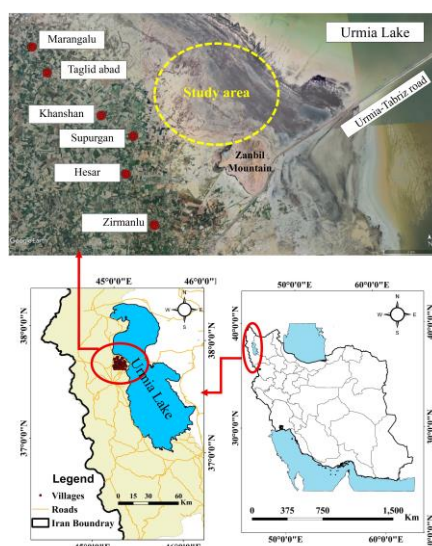
روش کار

ابتدا، ۱۲ سایت در سه ناحیه اکولوژیک، در امتداد گرادیان شوری خاک به طول ۱۵۰۰ متر در نظر گرفته شد (شکل ۲). در این ارتباط، با اندازه‌گیری مقدار شوری خاک در فواصل مشخص از دریاچه (کانون شوری) و بررسی نحوه پراکنش گونه‌های گیاهی شاخص، مرز بین واحدهای اکولوژیک در امتداد گرادیان شوری مشخص گردید و به‌گونه‌ای تفکیک شد که هر واحد اکولوژیک، از نظر مقدار شوری خاک و پوشش گیاهی به‌طور محسوسی متفاوت از دیگری باشد. طبق مطالعات خاک‌شناسی، مقدار شوری (EC) خاک در ناحیه اول، دوم و سوم به‌ترتیب ۲۸/۷، ۵۵/۹ و ۶۲/۹ دسی‌زیمنس بر متر در عصاره اشباع، می‌باشد (Motamedi and Sheidai, 2022). سایت یک (Site 1)، دورترین و سایت دوازده (Site 12)، نزدیک‌ترین سایت به حاشیه دریاچه و کانون شوری است. در این پژوهش، سایت به‌عنوان واحد کاری انتخاب شده است. منظور از سایت، واحدی طبیعی است که همه بخش‌های آن به‌لحاظ عملکردی، وابسته به یکدیگر بوده و تغییر عملکرد هر بخش، به‌طور مستقیم بر بخش دیگر آن اثر می‌گذارد (Heshmati et al., 2017).

گیاهان مختلف می‌شود و در این میان، عوامل غیرزنده خاکی نسبت به سایر عوامل محیطی، اهمیت ویژه‌ای دارند، زیرا این‌ها لازمه رشد گیاه هستند. به‌گونه‌ای که از تعداد ۱۷ عنصر ضروری مورد نیاز برای رشد گیاه، ۱۴ عنصر از خاک به‌دست می‌آید (Li and Ma., 2020).

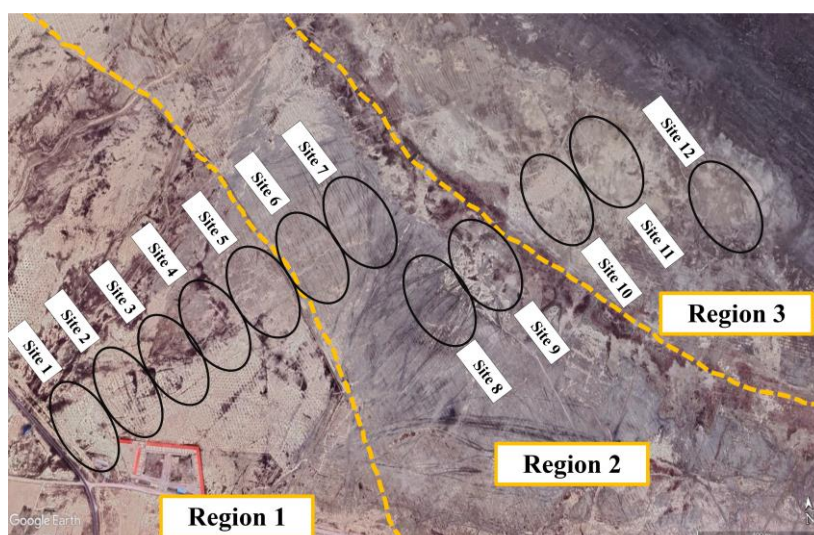
روش‌های مختلفی برای تعیین کمیت عملکرد چندگانه اکوسیستم‌ها پیشنهاد شده است (Manning et al., 2018; Byrnes et al., 2014) و شاخص چندکارکردی (Maestre et al., 2012) یکی از آنهاست. از زمان تبیین و ارائه مفهوم جدیدی تحت عنوان شاخص چندکارکردی اکوسیستم، دانشمندان از بسیاری رویکردهای مختلف برای نشان‌دادن عرضه همزمان چندین عملکرد اکوسیستم استفاده کرده‌اند که مقایسه بین مطالعات را دشوار می‌کند. بنابراین، تلاش‌های متعددی برای بررسی، استانداردسازی یا ارائه جهت‌های جدید در استفاده از شاخص‌های چندکارکردی، انجام شده است (Edlinger et al., 2020). در حقیقت با استفاده از رویکرد سیستم ارزیابی چندکارکردی در مطالعات مختلف اکولوژیکی به‌جای مطالعه تک‌تک شاخص‌های اکوسیستم و سردرگم شدن در تفسیر شاخص‌های مختلف، این شاخص‌ها با همدیگر ادغام شده و شاخص کلی تحت عنوان شاخص چندکارکردی به‌دست می‌آید که در حقیقت برآیند همه شاخص‌های اولیه است. چندکارکردی اکوسیستم، ظرفیت زیادی برای ارائه یک ارزیابی آسان و قابل‌تفسیر از توانایی جوامع متنوع برای حفظ عملکردهای اکوسیستم‌های متعدد، به‌طور همزمان دارد (Lucas-Borja et al., 2021). مفاهیم این روش‌ها با جزئیات بیشتر توسط Manning و همکاران (۲۰۱۸) ارائه شده است. این شاخص، نشان‌دهنده توانایی هر سایت اکولوژیک برای حفظ سطوح بالایی از فرایندهای اکوسیستمی متعدد، به‌طور همزمان است (Valencia et al., 2015). هرچه مقدار عددی این شاخص بیشتر باشد، تداعی کننده آن است که عملیات مبارزه با بیابان‌زایی با کاشت گونه‌های مختلف گیاهی، نقش مثبت بر عملکرد اکوسیستم داشته است.

این پژوهش با تمرکز بر روی صفات ساختاری و عملکردی



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Figure 1- Location of the study area



شکل ۲- نحوه استقرار سایت‌های (نواحی) اکولوژیک در امتداد گردیان شوری

Figure 2- Arrangement of ecological sites along a salinity gradient

بیابان‌زدایی، در شبکه‌های ۱۰ مترمربعی به مساحت حدود ۴۰۰ هزار مترمربع کاشته شده بودند، انتخاب و صفات گیاهی آنها اندازه‌گیری شد.

در این ارتباط، ارتفاع (سانتی‌متر)، قطر بزرگ تاج (سانتی‌متر)، قطر کوچک تاج (سانتی‌متر)، پوشش تاجی (سانتی‌متر مربع) و حجم هر پایه (سانتی‌متر مکعب) گیاهی قره‌داغ، به‌عنوان صفات ساختاری و بیوماس هوایی (گرم)،

در هر سایت، بر روی یک ترانسکت ۱۵۰ متری، ۱۵ پلات دو مترمربعی مشبک با فاصله ۱۰ متر مستقر شد و پوشش تاجی و بیوماس هوایی گیاهان زیرآشکوب در آنها اندازه‌گیری شد. در مجموع، ۱۲ ترانسکت در سه ناحیه اکولوژیک با مقدار شوری متفاوت خاک، استفاده شد.

همچنین در امتداد هر ترانسکت، ۱۵ پایه گونه قره‌داغ (*N.schoberi*) که از سال ۱۳۹۲ برای عملیات مقابله با

استفاده از رابطه ۱، نرمال‌سازی شدند و نمرات استاندارد شده (بین ۰ و ۱)، برای محاسبه شاخص چندکارکردی، یکپارچه‌سازی شد.

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن، Z امتیاز استاندارد شده ویژگی اکوسیستم، x مقادیر اندازه‌گیری شده ویژگی اکوسیستم، μ میانگین نمونه و σ انحراف معیار نمونه است. بعد از محاسبه مقادیر Z برای همه ویژگی‌ها با استفاده از رابطه ۲، مقدار نهایی شاخص چندعملکردی محاسبه می‌شود.

$$EMF = \frac{\sum_{i=1}^n zi}{n} \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آن EMF شاخص چند کارکردی اکوسیستم و Zi مقادیر استاندارد شده هریک از ویژگی‌های اکوسیستم و n تعداد ویژگی‌هاست. بعد از محاسبه شاخص چند کارکردی برای هریک از سایت‌ها، همبستگی آن با ویژگی‌های خاک، آزمون شد و ویژگی‌های اثرگذار بر مقدار شاخص چندکارکردی، معرفی گردید.

همچنین برای مقایسه صفات ساختاری و عملکردی گونه قره‌داغ و شاخص چندکارکردی در نواحی مختلف اکولوژیک، از آزمون تجزیه واریانس یک طرفه و برای مقایسه میانگین‌ها، از آزمون دانکن استفاده شد و ناحیه اکولوژیک برتر از لحاظ شاخص چندکارکردی، معرفی گردید.

نتایج

الف) مقادیر صفات گیاهی پایه‌های قره‌داغ در نواحی مختلف اکولوژیک

میانگین مقادیر صفات ساختاری و عملکردی گونه قره‌داغ، مشخصه‌های پوشش گیاهی و طبقه وضعیت مرتع هریک از نواحی اکولوژیک، در جدول ۱ و ۲ ارائه شده است.

تولید میوه (گرم) و درصد خشکیدگی پایه‌ها به عنوان صفات عملکردی در نظر گرفته شد. درصد پوشش تاجی، بیوماس هوایی گیاهان زیرآشکوب (کیلوگرم در هکتار) و طبقه وضعیت مرتع نیز در هریک از نواحی اکولوژیک، اندازه‌گیری و ارزیابی شد. گونه‌های بومی غالب زیرآشکوب منطقه مورد پژوهش شامل: *Kochia lana*, *Halocnemum strobilaceum*, *Atriplex verrucifera*, *Camphorosma monspeliaca*, *Aeluropus lagopoides* و *Aeluropus littoralis* گونه‌های یکساله از علفی‌ها و گراس‌ها می‌باشد. نمونه‌های خاک نیز در امتداد هر ترانسکت، از نقاط ابتدایی، وسط و انتهای هریک از ترانسکت‌ها، به منظور بررسی ارتباط پراکنش پوشش گیاهی زیرآشکوب و صفات گیاهی پایه‌های قره‌داغ با خصوصیات خاک، برداشت شد. در مجموع، در هر ناحیه اکولوژیک، چهار نمونه مرکب خاک، از عمق ۲۰ سانتی‌متری، برداشت شد. در این ارتباط، درصد شن، درصد سیلت، درصد رس، درصد اشباع خاک، وزن مخصوص ظاهری، اسیدیته، هدایت الکتریکی، ازت، کربن آلی، منیزیم، کلسیم، فسفر قابل جذب، سدیم، ظرفیت تبادل کاتیونی، کلرید، بی‌کربنات، سولفات، نسبت جذب سدیم و درصد سدیم تبادل، به عنوان خصوصیات خاک در نظر گرفته شد که مقدار هریک از ویژگی‌ها، طبق دستورالعمل نشریه شماره ۴۶۷ مؤسسه تحقیقات آب و خاک، تعیین شد ([Deputy of the President for Strategic Planning and Supervision, 2008](#)).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

ابتدا، برای بررسی ارتباط صفات گیاهی قره‌داغ و شاخص‌های پوشش گیاهی زیرآشکوب با ویژگی‌های رویشگاه و توزیع سایت‌ها در فضای پارامترهای خاک، از آنالیز افزونگی (RDA) در نرم‌افزار CANOCO نسخه ۵ استفاده شد.

سپس، به منظور محاسبه شاخص چندکارکردی اکوسیستم بر مبنای روش [Maestre](#) و همکاران (۲۰۱۲)، داده‌های ویژگی‌های اکولوژیک سایت‌ها، از لحاظ تمامی متغیرها، با

جدول ۱- میانگین مشخصه‌های پوشش گیاهی زیرآشکوب و طبقه وضعیت مرتع در نواحی مختلف اکولوژیک
Table 1- Average vegetation characteristics and range condition class in different ecological zones

Ecological zone	Canopy cover (%)	Litter (%)	Bare soil (%)	Stone and gravel (%)	Soil surface coverage (%)	Understory aerial biomass (Kg/ha)	Range condition Total Score	Range condition class
First	34.57a	11.50b	52.93b	1/00b	47.07a	235/13a	39/3a	Good
Second	30.60b	11.13b	56.33ab	1.93a	43.67b	247/40b	36.0b	Moderate
Third	29.10c	12.47a	57.27a	1.17b	42.73b	235/97b	35.1/b	Moderate

Similar letters indicate no significant difference and different letters indicate significant difference at the five percent level

جدول ۲- میانگین مقادیر صفات ساختاری و عملکردی گونه قره‌داغ در نواحی مختلف اکولوژیک
Table 2- Average values of structural and functional traits of the *N. schoberi* in different ecological regions

Ecological zone	Height of each base (cm)	Large crown diameter (cm)	Small crown diameter (cm)	Canopy cover per stem (cm ²)	Volume of each base (cm ³)	Aerial biomass per stand (gr)	Fruit production per plant (gr)	Percentage of drying of foundations
First	60.33c	60.00c	51.67c	2433.50c	146821.17c	312.00c	130.00c	38.67a
Second	83.33b	89.00b	70.00b	4890.55b	407545.83b	392.00b	169.60b	34/00b
Third	105.00a	98.33a	80.67a	6226/79a	653813.42a	657/80a	319.80a	26.00c

Similar letters indicate no significant difference and different letters indicate significant difference at the five percent level.

گیاهی گونه قره‌داغ (به‌عنوان ماتریس اولیه) و وضعیت رویشگاه (به‌عنوان ماتریس ثانویه)، استفاده شود. پلات پراکنش سایت‌ها در فضای پارامترهای خاکی، در شکل ۳ ارائه شده است. ملاحظه می‌شود که آنالیز افزونگی RDA، به‌خوبی توانسته است تفکیک‌پذیری سایت‌ها را نشان دهد. براساس نمودار حاصل از آنالیز افزونگی RDA، مشخص می‌شود که سایت‌های اول، دوم، سوم و چهارم که دورتر از کانون شوری و در ناحیه اول اکولوژیک قرار دارند، در سمت راست نمودار، پراکنش دارند و با حرکت به سمت چپ نمودار، سایت‌های نزدیک به شوری (سایت‌های نهم، دهم، یازدهم و دوازدهم) که در ناحیه سوم اکولوژیک قرار دارند، پراکنش می‌یابند. سایت‌های پنجم، ششم، هفتم و هشتم نیز که در ناحیه دوم اکولوژیک قرار دارند، در حالت بینابینی، پراکنش دارند.

در این ارتباط، بیشتر پارامترهای خاکی (جدول ۳)، سهم معنی‌داری در تفکیک سایت‌ها از همدیگر دارند. مؤلفه اول، ۹۶/۶ درصد تغییرات صفات را توجیه می‌نماید و با نزدیک شدن به کانون شوری، مقادیر Sand، Mg و Ca افزایش می‌یابد و در مقابل، با دور شدن از کانون شوری، مقادیر Clay

بر مبنای نتایج، مقادیر صفات ساختاری (ارتفاع، قطر بزرگ تاج، قطر کوچک تاج، پوشش تاجی و حجم) و عملکردی (بیوماس هوایی و تولید میوه) پایه‌های قره‌داغ، در امتداد گرادیان شوری خاک، از ناحیه اول به ناحیه سوم، افزایش پیدا می‌کند. این موضوع، در شرایطی است که مشخصه‌های پوشش گیاهی (درصد پوشش تاجی و بیوماس هوایی گیاهان زیرآشکوب) و طبقه وضعیت مرتع در ناحیه اول اکولوژیک، مقادیر بیشتری نسبت به ناحیه سوم اکولوژیک (که نزدیک به کانون شوری است) دارند. درصد خشکیدگی پایه‌های کاشته‌شده نیز در امتداد گرادیان اکولوژیک، از ناحیه اول (با مقدار ۳۸/۶۷ درصد) به ناحیه سوم (با مقدار ۲۶ درصد)، کمتر می‌شود.

ب) تجزیه و تحلیل آنالیز افزونگی صفات ساختاری و عملکردی گونه قره‌داغ و وضعیت رویشگاه

نتایج تجزیه و تحلیل اولیه آنالیز DCA، نشان داد که طول گرادیان کمتر از ۳ می‌باشد، از این رو تغییرات ماتریس داده‌ها با رفتار خطی، مطابقت دارد. بنابراین باید از یک روش رسته‌بندی خطی مانند RDA برای بررسی رابطه بین صفات

معنی داری در تفکیک سایت‌ها از همدیگر نداشتند.

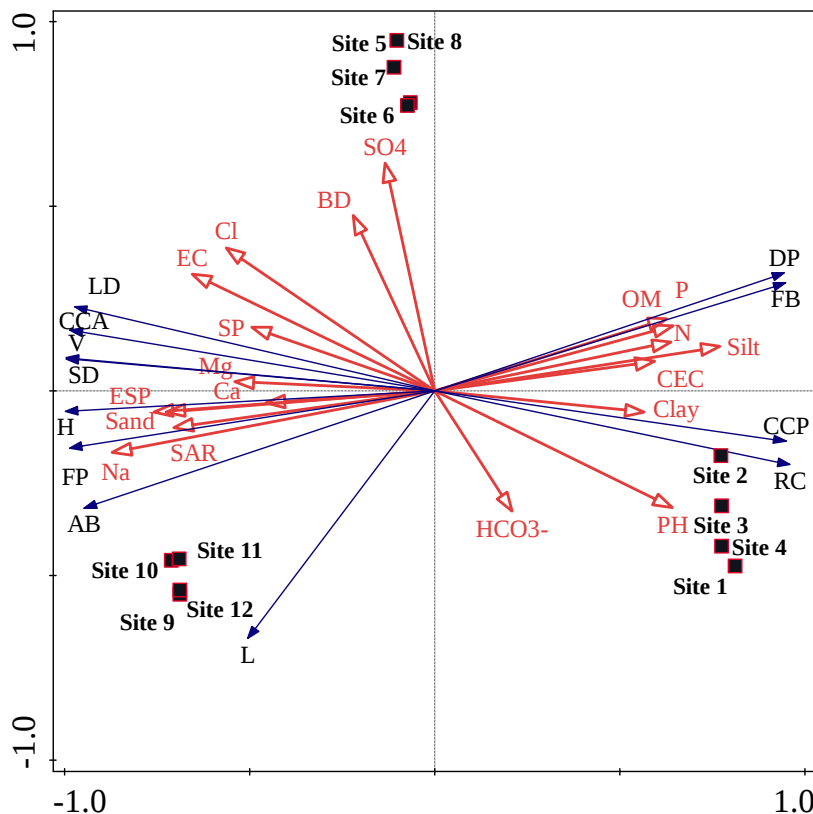
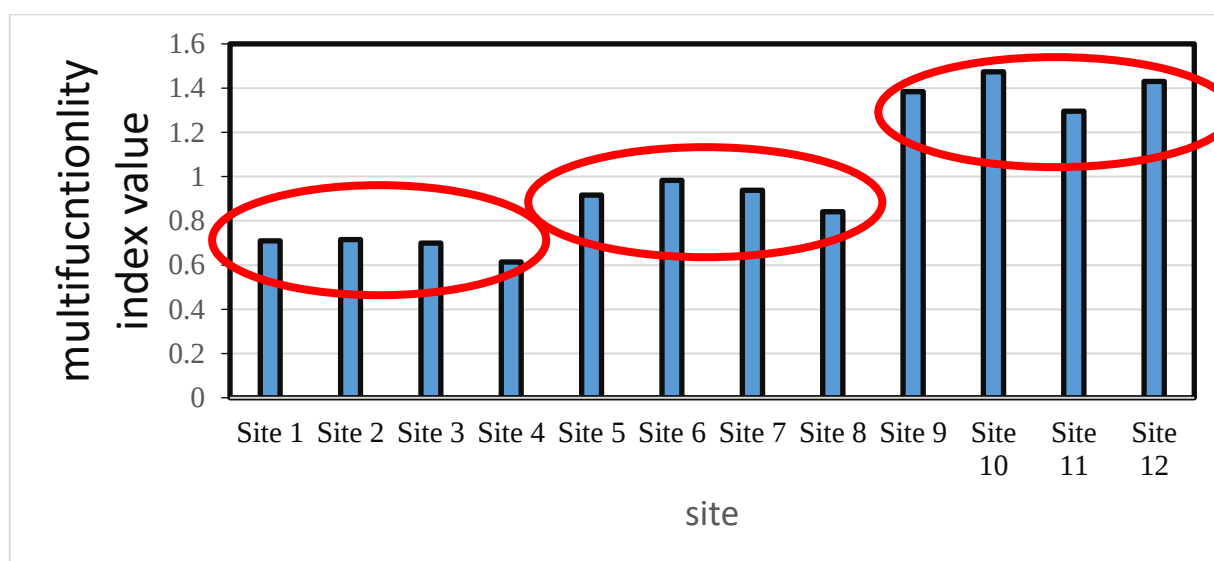


Figure 3- Two plots of the distribution of sites (transects) in the space of soil parameters by RDA analysis

Sand, Silt, Clay, Soil Saturation Percentage (SP), Bulk Density, Acidity (pH), Salinity (EC), Nitrogen (N), Organic Carbon (OC), Magnesium (Mg), Calcium (Ca), Absorbable Phosphorus (p), Sodium (Na), Cation Exchange Capacity (CEC), Chloride (Cl), Bicarbonate (HCO_3^-), Sulfate (SO_4), Sodium Absorption Ratio (SAR), Exchangeable Sodium Percentage (ESP), Height of the base of the tree (H), Large Crown Diameter (LD), Small Crown Diameter (SD), Crown Cover Area (CCA), Plant Volume (V), Aboveground Biomass (AB), Fruit Production (FP), Dryness Percentage (DP), Crown Cover Percentage (CCP), Litter Percentage (L), Understory Aboveground Biomass (FB), Range Condition (RC)

اکولوژیک) و بیشترین مقدار، مربوط به سایت‌های نهم تا دوازدهم (ناحیه سوم اکولوژیک) می‌باشد. مقدار شاخص مذکور در سایت‌های پنجم تا هشتم (ناحیه دوم اکولوژیک)، حالت بینایی، دارد (شکل ۴).

بر مبنای نتایج، کمترین مقدار شاخص چندکارکردی اکوسیستم، مرتبط با سایت‌های اول تا چهارم (ناحیه اول



شکل ۴- شاخص چندکارکردی اکوسیستم در سایت‌های اکولوژیک

Figure 4- Ecosystem multifunctionality index in ecological sites

سدیم تبادلی (ESP)، بیشترین همبستگی مثبت و مقادیر سیلت (Silt)، کربن آلی (OC) و فسفر قابل جذب (p)، بیشترین همبستگی منفی را با مقدار شاخص چندکارکردی اکوسیستم دارند (شکل ۵).

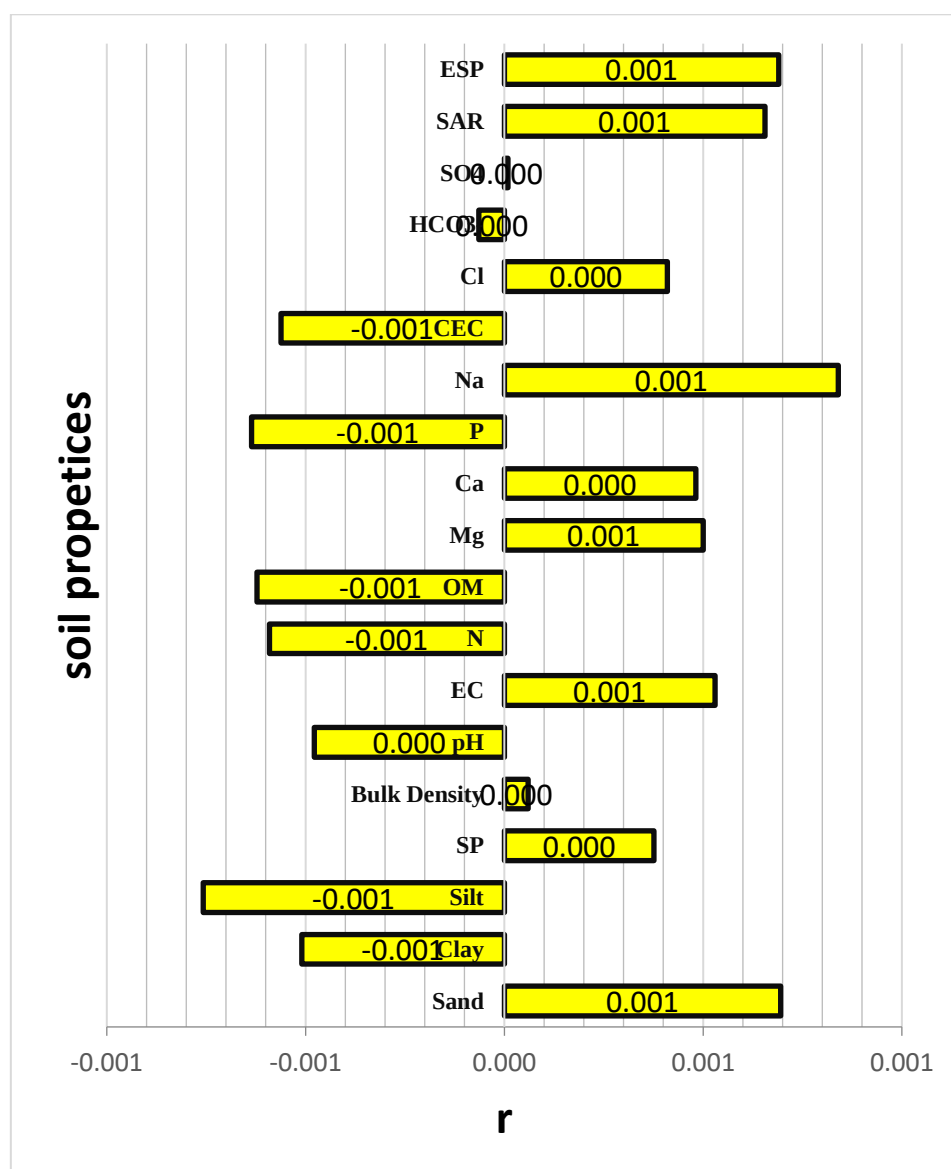
د) همبستگی شاخص چندکارکردی اکوسیستم با ویژگی‌های خاک رویشگاه

همبستگی شاخص چندکارکردی اکوسیستم با ویژگی‌های خاک، در جدول ۳ ارائه شده است. بر مبنای نتایج، درصد شن (Sand)، سدیم (Na)، نسبت جذب سدیم (SAR) و درصد

جدول ۳- همبستگی بین شاخص چندکارکردی اکوسیستم با ویژگی‌های خاک

Table 3- Correlation between ecosystem multifunctionality index and soil properties

Soil properties	2	sig	Soil properties	2	sig
Sand	0.695	0.012	Ca	0.482	0.113
Clay	-0.509	0.091	P	-0.636	0.026
Silt	-0.758	0.004	Na	0.840	0.001
SP	0.377	0.228	CEC	-0.562	0.057
Bulk Density	0.060	0.854	Cl	0.410	0.185
pH	-0.478	0.116	HCO ₃ ⁻	-0.064	0.843
EC	0.530	0.076	SO ₄	0.009	0.977
N	-0.591	0.043	SAR	0.656	0.021
OM	-0.622	0.031	ESP	0.691	0.013
Mg	0.500	0.098			



شکل ۵- همبستگی بین شاخص چندکارکردی اکوسیستم و ویژگی‌های خاک

Figure 5- Correlation between ecosystem multifunctionality index and soil properties

Sand, Silt, Clay, Soil Saturation Percentage (SP), Bulk Density, Acidity (pH), Salinity (EC), Nitrogen (N), Organic Carbon (OC), Magnesium (Mg), Calcium (Ca), Absorbable Phosphorus (p), Sodium (Na), Cation Exchange Capacity (CEC), Chloride (Cl), Bicarbonate (HCO₃⁻), Sulfate (SO₄), Sodium Absorption Ratio (SAR), Exchangeable Sodium Percentage (ESP)

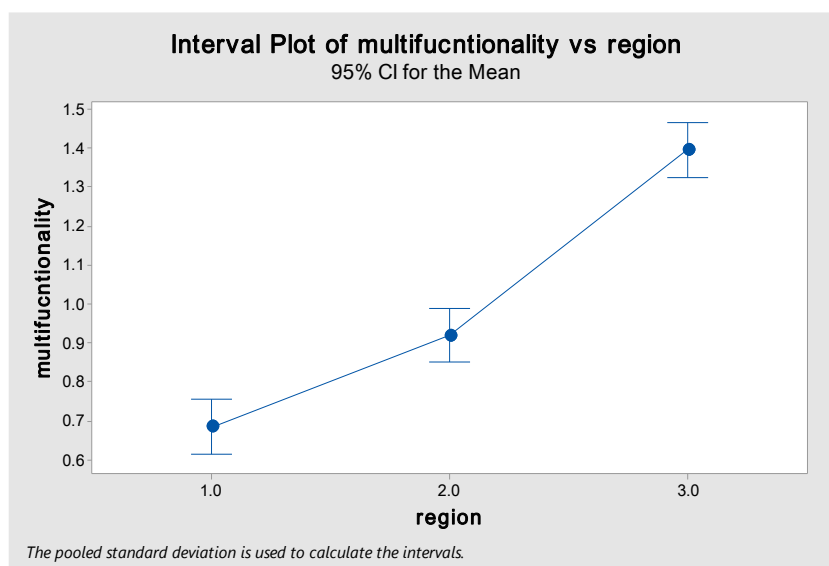
دول ۴- تجزیه واریانس یک‌طرفه میانگین مقادیر شاخص چندکارکردی اکوسیستم در نواحی مختلف اکولوژیک

Table 4- One-way analysis of variance of the average values of the ecosystem multifunctional index in different ecological zones

Source of change	df	Sum of squares	Mean squares	F-value	Significance level
Ecological zone	2	1.04949	0.524747	137.61	0.000
Error	9	0.03432	0.003813		—
Total	11	1.08381	—	—	—

۵) تجزیه واریانس میانگین مقادیر شاخص چندکارکردی اکوسیستم در نواحی مختلف اکولوژیک بر مبنای نتایج، سه ناحیه اکولوژیک، از نظر شاخص چندکارکردی اکوسیستم تفاوت چشمگیری با همدیگر دارند (جدول ۴).

مقادیر شاخص مذکور برای نواحی اکولوژیک اول، دوم و سوم به ترتیب برابر ۰/۶۸، ۰/۹۲ و ۱/۴۰ می باشد که بیشترین مقدار مربوط به ناحیه سوم (نزدیک به کانون شوری) و کمترین مقدار، مربوط به ناحیه اول (دورترین مکان از مرکز شوری) است (شکل ۶).



شکل ۶- مقدار شاخص چندکارکردی اکوسیستم در نواحی مختلف اکولوژیک

Figure 6- Value of ecosystem multi-functionality index in different ecological zones

بحث

براساس یافته‌ها، مشاهده می‌شود در ناحیه اول (فاصله دورتر از کانون شوری)، درصد زنده‌مانی و مقادیر صفات ساختاری و عملکردی پایه‌های کاشته‌شده قره‌داغ، کمتر از ناحیه سوم اکولوژیک (فاصله نزدیک به کانون شوری) می باشد. این یافته، به دلیل توجه به انتخاب منطقه مورد مطالعه از یک محدوده همگن محیطی، منطقی به نظر می‌آید. به‌طوری‌که مرتبط دانستن درصد زنده‌مانی کم و بیشتر در بین سایت‌ها در طول گرادیان محیطی، فقط در عامل شوری خاک تفاوت دارند و به‌جز این عامل، به سایر عوامل نمی‌توان مربوط دانست.

روند تغییرات مقادیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک رویشگاه در نواحی مختلف اکولوژیک، تداعی‌کننده آن است که در امتداد گرادیان شوری، از ناحیه اول به ناحیه سوم،

درصد شن بیشتر می‌شود و خاک رویشگاه، از بافت رسی و سنگین به بافت شنی و سبک تغییر می‌کند. در نتیجه، مقدار نفوذپذیری خاک، از ناحیه سوم به سمت ناحیه اول، کم می‌شود. از این‌رو، گونه قره‌داغ که سرشت اکولوژیکی متفاوتی دارد و عمدتاً در رویشگاه‌های ماسه‌ای با آب سطح زمین، رشد موفق‌تری دارد (Rezaei and Malakouti, 2011؛ Shahriari et al., 2011)؛ نتوانسته در ناحیه اول و تا حدودی ناحیه دوم اکولوژیک که خاک سنگین است، رشد موفق‌ی داشته باشد. تعداد نهال‌هایی که نتوانسته‌اند زنده‌مانی خود را حفظ نمایند، رشد رویشی چندانی نداشته‌اند و طبیعتاً به مرحله رشد زایشی نرسیده و موفق به تولید میوه و بذری نشده‌اند. در این ارتباط، گزارش شد که گونه قره‌داغ، از لحاظ سرشت اکولوژیکی، یک گونه شن‌دوست می‌باشد و از برتری خاصی در استقرار اراضی شنی برخوردار است

(Jafari and Tavali, 2010).

ویژگی‌های مورفولوژیکی پایه‌های مذکور در مقایسه با ویژگی‌های پایه‌های هم‌سن که در رویشگاه‌های ماسه‌ای منطقه جبل‌کندی (کانون دیگر ریزگرد در حاشیه غربی دریاچه ارومیه) کاشته شده‌اند، قابل مقایسه نیست و بسیار کمتر می‌باشد. طبیعتاً با گذشت زمان از احیای رویشگاه، وضعیت زنده‌مانی آنها به مخاطره خواهد افتاد. زیرا در مراحل اولیه کاشت، نهال‌ها در داخل چاله‌هایی به عمق ۶۰ و به قطر ۵۰ سانتی‌متر که از خاک زراعی مخلوط شده با کود پوسیده گاوی پر شده بودند، کاشته شدند. در طی این مدت، نهال کاشته شده، از خاک زراعی تغذیه می‌کرده و کمتر تحت تأثیر شوری رویشگاه قرار گرفته است. طبیعتاً با حرکت ریشه‌ها به سمت پائین و برخورد آنها با خاک شور سطح زمین، از رشد آنها کاسته خواهد شد. به این موضوع، اگر خشکی محیط و پائین رفتن سطح آب نیز اضافه شود، شرایط برای ادامه رشد، بدتر خواهد شد. در این رابطه، این تصور مطرح می‌شود که تحلیل بستر کشت نسبت به تغییرات ویژگی‌های خاک، در جمع‌بندی نتایج اشکال ایجاد می‌کند ولی با توجه به گذشت چندین سال از کاشت پایه‌های قره‌داغ، به نظر می‌رسد شوری خاک به حدی پیشروی داشته است که به ریشه‌ها نیز رسیده و در بستر میکورریزای گیاه رسوخ نموده است و به لحاظ اینکه بستر در همه طول گرادیان محیطی یکسان است، بنابراین، این شوری با توجه به شدت آن در همه سایت‌ها به یک نسبت هدایت شده است. از این رو، این عامل خللی در تفسیر ایجاد نمی‌کند. از سوی دیگر، در ناحیه سوم که در مجاور دریاچه و کانون شوری قرار دارد، مشاهده می‌شود که مشخصه‌های پوشش گیاهی و به تبع آن شاخص سازمان‌یافتگی چشم‌انداز (به معتمدی و شیدای کرکج، ۱۴۰۰ مراجعه شود)، به مراتب وضعیت ضعیف‌تری دارند و در چنین شرایط، یک حالت کاملاً شکننده در روند تغییرات روی می‌دهد و نیل به هدف کاهش گردوغبار و کنترل آن، لازمه اتخاذ تصمیمات دیگر مدیریتی به این ناحیه از دیدگاه‌های دیگر احیایی مانند کاهش سرعت باد از طریق احداث بادشکن هاست. زیرا کشت گونه قره‌داغ، به‌خوبی نتوانسته تأثیر مثبت بر پوشش گیاهی بستر رویشگاه

داشته باشد و فضای بین‌لکه‌ای را کاهش دهد. به عبارت دیگر، عملیات اصلاحی، نتوانسته انتظارات مدنظر در گام اول عملیات اجرایی را که با هدف افزایش پوشش گیاهی و کاهش فضای بین‌لکه‌ای در فواصل نزدیک به دریاچه بوده را تحقق ببخشد. از جنبه دیگر، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که کاشت گونه قره‌داغ، در کانون ریزگرد نمکی منطقه سپرغان (شوری بیشتر)، ناموفق و انتظارات حاصل را به‌منظور کنترل ریزگرد، بعد از گذشت چند سال از عملیات اصلاحی، برآورد نکرده است. در این مورد، به‌طور مرتب از سوی ارگان‌های اجرایی مرتبط با احیای دریاچه ارومیه مطرح بود که کاشت گونه قره‌داغ در همه جای دریاچه و در تمامی طول گرادیان شوری، برای کنترل کانون‌های ریزگرد مفید و کارآمد است، در حالی که چنین نیست. نتایج این پژوهش، نشان داد که در کانون ریزگرد سپرغان، عملیات احیایی ناموفق عمل کرده است. اگرچه، عملیات اصلاحی، در مساحت‌هایی از منطقه، توانسته درصد سبزینگی خوبی ایجاد کند که این مساحت‌ها، معمولاً در محدوده‌هایی قرار دارند که مرتباً آبیاری و در فاصله نسبتاً کمی نسبت به منابع آب قرار دارند. از این رو، قرق منطقه و دستکاری کمتر سطح خاک، به هنگام عملیات اصلاحی، در چنین رویشگاه‌هایی توصیه می‌شود؛ زیرا در کانون ریزگرد مورد پژوهش، اثر مناسبی از کاشت (مرتع‌کاری) گونه قره‌داغ مشاهده نشد. طبیعی است که پوشش گیاهی بومی، در صورت ممانعت از چرا، به دلیل بانک بذر، قادر به تجدید حیات خواهد بود و از سطح خاک، در برابر فرسایش بادی، جلوگیری کند. در تأیید این موضوع، بررسی اجمالی پوشش گیاهی منطقه قرق‌شده نزدیک به ناحیه اول اکولوژیک که در آن گونه *Atriplex verrucifera* (گونه بومی آتریپلکس در ایران که زادآوری طبیعی دارد)، گونه غالب رویشگاه می‌باشد؛ بیانگر آن است که در طی چند سال گذشته، پوشش قابل‌توجهی، ایجاد و توانسته به‌خوبی از سطح خاک، محافظت کند (Motamedi and Sheidai-Karkaj, 2024; Motamedi and Sheidai-Karkaj, 2022).

براساس یافته‌ها، مشاهده می‌شود در سایت‌های اول، دوم، سوم و چهارم (که در فاصله دورتر از کانون شوری قرار

سبب فراهمی شدن به گیاهان نمی گردد؛ در نتیجه، گیاهان نیز استفاده‌ای از آن نکرده و در نهایت، شاخص‌های عملکردی و ساختاری و به‌طور کلی شاخص عملکردی چندکارکردی مقدار پائین‌تری خواهد داشت (Shahriary et al., 2018; Edlinger et al., 2020; Heshmati et al., 2017).

در مجموع، توانایی سایت‌های اکولوژیک برای حفظ سطوح بالایی از فرایندهای اکوسیستمی، در نتیجه عملیات مقابله با بیابان‌زایی با گونه قره‌داغ، یکسان نیست. به‌نحوی که مقدار عددی شاخص چندکارکردی اکوسیستم، تداعی‌کننده آن است که عملیات مقابله با بیابان‌زایی (بوته‌کاری گونه قره‌داغ در کانون ریزگرد منطقه سپرغان)، در ناحیه سوم اکولوژیک، نقش مثبت بر عملکرد اکوسیستم داشته است ولی این نقش در نواحی اول و دوم، کمتر می‌باشد.

References

- Byrnes, J.E.K., Gamfeldt, L., Isbell, F., Lefcheck, J.S., Griffin, J.N., Hector, A., Cardinale, B.J., Hooper, D.U., Dee, L.E. and Emmett Duffy, J., 2014. Investigating the relationship between biodiversity and ecosystem multifunctionality: Challenges and solutions. *Methods in Ecology and Evolution*, 5: 111–124. DOI:10.1111/2041-210X.12143
- Deputy of the President for Strategic Planning and Supervision, 2008. Guidelines for laboratory analysis of soil and water samples. Publication No. 467, National Soil and Water Research Institute, 278p.
- Edlinger, A., Saghai, A., Herzog, C., Degrune, F. and Garland, G., 2020. Towards a multidimensional view of biodiversity and ecosystem functioning in a changing world. *The New Phytologist*, 228 (3): 820–822. doi: 10.1111/nph.16881.
- Heshmati, Gh. A., Sirosi, H. and Shidai-Karkaj, E., 2017. The best model to predict functional changes in the grazing gradient of semi-arid ecosystem (Case Study: Gorgan plain). *Range and Desert Research Journal*, 24(4): 756–742. <https://doi.org/10.22092/ijdr.2017.114065>
- Jafari, M. and Tavili, A., 2010. Restoration of dry and desert areas. Tehran University Press, Tehran. 397 p.
- Le Bagousse-Pinguet, Y., Soliveres, S., Gross, N., Torices, R., Berdugo, M. and Maestre, F.T., 2019. Phylogenetic, functional, and taxonomic richness have both positive and negative effects on ecosystem multifunctionality. *Proceedings of the National*

دارند)، مقدار شاخص چندکارکردی اکوسیستم، کمتر از سایت‌های نهم، دهم، یازدهم و دوازدهم (که در فاصله نزدیک به کانون شوری قرار دارند)، می‌باشد. به عبارتی، در ناحیه اول اکولوژیک (فاصله دورتر از کانون شوری)، مقدار شاخص چندکارکردی اکوسیستم، کمتر از ناحیه سوم اکولوژیک (فاصله نزدیک به کانون شوری) است. این موضوع، به این دلیل است که در امتداد گرادیان شوری خاک، از ناحیه اول به سمت ناحیه سوم، اندازه صفات ساختاری و عملکردی گونه قره‌داغ، بیشتر می‌شود. در نتیجه، اندازه شاخص چندکارکردی اکوسیستم که مبتنی بر اندازه صفات پایه‌های گونه قره‌داغ می‌باشد، بیشتر خواهد شد.

بررسی‌ها نشان داد که شاخص چندکارکردی اکوسیستم با یکسری از ویژگی‌های خاک، همبستگی مثبت و با یکسری، همبستگی منفی دارد. در این ارتباط، بیشترین همبستگی مثبت، با درصد شن (Sand)، سدیم (Na)، نسبت جذب سدیم (SAR) و درصد سدیم‌تبادلی (ESP) رویشگاه در نواحی مختلف اکولوژیک است. این ویژگی‌ها از جمله ویژگی‌هایی هستند که ارتباط مستقیم با نیازهای اکولوژیک گونه قره‌داغ دارند. زیرا گونه قره‌داغ به دلیل سرشت اکولوژیک خود، در رویشگاه‌های ماسه‌ای با آب سطح زمین، رشد موفق‌تری دارد. بنابراین، هرچه درصد شن رویشگاه بیشتر و خاک حالت شنی و سبک داشته باشد، رشد بهتری خواهد داشت. از سویی، مقدار شاخص مذکور، بیشترین همبستگی منفی را با درصد سیلت (Silt)، کربن آلی (OC) و فسفر قابل جذب (P) دارد. بنابراین، در ناحیه اول و دوم اکولوژیک که بافت خاک حالت رسی و سنگین دارد، گونه قره‌داغ رشد موفق نداشته و اندازه صفات گیاهی آن نیز کمتر خواهد بود، در نتیجه مقدار شاخص کارکردی که مبتنی بر اندازه صفات گیاهی است، نیز نسبت به ناحیه سوم اکولوژیک، کمتر می‌باشد. در این مورد، شوری خاک، مهم‌ترین عامل جلوگیری از به ظرفیت رسیدن عملکرد چندگانه اکوسیستم بوده است. در شرایط شوری خاک، میکروارگانیسم‌های خاک فعالیت خاصی ندارند و موادغذایی را تجزیه و تنفس نمی‌کنند و یک انباشت از موادغذایی و فسفر در خاک اتفاق می‌افتد که آن نیز حتی به دلیل شوری بیشتر،

- 10.22052/DEEJ.2021.10.33.1
- Motamedi, J., Mofidi-Chelan, M. and Khodagholi, M., 2019. Evaluation of the economic, social and environmental impacts of Lake Urmia restoration measures from the perspective of local communities. *Iran Nature Journal*, 4(18): 43-51. [10.22092/IRN.2019.120508](https://doi.org/10.22092/IRN.2019.120508)
 - Rezaei, A. and Malakouti, M., 2011. Investigation of the effects of salinity on the growth of *Nitraria schoberi* and its comparison with *Atriplex* in the Meighan Desert of Arak. Second National Conference on Desertification and Different Methods of Desertification, Kerman, Deputy of Education and Research of the Ministry of Jihad-e-Sazandegi, Forests and Rangelands Research Institute.
 - Shahriari, A., Nouri, S., Abedi Kopaei, J. and Asaleh, F., 2011. Effect of irrigation with treated sewage effluent on the growth of *Nitraria schoberi* plant under greenhouse conditions. *Journal of Greenhouse Crops Sciences and Technologies*, 1(4): 13-22. <https://dori.net/dor/20.1001.1.20089082.1389.1.4.2.2>
 - Shahriary, E., Gill, T.E. and Langford, R.P., 2018. Landscape functionality analysis of soil surface conditions in an arid zone: a case study of Lajaneh Piosphere, Iran. *Annals of Arid Zone*, 57 (3-4): 163-170. DOI:[10.3923/rjes.2018.83.89](https://doi.org/10.3923/rjes.2018.83.89)
 - Smith, P., Ashmore, M.R., Black, H.I.J., Burgess, P.J., Evans, C.D., Quine, T.A., Thomson, A.M., Hicks, K. and Orr, H.G., 2013. Review: the role of ecosystems and their management in regulating climate, and soil, water and air quality. *Journal of Applied Ecology*, 50: 812-829. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12016>
 - Valencia, E., Maestre, F.T., Le Bagousse-Pinguet, Y., Quero, J.L., Tamme, R. and Börger, L., 2015. Functional diversity enhances the resistance of ecosystem multifunctionality to aridity in Mediterranean drylands. *New Phytologist*, 206: 660-671. <https://doi.org/10.1111/nph.13268>
 - Academy of Sciences, USA 116: 8419-8424. doi: 10.1073/pnas.1815727116.
 - Li, M.F. and Ma, Y.C., 2020. Pattern and drivers of phylogenetic diversity in Xinjiang grassland. *Acta Ecologica Sinica*, 40 (7): 2285-2299. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2023.e02661>
 - Loewen, C.J., Strecker, A.L., Gilbert, B. and Jackson, D.A., 2020. Climate warming moderates the impacts of introduced sportfish on multiple dimensions of prey biodiversity. *Glob. Chang. Biol.* 26: 4937-4951. <https://doi.org/10.1111/gcb.15225>
 - Lucas-Borja, M.E., Delgado-Baquerizo, M., Muñoz-Rojas, M., Plaza- Álvarez, P.A., Gómez-Sanchez, M.E., González-Romero, J., Peña-Molina, E., Moya, D. and de las Heras, J., 2021. Changes in ecosystem properties after post-fire management strategies in wildfire-affected Mediterranean forests. *Journal of Applied Ecology*, 58: 836-846. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13819>
 - Maestre, F.T., Quero, J.L., Gotelli, N.J., Adrián, E., Victori, O. and Manuel, D.B., 2012. Plant species richness and ecosystem multifunctionality in global drylands. *Science*, 335: 214-218. doi: 10.1126/science.1215442.
 - Manning, P., Van Der Plas, F., Soliveres, S., Allan, E., Maestre, F.T., Mace, G., Whittingham, M.J. and Fischer, M., 2018. Redefining ecosystem multifunctionality. *Nature Ecology and Evolution*, 2: 427-436. DOI:[10.1038/s41559-017-0461-7](https://doi.org/10.1038/s41559-017-0461-7)
 - Motamedi, J. and Sheidai-Karkaj, E., 2024. Determination of ecological thresholds in saline habitats on western shore of Lake Urmia, Iran. *Journal of Rangeland Science (JRS)*, 14 (2): 1-12. [10.57647/j.jrs.2024.1402.15](https://doi.org/10.57647/j.jrs.2024.1402.15)
 - Motamedi, J. and Sheidai-Karkaj, E., 2022. Investigating the success of fine dust control plans using structural and functional characteristics of habitats on the western edge of Lake Urmia. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 10(32):1-12.