مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۴
ص۱۰۹-۱۲۹

تاریخ دریافت:۱۳۹۰/۱۰/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۸/۱۶

ارزیابی عملکرد روش لادا در بررسی وضعیت تخریب خاک منطقهٔ شرق اصفهان

❖ **بهزاد رایگانی؛** استادیار دانشکدهٔ علوم محیط زیست و منابع طبیعی، دانشگاه محیط زیست
❖ **غلامرضا زهتابیان[۲]*؛** استاد دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران
❖ **حسین آذرنیوند؛** دانشیار دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران
❖ **سیدکاظم علوی‌پناه؛** استاد دانشکدهٔ جغرافیا، دانشگاه تهران
❖ **سیدجمال‌الدین خواجه‌الدین؛** استاد دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

خاک یکی از منابع طبیعی اصلی تجدیدناپذیر در جهان است. تخریب خاک تهدیدی اصلی در سراسر کرهٔ زمین به‌شمار می‌رود، زیرا در درازمدت باعث کاهشِ توان تولیدی خاک و ناپایداری زیست‌محیطی می‌شود. تخریب خاک سه وجه مختلف دارد: تخریب فیزیکی؛ تخریب شیمیایی؛ و تخریب بیولوژیکی. در صورتی که بتوان هر یک از تخریب‌های مختلف خاک را در معادله‌ای برآورد کرد، به‌راحتی می‌توان فاکتور تخریب خاک را تخمین زد و ارزیابی کرد. بدین منظور، تلاش‌های گسترده‌ای در مناطق مختلف جهان صورت پذیرفته و روش‌های گوناگونی برای ارزیابی پدیدهٔ تخریب خاک ارائه شده است. در این پژوهش از جدیدترین دستورالعمل بررسی تخریب خاک- که پروژهٔ ارزیابی تخریب زمین در مناطق خشک (لادا) ارائه کرده- در ناحیهٔ بیابانی شرق اصفهان استفاده شد و با آن جنبه‌های مختلف تخریب خاک ارزیابی شد. مطابقِ یافته‌های این تحقیق، بیشتر کاربران در داخل کشور به‌راحتی می‌توانند از روش مذکور، به دلیل سادگیِ کاربرد و ارائهٔ سریع نتایج، استفاده کنند. مقایسهٔ نتایج حاصل از کاربرد این مدل در منطقه و عکس‌های گرفته‌شده از سایت‌های نمونه‌برداری نشان می‌دهد متدولوژی مذکور از دقت بسیار زیادی نیز برخوردار است.

واژگان کلیدی: ارزیابی، تخریب خاک، فرسایش آبی، فرسایش بادی، لادا.

* نویسندهٔ مسئول: تلفن: ۰۲۶-۳۲۲۲۳۰۴۴، فاکس: ۰۲۶-۳۲۲۴۹۳۱۳
Email: gzehtab@ut.ac.ir

مقدمه

از دیرباز تخریب خاک به عنوان یکی از سه نوع اصلی تخریب زمین مورد توجه بوده است [۹، ۱۰]. همچنین، مطابق با آخرین تعریف، بیابان‌زایی معادل با تخریب زمین در مناطق خشک است [۷، ۸، ۱۵، ۱۶، ۲۳، ۲۴]. بیش از چند دهه است که برای برقراری رابطه میان تخریب خاک و بیابان‌زایی تلاش شده است. آلبالادجو و همکاران [۳] اشاره می‌کنند که در زمینهٔ رابطهٔ تخریب خاک و بیابان‌زایی مطالب زیادی گفته شده است، اما اطلاعات ما از پروسه‌ها و روابط میان آن‌ها خیلی ناچیز است. خاک یکی از منابع طبیعی اصلی تجدیدناپذیر در جهان است [۵] و تخریب آن تهدیدی اصلی در سراسر کرهٔ زمین به‌شمار می‌رود، زیرا تخریب زمین در درازمدت باعث کاهشِ توان تولیدی خاک و ناپایداری زیست‌محیطی خواهد شد [۶]. در صورتی که کمّیت پروسه‌های طبیعی و انسانی درون خاک و کیفیت تولید زی‌تودهٔ خاک دچار نقصان شود، خاک تخریب می‌شود [۲۱]. تخریب خاک دارای سه وجه مختلف است: تخریب فیزیکی؛ تخریب شیمیایی؛ و تخریب بیولوژیکی [۵، ۲۱]. هر یک از این وجه‌های تخریب خاک شواهد و زیرمجموعه‌های مختلفی دارند و برای شناخت و ارزیابی آن‌ها معیارها و شاخص‌های گوناگونی پیشنهاد شده است، مثلاً اسناکین و همکاران [۲۱] به منظور ارائهٔ سیستم ارزیابی تخریب خاک فرایندهای تخریب خاک را به سه بخش تقسیم کرده‌اند: تخریب فیزیکی، شامل فشرده‌شدن، فرسایش‌یافتن، کاهش یا هدررفت خاک زراعی، سله‌بستن خاک سطحی، و دیگر مواردی که بر رشد ریشه‌های گیاهان و حرکت آب اثرگذارند؛ تخریب شیمیایی، شامل شورشدن، اسیدی‌شدن، کاهش مواد آلی، کاهش مواد غذایی، تجمع آفت‌کش‌ها و تجمع المان‌های سمّی؛ تخریب بیولوژیکی، شامل کاهش تنوع‌زیستی و کاهش نسبت بهینهٔ گونه‌های مختلف میکروارگانیزم و سایر جانوران موجود در خاک و آلودگی خاک به میکروارگانیزم‌ها و سایر موارد بیماری‌زا.

به هر حال، در صورتی که بتوان هر یک از تخریب‌های مختلف خاک را در یک معادله برآورد کرد، به‌راحتی می‌توان فاکتور تخریب خاک را تخمین زد و ارزیابی کرد. بدین منظور، تلاش‌های گسترده‌ای در مناطق مختلف جهان صورت پذیرفته و روش‌های گوناگونی برای ارزیابی پدیدهٔ تخریب خاک ارائه شده است [۳، ۴، ۵، ۶، ۹، ۱۰، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۱، ۲۲، ۲۵].

اما جدیدترین دستورالعمل بررسی تخریب زمین و خاک مربوط است به پروژهٔ ارزیابی تخریب زمین در مناطق خشک[1] یا LADA، که سازمان خوار و بار جهانی[2] (FAO) آن را هدایت و اجرا کرده است. پروژهٔ LADA در سال ۲۰۰۶ با هدف ایجاد پایه‌ای برای هدایت آگاهانهٔ سیاسی دربارهٔ تخریب زمین در سطح محلی، ملی، و جهانی شروع به کار کرد. برای رسیدن بدین هدف نیاز بود تخریب زمین در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی ارزیابی شود و در سطح جهانی خط‌مشی‌ای برای پایش در آینده ایجاد شود.

در روش ارائه‌شده از طرف LADA برای ارزیابی

1. Land Degradation Assessment in Aridlands
2. Food and Agricultural Organization

محلی تخریب زمین سه نوع تخریب در نظر گرفته می‌شود [۹، ۱۰]: ۱. تخریب خاک؛ ۲. تخریب پوشش گیاهی و تنوع زیستی؛ ۳. تخریب منابع آب.

مطابق با این دستورالعمل، هر یک از این سه نوع تخریب زمین با فرضیات و ابزارهای خاصی اندازه‌گیری خواهند شد [۹، ۱۰]. با توجه به اهمیت ارزیابی تخریب خاک از نظر بررسی پدیدهٔ بیابان‌زایی و جدیدبودن متدولوژی لادا در ارزیابی این پدیده و با توجه به اینکه این روش تاکنون در ایران اجرا نشده است، در این پژوهش در یک ناحیه پایلوت بیابان‌زایی به ارزیابی پدیدهٔ تخریب خاک به کمک این متدولوژی پرداخته شده است.

منطقهٔ مورد مطالعه

در این تحقیق منطقهٔ شرق اصفهان، که در مطالعات قبلی ارزیابی بیابان‌زایی منطقهٔ پایلوت در نظر گرفته شده بود (گروه احیا، ۱۳۸۳)، منطقهٔ مورد مطالعه انتخاب شد (شکل ۱). محدودهٔ مورد مطالعه مناطق ورزنه، سگزی، کوهپایه، جرقویه، و زفره را در بر می‌گیرد و رودخانهٔ زاینده‌رود از بخش مرکزی آن عبور می‌کند. این منطقه با مساحت ۳۴۵۵۹۱ هکتار بین طول‌های شرقی ۲۹′۵۶ °۵۱ تا ۲۲ ۴۲ °۵۲ و عرض‌های شمالی ″۴۱ ۰۹ °۳۲ تا ۰۵ ۰۳ °۳۳ قرار گرفته است (شکل ۱).

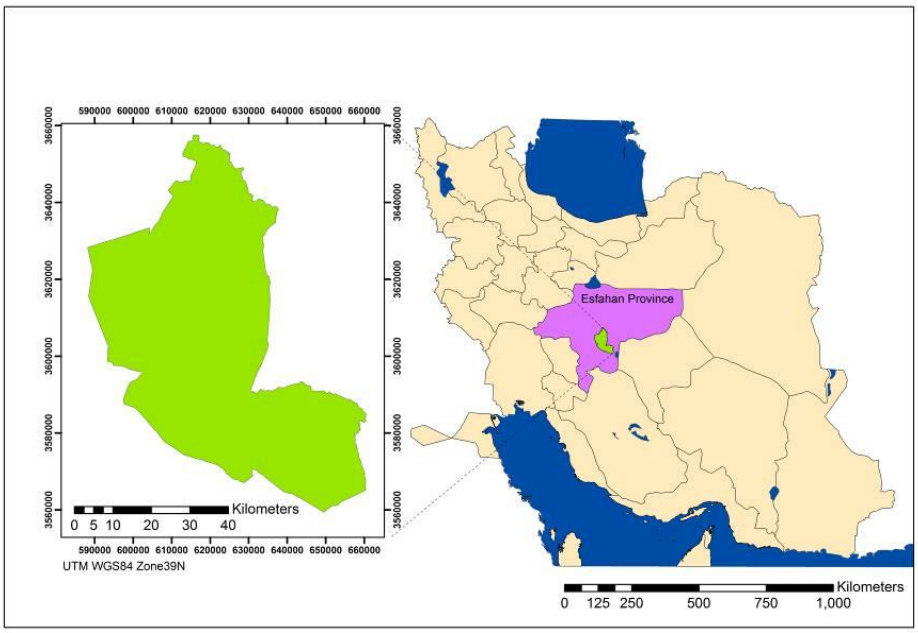
بررسی کاربری‌های زمین در محدودهٔ منطقهٔ مورد مطالعه نشان می‌دهد که حدود یک درصد از کل ناحیهٔ مورد مطالعه شامل مناطق مسکونی و حدود ۱۶٫۵ درصد از آن شامل زمین‌های کشاورزی است. سطح زمین‌های مرتعی، سنگ‌فرش بیابان، و شوره‌زارها و ماسه‌زارهای بدون پوشش گیاهی حدود ۲۲۳ هزار هکتار است (حدود ۶۴٫۵ درصد) که می‌توان به آن سطح تاغزارهای موجود در منطقه با وسعت حدود ۴۶ هزار هکتار را اضافه کرد. شکل ۲ محدودهٔ هر کاربری زمین را در منطقهٔ مورد مطالعه نشان می‌دهد.

طیف ارتفاعی ناحیهٔ مطالعاتی از حدود ۱۱۰۰ متر در جلگه‌های جنوبی تا حدود ۳۵۰۰ متر در کوه‌های شمال شرق منطقه متغیر است. بخش وسیعی از محدودهٔ مطالعاتی در جنوب منطقه با خط تراز ۱۵۰۰ تقاطع دارد و جلگه‌ای به ارتفاع متوسط ۱۴۰۰ متر را تشکیل می‌دهد. در بخش شمالی و شمال شرقی منطقه، نواحی‌ای با ارتفاع بیش از ۲۵۰۰ متر قرار گرفته‌اند. نقطهٔ ستیغی این کوه‌ها به ارتفاع ۳۳۳۰ متر در شمال خاوری فشارک قرار دارد.

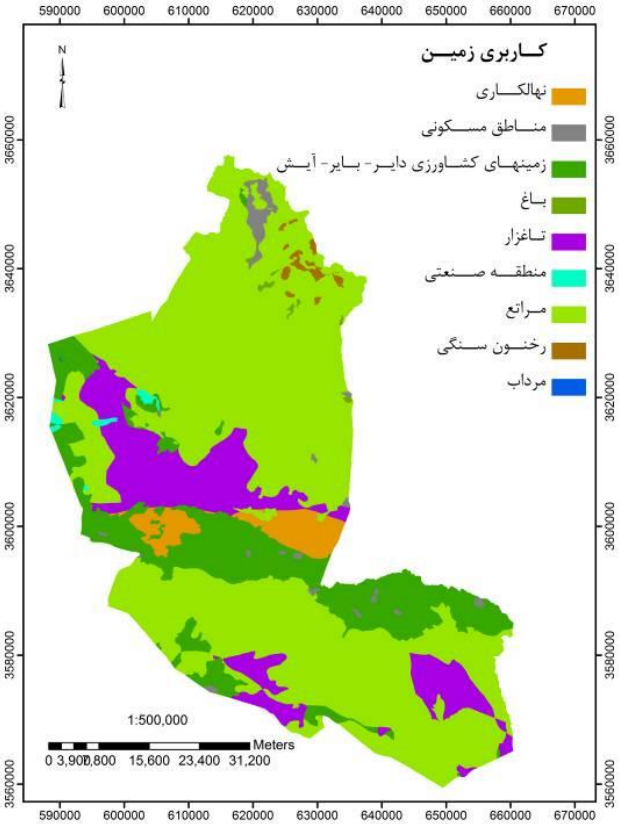
توده‌های هوایی، که منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهند، در زمستان‌ها تحت تأثیر پُرفشار آزورس در غرب، پُرفشار سیبری در شمال شرق، منطقهٔ کم‌فشار اقیانوس هند در جنوب و جنوب شرقی، و کم‌فشارهای مدیترانه‌ای غربی است.

در تابستان‌ها، کم‌فشار گسترده ایران پاکستان متمرکز بر کویرها، پرفشار اطلس شمالی و منطقه پرفشار اقیانوس هند حاکم بر جریانات منطقه و در برگیرنده آن است.

میانگین بارش سالانه در منطقه در مناطق کم‌ارتفاع حدود ۵۰ میلی‌متر و در مناطق مرتفع شمال در حدود ۲۵۰ میلی‌متر در سال است. رژیم بارندگی محدودهٔ مطالعاتی مدیترانه‌ای با فصل خشک متمرکز بر تابستان است. حداکثر بارش سالانه در بهمن‌ماه با میانگین ۱۵٫۳ درصد بارش سالانه و حداقل آن در شهریورماه با متوسط ۰٫۲ درصد بارندگی سالانه به‌وقوع می‌پیوندد [۱، ۲].



شکل ۱. موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه در استان اصفهان و ایران



شکل ۲. کاربری‌های زمین در منطقهٔ مورد مطالعه

راهنمای میدانی LADA برای ارزیابی تخریب خاک در مقیاس محلی

با توجه به جدیدبودن راهنمای لادا و عدم اجرای آن در تحقیقات گذشته، شرح مختصر آن به درک بهتر فرایند تخریب و ارزیابی آن کمک شایانی خواهد کرد.

در روش لادا به منظور ارزیابی سه جزء تخریب زمین (آب، خاک، پوشش گیاهی) ابزارهای گوناگونی تعریف شده است. این ابزارها با دقت جنبه‌های مختلف این جزءها را ارزیابی می‌کنند. با توجه به تعدد ابزارها و محدودیتِ نگارش، در اینجا به کلیات ابزارهای بررسی‌کنندهٔ تخریب خاک و نتایج حاصل از کاربرد آن‌ها در منطقهٔ مورد مطالعه خواهیم پرداخت.

ابزارهای مورد استفاده برای ارزیابی محلی تخریب خاک

در متدولوژی LADA، ابزارهایِ ارزیابی تخریب خاک شامل سه گروه اصلی‌اند: ۱. ابزار ۵ برای ارزیابی کیفی فرسایش خاک (وضعیت، نوع، و شدت)؛ ۲. ابزارهای ۱۱,۱ و ۱۱,۲ برای ارزیابی دقیق و پُرجزئیات فرسایش خاک؛ ۳. ابزارهای ۱۲,۱ و ۱۲,۲ برای ارزیابی خصوصیات و ویژگی‌های خاک.

ابزار ۵: ارزیابی کیفی فرسایش خاک

در این ابزار برای ارزیابی سریع فرسایش خاک از شاخص‌های سادهٔ چشمی استفاده می‌شود که می‌توان آن‌ها را در عرصه در داخل ناحیهٔ نمونه‌برداری به‌راحتی مشاهده کرد. برای ارزیابی‌های چشمی در این روش جداولی ارائه شده است که با آن‌ها می‌توان نخست وضعیت فعال‌بودن فرسایش را تعیین کرد، سپس، درجهٔ هر یک از فرسایش‌های پاشمانی، ورقه‌ای (سطحی)، شیاری، گالی، کناره‌ای، توده‌ای، و بادی را تعیین نمود. در اینجا، فقط دو نمونه از جداول، که با آن‌ها وضعیت فرسایش و شدت فرسایش پاشمانی تعیین می‌شود، ارائه می‌شود (جدول ۱ و ۲).

جدول ۱. وضعیت فرسایش [۹، ۱۰]

فرسایش فعال۱	یکی یا تعدادی از شرایط زیر دیده شود: • شواهدی از جابه‌جایی جدید رسوب • کنارها یا کف گالی‌ها و شیارها نسبتاً عاری از پوشش گیاهی‌اند. • تپه‌های ماسه‌ای پوشش گیاهی ناچیزی دارند و در سمت رو به باد حرکت ذرات خاک و پشت به باد رسوب‌گذاری دیده می‌شود.
فرسایش تثبیت‌شده۲	یکی یا چند مورد از شرایط زیر دیده شود: • هیچ شاهد تازه‌ای از جابه‌جایی رسوب دیده نمی‌شود. • کنارها یا کف گالی‌ها و شیارها مجدداً دارای پوشش گیاهی شده‌اند. • تپه‌های ماسه‌ای به‌خوبی پوشش گیاهی دارند و سطح کمی از آن‌ها فاقد پوشش است که باد می‌تواند آن را فرسایش دهد.
فرسایش در بخش‌هایی تثبیت شده۳ است	شواهد محلی فرسایش فعال بادی یا آبی دیده می‌شود، ولی بخشی از مناطق فرسایش‌یافته شواهدی از تثبیت‌شدن و پوشش گیاهی‌دارشدن را نشان می‌دهد.

1. active erosion
2. stabilised
3. partly stabilised

جدول ۲. فرسایش پاشمانی (بارانی)[1] [۹، ۱۰]

فرسایش پاشمانی نامشخص	علائم مشخصِ فرسایش پاشمانی وجود ندارد، ولی باید توجه کرد که ممکن است شواهد فرعی فرسایش پاشمانی با عملیات‌هایی مانند شخم‌زدن از بین رفته باشد.
فرسایش پاشمانی وجود ندارد	هیچ نشانه‌ای از فرسایش پاشمانی وجود ندارد
فرسایش پاشمانی ناچیز	• برخی شواهد چشمی فرسایش پاشمانی به صورت ذرات خاک بر روی ساقه‌ها و اطراف برگ‌های محصولات زارعی دیده می‌شود. • برخی از علائم سخت‌شدن سطح خاک در اثر برخورد قطره‌های باران وجود دارد. • هر نوع پوسته یا سلهٔ سطحی که نازک است و به‌راحتی شکسته می‌شود.
متوسط	• علائم مشخصی از پرتاب ذرات خاک به هوا وجود دارد. به طور متوسط، ذرات خاک بر روی ساقه‌ها و اطراف برگ‌های محصولات زراعی دیده می‌شود. • علائم مشخصی از سله‌بستن سطح زمین در اثر برخورد قطره‌های باران وجود دارد. • پوستهٔ سخت تشکیل‌شده در سطح خاک تا یک سانتی‌متر ضخامت دارد و کم و بیش به‌راحتی شکسته می‌شود.
شدید	• شواهد واضحی از پرتاب‌شدن سراسری ذرات خاک به هوا وجود دارد و خاک بر روی ساقه‌ها و اطراف برگ‌های محصولات وجود دارد. • به علت برخورد قطره‌های باران سله‌های سطحی کاملاً مشخصی در سطح زمین دیده می‌شود. • پوستهٔ سخت سطح زمین بیش از یک سانتی‌متر ضخامت دارد.

ابزارهای ۱۱،۱ و ۱۱،۲ برای ارزیابی دقیق و پُرجزئیات فرسایش خاک

ابزار ۱۱،۱: واسنجی فرسایش خاک به وسیلهٔ معیارهای چشمی در سایت‌هایی که ارزیابی پُرجزئیات در آن‌ها انجام می‌شود

در هر یک از سایت‌های مورد بررسی به وسیلهٔ ترانسکت‌های قدمی وضعیت و شدت فرسایش مطابق با جداول ابزار شمارهٔ ۵ مشخص خواهد شد. همین معیارهای چشمی فرسایش بعداً در هر یک از سایت‌هایی که برای بررسی‌ها و اندازه‌گیری‌های پُرجزئیات انتخاب شده‌اند مجدداً اعتبارسنجی می‌شوند. همچنین، در این سایت‌های پُرجزئیات بعداً تخریب خاک ارزیابی و اثر آن‌ها بر روی توان تولیدی بررسی خواهد شد.

ابزار ۱۱،۲: ابزارهای تکمیلی برای ارزیابی شدت فرسایش آبی و بادی

یک سری از ابزارها را می‌توان برای تخمین شدت و میزان فرسایش آبی و بادی به‌کار برد. این ابزارها شامل شش زیرابزارند. متدولوژی LADA آن‌ها را از کتاب *راهنمای ارزیابی تخریب خاک* [۲۲] اقتباس کرده است.

ابزار ۱۱،۲،۱: اندازه‌گیری از طریق ریشه‌های نمایان‌شده در سطح

روش: با بررسی نزدیک و دقیق بخش پایین‌تنهٔ درختان یا ساقهٔ گیاهان ممکن است علامتی پیدا شود که سطح تراز اصلی و اولیهٔ خاک را نشان می‌دهد. با اندازه‌گیری اختلاف ارتفاع این علامت و سطح تراز حاضر خاک برآوردی صورت خواهد گرفت که نشان می‌دهد چه میزان از خاک از بین رفته است.

ابزار ۱۱،۲،۲: اندازه‌گیری با پشتهٔ درختی[2]

روش: سطح خاک در زیر درخت با سطح خاک در ناحیهٔ باز فاقد تاج پوشش مقایسه می‌شود. تفاوت ارتفاعی بین این دو سطح یک معیار تقریبی از مقدار هدررفت خاک در دورهٔ حیات درخت فراهم می‌آورد.

1. splash erosion

2. tree mound

ابزار ۱۱,۲,۳: اندازه‌گیری با لایهٔ ذرات درشت یا لایهٔ سپر حفاظتی[1]

روش: ارتفاع لایهٔ سپر حفاظتی را می‌توان با گودال کوچکی اندازه گرفت. با این کار عمق لایهٔ درشت قرارگرفته در سطح مشخص می‌شود. نسبت تقریبی سنگ‌ریزه یا ذرات درشت به سایر ذرات خاک را می‌توان با برداشتن یک مشت از خاک زیر لایهٔ سپر حدس زد. این درصد فقط حجمی نیست، بلکه به صورت عمقی و ارتفاعی نیز قابل استفاده است. بنابراین، وقتی ارتفاع لایهٔ سپر را داشته باشیم، به‌راحتی می‌توانیم از این نسبت ارتفاع کل خاک را حدس بزنیم.

ابزار ۱۱,۲,۴: اندازه‌گیری با ذرات تجمع‌یافته در مقابل موانع

روش: حجم خاک به‌تله‌افتاده در پشت مانع را می‌توان با اندازه‌گیری عمق رسوب و سطح رسوب‌گذاری محاسبه کرد. در جایی که رسوب‌گذاری در مقابل یک مانع دائمی، مانند حصار یا دیواره، انجام شده است، اندازه‌گیری رسوب، تقریبی از مقدار هدررفت خاک آن زمین خواهد بود.

ابزار ۱۱,۲,۵: ارزیابی برداشت و توزیع مجدد انتخابی ذرات ریز

روش: این نوع فرسایش معمولاً با اندازه‌گیری کمّیت مواد غذایی موجود در رسوبات و مقایسهٔ آن با کمّیت مواد غذایی خاکی، که مواد آن فرسایش یافته است، ارزیابی می‌شود.

ابزار ۱۱,۲,۶: ارزیابی کاهش عمق خاک به علت فرسایش

روش: برای ارزیابی میزان کاهش عمق خاک در اثر فرسایش، در شرایط ایده‌آل می‌توان پروفیل خاک را در ناحیه‌ای که فرسایش وجود ندارد یا بسیار کم است با پروفیل خاک در ناحیه‌ای که فرسایش وجود دارد و نوع خاک مشابه است مقایسه کرد.

ابزارهای ۱۲,۱ و ۱۲,۲: برای ارزیابی خصوصیات و ویژگی‌های خاک

ابزارهای این بخش از متدولوژی VS-Fast (۱۱) و بخش‌هایی از VSA (۲۰) اقتباس شده است. مجموعهٔ اصلی معیارهای پیشنهادشده در این بخش خصوصیات خاک را، که در پی می‌آید، ارزیابی می‌کند: اطلاعات پایه دربارهٔ نمونهٔ خاک (عمق، بافت، ساختمان، رنگ، لایه‌بندی)؛ توزیع اندازهٔ خاک‌دانه‌ها[2]؛ سله و پوسته خاکی؛ شخم و سایر برهم‌زدن‌ها؛ نفوذپذیری به آب؛ شوری آب و خاک؛ جانداران (به‌ویژه کرم‌های خاکی و ریشه‌ها)؛ متلاشی‌شدن خاک‌دانه‌ها[3] و شکسته‌شدن[4]؛ PH؛ کربن آلی.

متدولوژی لادا برای اندازه‌گیری هر یک از این پارامترها دستورالعملی بسیار ساده ارائه و شیوهٔ امتیازدهی به هر پارامتر را به طور ساده تشریح کرده است [۹، ۱۰]. در شکل ۴ و ۵ نمونهٔ کارت امتیازدهی به خصوصیات خاک در عرصه ارائه شده است، که در آن محدوده‌های امتیازدهی به هر پارامتر، وزن هر پارامتر، و جداول ارزیابی‌های نهایی قابل مشاهده است. ذکر این نکته لازم است که تقریباً همهٔ این پارامترها در عرصه اندازه‌گیری می‌شوند. بدین منظور، برای اندازه‌گیری هر پارامتر یک روش سریع میدانی ارائه شده است [۹، ۱۰]. در نهایت، همان گونه که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، می‌توان وضعیت خاک را در سه کلاس فقیر، متوسط، و خوب طبقه‌بندی کرد.

1. armour layer

2. aggregate size distribution

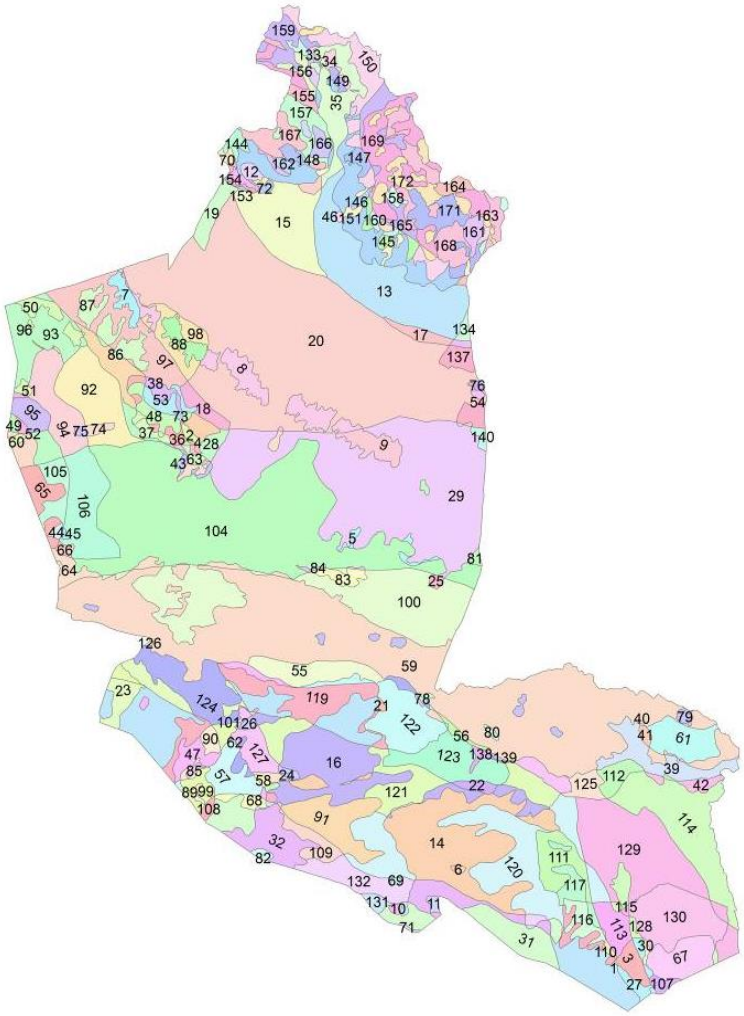
3. dispersion

4. slaking

روش‌شناسی

با توجه به میدانی‌بودن روش‌های ارزیابی در این مدل، نخست نیاز بود مناطق همگنی برای نمونه‌برداری تعریف شود. به منظور تحت پوشش قرارگرفتن بیشتر تغییرات موجود در ناحیهٔ مطالعاتی، نقشه‌های کاربری زمین، شیب، سنگ‌شناسی، گروه بزرگ خاک در طبقه‌بندی FAO، و تیپ پوشش گیاهی با یکدیگر ترکیب شدند. با تفسیر چشمی تصاویر ماهواره‌ای LISSIII سال ۲۰۰۸ برخی از مناطق همگن دیگر به نقشهٔ ترکیبی مذکور اضافه شد تا بیشتر تغییرات ممکن در ناحیهٔ مطالعاتی تحت پوشش قرار گیرد. در نهایت، ۱۷۲ ناحیهٔ همگن به‌دست آمد. از این نواحی به عنوان واحدهای اندازه‌گیری زمینی یا واحدهای‌کاری یاد خواهد شد (شکل ۳). با توجه به فرض همگنی این واحدهای کاری، سایت‌های نمونه‌برداری به صورت تصادفی در داخل این واحدها انتخاب شد.

مطابق با دستورالعمل لادا و به کمک ابزارهای ارائه‌شده در این مدل، برای هر سایت نمونه‌برداری، جدول‌های مربوط همراه با اطلاعات مورد نیاز در کارت خاک (شکل‌های ۴ و ۵) یادداشت یا اندازه‌گیری شد.



شکل ۳. واحدهای کاری همگن در منطقهٔ مطالعاتی

کارت امتیازدهی در عرصه

کارت امتیازدهی در عرصه

ارزیابی شرایط خاک با روش VS-Fast

بخش الف) تشریح چشمی خاک

تاریخ:

کاربری زمین (گذشته و حال):

موقعیت سایت نمونه‌برداری:

شرایط آب‌وهوایی حاضر:

ساختمان خاک:

بافت خاک:

رنگ خاک:

مشاهداتی که از قدم‌زنی به‌دست آمده است (باقی‌ماندهٔ محصول و سایر جزئیات خاک):

نقشهٔ تقریبی و شماتیک نیمرخ (پروفیل) خاک

شاخص چشمی کیفیت خاک	**امتیاز چشمی (VS)** **شرایط فقیر: ۰؛ شرایط متوسط: ۱، و شرایط خوب: ۲**		**وزن**	**امتیاز VS-Fast**
سخت‌لایه ناشی از کشت و دیگر سخت‌لایه‌ها			×۳	
توزیع اندازهٔ خاک‌دانه‌ها			×۳	
پوسته و سلهٔ خاک امتیاز برای پوستهٔ منفی و مثبت	**منفی** بدون پوسته: ۲؛ برخی شکستگی‌ها: ۱؛ پوسته پیوسته: ۰	**مثبت (بیولوژیکی)** فقیر: ۰؛ متوسط: ۱؛ خوب: ۲	×۲	
کرم‌های خاکی (یا دیگر جانوران)			×۲	
ریشه‌ها			×۳	
مجموع امتیازات VS-Fast چشمی				

ارزیابی چشمی خاک	مجموع امتیازات VS-Fast چشمی
بد	کمتر از ۷
متوسط	۷ تا ۱۴
خوب	۱۵ تا ۲۶

شکل ۴. کارت امتیازدهی: بخش الف) ارزیابی چشمی

بخش ب) اندازه‌گیری‌های میدانی خاک

اندازه‌گیری میدانی	ارزش واقعی	امتیاز چشمی (VS)* شرایط فقیر: ۰؛ شرایط متوسط: ۱، و شرایط خوب: ۲	وزن	امتیاز VS-Fast
متلاشی‌شدن و شکسته شدن		امتیازات بین ۰ تا ۴	×۱٫۵	
PH خاک		امتیاز نمی‌گیرد	امتیاز نمی‌گیرد	
نفوذپذیری		میزان نفوذپذیری سریع: ۰؛ متوسط: ۲؛ کند: ۱، و خیلی کند: ۰	×۳	
کربن آلی ناپایدار			×۲	
شوری خاک (EC)			×۳	
مجموع امتیازات VS-Fast مربوط به اندازه‌گیری‌های خاک				

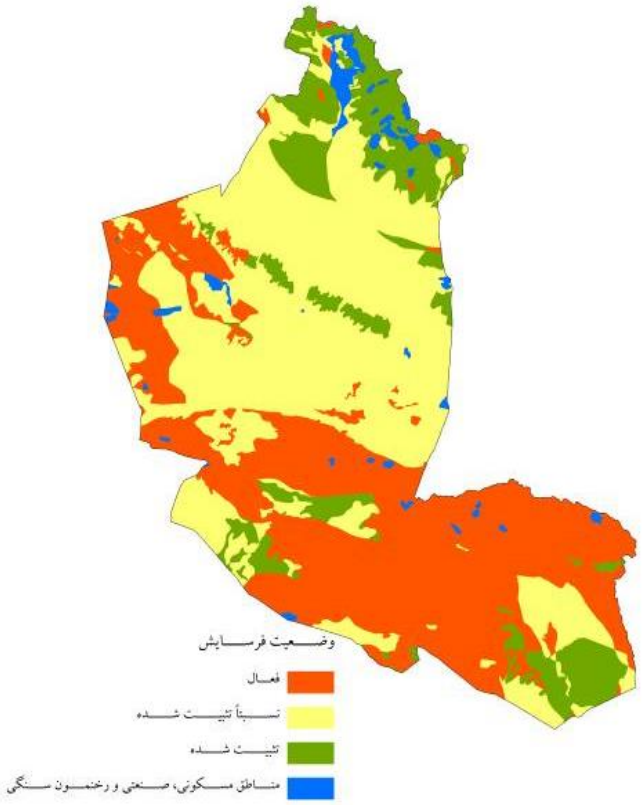
ارزیابی اندازه‌گیری خاک	مجموع امتیازات VS-Fast مربوط به اندازه‌گیری‌های
بد	کمتر از ۷
متوسط	۷ تا ۱۴
خوب	۱۵ تا ۲۲

* این حدود امتیازی در آزمون متلاشی‌شدن و شکسته‌شدن، که در آن امتیازات بین ۰ تا ۴ متغیر است، استفاده نمی‌شود.

امتیاز کلی VS-Fast (جمع امتیازات بخش الف و بخش ب)	امتیازات
بد	کمتر از ۱۴
متوسط	۱۴ تا ۲۹
خوب	۳۰ تا ۴۸

سایر نکات و موارد مانند عکس سایت، عکس خاک یا نقشهٔ تقریبی خاک، موقعیت گودال حفاری

شکل ۵. کارت امتیازدهی: بخش ب) اندازه‌گیری‌های خاک و جدول امتیازدهی نهایی



شکل ۶. وضعیت موجود فرسایش در منطقهٔ مورد مطالعه (وضعیت در حال حاضر)

به دلیل موجودنبودن ابزارهای مورد نیاز در روش لادا برای اندازه‌گیری میدانی هدایت الکتریکی، pH، و کربن آلی ناپایدار از هر سایت نمونه‌برداری، نمونه‌های خاک از افق‌های موجود برداشت شد و هدایت الکتریکی و pH از عصارهٔ گل اشباع نمونه‌ها به کمک دستگاه‌های آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری کربن آلی خاک، به جای رنگ‌سنج[1] جیبی معمول در روش لادا، از دستگاه طیف‌سنج[2] رقومی مدل biochrom Libra S11 استفاده شد که قطعاً از دقت بسیار زیادی نسبت به نوع دستی آن برخوردار است.

نمونه‌برداری‌ها و اندازه‌گیری‌ها از ۲۷ اردیبهشت ۱۳۹۰ شروع و تا ۱۷ تیر ۱۳۹۰ ادامه یافت. مطابق با پیش‌بینی محققان این مطالعه، در مدت زمان نمونه‌برداری‌ها در کل ناحیهٔ مطالعاتی هیچ گونه بارش بارانی به‌وقوع نپیوست؛ این امر مطابق با توصیهٔ روش لادا [۹، ۱۰] به مقایسه‌هایِ همگن‌تر کمک خواهد کرد.

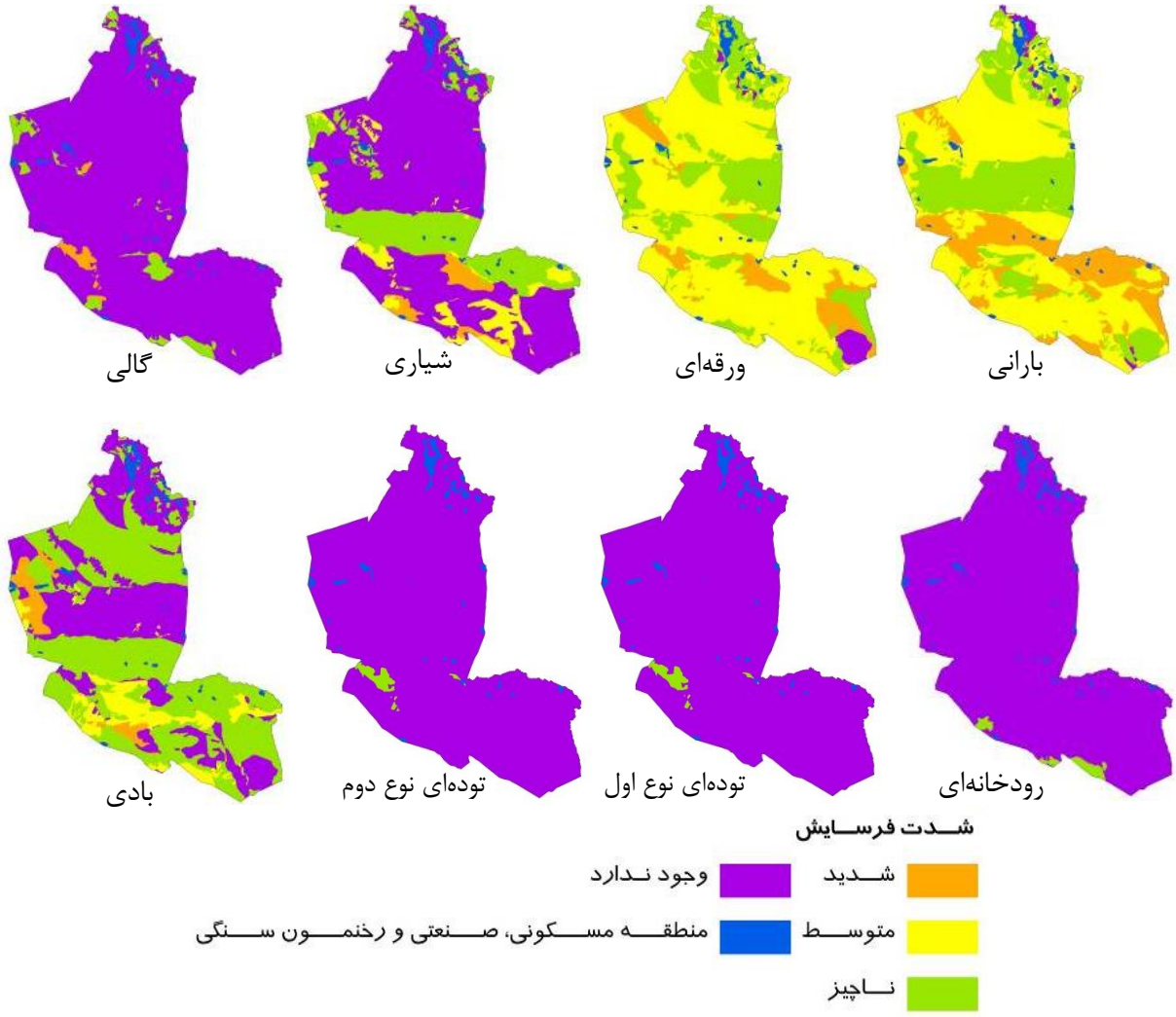
نتایج

فرسایش

همان گونه که در بخش راهنمای میدانی مدل لادا اشاره شد، فرسایش در مدل مذکور در دو بخش بررسی می‌شود: ۱. فعال‌بودن یا نبودن آن در حال حاضر؛ ۲. درجه یا شدت انواع مختلف فرسایش (از گذشته تا حال).

نقشه‌هایِ هر دو بخش با انتقال اطلاعات برداشت‌شدهٔ میدانی به واحدهای کاری ترسیم شده است. این نقشه‌ها را در شکل‌های ۶ و ۷ می‌توان دید.

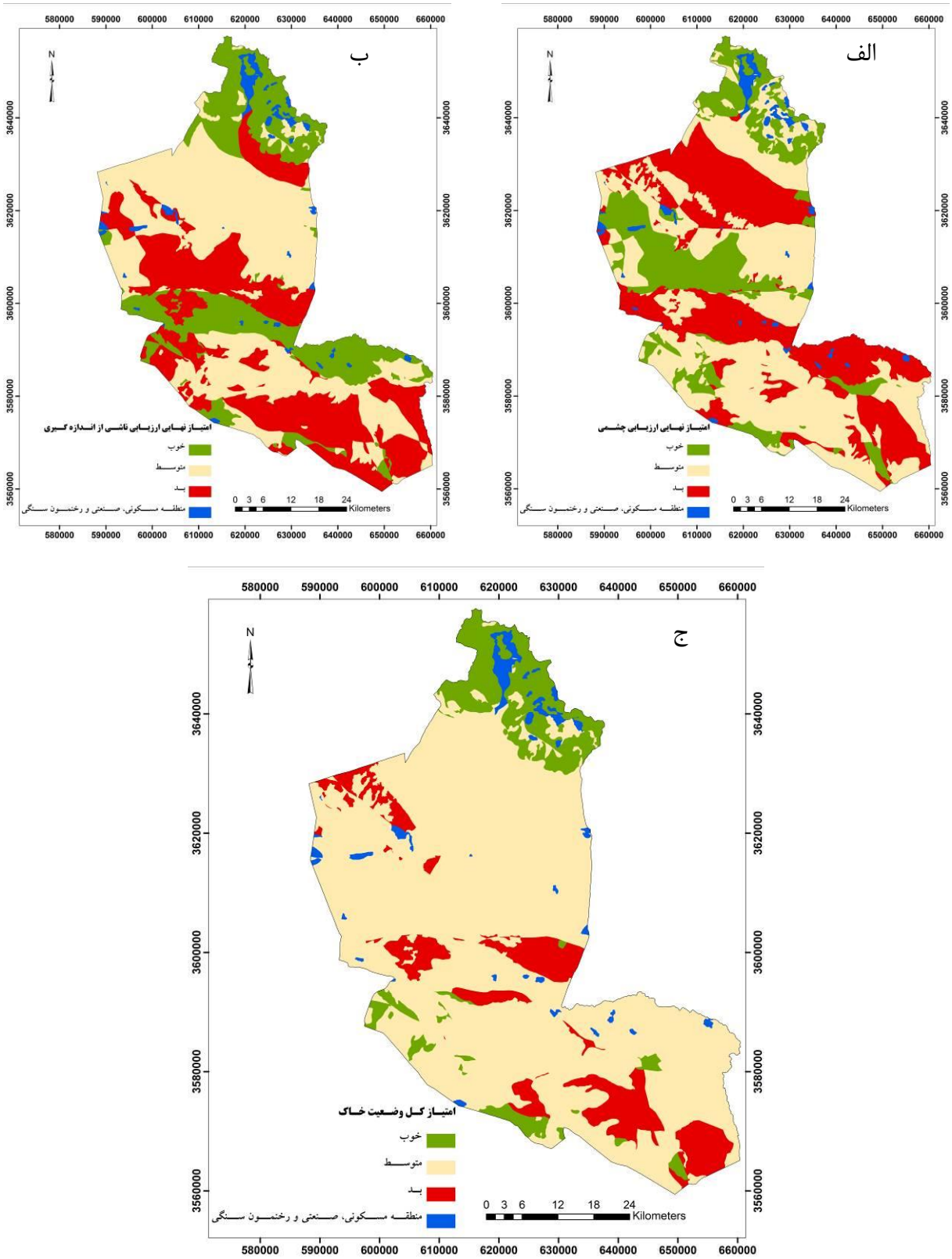
1. colorimeter
2. spectrometer



شکل ۷. شدت فرسایش در انواع مختلف آن (وضعیت تاکنون)

تخریب خاک

پس از اندازه‌گیری و یادداشت کلیهٔ پارامترهای مورد نیاز برای پُرکردن کارت خاک (اشکال ۴ و ۵) در همهٔ واحدهای کاری، با استفاده از جداول موجود، امتیاز نهایی ارزش‌یابی چشمی خاک (شکل ۴) و امتیاز نهایی ارزش‌یابی ناشی از اندازه‌گیری پارامترهای خاک (شکل ۵) به‌دست آمد. در نهایت، با تلفیق دو امتیاز مذکور، امتیاز کل ارزش خاک محاسبه شد (جمع دو ارزش مذکور). مطابقِ جدول‌های ارائه‌شده در شکل‌های ۴ و ۵، هر طبقهٔ امتیازی در یک طبقهٔ کیفی تعریف شده است. از این طبقات کیفی برای ترسیم نقشه‌های مربوطه استفاده شده است (شکل ۸). در نقشه‌های ارائه‌شده در شکل ۸، وضعیت خاک از نظر پارامترهای چشمی (بخش الف در شکل ۸) و پارامترهای اندازه‌گیری‌شده (بخش ب در شکل ۸) و وضعیت کل خاک (بخش ج در شکل ۸) قابل مشاهده است. همان گونه که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، نقشهٔ ارزیابی چشمی (بخش الف) از نظر امتیاز کیفی در بیشتر موارد با نقشهٔ اندازه‌گیری پارامترها (بخش ب) متفاوت است.



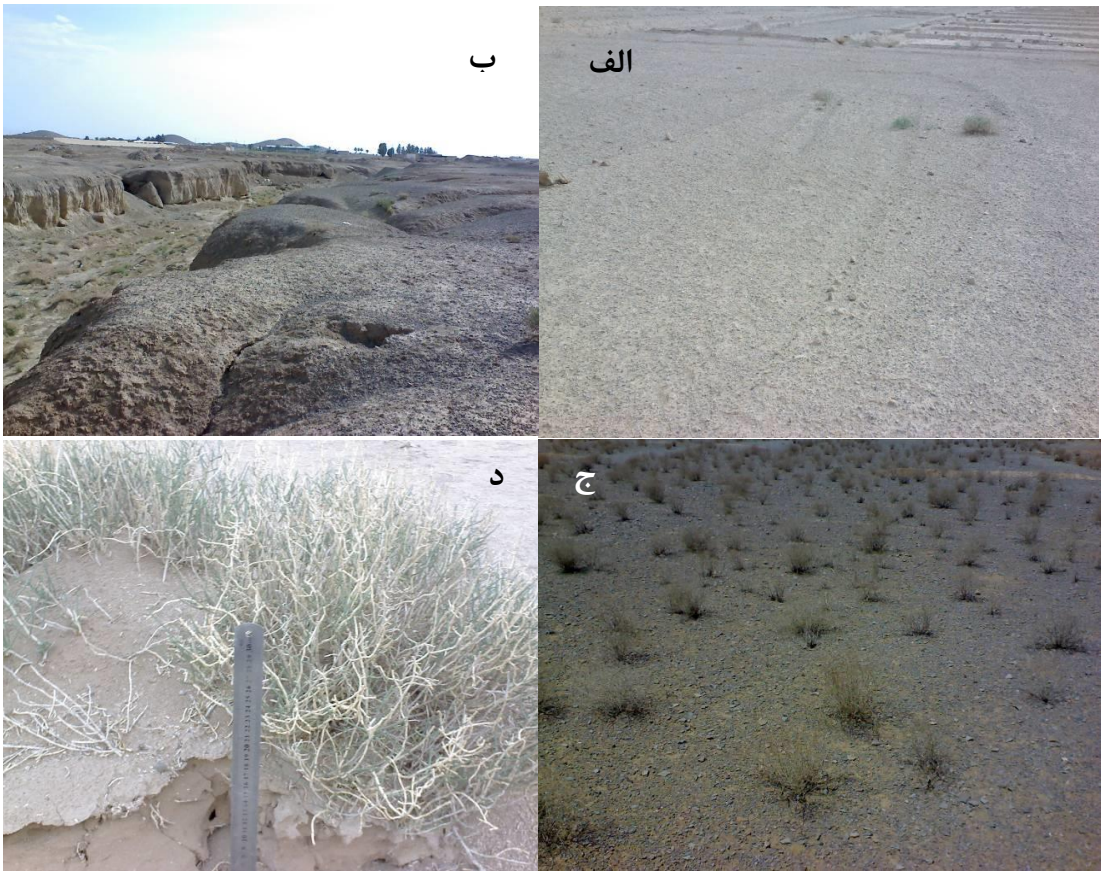
شکل ۸. نقشهٔ کیفی ارزیابی وضعیت خاک: الف) ارزیابی چشمی؛ ب) ارزیابی ناشی از اندازه‌گیری؛ ج) ارزیابی کل

بحث و نتیجه‌گیری

فرسایش

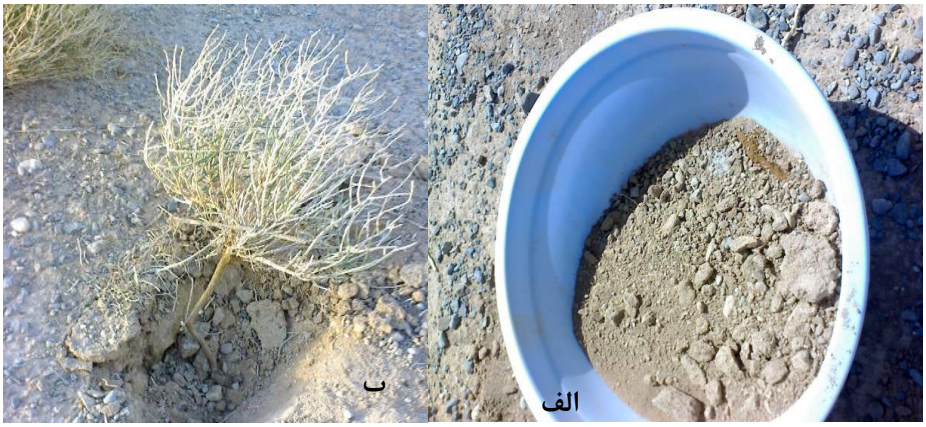
هرچند به دلیل جدیدبودن روش لادا قضاوت نهایی دربارهٔ آن به زمان بیشتری نیاز دارد، دربارهٔ فرسایش، جداشدن وضعیت حال (فعال‌بودن یا نبودن) از روند فرسایش (وضعیت تا به امروز) در این روش به تصمیم‌گیری برای کنترل این پدیدهٔ زیست‌محیطی بسیار کمک خواهد کرد، مثلاً در منطقهٔ مورد مطالعه، یک مدیر با هر گونه اطلاعات زیست‌محیطی با مشاهدهٔ شکل ۶ متوجه خواهد شد که در برنامه‌ای به منظور مبارزه با فرسایش باید تمرکز خود را بیشتر به بخش جنوبی و غربی منطقه معطوف کند. همچنین، با مشاهدهٔ نقشه‌های موجود در شکل ۷، می‌توان متوجه شد که در برنامهٔ کنترلی بیشتر با کدام نوع فرسایش روبه‌رو هستیم. مطابق با نقشه‌های شکل ۷، فرسایش پاشمانی یا بارانی بغرنج‌ترین نوع فرسایش در منطقه است و پس از آن فرسایش ورقه‌ای و بادی در اولویت قرار دارند. با توجه به بیابانی‌بودن منطقه، به دلیل کمبود یا نبود پوشش گیاهی این ترتیب شدت فرسایش دور از ذهن نیست.

در کل، ارزیابی فرسایش در روش لادا به کمک جداول ارائه‌شده به‌راحتی قابل بررسی است. در توضیحات جداول کمبود خاصی مشاهده نمی‌شود و اغلب کاربران با خواندن توضیحات جداول به امتیازدهی قادر خواهند بود (در شکل‌های ۹ و ۱۰، برای درک بهتر سادگی این روش، عکس‌هایی از واحدهای کاری با توضیحات مورد نیاز ارائه شده است).



شکل ۹- وضعیت فرسایش در واحدهای‌کاری مختلف: الف) واحد ۱۱۱ با فرسایش فعال که در آن فرسایش بادی و بارانی بیشترین شدت را دارند؛ ب) واحد ۳۲ با فرسایش فعال که در آن بیشتر فرسایشهای ابی دیده می‌شود؛ ج) واحد ۱۱ با فرسایش تثبیت شده؛ د) واحد ۷۱ با فرسایش فعال که فرسایش بادی بیشترین شدت را دارد

شکل ۱۰. تشکیل سله به قطر بیش از چند سانتی‌متر در اثر فرسایش بارانی در واحد ۶۴



شکل ۱۱. الف) توزیع اندازهٔ خاک‌دانه‌ها در واحد ۱۲۴ با امتیاز صفر؛ ب) Lشکل‌شدن ریشه‌ها در واحد ۶۰ با امتیاز صفر

شکل ۱۲. الف) Lشکل‌شدن ریشه در واحد ۲۰ با امتیاز صفر؛ ب) تشکیل سخت‌لایه در واحد ۱۴۱ با امتیاز صفر

شکل ۱۳. الف) اندازه‌گیری نفوذپذیری با استفاده از لوله‌ای با قطر داخلی و ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر در واحد ۱۳۴؛ ب) امتیازدهی به شاخص متلاشی‌شدن در واحد ۱۱

تخریب خاک

در روش لادا به کمک یک بیل به‌راحتی می‌توان به پارامترهای چشمی خاک (شکل ۴) امتیاز داد، مثلاً امتیاز پوسته و سله برای واحد ۶۴ (شکل ۱۰) صفر خواهد بود. شکل‌های ۱۱ و ۱۲ مثال‌هایی از این اندازه‌گیری‌ها را در واحدهای مختلف نشان می‌دهد.

برای اندازه‌گیری پارامترهای خاکی و پُرکردن بخش «ب» کارت خاک (شکل ۵) به ابزارهای خاصی نیاز است و وقت بسیاری برای هر اندازه‌گیری در هر سایت صرف خواهد شد. از مجموعهٔ پارامترهای این بخش دو شاخص متلاشی‌شدن و نفوذپذیری در عرصه اندازه‌گیری شد (شکل ۱۳)، ولی به شاخص‌های دیگر با نمونه‌برداری در آزمایشگاه امتیاز داده شد. به دلیل شرایط محیطی طاقت‌فرسا در محیط‌های بیابانی، توصیه می‌شود، به غیر از نفوذپذیری، به سایر شاخص‌های این بخش با نمونه‌برداری از خاک در آزمایشگاه امتیاز داده شود. در این صورت، باید، پیش از کوبیدن خاک و ازبین‌بردن خاک‌دانه‌ها، آزمایش متلاشی‌شدن (شکل۱۳ بخش ب) صورت پذیرد.

ارزیابی کلی مدل

تخریب خاک به کاهش توان تولیدی خاک می‌انجامد [۶]. بنابراین، بهترین روش ارزیابی کلی تخریب خاک تأثیر آن در توان تولیدی است. مسلماً مهم‌ترین و پُرکاربردترین شاخص ارزیابی توان تولیدی خاک پوشش گیاهی به‌شمار می‌رود. بنابراین، در صورتی که مدل لادا به‌درستی تخریب خاک را نشان داده باشد، باید حداقل آثاری از کاهش توان تولیدی پوشش گیاهی در آن نواحی مشاهده شود. در میان واحدهای مورد بررسی، واحد کاری ۳۴ و ۱۶۴، با امتیاز کل ۴۰٫۵، بهترین وضعیت خاک را نشان می‌دهند.

به طور چشمی، با بررسی عکس‌های این دو واحد، می‌توان بر امتیاز تخریب خاک در آن‌ها صحه گذاشت؛ به گونه‌ای که هر دو هم از منظر خاک ظاهر مناسبی دارند و هم به‌نظر نمی‌رسد توان تولید پوشش گیاهی در آن دچار نقصان زیادی شده باشد (شکل۱۴).

شکل ۱۴. عکس‌هایی از واحدهای کاری ۳۴ (الف) و ۱۶۴ (ب) با بهترین وضعیت خاک

شکل ۱۵. الف واحد کاری ۱۳۳؛ ب) واحد کاری ۱۲۰

همچنین، بدترین امتیاز وضعیت خاک در واحد کاری ۱۲۰ با امتیاز ۲ و واحد کاری ۱۳۳ با امتیاز ۵ به‌دست آمد؛ هر دو واحد در ناحیهٔ کویری واقع‌اند (شکل۱۵). پس از این دو واحد، واحد ۲۵، با امتیاز کل ۶، بدترین واحدها به‌شمار می‌رود. نکتهٔ جالب ظاهر این واحدکاری است؛ برخلاف آنچه در ابتدا به‌نظر می‌رسد، این واحد هدایت الکتریکی بیش از ۱۰***ds/m*** داشته و دارای سله و سخت‌لایهٔ یکنواخت است (شکل ۱۶) و با کمی دقت در عکس آن متوجه خواهیم شد پوشش گیاهی در حال ازبین‌رفتن است (شکل ۱۶).

هرچند به‌راحتی می‌توان عملکرد مدل لادا را دربارهٔ بی‌نهایت‌های تخریب خاک (خوب و بد) با عکس‌های گرفته‌شده از منطقه ارزیابی کرد، این امر در طبقهٔ متوسط عملی نیست. به هر حال، بررسی عملکرد مدل لادا دربارهٔ تخریب متوسط خاک به مطالعات بیشتری نیاز دارد. با بررسی عکس‌های طبقهٔ متوسط تخریب خاک به‌نظر می‌رسد باید در جدول نهایی تغییراتی داده شود، زیرا، به دلیل وزن یکسان دادن به ارزیابی‌های چشمی و ارزیابی‌های ناشی از اندازه‌گیری در مدل لادا، در برخی خاک‌های شور با هدایت الکتریکی بسیار بالا (بیش از ۱۰۰***ds/m***)، که

امتیاز ارزیابی ناشی از اندازه‌گیری در آن‌ها نزدیک به صفر است، باز هم تخریب کل متوسط به‌دست آمده است (شکل ۱۷). ذکر این نکته لازم است که این مشکل در همهٔ واحدهای کاری دیده نمی‌شود و در آن‌ها عمومیت ندارد. با وجود این، عملکرد مدل لادا دربارهٔ تخریب متوسط خاک به بررسی‌های بیشتری نیاز دارد تا در صورت امکان در جداول کارت خاک این روش تغییراتی اعمال شود.

شکل ۱۶. عکس‌هایی از واحدکاری ۲۵؛ الف) له‌شدن ریشه بین لایه‌های بسیار فشرده؛ ب) تشکیل سخت‌لایه در عمق بسیار کم؛ ج) مرگ و حذف تدریجی پوشش گیاهی

شکل ۱۷. واحد کاری ۵۵ با امتیاز کل ۲۰؛ الف) شوری این واحد ds/m ۱۱۰ به‌دست آمده است. با وجود این، برخی گیاهان در آن دیده می‌شوند؛ ب) با محدودیت رشد ریشه، سخت‌کفه، و سله مواجه نیستند.

در کل، به‌نظر می‌رسد عملکرد مدل لادا در بررسی تخریب خاک مناسب است. سهولت روش و توضیحات کافی در آن به اغلب کاربران بی‌تجربه در اجرای آسان آن بسیار کمک می‌کند. یگانه مشکلی که در اندازه‌گیری پارامترها وجود دارد اندازه‌گیری کربن آلی ناپایدار خاک است؛ برای اندازه‌گیری آن به پرمنگنات پتاسیم، کلرید کلسیم دی‌هیدراته، و طیف‌سنجی ـ که جذب در ۵۵۰ نانومتر را نشان می‌دهد ـ نیاز است. تهیهٔ مواد شیمیایی لازم برای این اندازه‌گیری آسان است، اما، به دلیل گران‌قیمت‌بودن طیف‌سنج‌ها و کمبود یا فقدانِ نوع دستی آن‌ها در بازار، اندازه‌گیری این پارامتر کمی مشکل خواهد بود. به غیر از کربن آلی، سایر پارامترها را می‌توان به‌راحتی اندازه گرفت و این از حسن‌های این مدل به‌شمار می‌رود.

تقدیر و سپاسگزاری

از زحمات بی‌دریغ جناب آقای مهندس پرویز براتی و سرکار خانم مهندس سوسن براتی، که ما را در اجرای کلیهٔ مراحل اندازه‌گیری‌های میدانی و آزمایش‌ها یاری کردند، سپاسگزاریم و برای این عزیزان موفقیت روزافزون آرزومندیم.

References

[1] Ahmadi, H. (2003). *The final report of compiling a comprehensive service plan and methodology of indicators and indices of desertification potential assessment in Iran*, College of Agriculture & Natural Resources, Faculty of Natural Resources, Department of Rehabilitation of Arid and Mountainous Regions, University of Tehran.

[2] Ahmadi, H. (2003). *The final report of calibration of desertification potential assessment in Iran, College of Agriculture & Natural Resources, Faculty of Natural Resources*, Department of Rehabilitation of Arid and Mountainous Regions, University of Tehran.

[3] Albaladejo, M., Chisci, P., Gabriels, G., Rubio, V. and Stocking, N. (1988). Soil Degradation And Its Imapct On Desertification: A Research Design For Mediterranean Environments, *Soil Technology*, 1, 169-174.

[4] Cammeraat, L.H. and Imeson, A.C. (1998). Deriving indicators of soil degradation from soil aggregation studies in southeastern Spain and southern France, *Geomorphology*, 23, 307-321.

[5] De Paz, J.M., Sa´nchez, J. and Visconti, F. (2006). Combined use of GIS and environmental indicators for assessment of chemical, physical and biological soil degradation in a Spanish Mediterranean region, *Journal of Environmental Management*, 79, 150-162.

[6] Diodato, N. and Ceccarelli, M. (2004). Multivariate indicator Kriging approach using a GIS to classify soil degradation for Mediterranean agricultural lands, *Ecological Indicators*, 4, 177-187.

[7] Geeson, N.A., Brandt, C.J. and Thornes, J.B. (2002). *Mediterranean Desertification: A Mosaic of Processes and Responses*, John Wiley & Sons press.

[8] Geist, H. and Lambin, E.F. (2004). Dynamic Causal Patterns of Desertification, *BioScience*, 54(9): 817- 830.

[9] McDonagh, J., Bunning, S., McGarry, D., Liniger, H. and Rioux, J. (2009). Field Manual for Local Level Land Degradation Assessment in Drylands; LADA-L Part 1: Methodological Approach, Planning and Analysis, LADA, Fao.

[10] McDonagh, J., Bunning, S., McGarry, D., Liniger, H. and Rioux, J. (2009). Field Manual for Local Level Land Degradation Assessment in Drylands; LADA-L Part 2: Local Assessment: Tools and Methods for Fieldwork, LADA, Fao.

[11] McGarry, D. (2005). *The Visual Soil-Field Assessment Tool (VS-Fast) methodology*, ftp://ftp.fao.org/agl/agll/lada/vsfast_methodology.pdf

[12] Oldeman L.R. (1988). Guidelines for General Assessment of the Status of Human-Induced Soil Degradation, Global Assessment of Soil Degradation (GLASOD), *Work. Pap*. 88/04, ISRIC, Wageningen.

[13] Oldeman, L.R., Hakkeling, R.T.A. and Sombroek, W.G. (1991). World map of the status of human-induced soil degradation: an explanatory note, *Wageningen: International Soil Reference and Information Centre; Nairobi: United Nations Environment Programme*.

[14] Omuto, C.T. (2008). Assessment of soil physical degradation in Eastern Kenya by use of a sequential soil testing protocol, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 128, 199-211.

[15] Puigdefabregas, J. (1995). Desertification: Stress beyond resilience, exploring a unifying process structure, *Ambio*, 24, 311-313.

[16] Ravi, S., Breshears, D.D., Huxman, T.E. and D'Odorico, P. (2010). Land degradation in drylands: Interactions among hydrologic–aeolian erosion and vegetation dynamics, *Geomorphology*, 116, 236-245.

[17] Rodrı´guez, A.R, Mora, J.L., Carmen, A. and Bordon, J. (2005). Plant succession and soil degradation in desertified areas (Fuerteventura, Canary Islands, Spain), *Catena*, 59, 117-131.

[18] Ruiz-Sinoga, J,.D. and Romero Diaz, A. (2010). Soil degradation factors along a Mediterranean pluviometric gradient in Southern Spain, *Geomorphology*, 118, 359-368.

[19] Sha-Sha, F., Pei-Jun, L., Qian, F., Xiao-Jun, L., Peng, L., Yue-Bing, S. and Yang, C. (2011). Soil Quality Degradation in a Magnesite Mining Area, *Pedosphere*, 21(1): 98-106.

[20] Shepherd, G. (2000). *Visual Soil Assessment*, Volume 1, Field guide for cropping and pastoral grazing on flat to rolling country, horizons.mw & Landcare Research, Palmerston North, New Zealand.

21] Snakin, V.V., Krechetov, P.P., Kuzovnikova, T.A., Alyabina, I.O., Gurov, A.F. and Stepichev, A.V. (1996). The system of assessment of soil degradation, *Soil Technology*, 8 , 331-343.

[22] Stocking, M. and Murnaghan, N. (2001). *A Handbook for the Field Assessment of Land Degradation*, Earthscan Publications, USA.

[23] UNEP-DC/PAC. (1990). *In: Desertification revisited*, Ed.R.S. Odingo. pp.3-5. UNEP/DC-PAC, Nairobi, Kenya.

[24] Warren, A. (1996). *Desertification, The Physical Geography of Africa*, Adams, W.M., Goudie, A.S. and Orme, A.R. (Editors), Oxford University Press.

[25] Yanda, P.Z. (2000). Use of soil horizons for assessing soil degradation and reconstructing chronology of degradation processes: the case of Mwisanga Catchment, Kondoa, *Central Tanzania Geomorphology*, 34, 209-225.