

## تغییرات کربن آلی و غیر آلی در اجزاء اندازه‌های ذرات خاک‌های تشکیل شده در ردیف اقلیمی خشک تا نیمه

### مرطوب

علیرضا راهب<sup>۱</sup>، احمد حیدری<sup>۲\*</sup>، شهلا محمودی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲. دانشیار، گروه علوم و مهندسی خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۳. استاد، گروه علوم و مهندسی خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۸/۲۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۴/۲)

### چکیده

تغییرات کربن خاک یکی از مهمترین شاخص‌های نشان‌دهنده تاثیر اقلیم بر تشکیل خاک است. بررسی مقدار کربن خاک اعم از کربن آلی و کربن غیر آلی (کربنات‌ها) و تاثیرگذاری آن بر سایر خصوصیات خاک در اقلیم‌های مختلف، لازمه مدیریت مناسب کربن خاک در مقیاس جهانی بوده و تعادل میان بخش‌های مختلف منابع کربن از نظر محیط زیست بسیار حائز اهمیت است. در این تحقیق کربن آلی و غیر آلی کمپلکس شده با ذرات اولیه (در ابعاد شن، سیلت و رس) در ۹ خاک رخ یک ردیف اقلیمی متشکل از سه اقلیم خشک (اشتهارد)، نیمه خشک (قزوین) و نیمه مرطوب (رودبار)، به ترتیب با رژیم‌های رطوبتی اریدیک تیپیک، زریک خشک و زریک تیپیک و رژیم‌های حرارتی ترمیک، ترمیک و مزیک مورد مطالعه قرار گرفتند. مقایسه آماری کربن آلی در اجزای اندازه‌های ذرات در سه منطقه مورد مطالعه به ترتیب روند رس (نیمه مرطوب  $1/36a^{ns}$ ، نیمه خشک  $1/32a^{ns}$ ، خشک  $0/63a^{ns}$ ) < سیلت (نیمه مرطوب  $0/85a^*$ ، نیمه خشک  $0/79ab^*$ ، خشک  $0/4b^*$ ) < شن (نیمه مرطوب  $0/44a^*$ ، نیمه خشک  $0/19b^*$ ، خشک  $0/05b^*$ ) را نشان داد. در حالی که مقایسه آماری کربن غیر آلی موجود در اجزای اندازه‌های ذرات خاک دارای روند سیلت (نیمه مرطوب  $18/2a^{ns}$ ، نیمه خشک  $14/03a^{ns}$ ، خشک  $11a^{ns}$ ) < شن (نیمه مرطوب  $18/96a^*$ ، نیمه خشک  $11/79ab^*$ ، خشک  $5/59b^*$ ) < رس (نیمه مرطوب  $13a^*$ ، نیمه خشک  $7/56ab^*$ ، خشک  $3/85b^*$ ) بود. همچنین نتایج نشان داد که مقدار کربن آلی در هر سه جزء اندازه‌های با افزایش عمق کاهش می‌یابد و اجزای در ابعاد رس در تمامی اعماق نسبت به سایر اجزای اندازه‌های خاک مقدار درصد کربن آلی بیشتری دارند. برخلاف کربن آلی، مقدار کربن غیر آلی اجزای اندازه‌های ذرات در هر سه منطقه در افق‌های سطحی کمتر از افق‌های زیرین بوده و با افزایش عمق افزایش می‌یابد. به طور کلی نتایج نشان داد که در ردیف اقلیمی خشک تا نیمه مرطوب با افزایش رطوبت، خاک‌های با ذرات ریزتر به علت وجود سطح ویژه بالاتر، توانایی بیشتری برای ذخیره کربن خاک دارند.

واژه‌های کلیدی: اقلیم نیمه خشک، کربنات، کربن آلی، تشکیل خاک.

### مقدمه

کربن خاک را به عنوان مهمترین شاخص کیفیت خاک معرفی کرده‌اند (Brejda et al, 2000; Rajan, 2010). این موضوع منطقی به نظر می‌رسد، زیرا بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک به مقدار کربن موجود در خاک وابسته است. کربن خاک به عنوان شاخص اصلی کیفیت و سلامت خاک قویاً تحت تاثیر مدیریت خاک است. به همین دلیل تعادل میان بخش‌های مختلف منابع کربن از نظر محیط زیست و کیفیت خاک بسیار حائز اهمیت است. نتایج اغلب بررسی‌ها حاکی است که مراتع جهان به‌طور فعال در حال ذخیره کردن کربن و تعدیل و کاهش غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفر هستند و مقدار آن در آینده ممکن است به‌طور فزاینده‌ای افزایش یابد.

نقش حیاتی کربن خاک در چرخه جهانی کربن و قابلیت آن در تعدیل یا تشدید انتشار گازهای گلخانه‌ای و تاثیر آن بر گرمایش جهانی و تغییر اقلیم، موجب تمرکز مطالعات روی کربن خاک شده و مباحث مربوط به کربن به یکی از مهمترین مباحث قرن ۲۱ تبدیل گردیده است (IPCC, 2007; Lal, 2008).

حساس بودن کربن خاک به تغییرات اقلیمی و مدیریت، باعث شده است که کربن خاک به عنوان یک شاخص مناسب برای پایش تاثیر اقلیم بر کیفیت خاک باشد. محققین مختلف

بیان کردند که بافت خاک با تأثیر بر پوشش گیاهی، رطوبت قابل استفاده و حاصلخیزی خاک، تأثیر مستقیم بر میزان کربن آلی خاک دارد و همچنین رس می‌تواند کربن آلی خاک را در برابر تجزیه محافظت کند. (McDaniel and Munn, 1985) بیان نمودند که همبستگی و ارتباط بین بافت خاک و میزان کربن آلی با افزایش دما بیشتر می‌شود. کربن آلی موجود در جزء شن (کربن آلی درشت) عمدتاً به صورت تازه یا نیمه‌تجزیه‌شده می‌باشد. کربن آلی موجود در جزء سیلت بیشتر شامل ترکیبات حلقوی (آروماتیک) بوده و نسبت به تجزیه میکروبی نسبتاً مقاوم است. کربن موجود در جزء رس بیشتر از نوع آلکیل-C بوده و ترکیبات آروماتیک کمتری دارند و همچنین حاوی هیدرات‌های کربن با منشا میکروبی می‌باشد. مواد آلی مرتبط با اجزای سیلت و رس به تغییرات مدیریتی خاک دیرتر واکنش نشان می‌دهند (Lorenz et al, 2008). (Jimenez et al, 2008) در چهار جنگل شمال شرقی کاستاریکا، مقدار کربن آلی خاک را در اجزای ذرات خاک تا عمق ۵۰ سانتی‌متر از سطح زمین بررسی کرده و گزارش دادند که جزء سیلت ریز و رس بیشترین مقدار کربن آلی خاک را در همه جنگل‌ها دارا بودند. (Bagherifam et al, 2013) نیز در مطالعات خود دریافتند که در میان اجزای بافت خاک، بخش رس همبستگی قوی با میزان ماده آلی خاک دارد. همچنین در برخی مطالعات نشان داده شده است که بیش از ۹۰ درصد کربن آلی خاک‌ها به صورت کمپلکس‌های مواد آلی و رس است (Crow et al, 2007). برخی دیگر از مطالعات نیز گویای وجود ۷۵-۵۰ درصد کربن آلی در ابعاد رس بوده است (Kaiser and Kalbitz, 2012).

بیشتر مطالعات انجام شده درباره تغییرات کربن در مناطق مرطوب و نیمه‌مرطوب جهان مختص کربن آلی بوده است (Aranda and Oyonarte, 2005). مناطق خشک بیش از ۳۰ درصد مساحت خشکی‌های جهان را شامل شده و برآوردها بیانگر آن است که بین ۱۰ تا ۲۰ درصد کربن (آلی و غیرآلی) زیست‌کره در این مناطق ذخیره شده است (Rasmussen et al, 2006). در کنار کربن آلی خاک، بسیاری از خاک‌ها دارای شکل متفاوتی از کربن تحت عنوان کربن غیرآلی هستند. این نوع کربن حدود یک سوم از منابع کربن را به خود اختصاص داده است (Hirmas et al, 2010) اما در ارتباط با عوامل موثر بر آن و پویایی آن اطلاعات بسیار اندکی وجود دارد (Wu et al, 2009). مقادیر نسبتاً کم کربنات در خاک در تشکیل خاکدانه، افزایش پایداری، افزایش قابلیت نفوذپذیری آب، افزایش فراهمی و قابلیت جذب برخی عناصر غذایی و تعدیل اسیدیته خاک مفید می‌باشد. مقادیر نسبتاً زیاد تا زیاد کربنات‌ها موجب بروز

البته میزان ظرفیت ذخیره اشکال کربن به نوع مرتع، اقلیم، مدیریت و خصوصیات خاک بستگی دارد (Cui et al, 2005).

مطالعه و بررسی اشکال کربن و کنترل آن می‌تواند در درک و تخمین ظرفیت کربن خاک و تأثیر آن در تغییرات جهانی اقلیم، راهنما و راهگشا باشد. کربن موجود در خاک یکی از مهم‌ترین منابع کربن موجود در جهان بوده و شامل دو شکل کربن آلی<sup>۱</sup> و غیرآلی<sup>۲</sup> است (Shi et al, 2012). اهمیت منابع آلی و غیرآلی کربن خاک در چرخه کربن مشخص است (Lal, 2004). برآورد شده است که کربن آلی خاک حدود دو سوم منبع کربن موجود در خاک‌های جهان را تشکیل می‌دهد (Wang et al, 2013).

عوامل بسیاری مانند پستی و بلندی، کاربری اراضی، نوع خاک، مدیریت اراضی و پوشش گیاهی، تغییرات کربن آلی را در مقیاس‌های مختلف کنترل می‌کنند (Iqbal et al, 2008). ولی در مناطق وسیع و در مقیاس جهانی، تنوع اقلیمی اولین عامل کنترل‌کننده تغییرات کربن آلی خاک است (Wang et al, 2013). کربن موجود در خاک به وسیله عوامل خاک‌سازی و فعالیت‌های انسانی کنترل می‌شود (Liang et al, 2007). در این بین دو عامل دما و بارندگی (اقلیم) تأثیر بیشتری بر تنظیم کربن موجود در خاک دارند. (Alvarez and Lavado, 2008). نشان دادند که در آرژانتین، میزان کربن آلی خاک تا عمق ۵۰ سانتی‌متری، رابطه مستقیمی با نسبت بارندگی به دما دارد.

دخاله مواد آلی خاک در فرآیندهای زیستی، تشکیل ساختمان و دسترسی تجزیه‌کنندگان به مواد اولیه، نه تنها به خصوصیات ذاتی مواد آلی، بلکه به نحوه اتصال و همراهی این مواد با اجزای معدنی خاک نیز وابسته است (Christensen, 2001). علاوه بر اقلیم، اجزای اندازه‌های ذرات خاک که از خصوصیات پایدار خاک بوده و تحت تأثیر مواد مادری و برخی عوامل خاک‌ساز قرار دارند، از عوامل تأثیرگذار در ذخیره کربن آلی خاک می‌باشند (Wang et al, 2010). کربن موجود در اجزای اندازه‌های ذرات خاک اطلاعات مفیدی در ارتباط با پویایی آن در محیط‌های طبیعی و کشاورزی فراهم می‌نماید (Rescoe et al, 2000). اجزای اندازه‌های تشکیل دهنده بافت خاک از پارامترهایی هستند که به صورت غیرمستقیم بر میزان کربن موجود در خاک موثرند (Six et al, 2002). (Wang et al, 2010) ارتباط مثبت و معنی‌داری بین میزان کربن آلی و درصد رس در اراضی شیب‌دار شمال چین گزارش کردند. این محققان

1. Soil Organic Carbon(SOC)  
2. Soil Inorganic Carbon(SIC)

تیپیک (Typic Xeric) و رژیم حرارتی مزیک واقع می‌باشند (شکل ۱، جدول ۱). رژیم حرارتی و رطوبتی مناطق مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار (۲۰۱۲)  $JNSM^3$  تعیین گردید (USDA-NRCS, 2012b). پوشش گیاهی مناطق مورد مطالعه در مناطق خشک غالباً گیاهان مرتعی یک ساله با تراکم کم بوده در حالی که در منطقه نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب علاوه بر آن، گراس‌ها و گرامینه‌ها با تراکم بیشتر نیز مشاهده شدند. شاخص خشکی<sup>۴</sup> نیز بر اساس نسبت میانگین بارندگی سالیانه به میزان تبخیر و تعرق سالیانه بدست آمد (UNEP, 1997). پس از تعیین نقشه‌های شیب، جهت و ارتفاع منطقه با استفاده از مدل رقومی ارتفاع<sup>۵</sup> و تعیین زمین‌شناسی هر یک از واحدهای شکل زمین بر اساس نقشه زمین‌شناسی مناطق مورد مطالعه، ۹ خاکرخ (۳ خاکرخ در هر منطقه) در کلاس‌های شیب یکسان، بر روی گرده شیب<sup>۶</sup> و در جهت شمالی واحدهای ژئومورفولوژی تپه انتخاب، حفرو، تشریح و نمونه‌برداری گردید. تمام خاکرخ‌های مورد مطالعه دارای زمین‌شناسی یکسان با سنگ مادر بازالت متعلق به دوره زمین‌شناسی ائوسن (منطقه خشک: تراکی‌بازالت مگاپورفیری، منطقه نیمه‌خشک: بازالت خاکستری تیره، تراکی-بازالت و آندزیت‌بازالت و منطقه نیمه‌مرطوب: گدازه‌های بازالتی) می‌باشند (Sahandi and Soheili, 2005) (شکل ۱) و به صورت درجا تشکیل شده‌اند.

جهت انجام مطالعات فیزیکی‌وشیمیایی، نمونه‌های برداشت شده پس از هواخشک شدن، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد و آزمایش‌های لازم از جمله بافت به روش هیدرومتر، اسیدیت و قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع (Carter and Gregorich, 2008)، کربن آلی بر مبنای روش والکلی-بلاک و درصد کربنات کلسیم معادل<sup>۷</sup> با استفاده از اسیدکلریدریک ۶ نرمال با روش کلسیمتری انجام گردید (Sparks, 1996). جهت تعیین توزیع اندازه ذرات رس و سیلت و جداسازی آنها با توجه به قانون استوکس از روش رسوب و سیفون (Bronick and Lal, 2005) و برای جدا نمودن ذرات بخش شن از روش الک کردن (الک ۲۷۰ مش) استفاده شد (Gee and Or, 2002). البته لازم به ذکر است که با استفاده از این روش ممکن است بخشی از کربن آلی محلول در آب، مورد اندازه‌گیری قرار نگیرد. ولی از آنجایی که مواد آلی محلول خاک تنها بخش کوچکی از ماده آلی خاک را

مشکلات متعددی نظیر تخریب ساختمان، ناپایداری خاک، کاهش نفوذپذیری و قابلیت نگهداشت آب و عدم تغذیه مناسب گیاه می‌شود (Birkeland, 1999). کربن غیرآلی خاک ساخت از مهمترین ترکیبات تشکیل دهنده خاک در اقلیم‌های خشک تا نیمه‌مرطوب با متوسط بارندگی سالانه کمتر از ۵۰۰ میلی‌متر می‌باشد (Eswaran et al, 2000) Bui et al (1990) و Kraimer and Monger (2009) بیان نمودند اگر چه کربنات خاک ساخت در همه ابعاد اندازه‌ای وجود دارند، ولی غالباً در ابعاد سیلت و رس رسوب می‌کند. درحالی‌که کربنات زمین‌ساخت معمولاً در ابعاد درشت‌تر مثل شن ظاهر می‌شوند (Berner and Lasaga, 1989).

شناخت عوامل تأثیرگذار بر کربن خاک و درک چگونگی این فرآیند بسیار مهم بوده و ارزیابی تغییرات مکانی و ذخایر آن در مقیاس‌های ملی و محلی، گام مؤثر و ضروری برای مدیریت کربن خاک می‌باشد. در زمینه مقدار کربن آلی و غیرآلی اجزای فیزیکی خاک در ایران و حتی در جهان پژوهش‌های کمی انجام گرفته است و این پژوهش‌ها بیشتر محدود به مناطق مرطوب بوده است و اطلاعات بسیار کمی در ارتباط با مناطق خشک و نیمه‌خشک وجود دارد. بنابراین این مطالعه با هدف بررسی روند تغییرات اشکال کربن آلی و غیرآلی موجود در اجزاء اندازه‌ای ذرات اولیه خاک در ابعاد شن (۲-۰/۵ میلی‌متر)، سیلت (۰/۰۵-۰/۰۲ میلی‌متر) و رس (کوچکتر از ۰/۰۰۲ میلی‌متر) در یک ردیف اقلیمی خشک تا نیمه‌مرطوب انجام شد.

## مواد و روش‌ها

این مطالعه در سه منطقه با کاربری مرتعی (هر کدام با وسعت تقریبی ۵۰۰ هکتار) از یک ردیف اقلیمی واقع در سه زیست-اقلیم متفاوت (خشک، نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب) صورت گرفت. براساس شاخص دومارتن، منطقه خشک در شهرستان اشتهارد استان البرز با عرض جغرافیایی ۴۲° تا ۴۱° ۳۵' شمالی و طول جغرافیایی ۲۷° تا ۲۶° ۵۰' شرقی، با بارندگی متوسط سالیانه ۱۳۷/۷ میلی‌متر و رژیم رطوبتی آریدیک تیپیک (Typic Aridic) و رژیم حرارتی ترمیک، منطقه نیمه‌خشک در شهرستان قزوین با عرض جغرافیایی ۲۷° تا ۲۶° ۳۶' شمالی و طول جغرافیایی ۳° تا ۲° ۵۰' شرقی، با بارندگی متوسط سالیانه ۳۱۱/۲ میلی‌متر و رژیم رطوبتی زیریک خشک (Dry Xeric) و رژیم حرارتی ترمیک، و منطقه نیمه‌مرطوب در شهرستان رودبار استان گیلان با عرض جغرافیایی ۵۲° تا ۵۰° ۳۶' شمالی و طول جغرافیایی ۳۶° تا ۳۲° ۴۹' شرقی، با بارندگی متوسط سالیانه ۳۹۰/۷ میلی‌متر و رژیم رطوبتی زیریک

3. Java Newhall Simulation Model

4. Aridity Index-AI

5. Digital Elevation Model(DEM)

6. Backslope

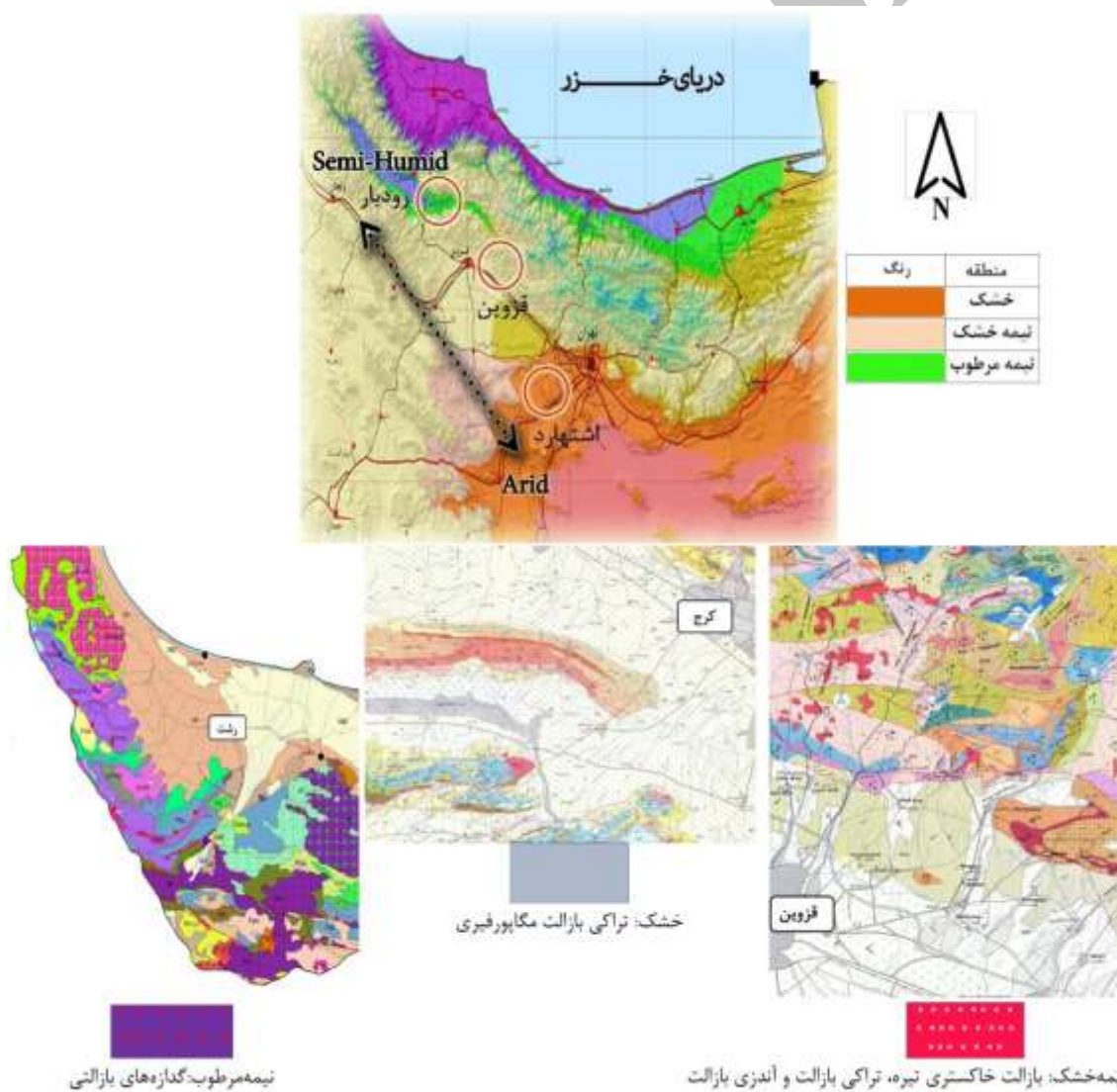
7. Calcium Carbonate Equivalent(CCE)

بررسی تغییرات کربن آلی و غیرآلی اجزای اندازه‌های ذرات، تجزیه واریانس در قالب طرح کامل تصادفی، بوسیله مقایسه میانگین داده‌ها، با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۹۵ درصد ( $P < 0.05$ ) با استفاده از نرم‌افزار SAS (ver. 9.1.3) انجام شد. در ضمن برای تحلیل آنالیز همبستگی داده‌ها به روش پیرسون نیز از نرم‌افزار SPSS 17.0 استفاده گردید.

شامل می‌شوند (کمتر از یک درصد کربن آلی خاک) (Mavi and Marschner, 2012)، به نظر می‌رسد که مقدار آن اندک بوده و تاثیر چندانی بر روی نتایج آزمایش نخواهد داشت. تشریح خاک‌ها براساس روش‌های استاندارد (USDA-NRCS, 2012a) و رده‌بندی خاک‌ها نیز بر اساس رده‌بندی آمریکایی (Soil Survey Staff, 2014) صورت گرفت. به منظور

جدول ۱- خصوصیات اقلیمی و رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک در مناطق مورد مطالعه

منطقه: اقلیم (دومارتن)	رژیم رطوبتی	رژیم حرارتی	ارتفاع بالاتر از سطح دریا	میانگین بارندگی (میلیمتر)	میانگین دما درجه سانتیگراد	تبخیر و تعرق (میلیمتر)	شاخص خشکی
اشتهارد: خشک	Typic Aridic	Thermic	۱۳۳۰-۱۲۹۷	۱۳۷/۷	۱۵/۶	۹۰۳/۲	۰/۱۶
قزوین: نیمه‌خشک	Dry Xeric	Thermic	۲۲۰۰-۲۰۸۰	۳۱۱/۲	۱۳/۹	۸۱۰/۱	۰/۴
رودبار: نیمه‌مرطوب	Typic Xeric	Mesic	۵۴۶-۲۲۰	۳۹۰/۷	۱۱/۷	۶۵۰/۱	۰/۵۶



شکل ۱- موقعیت مناطق مورد مطالعه بر روی نقشه ایران (نقشه پهنه‌بندی اقلیم کشاورزی ایران با روش یونسکو- موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور)، و نقشه زمین‌شناسی (۱:۱۰۰۰۰۰) سه منطقه

## نتایج و بحث

جدول ۲، برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. مطالعه خاک‌های حفز شده نشان داد که خاک‌های مناطق مورد مطالعه در رده‌های مالی‌سول، اریدی‌سول و اینسپیتی‌سول طبقه‌بندی می‌شوند (جدول ۲). در منطقه خشک (شاخص خشکی ۰/۱۶) به لحاظ دمای بیشتر (۱۵/۶ درجه سانتیگراد)، بارندگی کمتر (۱۳۷/۷ میلی‌متر) و وجود پوشش گیاهی با ریشه‌های ریز و خیلی ریز به مقدار کمتر از دو منطقه دیگر، خاک‌ها دارای عمق توسعه کم بوده (حداکثر ۱۰۰ سانتیمتر) و مقدار سنگریزه در آن‌ها بیشتر است (میانگین سنگریزه در منطقه با رژیم رطوبتی خشک، نیمه‌خشک و نیمه-مرطوب به ترتیب ۳۸٪، ۱۴٪ و ۱۱٪) و به عبارت دیگر خاک‌های مورد مطالعه منطقه خشک دارای تحول و تکامل زیاد نبوده‌اند. در مناطق نیمه‌مرطوب نسبت به مناطق خشک‌تر، تبخیر و تعرق کمتر (۶۵۰/۱ میلی‌متر)، میانگین بارندگی (۳۹۰/۷) و پوشش گیاهی با ریشه‌های در ابعاد مختلف به مقدار متوسط تا زیاد و میزان ماده آلی بیشتر و در نتیجه افزایش فعالیت ریزجانداران، موجب تشدید فرآیندهای خاک‌سازی و تکامل بیشتر آن‌ها می‌شود (Boul et al, 2011).

خاک‌های مورد مطالعه دارای دامنه تغییرات قابل توجهی از نظر بافت خاک بودند و در کلاس‌های بافت رسی (۴۱ درصد خاک‌ها)، لوم‌رسی‌شنی (۲۱ درصد)، لوم رسی (۱۷ درصد)، لوم‌شنی (۱۴ درصد) و لوم (۷ درصد) قرار داشتند. اسیدپته اندازه‌گیری شده در عصاره اشباع در تمام نمونه‌های مورد مطالعه قلیایی و در محدوده ۸/۱-۸/۶ بوده و مقادیر EC عصاره اشباع نیز از حداقل ۰/۳۳ دسی‌زیمنس برمتر در افق Bk خاک‌رخ ۶ منطقه نیمه‌خشک تا ۳/۳۸ دسی‌زیمنس بر متر در افق Bk خاک‌رخ ۴ منطقه نیمه‌خشک متغیر است. مقدار کربن آلی در هر سه منطقه مورد مطالعه در افق‌های سطحی بیشتر از افق‌های زیرین بوده و با افزایش عمق کاهش می‌یابد و دامنه تغییرات آن در نمونه‌های مورد مطالعه بین حداقل ۰/۰۶ تا ۱/۹۳ درصد است و حداکثر مقدار آن در افق سطحی خاک‌رخ ۶ منطقه نیمه‌خشک (رده مالی‌سول) و حداقل آن در افق‌های تحت‌الارضی خاک‌رخ ۳ (رده مالی‌سول) و حداقل آن در افق‌های سطحی کمتر از افق‌های زیرین بوده و با افزایش عمق افزایش می‌یابد و دامنه تغییرات آن در نمونه‌های مورد مطالعه بین مقادیر ناچیز (صفر) تا ۴۸ درصد متغیر است (جدول ۲). البته زیاد بودن میزان کربن غیر آلی در عمق پایین‌تر خاک به ویژه در منطقه نیمه‌مرطوب می‌تواند به

دلیل بارندگی بیشتر منطقه و پدیده آبشویی در خاک باشد که احتمالاً سبب انتقال کربنات‌ها به اعماق خاک شده است. نتایج بررسی خصوصیات اقلیمی (جدول ۱) و خصوصیات فیزیکوشیمیایی (جدول ۲) نشان می‌دهد که مقادیر کربن آلی با افزایش بارندگی سالیانه<sup>۸</sup> و کاهش دمای سالیانه<sup>۹</sup>، افزایش می‌یابد. خاک‌های مناطق خشک، عمدتاً شامل خاک‌هایی هستند که به دلیل کمی بارندگی و حساسیت به تخریب و فرسایش فاقد مقادیر قابل توجهی از کربن آلی بوده و شرایط برای تولید و تثبیت کربن آلی را ندارند (FAO, 2004). همچنین سرعت ورود بقایای گیاهی به خاک با خشک‌شدن اقلیم کاهش می‌یابد (Bohn et al, 2001).

مطالعات Franzluebbbers (2002) نشان داد که کربن آلی خاک برای خاک‌های متأثر از اقلیم مرطوب و سرد نسبت به خاک‌های تحت اقلیم خشک‌تر که در یک توالی اقلیمی بودند، بیشتر تجمع یافته بود. Alvarez and Lavado (2008) et al، Bravo (2007) و Bagherifam et al (2013) هم همبستگی معنی‌داری بین میانگین بارندگی سالانه و کربن آلی خاک گزارش کردند. به طور کلی با افزایش دما، کاهش بارندگی و درشت‌تر شدن بافت خاک میزان ماده آلی خاک کاهش می‌یابد. بیان توزیع اندازه ذرات در قالب کلاس‌های بافتی خاک که گستره وسیعی از ترکیب‌های ممکن گروه‌های سه‌گانه ذرات (شن، سیلت و رس) را در برمی‌گیرد، اطلاعات دقیقی درباره چگونگی توزیع ذرات ارائه نمی‌دهد، بنابراین تغییرات در درون هر جزء اندازه‌ای بافت به تفکیک مورد بررسی قرار گرفتند. به طور کلی، شن جزء غالب بافت خاک‌های منطقه خشک بود ولی در مناطق نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب، بخش رس سهم بیشتری داشت.

نتایج بررسی همبستگی بین درصد ذرات شن، سیلت و رس، مقادیر کربن آلی و غیر آلی و همچنین کربن آلی و غیر آلی موجود در ابعاد شن، سیلت و رس به وسیله ضریب همبستگی پیرسون در هر سه منطقه در جدول ۳ ارائه شده است. مقدار کربن آلی در مناطق مطالعه شده ارتباط مثبت معنی‌دار با درصد سیلت (۰/۵۰ در سطح یک درصد)، کربن آلی در ابعاد شن (۰/۴۱ در سطح پنج درصد)، سیلت (۰/۷۶ در سطح یک درصد) و رس (۰/۶۱ در سطح یک درصد) و رابطه منفی معنی‌دار با درصد شن (۰/۴۰ در سطح پنج درصد) و کربن غیر آلی ابعاد سیلت (۰/۴۰ در سطح پنج درصد) دارد. مقدار کربن غیر آلی نیز

<sup>8</sup> Mean Annual Precipitation (MAP)

<sup>9</sup> Mean Annual Temperature (MAT)

جدول ۲- برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک های مناطق مورد مطالعه

افق	عمق cm	بافت خاک	شن %	سیلت رس	pH	EC dSm <sup>-1</sup>	کربن آلی (%)			SIC	SOC %				
							کربن غیر آلی (%)	رس	شن						
منطقه خشک- خاکرخ ۱- Lithic Haplocambids															
A	۰-۲۲	S.L	۷۷	۱۵	۸	۸/۵	۰/۸۳	۰/۳۹	۳/۶	۰/۱۴	۰/۶۵	۱/۴۷	۳/۷۵	۲/۱۹	۱/۹۲
Bw	۲۲-۴۵	S.C.L	۵۱	۲۱	۲۸	۸/۵	۰/۳۶	۰/۱۵	۱/۵	۰/۰۳	۰/۳۸	۰/۳۶	۱/۸۷	۶۲/۵	۲/۰۶
R	>۴۵	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
منطقه خشک- خاکرخ ۲- Typic Haplocalcids															
A	۰-۱۵	L	۴۵	۳۰	۲۵	۸/۵	۱/۰۴	۰/۵۳	۲/۳	۰/۰۶	۰/۷	۰/۷۳	۱/۲۵	۳/۴۴	۱/۷۲
Bk1	۱۵-۴۰	C.L	۴۱	۲۴	۳۵	۸/۴	۱/۳۳	۰/۳۵	۱۳	۰/۰۵	۰/۴۸	۰/۳۷	۱۰	۱۸/۱۲	۸/۲۷
Bk2	۴۰-۷۰	S.C.L	۵۱	۲۳	۲۶	۸/۴	۰/۸۳	۰/۲۶	۱۸/۶	۰/۰۸	۰/۲۵	۰/۴۴	۶/۸۷	۳۰/۶۲	۷/۲۴
R	> ۷۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
منطقه خشک- خاکرخ ۳- Typic Haplocambids															
A	۰-۲۸	S.C.L	۵۱	۲۷	۲۲	۸/۳	۰/۸۳	۰/۲۱	۶	۰/۰۳	۰/۳۳	۰/۵۱	۶/۵۶	۶/۲۵	۲/۰۶
Bk	۲۸-۵۲	S.L	۷۴	۱۱	۱۵	۸/۴	۰/۵۷	۰/۱	۶/۶	۰/۰۵	۰/۳۱	۰/۵۹	۶/۸۷	۷/۱۹	۳/۱
Bck1	۵۲-۸۰	S.L	۶۶	۱۵	۱۹	۸/۴	۰/۵۴	۰/۰۸	۶/۶	۰/۰۲	۰/۲۴	۰/۵۶	۵	۹/۶۹	۳/۴۵
Bck2	۸۰-۱۰۰	S.L	۶۵	۱۷	۱۸	۸/۲	۰/۵۸	۰/۰۶	۱۰/۳	۰/۰۲	۰/۳	۰/۶۴	۸/۱۲	۱۵	۴/۸۳
منطقه نیمه خشک- خاکرخ ۴- Calcic Haploxerolls															
A	۰-۲۶	C	۲۶	۲۹	۴۵	۸/۱	۱/۰۸	۰/۹۳	۲/۱	۰/۳	۱	۱/۱۱	۳/۱۲	۳/۴۴	۱/۷۲
Bk1	۲۶-۵۷	C	۲۵	۲۹	۴۶	۸/۱	۳/۳۸	۰/۶۱	۹/۲	۰/۱۶	۰/۶۹	۱/۱۴	۷/۵	۵	۲/۰۶
Crk	۵۷-۱۵۰	C.L	۴۳	۲۸	۲۹	۸/۳	۰/۳۸	۰/۳۳	۴۸	۰/۲۹	۰/۴۷	۰/۸۱	۳۳/۸	۴۷/۵	۱۴/۸۳
R	> ۱۵۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
منطقه نیمه خشک- خاکرخ ۵- Typic Calcixerpts															
A	۰-۱۴	S.C.L	۵۴	۲۶	۲۰	۸/۲	۰/۷۱	۱/۴۹	۱/۷	۰/۳۲	۱/۹۵	۴/۶۱	۲/۵	۰/۳۱	۳/۴۵
Bk1	۱۴-۳۵	S.C.L	۴۸	۲۸	۲۴	۸/۳	۰/۷۳	۰/۸۲	۷/۶	۰/۰۷	۰/۱۵	۱/۱۱	۷/۱۹	۵/۹۴	۳/۴۵
Bk2	۳۵-۸۰	L	۴۴	۳۰	۲۶	۸/۳	۰/۴۸	۰/۵۱	۱۸/۴	۰/۰۸	۰/۱۸	۱/۱۷	۱۳/۷۵	۲۴/۳۷	۲۴/۶۳
R	> ۸۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
منطقه نیمه خشک- خاکرخ ۶- Calcic Argixerolls															
A	۰-۱۹	C	۲۶	۳۲	۴۲	۸/۵	۰/۵۹	۱/۹۳	Trace	۰/۱۶	۱/۳۲	۱/۳۲	۱/۲۵	۱/۸۷	۲/۰۶
Bt	۱۹-۴۵	C	۱۷	۲۵	۵۸	۸/۵	۰/۵۷	۰/۸۴	۳/۱	۰/۲۹	۰/۶۴	۰/۷	۶/۲۵	۵/۹۴	۱/۳۸
Btk	۴۵-۸۰	C	۱۸	۳۰	۵۲	۸/۵	۰/۵۸	۰/۳۹	۱۸	۰/۱۱	۰/۴۸	۰/۶۸	۵/۶۲	۱۹/۳۷	۷/۵۸
Bk	۸۰-۱۱۰	C	۱۹	۳۲	۴۹	۸/۶	۰/۳۳	۰/۳۷	۲۴	۰/۱۲	۰/۴۳	۰/۵۲	۳۶/۸۷	۲۶/۵۶	۱۴/۴۸
R	> ۱۱۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
منطقه نیمه مرطوب- خاکرخ ۷- Typic Calcixerolls															
A	۰-۴۵	C	۱۵	۳۷	۴۸	۸/۴	۰/۷۵	۱/۱۱	۱۷	۰/۹۸	۱/۰۷	۱/۱۸	۸/۱۲	۱۵	۸/۹۶
Bk1	۴۵-۱۲۰	C	۱۵	۳۷	۴۸	۸/۳	۱/۰۷	۰/۷۹	۱۷/۴	۰/۳۵	۰/۹	۰/۹۸	۱۸/۱۲	۱۵	۱۰/۳۴
Bk2	۱۲۰-۲۰۰	C	۱۲	۳۲	۵۶	۸/۳	۰/۵۶	۰/۲۲	۲۵/۹	۰/۱۲	۰/۳۸	۰/۵۴	۲۱/۱۵	۲۴/۶۸	۸/۲۷
R	> ۲۰۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
منطقه نیمه مرطوب- خاکرخ ۸- Calcic Haploxerepts															
A	۰-۲۱	C.L	۳۲	۳۲	۳۶	۸/۴	۱	۱/۱۵	۱۲/۵	۰/۲۵	۱/۰۵	۱/۳۳	۱۳/۸۲	۱۲/۱۸	۴/۱۴
Bk1	۲۱-۹۰	C	۲۳	۳۲	۴۵	۸/۵	۰/۵۱	۱	۱۲/۵	۰/۳۴	۱/۰۲	۲/۰۴	۱۵/۳۱	۱۲/۱۸	۷/۹۳
Bk2	۹۰-۱۶۰	C	۲۱	۲۹	۵۰	۸/۴	۰/۳۶	۰/۴۶	۱۵/۴	۰/۳۳	۰/۴۶	۱/۱۸	۱۲/۵	۱۴/۶۸	۹/۶۵
R	> ۱۶۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
منطقه نیمه مرطوب- خاکرخ ۹- Typic Calcixerolls															
A	۰-۲۱	C.L	۳۰	۳۱	۳۹	۸/۴	۱/۰۶	۰/۸۹	۵/۶	۱/۳۵	۲/۰۱	۲/۷۹	۱/۸۷	۱۴/۸۲	۱/۷۲
Bk1	۲۱-۳۲	C.L	۳۹	۲۹	۳۲	۸/۵	۰/۵۲	۰/۴۲	۲۳/۳	۰/۳۲	۰/۸۸	۱/۲۹	۲۹/۳۷	۱۶/۵۶	۱۰/۳۹
Bk2	۳۲-۹۵	C.L	۳۹	۳۲	۲۹	۸/۲	۰/۳۶	۰/۳۶	۲۴/۶	۰/۲۵	۰/۵۲	۱/۵۸	۴۱/۲۵	۳۰	۴۳/۳۸
Bkm	۹۵-۱۶۰	C	۲۶	۳۰	۴۴	۸/۲	۰/۸۸	۰/۳۴	۳۸	۰/۱۴	۰/۲۴	۰/۷۱	۲۸/۱۲	۲۶/۸۷	۲۵/۲۳
R	> ۱۶۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



شده در اجزای اندازه‌ای ذرات خاک در مناطق مورد مطالعه، نشان دادند که میزان کربن آلی در ابعاد رس بیشترین مقدار و کربن آلی ابعاد شن کمترین مقدار را دارد و به طور کلی به ترتیب از اجزای درشت به ریز میزان آن افزایش می‌یابد. نتایج Christensen (2001)، Liao et al. (2006) و Meng et al. (2014) مطابق با نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد که کربن آلی خاک معمولاً در ابعاد سیلت و رس ذخیره می‌شوند. Jagadamma and Lal (2010) نیز در بررسی توزیع کربن آلی بین اجزای خاک تحت مدیریت کشاورزی طولانی مدت به این نتیجه دست یافتند که مخزن کربن آلی خاک با ابعاد رس بیشتر از سایر ابعاد فرابت دارد. با توجه به اینکه تشکیل کمپلکس‌های مواد آلی-رس یکی از مکانیسم‌های اصلی در حفظ مواد آلی خاک است (Crow et al., 2007; Samavat et al., 2008)، بنابراین مقدار کربن آلی در ابعاد ریز (رس) بیشتر است. افزایش مقدار کربن آلی در اجزای ریزتر خاک نشان می‌دهد که احتمالاً ماده آلی این جزء خاک از درجه هوموسی بیشتری برخوردار است (Bagherifam et al., 2013).

در مناطق مطالعه شده ارتباط مثبت معنی‌دار با کربن غیر آلی ابعاد شن (۰/۸۳ در سطح یک درصد)، سیلت (۰/۹۲) در سطح یک درصد) و رس (۰/۶۶) در سطح یک درصد) دارد. نتایج جدول ۲ گویای این مطلب است که با افزایش عمق، مقدار کربن آلی در هر سه جزء اندازه‌ای کاهش می‌یابد و همچنین ابعاد رس در تمامی اعماق نسبت به سایر اجزای اندازه‌ای خاک مقدار کربن آلی بیشتری دارد.

جدول ۴ نیز مقایسه میانگین داده‌ها تغییرات کربن آلی و غیر آلی اجزای اندازه‌ای ذرات خاک در ابعاد شن و سیلت و رس را با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نشان می‌دهد. مقادیر کربن آلی در ابعاد رس در هر سه منطقه مورد مطالعه بیشتر از ابعاد سیلت و شن بود. میانگین درصد کربن آلی سه منطقه نیز بیان کننده وجود ۱/۱ درصد از کل کربن آلی موجود در ابعاد رس، ۰/۶۸ درصد در ابعاد سیلت و ۰/۲۳ درصد در ابعاد شن می‌باشد. به عبارت دیگر تجمع مواد آلی بیشتر در ابعاد ریز خاک می‌باشد (جدول ۴). نتایج Ghorbani et al. (2013) در بررسی کربن آلی در ذرات اولیه خاک در مراتع، مشابه با نتایج کربن آلی گزارش

جدول ۳- ارتباط بین اشکال کربن موجود در اجزا اندازه‌ای ذرات در مناطق مورد مطالعه

	Sand	Silt	Clay	SOC	*SOC <sub>S</sub>	*SOC <sub>Si</sub>	*SOC <sub>C</sub>	*SIC	*SIC <sub>S</sub>	*SIC <sub>Si</sub>	*SIC <sub>C</sub>
Sand	1										
Silt	-0.82(**)	1									
Clay	-0.96 (**)	0.63 (**)	1								
SOC	-0.39(*)	0.50(**)	0.29	1							
SOC <sub>S</sub>	-0.37 (*)	0.43 (*)	0.30	0.41 (*)	1						
SOC <sub>Si</sub>	-0.23	0.38(*)	0.14	0.76 (**)	0.69 (**)	1					
SOC <sub>C</sub>	0.03	0.18	-0.13	0.61 (**)	0.49 (**)	0.83(**)	1				
SIC	-0.25	0.32	0.19	-0.34	0.01	-0.32	-0.23	1			
SIC <sub>S</sub>	-0.20	0.35	0.11	-0.27	-0.05	-0.25	-0.13	0.83 (**)	1		
SIC <sub>Si</sub>	-0.16	0.24	0.11	-0.40(*)	0.04	-0.31	-0.26	0.92(**)	0.75(**)	1	
SIC <sub>C</sub>	-0.06	0.32	-0.07	-0.22	-0.03	-0.19	-0.03	0.66 (**)	0.78 (**)	0.60(**)	1

\* معنی دار بودن در سطح ۰/۰۵

\*\* معنی دار بودن در سطح ۰/۰۱

\* SOC<sub>S</sub>: کربن آلی جزء شن، SOC<sub>Si</sub>: کربن آلی جزء سیلت، SOC<sub>C</sub>: کربن آلی جزء رس

\* SIC<sub>S</sub>: کربن غیر آلی جزء شن، SIC<sub>Si</sub>: کربن غیر آلی جزء سیلت، SIC<sub>C</sub>: کربن غیر آلی جزء رس

2007). کربن آلی موجود در اجزاء اندازه‌ای مختلف دارای خصوصیات بسیار متفاوتی بوده و قابلیت آن‌ها از نظر خصوصیات فیزیکوشیمیایی در خاک متفاوت می‌باشند. بنابراین به منظور حفظ مواد آلی خاک نمی‌توان در مورد همه اجزاء تصمیم واحدی را اعمال نمود. اطلاع از اینکه کربن آلی خاک در چه اندازه‌ای است، نقش مهمی در اعمال مدیریت صحیح کربن آلی ورودی به آن بخش یا از دست رفتن کربن آلی موجود در آن، در اختیار ما می‌گذارد (Osat et al., 2012).

ذرات رس در حفظ و نگهداری کربن و جلوگیری از تجزیه آن نقش مهمی ایفا می‌کند و این موضوع می‌تواند احتمالاً ناشی از چندین عامل باشد: (۱) بخش رس با کاهش تهویه، تجزیه میکروبی را محدود می‌کند، (۲) سطح ویژه بیشتر کانی‌های رسی (کانی رسی غالب در مناطق نیمه خشک و نیمه مرطوب اسمکتایت است- گزارش نشده) و بخش رس باعث جذب بیشتر کربن می‌شود و (۳) ذرات رس همچنین قادرند تا آنزیم‌های میکروبی را جذب و آنها را غیرفعال نمایند (Balabane and Plante, 2004; Vesterdal et al., 2004).

جدول ۴- میانگین کربن آلی و غیرآلی اجزای اندازه ای ذرات موجود در سه منطقه مورد مطالعه

منطقه	میانگین درصد کربن آلی			میانگین درصد کربن غیرآلی		
	شن	سیلت	رس	شن	سیلت	رس
خشک	۰/۰۵b**	۰/۴b*	۰/۶۳a <sup>ns</sup>	۵/۵۹b*	۱۱ a <sup>ns</sup>	۳/۸۵b*
نیمه خشک	۰/۱۹b**	۰/۷۹ab*	۱/۳۲a <sup>ns</sup>	۱۱/۷۹ab*	۱۴/۰۳ a <sup>ns</sup>	۷/۵۶ab*
نیمه مرطوب	۰/۴۴a**	۰/۸۵a*	۱/۳۶a <sup>ns</sup>	۱۸/۹۶a*	۱۸/۲a <sup>ns</sup>	۱۳a*
میانگین	۰/۲۳	۰/۶۸	۱/۱	۱۲/۱۱	۱۴/۴۱	۸/۱۴

\* معنی دار در سطح ۰/۰۱  
<sup>ns</sup> غیر معنی داری  
 \* معنی دار در سطح ۰/۰۵

طبق مشاهدات پژوهش حاضر، با افزایش عمق، مقدار کربنات‌ها (عمدتاً کربنات کلسیم) در هر سه جزء اندازه‌ای افزایش می‌یابد و همچنین ابعاد شن و سیلت در تمامی اعماق نسبت به ابعاد رس خاک درصد کربنات کلسیم بیشتری دارند. کربنات کلسیم معادل موجود در ابعاد شن از لحاظ مقداری حد واسط دو جزء دیگر بوده و به عبارت دیگر تجمع کربنات کلسیم در مناطق مورد مطالعه بیشتر در اجزای درشت خاک می‌باشد (جدول ۴). میانگین کربن غیرآلی سه منطقه نیز بیان کننده وجود ۱۴/۴۱ درصد کربن غیرآلی در ابعاد سیلت، ۱۲/۱۱ درصد در ابعاد شن و ۸/۱۴ درصد در ابعاد رس می‌باشد. نتایج آماری نیز گویای همبستگی مثبت و معنی‌دار کربن غیرآلی موجود در ابعاد سیلت (۰/۹۲ در سطح یک درصد) و شن (۰/۸۳) در سطح یک درصد) با کربن غیرآلی خاک می‌باشد (جدول ۳) که مویده تاثیر بیشتر ابعاد سیلت و شن (به ویژه سیلت) در مقدار کربن غیرآلی در مناطق مورد مطالعه است (جدول ۴). یکی از مهمترین دلایل متفاوت بودن مقدار کربن غیرآلی در اجزای اندازه‌ای ذرات می‌تواند شرایط تشکیل پوشش‌های کربنات خاک ساخت باشد. به طور کلی در خاک، ذرات در اندازه شن معمولاً دارای مقادیر کمتری پوشش کربنات خاک ساخت هستند، چرا که این بخش در متن خاک، صعود مویینه محلول- های زیر اشباع را موجب شده و در نتیجه مانع از رسوب کربنات می‌گردد. در صورتی که پوشش‌های کربنات خاک ساخت در مکان‌هایی که به وسیله فراوانی ذرات ریز، هدایت هیدرولیکی کاهش می‌یابد، حضور دارند. (Treadwell-Steitz and McFadden, 2000).

میانگین کربن آلی برخلاف کربن غیرآلی در هر سه جزء اندازه‌ای شن، سیلت و رس از منطقه خشک به سمت منطقه نیمه مرطوب با افزایش بارندگی و کاهش دما روند افزایشی نشان می‌دهد. بیشترین و کمترین مقدار کربن آلی در ابعاد رس منطقه نیمه مرطوب (۱/۳۶ درصد) و ابعاد شن منطقه خشک (۰/۰۵ درصد) و در مقابل بیشترین و کمترین مقدار کربن

غیرآلی در ابعاد شن منطقه نیمه مرطوب (۱۸/۹۶ درصد) و ابعاد رس منطقه خشک (۳/۸۵ درصد) مشاهده شد (جدول ۴).

Rameshni and Abtahi (1995) در بررسی تأثیر اقلیم در تحول خاک‌ها، نتیجه گرفتند که در صورت برابر بودن میزان تولید ماده آلی، با افزایش بارندگی و کاهش درجه حرارت، خاک‌ها از تکامل پروفیلی و تنوع افق‌های بیشتری برخوردار می‌شوند. نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که عمق تجمع کربنات کلسیم در اقلیم نیمه مرطوب بیشتر از مناطق خشک و نیمه- خشک است. از یک طرف چون بارندگی در مناطق خشک و نیمه خشک اغلب به صورت رگبار است و از طرف دیگر عمق کم خاک نیز مزید بر علت گشته و همچنین آبشویی املاح کلسیم، سدیم و منیزیم به علت وجود لایه‌های نفوذناپذیر مواد مادری بازالتی به اعماق صورت نمی‌گیرد، در نتیجه تجمع آهک در مناطق خشک و نیمه خشک بیشتر در سطح (تا عمق یک متر) صورت می‌پذیرد. در حالی که بارندگی زیاد و طولانی مدت در اقلیم‌های نیمه مرطوب سبب آبشویی بیشتر عناصر کلسیم، سدیم و منیزیم شده و نتیجه آن افزایش عمق تجمع کربنات کلسیم در خاک و علائم تجمع کربنات کلسیم ثانویه در افق‌های تحتانی است. عمق تشکیل افق کلسیک رابطه مستقیم با میزان بارندگی مؤثر داشته و حداکثر تجمع کربنات کلسیم به طور عمده به منطقه نفوذ آب در خاک مربوط می‌شود که اغلب بیشتر از عمق نفوذ باران است (Boul et al, 2011). عوامل دیگری نیز می‌تواند بر عمق شستشوی کربنات کلسیم مؤثر باشد که از آن جمله قابلیت نفوذ خاک، میزان شیب زمین، بافت، ساختمان، سن خاک، تراکم و درصد کربنات کلسیم می‌باشد (Wilding et al, 1983). در خاک‌های دارای افق مالیک وجود ماده آلی زیاد سبب افزایش فعالیت موجودات خاکزی شده و در نتیجه آن تبدیل ماده آلی به گاز کربنیک سریعتر صورت پذیرفته و می‌تواند در کنار تنفس سبب افزایش بیشتر فشار دی‌اکسید کربن در خاک گردد. مقدار زیاد کربنات کلسیم معادل (۴۸ درصد در خاکرخ ۴، ۲۴ درصد در خاکرخ ۶، ۲۵/۹ درصد در خاکرخ ۷، و ۳۸ درصد در خاکرخ ۹) در افق تحتانی خاک‌های با رده بندی مالی سول احتمالاً مویده سازوکار فوق است (جدول ۲).

### نتیجه گیری کلی

تغییرات اقلیمی، با تاثیر بر رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک سبب تغییر میزان پوشش گیاهی گردیده و در نهایت بر اشکال مختلف کربن به ویژه کربن آلی خاک اثر گذاشته‌اند. افزایش دمای خاک سبب تشدید معدنی شدن می‌گردد و در نتیجه آن



بیشتر ابعاد ریزتر در نگهداشت کربن آلی خاک است. بنابراین کلیه مدیریت‌هایی که بتوانند رس و سیلت را در خاک حفظ نموده و فرسایش آن را کاهش دهند به حفظ کربن آلی و افزایش آن کمک خواهند نمود. در مقابل طبق مشاهدات نتایج آماری، درصد کربن غیرآلی ذرات درشت و متوسط ارتباط بسیار بالایی با مقادیر درصد کربن غیرآلی نشان داد که موید وجود بخش اعظم کربن غیرآلی در ابعاد شن و سیلت در مناطق مورد مطالعه می‌باشد. در مجموع در سه منطقه مورد مطالعه به صورت میانگین حدود ۴۲ درصد کربن غیرآلی کل خاک در ابعاد سیلت، ۳۵ درصد در ابعاد شن و ۲۳ درصد در ابعاد رس قرار دارد. در این مناطق، سیلت نقش مهمی در تعادل بین خاک و گیاه از نظر تغذیه‌ای با تاثیرگذاری بر اشکال کربن و سایر خصوصیات فیزیکوشیمیایی ایفا می‌کند. به طور کلی خاک‌های با ذرات ریزتر (در ابعاد رس و سیلت) به علت وجود سطح ویژه بالاتر، توانایی بیشتری برای ذخیره کربن خاک دارند.

### سیاسگزاری

بدین وسیله نهایت تقدیر و تشکر را از قطب علمی گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران (بهبود کیفیت خاک به منظور تغذیه بهینه گیاه) که بخشی از هزینه انجام این تحقیق را تامین نمودند، به عمل می‌آوریم.

### REFERENCES

- Alvarez, R. and Lavado, R. S. (1998). Climate, organic matter and clay content relationships in the Pampa and Chacosols, Argentina. *Geoderma*, 83, 127-141.
- Aranda, V. and Oyonarte, C. (2005). Effect of vegetation with different evolution degree on soil organic matter in a semi-arid environment. *Arid Environments*, 62, 631-647.
- Bagherifam, S., Karimi, A. R., Lakzian, A. and Izanloo, E. (2013). Effects of land use management on soil organic carbon, particle size distribution and aggregate stability along hillslope in semi-arid areas of northern Khorasan. *Journal of Water and Soil Conservation*, 20(4), 51-73. (In Farsi)
- Balabane, M. and Plante, A. F. (2004). Aggregation and carbon storage in silty soil using physical fractionation, techniques. *European Journal of Soil Science*, 55, 415-427.
- Berner, R. A. and Lasaga, A. C. (1989). Modeling the Geochemical Carbon Cycle. *Scientific American*, 260(March), 74-81.
- Birkeland, P. W. (1999) *Soils and Geomorphology* (3th ed.). New York: Oxford University Press.
- Bohn, H. L., McNeal, B. L. and O'Conner, G. (2001) *Soil chemistry* (2nd ed.). New York: Wiley.
- Bravo, O., Balanco, M. D. C. and Amiotti, N. (2007).

کربن آلی خاک کاهش و کربن غیرآلی افزایش می‌یابد. ویژگی دیگر منطقه وجود خاک‌های به نسبت عمیق در مناطق نیمه-مرطوب می‌باشد که به دلیل بارندگی به نسبت زیاد، پوشش گیاهی با ریشه‌های با فراوانی متوسط تا زیاد و هوادیدگی بیشتر سنگ مادر بازالت دارای تکامل بیشتری نسبت به خاک سایر مناطق است.

معمولاً افزایش درصد اجزای ریزتر ذرات خاک باعث افزایش چسبندگی ذرات و خاکدانه‌ها می‌شود. در این رابطه به خصوص در خاک‌های با بافت رسی و سیلتهی میزان کربن آلی خاک به دلیل کاهش هدررفت افزایش می‌یابد. براساس یافته‌های این پژوهش بخش اعظم کربن آلی در اجزاء ریزتر قرار دارند که مفهوم آن این است که مواد آلی موجود در سایر اجزاء با سهولت بیشتری از دست می‌روند. میانگین کربن آلی برخلاف کربن غیرآلی در هر سه جزء شن، سیلت و رس از منطقه خشک به سمت منطقه نیمه‌مرطوب با افزایش بارندگی و کاهش دما روند افزایشی نشان داده و در مجموع بیشترین مقادیر کربن آلی و غیرآلی در اجزای اندازه‌ای ذرات منطقه نیمه‌مرطوب و کمترین مقادیر آن‌ها در منطقه خشک مشاهده گردید. به عبارت دیگر در سه منطقه مورد مطالعه به صورت میانگین حدود ۵۵ درصد کربن آلی کل خاک در ابعاد رس، ۳۴ درصد در ابعاد سیلت، و ۱۱ درصد در ابعاد شن قرار دارد. نتایج آماری گویای تاثیر

Control factors in the segregation of Mollisols and Aridisols of the semiarid-arid transition of Argentina. *Catena*, 70, 220-228.

- Brejda, J. J., Moorman, T. B., Karlen, D. L. and Dao, T. H. (2000). Identification of regional soil quality factors and indicators: I. central and southern high plains. *Soil Science Society of America Journal*, 64, 2115-2124.
- Bronick, G. J. and Lal, R. (2005). Manuring and rotation effect on soil organic carbon concentration for different aggregate size fractions on two soils northeastern Ohio, USA. *Soil and Tillage Research*, 81, 239-252.
- Bui, E. N., Loeppert, R. H. and Wilding, L. P. (1990). Carbonate phases in calcareous soils of the western United States. *Soil Science Society of America Journal*, 54, 39-45.
- Buol, S. W., Southard, R. J., Graham, R. C. and McDaniel, P. A. (2011) *Soil Genesis and Classification* (6th ed.). New York: Wiley.
- Carter, M. R., and Gregorich, E. G. (2008) *Soil Sampling and Methods of Analysis* (2nd ed.). Canadian Society of Soil Science.
- Christensen, B. T. (2001). Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. *European Journal of Soil Science*, 52, 345-353.

- Crow, S. E., Swanson, C. and Lajtha, K. (2007). Density fraction of forest soils: Methodological question and interpretation of incubation result and turn over time in an ecosystem context. *Biogeochemistry*, 85, 69-90.
- Cui, X., Wang, Y., Niu, H., Wu, J., Wang, S., Schnug, E., Rogasik, J., Fleckenstein, J. and Tang, Y. (2005). Effect of long-term grazing on soil organic carbon content in semiarid steppes in Inner Mongolia. *Ecological Research*, 20, 519-527.
- Eswaran, H., Reich, P. F., Kimble, J. M., Beinroth, F. H., Padmanabhan, E. and Moncharoen, P. (2000). Global carbon sinks. In R. Lal, J. M. Kimble and B. A. Stewart (Eds.), *Global Climate Change and Pedogenic Carbonates*. (pp.15-26). CRC/Lewis Press, Boca Raton, Florida.
- Food and Agriculture Organization. (2004). *Carbon sequestration in dryland soils*. World soil Resources reports.
- Franzluebbers, A. J. (2002). Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil and Tillage Research*, 66, 95-106.
- Gee, G. W. and Or, D. (2002). Particle-size analysis. In A. D. Warren (Ed.), *Methods of Soil Analysis*. Part 4. Physical Methods. Soil Science Society of America Inc., USA.
- Ghorbani, N., Raiesi, F. and Ghorbani, Sh. (2013). Influence of livestock grazing on the distribution of organic carbon, total nitrogen and carbon mineralization within primary particle-size fractions in Shayda rangelands with cropping history. *Water and soil science*, 23(1), 209-222. (In Farsi)
- Hirmas, D. R., Amrhein, C. and Graham, R. C. (2010). Spatial and process-based modeling of soil inorganic carbon storage in an arid piedmont. *Geoderma*, 154, 486-494.
- Iqbal, J., Ronggui, H., Lijun, D., Lan, L., Shan, L., Tao, C. and Leilei, R. (2008). Differences in soil CO<sub>2</sub> flux between different land use types in midsubtropical China. *Soil biology and biochemistry*, 40(9), 2324-2333.
- IPCC. (2007). *Climate Change: Synthesis Report*. Contribution of Working Group I, to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland.
- Jagadamma, S. and Lal, R. (2010). Distribution of organic carbon in physical fractions of soils as affected by agricultural management. *Biology and Fertility of Soils*, 46, 543-554
- Jimenez, J. J., Lal, R., Russo, R. O. and Leblanc, H. A. (2008). The soil organic carbon in particle-size separates under different regrowth forest stands of north eastern Costa Rica. *Ecological Engineering*, 34, 300-310.
- Kaiser, K. and Kalbitz, K. (2012). Cycling downwards-dissolved organic matter in soils. *Soil biology and biochemistry*, 52, 29-32.
- Kraimer, R. K. and Monger, H. C. (2009). Carbon isotopic subsets of soil carbonate-A particle size comparison of limestone and igneous parent materials. *Geoderma*, 150, 1-9.
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123, 1-22.
- Lal, R. (2008). Carbon sequestration. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 363, 815-830.
- Liang, A. Z., Zhang, X. P., Fang, H. J., Yang, X. M. and Drury, C. F. (2007). Short-term effects of tillage practices on organic carbon in clay loam soil of northeast China. *Pedosphere*, 17, 619-623.
- Liao, J. D., Boutton, T. W. and Jastrow, J. D. (2006). Organic matter turnover in soil physical fractions following woody plant invasion of grassland: evidence from natural <sup>13</sup>C and <sup>15</sup>N. *Soil biology and biochemistry*, 38(11), 3197-3210.
- Lorenz, K., Lal, R. and Shiptalo, M. J. (2008). Chemical stabilization of organic carbon pools in particle-size fractions in no-till and meadow soils. *Biology and Fertility of Soils*, 44, 1043-1051.
- Mavi, M. S., and Marschner, P. (2012). Drying and wetting in saline and saline-sodic soils-effects on microbial activity, biomass and dissolved organic carbon. *Plant and soil*, 355, 51-62.
- McDaniel, P. A. and Munn, L. C. (1985). Effect of temperature on organic carbon-texture relationships in Mollisols and Aridisols. *Soil Science Society of America Journal*, 49, 1486-1489.
- Meng, F., Lal, R., Kuang, X., Ding, G. and Wu, W. (2014). Soil organic carbon dynamics within density and particle-size fractions of aquatic cambisols under different land use in northern China. *Geoderma Regional*, 1, 1-9.
- Osat, M., Haidari, A. and Sarmadian, F. (2012). An investigation of changes in fractional size and chemistry of Soil organic matter. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 42(2), 191-198. (In Farsi)
- Rajan, K. (2010). Soil organic carbon-the most reliable indicator for monitoring land degradation by soil erosion. *Current Science*, 99(6), 823-827.
- Rameshni, Kh. and Abtahi, A. (1995). Effect of climate and topography on the formation of the soils of Kuhgiluyeh area. *4th Congress of Soil Science*. Isfahan University of Technology. (In Farsi)
- Rasmussen, C., Southward, R. and Horwath, W. (2006). Mineral control of organic carbon mineralization in a range of temperate conifer forest soils. *Global Change Biology*, 12, 834-847.
- Rescoe, R., Burman, P. and Velthrost, E. J. (2000). Disruption of soil aggregates by varied amounts of ultrasonic energy in fractionation of organic matter of a clay Latosol: carbon, nitrogen and  $\delta^{13}\text{C}$  distribution in particle-size fractions. *European Journal of Soil Science*, 51, 445-454.
- Sahandi, M. R. and Soheili, M. (2005) *Geological map of Iran: scale 1:1000000*. Geological Survey of Iran, Tehran.
- Samavat, S., Pazoki, A. and Ladan Moghadam, A.

- (2008) *Applied basics of organic matter in agriculture*. Garmsar: Azad University Press.
- Shi, Y., Baumann, F., Ma, Y., Song, C., Kuhn, P., Scholten, T. and He, J. S. (2012). Organic and inorganic carbon in the topsoil of the Mongolian and Tibetan grasslands: pattern, control and implications. *Biogeosciences*, 9, 2287-2299.
- Six, J., Conant, R. T. and Paul, E. A. (2002). Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. *Plant Soil*, 241, 155-176.
- Soil Survey Staff. (2014). *Keys to Soil Taxonomy* (12nd ed.). United States Department of Agriculture. NRCS.
- Sparks, D. L. (1996) *Method of Soil Analysis*. Part 3. Chemical Methods. American Society of Agronomy.
- Treadwell-Steitz, C. and McFadden, L. D. (2000). Influence of parent material and grain size on carbonate coatings in gravelly soils, Palo Duro Wash, New Mexico. *Geoderma*, 94, 1-22.
- UNEP (United Nations Environment Programme). (1997) *World atlas of desertification* (2nd ed.). UNEP, London.
- USDA-NRCS. (2012a) *Field Book for Describing and Sampling Soils*. Version 3.0, National Soil Survey Center.
- USDA-NRCS. (2012b) *jNSM: Java Newhall Simulation Model*. Version 1.6.0. User guide-part 1. National Soil Survey Center.
- Vesterdal, L., Schmidt, I. K., Callesen, I., Nilsson, L. O. and Gundersen, P. (2007). Carbon and nitrogen in forest floor and mineral soil under six common European tree species. *Forest Ecology and Management*, 255, 35-48.
- Wang, D., Shi, X., Wang, H., Weindorf, D. C., Yu, D., Sun, W., Ren, H. and Zhao, Y. (2010). Scale effect of climate and soil texture on soil organic carbon in the uplands of Northeast China. *Pedosphere*, 20, 525-535.
- Wang, Y., Li, Y. Ye, X. Chu Y. and Wang, X. (2010). Profile storage of organic/inorganic carbon in soil: From forest to desert. *Science of the Total Environment*, 408, 1925-193.
- Wang, Z. P., Han, X. G., Chang, S. X., Wang, B., Yu, Q., Hou, L. Y. and Li, L. H. (2013). Soil organic and inorganic carbon contents under various land uses across a transect of continental steppes in Inner Mongolia. *Catena*, 109, 110-117.
- Wilding, L. P., Smeck, N. E. and Hall, G. F. (1983) *Pedogenesis and Soil Taxonomy. I. Concepts and Interactions*. Elsevier Publishing Company.
- Wu, H., Guo, Z., Gao, Q. and Peng, C. (2009). Distribution of soil inorganic carbon storage and its changes due to agricultural land use activity in China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 129, 413-421.

Archive