مقایسه اثرات کاه و کلش بر کیفیت فیزیکی دو خاک ریز و درشت بافت از دشت مغان، شمال غرب ایران

شکراله اصغری[1*]، سکینه سلحشور[2]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۴/۱۲)

چکیده

در این مطالعه، اثرات کاه و کلش گندم بر شاخص‌های کیفیت فیزیکی دو خاک لوم شنی و لوم رسی مقایسه گردید. آزمایش فاکتوریل (فاکتور اول کاه و کلش در ۵ سطح صفر، ۱، ۲، ۳ و ۵ درصد وزنی و فاکتور دوم دو کلاس بافتی) در قالب طرح پایه بلوک‌های کاملاً تصادفی در ۴ تکرار اجرا گردید. ستون‌های خاک در دمای ۴± ۲۲ °C و رطوبت ۵۰ تا ۷۵ درصد ظرفیت مزرعه به مدت ۶ ماه قرار گرفتند سپس ویژگی‌های خاک در پایان ماه ششم اندازه‌گیری شد. پارامترهای α و n مدل ون‌گنوختن با نرم افزار RETC تعیین، توزیع اندازه منافذ خاک و شاخص دکستر (S_p) از روی داده‌های منحنی رطوبتی محاسبه گردید. نتایج نشان داد استفاده از کاه و کلش در مقادیر ۱ تا ۵ درصد به‌ترتیب در دو خاک لوم شنی و لوم رسی، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) را ۸۷/۵ تا ۳۵۸/۳ و ۲۷/۸۷ تا ۱۰۴/۹۲ درصد، هدایت هیدرولیکی اشباع را ۲۲/۹۴ تا۱۹۵/۴۱ و ۸۰ تا ۱۶۲/۸۶ درصد، رطوبت قابل استفاده را ۱۶/۲۷ تا ۱۰۵/۷ و ۱۰/۹۴ تا ۹۶/۳۵ درصد، پارامتر nرا ۴/۵ تا ۲۱/۸ و ۱/۷۴ تا ۸/۱۴ درصد و S_pرا ۳۲/۶۱ تا ۷۳/۹۱ و ۵/۶۲ تا ۳۸/۲ درصد نسبت به شاهد افزایش و پارامتر αرا ۱۲/۶۷ تا ۵۹/۱۵ و ۲۵ تا ۴۵ درصد نسبت به شاهد کاهش داد. شدت تأثیر کاه و کلش در مقادیر مصرفی بر بهبود کیفیت فیزیکی خاک لوم شنی بیشتر از لوم رسی بود.

واژه‌های کلیدی: بافت خاک، بقایای گیاهی، پایداری خاکدانه‌ها، توزیع اندازه منافذ، شاخص S_pدکستر

۱- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی (مکاتبه کننده)

۲- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

*پست الکترونیک: shasghari@uma.ac.ir

مقدمه

خاک‌های سبک یا درشت بافت (شنی، شن لومی و لوم شنی) و سنگین یا ریز بافت (رسی، رسی شنی، رسی سیلتی، لوم رسی و لوم رسی شنی) در مقایسه با خاک‌های متوسط بافت (لوم، لوم سیلتی و سیلتی) از نظر کیفیت فیزیکی دارای مشکلات پرشماری هستند (Foth,1984). برای بهره‌برداری مطلوب از گروه‌های بافتی درشت و ریز، لازم است روش‌های مدیریتی مناسبی اتخاذ گردد. از جمله روش‌های اصلاح و یا ارتقای کیفیت فیزیکی خاک‌های مذکور به ویژه از نظر حفاظت آب خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک، می‌توان به افزودن کودهای دامی، بقایای گیاهی مثل کاه و کلش و مواد زائد مثل لجن فاضلاب اشاره کرد. تأثیر بقایای گیاهی بر مواد آلی خاک بیشتر تابع مقدار مصرفی بقایا در مقایسه با نوع بقایا است. مولومباولال (Mulumba & Lal, 2008) اثرات کاه وکلش گندم در مقادیر صفر،۲،۴،۸و۱۶ مگاگرم بر هکتار در هر سال و به مدت ۱۱ سال بر ویژگی‌های فیزیکی یک خاک لوم سیلتی را در شرایط مزرعه‌ای مطالعه نمودند. نتایج نشان داد مقادیر مصرفی کاه و کلش باعث افزایش رطوبت قابل استفاده (۱۸ تا ۳۵ درصد)، تخلخل کل (۳۵ تا ۴۶ درصد) و نگهداری رطوبت در مکش‌های ۰ تا ۳۰ کیلوپاسکال (۲۹ تا ۷۰ درصد) نسبت به شاهد گردید. شیرانی و همکاران (Shirani *et al.*,2011) اثر تفاله‌های پسته را در مقادیر مصرفی صفر،۳، ۶ و ۹ درصد وزنی بر روی برخی ویژگی‌های فیزیکی و تراکم پذیری دو نوع خاک لوم رسی سیلتی وشنی در شرایط گلخانه‌ای بررسی کردند. نتایج نشان داد که سطوح بالای تفاله موجب کاهش معنی‌دارجرم ویژه ظاهری خاک شنی شد، ولی برجرم ویژهظاهریخاک لوم رسی سیلتی تأثیرمعنی‌داری نداشت. موسوی وهمکاران (Mousavi *et al.*,2012) تأثیر افزودن بقایای کاه برنج را در مقادیر صفر، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ درصد وزنی بر روی چهار نوع کلاس بافت خاک شالیزاری شامل رسی سیلتی، لوم رسی سیلتی، لوم رسی و لوم شنی بررسی کردند. نتایج نشان داد افزودن کاه برنج به خاک‌های شالیزاری باعث افزایش نگهداری رطوبت خاک، کاهش جرم ویژه ظاهری و تأخیر در تشکیل سله گردید. نتایج تحقیق مزرعه‌ای کاهلون و همکاران (Kahlon *et al.*, 2013) نشان داد که افزودن کاه و کلش به مقدار ۱۶ مگاگرم در هکتار و در سال به مدت ۲۰ سال به یک خاک لوم سیلتی، باعث افزایش میانگین وزنی قطر (MWD) خاکدانه‌ها بر حسب میلی‌متر از ۰/۳۶ به ۱/۲۱، ۰/۲۹ به ۰/۸۴ و ۰/۲۵ به ۰/۶۳ به ترتیب در تیمارهای بدون خاک-ورزی، خاک‌ورزی شیاری و برگردان در مقایسه با شاهد گردید.

پارامتر S_p یا شاخص دکستر یکی از معیارهای مهم در ارزیابی کیفیت فیزیکی خاک از نظر شرایط رشد و گسترش ریشه گیاه است و محققان مختلف تأثیر مدیریت‌های متفاوت خاک را بر این شاخص بررسی نموده‌اند (Asghari *et al.*, 2016; Emami *et al.*, 2012; Herencia *et al.*,2011; Li *et al.*, 2011; Silva *et al.*,2011; Asghari *et al.*, 2011). بر اساس مبانی نظری، یک خاک با مقدار S_p بزرگ، الزاماً دارای کیفیت ساختمانی بهتری در مقایسه با یک خاک با مقدار S_p کوچک خواهد بود (Dexter & Czyz, 2007). دکستر (Dexter, 2004) مقدار S_p= 0.035 را مرز بین کیفیت فیزیکی خوب و ضعیف در خاک معرفی نمود. نتایج تحقیق گلخانه‌ای اصغری و همکاران (Asghari *et al.*,2011) نشان داد که افزودن پلی‌آکریل آمید بر یک خاک لوم شنی باعث افزایش معنی‌دار S_p گردید، ولی تاثیر مقادیر مصرفی کود دامی، ورمی‌کمپوست و لجن پتروشیمی بر S_p معنی‌دار نشد. امامی و آستارایی (Emami & Astaraei, 2012) گزارش کردند که استفاده از گچ، کمپوست زباله شهری و وینیل آکریلیک اسید موجب افزایش معنی-دار S_p در یک خاک شور-سدیمی با بافت لوم رسی شنی گردید. آزمایش‌های گلدانی هیرنسیا و همکاران (Herencia *et al.*,2011) نیز نشان داد که به‌کارگیری کودهای شیمیایی (NPK) و کمپوست سبزیجات به مدت ۱۰ سال دریک خاک لوم، باعث افزایش معنی‌دار S_pاز ۰/۰۴ در تیمار NPK به ۰/۰۶ در تیمار کمپوست گردید. اصغری و همکاران (Asghari *et al.*,2016) گزارش نمودند که تغییر کاربری اراضی در منطقه فندقلوی اردبیل از جنگلی به مرتعی و زراعی به دلیل

کاهش کربن آلی و افزایش جرم ویژه ظاهری خاک، باعث افزایش منافذ ماکرو و پارامتر α مدل منحنی رطوبتی ون‌گنوختن و نیز کاهش پارامترهای n ون-گنوختن و S_pدکستر گردید. در پژوهش این محققان، مقادیر S_pدرکاربری‌های جنگلی، مرتعی و زراعی به-ترتیب برابر با ۰/۰۹۳، ۰/۰۵۳ و ۰/۰۳۱ به‌دست آمد.

بر اساس اطلاعات موجود، میزان تأثیر مقادیر مصرفی کاه و کلش گندم بر پایداری خاکدانه، توزیع اندازه منافذ، پارامترهای مدل منحنی رطوبتی ون‌گنوختن (VanGenuchten, 1980) و شاخص S_p دکستر (Dexter,2004) در خاک‌های ریز و درشت بافت مناطق خشک و نیمه‌خشک مقایسه نگردیده است لذا اهداف تحقیق حاضر عبارت بودند از: (۱) مقایسه تاثیر مقادیر مصرفی کاه و کلش گندم بر MWD خاکدانه‌ها، تخلخل کل، درصد منافذ ماکرو، مزو و میکرو بر اساس تقسیم‌بندی انجمن علوم خاک امریکا (SSSA, 1997)، هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s)، رطوبت‌های اشباع، ظرفیت مزرعه، نقطه پژمردگی دائم و قابل استفاده گیاه، پارامتر α و n در مدل منحنی رطوبتی ون-گنوختن (Van Genuchten,1980) و نیز شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف (S_p) در دو نوع خاک ریز و درشت بافت منتخب از دشت مغان، شمال غرب ایران و(۲) تعیین مقدار مصرفی بهینه کاه و کلش در دو نوع خاک ریز و درشت بافت تحت شرایط اقلیمی منطقه نیمه‌خشک مورد مطالعه.

مواد و روش‌ها

تهیه و آماده‌سازی خاک و کاه و کلش

دو نوع خاک با کلاس بافت لوم رسی و لوم شنی از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی متری اراضی بایر دشت مغان (′۱۰ و °۴۸ تا ′۳۰ و °۴۸ طول شرقی و ′۲۰ و °۳۹ تا ′۲ و °۳۹ عرض شمالی) انتخاب گردید. مقدار کافیاز هر دو خاک به‌منظور یکنواختی از الک ۴/۷۵ میلی‌متر گذرانده شده، سپس به گلخانه انتقال داده شد. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها مطابق روش-های استاندارد (Page, 1985; Klute, 1986) تعیین گردید. کاه و کلش گندم نیز به علت فراوانی و در دسترس بودن، از همان منطقه تهیه گردید و پس از خرد شدن به‌منظور یکنواختی و تأثیر سریع بر ویژگی-های خاک، از الک۲ میلی‌متری گذرانده شد.

گلدان‌های پلاستیکی به قطر ۲۰ و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر و به تعداد ۴۰ عدد به‌کار گرفته شد. کاه و کلش هواخشک به مقادیر صفر، ۱، ۲، ۳ و ۵ درصد وزنی خاک هواخشک، مورد استفاده قرار گرفت. دامنه مقادیر مصرفی کاه و کلش بر اساس منبع موسوی و همکاران (Mousavi *et al*.,2012) به‌نحوی انتخاب شد که از نظر کاربردی توسط کشاورزان بومی منطقه قابل اجرا باشد. خاک هواخشک پس از اختلاط با کاه و کلش در مقادیر فوق‌الذکر، بر اساس جرم ویژه ظاهری مزرعه (۱/۳۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب) و به صورت لایه به لایه در گلدان‌ها پر گردیدتا شرایط نسبتاً یکنواختی از نظر تراکم در خاک گلدان ایجاد گردد سپس رطوبت خاک گلدان‌ها به ۷۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه (FC) رسانده شد. گلدان‌ها در گلخانه با دمای ۲۲±۴ °C به‌مدت ۱۸۰ روز قرار گرفتند. کنترل رطوبت خاک گلدان‌ها در طی دوره رشد در دامنه ۵۰ تا ۷۵ درصد رطوبت FC و به روش وزنی انجام و در صورت نیاز به طریق سطحی، آبیاری صورت گرفت.

اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک

نمونه‌های دست نخورده با استفاده از استوانه‌های فولادی به قطر و ارتفاع ۵ سانتی‌متر و دست خورده (با حداقل دست خوردگی و احتیاط کامل) به وزن حدود یک کیلوگرم از عمق ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متری خاک گلدان‌ها در پایان دوره انکوباسیون برداشته شد. کربن آلی به روش والکلی بلک (Nelson & Sommers, 1982)، جرم ویژه ظاهری خاک به روش استوانه دست نخورده (Blake & Hartge, 1986a)، جرم ویژه حقیقی به روش پیکنومتر (Blake & Hartge, 1986b) و تخلخل کل (f) با استفاده از جرم ویژه ظاهری (D_b) و حقیقی (D_p) خاک ($f = 1 - \frac{D_b}{D_p}$) محاسبه گردیدند (Danielson & Sutherland,1986). میانگین وزنی قطر (MWD) خاکدانه‌ها به کمک دستگاه الک تر در خاکدانه‌های کوچک‌تر از ۴/۷۵mm (تصحیح شده به

جرم ذرات شن) با استفاده از سری الک‌ها به قطر روزنه ۲، ۱، ۰/۵، ۰/۲۵ و ۰/۱۰۶ میلی‌متر،مطابق روش کمپر و روسنو (Kemper & Rosenau, 1986) اندازه‌گیری شد.هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s) به روش بار ثابت (تیمارهای خاک لوم شنی) و بار افتان (تیمارهای خاک لوم رسی) در استوانه‌ها اندازه‌گیری شد (Klute & Dirksen, 1986). اندازه‌گیری رطوبت خاک در مکش‌های صفر، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر با دستگاه ستون آب آویزان و ۳۰۰، ۶۰۰، ۱۰۰۰، ۳۰۰۰ ، ۵۰۰۰، ۱۰۰۰۰ و ۱۵۰۰۰سانتی‌متر با استفاده از دستگاه صفحات فشاری به روش وزنی (Gardner, 1986) انجام گرفت. رطوبت ظرفیت مزرعه (FC)، رطوبت معادل مکش ۱۰۰ سانتی‌متر برای تیمارهای خاک لوم شنی و ۳۰۰ سانتی‌متر برای تیمارهای خاک لوم رسی و رطوبت نقطه پژمردگی دائم (PWP) رطوبت معادل مکش۱۵۰۰۰ سانتی‌متر در کلیه تیمارها در نظر گرفته شد. اختلاف بین رطوبت FC و PWP به عنوان مقدار آب قابل استفاده (AWC) محاسبه گردید (AWC=FC-PWP) (Bauer & Black, 1992).

درصد منافذ خاک در محدوده کلاس‌های ذکر شده توسط انجمن علوم خاک امریکا (SSSA, 1997) از روی داده‌های منحنی رطوبتی در مکش‌های صفر یا اشباع، ۴۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر تعیین گردید. برای این منظور قطر منفذ متناظر با هر مکش از رابطه کاپیلاری ($h = \frac{0.3}{d}$، h مکش و d قطر متناظر با آن مکش هر دو بر حسب سانتی‌متر) محاسبه شد. درصدهای منافذ موجود در هر محدوده (منافذ ماکرو d>۷۵ µm، منافذ مزو d =۳۰-۷۵ µm و منافذ میکرو d< ۳۰ µm) از روی داده‌های رطوبت در مکش‌های فوق الذکر محاسبه شد (Danielson & Sutherland, 1986).

پارامترهای منحنی رطوبتی خاک در مدل ون‌گنوختن (Van Genuchten, 1980) شامل α و n با استفاده از نرم افزارRETC (Van Genuchten *et al*., 1991) و با در نظرگرفتن $m = 1 - \frac{1}{n}$ از طریق برازش مدل مذکور برداده‌های منحنی رطوبتی خاک به دست آمد. لازم به ذکر است در حین برازش، پارامترهای رطوبت اشباع (θ_s) و رطوبت باقیمانده (θ_r) یا همان رطوبتPWP (Warrick, 2002) به عنوان مقادیرثابت منظورشدند. زیرا مقادیر اندازه‌گیری شده این پارامترها مطمئن‌تر از مقادیر تخمینی آن‌ها توسطRETC می‌باشد. شیب منحنی رطوبتی خاک در نقطه عطف (S_p) نیز با استفاده از پارامترهای مدل ون-گنوختن (Van Genuchten, 1980) و از طریق معادله ۱ محاسبه گردید. رطوبت‌های اشباع و باقیمانده به صورت نسبت وزنی وارد معادله ۱ گردیدند. البته برای سهولت مقایسه از قدر مطلق S_p در محاسبات استفاده گردید (Dexter & Bird, 2001).

$$S_p = -\frac{n(\theta_s - \theta_r)}{[\frac{2n-1}{n-1}]^{-(\frac{1}{n}-2)}} \qquad (۱)$$

تحلیل‌های آماری

طرح آماری آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کاملاً تصادفی در۴ تکرار اجرا گردید. فاکتور اول مقادیر مصرفی کاه وکلش گندم در ۵ سطح شامل صفر،۱، ۲، ۳ و ۵ درصد وزنی و فاکتور دوم کلاس بافت خاک در دو سطح شامل لوم رسی و لوم شنی بود. علت انتخاب طرح بلوک، غیر یکنواختی در تابش نور دریافتی به گلخانه بود. همه پارامترها به استثنای منافذ ماکرو و K_s دارای توزیع نرمال بودند. برای نرمال‌سازی دو پارامتر مذکور به‌ترتیب از توابع جذری و لگاریتم نپری استفاده گردید. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم افزار MSTATC و مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون دانکن و رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel صورت گرفت. ضریب همبستگی پیرسون بین پارامترهای اندازه‌گیری شده نیز با نرم افزار SPSS تعیین گردید.

نتایج و بحث

خاک لوم شنی و لوم رسی مورد مطالعه به‌ترتیب دارای ۶۹/۵ و ۲۱/۵ درصد شن، ۸/۵ و ۳۴/۲ درصد رس، ۰/۱۸ و ۰/۵۳ درصد کربن آلی، ۸ و ۱۱/۲۵ درصد آهک، pHگل اشباع ۷/۵۵ و ۷/۶۷ و EC عصاره گل اشباع ۰/۲۸۶ و ۰/۶۵۹ دسی‌زیمنس بر متر بودند.

کاه و کلش مورد استفاده دارای میانگین $\frac{C}{N} = 48$ بـود. کربن آلی اگرچه یک پارامتر کیفیت شـیمیایی خـاک است، ولی کیفیت فیزیکی خاک عمیقاً متاثر از میـزان کربن آلی ورودی به خاک می‌باشد. بـین کـربن آلـی و پارامترهای کیفیت فیزیکی اندازه‌گیری شده در خـاک، همبسـتگی قـوی و معنـی‌دار ($P< 0.01$) یافـت شـد (جدول ۱). محققـان مختلـف (Asghari*et al.*, 2016; Emami *et al.*, 2012; Emami & Astaraei, 2012; Silva *et al.*, 2011; Dexter, 2004) نیـز وجـود همبسـتگی معنـی‌دار بـین کـربن آلـی و ویژگـی‌هـای فیزیکی خاک را تأیید نموده‌اند.

اثرات کاه و کلش و کلاس بافت خاک بر کربن آلی و پایداری خاکدانه‌ها

جدول ۲ نشان می‌دهد که مقادیر مصرفی کاه و کلـش به علت داشتن نسبت $\frac{C}{N}$ بالا، باعث افزایش کـربن آلـی خاک به میزان ۳۸/۸۹ تا ۴۴۴/۴ درصد در خـاک لـوم شـنی و ۳/۷۷ تـا ۱۰۷/۵ درصـد در خـاک لـوم رسـی نسبت به شاهد گردیده است. بنابراین شدت تأثیر کـاه و کلش بر کربن آلی خاک لوم شنی به مراتب بیشتر از لوم رسی بوده است. خاک لوم شنی (شاهد) بـه دلیـل داشتن ذرات شن و منافـذ درشـت فـراوان و فراهمـی بیشتر اکسیژن برای تجزیه هوازی مواد آلی در مقایسه با خاک لوم رسی (شاهد)، ذاتاً دارای کربن آلـی کمـی است (جدول ۲). از سوی دیگر، فراوانی رس بـه دلیـل تأثیر بر توزیع اندازه منافذ خاک از طریق کاهش سـهم منافذ درشت، باعث حفاظت از مـاده آلـی خـاک مـی-گردد. بالا بودن میزان کربن آلـی در تیمارهـای خـاک لوم رسی در مقایسه با لوم شنی در تحقیق حاضر نیـز به این موضوع برمی‌گردد. نتایج مشـابهی در خصـوص تأثیر کاه و کلش گنـدم بـر کـربن آلـی در خـاک لـوم سـیلتی (Mulumba & Lal, 2008) و لـوم شـنی (Sadeghian *et al.*,2007) منتخب از مناطق خشـک و نیمه‌خشک به‌دست آمده است.

مطـابق جـدول ۲، میـانگین وزنـی قطـر (MWD) خاکدانه‌ها، در تیمار شاهد خاک لوم شنی (۰/۲۴mm) بـه طـور معنـی‌داری کـوچکتر از خـاک لـوم رسـی (۰/۶۱mm) است. پایداری ضعیف خاکدانه‌ها در خـاک لوم شنی نسبت به لوم رسی را می‌توان بـه مقـدار کـم رس و کربن آلی در خاک لـوم شـنی نسـبت داد. زیـرا این دو از عوامل اصلی سیمانی شدن ذرات اولیه خـاک و تشکیل ذرات ثانویه یا خاکدانه‌ها هستند. افزودن کاه و کلـش در مقـادیر مصـرفی باعـث افـزایش معنـی‌دار MWD به میزان ۸۷/۵ تا ۳۵۸/۳ درصد در خاک لـوم شنی و ۲۷/۸۷ تا ۱۰۴/۹۲ درصد در خاک لـوم رسـی در مقایسه با شاهد گردید. ملاحظه می‌شود کـه شـیب تأثیر کاه و کلش بر کربن آلی و MWD خاکدانه‌هـا در دو خاک لوم شنی و لوم رسی در یک راستا مـی‌باشـد. وجـود همبسـتگی مثبـت و معنـی‌دار ($r=۰/۹۰^{**}$) بـین کربن آلی و MWD (جدول ۱) نیز این قضیه را تأییـد می‌کند. بیشترین مقدار MWD (۱/۲۵mm) مربوط به تیمار لوم رسی در مقدار مصرفی ۵ درصد کاه و کلـش می‌باشد. هر چند که اختلاف آن بـا مقـدار مصـرفی ۳ درصد در همـان کـلاس بافـت خـاک معنـی‌دار نشـد. کاهلون و همکـاران (Kahlon *et al.*,2013) نیـز بیـان کردند MWD خاکدانه‌ها در اثر ۲۲ سال اضافه کـردن ۸ و ۱۶ مگاگرم در هکتار و در سال کاه و کلش گنـدم به یک خاک لوم سیلتی به ترتیب در حدود ۱/۸ و ۳/۴ برابر نسبت به شـاهد در تیمارهـای بـدون خـاک‌ورزی افزایش یافت.

اثرات کاه و کلش و کلاس بافت خاک بر جرم ویژه ظاهری و حقیقی، تخلخل کل و توزیع اندازه منافذ خاک

به‌کارگیری کاه و کلش فقط در بالاترین مقدار مصرفی (۵ درصد) توانست جرم ویژه حقیقی خـاک را بـه‌طـور معنی‌دار کاهش دهد (جدول ۳) همچنین جـرم ویـژه حقیقی در تیمارهای لوم رسی به‌طور معنی‌دار کمتـراز لوم شنی بود (جدول ۴). جرم ویـژه حقیقـی تـابعی از نوع کانی‌های سازنده خـاک بـوده و بـا افـزایش سـهم بخش آلی نسبت به معدنی در فاز جامد خـاک، مقـدار آن کاهش می‌یابد. چون مواد آلی ذاتاً دارای جرم ویـژه حقیقی کوچکتری هسـتند (Hillel, 1998; Warrick, 2002). همبستگی منفی و معنـی‌دار ($r=۰/۵۴^{**}$) جـرم ویژه حقیقی با کربن آلی خاک (جدول ۳) نیز شاهدی بر این ادعا است.

جدول ۱-ضریب همبستگی پیرسون بین پارامترهای اندازه‌گیری شده(n=40)

Table 1- Pearson correlation coefficient *(r value*) between measured parameters (n=40)

	OC	MWD	D_b	D_p	f	K_s	θ_{FC}	θ_{AWC}	θ_S	θ_{PWP}	VG-α	VG-n	S_p	P_{mac}
OC	1													
MWD	0.90**	1												
D_b	-0.56**	-0.71**	1											
D_p	-0.54**	-0.70**	0.71**	1										
f	0.51**	0.64**	-0.98**	-0.55**	1									
K_s	0.32**	0.13ns	0.35**	۰0.41**	-0.30ns	1								
θ_{FC}	0.88**	0.91**	-0.65**	-0.54**	0.61**	0.25ns	1							
θ_{AWC}	0.79**	0.78**	-0.47**	-0.40**	0.44**	0.26ns	0.84**	1						
θ_S	0.77**	0.71**	-0.15ns	-0.23ns	0.106ns	0.60*	0.82**	0.75**	1					
θ_{PWP}	0.69**	0.82**	-0.75**	-0.73**	0.68**	-0.14ns	0.81**	0.19ns	0.54**	1				
VG-α	-0.66**	-0.79**	0.81**	0.93**	-0.68**	0.28ns	-0.63**	-0.46**	-0.31**	-0.76**	1			
VG-n	0.68**	0.81**	-0.82**	-0.92**	0.69**	-0.33**	0.67**	0.49**	0.34**	0.78**	-0.98**	1		
S_p	0.73**	0.85**	-0.76**	-0.83**	0.65**	-0.25ns	0.75**	0.63**	0.46**	0.73**	-0.89**	0.93**	1	
P_{mac}	-0.73**	-0.77**	0.61**	0.55**	-0.56**	-0.12ns	-0.84**	-0.67**	-0.62**	-0.69**	-0.65**	-0.67**	-0.77**	1

OC:کربن آلی (Organic carbon)،MWD: میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (Mean weight diameter of aggregates)، D_p: جرم ویژه حقیقی (Particle density)، D_b: جرم ویژه ظاهری (Bulk density)، f: تخلخل کل (Total porosity)، P_{mac}: منافذ ماکرو (Macropores)، K_s: هدایت هیدرولیکی اشباع (Saturated hydraulic conductivity)،θ_s: رطوبت اشباع (Saturated water content)، θ_{FC}: رطوبت ظرفیت مزرعه (Field capacity water content)، θ_{PWP}: رطوبت نقطه پژمردگی دائم (Permanent wilting point water content)، θ_{AWC}: رطوبت قابل استفاده (Available water content)، VG-α و VG-n: پارامترهای مدل منحنی رطوبتی ون‌گنوختن (Parameters of van Genuchten moisture curve model)،S_p: شیب منحنی رطوبتی خاک در نقطه عطف آن (Slope of soil moisture curve at its inflection point).

جدول۲-مقایسه میانگین اثرات متقابل مقادیر مصرفی کاه و کلش و کلاس بافت خاک بر پارامترهای اندازه‌گیری شده

Table 2- Mean comparison of the interaction effects of straw used rates and soil textural class on measured parameters

S_p (-)	VG-n (-)	VG-α (1 cm^{-1})	θ_{AWC} (cm^3 cm^{-3})	θ_{PWP} (cm^3 cm^{-3})	K_s (cm min^{-1})	MWD (mm)	OC (%)	کاه (٪) Straw	بافت Texture
0.046f	1.33g	0.071a	0.209d	0.098c	1.09e	0.24f	0.18f	0	
0.061e	1.39g	0.062a	0.243cd	0.097c	1.34d	0.45e	0.25f	1	
0.073de	1.48f	0.050b	0.306bc	0.099c	1.43c	0.63d	0.55e	2	SL
0.08cd	1.54e	0.042b	0.344b	0.121c	2.22b	0.82c	0.85d	3	
0.08cd	1.62d	0.029c	0.430a	0.165b	3.22a	1.1b	0.98ab	5	
0.089bc	1.72c	0.02cd	0.192d	0.106c	0.35j	0.61d	0.53e	0	
0.094bc	1.75c	0.015d	0.213d	0.173b	0.63i	0.78c	0.55e	1	
0.092bc	1.77bc	0.012d	0.193d	0.197ab	0.72h	0.83c	0.77d	2	CL
0.098b	1.82ab	0.012d	0.256cd	0.196ab	0.82g	1.2a	0.91bc	3	
0.123a	1.86a	0.011d	0.377ab	0.221a	0.92f	1.25a	1.1a	5	

SL: لوم شنی (Sandy loam)،CL: لوم رسی (Clay loam). در هر ستون، میانگین‌های با حروف غیر مشابه دارای اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ یا ۵ درصد هستند.

In each column, means with dissimilar letters have significant difference at P=0.01 or 0.05.Description of symbols and parameters is available under Table 1.

جدول ۳-اثرات اصلی مقادیر مصرفی کاه و کلش بر پارامترهای اندازه‌گیری شده

Table 3- Main effects of straw used rates on measured parameters

θ_S (cm^3 cm^{-3})	θ_{FC} (cm^3 cm^{-3})	P_{mic} (%)	P_{mes} (%)	P_{mac} (%)	f (cm^3 cm^{-3})	D_b (g cm^{-3})	D_p (g cm^{-3})	کاه و کلش Straw (%)
0.4730d	0.3024d	65.72c	14.81a	19.3a	0.40c	1.52a	2.53a	0 (Control)
0.5247cd	0.3565c	69.40bc	14.45a	15.03b	0.45b	1.4b	2.52a	1
0.5638c	0.3982c	72.79b	13.05ab	14.06b	0.49a	1.28c	2.53a	2
0.6291b	0.4590b	74.36b	12.22ab	13.33b	0.48ab	1.3bc	2.49ab	3
0.6541a	0.4811a	80.40a	9.91b	9.42c	0.46ab	1.32bc	2.46b	5

P_{mes}: منافذ مزو (Mesopores)،P_{mic}: منافذ میکرو (Micropores)، توصیف بقیه علائم و پارامترها در زیر جدول ۱ آورده شده است.در هر ستون، میانگین‌های با حروف غیر مشابه دارای اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ یا ۵ درصد هستند.

In each column, means with dissimilar letters have significant difference at P=0.01 or 0.05.Description of symbols and parameters is available under Table 1.

با افزایش مقدار مصرفی کاه و کلش در خاک به دلیل افزایش کربن آلی و خاکدانه‌سازی (جدول ۲)، میانگین جرم ویژه ظاهری در خاک لوم شنی و لوم رسی به میزان ۷/۹ تا ۱۳/۱۶ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت (جدول ۳)، هر چند اختلاف بین مقادیر مصرفی کاه و کلش معنی‌دار نشد. تیمارهای خاک لوم رسی به دلیل داشتن ساختمان قوی (MWD بزرگ)، در مقایسه با خاک لوم شنی دارای نسبت جرم به حجم پایین و جرم ویژه ظاهری کوچکتری بودند (جدول ۴). همبستگی منفی و معنی‌دار بین جرم ویژه ظاهری با کربن آلی ($r=۰/۵۶^{**}$) و MWD ($r=۰/۷۱^{**}$) نیز در این راستا قابل توجیه است. کاهش معنی‌دار جرم ویژه ظاهری خاک در اثر به‌کارگیری بقایای گیاهی توسط شیرانی و همکاران (Shirani *et al.*, 2011) در خاک لوم رسی سیلتی و شنی، و کاهلون و همکاران (Kahlon *et al.*, 2013) در خاک لوم سیلتی گزارش گردیده است. موسوی و همکاران (Mousavi *et al.*, 2012) نیز بیان نمودند اثرات اصلی کلاس بافت و مقادیر مصرفی کاه و کلش برنج بر جرم ویژه ظاهری خاک معنی‌دار شد، به‌طوری که کمترین جرم ویژه ظاهری در خاک لوم رسی سیلتی ($۱/۰۷ \text{ g cm}^{-3}$) و بیشترین مقدار در خاک لوم شنی ($۱/۳۲ \text{ g cm}^{-3}$) و نیز در بین تیمارهای کاه و کلش، بیشترین جرم ویژه ظاهری در تیمار صفر درصد یا شاهد ($۱/۳۸ \text{ g/cm}^3$)و کمترین در تیمار ۷ درصد ($۱/۰۳ \text{ g cm}^{-3}$) تعیین گردید.

جدول ۴-اثرات اصلی کلاس بافت خاک بر پارامترهای اندازه‌گیری شده.

Table 4- Main effects of soil textural class on measured parameters.

P_{mic} (%)	P_{mes} (%)	P_{mac} (%)	f ($cm^3\ cm^{-3}$)	D_b ($g\ cm^{-3}$)	D_p ($g\ cm^{-3}$)	کلاس بافت Textural class
69.5b	14.46a	15.78a	0.4214b	1.49a	2.58a	SL
75.57a	11.71b	12.42b	0.4945a	1.24b	2.44b	CL

SL: لوم شنی (Sandy loam)،CL: لوم رسی (Clay loam)،در هر ستون، میانگین‌های با حروف غیر مشابه دارای اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ یا ۵ درصد هستند. توصیف علائم و پارامترها در زیر جدول ۱ آورده شده است.

In each column, means with dissimilar letters have significant difference at P=0.01 or 0.05.Description of symbols and parameters is available under Table 1.

مقادیر مصرفی کاه و کلش باعث افزایش معنی‌دار تخلخل کل خاک از ۱۲/۵ تا ۲۲/۵ درصد نسبت به شاهد گردیدند، اگرچه اختلاف بین مقادیر مصرفی در برخی تیمارها معنی‌دار نشد (جدول ۳). تخلخل کل خاک در تیمارهای لوم رسی ($۰/۴۹۵ \text{ cm}^3\ \text{cm}^{-3}$) به طور معنی‌دار بیشتر از لوم شنی ($۰/۴۲ \text{ cm}^3\ \text{cm}^{-3}$) به دست آمد (جدول ۴). به طور کلی خاک‌های ریزبافت به دلیل داشتن منافذ ریز فراوان در مقایسه با خاک-های درشت بافت با منافذ درشت ولی کم، از فضای منافذ بیشتر و تخلخل کل بالاتری برخوردار هستند (Foth, 1984). افزودن کاه و کلش به دلیل کاهش بیشتر جرم ویژه ظاهری در مقایسه با جرم ویژه حقیقی، منجر به افزایش تخلخل کل خاک گردید. همبستگی معنی‌دار و منفی‌تر تخلخل کل با جرم ویژه ظاهری ($r=۰/۹۸^{**}$) در مقایسه با جرم ویژه حقیقی ($r=۰/۵۵^{**}$) مؤید این موضوع می‌باشد. مولومبا و لال (Mulumba & Lal, 2008) نیز نتایج مشابهی را در خصوص تأثیر کاه و کلش گندم بر تخلخل کل خاک لوم سیلتی در منطقه نیمه‌خشک گزارش نموده‌اند.

با توجه به جدول ۳ مشاهده می‌شود که استفاده از کاه و کلش در مقادیر ۱ تا ۵ درصد وزنی باعث تغییر در توزیع اندازه منافذ خاک از طریق کاهش سهم منافذ ماکرو و مزو و افزایش منافذ میکرو نسبت به شاهد گردیده است. میزان کاهش در منافذ ماکرو به ترتیب از ۲۲/۱۲ تا ۵۱/۲ درصد و افزایش در منافذ میکرو به ترتیب از ۵/۶ تا ۲۲/۳۳ درصد اندازه‌گیری شد. تیمارهای خاک لوم شنی در مقایسه با لوم رسی به طور معنی‌داری دارای منافذ ماکرو و مزوی زیاد و

منافذ میکروی کم بودند (جدول ۴). بنابراین بر خلاف انتظار قبلی، تأثیر کاه و کلش به عنوان یک اصلاح کننده آلی بر تغییر توزیع اندازه منافذ در دو خاک لوم شنی و لوم رسی در یک راستا بوده است. به نظر می‌رسد کاه و کلش از طریق خاکدانه‌سازی (جدول ۳) باعث کاهش منافذ برون خاکدانه‌ای (منافذ ماکرو) و افزایش منافذ درون خاکدانه‌ای (منافذ میکرو) (Warrick, 2002) در هر دو خاک مورد مطالعه گردیده است. وجود همبستگی منفی و معنی‌دار (r=۰/۷۷**) بین منافذ ماکرو و MWD خاکدانه‌ها (جدول ۱) نیز این یافته را تأیید می‌کند. نتایج مشابهی در خصوص تأثیر مقادیر مصرفی اصلاح کننده‌های آلی مثل کود دامی (Asghari *et al.*,2011) و لجن فاضلاب شهری (Fatholomi & Asghari, 2015) بر کاهش منافذ ماکرو و افزایش منافذ میکرو در خاک لوم شنی منتخب از منطقه نیمه‌خشک به دست آمده است.

اثرات کاه و کلش و کلاس بافت خاک بر پارامترهای هیدرولیکی خاک (K_s، رطوبت‌های اشباع، FC، PWP و AWC)

به‌کارگیری مقادیر مصرفی کاه و کلش باعث افزایش معنی‌دار هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s) به میزان ۲۲/۹۴ تا ۱۹۵/۴۱ درصد در تیمارهای خاک لوم شنی و ۸۰ تا ۱۶۲/۸۶ درصد در تیمارهای خاک لوم رسی در مقایسه با شاهد گردید (جدول ۲). همچنین مقادیر K_s به طور معنی‌دار در تیمارهای لوم شنی بیشتر از لوم رسی بود. دلیل این مسأله را می‌توان به وجود منافذ ماکرو و مزوی زیاد و منافذ میکروی کم در خاک لوم شنی در مقایسه با لوم رسی (جدول ۴) نسبت داد. اگرچه تخلخل کل خاک لوم رسی بیشتر از لوم شنی بود، ولی تأثیر پذیری K_s از توزیع اندازه منافذ به مراتب بیشتر از تخلخل کل می‌باشد. به طوری که با افزایش سهم منافذ ماکرو در خاک، K_s نیز افزایش می‌یابد (Hillel, 1998). افزایش K_s با افزایش مقادیر مصرفی کاه و کلش را صرفنظر از کلاس بافت خاک، می‌توان چنین استدلال نمود که با افزودن کاه و کلش در خاک، به علت بالا رفتن مقدار کربن آلی در خاک (جدول ۲) و کاهش جرم ویژه ظاهری (جدول ۳)، فشردگی خاک کاهش و حجم کل منافذ افزایش و نهایتاً منجر به افزایش K_s گردیده است. نتایج مشابهی در خصوص تأثیر کاه و کلش گندم بر K_s خاک لوم سیلتی (Kahlon *et al.*,2013) در منطقه نیمه‌خشک به‌دست آمده است.

صرف‌نظر از کلاس بافت خاک، استفاده از کاه و کلش در مقادیر مصرفی باعث افزایش میانگین رطوبت‌های اشباع و ظرفیت مزرعه (FC) به ترتیب و به میزان ۱۰/۹۳ تا ۶۰/۹ درصد و ۱۷/۸۹ تا ۹۷/۷۵ درصد در مقایسه با شاهد گردید (جدول ۳). کاه و کلش به دلیل اثر بر خاکدانه‌سازی (جدول ۲) و افزایش تخلخل کل و میکرو در خاک (جدول ۳)، باعث افزایش آب نگهداری شده در وضعیت اشباع و FC گردید. زیرا منافذ میکرو با مکش قویتری آب را در خاک نگهداری کرده و تلفات آب از طریق نیروی ثقل را کاهش می‌دهند (Hillel, 1998; Warrick, 2002). همبستگی مثبت و معنی‌دار MWD خاکدانه‌ها با رطوبت‌های اشباع (r=۰/۷۱**) و FC (r=۰/۹۱**) نیز این قضیه را تأیید می‌کند (جدول ۱). مولومبا و لال (Mulumba & Lal, 2008) گزارش کردند که استفاده از کاه و کلش گندم در مقادیر ۲ تا ۱۶ مگاگرم در هکتار به مدت ۱۱ سال در یک خاک لوم سیلتی باعث افزایش رطوبت خاک در مکش‌های پایین (۰ تا ۳۰ کیلوپاسکال) به مقدار ۲۹ تا۷۰ درصد گردید.

به دلیل اینکه اثرات متقابل مقادیر مصرفی کاه و کلش و کلاس بافت خاک بر رطوبت ظرفیت مزرعه (FC) معنی‌دار نبود، لذا مقایسه میانگین برای آن در جدول ۲ آورده نشد.افزودن کاه و کلش در مقادیر ۱ تا ۵ درصد وزنی موجب افزایش معنی‌دار رطوبت نقطه پژمردگی دائم (PWP) فقط در تیمار ۵ درصد خاک لوم شنی گردید (جدول ۲). دلیل این مسأله را می‌توان به وجود ذرات شن فراوان در خاک لوم شنی نسبت داد که تنها بالاترین مقدار مصرفی کاه و کلش توانست رطوبت نگهداری شده در مکش ۱۵ بار یا همان آب جذب سطحی شده را از طریق افزایش احتمالی سطح ویژه ذرات خاک (Hillel, 1998; Warrick, 2002) افزایش دهد. در حالی‌که در خاک

لوم رسی، افزودن مقادیر مصرفی کاه و کلش باعث افزایش رطوبت PWP از ۶۳/۲ تا ۱۰۸/۵ درصد نسبت به شاهد گردید که دلیل آن را می‌توان به وجود رس زیاد که باعث حفاظت از ماده آلی و افزایش سطح ویژه خاک می‌گردد، نسبت داد. همبستگی مثبت و معنی-دار ($r=۰/۶۹^{**}$) بین کربن آلی و رطوبت PWP (جدول ۱) نیز در این راستا می‌باشد.

رطوبت قابل استفاده (AWC) با افزایش مقدار کاه و کلش مصرفی از ۱ تا ۵ درصد به ترتیب و به میزان ۶۲/۲۷ تا ۱۰۵/۷ درصد در تیمارهای لوم شنی و ۱۰/۹۴ تا ۹۶/۳۵ درصد در تیمارهای لوم رسی نسبت به شاهد افزایش نشان داد (جدول ۲). اگرچه این افزایش فقط در تیمارهای لوم شنی با کاه وکلش ۲ تا ۵ درصد و لوم رسی با کاه و کلش ۵ درصد نسبت به شاهد معنی‌دار شد. می‌توان چنین گفت که مقادیر مصرفی کاه و کلش از طریق افزایش بیشتر رطوبت FC در مقایسه با PWP موجب افزایش رطوبت AWC گردید. همبستگی قوی و معنی‌دار رطوبت FC با AWC ($r=۰/۸۴^{**}$) در مقایسه با رطوبت PWP با AWC ($r=0.19$) مؤید این موضوع می‌باشد (جدول ۱). مولومبا و لال (Mulumba & Lal, 2008) گزارش کردند استفاده از کاه و کلش گندم در مقادیر ۲ تا ۱۶ مگاگرم در هکتار به مدت ۱۱ سال باعث افزایش رطوبت AWC (افزایش اختلاف بین رطوبت FC و PWP) به مقدار ۱۸ تا ۳۵ درصد در یک خاک لوم سیلتی گردید. بر اساس جدول ۲، بین رطوبت AWC در تیمارهای شاهد خاک لوم شنی و لوم رسی پس از ۶ ماه انکوباسیون اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. ولی رطوبت AWC (اختلاف بین رطوبت FC و PWP) در برخی تیمارهای کاه و کلش (۱ تا ۵ درصد) در خاک لوم رسی در مقایسه با خاک لوم شنی به طور معنی‌دار کاهش نشان داد که دلیل آن را می‌توان به مقادیر زیاد رطوبت PWP در تیمارهای کاه وکلش خاک لوم رسی در مقایسه با لوم شنی (جدول ۲) نسبت داد.

اثرات کاه و کلش و کلاس بافت خاک بر پارامترهای α و n مدل منحنی رطوبتی ون-گنوختن و شاخص S_p دکستر

مقادیر مصرفی کاه و کلش باعث کاهش پارامتر α در مدل ون‌گنوختن (Van Genuchten, 1980) به مقدار ۱۲/۶۷ تا ۵۹/۱۵ درصد در تیمارهای خاک لوم شنی و ۲۵ تا ۴۵ درصد در تیمارهای خاک لوم رسی نسبت به شاهد گردید (جدول ۲). می‌توان چنین استنباط نمود که به‌کارگیری کاه و کلش از طریق کاهش منافذ ماکرو (جدول ۳) باعث کاهش قطر درشت‌ترین منفذ و در نتیجه کوچکتر شدن پارامتر α گردید. پارامتر α تقریباً معادل عکس مکش ورود هوا در خاک (h_a) یا همان مکش متناظر با قطر درشت‌ترین منفذ می‌باشد ($\alpha=\frac{1}{h_a}$). بنابراین هر عاملی که روی توزیع اندازه منافذ اثر بگذارد، α را هم تحت تاثیر قرار خواهد داد (Asghari *et al.*,2016). یافته‌های دکستر (Dexter, 2004) نشان داد که مقدار پارامتر α از 1/hPa ۰/۰۲۱۷ در خاک رسی به 1/hPa ۰/۰۶۷۱ در خاک شنی به دلیل افزایش قطر منافذ خاک تغییر یافت. امامی و آستارایی (Emami & Astaraei, 2012) نیز گزارش نمودند افزودن ۱۰ تن در هکتار کمپوست زباله شهری به یک خاک لوم رسی شنی باعث کاهش معنی‌دار α از ۰/۰۳۰۱ به 1/cm ۰/۰۲۴۳ گردید.

اثرات متقابل مقادیر مصرفی کاه و کلش و کلاس بافت خاک بر پارامتر n مدل ون‌گنوختن (جدول ۲) نشان می‌دهد که به‌کارگیری کاه و کلش در مقادیر ۱ تا ۵ درصد وزنی، باعث افزایش پارامتر n از ۱/۳۳ (شاهد) به‌ترتیب به ۱/۳۹ و ۱/۶۲ در خاک لوم شنی و از ۱/۷۲ (شاهد) به ۱/۷۵ و ۱/۸۶ در خاک لوم رسی گردید. به‌طور کلی مشاهده می‌شود تیمارهای لوم رسی در مقایسه با لوم شنی از پارامتر n بالاتری برخوردارند. به‌نظر می‌رسد افزودن کاه و کلش از طریق کاهش منافذ ماکرو و مزو و افزایش منافذ میکرو ناشی از خاکدانه‌سازی (جدول ۲) باعث جابجایی بیشتر قسمت‌های میانی شکل منحنی رطوبتی (در این مقاله آورده نشده است) به سمت بالای شاهد در تیمارهای لوم رسی نسبت به لوم شنی گردیده است. همبستگی مثبت بین پارامتر n با MWD خاکدانه‌ها ($r=۰/۸۱^{**}$) و همبستگی منفی آن با منافذ ماکرو ($r=۰/۶۷^{**}$) نیز این قضیه را تأیید می‌کند. واقعیت آن است که n پارامتر شکل منحنی رطوبتی بوده و با افزایش مقدار رس و

کربن آلی در خاک، مقدار آن نیز بزرگ‌تر می‌گردد (Dexter, 2004). امامی و آستارایی (Emami & Astaraei, 2012) نشان دادند افزودن کمپوست زباله شهری موجب افزایش پارامتر n در یک خاک لوم رسی شنی از ۱/۱۸۳ به ۱/۲۸۶ گردید. سیلوا و همکاران (Silva *et al.*,2011) نیز بیان نمودند در اثر تغییر کاربری اراضی از مرتعی به زراعی، به ترتیب کربن آلی از ۳/۵۲ به ۲/۲۸ درصد و تخلخل ریز از ۳۳/۳ به ۳۰/۹ درصد کاهش و در نتیجه پارامتر n مدل ون-گنوختن از ۲/۷۹ به ۱/۳۸ در یک خاک لوم شنی کاهش یافت.

جدول ۲ نشان می‌دهد که استفاده از کاه و کلش در مقادیر مصرفی باعث ارتقای کیفیت فیزیکی خاک به دلیل افزایش شیب منحنی رطوبتی (شاخص S_p دکستر) به مقدار ۳۲/۶۱ تا ۷۳/۹۱ درصد در تیمارهای لوم شنی و ۵/۶۲ تا ۳۸/۲ درصد در تیمارهای لوم رسی درمقایسه با شاهد گردید. اگرچه بیشترین مقدار S_p (۰/۱۲۳) در تیمار ۵ درصد خاک لوم رسی و کمترین مقدار آن (۰/۰۴۶) در تیمار شاهد خاک لوم شنی یافت شد، ولی شدت تأثیر کاه و کلش در افزایش شاخص کیفیت فیزیکی (S_p) خاک لوم شنی بیشتر از لوم رسی بود. همچنین اختلاف بین S_p درکلیه مقادیر مصرفی کاه و کلش (۱ تا ۵ درصد) با شاهد در خاک لوم شنی معنی‌دار شد ولی تنها بالاترین مقدار مصرفی کاه و کلش (۵ درصد) توانست S_p خاک لوم رسی را به‌طور معنی‌دار نسبت به شاهد افزایش دهد. می‌توان چنین استنباط نمود که استفاده از کاه و کلش از طریق افزایش کربن آلی، پایداری خاکدانه‌ها و کاهش جرم ویژه ظاهری و منافذ ماکرو باعث افزایش S_p خاک لوم شنی و لوم رسی گردیده است. وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین S_p با کربن آلی ($r=0.73^{**}$)، MWD خاکدانه‌ها ($r=0.85^{**}$) و AWC ($r=0.63^{**}$) و همبستگی معنی‌دار و منفی بین S_p با جرم ویژه ظاهری ($r=0.76^{**}$) و منافذ ماکرو ($r=0.77^{**}$)و پارامتر α ($r=0.89^{**}$)شاهدی بر این ادعا می‌باشد. افزایش شاخص S_p دکستر در اثر به‌کارگیری اصلاح کننده‌های آلی توسط هیرنسیا و همکاران (Herencia *et al.*, 2011)، اصغری و همکاران (Asghari*et al.*, 2011) و امامی و آستارایی (Emami & Astaraei, 2012) نیز گزارش شده است. نتایج پژوهش سیلوا و همکاران (Silva *et al.*, 2011) نشان داد که مقدار شاخص S_p دکستر از ۰/۰۵ در خاک مرتعی به ۰/۰۲۲ در خاک زراعی به دلیل کاهش کربن آلی و افزایش جرم ویژه ظاهری تغییر یافت. امامی و همکاران (Emami *et al.*, 2012) دامنه تغییرات S_p را برای ۷۰ نمونه خاک برداشته شده از استان تهران از ۰/۰۷۴ تا ۰/۲۱ گزارش کرده و رابطه همبستگی بین S_p با کربن آلی را مثبت و معنی‌دار ($r=0/364^{**}$) و با جرم ویژه ظاهری، منفی و معنی‌دار ($r=0/24^{**}$) به‌دست آوردند.

نتیجه‌گیری کلی

به‌کارگیری کاه و کلش گندم باعث افزایش کربن آلی، MWD خاکدانه‌ها، K_s، رطوبت‌های اشباع و AWC، تخلخل کل، منافذ میکرو، پارامتر n مدل منحنی رطوبتی ون‌گنوختن و شاخص S_p دکستر و کاهش جرم ویژه ظاهری، منافذ ماکرو و مزو و پارامتر α ون-گنوختن در هر دو خاک لوم شنی و لوم رسی منتخب از منطقه نیمه‌خشک گردید. شدت تأثیر کاه و کلش بر کربن آلی، MWD، K_s، AWC، پارامترهای α و n در خاک لوم شنی به مراتب بیشتر از لوم رسی بود. در تمامی تیمارها شاخص S_p بالاتر از حد بحرانی (۰/۰۳۵) گزارش شده توسط دکستر (Dexter, 2004) برای کیفیت فیزیکی خاک بود. با عنایت به اینکه تأثیر افزودن مواد آلی بر بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک در شاخص S_p نمایان است، لذا به علت عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین مقادیر S_pدر تیمارهای ۲ تا ۵ درصد خاک لوم شنی و تیمارهای صفر (شاهد) تا ۳ درصد خاک لوم رسی و نیز با در نظر گرفتن هزینه به‌کارگیری کاه و کلش در منطقه نیمه‌خشک مورد مطالعه، تیمارهای ۲ و ۵ درصد وزنی کاه و کلش به‌عنوان بهترین مقدار مصرفی به‌ترتیب برای ارتقای کیفیت فیزیکی خاک لوم شنی و لوم رسی تعیین می‌گردد. البته جهت مقایسه دقیق تأثیر کاه و کلش بر کیفیت فیزیکی خاک‌های ریز و درشت بافت، انجام آزمایشات تکمیلی مزرعه‌ای در شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه ضروری به نظر می‌رسد.

References

Asghari Sh., Abbasi F., and Neyshabouri M.R. 2011. Effects of soil conditions on physical quality and bromide transport properties in a sandy loam soil. *Biosystems Engineering*, 109: 90-97.

Asghari Sh., Ahmadnejad S., and KeivanBehjou F. 2016. Deforestation effects on soil quality and water retention curve parameters in eastern Ardabil, Iran. *Eurasian Soil Science*, 49 (3): 338–346.

Bauer A., and Black A.L. 1992. Organic carbon effects on available water capacity of three soil textural groups. *Soil Science Society of America Journal*, 56: 248-254.

Blake G.R., and Hartge K.H. 1986a. Bulk Density. *In:* Klute A. (ed.). Methods of Soil Analysis. Part 1. 2nd ed. Agronomy Monograph 9, ASA, Madison, WI, pp. 363-375.

Blake G.R., and Hartge K.H. 1986b. Particle density.*In:* Klute, A. (ed.). Methods of Soil Analysis. Part 1. 2nd ed. Agronomy Monograph 9, ASA, Madison, WI, pp. 377-381.

Danielson R.E., and Sutherland P.L. 1986. Porosity. *In*: Klute, A. (ed.). Methods of Soil Analysis. Part 1. 2nd ed. Agronomy Monograph 9, ASA, Madison, WI, pp. 443-461.

Dexter A.R., and Bird N.R.A. 2001. Methods for predicting the optimum and the range of soil water contents for tillage based on the water retention curve. *Soil and Tillage Research,* 57: 203- 212.

Dexter A.R. 2004. Soil physical quality, Part I: Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*, 120: 201-214.

Dexter A.R. and Czyz E.A. 2007.Applications of S-theory in the study of soil physical degradation and its consequences. *Land Degradation Development*, 18: 369–381.

Emami H., and Astaraei A.R. 2012. Effect of organic and inorganic amendments on parameters of water retention curve, bulk density and aggregate diameter of a saline-sodic soil. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14: 1625-1636.

Emami H., Neyshabouri M.R., and Shorafa M. 2012. Relationships between some soil quality indicators in different agricultural soils from Varamin, Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14: 951-959.

Fathololomi S., and Asghari Sh. 2015. Effects of Ardabil municipal sewage sludge on some physical and hydraulic properties of a coarse-texture soil under wheat cultivation. *Water and Soil Science*, 24 (4): 169-183. (In Persian)

Foth H.D. 1984. Fundamental of Soil Science. John Wiley and Sons, INC. USA, 384p.

Gardner W.H. 1986. Water content. *In*: Klute A. (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 1. 2nd ed. Agronomy Monograph 9, ASA, Madison, WI, pp. 493-544.

Herencia J.F., Garcia-Galavis P.A., and Maqueda C. 2011. Long-term effect of organic and mineral fertilization on soil physical properties under greenhouse and outdoor management practices. *Pedosphere*, 21(4): 443–453.

Hillel D. 1998. Environmental Soil Physics. Academic Press. USA, 494p.

Kahlon M.S., Lal R., and Ann-Varughese M. 2013. Twenty two years of tillage and mulching impacts on soil physical characteristics and carbon sequestration in Central Ohio. *Soil and Tillage Research*, 126: 151–158.

Kemper A., and Rosenau R. 1986. Aggregate stability and size distribution. *In*: Klute A. (Eds.), Methods of Soil Analysis.Part 1.2nd ed. Agronomy Monograph 9, ASA, Madison, WI, pp. 425-437.

Klute A. 1986. Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. 2nd ed. Agronomy Monograph 9, ASA, Madison, WI, 1188p.

Klute A., and Dirksen C. 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods. In: Klute A. (Eds.). Methods of Soil Analysis. Part 1. 2nd ed. Agronomy Monograph 9, ASA, Madison, WI, pp. 687-734.

Li L., Chan K.Y, Niu Y., Li G., Oates A., Dexter A., and Huang G. 2011. Soil physical qualities in an OxicPaleustalf under different tillage and stubble management practices and application of S theory. *Soil and Tillage Research,* 113: 82–88.

Mulumba L.N., and Lal R. 2008. Mulching effect on selected soil physical properties. *Soil and Tillage Research*, 98: 106-111.

Mousavi S.F., Moazzeni M., Mostafazadeh-FardA., and Yazdani M.R.2012. Effects of rice straw incorporation on some physical characteristics of paddy soils. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14: 1173-1183.

Nelson D.W., and Sommers L.E. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. *In*: Page A.L. (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd ed. Agronomy Monograph 9, ASA, Madison, WI, pp. 539-579.

Page A.L. (Eds.). 1985. Methods of Soil Analysis. Part 2, Chemical and Microbiological Methods, 2nd ed. Agronomy No. 9. *American Society of Agronomy*, Madison, WI, 1150p.

Sadeghian N., Neyshabouri M.R., Jafarzadeh A.A., and Tourchi M. 2007. Investigation the effects of three amendment on physical properties of soil surface layer. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 37(2): 341-351. (In Persian)

Shirani H., Rizahbandi E., Dashti H., Mosaddeghi M.R., and Afyuni M. 2011. Effect of pistachio waste on some soil physical characteristics and compatibility of two soil types. *Journal of Science and Technology of Agricultural and Natural Resources-Water and Soil Science*, 15 (55): 85-98. (In Persian)

Soil Science Society of America (SSSA). 1997. Glossary of soil science terms. *Soil Science Society of AmericaJourna*. Madison, WI, 47p.

Silva G.L., Lima H.V., Campanha M.M., Gilkes R.J., and Oliveira T.S. 2011. Soil physical quality of Luvisols under agroforestry, natural vegetation and conventional crop management systems in the Brazilian semi-arid region. *Geoderma*, 167-168: 61–70.

Van Genuchten M.Th. 1980. A closed-from equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 44: 892-898.

Van Genuchten M.Th. Leij F.J., and Yates S.R. 1991. The RETC code for quantifying the hydraulic function of unsaturated soils. US Salinity Laboratory and USDA Agricultural Research Service, Riverside, California, 92501.

Warrick A.W. 2002. Soil Physics Companion. CRC Press, 389p.

Comparison of the Effects of Straw on Physical Quality of Two Fine and Coarse-Textured Soils from Moghan Plain, NorthWest of Iran

Shokrollah Asghari[1*], Sakineh Salahshoor[2]

(Received: January 2016 Accepted:July 2016)

Abstract

In this study, the effects of wheat straw on physical quality indices of two sandy loam and clay loam soils were compared. Factorial experiment was conducted as a randomized block design at 4 replicates. The first factor was straw used rates at 5 levels including 0, 1, 2, 3 and 5 mass percent; the second factor was 2 soil textural classes. Soil columns were incubated at the temperature of 22±4 °C and moisture of 50 to 75 percent of field capacity for 6 months then soil properties measured at the end of sixth month. The α and n parameters of van Genuchten model using RETC software, pore size distribution and Dexter S_p value using soil moisture curve data were calculated. Application of straw at the rates of 1 to 5%, significantly increased mean weight diameter (MWD) of aggregates from 87.5 to 358.3 and 27.87 to 104.92%, saturated hydraulic conductivity from 22.94 to 195.41 and 80 to 162.58%, available water capacity (AWC) from 16.27 to 105.7 and 10.94 to 96.35%, n parameter from 4.5 to 21.8 and 1.74 to 8.14% and S_p from 32.61 to 73.91 and 5.62 to 38.2% and decreased α parameter from 12.67 to 59.15 and 25 to 45% in sandy loam and clay loam soils, respectively. Consequently, improving effects of straw at the used rates on the sandy loam soil was more observable than clay loam soil.

Keywords: Aggregate stability, Crop residue, Dexter S_p value, Pore size distribution, Soil texture

1-Asociate Professor of Department of Soil Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Univercity of Mohaghegh-Ardabili

2- Former MSc student of Soil Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Univercity of Mohaghegh-Ardabili

* Corresponding author Email: shasghari@uma.ac.ir