اثر مدیریت زراعی و بافت بر برخی ویژگی‌های ساختمانی خاک

آزاده صفادوست[1]*

عضو هیأت علمی گروه خاک شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا؛ safadoust@basu.ac.ir

چکیده

عملیات کشت با بهم زدن ویژگی‌های فیزیکی ساختمان خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند. هدف از این پژوهش بررسی اثر همزمان بافت (لوم‌رسی، CL، و لوم‌شنی، SL) و نوع کشت (یونجه، A، و گندم، W) بر پایداری ساختمان خاک می‌باشد. دو شاخص پایداری ساختمان خاک شامل میانگین وزنی قطر (MWD) و مقاومت کششی (Y) خاکدانه‌ها در دو شرایط رطوبتی هوا-خشک و رطوبت در مکش ماتریک 500 کیلوپاسکال، در سه عمق (10-0، 20-10 و 30-20 سانتی‌متر) مطالعه گردید. در هر دو شرایط رطوبتی، بافت خاک و نوع کشت MWD و Y را به صورت لوم‌رسی-یونجه> لوم‌رسی-گندم> لوم‌شنی-یونجه>لوم‌شنی-گندم تحت تأثیر قرار دادند. با افزایش عمق و در نتیجه افزایش رس و کاهش ماده آلی خاک، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها کاهش ولی مقاومت کششی خاکدانه‌ها افزایش یافت. در واقع به علت کاهش مواد آلی با عمق، مقدار MWD کاهش یافت، در حالیکه به علت کاهش شدت فرآیندهای تر و خشک شدن در عمق خاک، مقدار Y با عمق خاک افزایش یافت. در بین ویژگی‌های مؤثر بر پایداری ساختمان خاک، بیشترین نقش مربوط به ماده آلی بود و پس از آن رس و کربنات کلسیم قرار داشتند. بالاترین ضریب تبیین (R^2) برای رابطه Y و ویژگی‌های ذاتی خاک در رطوبت هوا-خشک بدست آمد، در حالیکه برای MWD در رطوبت با مکش ماتریک 500 کیلوپاسکال حاصل شد. نتایج حاصله نشان‌داد که شاخص‌های مورد بررسی برای بررسی اثر ویژگی‌های ذاتی خاک و مدیریت های زارعی بر پایداری ساختمان خاک، مناسب می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: کربنات کلسیم، ماده آلی، میانگین وزنی قطر، ویژگی‌های ذاتی

مقدمه

چگونگی قرار گرفتن ذرات جامد خاک در کنار یکدیگر و در نتیجه آرایش منافذ بین آنها ساختمان خاک را تشکیل می‌دهد (دکستر، 1988). در واقع ساختمان خاک بازگوکننده اندازه، شکل و قرار گرفتن ذرات و منافذ بین آنها است (لال، 1991)؛ یا به عبارتی پیوستگی منافذ و توانایی خاک برای نگهداری و انتقال آب، حفظ مواد آلی و غیر آلی و فراهم کردن شرایط رشد و توسعه رشد، کاملاً به ساختمان خاک وابسته است (برونیک و لال، 2005). از ترکیبات موجود در خاک که در تشکیل ساختمان خاک مؤثرند، می‌توان به رس، ماده آلی و کربنات‌ها اشاره کرد. نتایج آزمایش‌های برزگر و همکاران (1995) نشان داد که هر چه درصد رس‌ها انبساط‌پذیر در خاک بیشتر باشد، خاکدانه‌سازی افزایش می‌یابد. تیسدال و اودز (1982) نیز نشان دادند که مواد آلی باعث افزایش خاکدانه‌سازی می‌شوند. آنها معتقدند که مواد آلی از مهم‌ترین عوامل به‌هم پیوستن خاکدانه‌ها و تشکیل ساختمان خاک‌اند. آلپرویچ و همکاران (1981) با مطالعه چندین خاک دریافتند که خاک‌هایی که مقدار کربنات کلسیم بالاتری دارند، از مقاومت بالاتری در مقایسه با خاک‌هایی که کربنات کلسیم کمتری دارند، برخوردارند.

برنیک و لال (2005) معتقدند که یک ساختمان خاک مطلوب موجب افزایش حاصلخیزی خاک، کاهش فرسایش‌پذیری خاک و بالا بردن مقدار تولید محصولات

[1] نویسنده مسئول، آدرس: همدان، دانشگاه بوعلی‌سینا، دانشکده کشاورزی، گروه خاک‌شناسی، کدپستی 6517833131

* دریافت: 91/8/21 و پذیرش: 91/12/9

زراعی می‌گردد. به طوریکه با تأثیر بر توزیع اندازه منافذ خاک و در نتیجه مقدار آب خاک، حرکت آب در خاک، تهویه و گرمای خاک رشد ریشه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین خاکدانه‌های یک خاک علاوه بر اینکه باید متخلخل باشند، باید در برابر خیس شدن (آبیاری و بارندگی) و نیروهای مکانیکی ناشی از ماشین‌های کشاورزی به اندازه کافی مقاوم باشند. امرسون (1991) معتقد است که مشخصه‌های ذکر شده می‌توانند بیان کننده ساختمان خاک باشند.

از آنجا که ساختمان خاک یکی از ویژگی‌های پویای خاک می‌باشد، به مدیریت زراعی نیز بستگی دارد. بدین معنی که آن دسته از مدیریت‌هایی که سبب افزایش ماده آلی خاک شوند، معمولاً به بهبود ساختمان خاک نیز کمک می‌کنند و برعکس. مهمترین عواملی که در مدیریت زراعی باعث بهبود ساختمان خاک می‌گردند، عبارتند از نوع عملیات خاک‌ورزی، نوع کشت و تناوب آن و افزودن بقایا و کودهای آلی به خاک.

روش‌ها و شاخص‌های متعددی برای ارزیابی ساختمان خاک بر اساس شرایط مختلف خاک‌ها و برای اهداف متفاوت پیشنهاد شده است. یکی از روش‌های رایج برای ارزیابی ساختمان خاک، بررسی توزیع اندازه خاکدانه‌ها با استفاده از روش الک تر می‌باشد. این روش سبب تفکیک خاکدانه‌های پایدار در آب با اندازه‌های مختلف می‌شود. به طوریکه هر چه تعداد خاکدانه‌های درشت باقی‌مانده (پایدار) بر روی الک بیشتر باشد، خاک مورد بررسی از پایداری بالاتری برخوردار است.

روش دیگر برای ارزیابی پایداری ساختمان خاک، اندازه‌گیری مقاومت کششی خاکدانه‌ها است. مقاومت کششی بیانگر تنش بیشینه‌ای است که خاک یا خاکدانه در برابر نیروهای واگرا قبل از گسیختگی تحمل می‌کند. دکستر و کروسبرگن (1985) گزارش کردند که مقاومت کششی مفیدترین شاخص پایداری مکانیکی خاکدانه‌ها است. زیرا با روش‌های ساده‌ای قابل تعیین می‌باشد، در دامنه وسیعی از اندازه خاکدانه‌ها قابل اندازه‌گیری است و شاخص بسیار حساسی از شرایط خاک محسوب می‌شود. کاسارانو (1993) دریافت که مقاومت کششی خاکدانه تحت تأثیر اندازه خاکدانه، مقدار رطوبت و نوع خاک قرار می‌گیرد.

هدف از این مطالعه بررسی اثر دو نوع کشت و دو بافت خاک بر میانگین وزنی قطر و مقاومت کششی خاکدانه، در دو شرایط رطوبتی هوا-خشک و رطوبت در مکش ماتریک 500 کیلوپاسکال بوده است.

مواد و روش‌ها

نمونه‌های خاک از سه عمق 10-0، 20-10 و 30-20 سانتی‌متری دو خاک یکی با بافت لوم رسی و دیگری با بافت لوم شنی برداشته شدند که هر کدام به مدت یازده سال زیر کشت یک گیاه یک ساله (گندم) و یک گیاه چندساله (یونجه) قرار داشتند. نمونه‌برداری به گونه‌ای انجام شد که کمترین تغییر شکل و تخریب در خاکدانه‌ها رخ دهد. سپس نمونه‌ها هوا-خشک شده و برخی از ویژگی‌های خاک شامل بافت خاک (بایکاس، 1962)، مقدار ماده آلی به روش اکسیداسیون تر (والکلی و بلک، 1934) و مقدار کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی (سیمز، 1996) اندازه‌گیری شدند.

برای تعیین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، مقدار 50 گرم از نمونه‌های هوا-خشک از الک‌های 8 و 4 میلی-متری عبور داده شدند و بر روی یکسری الک (به ترتیب از بالا به پایین 4، 2، 1، 0/5، 0/25 و 0/15 میلی‌متر) ریخته شدند. سپس الک‌ها به مدت 5 دقیقه توسط یک موتور با سرعت 30 نوسان در دقیقه و کورس 1/3 سانتی-متر در آب بالا و پایین برده و خاکدانه‌های باقیمانده روی هر الک در آون و درجه حرارت 105 درجه سانتی‌گراد به مدت 24 ساعت قرار داده شد. سپس وزن خشک آنها تعیین گردید و در نهایت میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید:

$$MWD = \sum_{i=1}^{n} \overline{x_i} w_i \qquad (1)$$

که در این رابطه n تعداد دامنه اندازه خاکدانه، $\overline{x_i}$ میانگین قطر خاکدانه‌های روی هر الک، و w_i نسبت وزن خشک خاکدانه‌های روی هر الک i به وزن خشک کل خاکدانه‌های خاک (پس از تصحیح شن و سنگریزه) می‌باشند. مقدار MWD برای هر نمونه خاک در ده تکرار تعیین شد.

مقاومت کششی خاکدانه‌ها به روش غیرمستقیم برزیلی تعیین شد، به این صورت که برای هر خاک تعداد 20 عدد از خاکدانه‌های 8-6/3 میلی‌متری انتخاب و وزن شدند. خاکدانه‌ها بین دو صفحه بارگذاری (با استفاده از دستگاه تک محوری) قرار گرفت و مقاومت کششی آنها با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$Y = \frac{0.576F}{d_{eff}^2} \qquad (2)$$

که در این رابطه F نیروی فشاری مورد نیاز برای شکستن خاکدانه‌ها، d_{eff} قطر مؤثر خاکدانه و Y مقاومت کششی خاکدانه‌ها می‌باشد. قطر مؤثر خاکدانه (d_{eff}) نیز با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$d_{eff} = d_0\left(\frac{M_a}{M_0}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (3)$$

که در این رابطه d_0 قطر متوسط خاکدانه‌ها، M_0 میانگین جرم 20 عدد خاکدانه و M_a جرم خاکدانه مورد نظر می‌باشد (دکستر، 1988).

آزمایش‌های مذکور در شرایط رطوبتی نظیر مکش ماتریک 500 کیلوپاسکال نیز انجام شد. به این صورت که مقدار آب مورد نیاز برای افزایش رطوبت خاک تا رطوبت در مکش ماتریک 500 کیلوپاسکال، با استفاده از دستگاه صفحه فشاری اندازه‌گیری و محاسبه شد و با استفاده از پل آبی به نمونه‌های خاک اضافه شد (خزایی و همکاران، 1387). در این پژوهش از طرح آماری کاملاً تصادفی در قالب آزمایش فاکتوریل با دو فاکتور استفاده گردید. بافت خاک به عنوان فاکتور اول (لوم‌رسی و لوم‌شنی) و نوع کشت به عنوان فاکتور دوم (گندم و یونجه) در نظر گرفته شد و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن برای هر عمق نمونه‌برداری انجام گرفت. برای بررسی عوامل مؤثر بر پایداری ساختمان خاک‌های مورد بررسی، روابط رگرسیونی خطی و چندگانه بین MWD و Y با درصد ماده آلی، رس و کربنات کلسیم خاک با استفاده از نرم‌افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نتایج و بحث

مقادیر متوسط میانگین وزنی قطر و مقاومت کششی خاکدانه‌ها در شرایط رطوبتی هوا-خشک (به ترتیب $MWD_{air\text{-}dry}$ و $Y_{air\text{-}dry}$) و رطوبت در مکش ماتریک 500 کیلوپاسکال (به ترتیب MWD_{500kPa} و Y_{500kPa}) در سه عمق نمونه‌برداری شده از خاک‌های مورد بررسی در جدول 1 آورده شده است. نتایج به‌دست آمده نشان داد که این دو شاخص، برای ارزیابی پایداری ساختمان خاک بسیار مفید می‌باشند؛ به طوریکه تغییر در مقدار ماده آلی، رس و کربنات کلسیم بر این دو شاخص اثرگذار بود.

اثر بافت خاک و نوع کشت بر میانگین وزنی قطر و مقاومت کششی خاکدانه‌ها

اثر بافت خاک و نوع کشت بر میانگین وزنی قطر و مقاومت کششی خاکدانه‌ها در دو شرایط رطوبتی در سه عمق در شکل‌های 1 و 2 آورده شده است. اثر هر تیمار بر شاخص‌های اندازه‌گیری شده با میانگین‌گیری از سایر تیمارها بررسی شد. شکل‌ها نشان می‌دهد هر دو شاخص اندازه‌گیری شده تحت تأثیر تیمارهای بررسی شده قرار گرفته‌اند.

شکل 1 نشان می‌دهد که بیشترین مقادیر MWD و Y اندازه‌گیری شده در خاک‌های لوم‌رسی بدست آمد. در واقع در این خاک‌ها میزان رس و ماده آلی زیاد موجب افزایش خاکدانه‌سازی، بهبود ساختمان خاک و به تبع آن پایداری منافذ خاک شده است. نتایج به دست آمده در تطابق با یافته‌های سایر پژوهشگران می‌باشد. لی‌بی-سونیاس (1996) از رس خاک به عنوان یک ترکیب سیمانی‌کننده در خاک نام برد. او نشان داد که رس باعث به هم چسبیدن ذرات خاک و در نتیجه خاکدانه‌سازی می‌شود. همچنین اوزتاز و همکاران (1999) به این نتیجه رسیدند که با افزایش مقدار رس خاک، مقاومت کششی خاکدانه‌ها افزایش می‌یابد.

اثر نوع کشت بر MWD و Y در شکل 2 نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود کشت یونجه سبب افزایش مقادیر MWD و Y گردید. در واقع بهم نخوردن خاک در طی 11 سال در این کشت، سبب افزایش مواد آلی گردید و در نتیجه افزایش مقادیر شاخص‌های اندازه‌گیری شده را در پی داشت.

میانگین MWD خاک‌های مورد بررسی در رطوبت نظیر مکش ماتریک 500 کیلوپاسکال بیشتر از مقدار آن در حالت هوا-خشک به‌دست آمد (شکل‌های 1، 2 و جدول 1). در واقع در آزمایش هوا-خشک اجازه خروج هوا از منافذ خاک داده نمی‌شود، خاکدانه‌ها به صورت ناهمگن منبسط شده که انرژی تخریبی بالایی دارد و موجب متلاشی شدن خاکدانه‌ها می‌شود. در حالیکه میانگین Y خاک‌های مورد بررسی در رطوبت هوا-خشک بیشتر به‌دست آمد که به دلیل اثر منفی رطوبت خاک بر مقاومت کششی می‌باشد (شکل‌های 1، 2 و جدول 1).

در هر دو شرایط رطوبتی، مقدار MWD با افزایش عمق کاهش یافت. این تغییرات را می‌توان به کاهش مواد آلی با عمق و وابستگی زیاد MWD با مواد آلی نسبت داد (جدول 1)؛ که این نتایج مطابق با یافته‌های صفادوست و همکاران (1386) می‌باشد. بر خلاف MWD، افزایش مقدار Y با عمق مشاهده شد. احتمالاً افزایش مقدار رس با عمق و از طرفی کاهش دوره‌های تر و خشک شدن در طی دوره رشد گیاه در لایه‌های پایینی خاک سبب افزایش مقاومت کششی خاکدانه‌ها شده است. کی و دکستر (1992) و صفادوست و همکاران (2006) نیز افزایش مقاومت کششی خاکدانه‌ها را با افزایش عمق گزارش کردند و دلیل آن را کاهش شدت دوره‌های تر و خشک شدن در عمق خاک ذکر کردند.

اثر ویژگی‌های ذاتی خاک بر میانگین وزنی قطر و مقاومت کششی خاکدانه‌ها

مقادیر ماده آلی، رس و کربنات کلسیم (ویژگی-های ذاتی خاک) خاک‌های مورد بررسی اثرهای متفاوتی

بر MWD و Y داشت. با توجه به اینکه روند تغییرات در لایه‌های مختلف یکسان بود، ارتباط بین MWD و Y و ویژگی‌های ذاتی خاک‌ها تنها در لایه اول، به همراه ضرایب تبیین (R^2) در معادله‌های چند متغیره خطی زیر نشان داده شده است:

$MWD_{air\text{-}dry}$ = -3/910 + 1/751 OM% + 0/169 Clay% + 0/021 $CaCo^3$% R^2 =0/87

MWD_{500kPa}= -2/605 + 2/927 OM% + 0/181 Clay% + 0/038 $CaCo^3$% R^2 =0/89

$Y_{air\text{-}dry}$= 52/47 + 41/07 OM% + 1/38 Clay% + 0/79 $CaCo^3$% R^2 =0/95

Y_{500kPa}= 17/94 + 11/21 OM% + 0/51 Clay% + 1/02 $CaCo^3$% R^2 =0/91

که در این معادلات %OM نشان دهنده درصد ماده آلی، %Clay بیانگر درصد رس و % $CaCo_3$ نشان دهنده درصد کربنات کلسیم خاک می‌باشند.

با توجه به معادله‌های به‌دست آمده مشخص شد که بیشترین نقش در پایداری خاکدانه‌ها و مقدار MWD خاک‌های مورد بررسی را ماده آلی ایفا می‌کند. پس از آن، رس نقش مهمی در ایجاد خاکدانه‌های پایدار بازی می‌کند.

با افزایش مقدار رطوبت نمونه‌ها، نقش (مقدار ضریب) ماده آلی در مقاومت کششی خاکدانه‌ها کاهش یافت، در حالیکه نقش ماده آلی در میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در شرایط هوا-خشک بیشتر بود. همانطور که مشخص است در حالت هوا خشک تأثیرگذاری ماده آلی بر مقاومت کششی خاکدانه‌ها حدود 30 برابر رس و 52 برابر کربنات کلسیم است. برای رطوبت نظیر مکش ماتریک 500 kPa تأثیرگذاری ماده آلی نسبت به رس و کربنات کلسیم کاهش یافت. به نظر می‌رسد که با افزایش رطوبت خاک، کربنات کلسیم که در حالت هوا-خشک به صورت غیرفعال در خاک وجود دارد، فعال‌تر شده و اثر خود را بیشتر از حالت هوا-خشک نشان می‌دهد. حل شدن این کانی و تولید یون هماوری‌کننده کلسیم، می‌تواند یکی از دلایل افزایش اهمیت آن با افزایش رطوبت خاکدانه‌ها باشد.

اثر سه ویژگی مهم ذاتی خاک (ماده آلی، رس و کربنات کلسیم) بر شاخص‌های پایداری ساختمان خاک به صورت جداگانه بررسی شد. در شکل‌های 3 و 4 روابط برازش MWD و Y (هر دو شرایط رطوبتی) در برابر مقادیر ماده آلی، رس و کربنات کلسیم خاک به صورت توانی رسم شده است.

مواد آلی اثر مثبتی بر حاصلخیزی، شرایط فیزیکی، جمعیت فعالیت‌های میکروبی، ویژگی‌های شیمیایی خاک و عملکرد محصول دارند. با افزایش ماده آلی خاک، پایداری خاکدانه‌ها و شرایط سطحی خاک از جمله نفوذپذیری بهبود می‌یابد (امباگو و پیکلو 1989). مواد آلی می‌توانند سبب چسبندگی مواد معدنی به یکدیگر شوند و یا به شکل توده‌های ریز، در برخی موارد همانند یک شبکه عمل کرده و سبب در بر گرفتن ذرات خاک، تشکیل ساختمان و پایداری آن شوند (تیپلیتگر و همکاران 1968). صفادوست و همکاران (1386) دریافتند که با افزودن ماده آلی به خاک به صورت کود حیوانی، درصد خاکدانه‌های پایدار افزایش می‌یابد.

یکی دیگر از عوامل مؤثر بر خاکدانه‌سازی، رس خاک می‌باشد. رس به دلیل داشتن سطح ویژه زیاد و ویژگی‌های الکترواستاتیکی، از نظر فیزیکی و شیمیایی فعال بوده و نقش مهمی در به‌هم پیوستن ذرات خاک و تشکیل خاکدانه‌ها دارد. به طوری که پس از ماده آلی، یکی از مهمترین عوامل در تشکیل و پایداری خاک، رس است. دکستر و همکاران (1984) گزارش کردند که با افزایش مقدار رس خاک از 15% به 45%، مقدار مقاومت کششی خاکدانه‌ها از 50 به 600 کیلو پاسکال افزایش می‌یابد.

کربنات کلسیم مانند ملاتی بین ذرات خاک رسوب کرده و سبب اتصال ذرات خاک می‌شود. همچنین یون کلسیم حاصل از آن در هم‌آوری ذرات اثر داشته و به طور غیرمستقیم با تأثیر بر فعالیت ریزجانداران خاک، ساختمان‌سازی را تقویت می‌کند. تأثیر مثبت کربنات کلسیم بر پایداری ساختمان خاک توسط پژوهش‌گران زیادی گزارش شده است. گرنت و همکاران (1992) دریافتند که با افزایش مقدار کربنات کلسیم خاک مقاومت کششی آنها افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

1) نوع کشت و مدیریت زراعی به واسطه تأثیر بر مقدار و نوع ماده آلی، بر پایداری ساختمان خاک تأثیر می‌گذارند.

2) در بین ویژگی‌های مؤثر بر پایداری ساختمان خاک‌های مورد بررسی، بیشترین نقش مربوط به ماده آلی بود. پس از ماده آلی، رس و کربنات کلسیم مهم‌ترین ویژگی‌های ذاتی مؤثر بر پایداری ساختمان خاک بودند.

3) در رطوبت مکش ماتریک 500 کیلوپاسکال، اثر کربنات کلسیم بیشتر از حالت هوا-خشک بود. که علت آن غیرفعال بودن کربنات کلسیم در خاک خشک می‌باشد. حل شدن این کانی و تولید یون هماوری‌کننده کلسیم، می‌تواند یکی از دلایل افزایش اهمیت آن با افزایش رطوبت خاکدانه‌ها باشد.

4) حبس هوا در درون خاکدانه‌ها و تخریب خاکدانه‌ها در هنگام خروج هوای حبس شده سبب شد که مقادیر متوسط میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در رطوبت مکش ماتریک 500 کیلوپاسکال بیشتر از مقدار آن در شرایط هوا- خشک بدست آید.

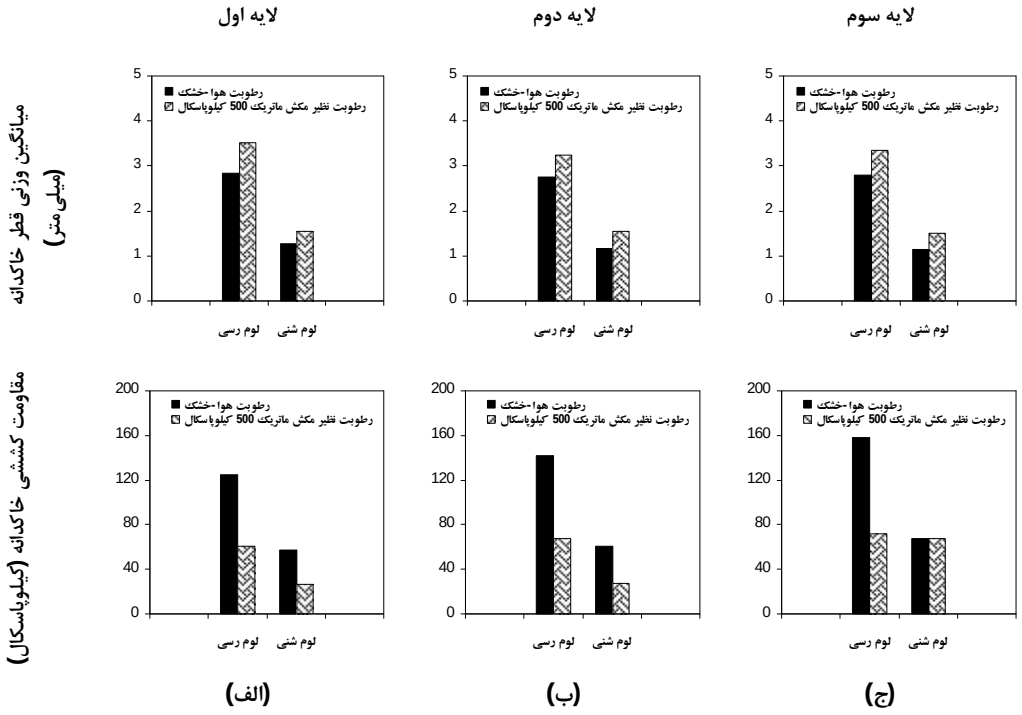
سپاس‌گزاری

بدین‌وسیله از دانشگاه بوعلی‌سینا به علت تأمین بخشی از هزینه‌های این پژوهش قدردانی می‌شود. همچنین از کارشناس محترم آزمایشگاه فیزیک و حفاظت خاک به خاطر کمک‌های بی‌دریغ‌شان در انجام آزمایش‌ها سپاس‌گزاری می‌شود.

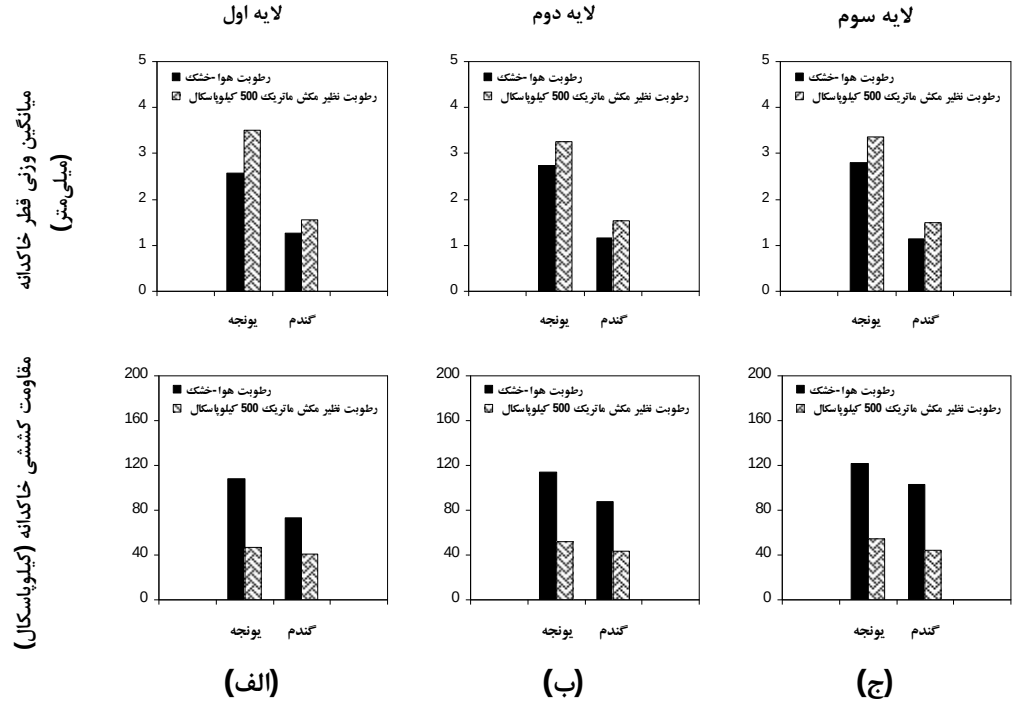
جدول 1- مقایسه میانگین اثر بافت و نوع کشت بر میانگین وزنی قطر (MWD) و مقاومت کششی خاکدانه‌ها (Y) خاک‌های مورد بررسی در دو رطوبت هوا-خشک (air-dry) و 500 کیلوپاسکال (500 kPa)

بافت	کشت	رس	کربنات کلسیم	ماده آلی	$MWD_{air-dry}$	$Y_{air-dry}$	MWD_{500kPa}	Y_{500kPa}
			(%)		(mm)	(kPa)	(mm)	(kPa)
لایه اول (10- 0 سانتی‌متر)								
لوم رسی	یونجه	30/22	12/5	2/11	3/69[a]	164[a]	2/89[a]	79[a]
لوم رسی	گندم	27/92	10/5	1/94	3/35[a]	143[b]	2/79[a]	64[b]
لوم شنی	یونجه	15/31	3/0	1/82	2/24[b]	86[c]	2/04[ab]	37[c]
لوم شنی	گندم	13/49	1/5	0/98	0/71[c]	59[d]	0/48[c]	33[d]
لایه دوم (20- 10 سانتی‌متر)								
لوم رسی	یونجه	36/41	15/0	1/87	3/54[a]	179[a]	2/81[a]	82[a]
لوم رسی	گندم	31/11	13/0	1/86	3/18[a]	153[b]	2/78[a]	67[b]
لوم شنی	یونجه	17/91	3/5	1/51	2/38[b]	88[c]	1/85[ab]	41[c]
لوم شنی	گندم	16/15	2/5	0/90	0/67[c]	60[d]	0/47[c]	34[d]
لایه سوم (30- 20 سانتی‌متر)								
لوم رسی	یونجه	39/12	19/5	1/70	3/37[a]	188[a]	2/79[a]	94[a]
لوم رسی	گندم	33/87	15/0	1/57	3/14[a]	169[b]	2/77[a]	73[b]
لوم شنی	یونجه	20/10	5/0	1/32	2/36[b]	91[c]	1/79[ab]	44[c]
لوم شنی	گندم	18/24	4	0/87	0/64[c]	62[d]	0/46[c]	36[d]

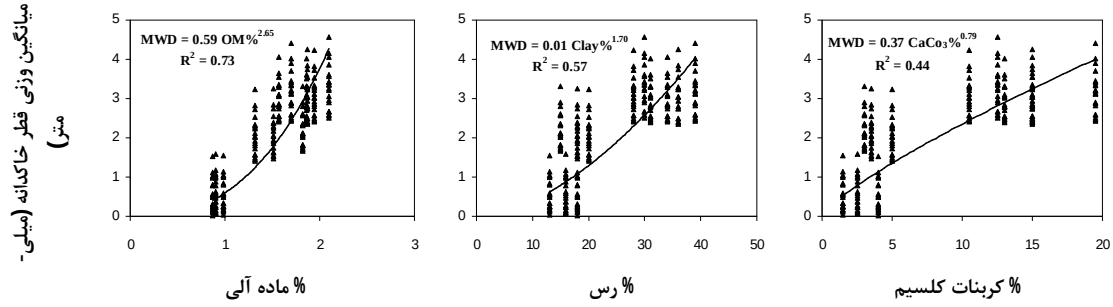
[1] برای هر ویژگی اندازه‌گیری‌شده در هر لایه ، میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند از نظر آماری در سطح 5 درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.



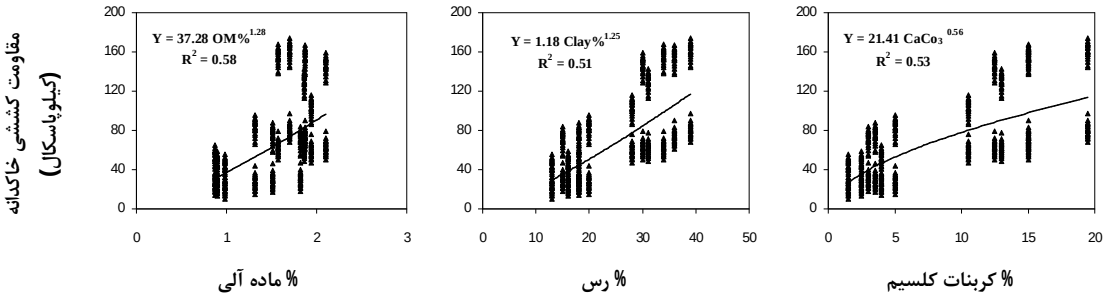
شکل 1- اثر بافت خاک بر میانگین وزنی قطر و مقاومت کششی خاکدانه‌ها در لایه‌های مختلف



شکل 2- اثر نوع کشت بر میانگین وزنی قطر و مقاومت کششی خاکدانه‌ها در لایه‌های مختلف



شکل 3- رابطه کلی بین میانگین وزنی قطر خاکدانه با ماده آلی، رس و کربنات کلسیم



شکل 4- رابطه کلی بین مقاومت کششی خاکدانه با ماده آلی، رس و کربنات کلسیم

فهرست منابع:

1. خزایی، ع.، مصدقی، م.ر.، و محبوبی، ع. 1387. تأثیر شرایط آزمایش، مقدار ماده آلی، رس و کربنات کلسیم خاک بر میانگین وزنی قطر و مقاومت کششی خاکدانه‌ها در برخی از خاک‌های استان همدان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. شماره 44 صفحه‌های 123 تا 135.
2. صفادوست، آ.، مصدقی، م.ر.، محبوبی، ع.ا.، نوروزی، ع.، و اسدیان، ق. 1386. تأثیر کوتاه‌مدت خاک‌ورزی و کود آلی بر ویژگی‌های ساختمانی خاک. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. شماره 41 صفحه‌های 91 تا 101.
3. Alperovitch, N., I. Shainberg, and R. Keren. 1981. Specific effects of magnesium on the hydraulic conductivity of sodic soils. J. Soil Sci. 32: 543-554.
4. Barzegar, A.R., P. Rengasamy, and J.M. Oades. 1995. Effect of clay type rate of wetting on the mellowing of compacted soils. Geoderma 68: 39-49.
5. Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. Agron. J. 54: 464-465.
6. Bronick, C.J., and R. Lal. 2005. Soil structure and management: a review. Geoderma 124: 3-22.
7. Causarano H, 1993. Factors affecting the tensile strength of soil aggregates. Soil Till. Res. 28: 15-25.
8. Dexter, A.R. 1988. Advanced in the characterization of soil structure. Soil Till. Res. 11: 199-238.
9. Dexter, A.R., B. Kroesbergen, and H. Kuipers. 1984. Some mechanical properties of aggregates top soils from the IJsselmeer polders. 1. Undisturbed soil aggregates. Neth. J. Agric. Sci. 32: 205-214.
10. Dexter, A.R., and B. Kroesbergen. 1985. Methodology for determination of tensile strength soil aggregates. J. Agric. Eng. Res. 31: 139-147.

11. Emerson, W.W. 1991. Structure decline of soils, assessment and prevention. Aust. J. Soil Res. 29: 905-921.
12. Grant, C.D., A.R. Dexter, and J.M. Oades. 1992. Residual effects of additions of calcium compounds on soil structure and strength. Soil Till. Res. 22: 283-297.
13. Kay, B.D., and A.R. Dexter. 1992. The influence of dispersible clay and wetting/drying cycles on the tensile strength of a red-brown earth. Aust. J. Soil Res. 30: 297-310.
14. Lal, R. 1991. Soil structure and sustainability. J. Sustain. Agric. 1: 67-92.
15. Le Bissonnias, Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: theory and methodology. Erop. J. Soil Sci. 425-237.
16. Mbagwu, J.S.C., and A. Piccolo. 1989. Changes in soil aggregate stability indicated by amendment with humic substances. Soil Technol. 2: 49-57.
17. Oztaz, T., K. Sonmez, and M. Canbolat. 1999. Strength of individual soil aggregates against crushing forces I. Influence of aggregate characteristics. J. Agric. Forest. 23: 567-572.
18. Safadoust, A., M.R. Mosaddeghi, and A.A. Mahboubi, 2006. Tensile Strength of Air-Dry Soil Aggregates as Influenced by Short-Term Management Practices in Western Iran. pp. 424-433. In: Horn, R., H. Fleige, S. Peth and X. Peng (Eds.), *Soil Management for Sustainability*. CATENA VELAG ISBN 3-923381-52-2, 35447 Reiskirchen.
19. Sims, J.T. 1996. Lime requirement methods of soil analysis. Klute, A. (Ed). Methods of Soil Analysis. Part 1. Chemical Methods. SSSA/ASA. Madision, Wisconsin, USA. pp. 491.
20. Tisdall, J.M., and J.M. Oades. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soil. J. Soil Sci. 33: 141-163.
21. Tiplittgr, G.B.D., B. Vandoren, and B.L. Schimdt. 1968. Effect of corn stover mulch on no-tillage corn yield and water infiltration. Agron. J. 60: 236-239.
22. Walkly, A., and I.A. Black. 1934. An examination of digestion method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration. Soil Sci. 37: 29-38.