ارزیابی پایداری ساختمان خاک به‌روش الک تر در برخی از مکان‌های مرتعی استان اصفهان

مائده ملائی‌رنانی[۱*]، حسین بشری[۱]، مهدی بصیری[۱] و محمدرضا مصدقی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۲/۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۳/۱۳)

چکیده

پایداری خاکدانه‌های خاک به‌عنوان یک شاخص کلیدی برای ارزیابی کیفیت و سلامت خاک مراتع درنظر گرفته می‌شود. بسیاری از عوامل و ویژگی‌ها مانند بافت، کربن آلی، آهک، نسبت جذب سدیم و رسانایی الکتریکی خاک بر پایداری خاکدانه‌های خاک مؤثرند. تأثیر این فاکتورها بر پایداری خاکدانه‌ها در ۷۱ نمونه خاک در چهار منطقه (۲ منطقه در مناطق نیمه‌خشک و ۲ منطقه در مناطق خشک) از استان اصفهان بررسی شد. پایداری خاکدانه‌ها به‌روش الک تر اندازه‌گیری شد. برای بهینه‌سازی شرایط آزمایش برای خاک‌های مورد بررسی، سه زمان الک‌کردن (۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه) به‌منظور اعمال تنش‌های هیدرومکانیکی متفاوت در آب استفاده شد و اثر آنها بر پایداری خاکدانه‌های ۱۰ خاک انتخابی از بین خاک‌های مورد بررسی ارزیابی شد. پایداری خاکدانه‌ها با استفاده از شاخص‌های میانگین وزنی قطر (MWD) و میانگین هندسی قطر (GMD) خاکدانه‌ها محاسبه شد. پایداری خاکدانه‌ها در همه زمان‌های الک‌کردن با یکدیگر تفاوت معنی‌داری در سطح ۰/۱ درصد با یکدیگر نشان دادند. زمان ۱۰ دقیقه الک‌کردن خاکدانه‌ها برای ارزیابی پایداری ساختمان خاک در این مناطق مناسب‌تر بود، زیرا در این زمان اختلاف بین پایداری ساختمانی خاک‌ها بهتر مشخص شد. از میان ویژگی‌های ذاتی خاک، مقدار کربن آلی بیشترین نقش را در پایداری خاکدانه‌های خاک در همه‌ی مناطق داشت. علاوه بر مقدار کربن آلی، رسانایی الکتریکی خاک در پایداری خاکدانه‌ها در مراتع مناطق استپی که شرایط خشک‌تری دارند، اهمیت بیش‌تری داشت. در مقایسه با توزیع نرمال و شاخص MWD، توزیع لوگ-نرمال و شاخص GMD بهتر توانستند توزیع اندازه خاکدانه‌ها را در مناطق مورد بررسی استان اصفهان نشان دهند. بنابراین ارزیابی و پایش پایداری خاکدانه‌ها و مقدار کربن آلی می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در خصوص روند تغییرات مثبت و منفی عملکرد مراتع در نتیجه انجام روش‌های مدیریتی فراهم نماید.

واژه‌های کلیدی: پایداری ساختمان، میانگین وزنی قطر، میانگین هندسی قطر، کربن آلی، رسانایی الکتریکی، استان اصفهان

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

۲. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mollaei_2008@yahoo.com

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

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.70.12.1]

مقدمه

ساختمان خاک به‌طور مستقیم بر بسیاری از ویژگی‌های خاک از جمله مقدار و چگونگی حرکت آب در خاک، گرما و تهویه، انتشار عناصر غذایی و اندازه‌ی منافذ تأثیر دارد. جوانه‌زنی و رشد ریشه و نیز تجزیه کربن و پویایی آن به‌میزان زیادی به ساختمان خاک و خاکدانه‌های آن مرتبط است (۱۲ و ۱۶). ساختمان خاک بر بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک تأثیرگذار بوده و از جمله مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی خاک نیز به‌شمار می‌رود (۲ و ۶).

فرسایش خاک به‌میزان زیادی تحت تأثیر پایداری ساختمان و پایداری خاکدانه‌های آن است (۲۰). در واقع پایداری ساختمان خاک مترادف با پایداری خاکدانه‌های خاک درنظر گرفته می‌شود. پایداری ساختمان خاک عبارت است از توانایی خاک برای مقاومت در برابر نیروهای فرساینده و بازسازی پس از تخریب (۲۶). پایداری خاکدانه‌های خاک به‌عنوان شاخص کلیدی برای ارزیابی ساختمان، کیفیت و سلامت خاک درنظر گرفته می‌شود (۱۹).

عوامل تأثیرگذار بر پایداری خاکدانه‌ها را می‌توان به دو گروه فاکتورهای درونی یا ویژگی‌های ذاتی خاک (مانند غلظت یون‌ها، رسانایی الکتریکی، اسیدیته، نسبت جذب سدیم، میزان ماده آلی، آهک، اکسیدهای آهن و آلومینیوم، و نوع کانی‌های رسی) و فاکتورهای بیرونی (مانند اقلیم، مکان و فصل) تقسیم کرد (۱۰). بسیاری از پژوهش‌ها نقش مثبت مواد آلی را در تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها نشان دادند (۱۳، ۱۷، ۲۲، ۲۳، ۲۵ و ۲۷)، به‌گونه‌ای که با افزایش ماده آلی پایداری خاکدانه‌ها افزایش می‌یابد. ماده آلی از دو راه، افزایش ویژگی آب‌گریزی و افزایش چسبندگی بین ذرات خاک، باعث افزایش مقاومت خاکدانه‌ها در برابر خیس‌شدن و پایداری ساختمان خاک می‌گردد (۱۵).

سیکس و همکاران (۲۴) و آندسودان و همکاران (۱۱)، کمبود و کاهش ماده آلی را سبب کاهش اندازه خاکدانه‌ها، تخریب آنها و در نتیجه حساسیت خاک به فرسایش بیان کردند. تیسدال و اودز (۲۵) رس، اکسیدهای آهن و آلومینیوم و کربنات را بر پایداری ساختمان خاک موثر دانستند. خزائی و همکاران (۷) به‌ترتیب مقدار ماده آلی، رس و کربنات کلسیم را از عوامل مؤثر بر پایداری خاکدانه‌های برخی از خاک‌های کشاورزی استان همدان تشخیص دادند. بهادری (۳) نیز روابط معنی‌داری بین MWD و GMD با برخی از ویژگی‌ها (ماده آلی، رس، کربنات کلسیم معادل، غلظت الکترولیت و سدیم تبادلی) در خاک‌های شور و سدیمی به‌دست آورد. چانی و سوئیفت (۱۴) با پژوهشی در خاک‌های بریتانیا، بیان داشتند که بین پایداری خاکدانه‌ها و ذرات اولیه خاک (رس، سیلت و شن)، رابطه معنی‌داری وجود نداشت، ولی ماده آلی از مهم‌ترین عوامل در وضعیت پایداری خاکدانه‌ها بود.

روش‌ها و شاخص‌های زیادی برای ارزیابی پایداری ساختمان خاک پیشنهاد شده است که بسته به‌نوع نیروی فرساینده و هدف از آزمایش یا پژوهش، از یک یا ترکیبی از آنها استفاده می‌شود. به‌طور مثال، برای ارزیابی پایداری ساختمان خاک در برابر نیروی فرساینده باد (فرسایش بادی)، از روش الک خشک استفاده می‌شود. درصورتی‌که برای ارزیابی اثر نیروهای فرساینده آب (فرسایش آبی) از روش الک تر بهره‌گیری می‌شود (۲۱). در روش الک خشک، تنها تنش‌های مکانیکی بر خاکدانه‌های خشک روی یک‌سری الک با اندازه‌های مشخص وارد می‌شود. درحالی‌که در روش الک تر، خاکدانه‌ها را روی یک‌سری الک با اندازه‌های مشخص، در آب در معرض تکان‌های مکانیکی قرار می‌دهند. زمان تکان‌دادن الک‌ها در آب بیان‌گر مقدار تنش‌های هیدرومکانیکی وارده به خاکدانه‌ها است. اندازه (قطر) سوراخ و تعداد الک‌ها بر حسب هدف آزمایش متفاوت می‌باشد. بسته به هدف پژوهش می‌توان در این روش از پیش-تیمار مرطوب‌کردن سریع یا آهسته استفاده کرد. پیش-تیمار مرطوب‌کردن سریع، موجب تخریب ساختمان خاک در اثر حبس ناگهانی هوا در منافذ و انبساط ناهمگن و سریع خاک می‌گردد (۲۱).

یکی از روش‌های ارزیابی پایداری ساختمان خاک، بررسی توزیع اندازه خاکدانه‌ها در روش‌های الک خشک و الک تر

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

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.70.12.1]

جدول ۱. اطلاعات کلی در مورد مناطق مورد بررسی

نام منطقه	شهرستان	اقلیم	میانگین بارش سالانه (mm)	میانگین دمای سالیانه (°C)	ارتفاع از سطح دریا (m)	تیپ گیاهی
بردآسیاب	فریدون‌شهر	معتدل سرد	۴۴۹	۹/۰	۲۶۹۵	*Astragalus adscendense- Bromus tomentellus*
آقاگل	داران	معتدل سرد	۵۰۸	۹/۷	۲۶۹۶	*Astragalus verus- Bromus tomentellus*
سُه	میمه	خشک سرد	۱۷۱	۱۱/۷	۱۹۴۰	*Artimisia siberi- Stipa barbata*
موته	میمه	خشک سرد	۲۶۳	۱۳/۹	۱۹۳۱	*Artimisia sieberi*

است. شاخص‌های مختلفی برای بیان توزیع اندازه خاکدانه‌ها وجود دارد، که یکی از این شاخص‌ها میانگین وزنی قطر (Mean weight diameter or MWD) خاکدانه‌ها است که میانگین حسابی- وزنی اندازه خاکدانه‌های پایدار را بیان می‌کند.

کریمی و همکاران (۸) با بررسی پایداری خاکدانه‌ها و پتانسیل فرسایش خاک به‌روش الک تر در خاک‌های مرتعی لومی و لوم‌رسی شنی در دشت لامرد فارس، نتیجه گرفتند که MWD و پایداری کم خاکدانه‌ها به‌علت نسبت جذب سدیم (SAR) زیاد و فقیربودن خاک از ماده آلی بود. یوسفی‌فرد و همکاران (۹) به‌بررسی کیفیت خاک در چهار نوع کاربری زمین شامل مرتع با پوشش گیاهی خوب، ضعیف، دیم‌زار و دیم‌زار رهاشده در منطقه چشمه علی استان چهار محال و بختیاری پرداختند. آنها نتیجه گرفتند که مقدار MWD به‌شیوه‌ی الک تر برای هر چهار نوع خاک در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری داشت.

اما برخی محققان ترجیح می‌دهند از میانگین هندسی قطر (Geometric mean diameter or GMD)خاکدانه‌ها به‌جای MWD برای ارزیابی ساختمان خاک استفاده کنند، چون در بسیاری از موارد توزیع اندازه خاکدانه‌ها، یک توزیع لگ-نرمال (نیمه‌لگاریتمی) است (۲۱). گاردنر (۱۸) نشان داد که شاخص GMD گاهی اوقات بهتر از MWD توزیع اندازه و پایداری خاکدانه‌ها را بیان می‌کند. بهادری (۳) با بررسی پایداری ساختمان در برخی از خاک‌های شور و سدیمی در استان همدان، نتیجه گرفت که GMD ضریب تبیین بیشتری نسبت به MWD با ویژگی‌های خاک داشت.

باتوجه به این‌که خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک پایداری ساختمانی کمی دارند، بیشتر در معرض فرسایش، تخریب و بیابان‌زایی‌اند؛ اما پژوهش‌های اندکی در مورد پایداری ساختمانی خاک مراتع این مناطق در ایران انجام گرفته است. هدف از این پژوهش، بررسی پایداری ساختمان خاک و ارتباط آن با ویژگی‌های ذاتی خاک و مقایسه دو شاخص MWD و GMD برای بیان پایداری خاکدانه‌ها در برخی از خاک‌های مراتع نیمه‌خشک و خشک استان اصفهان بود.

مواد و روش‌ها

معرفی مناطق مورد بررسی

مراتع منطقه‌ی بردآسیاب و آقاگل از توابع شهرستان فریدون‌شهر و داران واقع در مناطق نیمه‌استپی و مراتع سُه و موته از توابع شهرستان میمه واقع در منطقه استپی استان اصفهان برای انجام این پژوهش انتخاب شدند. اطلاعات کلی از مناطق مورد بررسی در جدول ۱ نشان داده شده است.

نمونه‌برداری به‌روش تصادفی طبقه‌بندی شده انجام گرفت، بدین‌ترتیب که ابتدا وضعیت مراتع با استفاده از روش چهار فاکتوره تعدیل شده و با بررسی عامل خاک (با تکیه بر وضع فرسایش خاک و بقایای گیاهی)، عامل پوشش گیاهی (درصد تاج پوشش زنده)، عامل ترکیب گیاهی و طبقات سنی و عامل بنیه و شادابی گیاهان (سلامتی و قدرت گیاه) تعیین شد.

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

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.70.12.1]

جدول ۲. کمینه، بیشینه، میانگین، انحراف معیار (SD) و ضریب تغییرات (CV) برخی از ویژگی‌های خاک مناطق مورد بررسی

	کربن آلی (٪)	کربنات کلسیم معادل (٪)	کلسیم و منیزم ($meq\ lit^{-1}$)	سدیم ($meq\ lit^{-1}$)	نسبت جذب سدیم $(meq\ lit^{-1})^{0.5}$	اسیدیته	رسانایی الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)	شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)
منطقه بردآسیاب										
کمینه	۱/۰	٦	۱	۱/۵	۰/٦	۷/۵	۰/٦	۲۴/۹	۲٦/۱	۱۸/۴
بیشینه	۲/۸	۳۴	۱٦	۳/۱	۱/۴	۷/۹	۱/۴	۴۸/۷	۴٦/۴	۳۲/۱
میانگین	۱/۹	۱۴/۸	۹/٦	۲/۱	۰/۹	۷/٦	۱/۰	۳۷/۵	۳٦/۳	۲٦/۰
انحراف معیار	۰/۵	۷/۲	۳/۹	۰/۴	۰/۲	۰/۱	۰/۱	٦/۳	۵/۱	۳/۷
ضریب تغییرات	۲٦/۹	۴۸/۵	۴/۸	۲۱/۴	۲۹/۴	۱/۴	۱۵/۳	۱٦/۹	۱۴/۱	۱۴/۴
منطقه آقاگل										
کمینه	۱/۰	۵	۵	۰/۹	۰/۴	۷/۴	۰/۷	۱۷	۱۷/۵	۲۱/۷
بیشینه	۲/۸	۱۰	۱۴	۲/۴	۰/۹	۸/۲	۱/۵	۵۰/۷	۵۴/۴	۳۵/۲
میانگین	۱/۷	۷/۰	۹/۴	۱/٦	۰/۷	۷/۷	۱/۰	۳٦/۴	۳۴/۰	۲۹/۲
انحراف معیار	۰/۵	۱/۹	۲/٦	۰/۴	۰/۱	۰/۲	۰/۲	۱۲/۷	۱۰/۳	۴/۹
ضریب تغییرات	۳۰/۳	۲۸/۱	۲۸/۴	۲۴/۸	۲۴/۹	۳/۷	۲۱/٦	۳۵/۰	۳۰/۴	۱٦/۸
منطقه سه										
کمینه	۰/۲	۳۳	۳	۱/۴	۰/۵	۷/۷	۰/۳	۵۴/۴	۳/۳	۱۰/۳
بیشینه	۰/۸	۵۸	۲۰	۳۴/۵	۱۵/۴	۸/۵	۲/۱	۸۵/۳	۳۳/۵	۱۸/۴
میانگین	۰/۴	۴۴/۲	۸/۸	۴/۳	۲/۰	۷/۹	۱/۱	۷۰/۴	۱۵/۸	۱۳/٦
انحراف معیار	۰/۱	٦/۴	۳/۹	٦/۴	۲/۸	۰/۱	۰/۵	۹/۳	۸/۸	۲/۳
ضریب تغییرات	۳۳/۸	۱۴/۴	۴۵/۲	۱۴۷/۲	۱۳٦/۵	۲/۱	۴۳/٦	۱۳/۳	۵۵/۷	۱۷/۳
منطقه موته										
کمینه	۰/۴	۲۸	۲	۲/۱	۱/۸	۷/٦	۰/۴	۵۰/۵	۱۲/۵	۱۰
بیشینه	۱/۳	۴۳	۱۵	۲۴/۵	۸/۹	۸/۰	۳/۴	۷۷/۳	۳٦	۱۵/۱
میانگین	۱/۰	۳۴/۴	۵/٦	۵/۷	۳/۱	۷/۸	۱/۰	٦۰/۹	۲٦/۲	۱۲/٦
انحراف معیار	۰/۳	۴/۹	۳/٦	٦/۲	۲/۱	۰/۱	۰/۸	۷/٦	٦/۴	۱/٦۹
ضریب تغییرات	۲۹/٦	۱۴/۲	٦۳/۵	۱۰۸/۴	٦۸/۰	۱/٦	۸۰/۱	۱۲/۵	۲۴/۷	۱۳/۳

ترانسکت‌های ۳۰ متری در مکان‌های مرتعی استقرار یافتند. ۷۱ نمونه خاک (بردآسیاب ۲۲، آقاگل ۱۲، سه ۲۵ و موته ۱۲ نمونه) در امتداد ترانسکت‌هایی از خاک رویین (عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری، محدوده فعالیت ریشه گیاهان مرتعی) و حداقل ۳ تکرار از زیر پوشش گیاهی برداشت شد. برای نمونه‌برداری خاک از یک بیلچه استفاده شد و نمونه‌های خاک به آرامی در ظروف پلاستیکی قرار گرفتند تا کم‌ترین آسیب به خاکدانه‌ها وارد گردد. نمونه‌های خاک به آزمایشگاه انتقال داده شده و هوا-خشک شدند. برای اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، بخشی از نمونه‌ها کوبیده شده و از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شدند.

ویژگی‌های خاک شامل بافت به‌روش هیدرومتری، کربنات کلسیم معادل به‌روش تیتراسیون برگشتی، کربن آلی به‌روش والکی-بلاک و در عصاره اشباع خاک، کلسیم و منیزیم محلول

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

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.70.12.1]

به‌روش کمپلکسومتری، سدیم محلول خاک با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر و رسانایی الکتریکی توسط دستگاهEC متر اندازه‌گیری گردیدند. سپس درصد ذرات اولیه (شن، سیلت و رس)، درصد کربن آلی، نسبت جذب سدیم (SAR) و کربنات کلسیم معادل خاک محاسبه شدند. کمینه، بیشینه، میانگین، انحراف معیار (SD) و ضریب تغییرات (CV) ویژگی‌های خاک اندازه‌گیری‌شده مناطق مورد بررسی در جدول ۲ آورده شده است.

پایداری خاکدانه‌های خاک

برای اندازه‌گیری پایداری ساختمان خاک از روش الک تر و شیوه مرطوب‌کردن سریع استفاده شد (۲۰). ابتدا خاک هوا-خشک‌شده (بدون کوبیدن) از الک ۸ میلی‌متری عبور داده شد. ۵۰ گرم از خاک الک‌شده (صفر تا ۸ میلی‌متری سطح خاک) روی یک سری الک (به‌ترتیب از بالا به پایین ۴، ۲، ۱، ۰/۵، ۰/۲۵ و ۰/۰۵ میلی‌متر) به‌طور یکنواخت ریخته شده و در درون آب تکان داده‌شد (بالا و پایین برده‌شد). ارتفاع آب بر روی الک‌ها طوری تنظیم گردید که خاکدانه‌های روی الک بالایی (۴ میلی‌متر) در مدت الک‌کردن هنگامی‌که الک‌ها به بالاترین نقطه می‌رسیدند، اندکی از آب خارج شده و هنگامی که به پایین‌ترین نقطه می‌رسیدند، اندکی توسط آب پوشیده می‌شدند، بنابراین نوسان (Stroke یا دامنه رفت و برگشت) ۱/۳ سانتی‌متر انتخاب شد. برای انتخاب زمان الک‌کردن، یک پیش‌آزمایش انجام گرفت. بدین‌گونه که از سه زمان الک‌کردن ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه برای اندازه‌گیری پایداری ساختمانی ده نمونه خاک که از بین ۷۱ نمونه خاک مورد بررسی (از مناطق مختلف و وضعیت‌های مختلف مرتع دارای کربن آلی کم تا زیاد به‌طور تصادفی) انتخاب شده بود، استفاده شد. سپس میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات مقادیر MWD محاسبه شد. مقایسه میانگین LSD (آنالیز واریانس دو طرفه یا ANOVA Tow-Way Analysis) MWDها در بین زمان‌های مختلف توسط نرم‌افزار Minitab انجام گرفت و در نهایت زمان مناسب الک‌کردن (۱۰ دقیقه) با ۳۰ نوسان در دقیقه برای تکان‌دادن الک‌ها در آب انتخاب و استفاده شد. پس از پایان الک‌کردن، الک‌ها به آرامی از آب خارج‌شده، خاکدانه‌های باقی‌مانده روی هر الک شسته شده و در آون در دمای $105^{\circ}C$ خشک و وزن شدند. سپس خاکدانه‌های باقی‌مانده موبوط به هر الک خرد شده و شن و سنگ‌ریزه آن جدا شد و جرم واقعی خاکدانه‌ها بر روی هر الک محاسبه گردید. از شاخص‌های میانگین وزنی قطر (MWD) و میانگین هندسی قطر (GMD) خاکدانه‌ها برای ارزیابی پایداری ساختمان خاک استفاده شد.

الف) میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها

میانگین وزنی قطر (MWD) خاکدانه‌ها از رابطه زیر محاسبه گردید (۲۱):

$$MWD = \sum_{i=1}^{n} \overline{x_i} w_i \qquad [1]$$

که در آن $\overline{x_i}$: میانگین قطر خاکدانه‌های باقی‌مانده بر روی هر الک i (میانگین قطر سوراخ‌های الک بالایی و پایینی)، n : تعداد الک‌ها و w_i: نسبت وزن خاکدانه‌های روی هر الک به‌وزن کل خاک به‌کار برده شده در ابتدای آزمایش پس از کسر ذرات شن و سنگ‌ریزه می‌باشد که از فرمول زیر محاسبه شد:

$$w_i = \frac{W_i - W_{i(s)}}{W_t - \sum_{i=1}^{n} W_{i(s)}} \qquad [2]$$

که در آن W_i: وزن ذرات باقی‌مانده در دامنه i، $W_{i(s)}$: وزن ذرات شن و سنگ‌ریزه در دامنه i و W_t: وزن آون-خشک خاک می‌باشند.

ب) میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها

نتایج آزمایش الک تر را می‌توان با استفاده از شاخص میانگین هندسی قطر (GMD) خاکدانه‌ها نیز بیان کرد. این شاخص از رابطه زیر محاسبه گردید (۱):

$$GMD = \exp\left(\sum_{i=1}^{n} w_i \log \overline{x_i}\right) \qquad [3]$$

که $\overline{x_i}$ و w_i همان تعریف ذکرشده در فرمول MWD را دارند.

اثر ویژگی‌های خاک (نسبت جذب سدیم، درصد رس،

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

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.70.12.1]

جدول ۳. میانگین وزنی قطر (MWD, mm) خاکدانه‌های ۱۰ نمونه خاک انتخابی برای زمان‌های الک‌کردن ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه

خاک	MWD_5	MWD_{10}	MWD_{15}
۱	۲/۵	۲/۴	۲/۲
۲	۲/۱	۱/۹	۱/۷
۳	۱/۴	۱/۰	۱/۰
۴	۲/۳	۲/۳	۲/۰
۵	۲/۳	۲/۲	۱/۹
٦	۰/٦	۰/۵	۰/۵
۷	۰/۸	۰/۸	۰/۷
۸	۱/۱	۰/۸	۰/۸
۹	۱/۳	۱/۱	۱/۰
۱۰	۱/۱	۱/۰	۱/۰
میانگین	$۱/۵^{a}$	$۱/۴^{b}$	$۱/۳^{c}$
انحراف معیار	۰/٦	۰/۷	۰/٦
ضریب تغییرات	۰/۴	۰/۵	۰/۴

MWD_5، MWD_{10} و MWD_{15} به‌ترتیب میانگین وزنی قطر در زمان‌های الک‌کردن ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه می‌باشند.

میانگین‌ها با حروف متفاوت دارای تفاوت معنی‌دار در سطح آماری ۰/۱ درصد می‌باشند (آنالیز واریانس دو طرفه و مقایسه میانگین LSD).

کربنات کلسیم معادل، درصد کربن آلی (OC) و رسانایی الکتریکی (EC) بر پایداری ساختمان خاک توسط رگرسیون گام‌به‌گام (Stepwise regression) و با استفاده از نرم‌افزار Minitab ارزیابی شد.

نتایج و بحث

تعیین زمان مناسب الک‌کردن برای ارزیابی پایداری ساختمان خاک به‌روش الک تر

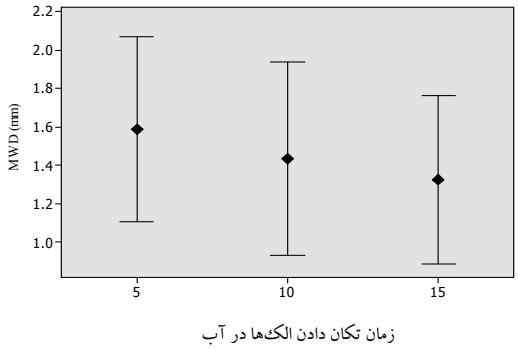
یکی از عواملی که در ارزیابی پایداری ساختمان خاک به‌روش الک‌کردن اهمیت دارد، زمان الک‌کردن است. بنابراین از سه زمان الک‌کردن ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه برای ارزیابی پایداری ساختمانی ده نمونه خاک انتخابی از بین تمامی خاک‌های مورد بررسی (دارای کربن آلی کم تا زیاد) استفاده شد. نتایج نشان داد که به‌طورکلی با افزایش زمان الک‌کردن، پایداری خاکدانه‌ها کاهش یافت. نتایج ارزیابی پایداری ساختمان ده خاک به‌منظور تعیین زمان مناسب الک‌کردن خاک در سه زمان ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه برای ۱۰ نمونه خاک در جدول ۳ آمده‌است.

میانگین MWD برای زمان‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه به‌ترتیب ۱/۵۹، ۱/۴۴ و ۱/۳۲ میلی‌متر (با انحراف معیار ۰/۶۷، ۰/۷ و ۰/۶۱) بود که با افزایش زمان الک‌کردن به‌میزان معنی‌داری کاهش یافته است. باتوجه به‌این نتایج، می‌توان گفت که زمان ۱۰ دقیقه با نشان‌دادن بیش‌ترین انحراف معیار و ضریب تغییرات، مناسب‌ترین زمان برای الک‌کردن خاکدانه‌ها می‌باشد، زیرا در این زمان اختلاف بین پایداری ساختمانی خاک‌ها بهتر از زمان‌های ۵ و ۱۵ دقیقه مشخص شده‌است (شکل ۱).

خزائی و همکاران (۷) برای ارزیابی پایداری ساختمانی برخی از خاک‌های استان همدان (با بافت، درصد مواد آلی و کربنات کلسیم مختلف) از روش الک تر با سرعت ۳۰ دور در دقیقه و نوسان ۱/۳ سانتی‌متر و روش مرطوب‌کردن سریع استفاده کرده و با مقایسه سه زمان ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه، زمان ۵ دقیقه را به‌دلیل داشتن انحراف معیار بالاتر به‌عنوان زمان مناسب الک‌کردن برگزیدند.

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

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.70.12.1]



شکل ۱. اثر زمان تکان‌دادن الک‌ها در آب بر میانگین وزنی قطر (MWD) خاکدانه‌ها و انحراف معیار آن در ۱۰ نمونه خاک انتخابی

جدول ۴. روابط رگرسیونی استخراج‌شده بین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD,mm) و ویژگی‌های خاک در مناطق مورد بررسی

منطقه	معادله	R^2 (درصد)	$R^2_{(adj)}$ (درصد)	P_{value}	Durbin-Watson
بردآسیاب	MWD=-۰/۳۳+۰/۹۸ OC%	۶۱/۳	۵۹/۳	<۰/۰۰۰۱	۲/۵۸
آقاگل	MWD =-۰/۴۷+ ۱/۰۶ OC%	۷۱/۶	۶۸/۸	=۰/۰۰۱	۱/۵۹
سُه	MWD = ۰/۱۸+ ۰/۷۱ OC% + ۰/۲۳ EC	۵۹/۲	۵۴/۹	<۰/۰۰۰۱	۱/۷
موته	MWD = ۰/۱۳۹ + ۰/۶۷۱ OC% + ۰/۱۶۹ EC	۹۱/۹	۸۹	<۰/۰۰۰۱	۲/۳۸

جدول ۵. روابط رگرسیونی استانداردشده بین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD, mm) و ویژگی‌های خاک در مناطق مورد بررسی

منطقه	معادله
سُه	MWD =۰/۶۹ OC% + ۰/۰۱۶ EC
موته	MWD = ۰/۹۱ OC% + ۰/۲۵۴ EC

ارتباط بین پایداری ساختمان و ویژگی‌های خاک

با توجه به این‌که ترکیبات خاک از عوامل مؤثر بر پایداری و تشکیل خاکدانه‌هاست، از بین ویژگی‌های خاک (نسبت جذب سدیم، درصد رس، کربنات کلسیم معادل، درصد کربن آلی (OC) و رسانایی الکتریکی (EC)، تنها OC و EC به‌عنوان عوامل مؤثر (معنی‌دار) بر پایداری ساختمان خاک توسط رگرسیون گام‌به‌گام در معادله‌های رگرسیونی وارد شدند. روابط رگرسیونی قویی بین پایداری ساختمان و OC و EC در مناطق مورد بررسی به‌دست آمد (جدول ۴). مقادیر ضریب تبیین برابر ۶۱/۳، ۷۱/۶، ۵۹/۲ و ۹۱ درصد به‌ترتیب برای مناطق بردآسیاب، آقاگل، سُه و موته بود. در مناطق نیمه‌خشک تنها OC و در مناطق خشک علاوه بر OC، EC از ویژگی‌های مؤثر (معنی‌دار) بر MWD بود که در روابط وارد شد (جدول ۴).

نتایج نشان داد که اثر میزان کربن آلی خاک در پایداری خاکدانه‌ها (MWD) در همه مناطق بسیار مهم بود. اما در مناطق استپی (سُه و موته) EC خاک نیز علاوه بر میزان کربن آلی در پایداری ساختمان خاک مؤثر بود که می‌توان دلیل آن را شوری بیشتر خاک در مناطق خشک دانست. ضریب تغییرات شوری در مناطق نیمه‌خشک بردآسیاب و آقاگل به‌ترتیب ۱۵/۳و ۲۱/۶ دسی‌زیمنس بر متر و در مناطق خشک سُه و موته به‌ترتیب

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

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.70.12.1]

۴۳/۶ و ۸۰/۱ دسی‌زیمنس بر متر بود. با توجه به روابط رگرسیونی استانداردشده نقش کربن آلی در پایداری خاکدانه‌ها در منطقه سُه حدود ۴۳ برابر EC بود، اما در منطقه‌ی موته EC نقش کمتری در پایداری خاکدانه‌ها داشت (جدول ۵) .

نقش مواد آلی در پایداری خاکدانه‌ها کاملاً روشن است. همان‌گونه که اشاره شد ماده آلی از دو راه افزایش آب‌گریزی و افزایش چسبندگی بین ذرات سبب افزایش پایداری خاکدانه‌ها و ساختمان خاک می‌گردد (۱۵). رسانایی الکتریکی (EC)، اسیدیته (pH) و نسبت جذب سدیم (SAR) نیز جزء فاکتورهای اصلی کنترل‌کننده پراکنش/هم‌آوری رس‌ها می‌باشند. مقادیر EC کم و SAR زیاد سبب تورم و پراکنش رس‌ها و تخریب ساختمان خاک می‌گردند. اثر مثبت EC بر MWD به‌دلیل نقش نمک‌های محلول در هم‌آوری (Flocculation) ذرات اولیه و ایجاد و پایداری خاکدانه‌ها (ذرات ثانویه) می‌باشد. کاتیون‌های دو ظرفیتی (معمولاً Ca^{2+}) با جانشینی Na^{+} سبب افزایش EC محلول خاک، کاهش ضخامت لایه‌ی دوگانه‌ی پخشیده، هم‌آوری رس‌ها و افزایش پایداری خاکدانه‌ها می‌شوند (۱۰).

جعفری و همکاران (۴ و ۵) نیز شوری خاک را به‌عنوان یکی از عوامل خاکی مؤثر در استقرار جوامع گیاهی مراتع پشتکوه یزد (در ۷ رویشگاه مرتعی میزان بین ۹۸/۶-۰/۲ دسی‌زیمنس بر متر) و استان قم(در ۱۴ رویشگاه مرتعی که میزان شوری از ۱۳۶/۹-۰/۲ دسی‌زیمنس بر متر) برشمردند.

نتایج این‌پژوهش هماهنگ با یافته‌های دیگر پژوهشگران از جمله مارکوس و همکاران (۲۳)، زانگ و همکاران (۲۷) و فولن و بوث (۱۷) درباره نقش مثبت مواد آلی و آمزکتا (۱۰) درباره نقش مثبت EC در پایداری خاکدانه‌ها، و سیکس و همکاران (۲۴)، آندسودان و همکاران (۱۱) و کریمی و همکاران (۸) درباره تخریب خاکدانه‌ها به‌علت کاهش ماده آلی و آمزکتا (۱۰) به‌علت کم‌بودن EC محلول خاک بود.

خزائی و همکاران (۷) از بین ویژگی‌های مؤثر بر پایداری ساختمان خاک، بیشترین نقش را به‌ماده آلی و پس از آن به‌ترتیب به‌میزان رس و کربنات کلسیم نسبت دادند. آنها ضریب تبیین ٪۸۴/۸ را برای این معادله به‌دست آوردند و تأثیر ماده آلی بر MWD را حدود ۲۰ برابر رس و ۲۸ برابر کربنات کلسیم تعیین کردند. بهادری (۳) نیز ضریب تبیین ۴۴٪ را برای رابطه رگرسیونی بین MWD و ویژگی‌های خاک به‌دست آورد. او نیز ابتدا ماده آلی و پس از آن کربنات کلسیم و درصد سدیم تبادلی را از عوامل مؤثر بر پایداری ساختمانی خاک‌های شور و سدیمی برشمرد. وی نقش رس و غلظت الکترولیت را در پایداری ساختمانی خاک‌های شور و سدیمی ناچیز گزارش کرد.

مقایسه MWD با GMD

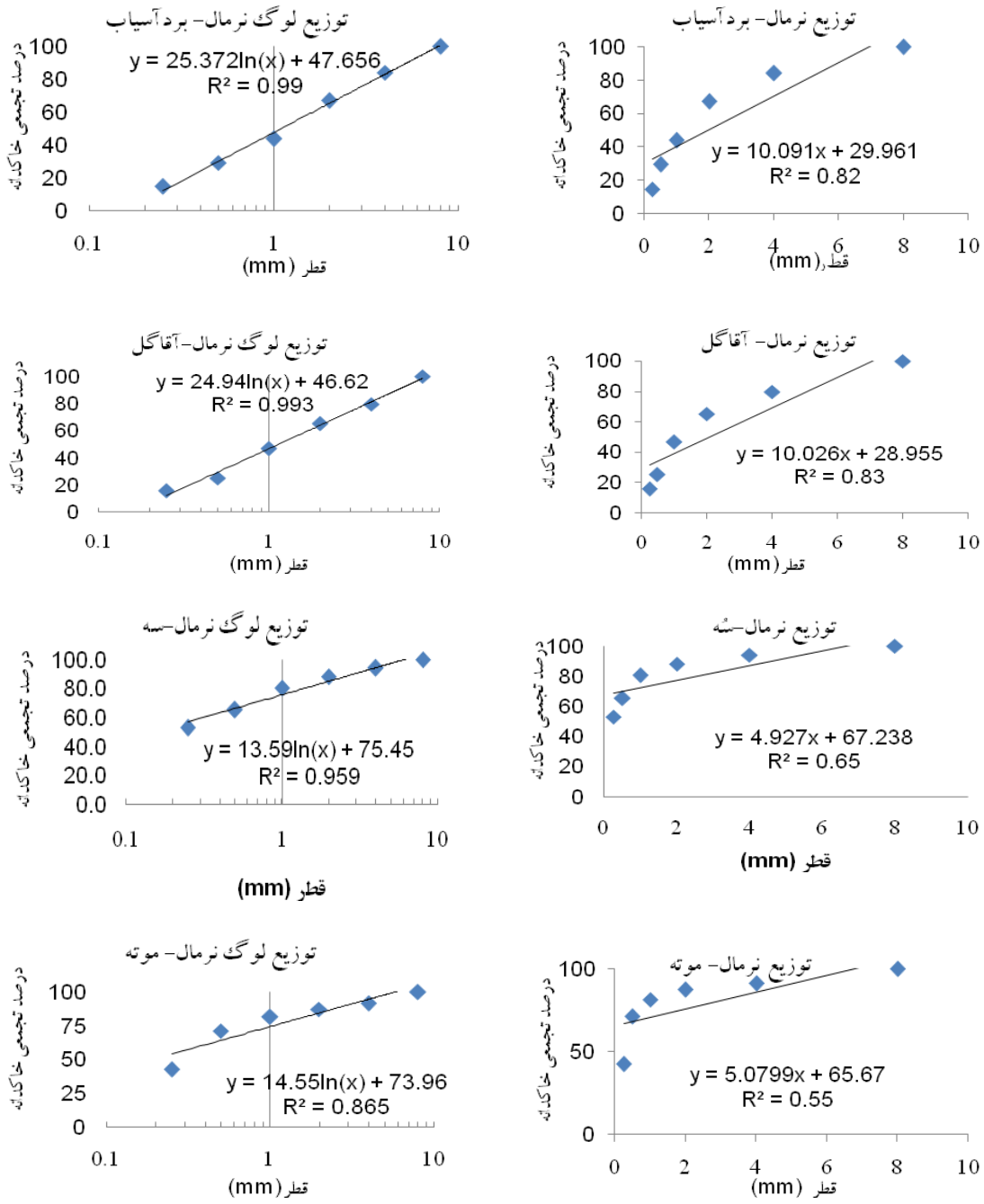
یکی دیگر از شاخص‌های بیان توزیع اندازه‌ی خاکدانه‌ها، میانگین هندسی قطر یا GMD می‌باشد. در این روش توزیع اندازه‌ی خاکدانه‌ها به‌صورت لوگ-نرمال بررسی می‌گردد. در واقع هنگامی که توزیع اندازه خاکدانه‌ها نرمال باشد، بهتر است از MWD به‌عنوان شاخص پایداری ساختمان استفاده شود، ولی هنگامی از GMD استفاده می‌شود که توزیع اندازه خاکدانه‌ها به‌صورت لوگ-نرمال (نیمه-لگاریتمی) است (۱۸). در شکل ۲ ابتدا توزیع تجمعی خاکدانه‌ها با مقیاس عادی (ستون سمت راست) و سپس با مقیاس نیمه‌لگاریتمی (ستون سمت چپ) برای برخی از خاک‌های مورد بررسی نشان‌داده شده است.

نتایج توزیع تجمعی خاکدانه‌ها و بررسی روند خطی داده‌ها نشان داد که در مناطق مورد بررسی، توزیع لوگ-نرمال و GMD بهتر از توزیع نرمال و MWD می‌تواند برای ارزیابی پایداری ساختمان خاک به‌کار رود. این نتیجه بیان‌گر آن است‌که توزیع اندازه‌ی خاکدانه‌ها در مناطق مرتعی مورد بررسی در استان اصفهان، لوگ-نرمال می‌باشد. این نتایج هماهنگ با نتایج گاردنر (۱۷) و بهادری (۳) در مورد بهتربودن شاخص GMD نسبت به MWD برای بیان توزیع اندازه و پایداری خاکدانه‌ها است.

روابط رگرسیونی بین GMD و ویژگی‌های خاک (توسط رگرسیون گام‌به‌گام) نیز در مناطق مورد بررسی به‌دست آورده شد (جدول ۶). نتایج روابط رگرسیونی قوی‌تری بین پایداری

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

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.70.12.1]



شکل۲. توزیع تجمعی خاکدانه‌ها با مقیاس عادی (ستون سمت راست) و مقیاس نیمه‌لگاریتمی (ستون سمت چپ) برای برخی از خاک‌های مورد بررسی

ساختمان (GMD) و ویژگی‌های خاک نسبت به MWD در مناطق بردآسیاب و آقاگل را نشان داد (مقایسه جدول ۶ با جدول ۴).

مقادیر ضریب تبیین برابر ۸۷/۱، ۸۳/۲، ۵۶/۶ و۶۳ درصد به‌ترتیب برای مناطق بردآسیاب، آقاگل، سُه و موته به‌دست آمد. نتایج نشان داد که شاخص GMD با ویژگی‌های بیشتری از خاک نسبت به MWD ارتباط دارد. با توجه به روابط رگرسیونی استانداردشده بین میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها

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

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.70.12.1]

جدول ۶. روابط رگرسیونی استخراج‌شده بین میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها (GMD) و ویژگی‌های خاک در مناطق مورد بررسی

منطقه	معادله	R^2(درصد)	$R^2_{(adj)}$(درصد)	P_{value}	*Durbin-Watson*
بردآسیاب	GMD = -۱/۶۶+۰/۴۰۱ OC% +۰/۰۱۱۲ Clay%	۸۷/۱	۸۵/۷	<۰/۰۰۱	۲/۳۰
آقاگل	GMD = -۰/۲۷۵+ ۰/۳۶۳ OC% + ۰/۰۴۴۲$CaCO_3$ + ۰/۲۰۴EC	۸۳/۲	۷۶	<۰/۰۰۵	۱/۹۶
سُه	GMD = ۰/۴۳۱+ ۰/۳۰۸OC% + ۰/۰۵۹۹ EC – ۰/۰۱۱۷ SAR	۵۶/۶	۴۷/۹	=۰/۰۰۵	۱/۳۵
موته	GMD = ۰/۴۶۱+ ۰/۲۰۴OC% + ۰/۰۱۹۸ EC – ۰/۰۱۱ SAR	۶۳	۴۹/۲	<۰/۰۵	۱/۸

جدول۷. روابط رگرسیونی استانداردشده بین میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها (GMD) و ویژگی‌های خاک در مناطق مورد بررسی

منطقه	معادله
بردآسیاب	GMD =۰/۸۹۹ OC%+۰/۱۷۷ Clay%
آقاگل	GMD = ۰/۸۷۲ OC% + ۰/۲۶۲$CaCO_3$ + ۰/۱۸۰EC
سُه	GMD = ۰/۴۶۴ OC% + ۰/۳۱۴ EC – ۰/۰۹۱SAR
موته	GMD= ۰/۷۷۳ OC% + ۰/۵۰۹ EC –۰/۲۸۸ SAR

(GMD) و ویژگی‌های خاک در مناطق مورد بررسی، اثر کربن آلی بر GMD در منطقه بردآسیاب حدود ۵ برابر رس، در منطقه آقاگل ۳/۳ برابر $CaCO_3$ و ۴/۸ برابر EC، در منطقه سُه ۱/۵ برابر EC و در منطقه موته ۱/۵ برابر EC بود. (جدول ۷).

بهادری (۳) ضریب تبیین (R^2=۷۳٪) بیشتری برای GMD نسبت به MWD برای بیان توزیع اندازه و پایداری خاکدانه‌ها به‌دست آورد. وی اثر ماده آلی را ۶۰ برابر رس و ۱۱۳ برابر کربنات کلسیم بیان کرد. گاردنر (۱۸) نیز گزارش داد، شاخص GMD گاهی اوقات بهتر از MWD پایداری خاکدانه‌ها را نشان می‌دهد. نتایج پژوهش حاضر نیز در دو منطقه‌ی بردآسیاب و آقاگل (نیمه‌خشک) ضرایب تبیین بزرگ‌تری برای GMD نسبت به MWD نشان داد، اما در دو منطقه‌ی سُه و موته (خشک)، این ضرایب برای MWD بیشتر بود (جدول‌های ۴ و ۶).

نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش ارزیابی پایداری ساختمان و ارتباط آن با ویژگی‌های ذاتی خاک و مقایسه دو شاخص میانگین وزنی قطر (MWD) و میانگین هندسی قطر (GMD) خاکدانه‌ها در برخی از خاک‌های مراتع خشک و نیمه‌خشک استان اصفهان بود. نتایج نشان داد که زمان ۱۰ دقیقه از بین زمان‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه زمان مناسب‌تری برای الک‌کردن خاک‌ها بود زیرا تفاوت بین پایداری ساختمانی خاک‌ها بهتر از زمان‌های دیگر مشخص شد. درصد کربن آلی خاک اهمیت زیادی در پایداری خاکدانه‌ها در مناطق مورد بررسی (مناطق خشک و نیمه‌خشک) داشت. اما علاوه بر درصد کربن آلی خاک، رسانایی الکتریکی (EC) خاک نیز در پایداری خاکدانه‌ها در مناطق خشک (سُه و موته) استان به‌دلیل شوری زیاد خاک نقش ویژه‌ای داشت. در مقایسه با توزیع نرمال و شاخص MWD، توزیع لوگ-نرمال و شاخص GMD بهتر توانستند توزیع اندازه خاکدانه‌ها را در مناطق مورد بررسی استان اصفهان نشان دهند. ضرایب تبیین روابط GMD با ویژگی‌های خاک در دو منطقه بردآسیاب و آقاگل (نیمه‌خشک) نسبت به MWD بیشتر بود، اما در دو منطقه سُه و موته MWD ضرایب تبیین بزرگ‌تری داشت.

تشکر و قدردانی

از دانشگاه صنعتی اصفهان بابت تأمین اعتبار این پژوهش، از

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

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.70.12.1]

جناب آقای دکتر مصطفی ترکش جهت راهنمایی در تجزیه آماری و از جناب آقای دکتر حمیدرضا کریم‌زاده برای پی‌گیری ساخت دستگاه الک تر و آقای مهندس کوشیار مختاری کارشناس آزمایشگاه آب و خاک تشکر و قدردانی می‌نماییم.

منابع مورد استفاده

۱. برزگر، ع.ا. ۱۳۸۰. *فیزیک خاک پیشرفته*. چاپ اول، دانشگاه شهید چمران، اهواز.

۲. برزگر، ع.ا. ۱۳۸۰. *مبانی فیزیک خاک*. چاپ اول، دانشگاه شهید چمران، اهواز.

۳. بهادری، ل. ۱۳۸۸. اثر برخی از ویژگی‌های شیمیایی بر ساختمان تعدادی از خاک‌های همدان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک-شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان.

۴. جعفری، م.، م.ع. زارع چاهوکی، ح. آذرنیوند، ن. باغستانی و ق.ا. زاهدی امیری. ۱۳۸۱. بررسی روابط پوشش گیاهی مراتع پشتکوه استان یزد با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با استفاده از روش‌های آنالیز چند متغیره. مجله منابع طبیعی ایران، ۵۵(۳).

۵. جعفری، م.، م.ع. زارع چاهوکی، ع. طویلی و ا. کهندل. ۱۳۸۵. بررسی رابطه خصوصیات خاک با پراکنش گونه‌های گیاهی در مراتع استان قم. پژوهش و سازندگی منابع طبیعی۷۳: ۱۱۰-۱۱۶.

۶. حاج‌عباسی، م.ع. ۱۳۸۶. *خصوصیات فیزیکی خاک*. دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.

۷. خزائی، ع.، م.ر. مصدقی و ع.ا. محبوبی. ۱۳۸۷. ارزیابی پایداری ساختمان در ۲۱ سری از خاک‌های استان همدان به‌روش الک تر و رابطه آن با برخی ویژگی‌های داتی خاک. پژوهش کشاورزی: آب، خاک و گیاه در کشاورزی، ۹(۱): ۱۸۲-۱۷۱.

۸. کریمی، ح.، م. صوفی، ح. حق‌نیا و ر. خراسانی. ۱۳۸۶. بررسی پایداری خاکدانه‌ها و پتانسیل فرسایش خاک در خاک‌های لومی و لوم رسی شنی: مطالعه موردی دشت لامرد-استان فارس. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۴(۶).

۹. یوسفی‌فرد، م.، ح. خادمی و ا. جلالیان. ۱۳۸۵. تنزل کیفیت خاک طی تغییر کاربری اراضی مرتعی منطقه چشمه علی استان چهار محال و بختیاری. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۴(۱).

10. Amezketa, E. 1999. Soil aggregate stability: A review. Sustain. Agric. 14: 83–151.

11. Andesodun, J.K., J.S.C. Mbagwu and N. Oti. 2005. Distribution of carbon, nitrogen and phosphorus in water-stable aggregates of an organic waste amended Ultisol in southern Nigeria. Bioresour. Technol. 96: 509–516.

12. Annabi, M., S. Houot, C. Francou, M. Poitrenaud and Y.L. Bissonnais. 2007. Soil aggregate stability improvement with urban compost of different maturities. Soil Sci. Soc. Am. J. 71: 413–423.

13. Boix-Fayos, C., A. Calvo-Cases, A.C. Imeson and M.D. Soriano-Soto. 2001. Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soil sand the use of aggregate size and stability as land degradation indicators. Catena, 44: 47–67.

14. Chaney, K. and R.S. Swift. 1984. The influence of organic matter on aggregate stability in some British soils. J. Soil Sci. 35: 223–230.

15. Chenu, C., Y. Le Bissonnais and D. Arrouays. 2000. Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. Soil Sci. Soc. Am. J. 64: 1479–1486.

16. Denef, K., J. Six, R. Mercks and K. Paustian. 2004. Carbon sequestration in microaggregates of no tillage soils with different clay mineralogy. Soil Sci. Soc. Am. J. 68: 1935–1944.

17. Fullen, M.A. and C.A. Booth. 2006. Grass ley set-aside and soil organic matter dynamics on sandy soils in Shropshire, UK, Earth Surf. Process. Landforms. 31: 570–578.

18. Gardner, W.R. 1956. Representation of soil aggregate size distribution by a logarithmic-normal distribution. Soil Sci. Soc. Am. J. 20: 151–153.

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

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.70.12.1]

19.Herrick, J.E., W.G. Whitford, A.G. de Soyza, J.W. van Zee, K.M. Havstad, C.A. Seybold and M. Walton. 2001. Field soil aggregate stability kit for soil quality and rangeland health evaluations. Catena 44: 27–35.

20.Kay, B.D. 2000. Soil Structure, in: Handbook of Soil Science. CRC Press, E. M. Sumner, Ed., USA: F.I., Boca Raton A229–A264.

21.Kemper, W.D, and R.C. Rosenau. 1986. Aggregate stability and size distribution, in: Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods, Klute, A., Ed. 425–442.

22.Lynch, J.M. and E. Bragg. 1985. Microorganisms and aggregate stability, Adv. Soil Sci. 2: 133–171

23.Marques, M.J., S. Garcia-Munoz, G. Munoz-Organero and R. Bienes. 2009. Soil conservation beneath grass cover in hillside vineyards under Mediterranean climatic conditions (Madrid, Spain), Land Degrad.Develop.

24.Six, J., K. Paputian, E.T. Elliot and C. Combrink. 2001. Soil structure and organic matter. I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. Soil Sci. Soc. Am. J. 64: 681–689.

25.Tisdall, J.M. and J.M. Oades. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils, Soil Sci. 33: 141–163.

26.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. 2004. Canberra Australia: CSIRO Sustainable Ecosystems.

27.Zhang, Z., C. Wei, D. Xie, M. Gao and X. Zeng. 2008. Effects of land use patterns on soil aggregate stability in Sichuan Basin, China. Particuology 6: 157–166.

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

[DOR: 20.1001.1.24763594.1393.18.70.12.1]