نشریه دانش آب و خاک / جلد23 شماره3 صفحه‌های 207 تا 219/ سال 1392

تأثیر توزیع اندازه ذرات اولیه بر پایداری خاکدانه در کلاس‌های مختلف اندازه

مجید محمودآبادی[1*] و بهاره احمدبیگی[2]

تاریخ دریافت: 90/11/24 تاریخ پذیرش: 91/11/07

[1-] دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

[2-] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

[*] مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mahmoodabadi@uk.ac.ir

چکیده

توزیع اندازه ذرات یکی از ویژگی‌های مهم فیزیکی خاک محسوب می‌شود که خود شامل توزیع اندازه ذرات اولیه و ثانویه می‌باشد. تحقیق حاضر به بررسی ارتباط بین توزیع اندازه ذرات اولیه (شن، سیلت و رس) و ثانویه (خاکدانه) در مقیاس‌های مختلف اندازه خاکدانه می‌پردازد. به این منظور، نمونه‌برداری خاک از شش سیستم کشت شامل گندم، جو، ذرت، یونجه، آیش و زمین شخم‌خورده، از دو عمق 10-0 و 20-10 سانتی‌متر در سه تکرار انجام شد. هر نمونه خاک اصلی به سه کلاس اندازه‌ای (نمونه فرعی) شامل 0/25-0 میلی‌متر (کلاس ریز)، 1-0/25 میلی‌متر (کلاس متوسط) و 5-1 میلی‌متر (کلاس بزرگ) تقسیم گردید. نتایج نشان داد که سیستم کشت تأثیر معنی‌داری بر توزیع اندازه ذرات ثانویه در سطح احتمال یک درصد دارد. برای خاک‌های اصلی، درصد شن و سیلت به‌ترتیب همبستگی منفی و مثبت معنی‌داری با درصد خاکدانه‌های بزرگتر از 0/25میلی‌متر نشان دادند در حالی‌که تأثیر رس از این نظر معنی‌دار نشد. درصد ذرات اولیه شن، سیلت و رس در هر سه کلاس اندازه خاکدانه، تفاوت معنی‌داری با سایر کلاس‌ها داشت، به نحوی‌که با افزایش اندازه خاکدانه‌ها (به سمت کلاس‌های بزرگتر)، فراوانی ذرات شن افزایش و درصد ذرات سیلت و رس کاهش معنی‌داری نشان داد. سه کلاس اندازه خاکدانه‌های ریز، متوسط و درشت، به ترتیب حاوی 45/5، 55/9 و 60/8 درصد شن، 36/0، 27/5 و 24/3 درصد سیلت و 17/8، 16/6 و 14/8 درصد رس بود. البته در هر سه کلاس اندازه خاکدانه‌ها، درصد ذرات شن بیشتر از درصد سیلت و رس بود. با افزایش اندازه خاکدانه‌ها از کلاس اندازه 1-0/25 به کلاس 5-1 میلی‌متر، درصد ذرات پایدار در آب بزرگتر از 0/25میلی‌متر افزایش معنی‌داری نشان داد. نتایج همچنین حاکی از آن بود که در دو کلاس اندازه 5-1 و 1-0/25 میلی‌متر، درصد شن همبستگی منفی و معنی‌داری با درصد خاکدانه‌های پایدار در آب بزرگتر از 0/25 میلی‌متر نشان داد در حالی‌که این همبستگی با درصد سیلت و رس مثبت بود. یافته‌های این تحقیق روشن ساخت که هرچند با افزایش اندازه ذرات ثانویه، فراوانی ذرات شن افزایش و درصد ذرات سیلت و رس کاهش می‌یابد ولی شن باعث کاهش و سیلت و به‌ویژه رس باعث افزایش پایداری خاکدانه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بافت خاک، پایداری خاکدانه، توزیع اندازه ذرات، سیستم کشت

Effect of Primary Particle Size Distribution on Aggregate Stability at Different Size Classes

M Mahmoodabadi[1*] and B Ahmadbeygi[2]

Received: 13 February 2012 Accepted: 26 January 2013
[1-]Assoc. Prof., Dep. of Soil Sci., Faculty of Agric., Shahid Bahonar Univ. of Kerman. Iran
[2-]M.Sc. Student, Dep. of Soil Sci., Faculty of Agric., Shahid Bahonar Univ. of Kerman. Iran
[*]Corresponding Author E.mail: mahmoodabadi@uk.ac.ir

Abstract

Particle size distribution (PSD) is one of the most important soil physical properties consisting of the primary and secondary PSD. The purpose of this study was to investigate the relationship between the primary PSD (sand, silt and clay) and the secondary PSD at different scales of aggregates. Sampling was done from two soil layers of 0-10 and 10-20 cm at farms with different cultivation systems including wheat, barley, maize, alfalfa, fallow and tilled lands, with three replications. Each soil sample was divided into three subsamples (size classes) of 0-0.25mm, 0.25-1mm and 1-5 mm. Results showed that the cultivation system had significant effects ($p<0.01$) on the secondary PSD. There was a negative significant correlation between the sand percentage and water stable aggregates(WSA) >0.25mm, while the correlation was positive for the silt fraction. Moreover, clay content had no significant influence on the WSA>0.25mm. The percentages of sand, silt and clay particles in all the aggregate classes were significantly different, so that with increasing the aggregates size, the sand fraction increased, while the silt and clay contents significantly decreased. The fine, medium and large aggregate classes consisted of 45.5, 55.9 and 60.8 percent of sand, 36.0, 27.5 and 24.3 percent of silt and finally 17.8, 16.6 and 14.8 percent of clay, respectively. However, in the all classes, the content of sand was higher than those of silt and clay. In addition, with increasing aggregate size from 0.25-1 mm to 1-5 mm, the percentage of WSA>0.25mm increased, significantly. The results also indicated that in these two classes, the sand fraction had negative relationship with the WSA>0.25mm, while the relationships for silt and clay particles were positive. The findings of this research revealed that although the content of sand was higher in larger aggregates, but sand particles led to aggregate instability, however silt and particularly clay particles improved aggregate stability.

Keywords: Aggregates stability, Cultivation system, Particle size distribution, Soil texture.

مقدمه

توزیع اندازه ذرات (PSD)[1] یکی از ویژگی‌های مهم فیزیکی خاک است (اسکاگز و همکاران 2001) و تعیین آن از این نظر که در ارتباط نزدیک با تخلخل، تغییرات دما و رطوبت و فرآیندهای فرسایش می‌باشد، برای رشد گیاه و تولید محصول حائز اهمیت است (دیاززوریتا و همکاران 2007). به دلیل اینکه اندازه‌گیری مستقیم ویژگی‌های هیدرولیکی خاک، اغلب زمان‌بر و پرهزینه است (هوانگ و پاورز 2003). بنابراین، PSD به‌طور گسترده‌ای برای تخمین این ویژگی‌ها استفاده می‌شود (هوانگ 2004).

به‌طور کلی دو نوع توزیع اندازه ذرات در خاک شامل توزیع ذرات اولیه (PPSD)[2] و توزیع ذرات ثانویه (SPSD)[3] از یکدیگر قابل تفکیک است (شیرازی و همکاران 2001، اسکاگز و همکاران 2001). توزیع اندازه ذرات اولیه، فراوانی نسبی ذرات اولیه رس، سیلت و شن را نشان می‌دهد. از کنار هم قرارگیری و هم‌آوری ذرات اولیه، ذرات ثانویه تشکیل می‌شود که در کلاس‌های اندازه‌ای متفاوتی، توزیع یافته‌اند. در این ارتباط، خاکدانه به عنوان واحد ساختمان، یکی از اجزای اساسی خاک بوده که اندازه و پایداری آن معیار مهمی در ارزیابی وضعیت فیزیکی و فرسایش‌پذیری محسوب می‌شود. خاکدانه‌ها ذرات ثانویه‌ای هستند که بر اثر هم‌آوری ذرات اولیه رس، سیلت و شن به همراه مواد آلی و سایر عوامل اتصال‌دهنده تشکیل می‌شوند (برونیک و لال 2005). همچنین بر اثر هم‌آوری خاکدانه‌های کوچکتر، ذرات بزرگ‌تر ایجاد می‌شوند. بنابراین، فرآیند خاکدانه-سازی باعث تشکیل خاکدانه‌های با اندازه مختلف و ایجاد توزیعی از اندازه ذرات خاک می‌شود.

تعیین میزان پایداری خاکدانه‌ها شاخص مهمی در کیفیت فیزیکی خاک محسوب می‌شود (سیکس و همکاران 2000). علاوه بر این، اندازه‌گیری توزیع اندازه ذرات، در تعیین رفتار خاک و مقاومت آن در مقابل عوامل محیطی اهمیت دارد (آلاگوز و ایلماز 2009). هر دو عامل پایداری خاکدانه و توزیع اندازه ذرات خاک، تأثیر قابل توجهی بر ویژگی‌های فیزیکی (تهویه، نفوذپذیری و قابلیت نگهداری آب) دارند که این موضوع برای رشد گیاهان و ریزجانداران حیاتی است (دومینگوئز و همکاران 2001). برای طبقه‌بندی خاکدانه‌ها از نظر پایداری، از معیارهایی نظیر اندازه و مقاومت در برابر ورود آب استفاده می-شود (مارکوئز و همکاران 2004). تعیین توزیع اندازه ذرات با روش‌های الک نمودن در دو حالت تر و خشک[4]، هیدرومتری و پیپت و همچنین از طریق انکسار لیزری[5] (اسکاگز و همکاران 2001، اشل و همکاران 2004) ممکن است.

عوامل متعددی بر پایداری و توزیع اندازه ذرات خاک تأثیر دارد که در برخی تحقیقات نقش ذرات اولیه نیز مورد توجه قرار گرفته است. راسیا و کای (1994) عنوان کردند که رس عامل مهمی در پیوند دادن ذرات اولیه خاک به همدیگر و تشکیل خاکدانه‌ها می‌باشد. این محققان دریافتند که پایداری خاکدانه‌ها که با روش الک تر تعیین می‌شود، با افزایش میزان رس افزایش می‌یابد. همچنین کورتین و همکاران (1994) ابراز داشتند که رس قابل پراکنش، همبستگی منفی با پایداری خاکدانه دارد. ترنان و همکاران (1996) از رس به عنوان ملات بین ذرات خاک نام برده و به این نتیجه رسیدند که افزایش میزان رس، بهبود پایداری خاکدانه را به دنبال دارد. دنف و همکاران (2001) به این نتیجه رسیدند که مقدار کل و همچنین نسبت خاکدانه‌های پایدار در آب ممکن است به صورت تابعی از نوع خاک و کانی‌شناسی رس، افزایش و یا کاهش پیدا کند. دومینگوئز و همکاران

[1] Particle Size Distribution (PSD)
[2] Primary Particle Size Distribution (PPSD)
[3] Secondary Particle Size Distribution (SPSD)
[4] Wet and Dry Sieving
[5] Laser Diffraction

(2001) معتقدند که مقادیر بیشتر از 350 گرم بر کیلوگرم، رس نقش غالب را در تشکیل و پایداری خاکدانه بازی می‌کند ولی در مواردی که میزان رس کمتر از 100 گرم بر کیلوگرم باشد، برای تشکیل خاکدانه، حضور موجودات خاکزی هم لازم است. از اتصال ذرات رس و سیلت، خاکدانه‌های ریز شکل می-گیرند، در حالی که خاکدانه‌های ریز و درشت می‌توانند به‌وسیله هیف‌های قارچی تشکیل خاکدانه‌های درشت‌تر را دهند (باسویت و همکاران 2001). اپارا (2009) ابراز داشت که مقادیر قابل ملاحظه رس، اثر مطلوبی روی خاکدانه‌سازی و پایداری خاکدانه دارد. در مقابل، برخی دیگر از محققان به نتایج متناقضی در این زمینه رسیده-اند، به طوری که بارتز و همکاران (2008) عنوان کرده‌اند اندازه خاکدانه‌ها، متأثر از بافت خاک نیست.

یکی از عوامل دیگری که بر پایداری خاکدانه تأثیرگذار است، کاربری و مدیریت اراضی بوده که در این زمینه سیستم کشت نقش مهمی را در پایداری خاکدانه و توزیع اندازه ذرات ایفا می‌کند (لبرون و همکاران 2002). توزیع اندازه خاکدانه‌ها و پایداری آن‌ها می‌تواند به‌طور قابل توجهی با روش خاک‌ورزی تغییر کند (بییر و همکاران 1994). به همین دلیل پیگزوتو و همکاران (2006) عنوان داشتند که توزیع اندازه ذرات تحت تأثیر عملیات خاک‌ورزی مختلف، متفاوت است. تحقیق حاضر با هدف بررسی ارتباط بین توزیع اندازه ذرات اولیه (شن، سیلت و رس) و پایداری خاکدانه در کلاس‌های مختلف اندازه انجام شده است.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری

نمونه‌برداری از منطقه‌ای واقع در شمال غربی کرمان با طول جغرافیایی 55 درجه و 24 دقیقه و 9/3 ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی 30 درجه و 4 دقیقه و 49/8 ثانیه شمالی و در ارتفاع 1881 متری از سطح دریا در فاصله 30 کیلومتری از شهر بردسیر صورت گرفت. برای انجام این تحقیق از اراضی زیر شش نوع کشت مختلف شامل گندم، جو، ذرت، یونجه، آیش و زمین شخم‌خورده در تابستان 1388 نمونه‌برداری گردید. بدین ترتیب که از هر کاربری، نمونه‌برداری از دو عمق 10-0 و 20-10 سانتی‌متر در سه تکرار انجام شد. کشت این گیاهان در منطقه در ابتدای فصل بهار انجام می‌شود. بعد از هوا خشک کردن، بخشی از نمونه‌ها کوبیده و از الک 2 میلی‌متری عبور داده شد تا تجزیه فیزیکی و شیمیایی روی آن‌ها انجام گیرد. بافت به روش هیدرومتری، توزیع اندازه ذرات ثانویه با استفاده از شیکر الک و سری الک در دو حالت تر و خشک، و جرم مخصوص ظاهری به روش کلوخه اندازه‌گیری شد (پیج و همکاران 1992). همچنین، میزان pH گل اشباع با دستگاه pH سنج، EC عصاره اشباع با EC سنج، کربن آلی به روش والکی و بلک (1934) و آهک به روش تیتراسیون اندازه‌گیری شد (پانسو و گاتیرو 2006). بخش دیگری از الک 5 میلی-متری به منظور تعیین پایداری خاکدانه، عبور داده شد.

تهیه نمونه فرعی بر اساس توزیع اندازه ذرات

مقدار 50 گرم از هر نمونه خاک روی ردیفی از الک‌ها با اندازه‌های 5، 2، 1، 0/5، 0/25 و 0/125 میلی‌متر ریخته و با استفاده از دستگاه شیکر الک به مدت دو دقیقه در شرایط خشک غربال گردید (کمپر و روزناو 1986). سپس مقدار خاک باقی مانده روی هر الک توزین شد و پس از رسم منحنی توزیع تجمعی ذرات و تجزیه آماری، بهترین مرز برای ایجاد سه زیرکلاس از خاکدانه‌ها به‌دست آمد. بر این اساس، دو مزر با اندازه-های یک و 0/25 میلی‌متر انتخاب شد، به نحوی که تقریباً یک سوم از جرم هر نمونه خاک در دامنه بین آن‌ها قرار بگیرد. در نتیجه هر نمونه خاک اصلی به سه کلاس اندازه خاکدانه شامل؛ صفر تا 0/25، 0/25 تا 1 و 1 تا 5 میلی‌متر با جرم یکسان تقسیم گردید. در مجموع علاوه بر 36 نمونه خاک اصلی، 108 نمونه فرعی تهیه گردید.

تعیین توزیع اندازه ذرات اولیه و ثانویه

در این تحقیق برای تعیین توزیع اندازه ذرات اولیه، پس از حذف عوامل اتصال‌دهنده، از روش هیدرومتری (پیج و همکاران 1992) استفاده شد و درصد شن، سیلت و رس در آنها مشخص گردید. همچنین توزیع ذرات ثانویه در همه نمونه‌ها با استفاده از روش الک تر تعیین گردید (کمپر و روزناو 1986). به این منظور ابتدا مقدار 10 گرم از هر خاک روی کاغذ صافی ریخته و سپس به آرامی از زیر اشباع شد. پس از اشباع کامل خاک، نمونه به مدت 24 ساعت در همین شرایط نگهداری و سپس روی ردیفی از الک‌ها ریخته شد. الک-های مورد استفاده شامل اندازه‌های 1، 0/5، 0/25 و 0/125 میلی‌متر بود. نمونه‌ها به مدت 2 دقیقه با نوسان 30 دور در دقیقه و دامنه 1/5 سانتی‌متری در آب غربال شد. این کار برای تمام 36 نمونه خاک اصلی و 108 نمونه فرعی در سه گروه اندازه انجام شد. بعد از خشک و توزن کردن مقدار خاک باقی مانده روی هر الک، توزیع اندازه ذرات ثانویه تعیین گردید. در این تحقیق، برای خاک اصلی، درصد خاکدانه‌های بزرگ‌تر از 0/25 میلی‌متر که به دو روش الک خشک و تر تعیین شد، به-ترتیب با شاخص‌های DSA>0.25mm[1] و نشان داده شد (محمودآبادی و احمدبیگی 1390). علاوه بر این، در مورد نمونه‌های فرعی به دلیل اینکه کوچکترین کلاس دارای ذرات کوچکتر از حد 0/25 میلی-متر بود، درصد ذرات بزرگ‌تر از 0/125 میلی‌متر (به روش الک تر) با WSA>0.125mm نشان داده شد. لازم به ذکر است که در منابع متعددی قطر 0/25 میلی‌متر به عنوان مرز خاکدانه‌های ریز و درشت گزارش شده است (پوگت و همکاران 2000، سیکس و همکاران 2001). بر اساس درصد نسبی ذرات اولیه شن، سیلت و رس و همچنین توزیع اندازه ذرات ثانویه در نمونه‌های خاک اصلی و فرعی، پراکنش ذرات اولیه در کلاس‌های مختلف اندازه خاکدانه تعیین گردید. به‌منظور تجزیه و تحلیل نتایج، مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد، تجزیه واریانس و همبستگی ساده با استفاده از نرم‌افزار SAS و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

ویژگی خاک‌های مورد مطالعه

جدول 1 برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی 36 خاک اصلی را نشان می‌دهد. درصد شن در خاک‌ها، نسبت به رس و سیلت بالا بود به‌طوری‌که کلاس بافت در محدوده لوم تا لوم شنی قرار گرفت. همچنین درصد رس نسبت به شن و سیلت تغییرات بیشتری را نشان داد. مطابق جدول 1 به‌طور میانگین، مقدار DSA>0.25mm بیشتر از WSA>0.25mm و بیش از دو برابر آن بود. با روش الک تر علاوه بر نیروهای ناشی از تکان دادن، به دلیل نیروی حاصل از ورود آب به خاکدانه‌ها، ذرات خرد و ریزتر شد و درصد ذرات بزرگ‌تر از 0/25 میلی‌متر نسبت به شرایط خشک کاهش یافت. تفاوت این دو شاخص مبین درصد ذرات ناپایدار در آب است که برابر با 35/5 درصد بود. همچنین برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در جدول 1 نشان داده شده است. به‌طور کلی، خاک‌ها فاقد محدودیت شوری و یا قلیاییت، میزان کربن آلی خاک‌ها نسبتاً کم و اغلب کمتر از یک درصد و مقدار کربنات کلسیم معادل قابل توجه (به‌طور متوسط 14/41 درصد) بود. یکی از دلایل کم بودن نسبی درصد کربن آلی، تلفات ماده آلی در اثر کشت و کار بیش از حد (اینارد و همکاران 2004) و حذف بقایا پس از برداشت محصول می‌باشد.

توزیع اندازه ذرات خاک‌های اصلی

[1] Dry Stable Aggregates
[2] Water Stable Aggregates

نتایج تجزیه واریانس توزیع اندازه ذرات ثانویه خاک‌های اصلی در جدول 2 ارائه شده است. توزیع اندازه ذرات ثانویه (خاکدانه‌های بزرگتر از 0/25 میلی‌متر در دو حالت تر و خشک) اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بین سیستم‌های کشت داشت. این در حالیست که عمق نمونه‌برداری بر توزیع اندازه ذرات تأثیر معنی‌داری نشان نمی‌دهد. از دلایل این موضوع می‌توان به اختلاط خاک دو عمق مورد مطالعه در اثر عملیات خاک‌ورزی، اشاره کرد. این نتیجه حاصله با نتایج لبرون و همکاران (2002) و همچنین پیگزتو و همکاران (2006) تطابق دارد. این محققان بر این باورند که سیستم کشت نقش مهمی در پایداری خاکدانه و توزیع اندازه ذرات ثانویه دارد. نتایج بررسی انجام شده در این منطقه نشان داد که سیستم کشت تأثیر معنی‌داری بر درصد خاکدانه‌های پایدار بزرگتر از 0/25 میلی‌متر داشت، به نحوی که مطلوب‌ترین سیستم‌ها برای تشکیل خاکدانه‌های درشت در دو حالت خشک و تر به‌ترتیب یونجه و گندم بود (محمودآبادی و احمدبیگی 1390).

جدول 1- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی 36 نمونه خاک اصلی مورد مطالعه.

ویژگی	واحد	میانگین	حداقل	حداکثر	ضریب تغییرات (%)
شن	%	58/26	47/61	70/97	6/16
سیلت	%	30/05	21/13	43/41	14/84
رس	%	11/69	7/5	15/68	28/33
جرم مخصوص ظاهری	$g\ cm^{-3}$	1/36	1/20	1/67	17/91
DSA>0.25 mm	%	63/42	55/04	75/71	10/34
WSA>0.25mm	%	27/92	23/01	33/40	11/07
EC	$dS\ m^{-1}$	0/97	0/36	1/37	32/78
pH	-	7/55	7/3	7/84	1/12
SAR	$(meq\ L^{-1})^{0.5}$	3/66	2/61	5/53	27/43
کربن آلی	%	0/82	0/55	1/18	38/88
کربنات کلسیم معادل	%	14/41	6/33	23/42	44/50

* منظور از DSA>0.25 mm و WSA>0.25 mm درصد خاکدانه‌های بزرگتر از 0/25 میلی‌متر به‌ترتیب در دو حالت خشک و تر است.

جدول 2- نتایج تجزیه واریانس میانگین مربعات توزیع اندازه ذرات ثانویه (خاکدانه) در خاک‌های مورد مطالعه.

منبع تغییرات	درجه آزادی	DSA>0.25 mm	WSA>0.25 mm
سیستم کشت	5	285/42**	71/46**
عمق	1	114/78ns	5/22ns
کشت*عمق	5	14/12ns	3/22ns
خطا	24	42/99	9/56

* معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، ** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، ns عدم معنی‌داری.

نتایج همبستگی ساده بین درصد ذرات اولیه (رس، سیلت و شن) و درصد ذرات ثانویه (خاکدانه‌های بزرگتر از 0/25 میلی‌متر در دو حالت خشک و تر در جدول 3 نشان داده شده است. درصد شن ارتباط منفی

و معنی‌داری با درصد DSA>0.25mm (در سطح احتمال پنج درصد) و WSA>0.25mm (در سطح احتمال یک درصد) داشت. به عبارتی با افزایش میزان شن، پایداری خاکدانه‌ها کاهش یافت. این در حالی است که نتایج بررسی شش سیستم کشت نشان داد که کربن آلی مهم‌ترین ویژگی مؤثر بر پایداری خاکدانه بوده به‌نحوی که با افزایش میزان کربن آلی، درصد ذرات پایدار در آب بزرگتر از 0/25 میلی‌متر افزایش معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد یافت. با این وجود، کربنات کلسیم معادل هیچ ارتباط معنی‌داری با درصد خاکدانه‌های پایدار نمونه‌های خاک اصلی در دو حالت تر و خشک نداشت (محمودآبادی و احمدبیگی 1390). از طرفی، مطابق جدول 3 مشاهده می‌شود که با افزایش میزان سیلت، مقدار DSA>0.25mm در سطح احتمال پنج درصد و مقدار WSA>0.25mm در سطح احتمال یک درصد افزایش یافت. این در حالی است که تأثیر رس بر DSA>0.25mm و WSA>0.25mm معنی‌دار نشد. با این وجود، بسیاری از محققان دریافته‌اند که با افزایش درصد رس، پایداری خاکدانه افزایش می‌یابد (راسیا و کای 1994، باسویت و همکاران 2001). از نتایج این قسمت از تحقیق چنین بر می‌آید که توزیع اندازه ذرات اولیه شن و سیلت بر توزیع ثانویه ذرات در دو حالت خشک و تر تأثیر معنی‌داری دارد. به عبارتی، برای تشکیل خاکدانه‌های درشت و پایدار در آب، تأثیر سیلت بیشتر از رس بود و شن اثر منفی داشت. همچنین به‌نظر می‌رسد ارتباط بیشتری بین توزیع اندازه ذرات اولیه با درصد WSA>0.25mm نسبت به DSA>0.25mm وجود داشته است.

جدول 3- نتایج همبستگی ساده بین درصد ذرات اولیه و درصد ذرات بزرگتر از 0/25 میلی‌متر در دو حالت خشک و تر.

درصد خاکدانه‌ها	شن	سیلت	رس	DSA>0.25mm
DSA>0.25mm	-0/65*	0/61*	0/38ns	1
WSA>0.25mm	-0/67**	0/74**	0/12ns	0/44ns

* معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، ** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

توزیع اندازه ذرات نمونه‌های فرعی

جدول 4 نتایج تجزیه واریانس توزیع اندازه ذرات ثانویه (WSA>0.25mm و WSA>0.125mm) را برای نمونه‌های فرعی نشان می‌دهد. مطابق این جدول، WSA>0.25mm بین سیستم‌های مختلف کشت اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد نشان می‌دهد. به عبارتی، درصد خاکدانه‌های درشت پایدار در آب برای کلاس‌های اندازه‌ای ذرات ثانویه بین سیستم‌های مختلف کشت متفاوت بود که مبین اهمیت کاربری اراضی در پایداری خاکدانه در مقیاس‌های مختلف اندازه ذرات می‌باشد. چنین نتیجه‌ای قبلاً توسط لبرون و همکاران (2002) و همچنین پیگزتو و همکاران (2006) نیز گزارش شده است.

جدول 4- نتایج تجزیه واریانس میانگین مربعات توزیع اندازه ذرات ثانویه برای 108 زیرنمونه.

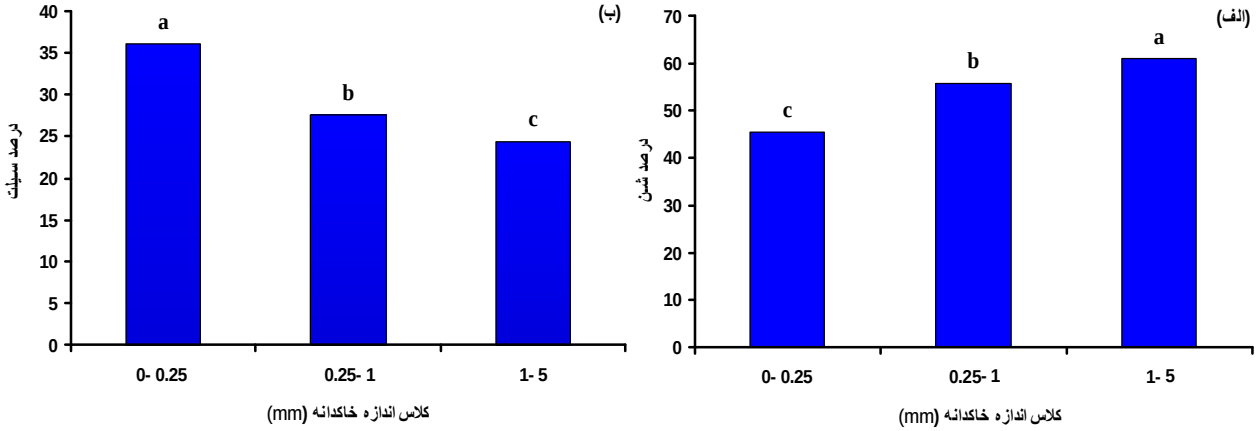
منبع تغییرات	درجه آزادی	WSA>0.25mm	WSA>0.125mm
سیستم کشت	5	84/19*	61/36ns
عمق	1	0/003 ns	7/48 ns
کلاس اندازه	2	19859/1**	7477/22**
کشت*عمق	5	22/93 ns	24/38 ns
کشت* اندازه	10	24/69 ns	20/64 ns
عمق* اندازه	2	4/16 ns	15/5 ns
کشت*عمق*اندازه	10	12/19 ns	7/09 ns
خطا	72	27/5	37/01

* معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، ** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، ns عدم معنی‌داری.

نتایج همچنین حاکی از آن است که اثر عمق بر توزیع اندازه ذرات ثانویه در نمونه‌های فرعی معنی‌دار نبوده که این نتیجه مشابه نتایج مربوط به نمونه خاک-های اصلی است. در مقابل، بین سیستم‌های مختلف کشت توزیع اندازه ذرات ثانویه در کلاس‌های مختلف در سطح احتمال یک درصد متفاوت بود. به عبارتی، درصد ذرات پایدار در آب بزرگتر از 0/25 و 0/125 میلی‌متر در کلاس‌های مختلف اندازه خاکدانه‌ها، متفاوت بود. همچنین مطابق جدول 4 مشاهده می‌شود که اثرات متقابل بین منابع مختلف تغییرات، در اغلب موارد غیرمعنی‌دار بود. لازم به ذکر است که در نمونه‌های خاک فرعی، کربنات کلسیم معادل همبستگی مثبت و معنی‌داری با WSA>0.25mm و WSA>0.25mm در دو کلاس اندازه 5-1 و 1-0/25 نشان داد. اثر مثبت کربنات کلسیم در افزایش پایداری خاکدانه، قبل از این نیز گزارش شده است (شینبرگ و سینگر 1998).

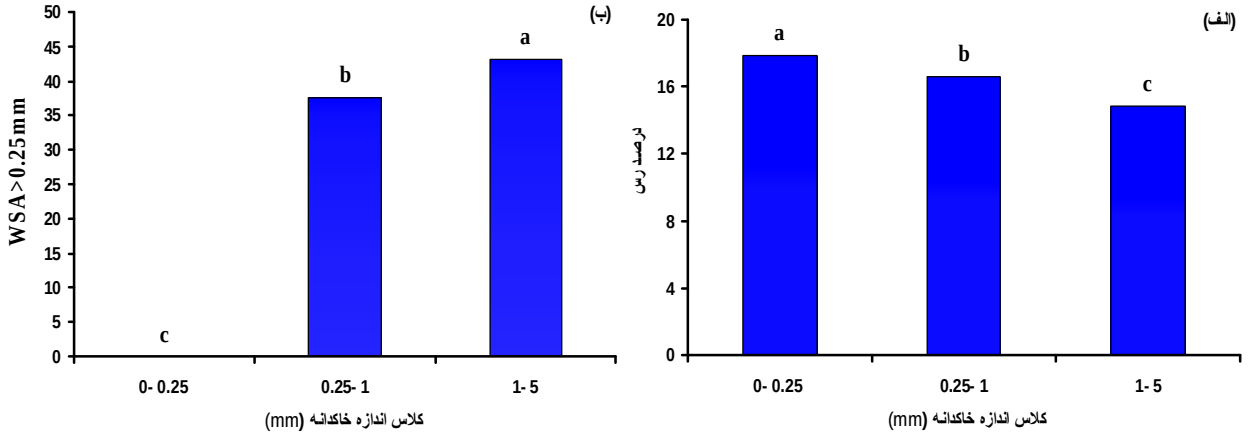
توزیع ذرات اولیه در کلاس‌های اندازه خاکدانه

همان‌گونه که قبلاً گفته شد، هر نمونه خاک اصلی به سه نمونه فرعی (کلاس اندازه خاکدانه) شامل؛ 0/25-0 میلی‌متر (کلاس ریز)، 1-0/25 میلی‌متر (کلاس متوسط) و 5-1 میلی‌متر (کلاس بزرگ) تقسیم‌بندی شد. شکل‌های 1 (الف و ب) و 2 (الف) درصد نسبی ذرات اولیه در سه کلاس اندازه‌ای خاکدانه‌ها را به‌ترتیب برای ذرات شن، سیلت و رس نشان می‌دهد. مطابق شکل 1 (الف) مشاهده می‌شود که درصد ذرات شن در سه کلاس اندازه ذرات ثانویه، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد داشت. این تفاوت به نحوی بود که با افزایش اندازه خاکدانه‌ها (به سمت کلاس درشت)، فراوانی ذرات شن افزایش معنی‌داری یافت. به عبارتی، در خاکدانه‌های درشت‌تر، درصد شن بیشتر از کلاس-های ریزتر بود. بر اساس شکل 1 (الف) مشخص گردید که فراوانی ذرات شن در سه کلاس اندازه خاکدانه‌های ریز، متوسط و درشت، به ترتیب 45/5، 55/9 و 60/8 درصد می‌باشد. بایوکز فایوس و همکاران (2001) عنوان داشتند که خاکدانه‌های با اندازه بزرگتر از پنج میلی‌متر درصد سیلت درشت زیادی داشته و در مقابل، خاکدانه-های با اندازه 5-2 میلی‌متر، حاوی شن درشت و متوسط بیشتری بود و در خاک‌های رسی، خاکدانه‌های کوچکتر از 2 میلی‌متر فراوان‌تر بودند.



شکل 1- فراوانی ذرات شن (الف) و سیلت (ب) در سه کلاس اندازه خاکدانه (آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد).

نتایج همچنین حاکی از آن بود که درصد سیلت نیز در سه کلاس اندازه خاکدانه در سطح احتمال پنج درصد متفاوت بود (شکل 1 ب). البته روند تغییرات عکس شن بود به‌طوری‌که برای خاکدانه‌های بزرگتر، فراوانی ذرات سیلت کاهش معنی‌داری یافت. فراوانی ذرات سیلت در سه کلاس اندازه خاکدانه‌های ریز، متوسط و درشت، به ترتیب 36/0، 27/5 و 24/3 درصد تعیین گردید. شکل 2 (الف) فراوانی ذرات رس را در سه کلاس اندازه‌ای خاکدانه‌ها نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که بین سه کلاس اندازه ذرات خاکدانه، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد از نظر فراوانی ذرات رس وجود داشت. همچنین در مورد رس، مشابه با سیلت روند کاهش درصد ذرات اولیه با افزایش اندازه خاکدانه‌ها مشاهده شد. نتایج حاکی از آن بود که فراوانی ذرات رس در سه کلاس اندازه خاکدانه‌های ریز، متوسط و درشت، به ترتیب 17/8، 16/6 و 14/8 درصد می‌باشد.



شکل 2- فراوانی رس (الف) و ذرات پایدار در آب (ب) در سه کلاس اندازه (آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد).

تفاوت درصد ذرات شن، سیلت و رس در سه کلاس اندازه خاکدانه‌ها، حاکی از پراکنش متفاوت ذرات اولیه در ذرات ثانویه است. هرچه کلاس اندازه خاکدانه‌ها کوچکتر باشد، درصد ذرات اولیه رس و سیلت افزایش

نسبی یافته و در مقابل، خاکدانه‌های بزرگتر، حاوی ذرات شن بیشتری هستند. این نتایج از جنبه دیگری نیز قابل تأمل است. با مقایسه سه جزء شن، سیلت و رس چنین استنباط می‌شود که در هر سه کلاس اندازه خاکدانه‌ها، درصد ذرات شن بیشتر از درصد سیلت و رس است.

شکل 2 (ب) فراوانی ذرات پایدار در آب بزرگتر از 0/25 میلی‌متر (WSA>0.25mm) را در سه کلاس مورد مطالعه نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که کلاس اندازه ذرات در میزان درصد ذرات بزرگتر از 0/25 میلی‌متر (در حالت الک تر) تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد داشت. روند تغییرات به نحوی بود که با افزایش اندازه خاکدانه‌ها از کلاس اندازه 1-0/25 به کلاس 5-1 میلی-متر، درصد WSA>0.25mm افزایش معنی‌داری یافت. به عبارتی، هر چه اندازه خاکدانه‌ها بزرگتر باشد، فراوانی ذرات پایدار در آب نیز بیشتر است. اگاشیرا و همکاران (1983) عنوان داشتند که خاکدانه‌های با اندازه 2-0/05 میلی‌متر نسبت به خاکدانه‌های بزرگتر (2-0/2 میلی‌متر) پایداری بیشتری دارند. در مقابل، برخی محققان گزارش کردند که خاکدانه‌های کوچکتر از 0/5 میلی‌متر، پایداری کمتری نسبت به خاکدانه‌های با اندازه 1-0/5 و 2-1 میلی‌متر دارند (هویوس و کامرفورد 2005). همچنین دومینگوئز و همکاران (2001) دریافتند که خاکدانه‌های بزرگتر از دو میلی‌متر نسبت به خاکدانه‌های کوچکتر از 2 میلی‌متر پایدارترند. از طرفی، هویوس و کامرفورد (2005) دریافتند که تفاوت معنی‌داری بین پایداری خاکدانه‌ها در اندازه‌های مختلف وجود ندارد.

نتایج نشان داد که درصد ذرات شن، سیلت و رس در نمونه‌های فرعی هم مشابه خاک‌های اصلی با توزیع ثانویه ذرات همبستگی معنی‌داری داشت. نتایج همبستگی ساده بین ذرات اولیه با درصد ذرات پایدار در آب بزرگتر از 0/25 و 0/125 میلی‌متر (WSA>0.25mm و WSA>0.125mm) در جدول 5 نشان داده شده است. البته در کلاس اندازه 0/25-0 میلی‌متر این شاخص تعریف نشده است. نتایج نشان داد که شاخص WSA>0.25mm در هر دو کلاس اندازه 5-1 و 1-0/25 میلی‌متر، همبستگی معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد با درصد ذرات اولیه شن، سیلت و رس داشت. این ارتباط به نحوی بود که در هر دو کلاس اندازه متوسط و بزرگ، درصد شن همبستگی منفی و معنی-داری با WSA>0.25mm نشان داد در حالی که این همبستگی با درصد سیلت و رس مثبت بود. این همبستگی مشابه با روند نتایج مربوط به خاک‌های اصلی در جدول 3 است، هر چند همبستگی مربوط به رس در جدول 3 معنی‌دار نشد. شیتیپالو و پروتز (1988، به نقل از بایوکز فایوس و همکاران 2001) عنوان داشتند که خاکدانه‌های درشت، همبستگی مثبتی با درصد شن دارند. همچنین بایوکز فایوس و همکاران (2001) ابراز داشتند که خاکدانه‌های کوچک، همبستگی مثبت و معنی-داری با درصد رس خاک دارد.

جدول 5- نتایج همبستگی ساده بین توزیع اندازه ذرات اولیه با شاخص‌های پایداری خاکدانه در سه کلاس اندازه.

ویژگی	1-5 mm		0/25-1 mm		0-0/25 mm
	WSA>0.125 mm	WSA>0.25 mm	WSA>0.125 mm	WSA>0.25 mm	WSA>0.125 mm
شن	-0/28	-0/79**	-0/07	-0/55**	-0/41*
سیلت	0/31	0/83**	-0/03	0/53**	0/13
رس	0/22	0/73**	0/15	0/57**	0/58**

* معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد. ** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

نتایج جدول 5 همچنین نشان می‌دهد که شاخص WSA>0.125mm تنها در کلاس اندازه ریزتر (0/25-0 میلی‌متر) با درصد ذرات اولیه همبستگی معنی‌داری نشان می‌دهد. در این کلاس اندازه، با افزایش درصد شن و رس، درصد شاخص ذکرشده به‌ترتیب کاهش ($p<0.05$) و افزایش ($p<0.01$) معنی‌داری یافت. در رابطه با ارتباط توزیع اولیه و ثانویه ذرات نظرات متفاوتی وجود دارد. کورتین و همکاران (1994) ابراز داشتند که رس قابل پراکنش، همبستگی منفی با پایداری خاکدانه دارد. در مقابل، راسیا و کای (1994) گزارش کردند که رس عامل مهمی در پیوند دادن ذرات اولیه خاک به همدیگر و تشکیل خاکدانه‌ها می‌باشد. بخش رس و سیلت می‌تواند به شکل خاکدانه‌های کوچک به هم بپیوندند و خاکدانه‌های ریز و درشت می‌توانند با هیف‌های قارچی تشکیل خاکدانه‌های درشت را دهند (باسویت و همکاران 2001). ترنان و همکاران (1996) از رس به عنوان ملات بین ذرات خاک نام برده و به این نتیجه دست یافتند که افزایش مقدار رس، بهبود پایداری خاکدانه را به دنبال دارد. در مقابل، برخی دیگر از محققان به نتایج متناقضی در این زمینه رسیدند، به طوری که هوانگ (2004) ارتباط مستقیمی بین توزیع اولیه و ثانویه ذرات پیدا نکردند و بارتز و همکاران (2008) عنوان کردند که اندازه خاکدانه متأثر از بافت خاک نیست. مقایسه نتایج جدول 5 با درصد نسبی ذرات شن، سیلت و رس در سه کلاس اندازه خاکدانه دلالت بر آن داشت که هرچند با افزایش اندازه ذرات ثانویه، فراوانی ذرات شن افزایش و درصد ذرات سیلت و رس کاهش معنی‌داری می‌یابد، ولی شن باعث کاهش و سیلت و به‌ویژه رس باعث افزایش پایداری خاکدانه می‌شود. همچنین درصد خاکدانه‌های پایدار در آب بزرگتر از 0/25 میلی‌متر، در کلاس اندازه درشت (5-1 میلی‌متر) بیشتر از کلاس متوسط (1-0/25 میلی‌متر) بود. دلیل این موضوع به این مسأله بر می‌گردد که سه کلاس اندازه خاکدانه با استفاده از سری الک در حالت خشک تهیه شد، در حالی که برای تعیین درصد خاکدانه‌های پایدار در آب بزرگتر از 0/25 میلی‌متر، روش الک تر استفاده شد. به عبارتی، احتمال خردشدن خاکدانه‌ها در حضور آب و تبدیل آنها به ذرات کوچکتر از 0/25 میلی‌متر، برای کلاس متوسط بیشتر از کلاس درشت بود.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که سیستم‌های مختلف کشت، تأثیر معنی‌داری بر توزیع اندازه ذرات ثانویه دارد. از طرفی، توزیع اندازه ذرات اولیه بر توزیع ثانویه ذرات تأثیر معنی‌داری نشان داد. میزان شن ارتباط منفی و معنی‌داری با درصد خاکدانه‌های بزرگتر از 0/25 میلی‌متر در هر دو حالت خشک و تر نشان داد. این ارتباط در مورد ذرات سیلت مثبت بود در حالی که که تأثیر رس از این نظر معنی‌دار نشد. نتایج نشان داد که در هر سه کلاس اندازه‌ای ذرات ثانویه شامل؛ 0/25-0 میلی‌متر (کلاس ریز)، 1-0/25 میلی‌متر (کلاس متوسط) و 5-1 میلی‌متر (کلاس بزرگ)، درصد شن، سیلت و رس و همچنین درصد ذرات پایدار در آب بزرگتر از 0/25 و 0/125 میلی‌متر در کلاس‌های اندازه‌ای یکسان نبود و در هر کلاس اندازه ذرات ثانویه، فراوانی ذرات اولیه نسبت به سایر کلاس‌ها متفاوت بود. درصد ذرات شن، سیلت و رس در هر سه کلاس اندازه ذرات ثانویه (خاکدانه)، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد داشت، به نحوی‌که با افزایش اندازه خاکدانه‌ها (به سمت کلاس‌های بزرگتر)، فراوانی ذرات شن افزایش و درصد ذرات سیلت و رس کاهش معنی‌داری نشان داد. سه کلاس اندازه خاکدانه‌های ریز، متوسط و درشت، به ترتیب حاوی 45/5، 55/9 و 60/8 درصد شن، 36/0، 27/5 و 24/3 درصد سیلت و 17/8، 16/6 و 14/8 درصد رس بود. البته در هر سه کلاس اندازه خاکدانه‌ها، درصد ذرات شن بیشتر از درصد سیلت و رس بود. با افزایش اندازه خاکدانه‌ها از کلاس اندازه 1-0/25 به کلاس 5-1 میلی‌متر، درصد WSA>0.25mm افزایش معنی‌داری

نشان داد. نتایج همچنین نشان داد که شاخص WSA>0.25mm در هر دو کلاس اندازه 5-1 و 1-0/25 میلی‌متر، همبستگی معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد با درصد ذرات اولیه شن، سیلت و رس داشت. این ارتباط به نحوی بود که در هر دو کلاس اندازه متوسط و بزرگ، درصد شن همبستگی منفی و معنی-داری با WSA>0.25mm نشان داد در حالی‌که این همبستگی با درصد سیلت و رس مثبت بود. شاخص WSA>0.125mm تنها در کلاس اندازه ریزتر (0/25-0 میلی‌متر) با درصد ذرات اولیه همبستگی معنی‌داری نشان داد. در این کلاس اندازه، با افزایش درصد شن و رس، درصد شاخص ذکرشده به‌ترتیب کاهش ($p<0.05$) و افزایش ($p<0.01$) معنی‌داری یافت. یافته‌های این تحقیق روشن ساخت که هرچند با افزایش اندازه ذرات ثانویه، فراوانی ذرات شن افزایش و درصد ذرات سیلت و رس کاهش معنی‌داری می‌یابد، ولی شن باعث کاهش و سیلت و به‌ویژه رس باعث افزایش پایداری خاکدانه می‌شود.

منابع مورد استفاده

محمودآبادی م و احمدبیگی ب، 1390. تأثیر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بر پایداری خاکدانه در چند نوع سیستم کشت. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار. جلد 1، شماره 2. صفحه‌های. 61-79.

Alagoz Z and Yilmaz E, 2009. Effects of different sources of organic matter on soil aggregate formation and stability: A laboratory study on a Lithic Rhodoxeralf from Turkey. Soil Till Res 103: 419-424.

Barthes BG, Kouoa Kouoa E, Larre-Larrouy MC, Razafimbelo TM, de Luca EF, Azontonde A, Neves CS, de Freitas PL and Feller CL, 2008. Texture and sesquioxide effects on water stable aggregates and organic matter in some tropical soils. Geoderma 143: 14-25.

Beare MH, Hendrix PF and Coleman DC, 1994. Water stable aggregates and organic matter fractions in conventional and no-tillage. Soil Sci Soc Am J 58: 777-786.

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

Bossuyt H, Denef K, Six J, Frey SD, Merckx R and Paustian K, 2001. Influence of microbial populations and residue quality on aggregate stability. Appl. Soil Eco 16: 195-208.

Bronick CJ and Lal R, 2005. Soil structure and management: a review. Geoderma 124: 3-22.

Curtin D, Campbell CA and Zentner RP, 1994. Long-term management and clay dispersibility in two Hoploborolls in Saskatchewan. Soil Sci Soc Am J 58: 962-967.

Denef K, Six J, Paustian K and Merckx R, 2001. Importance of macroaggregate dynamics in controlling soil carbon stabilization: shotr-term effects of phyisical disturbance induced by dry-wet cycles. Soil Bio Bioch 33: 2145-2153.

Diaz-Zorita M, Grove JH and Perfect E, 2007. Sieving duration and sieve loading impacts on dry soil fragment size distributions. Soil Till Res 94: 15-20.

Dominguez J, Negrin MA and Rodriguez CM, 2001. Aggregate water stability, particle size and soil solution properties in conducive and suppressive soils to Fusarium wilt of banana from Canary island (Spain). Soil Bio Bioch 33: 449-455.

Egashira K, Kaetsu Y and Takuma K, 1983. Aggregate stability as an index of erodibility of Andosoils. Soil Sci Plant Nutr 29: 473-481.

Eshel G, Levy GJ, Mingelgrin U and Singer M, 2004. Critical evaluation of the use of laser diffraction for particle size distribution analysis. Soil Sci Soc Am J 68: 736-743.

Eynard A, Schumacher TE, Lindstrom MJ and Malo DD, 2004. Aggregate sizes and stability in cultivated South Dakota Prairie Ustolls and Usterts. Soil Sci Soc Am J 68: 1360-1365.

Hoyos N and Comerford NB, 2005. Land use and landscape effects on aggregate stability and total carbon of Andisols from the Colombian Andes. Geoderma 129: 268-278.

Hwang S and Powers SE, 2003. Using particle-size distribution models to estimate soil hydraulic properties. Soil Sci Soc Am J 67: 1103-1112.

Hwang S, 2004. Effect of texture on the performance of soil particle size distribution models. Geoderma 123: 363-371.

Kemper WD and Rosenau RC, 1986. Aggregate stability and size distribution. pp. 425-442. In: Klute A, (Ed.), Methods of Soil Analysis. ASA and SSSA, Madison, WI.

Lebron I, Suarez D and Yoshida T, 2002. Gypsum effect on the aggregate size and geometry of three sodic soils under reclamation. Soil Sci Soc Am J 66: 92-98.

Marquez CO, Garcia VJ, Cambardella CA, Schultz RC and Isenhart TM, 2004. Aggregate size stability distribution and soil stability. Soil Sci Soc Am J 68: 725-735.

Opara CC, 2009. Soil microaggregates stability under different land use types in southeastern Nigeria. Catena 79: 103-112.

Page AL, Miller RH and Jeeney DR, 1992. Methods of Soil Analysis, SSSA Pub., Madison. WI, USA.

Pansu M and Gautheyrou J, 2006. Handbook of Soil Analysis, Mineralogical, Organic and Inorganic Methods. Springer-Verlag , Berlin Heidelberg, New York, USA.

Peixoto RS, Coutinho HLC, Madari B, Machado PL, Rumjanek NG, Van Elsas JD, Seldin L and Rosado AS, 2006. Soil aggregation and bacterial community structure as affected by tillage and cover cropping in the Brazilian Cerrados. Soil Till Res 90: 16-28.

Puget P, Chenu C and Balesdent J, 2000. Dynamics of soil organic matter associated with particle-size fractions of water-stable aggregates. Eur J Soil Sci 51: 595-605.

Rasiah V and Kay BD, 1994. Characterizing changes in aggregate stability subsequent to introduction of forages. Soil Sci Soc Am J 58: 935-942.

Shainberg I and Singer MJ, 1998. Drop impact energy soil ESP interaction in seal formation. Soil Sci Soc Am J 52: 1449-1452.

Shirazi MA, Boersma L and Johnson CB, 2001. Particle-Size Distributions: Comparing Texture Systems, Adding Rock, and Predicting Soil Properties. Soil Sci Soc Am J 65:300-310.

Six J, Elliotte E, and Paustian K, 2000. Soil structure and soil organic matter: II. A normalized stability index and the effect of mineralogy. Soil Sci Soc Am J 64: 1042-1049.

Six J, Guggenberger G, Paustian K, Haumaier L, Elliott ET and Zech W, 2001. Sources and composition of soil organic matter fractions between and within soil aggregates. Eur J Soil Sci 52: 607-618.

Skaggs TH, Arya LM, Shouse PJ and Mohanty BP, 2001. Estimating particle size distribution from limited soil texture data. Soil Sci Soc Am J 65: 1038-1044.

Ternan JL, Williams AG, Elmes A and Hartley A, 1996. Aggregate stability of soils in central Spain and the role of land management. Earth Surf Proc Land 21: 181-193.

Walkley A and Black IA, 1934. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci 37: 29-38.