تأثیر استخراج معادن رس و گچ بر وضعیت پوشش گیاهی و خاک اکوسیستم مناطق خشک (مطالعه موردی: دشت سگزی اصفهان)

امیر جوزقیان[1*]، حسین بشری[2]، احمد پهلوانروی[1] و مجید آجرلو[1]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۲/۱۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۲۶)

چکیده

این مطالعه به‌منظور ارزیابی اثر استخراج معادن گچ و رس بر ساختار و عملکرد منطقه سگزی اصفهان با استفاده از روش تحلیل عملکرد چشم‌انداز (LFA) انجام شد. ۱۸ ترانسکت ۵۰ متری در مناطق معدنی و مرجع مستقر و در این ترانسکت‌ها طول و عرض لکه‌های پوشش گیاهی و طول میان لکه‌ها اندازه‌گیری شد. برای انواع لکه‌ها و فضای بین‌لکه‌ای در ترانسکت‌های مورد مطالعه، تعداد ۱۱ شاخص سطح خاک در روش LFA ارزیابی شد. تعداد ۳۶ نمونه خاک به‌طور تصادفی از عمق‌های ۰ تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متری سطح خاک برداشت و میزان pH، گچ، آهک، هدایت الکتریکی، ماده آلی، درصد رس، سیلت و شن نمونه‌های خاک اندازه‌گیری شد. طبق نتایج، ساختار و عملکرد مناطق مرجع شامل نفوذپذیری، پایداری و چرخه مواد غذایی خاک وضعیت بهتری نسبت به مناطق معدن‌کاوی شده داشت. در سایت رس به‌غیر از شاخص‌های آزمون پایداری در برابر رطوبت، پوشش لاشبرگ و ناهمواری سطح خاک و در سایت گچ به‌غیر از شاخص‌های پوشش نهانزادان، طبیعت و ناهمواری سطح خاک و مواد رسوبی، بقیه شاخص‌ها در مناطق مرجع و معدن‌کاوی شده تفاوت معنی‌داری داشتند ($p < ۰/۰۵$). تغییرات به‌وجود آمده در وضعیت پوشش گیاهی و خاک، گواه افزایش روند بیابان‌زایی منطقه است.

واژه‌های کلیدی: پایداری، نفوذپذیری، معدن‌کاوی، تحلیل عملکرد چشم انداز

۱. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل

۲. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: ajozaqian@yahoo.com

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.24763128.1395.5.15.6.4]

[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.5.15.65]

مقدمه

اکوسیستم‌های مناطق خشک بسیار شکننده بوده و در صورت تخریب جوامع گیاهی این مناطق، روند احیاء آنها بسیار کند است، به همین دلیل جهت اطمینان از وضعیت سلامتی این اکوسیستم‌ها، ارزیابی تغییرات ساختار و عملکرد این مناطق لازم است (۲۹). در بخش ساختار اکوسیستم مواردی از جمله لایه‌بندی و نوع پوشش گیاهی، فرم رویشی، درصد تاج پوشش و تراکم گیاهی و در بخش عملکرد اکوسیستم، مواردی از جمله جریان انرژی، چرخه مواد غذایی، آب و وضعیت سلامت خاک رویین مطرح می‌گردد. با وجود اینکه بررسی عملکرد به‌سادگی بررسی ساختار اکوسیستم نیست، اما می‌توان با استفاده از روش‌های موجود، چرخه عناصر غذایی، جریان انرژی و وضعیت سلامت خاک را در اکوسیستم‌های مورد مطالعه بررسی نمود. اینکه سرعت و ماهیت حاصل‌خیزی و باروری و تجزیه مواد آلی در محل چقدر می‌باشد نیز از جمله مواردی است که اطلاعات ارزشمندی را می‌تواند برای مدیران فراهم سازد (۲۷). در سال‌های اخیر استفاده از شاخص‌های مختلف برای بررسی عملکرد اکوسیستم به‌منظور ارزیابی روند تخریب و احیاء در حال توسعه است. برای این منظور مؤسسه CSIRO در استرالیا، روشی تحت عنوان تجزیه و تحلیل عملکرد چشم‌انداز (Landscape Function Analysis) ابداع نموده است (۲۱). این روش یک شیوهٔ پایش بوده که برای ارزیابی اثرات معادن در استرالیا ابداع شده و به‌طور گسترده‌ای در سراسر جهان در اکوسیستم‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است و به‌طور عمده وضعیت عملکرد خاک سطحی را با استفاده از شاخص‌های ۱۱ گانه بررسی می‌نماید (۴ و ۳۱). این روش در چشم‌اندازهای طبیعی و احیا شده پس از معدن‌کاوی، در دامنه‌ای از رژیم‌های اقلیمی از مناطق خشک (بارش سالانه ۱۵۰ میلی‌متر) در استرالیا تا جنگل‌های بارانی مجاور استوا در اندونزی (بارش سالانه ۴۰۰۰ میلی‌متر) (۵) و در کاربری‌های اراضی مختلف از بهره‌برداری سنتی مراتع تا معدن‌کاوی به‌کار گرفته شده است (۲۹). تونگوی و هیندلی، با استفاده از این روش، روند احیا در مراتع معدن‌کاوی شده استرالیا را بررسی کردند. آنها دریافتند که سرعت عمل، کم هزینه بودن و نیاز به وسایل ساده برای ارزیابی سطح خاک در عملیات میدانی از امتیازات مهم این روش است که اهمیت استفاده از آن را دوچندان کرده است (۲۷). با استفاده از این روش تأثیر روش‌های مختلف اصلاحی نظیر احداث کنتور فارو و هلالی و کاشت گیاهان مختلف بر عملکرد اکوسیستم‌های مختلف مطالعه شده است (۶، ۱۵ و ۳۲). در کشور زیمباوه با استفاده از روش "تجزیه و تحلیل عملکرد اکوسیستم"اثرات معادن مس بر ساختار و عملکرد اکوسیستم منطقه بررسی شده است (۱۳). تونگوی و همکاران، برای اثبات صحت شاخص‌های ارائه شده توسط روش LFA در تعداد ۹ منطقه مطالعاتی در استرالیا، شاخص‌های پایداری، نفوذپذیری و چرخه عناصر غذایی را بررسی کردند. آنها دریافتند که فرآیند فرسایش و رسوب‌گذاری در منطقه معدن‌کاوی شده گرانیت طلایی فعال است (۲۸). مستر و پوچ با استفاده از روش LFA، به بررسی عملکرد اکوسیستم و پایش فرآیند بیابان‌زایی در ۲۹ مکان پوشیده از گونه *Stipa tenacissima* در اسپانیا پرداختند. آنها دریافتند که شاخص‌های پایداری، نفوذپذیری و چرخه عناصر غذایی، همبستگی معنی‌داری با متغیرهای خاک داشته و این روش پتانسیل خوبی برای پایش بیابان‌زایی دارد (۲۲). برخی از محققان نیز با تلفیق این روش با تکنیک‌ها و شاخص‌های سنجش از دور عملکرد اکوسیستم‌ها را در مقیاس‌های مختلف بررسی کرده‌اند (۱۴، ۱۶ و ۲۴). در سال‌های اخیر به‌دلیل عدم برنامه‌ریزی صحیح در جهت استفاده از معادن موجود در کشور، مشکلات متعددی به‌وجود آمده است. منطقه سگزی واقع در استان اصفهان نیز به‌همین دلیل به یکی از کانون‌های بیابان‌زایی اصفهان تبدیل شده است (۱۰). تغییر در کاربری باعث تغییراتی در وضعیت خاک سطحی و در برخی موارد منجربه کاهش پتانسیل تولیدی اکوسیستم یا بیابان‌زایی شده است (۴). از آنجا که خسارات ناشی از بهره‌برداری خاک جهت استفاده در معادن و تأثیر آن بر خاک و پوشش گیاهی و اهمیت آن از جنبه‌های

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-19]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1395.5.15.6.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.5.15.65]

مختلف قابل تأمل است، این مطالعه به‌منظور ارزیابی اثر استخراج معادن گچ و رس بر ساختار و عملکرد منطقه سگزی اصفهان صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در دشت سگزی با وسعتی بالغ بر ۴۲۷۳ هکتار در ۳۵ کیلومتری شرق شهر اصفهان قرار دارد (شکل ۱). موقعیت معادن مورد مطالعه، در طول جغرافیایی °۵۲ و′۲ تا "۳۲ ′۳ °۵۲ شرقی و عرض جغرافیایی "۲۰ ′۴۴ °۳۲ تا "۸ ′۴۵ °۳۲ شمالی واقع گردیده است. میانگین دمای سالانه منطقه ۱۸ درجهٔ سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه آن ۲۰۰ میلی‌متر می‌باشد. از نظر ژئومورفولوژی منطقه مطالعاتی در تیپ دشت سرپوشیده قرار گرفته و رژیم رطوبتی خاک‌های منطقه از نوع اریدیک است (۱۰). نوع پوشش گیاهی غالب منطقه مورد مطالعه را جوامع گیاهی خارشتر و درمنه دشتی به‌همراه برخی گونه‌های شورپسند تشکیل می‌دهند.

روش کار

در این مطالعه، دو سایت تحت بهره‌برداری معدن گچ و یک سایت تحت بهره‌برداری معدن رس انتخاب شد و در مجاورت این مناطق برای هر کدام یک منطقه مرجع که عملیات معدن کاوی در آنها انجام نشده بود درنظر گرفته شد. در هر یک از سایت‌ها سه ترانسکت ۵۰ متری با فاصلهٔ ۱۰۰ متر از یکدیگر (در مجموع تعداد ۱۸ ترانسکت) در جهت باد غالب منطقه مستقر گردید و نقطهٔ ابتدایی و انتهایی هر یک از ترانسکت‌ها با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) ثبت گردید. در طول ترانسکت‌ها به‌طور پیوسته طول و عرض لکه‌ها (زیر بوته‌های گیاهی) و طول میان لکه‌ها (بین بوته‌ها) اندازه‌گیری گردید. سپس تعداد ۱۱ شاخص حفاظت در برابر پاشمان، پوشش لاشبرگ، پوشش نهانزادان، شکستگی پوسته، نوع و شدت فرسایش، مواد رسوبی، طبیعت سطح خاک، آزمایش پایداری در برابر رطوبت، پوشش گیاهان چندساله، ناهمواری سطح خاک و بافت خاک در هر یک از انواع لکه‌ها و میان لکه‌ها در مناطق مرجع و معدنی طبق دستورالعمل روش LFA ثبت و امتیازدهی شد. سپس داده‌ها وارد نرم‌افزار تحت محیط اکسل LFA گردید. ویژگی‌های عملکردی شامل: نفوذپذیری، پایداری و چرخه مواد غذایی در خاک برای هر منطقه و هر نوع لکه و فضای بین لکه‌ای محاسبه شد. در جدول ۱، ارتباط هر یک از شاخص‌های ۱۱ گانه با ویژگی‌های عملکردی آورده شده است.

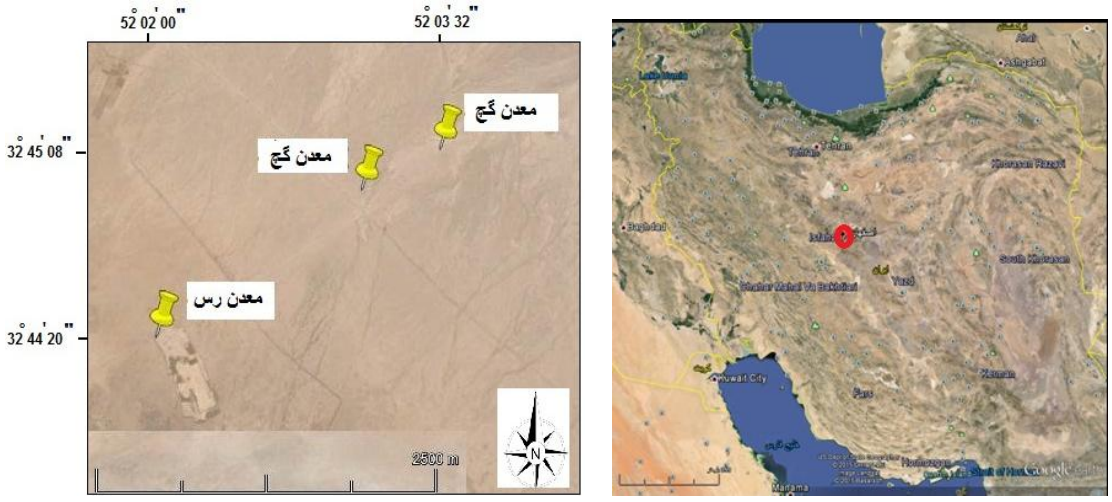
فاکتورهای ارتفاع، عرض، ضخامت تاج پوشش، حجم گیاه و تعداد بوته در ۱۰۰ مترمربع نیز برای ارزیابی ساختار پوشش گیاهی مناطق مرجع رس و گچ، با استفاده از روش نقطه یک چهارم متمرکز (Point Centered Quarter) اندازه‌گیری شد (۵). روش PCQ روشی است که بدون استفاده از پلات می‌توان میزان تراکم گونه‌های گیاهی را محاسبه نمود. در این روش تعدادی نقاط تصادفی در امتداد یک ترانسکت انتخاب شده و سپس منطقه اطراف هر نقطه انتخابی به ۴ بخش ۹۰ درجه‌ای تقسیم می‌شود و فاصله نزدیکترین گونه گیاهی به نقطه تصادفی منتخب در هر بخش اندازه‌گیری و میانگین‌گیری شده و با استفاده از معادله شماره ۱ میزان تراکم گونه‌های گیاهی و تعداد بوته در ۱۰۰ متر مربع محاسبه می‌شود.

$$\text{تعداد بوته در 100 مترمربع} = 100/D^2 \qquad [۱]$$

در این معادله D عبارت است از میانگین فاصلهٔ نزدیکترین گیاهان در بخش‌های ۴ گانه در نقطه‌های تصادفی منتخب در طول ترانسکت.

برای انجام روش PCQ در هر یک از مناطق مرجع رس و گچ، ترانسکت‌های ۲۰۰ متری مستقر شد و پس از تعیین نقاط نمونه‌گیری بر امتداد هر ترانسکت، در هر یک از بخش‌های چهارگانه، فاکتورهای؛ ارتفاع، عرض، ضخامت تاج پوشش، حجم گیاه و نزدیکترین فاصله گیاهان به نقاط تصادفی اندازه‌گیری شد و در نهایت تعداد بوته در ۱۰۰ مترمربع محاسبه شد (۵).

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-19]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1395.5.15.6.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.5.15.65]



ب الف

شکل ۱. (الف) موقعیت منطقه مطالعاتی در کشور (ب) تصویر ماهواره‌ای منطقه سگزی به همراه نقاط نمونه‌برداری معادن مورد مطالعه، مناطق رفرنس معادن در مجاورت آنها قرار دارد.

جدول ۱. ارتباط شاخص‌های ۱۱ گانه با ویژگی‌های عملکردی

شاخص‌ها	پایداری	نفوذپذیری	چرخه عناصر غذایی	توضیحات
پوشش خاک	×			پوشش جهت کنترل اثرات ناشی از قطرات باران
الف: پوشش لاشبرگ	×			مانع از اثر تخریبی قطرات باران
ب: منشأ و درجه تجزیه لاشبرگ		×	×	درجه و میزان خردشدگی لاشبرگ
پوشش نهانزادان	×		×	شامل جلبک، قارچ، گلسنگ و سرخس
شکستگی پوسته	×			میزان شکستگی پوسته سطحی
نوع و شدت فرسایش	×			فرسایش فعلی خاک/ میزان هدر رفت خاک
مواد رسوبی	×			ارزیابی حجم رسوبات منتقل و ته نشین شده
ناهمواری سطح خاک		×	×	ناهمواری‌های سطحی جهت حفظ منابع آب- بذر
طبیعت سطح خاک	×	×		ارزیابی میزان تخریب خاک به‌طور مکانیکی
پوشش گیاهان چند ساله		×	×	تراکم تاج پوشش درختان و بوته‌ای‌ها
پایداری در برابر رطوبت	×	×		ارزیابی میزان پایداری قطعات خاک در برابر رطوبت
بافت خاک		×		طبقه‌بندی بافت خاک سطحی

(× : ارتباط با شاخص مورد نظر)

سپس در طول ترانسکت‌های مستقر شده در مناطق مرجع و معدنی هر یک از سایت‌های رس و گچ، به‌طور تصادفی یک پروفیل حفر شد و از دو عمق ۰ تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متری، تعداد ۳۶ نمونه خاک برداشت شد. نمونه‌های خاک پس از خشک کردن در هوای آزاد، توسط غربال ۲ میلی‌متری الک شده و به آزمایشگاه منتقل گردیدند. در آزمایشگاه گچ به‌روش کربنات سدیم، آهک به‌روش تیتراسیون برگشتی، ماده آلی به‌روش والکی و بلاک، ذرات رس، سیلت و شن به‌روش هیدرومتری (۱)، هدایت الکتریکی و pH نمونه‌های خاک اندازه‌گیری شدند. پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها با

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-19]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1395.5.15.6.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.5.15.65]

آزمون آندرسون دارلینگ، عملکرد مناطق مرجع و برداشت معدن با استفاده از آزمون آماری t مستقل بررسی شد. هم‌چنین برای بررسی تفاوت‌های شاخص‌های ۱۱ گانه روش تحلیل عملکرد چشم‌انداز در مناطق معدن کاوی شده و مرجع از روش غیرپارامتری کروسکال‌والیز استفاده شد. برای بررسی تفاوت متغیرهای ادافیکی از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه (ANOVA) استفاده شد و با استفاده از آزمون توکی میانگین متغیرهای اندازه‌گیری شده در تیمارهای مختلف بررسی شد. کلیه آزمون‌ها در نرم افزار آماری SPSS 17 انجام شد.

نتایج و بحث

ساختار مناطق مورد بررسی

در نتیجه استحصال معدن تقریباً تمامی پوشش گیاهی معادن رس و گچ از بین رفته است. بین مقادیر تراکم بوته‌ها، ارتفاع، ضخامت، عرض و حجم گیاهان در مناطق مرجع گچ و مرجع رس تفاوت معنی‌داری وجود داشت ($P < ۰/۰۵$). براساس نتایج، میزان درصد پوشش گیاهی در سایت مرجع گچ دارای مقدار بیشتر و در سایت مرجع رس دارای مقادیر کمتری بود. هم‌چنین وجود سنگ و سنگریزه‌های زیاد در سایت مرجع گچ باعث افزایش درصد پوشش حفاظتی خاک شده بود ولی با شروع استخراج معدن گچ، نقش سنگ و سنگریزه‌ها نیز به‌عنوان مانعی در برابر فرسایش از بین رفته و باعث افزایش حساسیت منطقه به فرسایش و به‌خصوص فرسایش بادی گشته و به‌همین دلیل این منطقه به محل برداشت گرد و غبار تبدیل شده است. اما این مسأله در مرجع رس مصداق نداشت چون این منطقه فاقد سنگ و سنگریزه سطحی بود. بنابراین ساختار پوشش در سایت مرجع گچ وضعیت بهتری داشت (جدول ۲). مقایسه نتایج ساختار چشم‌انداز در مناطق مرجع و معدن‌کاوی شده نشان داد که تعداد لکه‌ها در هر ۱۰ متر، کل لکه‌های گیاهی و شاخص نظام یافتگی چشم‌انداز (میزان توانمندی و قابلیت چشم‌انداز) در سایت‌های مرجع و معدنی تفاوت معنی‌داری نداشتند ($P < ۰/۰۵$). دلیل این امر را می‌توان به محدودیت‌های بوم‌شناختی منطقه نسبت داد به‌طوری‌که منطقه مرجع نیز پوشش گیاهی ضعیفی داشت. با این وجود نتایج نشان داد که میزان خاک لخت در طول هر ترانسکت در مناطق مرجع و معدنی هر کدام از سایت‌ها دارای تفاوت معنی‌داری بودند ($P < ۰/۰۵$) (جدول ۳).

پیوستگی خاک لخت در مناطق مرجع کم بوده درحالی‌که مناطق استخراج معدن به‌صورت یکپارچه عاری از هرگونه پوشش می‌باشد. حذف کامل پوشش گیاهی در مناطق معدنی باعث تسریع روند فرسایش شده است. تونگوی و لودویگ نیز اشاره داشتند که حذف پوشش گیاهی در مناطق معدن‌کاوی شده، یکی از مخرب‌ترین فعالیت‌هایی است که در یک اکوسیستم می‌تواند اتفاق بیافتد (۳۰). به‌طور کلی رویشگاه‌هایی که در آن خاک لخت به‌طور وسیع و پیوسته قرار دارد، ساختار نامناسب‌تری نسبت به رویشگاه‌هایی دارند که مقدار خاک لخت با درجه پیوستگی کمتر در آن مناطق وجود دارد (۱۸). تفاوت شاخص سازمان یافتگی چشم‌انداز در مناطق مرجع و معدن‌کاوی شده معنی‌دار نبود اما عدد این شاخص در مناطق مرجع به‌طور نسبی کمی بیشتر از مناطق معدنی بود. دلیل این امر می‌تواند این مسئله باشد که حتی میزان کم تاج پوشش بوته‌های گیاهی در مناطق مرجع باعث کاهش نسبی فرسایش‌پذیری این مناطق در مقایسه با مناطق معدنی که عاری از هر گونه پوشش گیاهی می‌باشند شده است. هولم و همکاران نشان دادند که شاخص‌های لکه‌های پوشش گیاهی بر میزان شاخص‌های ساختاری تأثیر دارند (۱۹). این نتایج با یافته‌های بور و سارگنت نیز مطابقت دارد (۱۲).

مقایسه عملکرد مناطق معدن‌کاوی شده و مرجع

براساس نتایج به‌دست آمده، تفاوت شاخص‌های پایداری و نفوذپذیری در مناطق مرجع و معدن کاوی شده هر یک از سایت‌های رس و گچ معنی‌داری بود ($P < ۰/۰۵$). هم‌چنین بین شاخص چرخه عناصر غذایی سایت مرجع و معدن گچ تفاوت

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-19]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1395.5.15.6.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.5.15.65]

جدول ۲. مقایسه میانگین‌های شاخص‌های پوشش گیاهی مناطق مرجع رس و مرجع گچ منطقه سگزی

سایت	ارتفاع(cm)	ضخامت(cm)	عرض(cm)	حجم(m^3)	تعداد بوته در هر ۱۰۰مترمربع
مرجع رس	۱۷/۷۳ ± ۰/۰۳ *	۳۰/۲۳ ± ۰/۱ *	۱۴/۲۸ ± ۰/۱۹ *	۱/۳۵ ± ۰/۳ *	۰/۵۷ *
مرجع گچ	۴۹/۶۶ ± ۰/۱ *	۵۰/۶۲± ۰/۰۸ *	۴۱/۰۳ ± ۰/۱۶ *	۵/۵۴ ± ۰/۰۵ *	۲/۰۹ *

* : بیانگر وجود اثر معنی‌دار در سطح ۰/۰۵

جدول ۳. مقایسه میانگین ساختار چشم‌انداز مناطق مرجع و معدن‌کاوی شده سایت‌های رس و گچ در منطقه سگزی

شاخص‌ها	مرجع رس	معدن رس	مرجع گچ	معدن گچ	آماره F
تعداد لکه‌ها در هر۱۰ متر	۰/۲۶±۰/۱۱	۰	۰/۲۵±۰/۰۳	۰/۱۵±۰/۰۲	۲/۵۴ ns
کل لکه‌های گیاهی	۰/۰۸±۰/۵۷	۰	۰/۰۵±۰/۴۶	۰	۳/۰۳ ns
فاصله میان لکه‌ها (متر)	۲۱/۷۳±۰/۶ c	۵۰ a	۲۲/۴۵±۰/۵ c	۴۵/۸۲±۱/۱ b	۶/۸۲ *
نظام یافتگی چشم‌انداز	۰/۰۲±۰/۰۰۷	۰	۰/۱۳±۰/۰۰۵	۰	۰/۷۴ ns

ns : عدم وجود اثر معنی‌دار و *: وجود اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ > P ، وجود حداقل یک حرف مشترک بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار است.

جدول ۴. مقایسه میانگین شاخص‌های عملکردی مناطق مرجع و معدن‌کاوی شده سایت‌های رس و گچ در منطقه سگزی

میانگین شاخص‌ها(٪)	مرجع رس	معدن رس	مرجع گچ	معدن گچ
پایداری	۴۰/۱± ۲/۲۲ ab	۳۱/۱± ۰/۱۸ c	۴۱/۸±۲/۸۹ a	۲۴/۹۰±۰/۳۶ d
نفوذپذیری	۲۷/۵± ۱/۴۴ bc	۱۵/۰± ۱/۳ d	۴۵/۹±۳/۲۸ a	۲۴/۵±۰/۷۵ c
چرخه عناصر غذایی	۱۱/۹± ۰/۵۴ b	۱۰/۰± ۰/۷۳ b	۳۳/۳±۲/۲۸ a	۱۱/۸±۰/۳۴ b

وجود حداقل یک حرف مشترک بیانگر عدم وجود اثر معنی‌دار بین مناطق مورد بررسی است.

معنی‌داری وجود داشت، ولی در قسمت مرجع و معدن‌کاوی شده سایت رس، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (P < ۰/۰۵) (جدول ۴). در سایت رس به‌غیر از شاخص‌های آزمون پایداری در برابر رطوبت، پوشش، منشأ و درجه تجزیه لاشبرگ و ناهمواری سطح خاک و در سایت گچ به‌غیر از شاخص‌های منشأ و درجه تجزیه لاشبرگ، پوشش نهانزادان، طبیعت و ناهمواری سطح خاک و مواد رسوبی، بقیه شاخص‌ها در قسمت مرجع و معدن‌کاوی شده تفاوت معنی‌داری داشتند (P < ۰/۰۵) (جدول ۵). میزان کل شاخص‌های عملکردی در مناطق معدن‌کاوی شده نسبت به مرجع دارای مقادیر کمتری است (جدول ۴). شاخص پایداری در میان لکه‌ها (خاک لخت) کمتر است (۱۸) و کاهش نفوذپذیری نیز ناشی از تغییر کاربری اراضی، و فشرده شدن سطح خاک در اثر تردد بی‌وقفه ماشین‌آلات می‌باشد. فشرده شدن خاک سطحی منجربه کاهش نفوذپذیری خاک می‌شود (۲). لارسون و الیاسون نیز تغییر کاربری اراضی را یکی از عوامل اصلی مؤثر بر نرخ نفوذپذیری خاک برشمردند (۲۰). از آنجا که عمده بذور نیز در خاک سطحی وجود دارند، برداشت معدن باعث می‌شود که خاک از بذر تهی شده و متعاقب آن عدم وجود پوشش گیاهی گونه‌های یک‌ساله و چندساله نیز باعث کاهش چرخه عناصر غذایی در سایت‌های معدنی شده است. مستر و کورتینا نیز مقادیر کمتر شاخص‌های عملکردی را در خاک لخت نسبت به منطقه دارای لکه‌های پوشش گیاهی نشان دادند (۲۳). عدم تجمع لاشبرگ و پایه‌های گیاهی، افزایش شدت رواناب در مناطق عاری از

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-19]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1395.5.15.6.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.5.15.65]

جدول ۵. مقایسه مقادیر کل امتیازات ۱۱ شاخص سطح خاک مرتبط با ویژگی‌های عملکردی

شاخص‌ها	مرجع رس	معدن رس	مرجع گچ	معدن گچ	P-value
پوشش خاک	۲/۶۱	۱	۳/۴۳	۱/۵۷	۰/۰۴۵ *
پوشش لاشبرگ	۱/۶۴	۱	۲/۰۵	۱	۰/۰۱۵ *
منشأ و درجه تجزیه لاشبرگ	۰/۷۵	۰	۱	۰/۲۵	۰/۰۵ ns
پوشش نهانزادان	۱	۰/۲۲	۱	۱	۰/۰۲۵ *
شکستگی پوسته	۲/۲۷	۰/۵۵	۳/۰۵	۱/۴۲	۰/۰۳۲ *
فرسایش	۴	۱	۲/۸۷	۱/۴۲	۰/۰۴۲ *
مواد رسوبی	۳/۲۷	۱	۲/۷۹	۱/۱۴	۰/۰۰۵ *
ناهمواری سطح خاک	۱/۷۷	۱/۷۷	۱/۹۷	۲/۰۴	۰/۳ ns
طبیعت سطح خاک	۱/۵۵	۳/۸۸	۲/۶۴	۲/۴۲	۰/۰۲۵ *
پوشش گیاهان چندساله	۲/۱۶	۱	۲/۳۵	۱/۱۴	۰/۰۴۱ *
پایداری در برابر رطوبت	۱	۱/۷۷	۲	۰/۹	۰/۰۲۶ *
بافت خاک	۳	۱/۶۶	۲/۶۱	۳/۷۱	۰/۰۰۷ *

ns : عدم وجود اثر معنی‌دار، * : وجود اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ .

پوشش گیاهی را به‌دنبال دارد (۵). با توجه به نتایج، ملاحظه می‌گردد که قطعات گیاهی تأثیر متفاوتی برروی عملکرد اکوسیستم دارد. مباحث فوق با نتایج گرین (۱۷) نیز مطابقت دارد.

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مناطق مورد بررسی

در سایت رس در مناطق مرجع و معدنی تفاوت مقادیر pH، سیلت، شن و گچ معنی‌دار بود، ولی بین مقادیر آهک، رس، هدایت الکتریکی و ماده آلی در مناطق مرجع و معدنی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (α =۰/۰۵). علت عدم تفاوت معنی‌دار مواد آلی سطح خاک در این سایت، کمی درصد تاج پوشش در منطقه است. در سایت گچ، تفاوت مقادیر آهک، شن، رس و گچ در مناطق مرجع و معدنی معنی‌دار بود، ولی بین مقادیر pH، هدایت الکتریکی، سیلت و ماده آلی در مناطق مرجع و معدنی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ($P > ۰/۰۵$) (جدول۶).

وجود آهک بیش از حد در خاک باعث ایجاد سخت لایه و نامساعد شدن شرایط جهت جذب برخی از مواد غذایی توسط گیاه می‌شود، ولی وجود مقادیر متعادلی از آن در ایجاد ساختمان خوب و افزایش فعالیت بیولوژیکی در خاک مؤثر است (۳). با توجه به اینکه خاک منطقه مرجع گچ پایداری بیشتری نسبت به معدن گچ دارد، می‌توان افزایش مقادیر کربنات کلسیم در سایت مرجع گچ را به‌عنوان یک فاکتور مثبت در جهت افزایش شاخص پایداری این منطقه ارزیابی کرد و با توجه به نقش کلسیم موجود در آهک بر میزان نفوذپذیری، می‌توان نتیجه گرفت که پوشش گیاهی مناسب به‌همراه مقادیری از کربنات کلسیم، بر میزان پایداری و نفوذپذیری خاکدانه‌های سایت مرجع گچ تأثیر مثبت داشته است. مینهاس و شارما نیز تأثیر مثبت کربنات کلسیم بر پایداری خاکدانه‌ها را گزارش کردند (۲۵). ذرات رس، سیلت و شن، اثرات متفاوتی بر شدت نهایی نفوذ دارند، به‌طوری‌که با افزایش درصد رس و سیلت، شدت نفوذ نهایی به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (۹). در سایت معدن رس هیچ‌گونه پوشش گیاهی برروی سطح خاک مشاهده نمی‌شود ولی می‌توان افزایش مقادیر رس را به‌عنوان

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-19]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1395.5.15.6.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.5.15.65]

جدول ۶. مقایسه میانگین برخی از ویژگی‌های خاک (تا عمق ۳۰ سانتی‌متری سطح) در مناطق مرجع و معادن برداشت رس و گچ

فاکتورهای خاک	مرجع رس	معدن رس	مرجع گچ	معدن گچ	آماره F
هدایت الکتریکی (1dS/m)	۵۸/۶۱±۹/۲۸ a	۵۸/۷±۱۳/۹ a	۸/۷۲±۱/۹ b	۵/۷۱±۱/۹ b	۲۴/۱۸ *
پی‌اچ	۷/۹۲±۰/۱۸	۷/۴۸±۰/۱۴	۷/۷۵±۰/۱۲	۷/۷۷±۰/۱۲ a	۱۱/۰۵ ns
درصد کربنات کلسیم	۳۲/۶۶±۴/۷ ab	۳۹/۷۵±۵/۴۶ a	۴۱/۴۳±۷/۱۲ a	۲۳/۱۸±۱۱/۶۲ b	۶/۲۰ *
درصد سولفات کلسیم	۱۵/۶۴±۱/۵۷ b	۴/۹۱±۰/۹۲ c	۸/۸۷±۴/۹۰ c	۲۵/۸۴±۸/۴۶ a	۱۲/۶۸ *
درصد ماده آلی	۰/۶±۰/۳	۰/۴۴±۰/۱۵	۰/۵۴±۰/۱۵	۰/۳۹±۰/۲	۱/۶۹ ns
درصد رس	۱۹/۵±۷/۹ a	۳۱/۵±۱۴/۳ a	۲۱/۴۱±۳/۹۲ a	۳/۸۳±۰/۶۲ b	۶/۶۷ *
درصد سیلت	۲۵/۱۶±۸/۰۱ b	۵۰/۱۶±۱۴/۳ a	۱۳/۱۶±۵/۵۴ c	۹/۹۱±۲/۷ c	۱۸/۲۸ *
درصد شن	۵۵/۳۳±۸/۲۳ c	۱۸/۳۳±۶/۴ d	۶۵/۴۱±۴/۶۲ b	۸۲/۲۵±۳/۲ a	۱/۵۰ *

*: بیانگر اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ > p، ns : نشان‌دهنده عدم وجود اثر معنی‌دار بین تیمارهای مورد بررسی می‌باشد. وجود حداقل یک حرف مشترک بیانگر عدم وجود اثر معنی‌دار بین مناطق مورد بررسی است.

یک فاکتور مثبت در جهت افزایش شاخص پایداری در این منطقه ارزیابی کرد (۷). رازیا و کی نیز گزارش کردند که پایداری خاکدانه‌ها، با افزایش میزان رس افزایش می‌یابد (۲۶). با این حال در منطقه برداشت معدن رس نیز ذرات رس باعث کاهش نفوذپذیری شده و ذرات سیلت هم به دلیل اینکه فاقد چسبندگی هستند در اثر رطوبت خاکدانه‌ها به سهولت شکسته شده و باعث ایجاد فرسایش می‌شوند (۲۶). مطالعات انجام شده توسط آزموده نیز بیانگر این مطلب است که ذرات سیلت همبستگی مثبت و معنی‌داری با میزان فرسایش خاک دارند (۲). محمود آبادی و همکاران بیان کردند که ذرات رس و سیلت با کاهش نفوذپذیری، باعث تولید رواناب و ذرات شن با ایجاد خلل و فرج بزرگتر، افزایش میزان نفوذپذیری نهایی خاک را به دنبال دارد (۸). مطالب مذکور با نتایج ادکالو و همکاران نیز مطابقت دارد (۱۱).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که با استحصال معادن سطحی نظیر گچ و رس، پوشش گیاهی و پوشش سنگفرش محافظ سطح خاک، به‌کلی از بین رفته و به‌موجب آن قابلیت فرسایش‌پذیری این مناطق افزایش یافته است. بنابراین تخریب قطعات گیاهی بر ساختار و عملکرد اکوسیستم تأثیر سوء داشته و باعث تسریع روند بیابان‌زایی در مناطق تحت استخراج معدن شده است. هم‌چنین تغییر برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک در اثر برداشت معادن نیز تا حدی بر ویژگی‌های عملکردی خاک سطحی این مناطق تأثیر داشته است. بنابراین توقف برداشت معادن در درجه اول و ترمیم مناطق تخریب شده با استفاده از روش‌های بیومکانیکی و نهال‌کاری با استفاده از پساب شهری در درجه بعدی می‌تواند به‌عنوان راهکاری مناسب برای رفع برخی از مشکلات این منطقه درنظر گرفته شود. براساس نتایج این مطالعه روش تجزیه و تحلیل عملکرد چشم‌انداز به‌خوبی تأثیر برداشت معادن بر عملکرد اکوسیستم منطقه را نشان داد و بنابراین از این روش می‌توان برای ارزیابی اثر سایر آشفتگی‌ها نظیر آتش، چرا، جنگل‌تراشی، استحصال بی‌رویه از منابع آبی، احداث سد و غیره بر اکوسیستم‌های مختلف به‌خصوص در پروژه‌های ارزیابی محیط زیست استفاده نمود.

تشکر و قدردانی

از مساعدت اداره کل منابع طبیعی استان اصفهان و آقایان مهندس علیرضا میرسعیدی به جهت پشتیبانی در برداشت

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-19]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1395.5.15.6.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.5.15.65]

داده‌های میدانی و مهندس کوشیار مختاری به‌دلیل کمک در انجام آزمایش‌های خاکشناسی تشکر می‌گردد. از جناب آقای دکتر رضا جعفری نیز به خاطر کمک در تهیه نقشه منطقه مطالعاتی تشکر می‌گردد. از داوران محترم نیز به‌دلیل کمک در برطرف کردن اشکالات مقاله کمال تشکر را داریم.

منابع مورد استفاده

۱. اسیلان، ک. س. و ا. بابائیان. ۱۳۸۹. روش‌های تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک، انتشارات زیتون سبز، تهران، ۹۲ ص.

۲. آزموده، ع.، ع. کاویان، ک. سلیمانی، و ق. وهاب‌زاده. ۱۳۸۹. مقایسه میزان رواناب و فرسایش در خاک‌های تحت پوشش کاربری‌های جنگل، زراعی و باغ با استفاده از شبیه ساز باران. *نشریه آب و خاک* ۲۴(۳): ۵۰۰-۴۹۰.

۳. پودینه، ص. ۱۳۹۱. پایش تغییرات پوشش گیاهی و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در منطقه مسیله قم. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان.

۴. حاج‌عباسی، م. ع.، ا. بسالت‌پور و ا. ر. مللی. ۱۳۸۶. اثر تبدیل مراتع به اراضی کشاورزی بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های جنوب و جنوب غربی اصفهان، *علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی* ۱۱(۴): ۵۳۴-۵۲۵.

۵. حشمتی، غ. ع.، ک. ا. ناصری و غ. قنبریان. ۱۳۸۷. تحلیل عملکرد چشم انداز. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۱۱۲ ص.

۶. دلاوری، ع.، ح. بشری، م. ترکش، ا. ا. میرکازهی و م. ر. مصدقی. ۱۳۹۳. ارزیابی اثر هلالی‌های آبگیر بر عملکرد پوشش سطح خاک با استفاده از روش تحلیل عملکرد چشم انداز، *مجله مرتع* ۸(۳): ۲۶۰-۲۵۱.

۷. روستا، م.، ک. عنایتی و آ. وکیلی. ۱۳۸۹. بررسی آزمایشگاهی تأثیر افزودن ترکیبات معدنی و مواد آلی بر میانگین وزن - قطر خاکدانه‌ها در یک خاک شور- سدیمی. *مجله پژوهش‌های خاک (علوم آب و خاک)* ۲۴(۳): ۲۳۵-۲۳۰.

۸. محمودآبادی، م.، ا. ح. چرخابی و ح. رفاهی.۱۳۸۶. بررسی تأثیر برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بر تولید رواناب و رسوب با استفاده از شبیه ساز باران. *مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی* ۸(۲): ۱۶-۱.

۹. محمودآبادی، م. و م. مظاهری. ۱۳۹۱. تأثیر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بر نفوذپذیری خاک در شرایط مزرعه. *فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب* ۲(۸): ۲۵-۱۴.

۱۰. مهندسین مشاور اسپادانا. ۱۳۸۹. طرح اجرای کانون‌های بحران فرسایش بادی منطقه سگزی اصفهان، جلد دوم، ۱۴۹ ص.

11. Adekalu K. O., I. A. Olorunfemi and J. A. Osunbitan. 2007. Grass mulching effect on infiltration, surface runoff and soil loss of three agricultural soils in Nigeria. *Bioresource Technology* 98: 912-917.

12. Boer, B. E. and D. O. Sargent. 1998. Desert perennial as plant and soil indicator in Eastern Arabia. *Plant and Soil* 199: 261-266.

13. Dowo, G. M., S. Kativu and D. J. Tongway. 2013. Application of ecosystem function analysis (EFA) in assessing mine tailings rehabilitation: an example from the Mhangura Copper Mine tailings, Zimbabwe. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy* 113: 923-930.

14. Dunwoody, J. E. 2015. Scaling effects on landscape function analysis of rangelands using remotely sensed imagery, Doctoral dissertation, University of Southern Queensland. Australia.

15. Ebrahimi, M. and M. Arab. 2014. Effects of contour furrow on ecological indices of range health using landscape function analysis (Case study: Ghick Sheikha rangeland, Jiroft, Iran). *International Journal of Scientific Research in Environmental Sciences* 2: 449-456.

16. Gaitán, J. J., D. Bran, G. Oliva, G. Ciari, V. Nakamatsu, J. Salomone, D. Ferrante, G. Buono, V. Massara, G. Humano, D. Celdrn, W. Opazo and F. T. Maestre. 2013. Evaluating the performance of multiple remote sensing indices to predict the spatial variability of ecosystem structure and functioning in Patagonian steppes. *Ecological indicators* 34:181-191.

17. Greene, R. S. B. 1992. Soil physical properties of three geomorphic zones in a semi arid Mulga woodland.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-19]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1395.5.15.6.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.5.15.65]

Australian Journal of Soil Research 30:55-69.
18. Gould, W. L. 1982. Wind erosion curtailed by shrub control. *Range Management* 35: 563-566.
19. Holm, A. M., L. T. Bennett, W. A. Loneragan and M. A. Adams. 2002. Relationships between empirical and nominal indices of landscape function in the arid shrub land of Western Australia. *Journal of Arid Environments* 50: 1-21.
20. Larsson, M. and S. Eliasson. 2006. The influence of land-use change, root abundance and macrospores on saturated infiltration rate-a field study on western Java, Indonesia. Water Resources Engineering, (http://lup.lub.lu.Se/ student-papers/record/1325506)
21. Ludwig, J. A. and D. J. Tongway. 1997. A landscape approach to rangeland ecology. PP. 1-12. *In*: Ludwig, J., D. J. Tongway, D. Freudenberger, J. Nobel and K. Hodgkinson (Eds.), Landscape Ecology, Function and Management: Principles from Australia's Rangelands. CSIRO Publishing, Melbourne, Australia.
22. Maestre, F. T. and M. D. Puche. 2009. Indices based on surface indicators predict soil functioning in Mediterranean semi-arid steppes. *Applied Soil Ecology* 41: 342-350.
23. Maestre, F. T. and J. Cortina. 2004. Insights into ecosystem composition and function in a sequence of degraded semiarid steppes. *Restoration Ecology* 12: 494-502.
24. Mayor, Á. G. and S. Bautista. 2012. Multi-scale evaluation of soil functional indicators for the assessment of water and soil retention in Mediterranean semiarid landscapes. *Ecological Indicators* 20: 332-336.
25. Minhas, P. S. and D. R. Sharma. 1986. Hydraulic conductivity and clay dispersion as affected by application sequence of saline and simulated rain water. *Irrigation Science* 7: 159-161.
26. Rasiah, V. and B. D. Kay. 1995. Characterizing rate of wetting: Impact on structural destabilization. *Soil Science* 160:176-182.
27. Tongway, D. J. and N. L. Hindley. 2000. Ecosystem function analysis of rangeland monitoring data: Rangelands Audit Project 1.1, National Land and Water Resources Audit, Canberra, 35 p.
28. Tongway, D. J., N. L. Hindley and B. Seaborn. 2003. Indicators of ecosystem rehabilitation success: stage two-Verification of EFA indicators. Produced by the Centre for Mined land Rehabilitation, Final report to the Australian centre for mining environmental research. University of Queensland, Brisbane and CSIRO Sustainable Ecosystems, Canberra, Australia, 66 p.
29. Tongway, D. J. and N. L. Hindley. 2004. Landscape Function Analysis: procedures for monitoring and assessing landscapes with special reference to mine sites and rangelands. Version 3.1, CSIRO Sustainable Ecosystems, Canberra, Australia, 158 p.
30. Tongway, D. J. and A. Ludwig. 2002. Desertification, Reversing. PP. 343-345. *In*: Lal, R. (Eds.), Encyclopedia of Soil Science. Marcel. Dekker, New York.
31. Tongway, D. J. and E. L. Smith. 1989. Soil surface features as indicators of rangeland site productivity. *The Rangeland Journal* 11: 15-20.
32. Zucca, C., M. Pulido-Fernández, F. Fava, L. Dessena and M. Mulas 2013. Effects of restoration actions on soil and landscape functions: *Atriplex nummularia* L. plantations in Ouled Dlim (Central Morocco). *Soil and Tillage Research* 133: 101-110.

[Downloaded from ijae.iut.ac.ir on 2026-11-19]
[DOR: 20.1001.1.24763128.1395.5.15.6.4]
[DOI: 10.18869/acadpub.ijae.5.15.65]