

## The Effect of Cement Removal in Measuring the Texture of Iran Soils

MORTAZA YAVARI<sup>1\*</sup>, MOHAMMADHOSEIN MOHAMMADI<sup>1</sup>, KARIM SHAHBAZI<sup>2</sup>

1. Department of Soil Sciences and Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

2. Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

(Received: June. 8, 2019- Revised: Jan. 7, 2020- Accepted: June. 9, 2019)

### ABSTRACT

In soil laboratories of Iran to determine the initial soil particle size distribution (PSD) curve, different methods and strategies and pretreatments are used to remove soil cement materials, which in many cases make it difficult to compare the results and also evaluate their accuracy. The current research was performed to achieve an economical, simple and accurate protocol to measure the soil PSD analysis. First, 112 soil samples from the top and sub soils were collected from 16 provinces. Then 91 soil samples were selected based on hydrometer method and they were analyzed mechanically with and without removal of different cement agents; such as Organic matter, lime, iron and aluminum oxides and combined removal of organic matter and iron oxide. Results showed that the removal of cement agent increases the clay fraction and reduces the silt and sand fractions. The removal of cement agents should be conducted where i) organic matter content is more than %4 or ii) iron oxides is more than %2 or iii) the amount of organic matter + iron oxides is more than %5. In average, the removal of organic matter and iron oxide increases clay fraction 7%. Since the carbonates are often exist as the primary particles in the Iranian soils, the removal of carbonates is not suggested from the soils with more than %10 carbonates. Finally it is concluded that the cement agent in some soils may cause incorrect determination of soil texture class.

**Keywords:** Particle Size Distribution, Cement Agents, Soil Texture.

## تاثیر حذف مواد سیمانی در اندازه‌گیری بافت خاک‌های ایران

مر نضی یآوری<sup>\*</sup>، محمدحسین محمدی<sup>۱</sup>، کریم شهبازی<sup>۲</sup>

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۲. موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۳/۱۹ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۱۰/۱۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۷/۹)

### چکیده

در آزمایشگاه‌های خاکشناسی ایران برای تعیین منحنی توزیع اندازه ذرات اولیه، روش‌ها و راهکارها و پیش‌تیمارهای مختلفی برای حذف مواد سیمانی خاک استفاده می‌شود که در بسیاری از شرایط امکان مقایسه نتایج و همچنین ارزیابی دقت آنها را دشوار می‌سازد. پژوهش حاضر برای رسیدن به یک راهکار مشخص که در عین سادگی و ارزان بودن، دقت قابل قبولی نیز داشته باشد، انجام گردید. ابتدا ۱۱۲ نمونه خاک از ۱۶ استان مختلف از خاک‌های سطحی و عمقی برداشت و سپس با انتخاب ۹۱ نمونه با استفاده از روش هیدرومتر با و بدون حذف کلیه مواد سیمانی شامل مواد آلی، آهک، اکسیدهای آهن و آلومینیوم و حذف توأم ماده آلی و اکسید آهن مورد تجزیه مکانیکی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که حذف مواد سیمانی سبب افزایش بخش رس و کاهش بخش سیلت و شن می‌گردد. حذف ماده آلی و اکسید آهن به ترتیب برای خاک‌هایی که بیش از ۴ درصد ماده آلی (۲/۵ درصد کربن آلی) و یا ۲ درصد اکسید آهن دارند و یا واجد یک یا چند ویژگی خاص و متمایز از خاکهای رایج کشاورزی هستند، ضرورت دارد. همچنین زمانی که مجموع ماده آلی و اکسید آهن از ۵ درصد بیشتر می‌شود، بطور میانگین حذف اکسید آهن و مواد آلی سبب افزایش ۷ درصدی در میزان خالص رس می‌شود. بیشتر خاکهای ایران میزان آهک بالایی دارند. ولی در اغلب آن‌ها آهک به فرم ذرات اولیه در خاک ظاهر می‌شود. بنابراین حذف آهک در خاکهای سبک و متوسط که میزان آهک آنها بیش از ۱۰ درصد باشد توصیه نمی‌شود. نتایج این پژوهش نشان داد که عدم حذف مواد سیمانی برای خاکهایی که حذف این مواد در آنها ضروری است می‌تواند منجر به تعیین نادرست کلاس بافت خاک شود.

**واژه‌های کلیدی:** توزیع اندازه ذرات، مواد سیمانی، بافت خاک.

### مقدمه

(1984). علاوه بر آن، فرسایش‌پذیری، رژیم حرارتی، تخلخل و سایر ویژگی‌های مؤثر بر رشد گیاه و تولید محصول تحت تأثیر PSD قرار می‌گیرند (De Oro *et al.*, 2019). هم‌اوری ذرات اولیه خاک توسط مواد آلی، اکسیدهای آهن و کربنات‌ها، منجر به ایجاد ذرات ثانویه می‌شود (Barthès *et al.*, 2008). ویژگی‌های مؤثر بر توزیع اندازه ذرات خاک عبارت است از مواد آلی، اکسیدهای آهن و آلومینیوم، کربنات کلسیم، میزان رس، کاربری و مدیریت اراضی (Barthès *et al.*, 2008; Lebron *et al.*, 2002). مواد آلی با تجزیه تدریجی در خاک، موجب تولید انواع متابولیت‌ها و اسیدهای آلی در خاک شده که از یک سو باعث افزایش حلالیت بیشتر ترکیبات معدنی کلسیم‌دار در خاک می‌شوند و نتیجه آن افزایش هم‌اوری ذرات رس و پایداری ذرات ثانویه است (Barral *et al.*, 2007) و از سوی دیگر خود مانند ماده سیمانی عمل می‌کنند. برای تعیین دقیق ذرات اولیه خاک، بایستی همیشه ماده آلی قبل از پراکنده‌سازی ذرات خاک حذف شود (Jensen *et al.*,

توزیع اندازه ذرات اولیه خاک<sup>۱</sup> (PSD) یکی از ویژگی‌های فیزیکی مهم و ذاتی خاک می‌باشد و نشان می‌دهد که از هر ذره‌ی اولیه با اندازه‌ی مشخص چه مقدار در خاک وجود دارد (Gee and Or, 2002). این مشخصه در تعیین بافت و نیز طبقه‌بندی خاک برای اهداف مهندسی و کشاورزی بکار برده می‌شود. توزیع اندازه ذرات خاک در پیش‌بینی روابط آب و خاک (Jensen *et al.*, 2015; Poeplau *et al.*, 2015)، انتقال املاح (Karup *et al.*, 2016) و جرم مخصوص ظاهری و حقیقی (Schjønning *et al.*, 2017) کاربرد دارد. PSD خاک، مبنای ارزیابی بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی خاک محسوب می‌شود و به‌طور گسترده‌ای در برآورد خصوصیات هیدرولیکی خاک مانند منحنی مشخصه رطوبتی، هدایت هیدرولیکی اشباع و غیراشباع، آب قابل استفاده برای گیاه، نفوذپذیری خاک نسبت به آب، هوا و ریشه گیاه استفاده می‌شود (Arya and Paris, 1981; Fredlund *et al.*, 2000; Cosby *et al.*,

دو ویژگی دیگر است. نقش سیمانی ماده‌ی آلی نه تنها به مقدار و ترکیب شیمیایی آن بستگی دارد، بلکه تحت تأثیر آرایش و چگونگی پیوندهای ماده آلی با اجزاء معدنی خاک می‌باشد (Mikutta *et al.*, 2005). برخی از روش‌های اندازه‌گیری توزیع اندازه ذرات خاک شامل روش الک کردن، هیدرومتر، پیپت، اشعه ایکس و تکنیک پراکنش اشعه لیزر است (Mikutta *et al.*, 2005). پراکنده‌سازی خاکدانه‌ها به واحدهای مجزا به وسیله روش‌های شیمیایی، مکانیکی یا التراسونیک و جداسازی ذرات طبق حدود اندازه‌ای آنها به وسیله الک کردن و روش ته‌نشینی و سایر روش‌ها، انجام می‌شود (Gee and Or, 2002). در همه این روش‌ها حذف مواد سیمانی خاک به عنوان پیش‌تیمار آزمایش مورد توجه قرار گرفته است (Gee and Or, 2002). از طرفی حذف مواد سیمانی مانند اکسیدهای آهن و آلومینیم، مواد آلی و کربنات‌ها علاوه بر گران بودن، ممکن است در همه شرایط امکان‌پذیر و حتی ضروری نباشد. با تعیین سهم کمی مواد سیمانی در نتایج تعیین بافت خاک، می‌توان با صرف نظر نمودن یک یا چند مرحله از مراحل حذف مواد سیمانی، صرفه‌جویی قابل توجهی در زمان و هزینه‌های تجزیه خاک به‌عمل آورد. روش‌های تعیین توزیع اندازه ذرات خاک و به‌ویژه حذف مواد سیمانی در منابع گوناگون به اشکال مختلفی بیان شده است (Shein, 2009). PSD خاک وابسته به روش اندازه‌گیری و پیش‌آماده‌سازی نمونه خاک است (Gee and Bauder, 1986). به همین دلیل جداسازی یا پراکنده کردن ذرات اولیه‌ی تشکیل دهنده‌ی خاکدانه‌ها از یکدیگر مهم-ترین مرحله در اندازه‌گیری PSD می‌باشد (Gee and Or, 2002). معمولا در استفاده از روش پی‌پت توصیه می‌شود که ماده آلی خاک حذف گردد تا بتوان مقدار ماده پراکنده‌کننده کمتری استفاده نمود. ولی ضرورت و کارایی حذف ماده آلی در تعیین PSD خاک‌های مناطق خشک به روش هیدرومتر مورد پذیرش همگان قرار نگرفته است. در کشور ما نیز پژوهشی جهت تعیین کمی سهم حذف هر یک از مواد سیمانی مختلف بر PSD خاک‌ها انجام نشده است. بنابراین، هدف این پژوهش بررسی اثر کمی حذف مواد سیمانی بر PSD اندازه‌گیری شده خاک‌ها با روش هیدرومتر می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش سعی شد تا حد امکان خاک‌هایی انتخاب شوند تا طیف وسیعی از تغییرات مواد سیمانی (آهک، ماده آلی و اکسیدهای آهن) و همچنین رس، سیلت و شن را داشته باشند و نماینده تنوع خاک‌های کشور باشند. تعداد ۱۱۲ نمونه خاک از ۱۶ استان کشور (خراسان رضوی، خراسان شمالی، سیستان و

2019: Jensen *et al.*, 2017). (Vdović *et al.*, 2010) نشان دادند که حذف ماده آلی خاک، موجب افزایش مقدار رس اندازه‌گیری شده می‌شود. (Tisdall and Oades (1982) گزارش نمودند که، اثر مواد آلی در سیمانی شدن ذرات اولیه و تشکیل خاکدانه، در خاک‌های دارای بیش از ۲٪ کربن آلی (بیش از ۳/۴۵٪ ماده آلی) رخ می‌دهد. اکسید آهن و آلومینیوم در خاک با ایجاد یک پوشش بر روی سطح کانی‌ها مانند یک پل بین ذرات اولیه و ثانویه خاک قرار می‌گیرند و سبب اتصال ذرات خاک می‌شوند (Barthès *et al.*, 2008). (Jones (2001) نیز حذف اکسیدهای آهن همانند هماتیت و گوتایت برای تعیین دقیق توزیع اندازه ذرات خاک‌ها را ضروری می‌داند. هر چند ممکن است این مواد نیز خود به صورت ذرات اولیه در خاک ظاهر شوند (Kunze and Dixon, 1986). (Asano and Wagai (2014) نقش اکسیدهای آهن و آلومینیم را هم ارز با نقش ماده آلی گزارش نمودند. (Castro and Logan (1991) نشان دادند که آهک از یک سو با افزایش pH موجب می‌شود کربوکسیل سطح رس‌ها بیشتر یونیزه شده و در نتیجه بار منفی بیشتری تولید شود و از سوی دیگر کاتیون کلسیم به دلیل ظرفیت بالا و شعاع آب‌پوشی کم سبب افزایش هم‌آوری ذرات خاک می‌شود (Shukla *et al.*, 2004). پژوهشگران مختلفی نشان داده‌اند که یون کلسیم در خاک با جابجا کردن یون سدیم تبادلی سبب هم‌آوری رس‌ها شده و به تشکیل ذرات ثانویه کمک می‌کند (Duiker *et al.*, 2001; Orts *et al.*, 2000). کربنات کلسیم می‌تواند با افزایش pH سبب افزایش بار سطحی رس‌ها گردیده و نیروی دفعی بین ذرات را افزایش دهد و از این‌رو باعث ایجاد کاهش پایداری رس‌ها گردد (Castro and Logan, 1991). (Rasiah and Kay (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 با افزایش میزان رس افزایش می‌یابد. (Rasiah and Kay (1994) 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. 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 (Lebron *et al.*, 2002). توزیع اندازه خاکدانه‌ها و پایداری آنها می‌تواند به‌طور قابل توجهی با روش خاکورزی تغییر کند (Beare *et al.*, 1994). به همین دلیل (Peixoto *et al.*, 2006) عنوان داشتند که توزیع اندازه ذرات تحت تأثیر عملیات خاکورزی قرار می‌گیرد. (Angers (1998) نشان داد که از بین سه ویژگی ماده آلی، رس و کربنات کلسیم، تأثیر ماده آلی بر PSD خاک به مراتب بیشتر از

بلوچستان، فارس، خوزستان، خرم آباد، اراک، قم، تهران، البرز، قزوین، زنجان، تبریز، گلستان، گیلان و اردبیل)، از خاک‌های زراعی و غیر زراعی، افق‌های سطحی و تحتانی، اقلیم، پوشش گیاهی و نوع کاربری متفاوت همراه با ثبت مختصات جغرافیایی، جمع آوری شد (شکل ۱).



شکل ۱- استان‌های مورد نمونه‌برداری جهت تعیین توزیع اندازه ذرات اولیه خاک (رنگ آمیزی شده)

پس از جدا کردن ذرات بزرگتر از ۲ میلی‌متر، درصد سنگریزه هر نمونه خاک تعیین شد و همچنین ذرات کوچکتر از ۲ میلی‌متر نیز برای انجام سایر آزمایش‌ها به اتاق نگهداری خاک انتقال داده شد. با توجه به میزان درصد ماده آلی، اکسید آهن و آهک، از ۱۱۲ نمونه ۹۱ نمونه انتخاب و تیمارهای زیر برای تعیین PSD بر آنها اعمال گردید: الف) بدون حذف مواد سیمانی، ب) حذف ماده آلی، ج) حذف اکسیدهای آهن و آلومینیم و د) حذف توأم مواد آلی و اکسیدهای آهن و آلومینیم. همچنین از خاک‌های انتخاب شده ۶ نمونه، حاوی کمتر از ۱۰ درصد آهک بودند که جهت آزمایش حذف آهک مورد استفاده قرار گرفتند. واکنش و قابلیت هدایت الکتریکی خاک در عصاره اشباع (Dewis and Freitas, 1970) و کربن آلی با روش خنثی سازی با فرو آمونیوم سولفات (Walkley and Black, 1934) اندازه‌گیری شد و با استفاده از ضریب وان بملن (۱/۷۲۴) به درصد ماده آلی تبدیل گردید. اکسید آهن با استفاده از روش انحلال با دی‌تیونات - سیترات سدیم (Holmgren, 1967)، آهک با روش خنثی‌سازی و تیتراسیون (Page et al., 1982) و جرم مخصوص حقیقی خاک با روش پیکنومتر (Blake and Hartge, 1986) اندازه‌گیری شد.

واکنش‌گرهای هیدروژن پر اکسید، دی‌تیونات - سیترات سدیم و استات سدیم به ترتیب برای حذف ماده آلی، اکسید آهن و آهک انتخاب شدند (Gee and Or, 2002). به منظور اندازه‌گیری توزیع اندازه ذرات خاک، پس از پراکندگی شیمیایی و فیزیکی خاک، سوسپانسیون تهیه شده داخل الک شماره ۲۷۰ ریخته شد تا ذرات کوچکتر از ۵۳ میکرون داخل ظرف استوانه یک لیتری شسته شوند. سوسپانسیون استوانه به حجم یک لیتر رسانده شد و شن جدا شده داخل ظرف چینی شسته و سپس خشک، توزین و برای تجزیه روی سری الک که به ترتیب ۵۳، ۱۰۶، ۲۵۰، ۱۰۰۰، ۵۰۰ میکرون بودند، ریخته شد. پس از به حجم رساندن استوانه یک لیتری با آب مقطر، همزن دستی برای بهم زدن سوسپانسیون استفاده و ۱۰ ثانیه قبل از قرائت، هیدرومتر به آرامی داخل ظرف استوانه قرار داده شد. قرائت‌های ۳۰، ۴۰ و ۶۰ ثانیه انجام شد. سپس هیدرومتر به آرامی از استوانه خارج و برای قرائت‌های بعدی به صورت کامل خشک شد. قرائت‌های ۱۲۰، ۳۰۰، ۶۰۰، ۱۲۰۰، ۱۸۰۰، ۳۶۰۰، ۷۲۰۰، ۲۱۶۰۰، ۲۸۸۰۰، ۸۶۴۰۰ و ۱۷۲۸۰۰ ثانیه نیز انجام گرفت. قرائت نمونه شاهد توأم با قرائت هیدرومتری در فواصل زمانی ثبت شد. دمای سوسپانسیون و نمونه شاهد نیز در فواصل زمانی منظم ثبت شد. نمودار توزیع تجمعی ذرات خاک برای ذرات کوچکتر از ۲ میلی‌متر با تجمیع توزیع اندازه ذرات بدست آمده از روش الک برای ذرات بزرگتر از ۵۳ میکرون و روش هیدرومتری برای ذرات کوچکتر از ۵۳ میکرون (با توجه به غلظت سوسپانسیون، قرائت شاهد و رطوبت خاک و تبدیل آن به درصد نسبی ذرات کوچکتر از ۵۳ میکرون) محاسبه شد. درصد نسبی ذرات با قطر مشخص با روش میان‌یابی نیمه لگاریتمی (لگاریتم اندازه در مقابل فراوانی ذرات) بدست آمد. داده‌های توزیع اندازه ذرات خاک اندازه‌گیری شده بدون حذف مواد سیمانی و همچنین پس از حذف این مواد، با استفاده از نرم افزارهای Excel ترسیم شد و مقایسه داده‌ها در نرم افزار SPSS 22 با آزمون t جفتی انجام شد.

## نتایج و بحث

جدول (۱) میانگین و دامنه تغییرات برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۱- میانگین و دامنه تغییرات برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ۹۱ نمونه خاک جمع‌آوری شده از ۱۶ استان

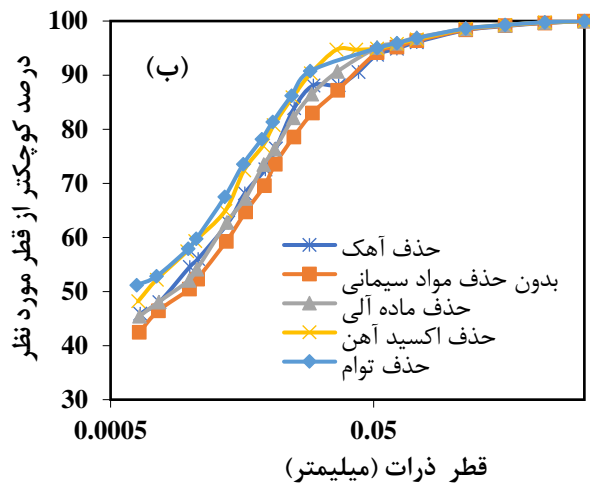
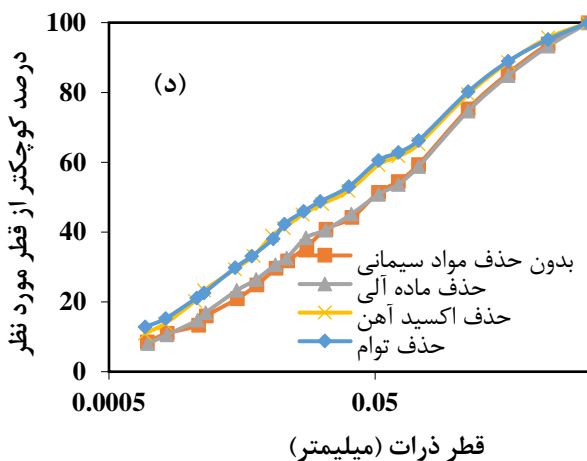
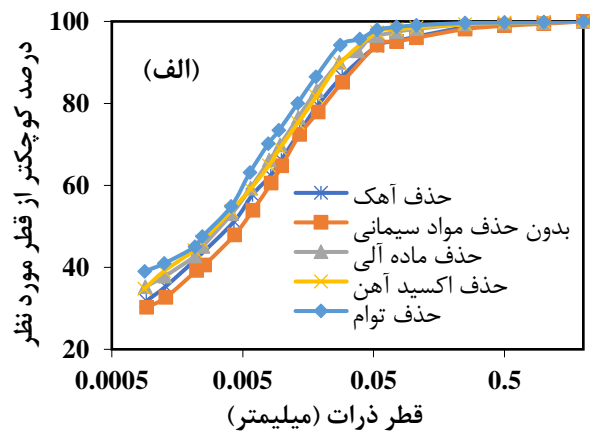
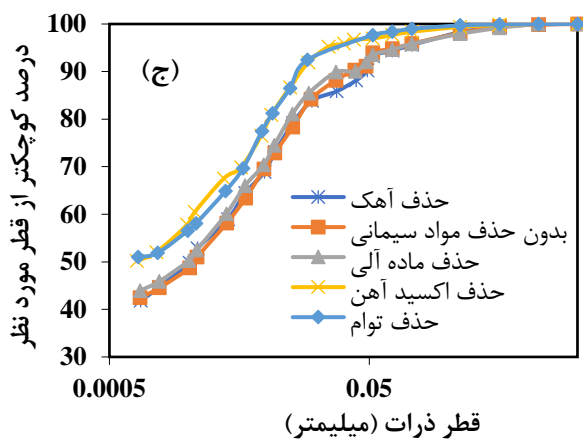
ویژگی						
pH	EC (dS/m)	PD (g/cm <sup>3</sup> )	آهک (درصد)	ماده آلی (درصد)	اکسید آهن (درصد)	سنگریزه (درصد)
۷/۹۳	۴/۱۸	۲/۶۵	۲/۴۹	۱/۸۶	۰/۸۲	۱۰/۹۵
۸/۶۳	۷۶/۴۱	۲/۷۶	۷۷/۴	۱۱/۳	۳/۷	۴۷/۱
۵/۱۹	۰/۲۵	۲/۴۸	۲/۰	۰	۰/۲	۰

P.D: جرم مخصوص حقیقی، EC: قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع، pH: واکنش عصاره اشباع خاک

شده می‌باشد.

منحنی توزیع اندازه ذرات برخی از خاک‌های مورد مطالعه و تغییرات آنها بر اثر حذف مواد سیمانی مختلف در شکل (۲) نشان داده شده است. با حذف مواد سیمانی مختلف به‌ویژه زمانی که همه آنها (حذف توام مواد آلی و اکسیدهای آهن) حذف می‌شوند، منحنی PSD به سمت بالا و تا حدودی چپ انتقال می‌یابد. بیشترین تاثیر در توزیع اندازه ذرات به ترتیب با حذف توام ماده آلی و اکسید آهن، اکسید آهن، آهک و ماده آلی می‌باشد. این امر مبین ریزش شدن توزیع اندازه ذرات می‌باشد.

قابلیت هدایت الکتریکی و واکنش خاک از جمله مهمترین ویژگی‌های شیمیایی موثر بر فرآیند حذف مواد سیمانی است که دانستن آن برای شناخت نمونه و حذف مؤثر مواد سیمانی ضروری است. جرم مخصوص حقیقی نیز برای انجام محاسبات مربوط به توزیع اندازه ذرات اندازه‌گیری شد. در جدول (۱) مقادیر سه ویژگی مذکور نمایش داده شده است. با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده، میانگین قابلیت هدایت الکتریکی ۴/۱۸ دسی زیمنس بر متر و واکنش خاک در عصاره اشباع ۷/۹۳ است. جدول (۱) موید تنوع مناسب خاک‌های سطحی و عمقی نمونه برداری



شکل ۲- تغییرات منحنی توزیع اندازه ذرات خاک به دلیل حذف مواد سیمانی مختلف: الف) نمونه برداری شده از مزارع استان گلستان با کلاس بافتی لوم رسی و میزان سنگریزه کمتر از یک درصد، واکنش خاک ۷/۴۸ و ماده آلی، اکسید آهن و آهک به ترتیب ۸/۴۶، ۱/۱۹ و ۳/۱۷ درصد؛ ب) کلاس بافتی رسی، بدون سنگریزه و واکنش خاک ۷/۹، نمونه برداری شده از مزارع برنج استان گیلان با ماده آلی، اکسید آهن و آهک، به ترتیب ۳/۱۶، ۲/۰۶ و ۲/۹۳ درصد؛ ج) نمونه برداری شده با کلاس بافتی رسی و بدون سنگریزه از مناطق جنگلی استان گیلان، واکنش خاک ۶/۷۱ و ماده آلی، اکسید آهن و آهک، به ترتیب ۴/۲۹، ۲/۰۳ و ۲/۸۱ درصد؛ د) نمونه برداری شده از مزارع استان زنجان با کلاس بافتی لوم شنی و واکنش خاک ۸/۱ با میزان سنگریزه بیش از ۱۵ درصد و ماده آلی، اکسید آهن و آهک، به ترتیب ۳/۱۶، ۲/۰۶ و ۲/۹۳ درصد.

افزایش در میانگین درصد نسبی ذرات رس نمونه‌های مورد بررسی، مربوط به شرایط حذف توام ماده آلی و اکسید آهن به مقدار ۳/۸۸ درصد است و حذف اکسید آهن، آهک و ماده آلی به ترتیب با افزایش ۲/۶۴، ۲/۱۴ و ۱/۵۳ درصدی در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند ( $\alpha=0.05$ ). به دلیل یکسان بودن مرز رس و سیلت

جدول (۲) تغییرات مطلق مقادیر سیلت و شن خاک را، پس از حذف مواد سیمانی برای همه خاک‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. با حذف هر یک از مواد سیمانی ماده آلی، آهک یا اکسیدهای آهن، مقدار رس اندازه‌گیری شده افزایش و به تبع آن بخش سیلت و شن به همان میزان کاهش می‌یابد. بیشترین میزان

و در طبقه‌بندی آمریکایی نیز حذف توأم با ۱/۴۴ درصد دارد. حذف مواد سیمانی در طبقه‌بندی بین‌المللی بیشترین کاهش را در بخش شن، و در طبقه‌بندی آمریکایی بیشترین کاهش را در بخش سیلت ایجاد می‌کند. البته باید توجه داشت که با توجه به تعریف متفاوتی که دو سیستم طبقه‌بندی دارند، طبقه‌بندی بین‌المللی مقدار شن را ۱۴/۲۸ درصد بیشتر از سیستم طبقه‌بندی آمریکایی، تعیین می‌کند (جدول ۳).

بر اساس قطر ذرات (۰/۰۰۲ میلی‌متر) در طبقه‌بندی بین‌المللی و آمریکایی میزان تغییرات بخش رس پس از حذف مواد سیمانی نیز، برابر خواهد بود. در بخش سیلت با طبقه‌بندی بین‌المللی بیشترین تأثیر حذف مواد سیمانی مربوط به شرایط حذف توأم با میانگین کاهش ۱/۲۴ درصد است. در طبقه‌بندی آمریکایی، مقدار سیلت در شرایط حذف آهک با ۲/۷۹ درصد بیشترین کاهش را دارد. همچنین مشاهده می‌شود که بخش شن در طبقه‌بندی بین‌المللی بیشترین کاهش را در شرایط حذف توأم با ۲/۶۳ درصد

جدول ۲- تغییرات درصد نسبی ذرات خاک در دو روش طبقه‌بندی پس از حذف مواد سیمانی

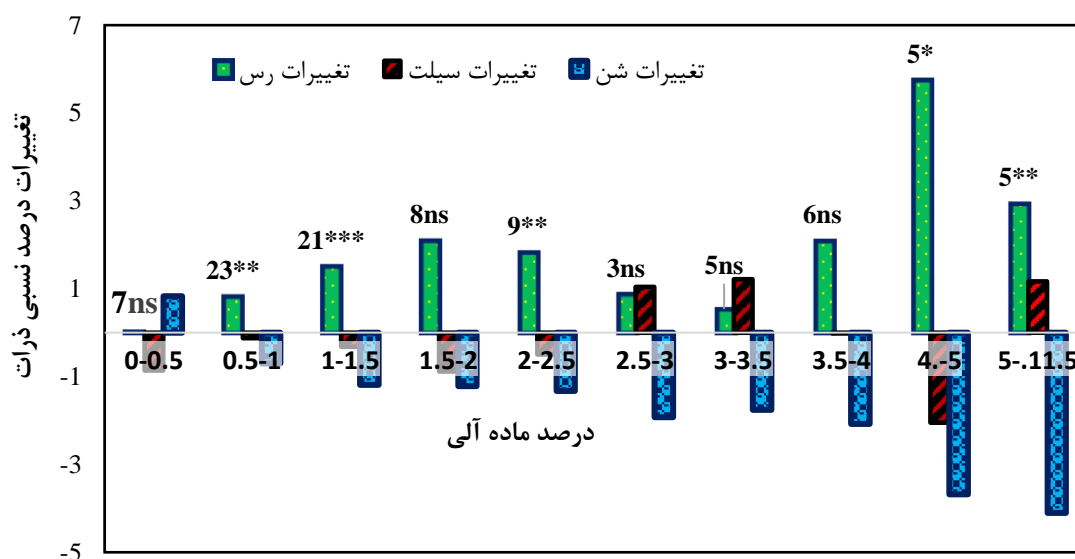
نوع حذف	طبقه‌بندی بین‌المللی		طبقه‌بندی آمریکایی	
	تغییرات مطلق شن	تغییرات مطلق سیلت	تغییرات مطلق شن	تغییرات مطلق سیلت
ماده آلی	-۱/۳۱	-۰/۲۲	-۰/۴۲	-۱/۱
اکسید آهن	-۱/۵	-۱/۱۵	-۱/۲۹	-۱/۳۵
توأم	-۲/۶۳	-۱/۲۴	-۱/۴	-۲/۴۷
آهک	-۲/۰۷	-۰/۰۷	۰/۶۵	-۲/۷۹

شکل ( نشان می‌دهد با افزایش مقدار ماده آلی، حذف آن موجب تغییرات (کاهش شن و سیلت و افزایش رس) بیشتری در میزان ذرات اولیه اندازه‌گیری شده می‌گردد. کاهش شن و سیلت و افزایش رس در خاک‌هایی که بیش از ۴ درصد ماده آلی (۲/۵ درصد کربن آلی) دارند قابل ملاحظه است. به طوری که در این خاک‌ها، مجموع مطلق تغییرات شن و رس از ۵ درصد تجاوز می‌نماید و در خاک‌های با بیش از ۶ درصد ماده آلی مقدار تغییرات از ۱۱ درصد نیز افزون‌تر می‌گردد.

جدول ۳- میانگین درصد نسبی ذرات اولیه خاک‌های مورد مطالعه در شرایط بدون حذف مواد سیمانی، با دو سیستم طبقه‌بندی بین‌المللی و آمریکایی

روش طبقه‌بندی	درصد سیلت	درصد شن
بین‌المللی	۲۷/۲۴	۴۶/۷۱
آمریکایی	۴۱/۵۱	۳۲/۴۳

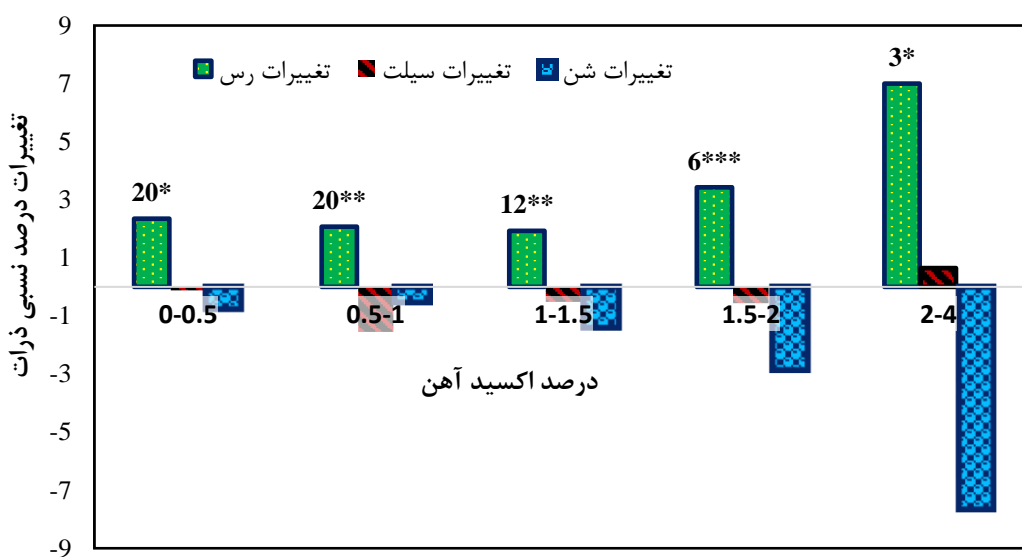
برای بررسی دقیق‌تر میزان تأثیر حذف ماده آلی بر توزیع اندازه ذرات خاک، خاک‌های مختلف بر اساس درصد ماده آلی دسته‌بندی شدند و سپس میزان تغییرات ذرات اولیه در هر کلاس از خاک‌ها محاسبه گردید.



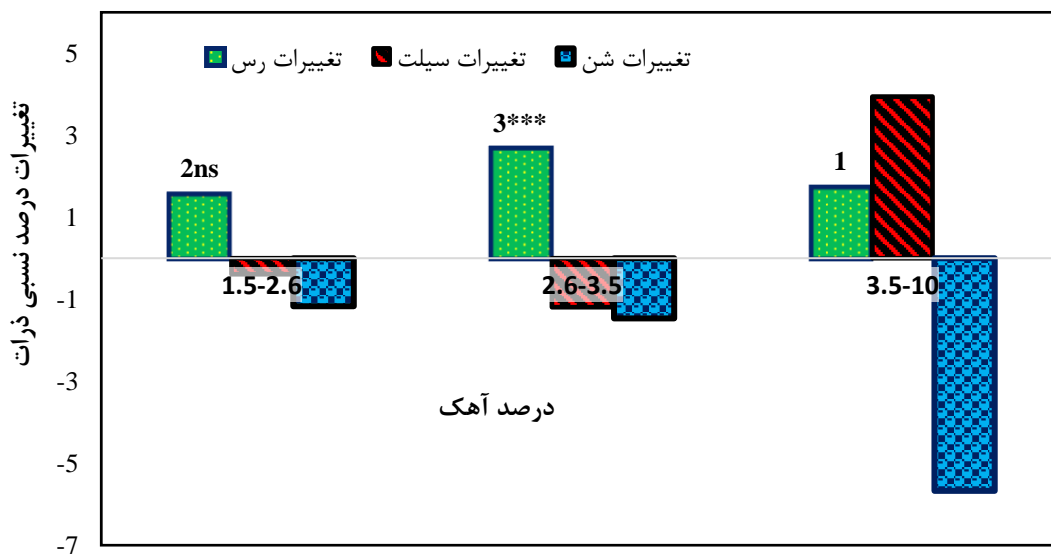
شکل ۳- میانگین تفاوت مقدار شن و سیلت و رس (در طبقه‌بندی بین‌المللی) قبل و پس از حذف ماده آلی در خاک‌های با مقدار مواد آلی مختلف. اعداد روی ستون تعداد خاک‌ها را نشان می‌دهد. °: معنی‌دار در سطح ۱ درصد، \*\*: معنی‌دار در سطح ۵ درصد، \*\*\*: معنی‌دار در دو سطح ۱ درصد و ۵ درصد، ns: غیر معنی‌دار

تغییرات درصد ذرات اولیه بر اثر حذف آهک در خاک‌های با مقادیر مختلف آهک نیز در شکل (۴) نشان داده شده است. در مقادیر کمتر از ۳/۵ درصد آهک، مجموع مطلق تغییرات رس و سیلت تقریباً ثابت بوده و کمتر از ۲ درصد است. با فزونتر شدن اکسید آهن از ۳/۵ درصد، مقدار تغییرات نیز افزایش یافته و در خاک‌هایی که بیش از ۳/۵ درصد آهک دارند، مجموع مطلق تغییرات سیلت و رس از ۵ درصد تجاوز می‌نماید.

تغییرات درصد ذرات اولیه بر اثر حذف اکسید آهن در خاک‌های با مقادیر مختلف از این ماده سیمانی در شکل (۴) نشان داده شده است. با افزایش اکسید آهن از صفر تا ۲ درصد، مجموع مطلق تغییرات رس و شن تقریباً ثابت بوده و کمتر از ۳ درصد است. با فزونتر شدن اکسید آهن از ۲ درصد، مقدار تغییرات نیز افزایش یافته و در خاک‌هایی که بیش از ۲ درصد اکسید آهن دارند به بیش از ۱۵ درصد می‌رسد.



شکل ۴- میانگین تفاوت مقدار شن و سیلت و رس (در طبقه بندی بین المللی) قبل و پس از حذف اکسید آهن در خاک‌های با مقدار اکسید آهن مختلف. اعداد روی ستون تعداد خاک‌ها را نشان می‌دهد. \* : معنی‌دار در سطح ۱ درصد، \*\* : معنی‌دار در سطح ۵ درصد، \*\*\* : معنی‌دار در دو سطح ۱ درصد و ۵ درصد، ns : غیر معنی‌دار



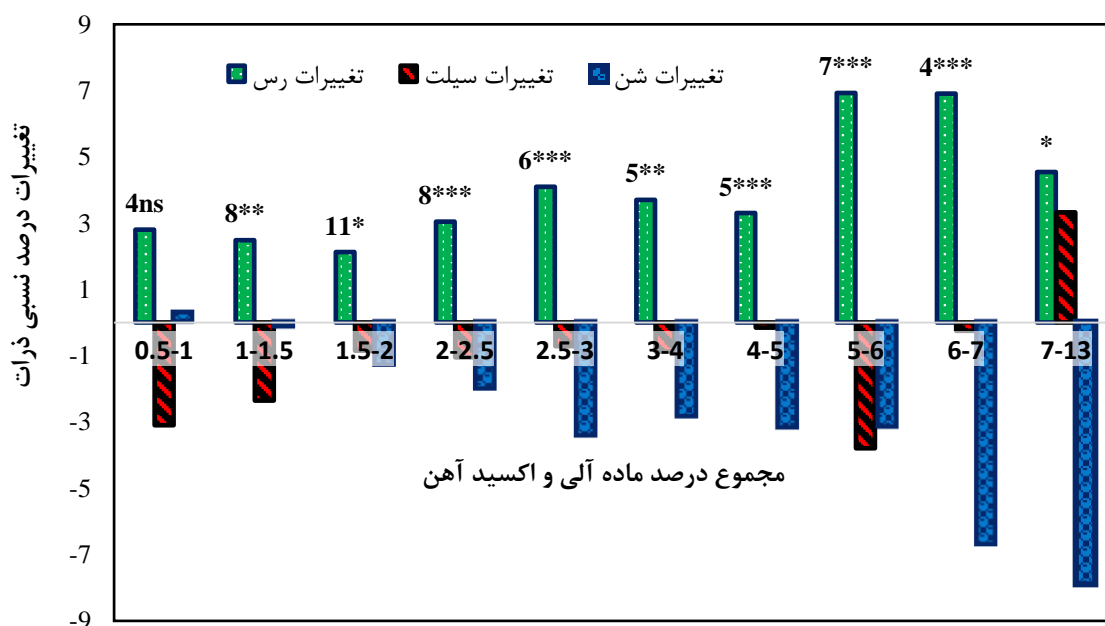
شکل ۵- میانگین تفاوت مقدار شن و سیلت و رس (در طبقه بندی بین المللی) قبل و پس از حذف آهک در خاک‌های با مقدار آهک مختلف. اعداد روی ستون تعداد خاک‌ها را نشان می‌دهد. \* : معنی‌دار در سطح ۱ درصد، \*\* : معنی‌دار در سطح ۵ درصد، \*\*\* : معنی‌دار در دو سطح ۱ درصد و ۵ درصد، ns : غیر معنی‌دار

عنوان دومین ماده سیمانی مؤثر بر توزیع اندازه ذرات خاک به شمار می‌رود. هر چند که حذف آهک موجب افزایش درصد رس

مقایسه نشان می‌دهد که در مقادیر برابر، اکسید آهن خاصیت سیمانی قویتری نسبت به ماده آلی داشته و ماده آلی به

خاک‌های سراسر کشور منطقی به نظر نمی‌رسد). تغییرات درصد ذرات اولیه بر اثر حذف توأم اکسید آهن و مواد آلی در خاک‌های با مقادیر مختلف از مجموع این مواد سیمانی در شکل (۴) آمده است. با افزایش مجموع دو ماده سیمانی مذکور از صفر تا ۵ درصد، مجموع مطلق تغییرات رس و شن تقریباً ثابت بوده و کمتر از ۷ درصد است. زمانی که مجموع این مواد در خاک از ۵ درصد بیشتر می‌شود، مقدار تغییرات نیز افزایش ناگهانی یافته و به بیش از ۱۵ درصد می‌رسد.

و کاهش میزان شن و سیلت می‌شود ولی حذف آهک در خاک‌های با مقادیر زیاد آهک، سبب آسیب به بخشی از ذرات اولیه خاک و از بین رفتن آن خواهد شد. با توجه به آهکی بودن غالب خاک‌های کشور ایران و تأثیر سوء، حذف آهک بر ذرات اولیه و تخریب آنها، آهک در رتبه بعدی ماده سیمانی مؤثر بر توزیع اندازه ذرات قرار می‌گیرد. البته این یافته نیاز به بررسی‌های بیشتری دارد. از ۱۱۲ نمونه تهیه شده از خاک‌های غالب کشور تنها ۶ نمونه کمتر از ۱۰ درصد آهک داشت (لذا حذف آهک برای



شکل ۶- میانگین تفاوت مقدار شن و سیلت و رس (در طبقه‌بندی بین‌المللی) قبل و پس از حذف توأم ماده آلی و اکسید آهن در خاک‌های با مقدار مجموع مواد آلی و اکسید آهن مختلف. اعداد روی ستون تعداد خاک‌ها را نشان می‌دهد. \* : معنی‌دار در سطح ۱ درصد، \*\* : معنی‌دار در سطح ۵ درصد، \*\*\* : معنی‌دار در دو سطح ۱ درصد و ۵ درصد، ns : غیر معنی‌دار

ابتدایی خط رگرسیونی نشان می‌دهد که برخی خاک‌ها علیرغم داشتن مواد سیمانی کم، دچار تغییرات زیادی در مقدار نسبی ذرات اولیه شده‌اند. بررسی دقیق‌تر این خاک‌ها نشان داد که به طور کلی این خاک‌ها دارای یک یا چند ویژگی شیمیایی یا فیزیکی خاص با مقادیر بسیار متفاوت از خاک‌های رایج هستند. به عنوان مثال در شکل الف) مشاهده می‌شود تعداد شش نمونه با وجود درصد ماده آلی اندک، تغییرات زیادی در اثر حذف ماده آلی در توزیع اندازه ذرات متحمل شده‌اند (این خاک‌ها با نقاط قرمز رنگ در شکل ۷ الف) مشخص شده‌اند). این خاک‌ها مربوط به خاک‌های با کد ۱۲ با درصد آهک ۴۴/۴۳ و قابلیت هدایت الکتریکی ۴/۳۹ دسی زیمنس بر متر، کد ۵۰ با درصد آهک ۲۵/۷۹ و قابلیت هدایت الکتریکی ۷۶/۴۱ دسی زیمنس بر متر، کد ۶۵ با pH= ۸/۸۲ و درصد آهک ۲۴/۹۰، کد ۸۷ با درصد سنگریزه ۴۲/۵۹ و درصد آهک ۳۰/۰۴، کد ۳۷ با درصد آهک ۲۵/۵۷، درصد سنگریزه ۱۷/۸۷ و pH=۸/۴۲ و کد خاک ۸۹ با

تغییر در مقادیر ذرات اولیه ممکن است به تغییر در تعیین کلاس بافت خاک منتج گردد. لذا کلاس بافت اندازه‌گیری شده قبل و پس از حذف مواد سیمانی و همچنین درصد تغییرات کلاس بافت خاک پس از حذف مواد سیمانی نسبت به شرایط بدون حذف مواد سیمانی در جدول (۴) آمده است. پس از حذف مواد سیمانی کلاس بافت خاک به سمت کلاس‌های سنگین حرکت کرده است و بیشترین تغییر کلاس بافت در شرایط حذف اکسید آهن و توأم هر دو با ۲۱ درصد است. احتمال تغییر کلاس بافت خاک پس از حذف مواد سیمانی در خاک‌های سبک بافت بیشتر از سنگین بافت است. زیرا وسعتی از مثلث بافت که به یک کلاس تعلق دارد در بافت‌های سبک کمتر است.

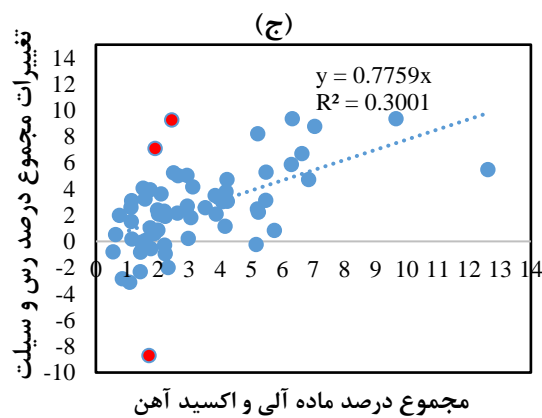
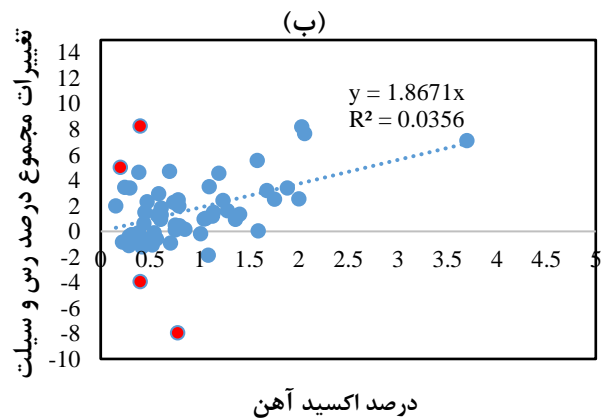
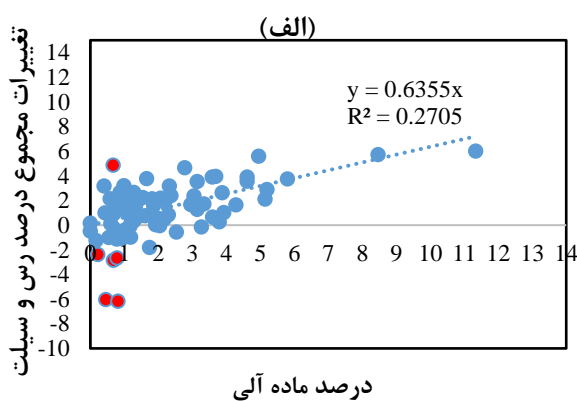
تغییرات بخش رس و سیلت در برابر درصد مواد سیمانی حذف شده در شکل الف - ج) آمده است. به نظر می‌رسد روند کلی این تغییرات مبین همبستگی مثبت تغییرات فراوانی ذرات و مقدار ماده سیمانی باشد، اما پراکندگی داده‌ها حول بخش‌های



درصد آهک ۰۴/۳۰، درصد سنگریزه ۲۲/۷۹ و  $pH=۸/۱۶$  بودند.

جدول ۴- تغییرات کلاس بافت خاک در روش طبقه‌بندی بین‌المللی

پس از حذف آهک	بدون حذف مواد سیمانی (آهک)	پس از حذف توام مواد آلی و اکسیدهای آهن	پس از حذف اکسیدهای آهن	بدون حذف مواد سیمانی (اکسید آهن و توام)	پس از حذف مواد آلی	بدون حذف مواد سیمانی (آلی)	تغییرات کلاس بافت (درصد) پس از حذف هر ماده سیمانی کلاس بافت خاک
۱۷	۲۱	۲۱	۲۱	۱۴	۱۴	۱۴	SAND
۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	LOAMY SAND
۰	۰	۲	۳	۲	۱	۲	SANDY LOAM
۱	۱	۷	۶	۱۳	۱۵	۲۱	LOAM
۱	۱	۵	۶	۹	۹	۱۲	SILT LOAM
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	SILT
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	SANDY CLAY LOAM
۰	۰	۱۸	۱۷	۱۰	۲۹	۲۲	CLAY LOAM
۰	۱	۱۳	۱۳	۱۴	۱۸	۲۱	SILTY CLAY LOAM
۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	SANDY CLAY
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	SILTY CLAY
۰	۰	۴	۳	۳	۵	۳	CLAY
۴	۲	۱۱	۱۲	۷	۱۱	۷	



شکل ۷- میزان تغییرات بخش رس و سیلت در برابر درصد مواد سیمانی حذف شده در آزمایش تعیین توزیع اندازه ذرات خاک

رس دارند. این خاک‌ها مربوط به خاک‌های با کد ۱۱ با درصد آهک ۴۲/۷۹ و قابلیت هدایت الکتریکی ۳۵/۵۲ دسی زیمنس بر

در شکل ب) نیز مشاهده می‌شود تعداد چهار نمونه با وجود درصد اکسید آهن اندک افزایش و یا کاهش چشمگیری در بخش

ناشی از عدم حذف آنها تعیین گردد. در مجموع نمونه خاکها پس از حذف هر کدام از مواد سیمانی در دو سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد افزایش معنی داری در بخش رس مشاهده شد. نتایج نشان داد زمانی که میزان ماده آلی خاک از ۴ درصد و اکسید آهن خاک از ۲ درصد تجاوز می کند، خطای عدم حذف مواد سیمانی قابل ملاحظه است. بنابراین حذف ماده آلی و اکسید آهن به ترتیب برای هر کدام از خاکهایی که میزان ماده آلی آنها از ۴ درصد بیشتر و یا میزان اکسید آهن از ۲ درصد بیشتر باشد ضروری است. اگر مجموع ماده آلی و اکسید آهن از ۵ درصد بیشتر شود حذف هر دو ماده سیمانی لازم است. عدم حذف مواد سیمانی در سایر شرایط، به ویژه برای مسایل غیر تحقیقاتی می تواند موجب کاهش قابل ملاحظه هزینه ها و زمان آزمایش ها گردد. بیشتر خاک های کشور میزان آهک بالایی دارند و آهک بیشتر به صورت ذرات اولیه در خاک وجود دارد و کمتر به عنوان عامل سیمانی مشاهده می شود. بنابراین با حذف آهک بخشی عمده ای از آهک که به صورت ذرات اولیه در خاک وجود دارد تخریب می شود. بنابراین حذف آهک در خاکهایی که میزان آهک آنها بیش از ۱۰ درصد است توصیه نمی شود. برای سایر خاکها بررسی های بیشتری باید انجام گردد. با توجه به میزان افزایش درصد بخش رس نسبت به درصد عامل سیمان کننده، اکسید آهن، مهمترین ماده سیمانی مؤثر بر خاک های کشور می باشد و به ترتیب، ماده آلی و آهک در رتبه های بعدی قرار می گیرند. به نظر می رسد در برخی خاکهایی که دارای یک یا چند ویژگی خاص بسیار متفاوت از خاک های رایج کشاورزی هستند، حذف مواد سیمانی به هر مقدار که در خاک وجود دارد، ضروری است. هر چند این یافته نیاز به مطالعات بیشتری دارد.

### سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مالی و با استفاده از امکانات و تجهیزات موسسه تحقیقات خاک و آب کشور انجام شده است و نتایج آن مستخرج از طرح تحقیقاتی با شماره ۱/۱۰/۱۳۹۴ می باشد. که بدین وسیله از این موسسه قدردانی می شود.

"هیچ گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

### REFERENCES

- Angers, D. A. (1998). Water-stable aggregation of Quebec silty clay soils: some factors controlling its dynamics. *Soil and Tillage Research*, 47(1-2), 91-96.
- Arya, L. M., and Paris, J. F. (1981). A physicoempirical model to predict the soil moisture characteristic from particle-size distribution and bulk density data 1. *Soil Science Society of America*

متر، کد ۵۴ با درصد آهک ۲۳/۶۴ و  $pH=8/34$  کد ۷۲ با  $pH=8/1$  و درصد آهک ۳۴/۶۵ و درصد سنگریزه ۱۶/۸۱، کد ۸۹ با درصد سنگریزه ۲۲/۳۸ و درصد آهک ۳۰/۳۶ و قابلیت هدایت الکتریکی ۰/۵۴ دسی زیمنس بر متر می باشد. همانطور که در شکل ج) مشاهده می شود تعداد سه نمونه با وجود مجموع درصد ماده آلی و اکسید آهن اندک افزایش و یا کاهش چشمگیری در بخش رس دارند. این خاکها مربوط به خاک های با کد ۵۴ با درصد آهک ۲۳/۶۴ و  $pH=8/4$  کد ۷۲ با  $pH=8/1$  و درصد آهک ۳۴/۶۵ و درصد سنگریزه ۱۶/۸۱، کد ۱۶ با درصد سنگریزه ۲۸/۹۷ و درصد آهک ۴۸/۴۱ و قابلیت هدایت الکتریکی ۰/۶۷ دسی زیمنس بر متر می باشد.

بنابراین می توان نتیجه گرفت در این خاکها علیرغم درصد کم ماده آلی - که ممکن است به دلیل دشواری رشد و نمو گیاهان در آنها باشد- و یا اکسیدهای آهن، حذف مواد سیمانی می تواند موجب تغییرات زیادی در توزیع اندازه ذرات اندازه گیری شده گردد.

### نتیجه گیری کلی

هم اکنون برای تعیین بافت، در بسیاری از آزمایشگاه های تحقیقاتی و تجاری خاکشناسی، مواد سیمانی خاک، حذف نمی شوند. مطالعه طیف وسیعی از خاک های مختلف از گستره ایران نشان داد که در روش هیدرومتری حذف مواد سیمانی سبب افزایش معنی داری در بخش رس و کاهش بخش سیلت و شن می گردد. حذف ماده آلی، اکسید آهن و حذف توأم ماده آلی و اکسید آهن کلاس بافت خاک را به ترتیب در ۱۴، ۲۱ و ۲۱ درصد موارد تغییر می دهد. تغییر کلاس بافت خاک به طور کلی با افزایش درصد نسبی بخش رس و کاهش بخش سیلت و شن اتفاق می افتد. بیشترین افزایش درصد نسبی ذرات در بخش رس در شرایط حذف توأم (ماده آلی و اکسید آهن) اتفاق می افتد، و به ترتیب حذف اکسید آهن، آهک و ماده آلی در رتبه های بعدی قرار می گیرند. بر خلاف مسائل تحقیقاتی که در آنها اندازه گیری دقیق ذرات اولیه لازم است، میانگین مقادیر تغییر در ذرات اولیه ممکن است برای بسیاری از مسایل کاربردی فاقد اهمیت باشد. لذا سعی گردید تا رابطه بین مقدار مواد سیمانی مختلف و مقدار خطای

*Journal*, 45(6), 1023-1030.

Asano, M., and Wagai, R. (2014). Evidence of aggregate hierarchy at micro-to submicron scales in an allophanic Andisol. *Geoderma*, 216, 62-74.

Barral, M. T., Buján, E., Devesa, R., Iglesias, M. L., and Velasco-Molina, M. (2007). Comparison of the structural stability of pasture and cultivated soils. *Science of the total environment*, 378(1-2),

- 174-178.
- Barthès, B. G., Kouakoua, E., Larré-Larrouy, M. C., Razafimbelo, T. M., de Luca, E. F., Azontonde, A., and Feller, C. L. (2008). Texture and sesquioxide effects on water-stable aggregates and organic matter in some tropical soils. *Geoderma*, 143(1-2), 14-25.
- Beare, M. H., Hendrix, P. F., and Coleman, D. C. (1994). Water-stable aggregates and organic matter fractions in conventional and no-tillage soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58(3), 777-786.
- Blake, G. R., and Hartge, K. H. (1986). Bulk density 1. *Methods of soil analysis: part 1-physical and mineralogical methods*, pp.363-375.
- Castro, C., and Logan, T. J. (1991). Liming effects on the stability and erodibility of some Brazilian Oxisols. *Soil Science Society of America Journal*, 55(5), 1407-1413.
- Cosby, B. J., Hornberger, G. M., Clapp, R. B., and Ginn, T. (1984). A statistical exploration of the relationships of soil moisture characteristics to the physical properties of soils. *Water resources research*, 20(6), 682-690.
- De Oro, L.A., Colazo, J.C., AVECILLA, F., Buschiazzi, D.E. and Asensio, C., 2019. Relative soil water content as a factor for wind erodibility in soils with different texture and aggregation. *Aeolian Research*, 37, pp.25-31.
- Dewis, J., and Freitas, F. (1970). Physical and chemical methods of soil and water analysis. *Physical and chemical methods of soil and water analysis*, (10).
- Duiker, S. W., Flanagan, D. C., and Lal, R. (2001). Erodibility and infiltration characteristics of five major soils of southwest Spain. *Catena*, 45(2), 103-121.
- Fredlund, M. D., Fredlund, D. G., and Wilson, G. W. (2000). An equation to represent grain-size distribution. *Canadian Geotechnical Journal*, 37(4), 817-827.
- Gee, G. W., and Or, D. (2002). 2.4 Particle-size analysis. *Methods of soil analysis. Part, 4(598)*, pp. 255-293.
- Gee, G. W., and Bauder, J. W. (1986). Particle-size analysis 1. *Methods of soil analysis: Part 1-Physical and mineralogical methods, (methods of soil analysis 1)*, pp.383-411.
- Holmgren, G. G. (1967). A rapid citrate-dithionite extractable iron procedure 1. *Soil Science Society of America Journal*, 31(2), 210-211.
- Jensen, J. L., Schjønning, P., Watts, C. W., Christensen, B. T., and Munkholm, L. J. (2017). Soil texture analysis revisited: Removal of organic matter matters more than ever. *PLoS one*, 12(5), e0178039.
- Jensen, J.L., Schjønning, P., Watts, C.W., Christensen, B.T., Peltre, C. and Munkholm, L.J., 2019. Relating soil C and organic matter fractions to soil structural stability. *Geoderma*, 337, pp.834-843.
- Jensen, D. K., Tuller, M., de Jonge, L. W., Arthur, E., and Moldrup, P. (2015). A new two-stage approach to predicting the soil water characteristic from saturation to oven-dryness. *Journal of Hydrology*, 521, 498-507.
- Jones Jr, J. B. (2001). Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC press.
- Karup, D., Moldrup, P., Paradelo, M., Katuwal, S., Norgaard, T., Greve, M. H., and de Jonge, L. W. (2016). Water and solute transport in agricultural soils predicted by volumetric clay and silt contents. *Journal of Contaminant Hydrology*, 192, 194-202.
- Kunze, G. W., and Dixon, J. B. (1986). Pretreatment for mineralogical analysis. *Methods of Soil Analysis: Part 1-Physical and Mineralogical Methods*, pp. 91-100.
- Lebron, I., Suarez, D. L., and Yoshida, T. (2002). Gypsum effect on the aggregate size and geometry of three sodic soils under reclamation. *Soil Science Society of America Journal*, 66(1), 92-98.
- Mikutta, R., Kleber, M., Kaiser, K., and Jahn, R. (2005). Organic matter removal from soils using hydrogen peroxide, sodium hypochlorite, and disodium peroxodisulfate. *Soil Science Society of America Journal*, 69(1), 120-135.
- Orts, W. J., Sojka, R. E., and Glenn, G. M. (2000). Biopolymer additives to reduce erosion-induced soil losses during irrigation. *Industrial Crops and Products*, 11(1), 19-29.
- Page, A. L., Miller, R. H., and Keeney, D. R. (1982). *Methods of soil analysis, part 2. Chemical and microbiological properties*, 2.
- Peixoto, R. S., Coutinho, H. L. C., Madari, B., Machado, P. D. A., Rumjanek, N. G., Van Elsas, J. D., ... and Rosado, A. S. (2006). Soil aggregation and bacterial community structure as affected by tillage and cover cropping in the Brazilian Cerrados. *Soil and Tillage Research*, 90(1-2), 16-28.
- Poelau, C., Eriksson, J., and Kätterer, T. (2015). Estimating residual water content in air-dried soil from organic carbon and clay content. *Soil and Tillage Research*, 145, 181-183.
- Rasiah, V., and Kay, B. D. (1994). Characterizing changes in aggregate stability subsequent to introduction of forages. *Soil Science Society of America Journal*, 58(3), 935-942.
- Schjønning, P., McBride, R. A., Keller, T., and Obour, P. B. (2017). Predicting soil particle density from clay and soil organic matter contents. *Geoderma*, 286, 83-87.
- Shein, E. V. (2009). The particle-size distribution in soils: problems of the methods of study, interpretation of the results, and classification. *Eurasian Soil Science*, 42(3), 284-291.
- Shukla, M. K., Lal, R., Underwood, J., and Ebinger, M. (2004). Physical and hydrological characteristics of reclaimed minesoils in southeastern Ohio. *Soil Science Society of America Journal*, 68(4), 1352-1359.
- Tisdall, J. M., and Oades, J. (1982). Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 33(2), 141-163.

Vdović, N., Obhodaš, J., and Pikelj, K. (2010). Revisiting the particle-size distribution of soils: comparison of different methods and sample pre-treatments. *European Journal of Soil Science*, 61(6), 854-864.

Walkley, A., and Black, I. A. (1934). An examination of

the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, 37(1), 29-38.