

اثر اسیدهای آلی و چرخه‌های تر و خشک شدن بر پایداری و توزیع اندازه خاکدانه‌ها در یک خاک آهکی

آناهیتا خسروی و سید علی اکبر موسوی¹

دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز؛ khosravi.a-1991@gmail.com

دانشیار بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز؛ aamousavi@gmail.com

دریافت: 95/6/16 و پذیرش: 95/12/2

چکیده

ساختمان خاک و پایداری خاکدانه‌ها از ویژگی‌های فیزیکی خاک هستند که به صورت مستقیم و غیرمستقیم بر سایر ویژگی‌های خاک و رشد گیاه مؤثر می‌باشند. این ویژگی‌ها تحت تأثیر عواملی مانند نوع و میزان ماده آلی و شرایط رطوبتی خاک قرار می‌گیرند. در یک پژوهش گل‌خانه‌ای به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار، اثر سطوح صفر، 0/05، 0/5 و 5 درصد اسیدهای آلی و تعداد 1، 4، 8 و 12 چرخه 10 روزه تر و خشکی بر پایداری و توزیع اندازه خاکدانه‌ها در یک خاک آهکی بررسی شد. میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها با اعمال چهار چرخه تر و خشک شدن در مقایسه با شاهد به طور معنی‌داری (22 درصد) افزایش یافت در حالی که میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها با اعمال 8 و 12 چرخه تر و خشکی به طور معنی‌داری به ترتیب به میزان 27 و 23 درصد کاهش یافت. میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها با کاربرد اسیدهای آلی به طور معنی‌داری به میزان 5 درصد افزایش یافت. اعمال 4، 8 و 12 چرخه تر و خشکی سبب کاهش معنی‌دار D_{10} و اعمال 8 و 12 چرخه تر و خشکی سبب کاهش D_{25} ، D_{30} ، D_{50} ، D_{75} و D_{60} منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها شد. ضریب یکنواختی منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها با اعمال 4، 8 و 12 چرخه تر و خشکی به طور معنی‌داری به ترتیب به میزان 13، 15 و 11 درصد افزایش یافت در حالی که ضریب انحنای منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها با کاربرد 0/05 درصد اسیدهای آلی به طور معنی‌داری به میزان 6 درصد کاهش یافت. به طور کلی تر و خشک شدن سبب کاهش برخی شاخص‌های توزیع اندازه خاکدانه‌ها شد. درحالی‌که اسیدهای آلی اثر مثبت معنی‌داری بر پایداری خاکدانه‌ها نداشته و نتوانستند از تأثیر منفی چرخه‌های تر و خشکی بکاهند. هرچند انتظار می‌رفت کاربرد آنها در مناطقی که خاک در معرض تر و خشکی متوالی است بتواند از اثرات مخرب آن بر ساختمان و پایداری خاکدانه‌ها و در نتیجه فرسایش‌های آبی و بادی و پیامدهای منفی ناشی از آنها بکاهد. بنابراین پیشنهاد می‌شود آزمایش در خاک‌های مختلف و با کاربرد مقادیر بیشتر از اسیدهای آلی مختلف انجام شود.

واژه‌های کلیدی: اسید فولویک، اسید هیومیک، ضریب انحنای، ضریب یکنواختی، میانگین وزنی قطر، میانگین هندسی قطر

¹ نویسنده مسئول، آدرس: شیراز، باجگاه، دانشکده کشاورزی - دانشگاه شیراز، بخش علوم خاک

مقدمه

خاک، هوموس، لیگنیت اکسید شده، پیت و غیره گرفته شده و به‌عنوان بهبوددهنده خاک استفاده می‌شوند (سباهانتین و نکدت، 2005). ویژگی مهم این اسیدها این است که در برابر تجزیه میکروبی مقاوم بوده و در خاک باقی می‌مانند (بیکولو و همکاران، 1997). اسیدهای آلی با جذب ذرات رس سبب کاهش پراکنش آنها می‌شوند (اودز، 1984). به‌طوری‌که فورتن و همکاران (1990) در پژوهشی مشاهده کردند که استفاده هم‌زمان از اسید هیومیک و اسید فولویک سبب افزایش قطر و تخلخل خاکدانه‌ها شد. گزارش شده که مواد آلی هوموسی شده، ممکن است سبب کاهش اثرات مخرب ناشی از تر و خشک شدن متوالی خاک در خاکدانه‌سازی شوند و در نتیجه افزودن این مواد به خاک می‌تواند به‌عنوان یک روش مدیریتی استفاده شود (بیکولو و همکاران، 1997). از آنجا که پژوهش‌های اندکی در ارتباط با اثر مواد آلی و چرخه‌های تر و خشک شدن بر پایداری خاکدانه‌ها انجام شده (بیکولو و همکاران، 1997) و در پژوهش‌های انجام شده نیز اثر توأم مواد آلی و چرخه‌های تر و خشک شدن بر ضرایب منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها و به‌ویژه در خاک‌های آهکی بررسی نشده، بر این اساس پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر توأم سطوح اسیدهای آلی و چرخه‌های تر و خشکی بر پایداری خاکدانه‌ها و ضرایب منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها در یک خاک آهکی، انجام شد.

مواد و روش‌ها

نمونه خاک آهکی مورد استفاده در این پژوهش از سری کوی اساتید منطقه باجگاه استان فارس با نام علمی Loamy-skeletal over fragmental, carbonatic, mesic, Fluventic Xerorthents تهیه و در محل از الک 4 میلی-متری عبور داده شد. نمونه‌ها پس از خشک شدن در هوای آزاد برای تجزیه شیمیایی آماده شدند. برای اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در خاک اولیه، مقداری از نمونه‌های هواخشک شده از الک 2 میلی‌متری عبور داده شد و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شامل pH در خمیر اشباع به روش توماس (1996)، بافت به روش هیدرومتری (جی و بادر، 1986)، ماده آلی به روش اکسیداسیون با بی‌کرومات پتاسیم و سپس تیترا کردن با فروآمونیم‌سولفات (نلسون و سامر، 1996)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع به وسیله هدایت‌سنج الکتریکی (رودز، 1996) و گنجایش تبادل کاتیونی خاک به روش جانشین کاتیون‌ها با استات سدیم (سامر و میلر، 1996)، سدیم با روش شعله‌سنجی (هلمکه و اسپارکس، 1996)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی

خاکدانه‌ها ذرات ثانویه خاک هستند که از به‌هم پیوستن ذرات خاک به‌وسیله مواد آلی و غیرآلی پدید می‌آیند. فرایند تولید خاکدانه‌ها، تحت تأثیر برهم‌کنش عوامل مختلفی می‌باشد. شرما و تونی (1978) گزارش کردند که ذرات رس به‌وسیله کاتیون‌های چند ظرفیتی هم‌اور شده و پایداری خاکدانه‌ها به‌وسیله سیمانی شدن ذرات خاک توسط مواد آلی و سایر عوامل سیمانی‌کننده افزایش می‌یابد. در پژوهش‌های پیشین (فوستر، 1981) بر نقش پلی‌ساکاریدهای میکروبی در افزایش پایداری خاکدانه‌ها نیز تأکید شده است. در مناطق نیمه خشک، پایداری خاکدانه‌ها یکی از ویژگی‌های مهم خاک است که بر رشد گیاهان (کوهرلر و همکاران، 2010) و سایر ویژگی‌های خاک از جمله ویژگی‌های هیدرولیکی خاک (وانگ و همکاران، 2013) مؤثر است. یکی از مهم‌ترین عواملی که بر پایداری خاکدانه‌ها تأثیر دارد، چرخه‌های تر و خشک شدن خاک در طول زمان می‌باشد (دکستر، 1991؛ برونیک و لال، 2005؛ الدائوب و همکاران، 2014؛ ما و همکاران، 2015). به‌طورکلی گزارش شده است که یک بار تر و خشک شدن خاک سبب افزایش تولید خاکدانه می‌شود (جرام و ارباک، 1999). اما تر و خشک شدن‌های متوالی، شکسته شدن خاکدانه‌های تولید شده را به دنبال خواهد داشت (اوتومو و دکستر، 1982). چرخه‌های تر و خشک شدن در رس‌های انبساط‌پذیر، سبب توقف خاکدانه‌سازی می‌شود زیرا این رس‌ها در هنگام منبسط شدن از سایر ذرات جدا شده و سبب کاهش پایداری خاکدانه می‌شوند (سینگر و همکاران، 1992). در خاک‌های زراعی دارای دانه‌بندی مطلوب، این چرخه‌ها ممکن است سبب متلاشی شدن ساختمان خاک و در نتیجه کاهش قطر خاکدانه‌های بزرگ و تولید ریزخاکدانه‌های فرسایش پذیر شوند (باگوو و بازوفی، 1988). یکی از روش‌های معمول افزایش پایداری خاکدانه‌ها در برابر نیروهای طبیعی، افزودن مواد آلی و بقایای گیاهی می‌باشد (اودز، 1984). فرایند هم‌چسبی ذرات خاک به‌وسیله عوامل هم‌اورکننده و همچنین به‌هم پیوستگی ذرات خاک، توسط اسیدهای آلی و پلی-ساکاریدها به مرور انجام می‌شود و مواد آلی در حال تجزیه در خاک سبب افزایش خاکدانه‌های بزرگ می‌شوند (اودز، 1984). تیسدال و اودز (1982) گزارش کردند که مواد آلی، در خاک‌های کشاورزی سبب به‌هم پیوستن خاکدانه‌ها و افزایش مقاومت آنها نسبت به تنش ناشی از تر شدن ناگهانی خاک می‌شود. اسید هیومیک و اسید فولویک نیز به‌عنوان اسیدهای آلی از منابع مختلف نظیر

شد. ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در جدول 1 آورده شده است.

با اسید کلریدریک (لوپرت و سوارز، 1996)، و کاتیون-های کلسیم و منیزیم به وسیله تیتراسیون با اتیلن‌دی‌آمین-تترااستیک‌اسید، ای. دی. تی. ا. (ریچاردز، 1954) تعیین

جدول 1- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

شن	سیلت رس	ماده آلی	کلاس بافت	pH	کربنات کلسیم معادل	قابلیت هدایت الکتریکی	گنجایش تبادل کاتیونی	پتاسیم سدیم	کلسیم	منیزیم
	(%)				(%)	(dS m ⁻¹)	(cmol _c kg ⁻¹)		(meq L ⁻¹)	
18	44	38	0/65	لوم شنی	7/9	0/45	14	13	8/8	5

محصولات کشاورزی استفاده می‌کنند (جدول 2)، به خوبی با نمونه‌های 3 کیلوگرمی خاک مخلوط و خاک‌ها با تراکم طبیعی و جرم مخصوص ظاهری حدود 1/3 تا 1/4 گرم بر سانتی‌متر مکعب به گلدان‌های پلاستیکی سه کیلوگرمی منتقل شدند. سپس تمامی گلدان‌ها تا میزان حدود گنجایش مزرعه‌ای با آب مقطر آبیاری شدند. فواصل بین چرخه‌های تر و خشک شدن خاک ده روز در نظر گرفته شد (فاصله چرخه‌های تر و خشک شدن بر اساس آنچه در عمل و برای اغلب خاک‌های کشاورزی رخ می‌دهد انتخاب شد به این ترتیب که در هنگام آبیاری خاک مرطوب شده و در فاصله بین دو آبیاری خاک در فرایند خشک شدن قرار دارد) و پس از پایان هر چرخه، گلدان‌ها مجدداً به روش وزنی تا حد گنجایش مزرعه‌ای با آب مقطر آبیاری شدند.

پژوهش حاضر به صورت آزمایش فاکتوریل با دو عامل اسیدهای آلی در چهار سطح صفر، 0/05، 0/5 و 5 درصد وزنی (وزن اسیدهای آلی به خاک) و چرخه‌های تر و خشکی در چهار سطح 1، 4، 8 و 12 چرخه 10 روزه، در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه بخش علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز انجام شد. (برای سادگی نمایش نتایج، سطوح اسیدهای آلی گفته شده به ترتیب با نمادهای OA₀، OA_{0.05}، OA_{0.5} و OA₅ و چرخه‌های تر و خشکی به ترتیب با نمادهای WDC₁، WDC₄، WDC₈ و WDC₁₂ نشان داده می‌شوند). ابتدا مقدار مورد نیاز اسیدهای آلی مورد استفاده با نام تجاری DELTA K-HUMATE از شرکت Delta Agricultural Chemicals Industry And Trade Inc. Co که در بازار موجود بوده و بر اساس توصیه‌های شرکت سازنده برخی کشاورزان از آن برای بهبود تولید و کیفیت

جدول 2- برخی ویژگی‌های شیمیایی اسیدهای آلی مورد استفاده.

فولویک اسید	مواد هیومیکی	مواد طبیعی و رطوبت	روی	مس	آهن	منگنز	فسفر	pH	قابلیت هدایت الکتریکی
	(%)				(mg kg ⁻¹)				(dS m ⁻¹)
30	55	15	9/08	14/73	377/16	8/727	27/18	4/07	2/325

$$MWD = \sum_{i=1}^n W_i \cdot X_i \quad (1)$$

که در آن X_i متوسط قطر خاکدانه‌ها در هر کلاس یا متوسط قطر سوراخ الک‌های بالا و پایین، W_i مقدار نسبی خاکدانه‌های با قطر X_i و n تعداد کلاس‌های اندازه‌ای خاکدانه‌ها می‌باشد.

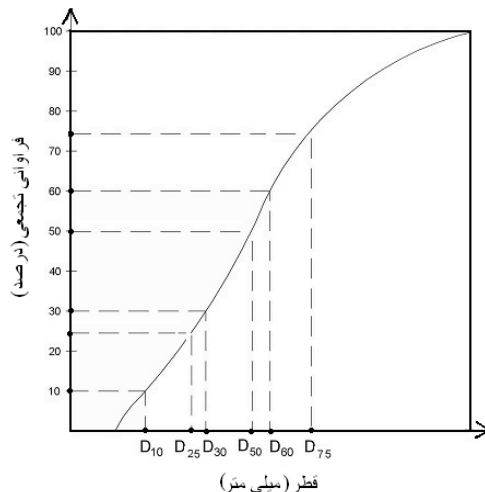
میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها (GMD) نیز با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$GMD = \exp \left[\frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot \log(d_i)}{\sum_{i=1}^n W_i} \right] \quad (2)$$

پس از پایان چرخه‌های تر و خشکی پیش‌بینی شده هر تیمار، نمونه خاک برای اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌ها به روش الک خشک (چیپل، 1962) به آزمایشگاه منتقل شد. این روش بر اساس اندازه‌گیری وزن خاکدانه‌های با اندازه مشخص استوار است. برای این کار مقدار 300 گرم خاک هوا خشک بر روی سری الک‌ها با اندازه‌های 0/1، 0/2، 0/3، 0/7، 0/85، 1/18، 1/7، 2/3، 2/8، 3/35 و 4 میلی‌متر قرار داده شده و به مدت 5 دقیقه تکان داده شده و سپس خاک باقی‌مانده روی هر الک وزن شد. میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

سپس با استفاده از وزن خاکدانه‌های باقیمانده روی الک‌های مورد استفاده و با استفاده از نرم افزار Excel، منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها ترسیم و مقادیر D_{25} ، D_{10} ، D_{30} ، D_{50} ، D_{60} و D_{75} خاکدانه‌ها تعیین شد (مقادیر اندیس ذکر شده در کنار D نشان‌دهنده درصدی از خاکدانه‌ها است که قطر کمتر از D دارند، شکل 1).

سپس با استفاده از وزن خاکدانه‌های باقیمانده روی الک‌های مورد استفاده و با استفاده از نرم افزار Excel، منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها ترسیم و مقادیر D_{25} ، D_{10} ، D_{30} ، D_{50} ، D_{60} و D_{75} خاکدانه‌ها تعیین شد (مقادیر اندیس ذکر شده در کنار D نشان‌دهنده درصدی از خاکدانه‌ها است که قطر کمتر از D دارند، شکل 1).



شکل 1- نمودار توزیع اندازه خاکدانه‌ها و نحوه تعیین برخی ضرایب توزیع اندازه خاکدانه‌ها

وزنی اندازه خاکدانه‌ها در اثر کاربرد تیمارهای WDC_8 و WDC_{12} معنی‌دار نبود.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد اسیدهای آلی اثر معنی‌داری بر میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها نداشت. مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد اسیدهای آلی در مقایسه با شاهد اثر معنی‌داری بر میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها نداشتند. بیشترین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در تیمار WDC_4 حاصل شد که در مقایسه با شاهد 34 درصد بیشتر بود.

همچنین نتایج نشان داد که تیمار WDC_4 اثر معنی‌داری بر میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها نداشت در حالی که تیمارهای WDC_8 و WDC_{12} سبب کاهش معنی‌دار میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها به ترتیب به میزان 26 و 23 درصد در مقایسه با شاهد (WDC_1) شد. نتایج نشان داد افزودن اسیدهای آلی به خاک در خاک‌های تحت تیمار چرخه‌های تر و خشک شدن، اثر معنی‌داری بر میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها نداشت. اما در تیمار WDC_1 ، افزودن 5 درصد اسید آلی (AO_5)، سبب افزایش 13 درصدی میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها شد. بیشترین میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها در تیمارهای AO_5 و WDC_1 مشاهده شد که در مقایسه با شاهد 13 درصد بیشتر بود.

مقادیر ضریب یکنواختی (C_u) و ضریب انحنای (C_c) منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها به ترتیب با استفاده از روابط 3 و 4 محاسبه شد:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (3)$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}} \quad (4)$$

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها و رسم نمودارها به ترتیب با نرم‌افزارهای SAS و Excel انجام شد و میانگین ویژگی‌های مورد مطالعه با استفاده از آزمون LSD و در سطح احتمال 5 درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها

نتایج تجزیه واریانس (جدول 3) نشان داد که چرخه‌های تر و خشک شدن در سطح 1 درصد بر میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها معنی‌دار است. همچنین نتایج مقایسه میانگین (جدول 4) نشان داد که تیمار WDC_4 سبب افزایش معنی‌دار میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها به میزان 21 درصد در مقایسه با شاهد (با یک چرخه تر و خشکی) شد در حالی که افزایش میانگین

جدول 3- نتایج تجزیه واریانس اثر اسیدهای آلی و چرخه‌های تر و خشک شدن بر شاخص‌های پایداری و ضرایب منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها

منابع تغییرات					درجه آزادی	میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها	میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها	ضریب یکنواختی منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها	ضریب انحنای منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها	میانگین مربعات
خطا	کل	چرخه‌های تر و خشکی × اسیدهای آلی	اسیدهای آلی	چرخه‌های تر و خشک شدن						
32	47	9	3	3						
0/0063	-	0/0096 ^{ns}	0/0096 ^{ns}	0/032 ^{**}						
0/0006	-	0/0008 ^{ns}	0/0015 ^{ns}	0/023 ^{**}						
0/21	-	0/22 ^{ns}	0/25 ^{ns}	1/39 ^{**}						
0/003	-	0/0014 ^{ns}	0/004 ^{ns}	0/0027 ^{ns}						
0/0001	-	0/0002 [*]	0/00008 ^{ns}	0/0015 ^{**}	D ₁₀					
0/0003	-	0/0008 [*]	0/0004 ^{ns}	0/0033 ^{**}	D ₂₅					
0/0004	-	0/001 [*]	0/0005 ^{ns}	0/0049 ^{**}	D ₃₀					
0/001	-	0/0024 ^{ns}	0/0024 ^{ns}	0/015 ^{**}	D ₅₀					
0/002	-	0/005 [*]	0/0033 ^{ns}	0/018 ^{**}	D ₆₀					
0/007	-	0/013 ^{ns}	0/012 ^{ns}	0/038 ^{**}	D ₇₅					

ns، * و ** به ترتیب نشان دهنده عدم وجود اثر معنی‌دار، معنی‌داری در سطوح 5 و 1 درصد می‌باشد.

جدول 4- اثر اسیدهای آلی و چرخه‌های تر و خشک شدن بر میانگین وزنی و هندسی قطر خاکدانه‌ها

میانگین	چرخه‌های تر و خشک شدن (به فواصل زمانی 10 روز)				اسیدهای آلی (%)
	12	8	4	1	
	میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (mm) MWD				
0/62 A	0/70 ab	0/56 cde	0/68 abc	0/53 [*] de	0
0/58 A	0/55 cde	0/63 a-e	0/61 a-e	0/53 e	0/05
0/56 A	0/53 de	0/50 e	0/66 a-d	0/53 e	0/5
0/61A	0/54 cde	0/58b-e	0/72a	0/61 a-e	5
	0/59 B	0/57 B	0/67 A	0/55 B	میانگین
	میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها (mm) GMD				
0/27 AB	0/24 def	0/22 f	0/31 abc	0/29 bc	0
0/25 B	0/23 ef	0/22 f	0/27cde	0/29bcd	0/05
0/26AB	0/23 ef	0/22 f	0/32 ab	0/28 bcd	0/5
0/28 A	0/24 ef	0/22 f	0/32 ab	0/33 a	5
	0/23B	0/22 B	0/31 A	0/30 A	میانگین

* میانگین‌هایی که در هر ردیف یا ستون در یک حرف بزرگ و اعدادی که در بدنه جدول در یک حرف کوچک مشترک هستند، از لحاظ آماری با آزمون LSD در سطح 5 درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

ارباک، 1999). همچنین تر و خشک شدن خاک می‌تواند سبب چیدمان مجدد ذرات اولیه خاک و افزایش مقاومت و پایداری خاکدانه‌ها شود. گزارش شده در خاک‌های آهکی مرطوب شدن خاک سبب حل شدن آهک در آب و آزاد شدن یون کلسیم (الدائوب و همکاران، 2014) و در- نتیجه به هم پیوستن ذرات خاک می‌شود. اما چنانچه تر و

مشابه با نتایج این پژوهش، امجدیان (1393) نیز نشان داد که افزودن ماده آلی (بقایای پسته) به خاک لومی تأثیر معنی‌داری بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها نداشت. مرطوب شدن خاک سبب افزایش نیروهای هم‌چسبی بین مولکول‌های آب و دگرچسبی بین آب و ذرات خاک و نزدیک شدن ذرات خاک به یکدیگر می‌شود (رجرام و

خاک مانند فرایند نفوذ آب و هوا (گازها) به خاک، انتقال آب، هوا (گازها)، مواد شیمیایی و آلاینده‌ها در خاک، هدایت هیدرولیکی و سایر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک به طور مستقیم اثر دارد. بنابراین اثر تیمارهای آزمایش بر شکل منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها نیز بررسی شد. نتایج مقایسه منحنی‌های توزیع اندازه خاکدانه‌ها در خاک‌های تحت تاثیر چرخه‌های تر و خشک شدن نشان داد که در خاک‌های تیمار WDC_1 ، منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها در سطوح OA_0 ، $OA_{0.05}$ و $OA_{0.5}$ تقریباً بر هم منطبق بود اما منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها در تیمار OA_5 کمی بالاتر از شاهد و سایر تیمارهای اسیدهای آلی قرار گرفت. به این معنی که خاکدانه‌های با قطر 2-3 میلی‌متر در این تیمارها فراوانی بیشتری داشتند (شکل 2الف). در تیمارهای WDC_4 (شکل 2ب)، منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها در تیمار $OA_{0.05}$ ، پایین‌تر از منحنی در سایر تیمارها قرار داشت و خاکدانه‌هایی با قطر 2-3 میلی‌متر، در مقایسه با سایر سطوح کاربرد اسیدهای آلی فراوانی کمتری داشتند. همچنین در تیمارهای WDC_8 ، منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها در تمامی سطوح اسیدهای آلی تقریباً بر یکدیگر منطبق بودند (شکل 2ج). در شرایط بدون کاربرد اسیدهای آلی و با اعمال 12 چرخه تر و خشکی، خاکدانه‌های با قطر 3-3/5 میلی‌متر فراوان‌ترین گروه اندازه‌ای خاکدانه‌ها بودند. همچنین فراوانی خاکدانه‌های با قطر 2-3 میلی‌متر در تیمارهای $OA_{0.5}$ ، کمترین مقدار بود (شکل 2د).

نتایج مقایسه منحنی‌های توزیع اندازه خاکدانه‌ها در سطوح مختلف اسیدهای آلی نیز نشان داد که در تیمارهای OA_0 ، منحنی‌های مربوط به تیمارهای WDC_1 و WDC_4 بر یکدیگر منطبق بودند و تنها بخش مربوط به خاکدانه‌های با قطر 2-3 میلی‌متر در مقایسه با تیمارهای WDC_8 و WDC_{12} بالاتر قرار گرفت. همچنین منحنی مربوط به خاک تیمارهای WDC_8 و WDC_{12} نیز تقریباً بر هم منطبق بوده و تنها در بخش مربوط به خاکدانه‌های با قطر 3-3/5 میلی‌متر در مقایسه با خاک تیمارهای WDC_1 و WDC_4 بالاتر قرار گرفت (شکل 3الف). در تیمارهای $OA_{0.05}$ ، منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها در بخش مربوط به خاکدانه‌های با قطر 2-3 میلی‌متر در شرایط WDC_1 ، از بقیه بالاتر قرار گرفت. همچنین کمترین فراوانی خاکدانه‌های با قطر 3-3/5 میلی‌متر نیز مربوط به همین منحنی بود. در این منحنی، کمترین فراوانی خاکدانه‌های با قطر 2-3 میلی‌متر، مربوط به WDC_{12} بود. نتایج نشان داد که کمترین فراوانی خاکدانه‌های با قطر 2-3 میلی‌متر در تیمارهای WDC_{12} مشاهده شد. همچنین بیشترین فراوانی

خشک شدن خاک به‌طور مکرر اتفاق بیفتد، خاکدانه‌ها شکسته شده و ذرات رس و سیلت پراکنده می‌شوند و پایداری خاکدانه‌ها کاهش می‌یابد. احتمالاً به همین دلیل چرخه‌های تر و خشک شدن مکرر سبب کاهش میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها در خاک شده و یا اثر معنی‌داری بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها نداشته است. به‌عبارتی چرخه‌های تر و خشکی اعمال شده نه تنها سبب افزایش پایداری خاکدانه‌ها نشده (اثر معنی‌داری نداشته) بلکه ممکن است به دلیل گفته شده (شکسته شدن خاکدانه‌ها و پراکنش ذرات رس و سیلت)، پایداری خاکدانه‌ها (میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها) را کاهش داده است. اطمینان و همکاران (1390) گزارش کردند که بر خلاف سایر خاک‌ها که مواد آلی و رس در آنها، نقش اساسی در پایداری خاکدانه‌ها ایفا می‌کنند، در خاک‌هایی که مقدار سیلت زیاد دارند، کربنات کلسیم و آهن بیشترین نقش را در پایداری خاکدانه‌ها و ساختمان خاک ایفا می‌کنند.

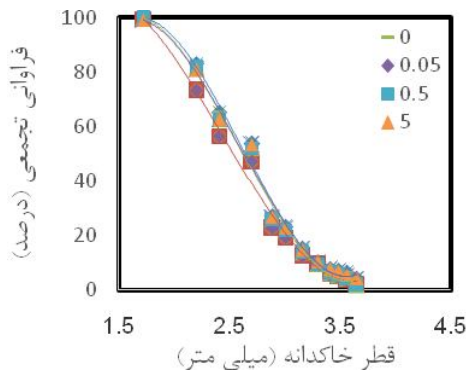
به‌عبارتی در خاک مورد مطالعه در این پژوهش نیز که مقدار نسبتاً زیادی سیلت (44 درصد) وجود دارد عامل سیمانی‌کننده کربنات کلسیم که به مقدار زیادی به میزان حدود 41 درصد در خاک وجود دارد (جدول 1) ممکن است به جای مواد آلی و رس‌ها نقش اصلی اتصال ذرات به یکدیگر را در خاک ایفا کند. کوزنتینو و همکاران (2006) در پژوهشی تاثیر چرخه‌های تر و خشک شدن و افزودن کاه و کلش را بر پایداری خاکدانه‌ها در یک خاک لوم سیلنتی بررسی کردند. آنان مشاهده کردند که چرخه‌های تر و خشک شدن خاک در خاک‌های بدون کاه و کلش، تاثیر معنی‌داری بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها نداشت، اما در خاک‌هایی که به آنها کاه و کلش اضافه شده بود، چرخه‌های تر و خشک شدن سبب کاهش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها شد. کوهلر و همکاران (2010) نشان دادند که خشکی سبب افزایش پایداری خاکدانه‌ها در ریزوسفر کاهو شد. نتایج فتح‌العلومی و اصغری (1393) نشان داد که استفاده از لجن فاضلاب و دوره‌های تر و خشک شدن متوالی به همراه کشت گندم، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها را افزایش داد که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت ندارد که دلایل احتمالی آن را می‌توان به تفاوت در ویژگی‌ها و اجزای تشکیل دهنده خاک‌های مورد مطالعه، تفاوت در تعداد و نحوه اعمال چرخه‌های تر و خشکی، تفاوت در نوع و ویژگی‌های ماده آلی به‌کار برده شده و همچنین تفاوت در شرایط آزمایش نسبت داد.

مقایسه منحنی‌های توزیع اندازه خاکدانه‌ها

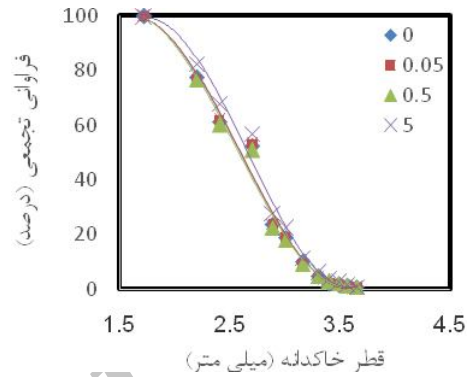
با توجه به اینکه توزیع اندازه خاکدانه‌ها بر بسیاری از رفتارهای خاک به‌ویژه ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی

تیمارهای WDC₁₂، فراوانی خاکدانه‌های با قطر 2-3 میلی‌متر کمترین مقدار بود (شکل 3د).

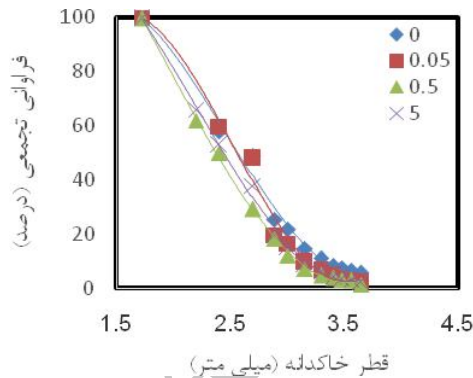
خاکدانه‌های با قطر 3-3/5 میلی‌متر مربوط به تیمارهای WDC₄ بود. به عبارتی این منحنی از سایر منحنی‌ها بالاتر قرار گرفت (شکل‌های 3ب و 3ج). در تیمارهای OA₅، که تحت تأثیر 1 چرخه تر و خشکی قرار گرفته بودند، بیشترین فراوانی مربوط به خاکدانه‌های با قطر 2-3 میلی‌متر و کمترین فراوانی مربوط به خاکدانه‌های با قطر 3-3/5 میلی‌متر بود. همچنین در منحنی مربوط به خاک



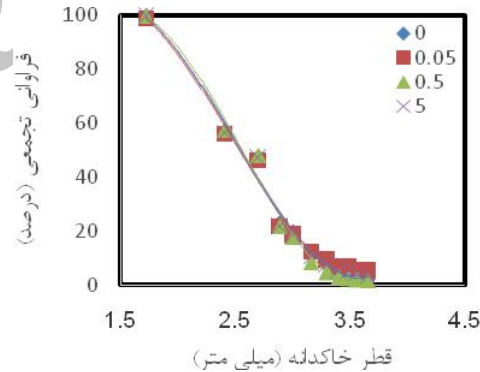
(ب)



(الف)

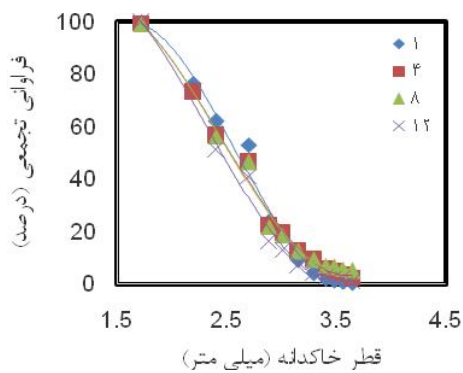


(د)

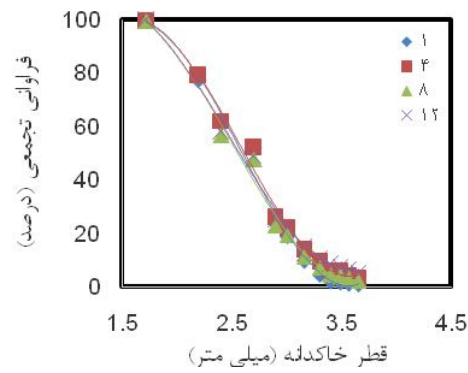


(ج)

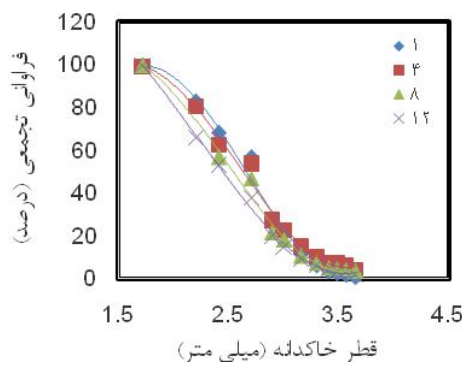
شکل 2- اثر کاربرد سطوح اسیدهای آلی (0، 0/05، 0/5 و 5 درصد) بر شکل منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها در خاک‌های تحت تأثیر یک (الف)، چهار (ب)، هشت (ج) و دوازده (د) چرخه تر و خشکی.



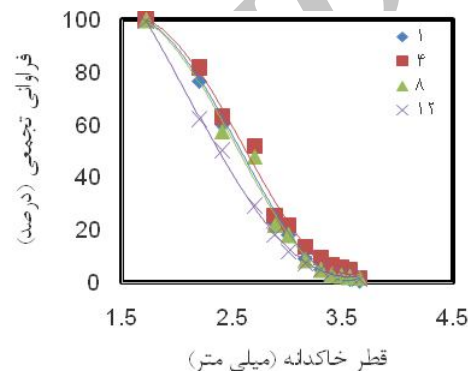
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل 3- اثر چرخه‌های تر و خشکی (1، 4، 8 و 12 چرخه با فواصل زمانی ده روز) بر شکل منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها در خاک‌های تیمار شده با صفر (الف)، 0/05 (ب)، 0/5 (ج) و 5 (د) درصد اسیدهای آلی.

ضرایب منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که چرخه‌های تر و خشک شدن در سطح 1 درصد بر ضرایب منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها مؤثر می‌باشد (جدول 3). همچنین اثرات متقابل چرخه‌های تر و خشک شدن و افزودن اسیدهای آلی در سطح 5 درصد بر شاخص‌های D_{10} ، D_{25} ، D_{30} و D_{60} منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها مؤثر بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها (جدول 5) نشان داد که افزایش تعداد چرخه‌های تر و خشک شدن سبب کاهش معنی‌دار D_{10} ، D_{25} ، D_{30} و D_{50} منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها شد. همچنین بیشترین مقدار D_{10} در خاک مربوط به تیمارهای OA_5 و WDC_{12} مشاهده شد. خاک تیمارهای WDC_{12} دارای کمترین مقدار D_{25} بودند که این مقدار با خاک تیمارهای WDC_8 تفاوت معنی‌داری نداشت اما در مقایسه با شاهد 16 درصد و در مقایسه با خاک تیمارهای WDC_4 ، 11 درصد کمتر بود. کمترین مقدار D_{30} نیز در

خاک تیمارهای $OA_{0.05}$ و WDC_8 مشاهده شد که در مقایسه با شاهد 19/5 درصد کمتر بود. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که کاربرد تیمار $OA_{0.05}$ سبب کاهش غیر معنی‌دار D_{50} در مقایسه با شاهد شد، در حالی که تیمار OA_5 سبب افزایش غیر معنی‌دار D_{50} شد. هرچند D_{50} در تیمار OA_5 به‌طور معنی‌داری به میزان 8/5 درصد بیشتر از تیمار $OA_{0.05}$ بود. نتایج مقایسه میانگین (جدول 5) نشان داد که بیشترین D_{60} در تیمار OA_5 و WDC_1 مشاهده شد که در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری به میزان 19 درصد بیشتر بود. همچنین نتایج مقایسه میانگین نشان داد که D_{75} در خاک‌های تیمار WDC_4 در مقایسه با شاهد افزایش یافت، هرچند این افزایش معنی‌دار نبود. اما با افزایش چرخه‌های تر و خشک شدن، D_{75} خاکدانه‌ها نیز کاهش یافت به‌طوری که در خاک تیمارهای WDC_8 و WDC_{12} ، D_{75} نسبت به خاک تیمار WDC_4 به‌ترتیب به‌میزان 12/5 و 12/7 درصد کاهش

یکنواختی (همگنی) و غیریکنواختی (غیرهمگنی) توزیع اندازه خاکدانه‌ها بوده و در نتیجه بر سایر ویژگی‌های خاکی مؤثر می‌باشند. بنابراین اثر تیمارهای آزمایشی بر شاخص‌های گفته شده که در واقع برآیندی از ضرایب مختلف مورد مطالعه (D_{10} ، D_{25} ، D_{30} ، D_{50} و D_{60}) می‌باشند بررسی شده و نتایج در ادامه ارائه خواهد شد. همان‌گونه که نتایج نشان می‌دهد (جدول 5) چرخه‌های تر و خشک شدن در اغلب موارد سبب کاهش معنی‌دار هر یک از ضرایب گفته شده به تنهایی در مقایسه با شرایط یک چرخه تر و خشکی شدند. بنابراین با در نظر گرفتن هر یک از ضرایب به تنهایی می‌توان گفت چرخه‌های تر و خشک شدن سبب کاهش اندازه خاکدانه‌ها شده‌اند و اسیدهای آلی اثر معنی‌داری بر این ضرایب و در نتیجه بر اندازه خاکدانه‌ها نداشتند.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که چرخه‌های تر و خشک شدن در سطح 1 درصد بر ضریب یکنواختی منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها مؤثر است (جدول 3). اما هیچ یک از اثرات اصلی و همچنین اثرات متقابل چرخه‌های تر و خشک شدن و اسیدهای آلی بر ضریب انحنای منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها معنی‌دار نبود. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که چرخه‌های تر و خشک شدن سبب افزایش ضریب یکنواختی منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها شد (جدول 6). ضریب یکنواختی خاک تیمارهای WDC_4 ، WDC_8 و WDC_{12} در مقایسه با شاهد (WDC_1) به ترتیب به میزان 12، 15 و 10 درصد بیشتر بود. بیشترین ضریب یکنواختی در خاک‌های تحت تأثیر تیمار WDC_{12} مشاهده شد که در مقایسه با شاهد به میزان 21 درصد بیشتر بود. به‌طور کلی نتایج نشان داد که اعمال چرخه‌های تر و خشکی سبب افزایش ضریب یکنواختی منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها و در نتیجه غیر یکنواخت‌تر و مطلوب‌تر شدن توزیع اندازه خاکدانه‌ها شد. همچنین در خاک‌های تیمار WDC_{12} افزودن اسیدهای آلی سبب کاهش ضریب یکنواختی منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها و در نتیجه افزایش یکنواختی توزیع اندازه خاکدانه‌ها شد. غیر یکنواخت‌تر (غیرهمگن) شدن خاکدانه‌های خاک سبب ایجاد خاکدانه‌ها و در نتیجه حفرات درون و برون خاکدانه‌ای با اندازه‌های مختلف در خاک خواهد شد که می‌تواند سبب تعدیل در فرایندهای جذب (نگهداشت) و انتقال آب و هوا در خاک شوند. به‌عبارتی حفرات ریز ایجاد شده می‌تواند در حفظ و نگهداشت آب در خاک و حفرات درشت ایجاد شده می‌تواند در نگهداشت هوا در خاک و تهویه خاک نقش داشته باشند. به‌طور کلی با در نظر گرفتن اثر تیمارهای آزمایشی بر ضریب یکنواختی

یافت، اما در مقایسه با شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت. بیشترین مقدار D_{75} در تیمار OA_5 و WDC_4 مشاهده شد که نسبت به شاهد 17 درصد بیشتر بود. به‌طور کلی اسیدهای آلی بیشترین اثر را بر شاخص D_{50} خاکدانه‌ها داشتند. همچنین چرخه‌های تر و خشک شدن بیشترین تأثیر را بر شاخص D_{10} منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها داشتند. بر اساس نتایج محمودآبادی و احمدبیگی (1390) مقدار ماده آلی اضافه شده به خاک، تأثیر معنی‌داری بر خاکدانه‌سازی و توزیع اندازه خاکدانه‌ها داشت. به‌طوری که با افزایش مقدار ماده آلی خاک، درصد ذرات بزرگتر از $0/25$ میلی‌متر نیز افزایش یافت. آنان مشاهده کردند که ذرت به دلیل کاشت ردیفی کمترین و یونجه به دلیل تراکم زیاد و همچنین گندم به دلیل دارا بودن سیستم ریشه‌ای افشان سبب ایجاد بیشترین درصد خاکدانه‌های $0/25$ میلی‌متری شدند. به‌طور کلی ضریب D_{10} اندازه خاکدانه‌ها نشان‌دهنده قطری از خاکدانه‌هاست که 10 درصد خاکدانه‌ها از آن قطر کوچکترند. به‌عبارتی این ضریب را می‌توان به‌عنوان نماینده قطر خاکدانه‌های کوچک موجود در خاک در نظر گرفت که هرچه مقدار آن بیشتر باشد نشان‌دهنده این است که خاکدانه‌های موجود در خاک درشت‌تر و پایدارتر هستند.

D_{25} نیز نشان‌دهنده قطری از خاکدانه‌هاست که یک چهارم خاکدانه‌ها از آن کوچکتر هستند به‌عبارتی این ضریب می‌تواند نماینده قطر چارک اول خاکدانه‌های موجود در خاک باشد. D_{30} نیز نشان‌دهنده قطریست که 30 درصد خاکدانه‌ها از آن کوچکتر هستند و D_{50} نیز نشان‌دهنده قطری از خاکدانه‌هاست که نیمی از خاکدانه‌ها از آن کوچکتر و نیمی از آن بزرگتر هستند. به‌عبارتی این ضریب اندازه میانه خاکدانه‌ها را نشان می‌دهد. D_{60} و D_{75} نیز به ترتیب نشان‌دهنده قطرهایی از خاکدانه‌ها می‌باشند که 60 و 75 درصد خاکدانه‌ها از آنها کوچکترند. به‌عبارتی D_{75} نماینده قطر چارک سوم خاکدانه‌های خاک است. به‌طور کلی هر یک از ضرایب گفته شده یا به‌صورت منفرد برای مقایسه اندازه و پایداری خاکدانه‌ها و در نتیجه پایداری ساختمان خاک‌های مختلف استفاده می‌شوند. به این ترتیب که در مقایسه خاک‌های مختلف هرچه میزان این ضرایب و به‌ویژه ضرایب با اندیس زیاد (D_{60} و D_{75}) در خاکی بیشتر باشند نشان‌دهنده وجود خاکدانه‌های درشت‌تر و پایدارتر و در نتیجه ساختمان مناسب‌تر در خاک می‌باشد و برعکس. یا اینکه از ترکیب برخی ضرایب گفته شده در محاسبه شاخص‌های دیگری مانند ضریب یکنواختی و ضریب انحنای منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها دخالت دارند که این شاخص‌ها نشان‌دهنده

اندازه بزرگتر در خاک شده‌اند که تا حدودی با نتایج پژوهش‌های گفته شده مطابقت دارد.

امرسون (1977) گزارش کرد که مواد آلی با تشکیل پیوند میان واحدهای رس و همچنین میان رس و کوارتز و استحکام بخشیدن به این پیوندها سبب تثبیت خاکدانه‌ها می‌شود. همچنین اودس (1984) گزارش کرد که پلی-ساکارید موجود در مواد آلی پایداری خاکدانه‌های درشت را بهبود می‌بخشد. کاهش برخی ویژگی‌های پایداری خاکدانه‌ها در اثر کاربرد اسیدهای آلی به وسیله باگوو و بازوفی (1988) نیز گزارش شده است. تفاوت نتایج بدست آمده در این پژوهش‌ها و همچنین پژوهش حاضر ممکن است به زمان وابسته باشد. به این معنی که در طول زمان مواد آلی و فعالیت ریزجانداران سبب استحکام بیشتر خاکدانه‌ها شود که عملاً در پژوهش حاضر کمتر وجود دارد. کاتیون‌های دو یا سه ظرفیتی ذرات رس را به هم پیوند داده و سبب تشکیل دومین‌های² رسی می‌شوند. اسیدهای آلی هیومیک و فولویک با نفوذ در دومین‌ها می‌توانند سبب تضعیف پیوند بین ذرات رس شده و در نتیجه پایداری خاکدانه‌ها را کاهش دهند. در حالی که نعمتی و همکاران (1391) گزارش کردند که مواد آلی اضافه شده به خاک از طریق تأثیر مثبت بر جامعه میکروبی، می‌توانند سبب افزایش پایداری خاکدانه‌ها شود. اما دنف و همکاران (2001) کاهش مقدار خاکدانه‌های پایدار در آب را در یک خاک لوم‌سیلتی در اثر چرخه‌های تر و خشکی گزارش کردند. باگوو و بازوفی (1988) گزارش کردند که تأثیر چرخه‌های تر و خشکی در خاک-های با کلاس بافت مختلف، متفاوت است. همچنین خاکدانه‌سازی مجدد در طی چندین چرخه تر و خشکی نیز گزارش شده است (هریس و همکاران، 1966). براوو گارزا و همکاران (2009) نیز گزارش کردند که تر و خشک شدن سبب افزایش تشکیل خاکدانه‌های بزرگ و بهبود پایداری آنها در خاک می‌شود. همچنین گزارش شده است که ساختمان خاک تحت تأثیر محتوای آب خاک و تغییرات آن در طول زمان قرار داشته و کاهش محتوای آب خاک نقاط اتصال بین ذرات اولیه و مواد آلی را افزایش داده و سبب افزایش هم‌چسبی ذرات خاک و افزایش مقاومت آنها می‌شود (ریلینگ و مامی، 2006). کوهرلر و همکاران (2009) بیان کردند تنش خشکی سبب افزایش پایداری خاکدانه‌ها در ریزوسفر خاک‌های تحت کشت کاهو شد. دنف و همکاران (2002) نیز گزارش کردند که خشک شدن خاک سبب افزایش تماس بین

منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها، می‌توان گفت چرخه‌های تر و خشکی نقش تعدیل‌کننده بر فرایندهای نگهداشت و انتقال آب و هوا در خاک داشته و از این نظر اثرات مفید و مناسبی بر خاک دارند. درحالی که بر اساس نتایج این پژوهش و با در نظر گرفتن اثر اسیدهای آلی بر ضریب یکنواختی منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها، در مقایسه با چرخه‌های تر و خشک شدن، اسیدهای آلی اثر معکوس داشته و سبب کاهش ضریب یکنواختی و شباهت بیشتر D_{10} و D_{60} منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها و در نتیجه یکنواخت‌تر و همگن‌تر شدن خاکدانه‌های خاک شده است که معمولاً از نظر فعالیت‌های کشاورزی مطلوب نیست.

نتایج نشان داد که کاربرد تیمار $OA_{0.05}$ سبب کاهش 6 درصدی ضریب انحنای منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها شد درحالی که کاهش حاصل از کاربرد سایر سطوح اسیدهای آلی سبب معنی‌دار نبود (جدول 6). همچنین نتایج نشان داد که تنها تفاوت‌های معنی‌دار بین تیمارهای $OA_{0.05}$ و WDC_4 با شاهد، و همچنین بین تیمار $OA_{0.05}$ و WDC_{12} با شاهد مشاهده شد و سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری با یکدیگر و یا با شاهد نداشتند.

گزارش شده است که چرخه‌های تر و خشک شدن یکی از عوامل مهم برای تشکیل خاکدانه‌ها در مناطق خشک، نیمه خشک و نیمه مرطوب می‌باشند (لال، 1991). دنف و همکاران (2001) گزارش کردند که چرخه‌های تر و خشک شدن بر مواد آلی درون خاکدانه‌ها تأثیر می‌گذارد. کوزنتینو و همکاران (2006) گزارش کردند که مرطوب شدن آهسته خاک سبب از بین رفتن خاکدانه‌های اولیه 3-5 میلی‌متری و تبدیل شدن آنها به خاکدانه‌های کوچک‌تر شده و مرطوب شدن سریع خاک مخرب‌تر از مرطوب شدن آهسته بود. آنان همچنین گزارش کردند افزودن کاه و کلش سبب پایداری بیشتر خاکدانه‌ها در شرایط مرطوب شدن آهسته شد. نتایج سایر پژوهش‌ها (کیم و کندلر، 1997؛ دی‌گریز و همکاران، 2005) نیز نشان داد که افزودن مواد آلی تأثیر مثبتی بر تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها داشته و دلیل آن را فعالیت تجزیه‌کنندگان میکروبی عنوان کرده‌اند. در پژوهش حاضر نیز چرخه‌های تر و خشکی سبب افزایش معنی‌دار ضریب یکنواختی منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها که می‌تواند معیاری از پایداری خاکدانه‌ها باشد شده است. به عبارتی چرخه‌های تر و خشکی سبب افزایش بیشتر صورت کسر ضریب یکنواختی (D_{60}) نسبت به مخرج کسر ضریب یکنواختی (D_{10}) و در نتیجه افزایش نسبت خاکدانه‌های با

¹ Domain

نیز با نتایج ذکر شده مطابقت نداشت که احتمالاً می‌تواند به دلیل تفاوت در تعداد و نحوه اعمال چرخه‌های تر و خشکی، تفاوت در ویژگی‌ها و اجزای تشکیل دهنده خاک‌های مورد مطالعه و همچنین تفاوت در شرایط آزمایش باشد.

ذرات خاک و در نتیجه پایداری بیشتر خاکدانه‌ها می‌شود. در پژوهش حاضر نیز چرخه‌های تر و خشکی به‌ویژه تعداد چهار چرخه تر و خشکی سبب افزایش معنی‌دار ضریب یکنواختی منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها و برخی ویژگی‌های پایداری خاکدانه‌ها شد که با نتایج برخی از پژوهشگران ذکر شده مطابقت داشت و در برخی موارد

جدول 5- اثر اسیدهای آلی و چرخه‌های تر و خشک شدن بر برخی شاخص‌های منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها

میانگین	چرخه‌های تر و خشک شدن (به فواصل زمانی 10 روز)				اسیدهای آلی (%)
	12	8	4	1	
	D₁₀ (mm)				
0/091 A	0/081 fg	0/083 efg	0/100 b-e	0/101* bcd	0
0/092 A	0/096 b-f	0/078 g	0/085d-g	0/108 ab	0/05
0/094 A	0/086 d-g	0/090 c-g	0/105 bc	0/098 b-f	0/5
0/097 A	0/082 fg	0/081 fg	0/100 b-e	0/120 a	5
	0/086 C	0/083 C	0/090 B	0/100 A	میانگین
	D₂₅ (mm)				
0/165 A	0/150 df	0/154 b-f	0/175 b-e	0/180bc	0
0/158 A	0/160 b-f	0/141 f	0/145 ef	0/179 bcd	0/05
0/166 A	0/147 def	0/160 b-f	0/185 ab	0/160 b-f	0/5
0/173 A	0/140 f	0/152 c-f	0/184 ab	0/210 a	5
	0/151B	0/153 B	0/170 A	0/180 A	میانگین
	D₃₀ (mm)				
0/19 A	0/18 cd	0/18 cd	0/21 bc	0/21 bc	0
0/18 A	0/19 bcd	0/17 d	0/17 d	0/21 bc	0/05
0/19 A	0/17 d	0/19 bcd	0/20 ab	0/20 bcd	0/5
0/20 A	0/17 d	0/17 d	0/217 b	0/25 a	5
	0/18 B	0/17 B	0/20 A	0/22 A	میانگین
	D₅₀ (mm)				
0/37 AB	0/36 b-f	0/34 def	0/41 abc	0/39 b-e	0
0/35 B	0/34 def	0/34 f	0/34 def	0/40bcd	0/05
0/37 AB	0/34 def	0/35 c-f	0/41 abc	0/38 b-f	0/5
0/38 A	0/33 ef	0/33 ef	0/42 ab	0/46 a	5
	0/34 B	0/34 B	0/39A	0/41 A	میانگین
	D₆₀ (mm)				
0/52 □A	0/51c-f	0/49 def	0/56 a-d	0/52 b-e	0
0/49 □A	0/50 c-f	0/47 ef	0/48 def	0/53 b-e	0/05
0/51 □A	0/47 ef	0/49 def	0/58 abc	0/50 c-f	0/5
0/53A	0/44 f	0/47 ef	0/59 ab	0/62 a	5
	0/48 B	0/48 □B	0/55 □A	0/54 □A	میانگین
	D₇₅ (mm)				
0/90 □A	0/96 abc	0/81 d	0/97 abc	0/85 bcd	0
0/85 □A	0/79 d	0/87 a-d	0/86 a-d	0/86 a-d	0/05
0/84 □A	0/77 d	0/80 d	0/96 abc	0/83 cd	0/5
0/90 □A	0/78 d	0/83 cd	1/00 a	0/99 ab	5
	0/83 □B	0/83 B	0/95 □A	0/88 □AB	میانگین

* میانگین‌هایی که در هر ردیف یا ستون در یک حرف بزرگ و اعدادی که در بدنه جدول در یک حرف کوچک مشترک هستند،

از لحاظ آماری با آزمون LSD در سطح 5 درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

جدول 6- تأثیر اسیدهای آلی و چرخه‌های تر و خشک شدن بر ضرایب یکنواختی

میانگین	و انحنای منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها				اسیدهای آلی (%)
	چرخه‌های تر و خشک شدن (به فواصل زمانی 10 روز)				
	12	8	4	1	
5/77 A	6/30 a	5/93 abc	5/63 a-e	5/20* cde	0
5/48 A	5/26 b-e	6/02 ab	5/68 a-e	4/95 e	0/05
5/44 A	5/46 b-e	5/55 a-e	5/58 a-e	5/16 de	0/5
5/57 A	5/45 b-e	5/90 a-d	5/98 ab	4/97 e	5
	5/62 A	5/85 A	5/72 A	5/07 B	میانگین
ضریب انحنای منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها					
0/812 A	0/798 ab	0/795 ab	0/802 ab	0/851 a	0
0/763 B	0/771 ab	0/772 ab	0/726 b	0/783 ab	0/05
0/794 AB	0/754 b	0/801 ab	0/814 ab	0/807 ab	0/5
0/795 AB	0/803 ab	0/776 ab	0/789 ab	0/813 ab	5
	0/782 A	0/786 A	0/783 A	0/814 A	میانگین

* میانگین‌هایی که در هر ردیف یا ستون در یک حرف بزرگ و اعدادی که در بدنه جدول در یک حرف

کوچک مشترک هستند، از لحاظ آماری با آزمون LSD در سطح 5 درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

طور کلی با توجه به اینکه کاربرد مواد و اسیدهای آلی می‌تواند در مناطقی که خاک در معرض تر و خشک شدن متوالی است برای استحکام بیشتر خاک و جلوگیری از عوامل مخرب ساختمان خاک استفاده شوند بنابراین توصیه می‌شود اثر سایر مواد و اسیدهای آلی بر پایداری و توزیع اندازه خاکدانه خاک‌های مختلف و در شرایط متفاوت بررسی شود تا بتوان ترکیبات آلی مناسب و مناسب‌ترین سطح مورد نیاز از آنها را در هر شرایط خاکی برای بهبود ساختمان خاک و پایداری خاکدانه‌ها و در نتیجه جلوگیری از ایجاد فرسایش‌های آبی و بادی و پیامدهای منفی ناشی از آنها از جمله هدررفت خاک، کاهش حاصلخیزی و باروری خاک، ایجاد ریزگردها، آلودگی هوا، آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی، پر شدن مخازن سدها و کانال‌های آبیاری و زهکشی و ... توصیه نمود.

نتیجه‌گیری کلی

چرخه‌های تر و خشکی سبب تغییر معنی‌دار برخی شاخص‌های توزیع اندازه خاکدانه‌ها شد. درحالی‌که مواد آلی مورد استفاده اثر مثبت معنی‌دار قابل ملاحظه‌ای بر پایداری خاکدانه‌ها نداشت. به‌طور کلی چرخه‌های تر و خشکی در اغلب موارد سبب کاهش معنی‌دار ضرایب منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها (D_{10} , D_{25} , D_{30} , D_{50} و D_{60}) و در نتیجه کاهش اندازه خاکدانه‌ها و افزایش غیریکنواختی (غیرهمگنی) توزیع اندازه خاکدانه‌ها (افزایش معنی‌دار ضریب یکنواختی منحنی توزیع اندازه خاکدانه‌ها) شد. اسیدهای آلی اثر معنی‌داری بر توزیع اندازه خاکدانه‌ها و یا یکنواختی و غیریکنواختی توزیع اندازه خاکدانه‌ها نداشت. احتمالاً اسیدهای آلی مورد استفاده توانایی هم‌اورکنندگی زیادی نداشته‌اند اما این اسیدهای آلی توانستند تا حدودی از تاثیر منفی چرخه‌های متوالی تر و خشک شدن بر اندازه خاکدانه‌ها بکاهند. به

فهرست منابع:

1. اطمینان، س.، ف. کیانی، ف. خرمالی و ه. حبشی. 1390. نقش خصوصیات خاک و مواد مادری متفاوت بر پایداری خاکدانه در حوضه شصت کلاته استان گلستان. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار، جلد 1، شماره 2، صفحات 39 تا 60.
2. امجدیان، م. 1393. اثر بقایای پسته و تنش شوری بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی سه خاک مختلف و رشد گندم در این خاک‌ها. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

3. فتح‌العلومی، س. و ش. اصغری. 1393. اثرات لجن فاضلاب شهری اردبیل بر برخی خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی یک خاک درشت بافت زیر کشت گندم. نشریه دانش آب و خاک، جلد 24، شماره 4، صفحات 169 تا 183.
4. محمودآبادی، م. و ب. احمد بیگی. 1390. تأثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بر پایداری خاکدانه در چند نوع سیستم کشت. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار، جلد 1، شماره 2، صفحات 61 تا 79.
5. نعمتی، ف.، ف. ریسی و ع. ر. حسن پور. 1391. پایداری خاکدانه‌ها در تیمارهای مختلف شوری و مواد آلی خاک در حضور کرم خاکی آنسیک (*Lumbricus terrestris* L.) در شرایط گلخانه. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد 9، شماره 1، صفحات 41 تا 60.
6. Aldaood, A., M. Bouasker and M. Al-Mukhtar. 2014. Impact of wetting–drying cycles on the microstructure and mechanical properties of lime-stabilized gypseous soils. *Engin. Geolog.* 174:11-21.
7. Bravo-Garza M. R., B. R. Bryan and P. Voroney. 2009. Influence of wetting and drying cycles and maize residue addition on the formation of water stable aggregates in Vertisols. *Geoderma*, 151:150-156.
8. Bronick, C. J. and R. Lal. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124:3-22.
9. Chepil, W. S. 1962. A compact rotary sieve and the importance of dry sieving in physical soil analysis. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 26:4-6.
10. Cosentino, D., C. Chenub and Y. L. Bissonais. 2006. Aggregate stability and microbial community dynamics under drying–wetting cycles in a silt loam soil. *Soil Biol. Biochem.* 38:2053-2062.
11. De Gryze, S., J. Six, C. Brits and R. Merckx. 2005. A quantification of short-term macro aggregate dynamics: influences of wheat residue input and texture. *Soil Biol. Biochem.* 37:55-66.
12. Denef, K., J. Six, H. Bossuyt, S. D. Frey, E.T. Elliot, R. Merckx and K. Paustian. 2001. Influence of dry-wet cycles on the interrelationship between aggregate, particulate organic matter, and microbial community dynamics. *Soil Biol. Biochem.* 33:1599-1611.
13. Denef, K., J. Six, R. Merckx and K. Paustian. 2002. Short-term effects of biological and physical forces on aggregate formation in soils with different clay mineralogy. *Plant Soil.* 246:185-200.
14. Dexter, A. R. 1991. Amelioration of soil by natural processes. *Soil Till. Res.* 20:87-100.
15. Emerson, W. W. 1977. Physical properties and structure. pp. 78-104. In: J. S. Russlle and E. L. Greasen (Eds.). *Soil factors in crop production in a semi-arid environment.* University of Queensland Press, Queensland, Australia.
16. Fortun, A., J. Benayas and C. Fortun. 1990. The effects of fulvic and humic acids on soil aggregation: a micromorphological study. *J. Soil Sci.* 41:563-572.
17. Foster, R. C. 1981. Polysaccharides in soil fabric. *Sci.* 241: 665-667.
18. Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1986. Particle size analysis. pp. 383-411. In: A. Klute, (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 1, Physical and Mineralogical Methods.* 2nd Ed., ASA, Madison, WI, USA.
19. Hariss, R.F., G. Chesters and O. N. Allen. 1966. Dynamics of soil aggregation. In: Norman, A. G. (Ed.), *Adv. Agron.* 18:107-169.
20. Helmke, P. and D. L. Sparks. 1996. Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. pp. 551-574. In: D. L. Sparks et al. (Eds), *Method of Soil Analysis. Part 3.* 3rd Ed., ASA and SSSA, Madison WI, USA.
21. Kiem, R. and E. Kandeler. 1997. Stabilization of aggregates by the microbial biomass as affected by soil texture and type. *Appl. Soil Ecol.* 5: 221-230.
22. Kohler, J., F. Caravaca and A. Roldán. 2009. Effect of drought on the stability of rhizosphere soil aggregates of *Lactuca sativa* grown in a degraded soil inoculated with PGPR and AM fungi. *Appl. Soil Ecol.* 42:160-165.

23. Kohler, J., F. Caravaca and A. Rolan. 2010. An AM fungus and a PGPR intensify the adverse effects of salinity on the stability of rhizosphere soil aggregates of *Lactuca sativa*. *Soil Biol. Biochem.* 42:429-434.
24. Lal, R. 1991. Soil structure and sustainability. *J. Sustain. Agric.* 1: 67- 92.
25. Loeppert, R. H. and D. L. Suarez. 1996. Carbonate and gypsum. pp. 437-474. In: D. L. Sparks et al. (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 3, 3rd Ed. Chemical and Microbiological Properties.* ASA and SSSA Inc., Madison, WI, USA.
26. Ma, R., C. Cai, Z. Li, J. Wang, T. Xiao, G. Peng and W. Yang. 2015. Evaluation of soil aggregate microstructure and stability under wetting and drying cycles in two Ultisols using synchrotron-based X-ray micro-computed tomography. *Soil Till. Res.* 149:1-11.
27. Mbagwu Nsukka, J. S. C. and P. Bazzotti Firenze. 1988. Stability of micro aggregates as influenced by antecedent moisture content, organic waste amendment and wetting and drying cycles. *Catena.* 15:565-576.
28. Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. pp. 961-1010. In: A. L. Page et al. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2, 2nd Ed.,* ASA Inc, Madison, WI, USA.
29. Oades, J. M. 1984. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant Soil.* 76:319-337.
30. Piccolo, A., G. Pietramellara and J. S. C. Mbagwu. 1997. Use of humic substances as soil conditioners to increase aggregate stability. *Geoderma,* 75:267-277.
31. Rajaram, G. and D. C. Erbach. 1999. Effect of wetting -drying on soil physical properties. *J. Terra Mech.* 36:39-49.
32. Rhoades, J. D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. pp. 417-436. In: D. L. Sparks et al. (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 3. 3rd Ed.* ASA Inc, Madison, WI, USA.
33. Richards, L. A. 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils.* U. S. Department of Agriculture Hand book, Vol. 60, Washington D. C., USA, 160 P.
34. Rillig, M. C. and D. L. Mummey. 2006. Tansley review mycorrhizas and soil structure. *New Phytol.* 171: 41-53.
35. Sebahattin, A. and C. Necdet. 2005. Effect of different levels and application times of humic acid on root and leaf yield and yield components of forage turnip (*Brassica rapa* L.). *Agron. J.* 4:130-133.
36. Sharma, M. L. and J. Tunny. 1978. Interaction of gypsum with humofina and krilium on the structural stability and water flow properties of soils. pp. 181-190. In: W. W. Emerson, R. D. Bond and A. R. Dexter (Eds.), *Modification of Soil Structure.* John Wiley and Sons, NY, USA.
37. Singer, M. J., R. J. Southard, D. J. Warrington and P. Janitzky. 1992. Stability of synthetic sand clay aggregates after wetting and drying cycles. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:1843-1848.
38. Summer, M. E. and W. P. Miller. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficient. pp: 1205-1230. In: D. L. Sparks (Ed.), *Methods of Soil Analysis, SSSA Book Series 5,* Madison, WI, USA.
39. Thomas, G. W. 1996. Soil pH and soil acidity. pp. 475-490. In: D. L. Sparks et al. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 3. 3rd Ed.* ASA Inc, Madison, WI, USA.
40. Tisdall, J. M. and J. M. Oades. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33:141-163.
41. Utomo, W. H. and A. R. Dexter. 1982. Changes in soil aggregate water stability induced by wetting and drying cycles in non-saturated soil. *J. Soil Sci.* 33:623-637.
42. Wang, J. G., Z. X. Li, C. F. Cai, W. Yang, R. M. Ma and G. B. Zhang. 2013. Effects of stability, transport distance and two hydraulic parameters on aggregate abrasion of Ultisols in overland flow. *Soil Till. Res.* 126:134-142.

Influence of Organic Acids and Wetting-Drying Cycles on the Aggregate Stability and Size Distribution in a Calcareous Soil

A. Khosravi, and A. A. Moosavi¹

Former M.Sc. student, Department of Soil Science, College of Agriculture, Shiraz University;
E-mail: khosravi.a-1991@gmail.com

Associate Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Shiraz University;
E-mail: aamousavi@gmail.com

Received: September, 2016 & Accepted: February, 2017

Abstract

Soil structure and aggregate stability are physical characteristics that directly and/or indirectly affect the other soil properties and growth of plants. These soil attributes are influenced by factors such as the type and amount of organic matter and soil water conditions. The effects of 0, 0.05%, 0.5%, and 5% organic acid and 1, 4, 8, and 12 wetting-drying (W-D) cycles of 10 days on the soil aggregate stability and size distribution were evaluated in a factorial experiment arranged in a completely randomized design with three replications. Mean weight diameters (MWD) of aggregates increased significantly (by 22%) as compared to the control when 4 cycles of W-D were applied, whereas geometric mean diameter (GMD) of aggregates was decreased by 27% and 23%, respectively, when 8 and 12 cycles of W-D were applied. Application of 4, 8, and 12 W-D cycles resulted in a significant decrease in D_{10} , and application of 8 and 12 W-D cycles decreased D_{25} , D_{30} , D_{50} , D_{60} , and D_{75} , significantly. The uniformity coefficient of the aggregate size distribution curve increased by 13%, 15%, and 11% when, respectively, 4, 8, and 12 W-D cycles were applied. Also, the curvature coefficient of the aggregate size distribution curve decreased by 6% in response to application of 0.05% organic acids. In general, W-D cycles decreased some indices of aggregate size distribution, while organic acids had no significant effect on aggregate stability. Organic acids could mitigate the adverse effects of W-D cycles. Therefore, their application in the regions with W-D cycles is recommended to reduce the adverse effects of wetting-drying process on the soil structure and aggregate stability, and the negative results of the consequent water and wind erosions.

Keywords: Coefficient of curvature, Coefficient of uniformity, Fulvic acid, Geometric mean diameter, Humic acid, Mean weight diameter

¹ Corresponding author: Department of Soil Science, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz.