توزیع مکانی ماده آلی در خاک‌های سطحی در سه اقلیم استان اصفهان

فاطمه خیامیم و حسین خادمی[1]

دانشجوی دکتری دانشگاه صنعتی اصفهان؛ **f.khayamim@yahoo.com**

استاد دانشگاه صنعتی اصفهان؛ **hkhademi@cc.iut.ac.ir**

دریافت: **93/4/21** و پذیرش: **94/1/26**

چکیده:

کربن آلی خاک و ویژگی‌های مرتبط با آن مهمترین شاخص‌های شناخته شده کیفیت خاک هستند. علیرغم اهمیت کربن آلی خاک، تاکنون مطالعه جامعی در زمینه بررسی تغییرات کربن آلی در خاک‌های استان اصفهان انجام نشده است لذا این مطالعه با هدف بررسی مهمترین عوامل مؤثر بر مقدار کربن آلی خاک‌های استان اصفهان انجام شد. تعداد 248 نمونه خاک سطحی از کل استان اصفهان جمع‌آوری شد. ویژگی‌های خاک با روش‌های استاندارد آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد. داده های درازمدت دما و بارش 21 ایستگاه سینوپتیک استان تهیه و رابطه رگرسیونی بین هر یک از ویژگی های اقلیمی با ارتفاع در ایستگاه‌های سینوپتیک استان برقرار شد. از این روابط معنی‌دار برای تخمین مقادیر بارش و دما در نقاط نمونه‌برداری استفاده گردید. به منظور تجزیه و تحلیل اطلاعات خاک و تعیین مؤثرترین آن‌ها از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. پیش‌بینی مقدار کربن آلی خاک با استفاده از معادلات رگرسیون خطی چندمتغیره انجام شد. نتایج مطالعه تحلیل مؤلفه‌های اصلی در خاک‌های استان نشان داد که خاک‌های استان تحت تأثیر 4 دسته عوامل قرار دارند که به‌ترتیب تحت عنوان اقلیم و بافت خاک، شوری خاک، درصد گچ و آهک معرفی می‌شوند. مدلسازی رگرسیون چندمتغیره نیز نشان داد که اقلیم و بافت خاک نقش مؤثری در پیش‌بینی مقدار کربن آلی خاک دارند. اختلاف معنی‌دار آماری بین مناطق اقلیمی متفاوت در استان از نظر مقدار کربن آلی خاک مشاهده شد. در مجموع با توجه به تفاوت اقلیمی چشمگیر در استان و کمبود کربن آلی در خاک‌های استان انتظار می‌رود با برنامه‌ریزی-های دراز مدت و اقدامات مدیریتی لازم از کاهش ذخایر کربن خاک و به تبع آن تخریب خاک به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک جلوگیری به عمل آید.

واژه‌های کلیدی: بارش، رگرسیون چندمتغیره، تحلیل مؤلفه‌های اصلی

[1]. نویسنده مسئول، آدرس: اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده کشاورزی، گروه خاکشناسی،کدپستی: 84156-83111

مقدمه

کربن آلی جزء اصلی اکوسیستم‌های خاکی است و تغییر در فراوانی و ترکیب آن اثرات اساسی بر روی فرآیندهای اکوسیستم دارد (باتجس، 1996). در مقیاس جهانی، کل کربن ذخیره شده در خاک 1/5 تریلیون تن است که این مقدار تقریباً سه برابر بیشتر از کربن موجود در گیاهان و دو برابر بیشتر از کربن موجود در اتمسفر است (کوتروفو و همکاران، 2011). مواد آلی خاک شامل بقایای گیاهی و جانوری تازه یا در حال تجزیه و تخریب، زیست توده موجودات زنده در خاک و مواد حاصل از تولید و تجزیه ریزجانداران موجود در خاک می‌باشد (لوکاس، 2004). با توجه به اینکه مواد آلی در بسیاری از خصوصیات خاک از جمله حاصلخیزی خاک، ساختمان خاک، نفوذ آب در خاک، ظرفیت نگه‌داری آب در خاک، تراکم خاک و فعالیت میکروبی خاک تأثیر دارد، به عنوان شاخص پایداری خاک شناخته می‌شود (لَل و همکاران، 1997، تارکلسون و همکاران، 2009).

مقدار و توزیع کربن آلی در خاک بسیار متغیر است و بنابراین تعیین دقیق مقدار آن می‌تواند کمک زیادی به مدیریت منابع طبیعی و محیط زیست نماید (لو و همکاران، 1997). توزیع و مقدار کربن آلی خاک تابعی از عوامل مختلف نظیر اقلیم، ویژگی‌های خاک، پستی و بلندی و مدیریت می‌باشد که در این میان اقلیم از اهمیت بالایی برخوردار است (نادری و همکاران، 1386).

دما و رطوبت از جمله عوامل اقلیمی مهمی هستند که بر روی میزان کربن آلی خاک تأثیرگذار می باشند. در صورت یکسان بودن بافت خاک، پوشش گیاهی و سایر عوامل، با افزایش بارش، مقدار کربن آلی خاک افزایش می‌یابد (پُست، 1993). در نتیجه می‌توان گفت، افزایش بارندگی مؤثر، موجب رشد بیشتر گیاه و در نهایت تولید کربن آلی بیشتر می‌شود. تغییر در فرآیند تولید کربن آلی (رشد گیاهان) و از بین‌رفتن کربن آلی (تجزیه میکروبی) از جمله واکنش‌هایی است که کربن آلی موجود در خاک نسبت به دما از خود نشان می‌دهد. در خاک‌های گرم، میزان تجمع کربن آلی نسبت به خاک‌های سرد کم‌تر است. بنابراین، از اقلیم سرد به اقلیم گرم مقدار کربن آلی کاهش می‌یابد و در صورتی‌که شرایط رطوبتی و پوشش گیاهی یکنواخت باشد، به ازای هر 10 درجه سانتی گراد کاهش میانگین دمای سالانه، میانگین کربن آلی دو تا سه برابر افزایش می‌یابد (فرنزلوبرز، 2002).

اقلیم نقش مهمی را در تنظیم تعادل بین ذخیره کربن اتمسفر و خشکی ایفا می‌کند (اپستین و همکاران، 2002). در مقیاس جهانی، ذخیره کربن آلی خاک با بارش و دما به ترتیب رابطه مستقیم و معکوس دارد (جوباگی و جکسون، 2000)؛ اما در مقیاس منطقه‌ای، هومان و همکاران (1995) نشان دادند که با افزایش هر دو عامل دما و بارش در جنگل‌های غرب اورگان ذخیره کربن آلی خاک افزایش می‌یابد. میرسمانس و هَمکاران (2011) دریافتند که کربن آلی خاک به شدت با بارش و دما در زمین‌های کشاورزی بلژیک همبستگی دارد. جوباگی و جکسون (2000) توزیع عمودی مقدار کربن آلی خاک را در ارتباط با اقلیم و پوشش گیاهی مورد بررسی قرار دادند. نتایج این محققین نشان داد که بارش و اقلیم مهمترین پیش‌بینی‌کننده‌های مقدار کربن آلی خاک در 20 سانتی‌متری فوقانی خاک هستند، در حالیکه در اعماق بیشتر خاک، مقدار رس در پیش‌بینی مقدار کربن آلی خاک از اهمیت بیشتری برخوردار است. تیان و همکاران (2013) تأثیر اقلیم را بر انتقال کربن آلی محلول در هفت ساحل رودخانه‌ای آمریکا با چهار اقلیم متفاوت مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که دما مهمترین متغیر در انتقال کربن آلی به‌ویژه زمانی است که میزان تغییرات دمای سالیانه بیش از 5 درجه سانتی‌گراد بوده و مقدار بارش کافی باشد. وانگ و همکاران (2013) تأثیر اقلیم و بافت خاک را بر مقدار کربن آلی خاک در بخشی از کشور چین مورد مطالعه قرار دادند.

نتایج آن‌ها نشان داد که مقدار کربن آلی خاک در مناطق سردسیر شمالی این کشور بیشتر از مناطق گرمسیر مورد مطالعه بوده است. همچنین در تمامی اعماق خاک همبستگی منفی و معنی‌داری بین مقدار کربن آلی خاک و دمای خاک مشاهده کردند در حالیکه ارتباط کربن آلی با میانگین بارش سالیانه فقط در خاک سطحی مشاهده شد. زراعت‌پیشه و خرمالی (2012) تأثیر ترکیب خاک، پایداری خاکدانه‌ها و نوع کانی رسی را بر مقدار کربن آلی خاک در یک طیف اقلیمی (مناطق با بارش بین 200 تا 800 میلی‌متر) مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که مقدار کربن آلی با افزایش اندازه خاکدانه‌ها افزایش می‌یابد. این محققین ارتباط معنی‌داری بین مقدار کربن آلی خاک و مقدار کانی‌های رسی پیدا نکرده و اینگونه بیان کردند که مقدار کربن آلی خاک به‌وسیله فاکتورهای اقلیمی کنترل می‌شود چرا که مقدار کربن آلی خاک با شاخص اقلیمی مورد مطالعه همبستگی مثبت نشان داد.

به طور کلی اطلاعات بسیار کمی در رابطه با میزان و چگونگی ذخیره کربن در اکوسیستم‌های خشک و نیمه خشک وجود دارد (بونینو، 2006). اگرچه اکوسیستم‌های خشک و نیمه خشک به واسطه پوشش ضعیف‌تر، میزان کربن آلی پایین‌تری نسبت به اکوسیستم‌های معتدل و

مرطوب حاره دارند، اما بیش از 30 درصد مساحت خشکی‌های جهان را شامل شده و بنابراین 10 تا 20 درصد کربن زیست‌کره را در برمی‌گیرند (راسموسن و همکاران، 2006). بنابراین، بررسی میزان کربن آلی خاک و عوامل مؤثر بر آن در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک اهمیت به‌سزایی دارد. بعلاوه، مطالعه مقدار کربن آلی در اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک، اطلاعات مفیدی درباره عواقب تغییر اقلیم در اختیار ما قرار می‌دهد، چراکه این اکوسیستم‌ها در نتیجه تغییرات اقلیمی و به علت طبیعت شکننده خاک، دچار آشفتگی و آسیب می‌شوند (نادری و همکاران، 1386). بنابراین، با توجه به وجود تفاوت‌های اقلیمی و ارتفاعی چشمگیر در استان اصفهان و با توجه به اینکه تاکنون مطالعه‌ای جامع در رابطه با بررسی ارتباط مقدار کربن آلی با متغیرهای اقلیمی و ویژگی‌های خاک در این استان انجام نشده است، این مطالعه با اهداف ذیل انجام شد:

1- بررسی عوامل اصلی کنترل کننده تغییرات در خاک‌های استان اصفهان با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی
2- پیش‌بینی مقدار کربن آلی خاک بر اساس متغیرهای اقلیمی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با استفاده از روابط رگرسیون چندمتغیره در کل استان اصفهان و زیر تقسیمات اقلیمی
3- مطالعه روابط همبستگی بین مقدار کربن آلی خاک و متغیرهای اقلیمی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

مواد و روش‌ها

این مطالعه در کل استان اصفهان با وسعت 107045 کیلومتر مربع انجام شد. استان اصفهان بین ′42 °30 تا ′27 °34 عرض شمالی و ′38 °49 تا ′32 °55 طول شرقی در بخش مرکزی ایران واقع شده است (پرتال استان اصفهان، 1393). دمای هوا در استان از غرب به شرق افزایش می‌یابد. در بین مناطق استان، خور با میانگین دمای سالانه 21 درجه سانتیگراد گرمترین و فریدون‌شهر با دمای میانگین سالانه 10 درجه سانتیگراد سردترین منطقه استان اصفهان می‌باشد. این تغییرات دمایی ناشی از وضعیت توپوگرافی و ناهمواری‌های موجود در استان می‌باشد. به‌طوریکه، ارتفاع استان از 700 تا 2600 متر متغیر بوده و میانگین ارتفاع استان 1660 متر است. میزان بارش استان از شرق به غرب افزایش می‌یابد (پرتال استان اصفهان، 1393).

به منظور انجام نمونه‌برداری خاک، منطقه مطالعاتی به طور منظم و به ابعاد 20 کیلومتر در 20 کیلومتر شبکه‌بندی شد و در هر شبکه محل نمونه‌برداری به طور تصادفی انتخاب شد. نمونه‌برداری به صورت مرکب حاصل از 5 نمونه (رئوس و مرکز مربعی به ابعاد 20×20 متر) و از عمق 0 تا 20 سانتی‌متر انجام شد. در مجموع با توجه به شبکه‌بندی مورد نظر 248 نمونه خاک از کل استان جمع‌آوری شد (شکل 1).

مقدار کربن آلی خاک در نمونه‌های مورد مطالعه به روش والکی-بلک اندازه‌گیری شد. EC و pH خاک در عصاره 1:2 آب به خاک و به‌ترتیب به وسیله دستگاه هدایت‌سنج و pH متر اندازه‌گیری شدند. درصد گچ و آهک خاک نیز به ترتیب با روش‌های آون و تیتراسیون برگشتی مورد ارزیابی قرار گرفتند (اسمیت، 1991). داده‌های دراز مدت اقلیمی (دما و بارش) 21 ایستگاه سینوپتیک استان، از اداره هواشناسی استان اصفهان تهیه گردید. رابطه رگرسیونی بین بارش و ارتفاع ($y = 0.0005x + 1.4231$ $R^2 = 0.73^{**}$) و دما و ارتفاع ($y = -0.0063x + 26.054$ $R^2 = 0.95^{**}$) در ایستگاه‌های سینوپتیک استان برقرار شد. با توجه به صحت و معنی‌داری روابط بدست آمده از این روابط برای تخمین مقادیر بارش و دما در نقاط نمونه‌برداری استفاده شد. شکل 1 موقعیت مکانی ایستگاه‌های هواشناسی به همراه نقاط نمونه‌برداری را نشان می‌دهد. همچنین به منظور بررسی دقیق‌تر تغییرات کربن آلی، منطقه مطالعاتی بر اساس شاخص اقلیمی دومارتن به سه منطقه اقلیمی خشک، نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب تقسیم شد و ارتباط مقدار کربن آلی با ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی خاک و اقلیم در هر یک از زیرتقسیمات اقلیمی نیز مورد بررسی قرار گرفت.

به منظور تجزیه و تحلیل اطلاعات خاک و کاهش تعداد متغیرها و تعیین مؤثرترین آن‌ها از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. روش تحلیل مؤلفه اصلی روشی است که متغیرهای موجود در یک فضای چندبعدی همبسته را به یک مجموعه از مؤلفه‌های غیرهمبسته خلاصه می‌کند که هر یک از آن‌ها ترکیب خطی از متغیرهای اصلی می‌باشند. مؤلفه‌های غیرهمبسته بدست آمده مؤلفه‌های اصلی (PC) نامیده می‌شوند که از بردارهای ویژه ماتریس کوواریانس یا ماتریس همبستگی متغیرهای اصلی بدست می‌آیند. اولین مؤلفه بیشترین اطلاعات را با خود به همراه دارد و از نقطه نظر آماری بیشترین واریانس را توضیح می‌دهد. مؤلفه دوم بیشترین اطلاعات باقیمانده که توسط مؤلفه اول توضیح داده نشده است را بیان می‌کند. با انتخاب چند مؤلفه اصلی اول، سایر مؤلفه‌ها از محاسبات بعدی حذف می‌شوند. از

نمودار واریزه‌ای[1] که در آن مقادیر ویژه در مقابل شماره مؤلفه رسم می‌شود، برای تشخیص آستانه حذف استفاده می‌شود. سپس به منظور بهبود روابط بین متغیرها و عامل-های اولیه و اعمال تبدیلات خاص بر روی عامل‌ها، عمل دوران یا چرخش انجام می‌شود. دوران یا چرخش واریماکس از جمله متداولترین روش‌های دوران متعامد است که استقلال بین عامل‌های خارجی را حفظ می‌کند و متغیرهای دارای بار عاملی بزرگتر را به کمترین تعداد تقلیل می‌دهد (جانسون و ویچرن، 1982). لازم به ذکر است که قبل از انجام تحلیل مؤلفه‌های اصلی باید از مناسب بودن داده‌ها اطمینان حاصل نمود. بدین منظور از ضریب KMO[2] استفاده می‌شود. این ضریب بین صفر و یک در نوسان است، درصورتیکه KMO کمتر از 0/5 باشد، داده‌ها برای انجام روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی مناسب نخواهند بود و اگر مقادیر این ضریب بین 0/5 تا 0/69 باشد تناسب داده‌ها متوسط و اگر بزرگتر از 0/7 باشد همبستگی‌های موجود در بین داده‌ها برای تحلیل عاملی مناسب خواهد بود. علاوه بر KMO، برای اطمینان از مناسب بودن داده‌ها برای تحلیل عاملی از آزمون کرویت بارتلت[3] نیز استفاده می‌شود، چنان‌چه این آزمون معنی‌دار شود بدین معنی خواهد بود که حداقل شرایط لازم برای اجرای تحلیل عاملی وجود دارد.

به منظور برقرارسازی ارتباط بین مقدار کربن آلی خاک با ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی خاک‌ها و اقلیم و بررسی میزان اثر هر یک از ویژگی‌ها بر شاخص‌های مورد نظر از روش رگرسیون چند متغیره استفاده شد. بدین ترتیب توسط این روش، مهمترین ویژگی‌های خاک که بیشترین همبستگی را با مقادیر کربن آلی خاک دارند به ترتیب و به صورت گام به گام وارد مدل رگرسیونی می-گردند. هر یک از ویژگی‌های وارد شده به عنوان متغیر مستقل به ترتیب اهمیت خود به صورت سیستماتیک باعث افزایش دقت مدل می‌شوند. اعتبارسنجی هر یک از مدل‌ها بر اساس ضریب تبیین تطبیق یافته (R_{adj}) و حداقل خطای معیار تخمین (SEE) مورد بررسی قرار گرفت. کلیه تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS 18 انجام شد.

نتایج و بحث

توصیف آماری متغیرها

جدول 1 خلاصه‌ای از وضعیت آماری کربن آلی و برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های استان اصفهان و ویژگی‌های اقلیمی (دما و بارش) را نشان می‌دهد. میانگین درصد کربن آلی در خاک‌های استان اصفهان 0/3 و مقادیر حداقل و حداکثر آن به ترتیب 0 و 1/4 درصد می‌باشد. اغلب مطالعات انجام شده در زمینه کربن آلی و اهمیت آن در مناطق غربی و شمالی کشور متمرکز شده است، لذا مقایسه مقدار کربن آلی خاک در استان اصفهان با سایر مطالعات انجام شده در کشور نشان می‌دهد که میانگین مقدار کربن آلی خاک‌های استان در مقایسه با تحقیقات انجام شده در سایر مناطق کشور کمتر است. لکزیان و همکاران (1392) حداقل، حداکثر و میانگین کربن آلی خاک‌های بخشی از شهرستان مشهد با میانگین بارش سالیانه 250 میلی‌متر و متوسط دمای سالیانه 14 درجه سانتی‌گراد را 0/08، 2/4 و 1/07 درصد گزارش کردند. منصوری و همکاران (1393) در مطالعه‌ای به بررسی اثر دما و بارش در بخشی از مراتع استان کرمانشاه پرداختند. نتایج نشان داد که میانگین کربن آلی خاک‌های بخشی از استان کرمانشاه 1/2 درصد است. مقامی و همکاران (1392) در مطالعه‌ای بر روی خاک‌های مراتع منطقه روئین استان خراسان شمالی با میانگین بارندگی و دمای سالیانه به‌ترتیب 351 میلی‌متر و 8/3 درجه سانتی-گراد و اقلیم نیمه‌خشک سرد مقدار کربن آلی خاک را به طور میانگین 1/4 درصد گزارش کردند. پیله‌ور شهری و همکاران (1389) میانگین درصد کربن آلی خاک را در اراضی تپه‌ماهوری ضرغام‌آباد سمیرم (بخشی از استان اصفهان) 0/8 گزارش نمود.

میانگین درصد رس، سیلت و شن خاک‌های استان به ترتیب 12/9، 31/5 و 55/5 درصد است و عمده کلاس-های بافتی خاک‌های استان لوم و لوم‌شنی می‌باشد. مقادیر گچ و آهک نیز در محدوده وسیعی تغییر کرده که مقادیر آهک بین 0/2 تا 80 درصد و مقادیر گچ نیز بین 0 تا 41/6 درصد متغیر است. محدوده مقادیر EC خاک‌های استان بین 0/1 تا 48/6 دسی زیمنس بر متر و میانگین مقادیر pH خاک‌های استان 7/9 است (جدول 1).

میانگین دما و بارش استان به ترتیب 15/5 درجه سانتی‌گراد و 215/8 میلی‌متر است. مقادیر دمای استان بین 9/2 تا 21/4 درجه سانتی‌گراد و مقادیر بارندگی بین 62/2 تا 571 میلی‌متر متغیر است (جدول 1). از بین متغیرهای مورد بررسی کربن آلی، گچ، هدایت الکتریکی و SAR چولگی مثبت نشان دادند. در حالیکه سایر پارامترهای مورد مطالعه نظیر آهک، درصد رس، سیلت، شن، pH، دما

---

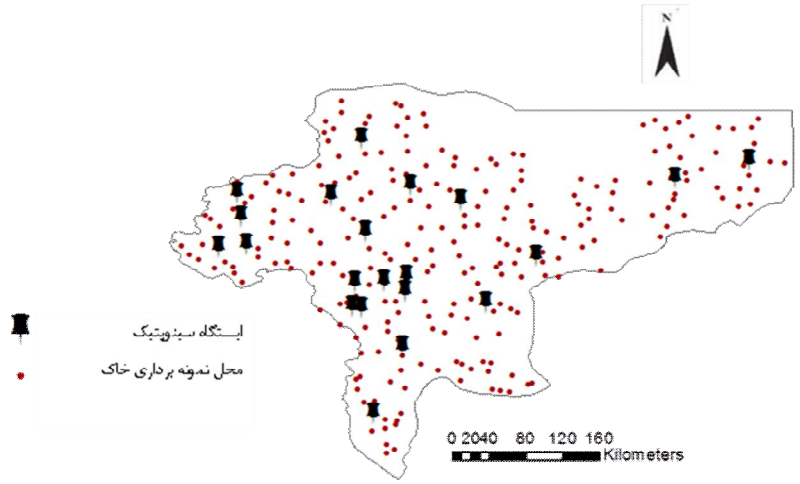
1. Scree plot
1. Kaiser Meyer Olkin
2. Bartlett's test of sphericity

و بارش از توزیع نرمال پیروی کرده و و آزمون کولموگروف- اسمیرنوف نیز مؤید این مطلب می‌باشد.

تحلیل مؤلفه‌های اصلی

مقدار ضریب KMO برای داده‌های مورد مطالعه، 0/605 بدست آمد که نشان‌دهنده امکان استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی داده‌های مورد مطالعه می‌باشد. همچنین معنی‌دار شدن آزمون کرویت بارتلت استفاده از این روش را تأیید کرد.

جدول 2 مقدار ویژه واریانس متناظر با عامل‌ها را نشان می‌دهد. مقادیر ویژه اولیه برای هر یک از عامل‌ها در قالب مجموع واریانس تبیین‌شده برآورد می‌شود. واریانس بر حسب درصدی از کل واریانس و درصد تجمعی بیان شده است. مؤلفه‌هایی که واریانس کل بیشتر از یک دارند به عنوان مؤلفه اصلی معرفی می‌شوند. مؤلفه اول تا چهارم در این مطالعه به ترتیب 38، 21، 11 و 9 درصد از کل واریانس داده‌ها را در بر می‌گیرند. در مجموع چهار مؤلفه اول قادرند حدود 80 درصد از کل واریانس را توجیه نمایند. این مسئله نشان می‌دهد که تغییرات در مقدار ویژگی‌های خاک در استان تحت تأثیر چهار دسته عامل اصلی قرار دارد.



شکل 1- موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری خاک و ایستگاه‌های سینوپتیک استان اصفهان

جدول 1- برخی از آماره‌های توصیفی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و اقلیمی خاک‌های مورد مطالعه

متغیر	واحد	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
کربن آلی	%	0/0	1/4	0/3	0/3	1/9	3/5
گچ	%	0/0	41/6	5/2	6/9	2/8	9/7
آهک	%	0/2	80	28/0	17/7	0/5	-0/6
رس	%	2/0	38/9	12/9	7/5	0/7	-0/2
سیلت	%	2/0	85/0	31/5	17/0	0/7	0/3
شن	%	0/2	94/7	55/5	20/2	-0/3	-0/7
EC	dS/m	0/1	48/6	2/7	6/8	4/3	21/0
pH	-	7/1	8/7	7/9	0/21	0/1	0/8
SAR	$(meq/L)^{0.5}$	0/2	184/6	5/6	18/7	7/0	57/4
دما	^0C	9/3	21/4	15/5	3/3	-0/0	-1/0
بارش سالیانه	mm	62/2	571/0	215/8	127/6	0/80	-0/2

جدول 3 بردارهای ویژه (بارهای عامل) هر یک از متغیرها را بعد از چرخش واریماکس نشان می‌دهد. مقادیر این جدول ارتباط هر یک از متغیرها را با هر یک از مؤلفه‌های اصلی نشان می‌دهد. هر متغیر در مؤلفه‌ای قرار می‌گیرد که با آن مؤلفه همبستگی بالا و معنی‌دار داشته باشد. متغیرهای کربن آلی، رس، سیلت، شن، بارش و دما دارای بیشترین بار عامل در مؤلفه اول هستند. EC و SAR بیشترین بار عاملی را در مؤلفه دوم دارند. درصد گچ و

pH خاک در مؤلفه سوم و درصد آهک خاک نیز بیشترین بار عاملی را در مؤلفه چهارم دارد. به عبارتی می‌توان گفت که تغییرات در استان اصفهان تحت تأثیر چهار عامل اصلی قرار دارد. قرارگیری متغیرهای کربن آلی، رس، سیلت، شن، بارش و دما در مؤلفه اول حکایت از نقش مهم اقلیم در منطقه مطالعاتی دارد، بنابراین می‌توان گفت که اقلیم و بافت خاک به عنوان عامل اول و اصلی کنترل‌کننده تغییرات خاک در استان مطرح است. حضور دو متغیر EC و SAR در مؤلفه دوم نشان دهنده اهمیت شوری و قلیائیت خاک به عنوان دومین عامل مهم تغییرات در خاک‌های استان است. درصد گچ و مقدار pH عامل سوم تغییرات هستند و آهک نیز با قرارگیری در مؤلفه چهارم به نقش ماده مادری در ایجاد تغییرات در استان اشاره می‌کند.

جدول 2- مقادیر ویژه داده‌های 11 متغیر مورد بررسی در منطقه مطالعاتی

فاکتورها	واریانس اولیه		
	واریانس کل	درصد	واریانس تجمعی
1	4/2	38/0	38/0
2	2/3	21/0	59/0
3	1/2	11/2	70/2
4	1/01	9/2	79/5
5	0/6	5/9	85/5
6	0/6	5/2	90/7
7	0/5	4/8	95/5
8	0/3	2/7	98/3
9	0/1	1/4	99/7
10	0/0	0/2	100
11	$2/67\times10^{-8}$	$2/5\times10^{-7}$	100

جدول 3- بردارهای ویژه (بارهای عامل) متغیرهای مورد بررسی بعد از چرخش واریماکس در منطقه مطالعاتی

متغیر	مؤلفه 1	مؤلفه 2	مؤلفه 3	مؤلفه 4
کربن آلی	0/84	-0/03	0/16	-0/01
گچ	-0/46	0/19	0/64	-0/03
آهک	-0/03	-0/04	-0/14	0/92
رس	0/72	-0/03	-0/08	-0/01
سیلت	0/58	0/29	0/50	0/41
شن	-0/76	-0/23	-0/39	-0/34
EC	-0/14	0/93	0/14	0/00
pH	-0/19	0/05	-0/79	0/16
SAR	0/08	0/94	-0/03	-0/02
دما	-0/86	0/26	0/06	-0/00
بارش سالیانه	0/90	-0/21	-0/02	-0/06

همبستگی بین مقدار کربن آلی با ویژگی‌های اقلیمی و خاک

جدول 4 همبستگی مقدار کربن آلی با برخی از ویژگی‌های اقلیمی و خاک را در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد. مقدار کربن آلی خاک با مقادیر بارش و دما به ترتیب، همبستگی مثبت و معنی‌دار و همبستگی منفی و معنی‌دار دارد. بارش به طور واضح نقش مستقیمی بر مقدار کربن آلی ذخیره شده در خاک در مقیاس منطقه‌ای

و جهانی دارد. بارش بهترین پیش‌بینی‌کننده کربن آلی خاک در 20 سانتی‌متری فوقانی خاک محسوب می‌شود. بر خلاف بارش، رابطه مثبتی بین توزیع عمقی کربن آلی با دما مشاهده می‌شود چرا که میانگین دمای سالیانه تأثیر زیادی بر تجزیه کربن از سطح به عمق دارد (بورک و همکاران، 1989). وانگ و همکاران (2013) همبستگی مثبت و معنی‌دار بین مقدار کربن آلی خاک و میانگین بارش سالیانه در لایه سطحی خاک گزارش کردند. همچنین این محققین همبستگی منفی و معنی‌دار بین مقدار کربن آلی خاک و میانگین دمای سالیانه در کلیه اعماق خاک مشاهده کردند.

همبستگی منفی و معنی‌دار بین درصد کربن آلی خاک با pH، EC و درصد گچ خاک مشاهده شد، بدین معنی که در مناطقی که مقدار کربن آلی خاک بیشتر است، قلیائیت، شوری و درصد گچ خاک کمتر می‌باشد. همبستگی معنی-داری بین مقدار رس و سیلت با درصد کربن آلی خاک وجود دارد. درحالی‌که همبستگی منفی و معنی‌دار بین درصد شن و درصد ماده آلی خاک مشاهده شد. این مسئله به روشنی نشان می‌دهد که در مناطقی که خاک دارای بافت سنگین‌تری است، مقدار کربن آلی خاک بیشتر است. آنزیم‌هایی که در تجزیه‌ی مواد آلی دخالت دارند توسط کانی‌های رسی جذب شده و به صورت غیر فعال در می‌آید. همچنین، جذب مواد آلی توسط رس‌ها، آن‌ها را در برابر ریزجانداران خاک محافظت کرده، در نتیجه میزان مواد آلی در خاک‌هایی که در بافت آن‌ها مقدار رس زیاد است، بیشتر می‌باشد (متین‌فر و مالکی، 1389). نتایج جوباگی و جکسون (2000) نیز نشان داد که ضریب همبستگی بین مقدار کربن آلی و بارش و دما در عمق 0 تا 20 سانتی‌متری خاک به ترتیب **0/33 و *0/17- بوده و ارتباط بین مقدار کربن آلی و رس و شن خاک دارای ضریب همبستگی به ترتیب *0/07 و **0/28- می‌باشد.

جدول 4- ضریب همبستگی مقدار ماده آلی خاک با متغیرهای اقلیمی و برخی از ویژگی‌های خاک

	گچ	آهک	رس	سیلت	شن	EC	pH	دما	بارش
ماده آلی (%)	**0/43-	$^{n.s}$0/005	**0/52	**0/58	**0/66-	**0/39-	*0/14-	**0/78-	**0/78

** معنی‌داری در سطح 1 درصد، * معنی‌داری در سطح 5 درصد و n.s عدم معنی‌داری را نشان می‌دهد.

تخمین کربن آلی خاک از طریق روابط رگرسیون چندمتغیره

به منظور تعیین مهم‌ترین عوامل مؤثر بر مقدار کربن آلی خاک در استان اصفهان، از رگرسیون چندمتغیره خطی گام به گام استفاده شد. نتایج حاصل در جدول 5 نشان داده شده است. در مرحله (1) کلیه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به همراه متغیرهای اقلیمی گام به گام به مدل رگرسیونی وارد شد. نتایج نشان داد که از میان کلیه متغیرهای مورد بررسی بارش و درصد شن به عنوان مؤثرترین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده وارد مدل شدند. به طوری که با افزایش میزان بارش و کاهش درصد شن موجود در خاک مقدار کربن آلی خاک افزایش می‌یابد. این مدل رگرسیونی توانسته است 72 درصد از تغییرات کربن آلی سطحی خاک‌های استان را توجیه نماید. 28 درصد از تغییرات کربن آلی توسط این مدل بیان نمی‌شود که این مسئله احتمالاً به علت وجود روابط غیرخطی بین پدیده‌ها می‌باشد که توسط این مدل رگرسیونی در نظرگرفته نمی‌شود. در مرحله (2) تنها ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک وارد مدل رگرسیونی شده و از متغیرهای اقلیمی صرفنظر شد. نتایج نشان داد که از میان کلیه عوامل درصد شن، گچ، هدایت الکتریکی خاک و درصد آهک موجود در خاک بیشترین تأثیر را در پیش‌بینی مقدار کربن آلی خاک دارند. لازم به ذکر است که رابطه درصد شن، گچ، هدایت الکتریکی خاک و درصد آهک با مقدار کربن آلی خاک رابطه منفی است به طوری که با کاهش تمام عوامل یادشده مقدار کربن آلی خاک افزایش می‌یابد. با صرفنظر از عامل مهم اقلیم بر مقدار کربن آلی خاک به روشنی می‌توان دریافت که از میان عوامل فیزیکی و شیمیایی خاک، بافت خاک از اهمیت زیادی در پیش‌بینی مقدار کربن آلی خاک برخوردار است. علاوه بر بافت خاک، شوری و گچ خاک نیز بسیار اهمیت دارد. در مناطقی که شوری و گچ خاک زیاد است مقدار کربن آلی خاک کم است. این مسئله نیز به طور غیرمستقیم به اقلیم منطقه ارتباط دارد. در مناطق با اقلیم خشک، بارش باران برای شستشوی املاح محلول و گچ از خاک کافی نبوده و مقادیر زیادی از املاح و گچ در خاک تجمع یافته، درحالی‌که مقدار کربن آلی خاک در این مناطق بسیار کم است. در مرحله (3) تنها دو متغیر بارش و دما به مدل رگرسیونی وارد شد که نشان داد با افزایش بارش و کاهش دمای هوا مقدار کربن آلی خاک افزایش می‌یابد

(جدول 5). وانگ و همکاران (2013) از مدل رگرسیون چندمتغیره خطی جهت پیش‌بینی مقدار کربن آلی خاک در بخشی از کشور چین استفاده کرده و گزارش کردند که اقلیم قادر است 39/4 درصد از تغییرات کربن آلی خاک در بخش فوقانی خاک (0-20 سانتی‌متر) توجیه نماید.

در تحقیقات انجام شده در کشورمان از رگرسیون چندمتغیره خطی جهت مدلسازی مقدار کربن آلی خاک با کمک ویژگی‌های عوارض سطح زمین و ویژگی‌های خاک استفاده شده است (لکزیان و همکاران، 1392، پیله‌ور شهری و همکاران، 1389 و واحدی و همکاران، 1393). پیله‌ور شهری و همکاران (1389) با استفاده از یک مدل رگرسیونی شامل متغیرهای ارتفاع، شاخص رطوبت، انحنای سطح زمین و سطح ویژه حوضه توانستند 60 درصد از تغییرات کربن آلی خاک را در منطقه مورد مطالعه پیش‌بینی نمایند. واحدی و همکاران (1393) از رگرسیون چندمتغیره خطی جهت پیش‌بینی مقدار وزنی ذخیره کربن آلی خاک استفاده کرده و نسبت C/N، مقدار فسفر و نیتروژن و درصد رس خاک را به عنوان مهمترین عوامل معرفی کردند.

جدول 5- ارتباط مقدار کربن آلی خاک با ویژگی‌های خاک و اقلیم در کل منطقه مورد مطالعه به روش رگرسیون خطی گام به گام

معادله خطی بدست آمده	Adj R^2	SEE
(1) OC (%) = 1.20+0.002 (Precipitation)-0.008(Sand)	0/72**	0/22
(2) OC (%) = 2.17-0.014(Sand)-0.013(Gypsum)-0.008(EC)- 0.002(carbonates)	0/54**	0/28
(3) OC (%) = 1.27-0.03 (Temperature)+0.002(Precipitation)	0/64**	0/25

**: معنی‌داری در سطح 1%

توصیف آماری و مدلسازی مقدار کربن آلی خاک در زیر تقسیمات اقلیمی استان اصفهان

جدول 6 توصیف آماری درصد کربن آلی خاک را در سه منطقه اقلیمی استان اصفهان نشان می‌دهد. بر اساس شاخص دومارتن (مقادیر کوچکتر از 10)، 161 نقطه از نقاط نمونه‌برداری شده از استان (نزدیک به 65 درصد) در اقلیم خشک واقع شده‌اند که میانگین بارش سالیانه بین 61 تا 240 میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه 14 تا 21 درجه سانتی‌گراد دارند. میانگین درصد کربن آلی خاک در این منطقه اقلیمی 0/1 است. نواحی شمال، شرق و شمال شرق استان اصفهان (شهرستان‌های آران و بیدگل، خور و بیابانک و انارک) دارای آب وهوای خشک با تابستان گرم می‌باشند که به دلیل این‌که میزان بارندگی سالانه خیلی کم و میزان دمای سالانه خیلی زیاد می‌باشد، از لحاظ ماده‌ی آلی فقیر هستند. بیش از 90 درصد نقاط موجود در اقلیم خشک مقدار کربن آلی کمتر از 0/3 درصد دارند (شکل 2). نتایج مدلسازی رگرسیون چندمتغیره خطی برای این گروه اقلیمی نشان می‌دهد که با افزایش بارش و کاهش درصد شن مقدار کربن آلی خاک در این مناطق افزایش می‌یابد (جدول 7). مدل رگرسیونی بدست آمده برای این گروه اقلیمی با مدل بدست آمده برای کل استان بسیار شباهت دارد و بیانگر اینست که مقدار کربن آلی خاک در کل استان به شدت تحت تأثیر اقلیم و به‌ویژه اقلیم خشک است.

65 نقطه از نقاط نمونه‌برداری (26 درصد از مناطق استان) بر اساس شاخص اقلیمی دومارتن (مقادیر کوچکتر از 20) در اقلیم نیمه‌خشک واقع شده‌اند. این مناطق میانگین بارش سالیانه بین 240 تا 420 میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه 10 تا 14 درجه سانتی‌گراد دارند. میانگین کربن آلی در این گروه اقلیمی (نیمه‌خشک) 0/4 درصد است (جدول 6). این مناطق بیشتر در مرکز و شمال غرب و مناطق نزدیک به جنوب استان واقع شده‌اند و از نظر مقدار کربن آلی متوسط هستند بطوریکه 60 درصد از این مناطق کربن آلی بیش از 0/3 درصد دارند (شکل 2). مدل رگرسیونی بدست آمده برای این گروه اقلیمی نشان می‌دهد که بافت خاک، دما و pH خاک از مهمترین عوامل مؤثر بر مقدار کربن آلی در این مناطق هستند (جدول 7).

22 نقطه از نقاط نمونه‌برداری (کمتر از 9 درصد) بر اساس شاخص اقلیمی دومارتن (مقادیر کوچکتر از 30) در اقلیم مدیترانه‌ای و نیمه مرطوب واقع شده‌اند که به طور کلی این گروه نیمه‌مرطوب نامگذاری شد. این مناطق میانگین بارش سالیانه بین 420 تا 570 میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه 9 تا 10/8 درجه سانتی‌گراد دارند. میانگین کربن آلی در این گروه اقلیمی 0/8 درصد است (جدول 6). نقاط واقع در غرب و جنوب استان (شهرستان‌های سمیرم، فریدن و فریدونشهر) در این گروه اقلیمی واقع شده‌اند و مقدار کربن آلی در بیش از 70 درصد از این

مناطق بیش از 0/6 درصد است (شکل 2). در مدل رگرسیونی برای این گروه اقلیمی تنها عامل مؤثر بر پیش‌بینی مقدار کربن آلی خاک مقدار بارش است که نشان می‌دهد اقلیم مهمترین فاکتور در پیش‌بینی مقدار کربن آلی خاک بوده و با افزایش بارش مقدار کربن آلی افزایش یافته و در این گروه اقلیمی به حداکثر مقدار خود در استان یعنی 1/4 درصد می‌رسد.

اختلاف معنی‌دار آماری در سطح 5 درصد بین میانگین مقدار کربن آلی خاک در گروه‌های اقلیمی وجود دارد (شکل 3). بیشترین مقدار کربن آلی در اقلیم نیمه-مرطوب (1/4 درصد) با میانگین 0/8 درصد و کمترین هم به اقلیم خشک 0/03 درصد تعلق دارد. در صورت یکسان بودن بافت خاک، پوشش گیاهی و سایر جنبه‌ها، با افزایش بارش، مقدار ماده‌ی آلی خاک افزایش می یابد. در نتیجه می توان گفت، افزایش بارندگی مؤثر، موجب رشد بیشتر گیاه و در نهایت تولید ماده‌ی آلی بیشتر می‌شود. منصوری و همکاران (1393) در مطالعه‌ای در بخشی از استان کرمانشاه منطقه مورد مطالعه خود را بر اساس سیستم اقلیم‌نمای آمبرژه به 5 منطقه اقلیمی (مرطوب سرد، مرطوب معتدل، نیمه‌مرطوب سرد، نیمه مرطوب فراسرد و مدیترانه‌ای فراسرد) تقسیم‌بندی کرده و به بررسی تأثیر بارش و دما بر مقدار کربن آلی پرداختند. نتایج این محققین نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین اقلیم‌های مختلف در میزان کربن آلی خاک مشاهده نمی‌شود. این محققین معتقدند که اختلاف دما و بارش منطقه آنقدر زیاد نیست که باعث تفاوت چشمگیر در مقدار کربن آلی خاک شود. این محققین عوامل مدیریتی و انسانی و سایر ویژگی‌های خاک را بر مقدار کربن آلی در منطقه مطالعاتی تأثیرگذار دانستند. فرنزلوبرز (2002) با بررسی یک توالی اقلیمی نشان داد که مقدار تجمع کربن آلی در خاک‌های مناطق دارای اقلیم مرطوب و سرد نسبت به خاک‌های مناطق دارای اقلیم خشک بیشتر است. به عبارت دیگر، با افزایش دما، کاهش بارندگی و درشت شدن ذرات خاک از مقدار ماده آلی خاک کاسته می‌شود.

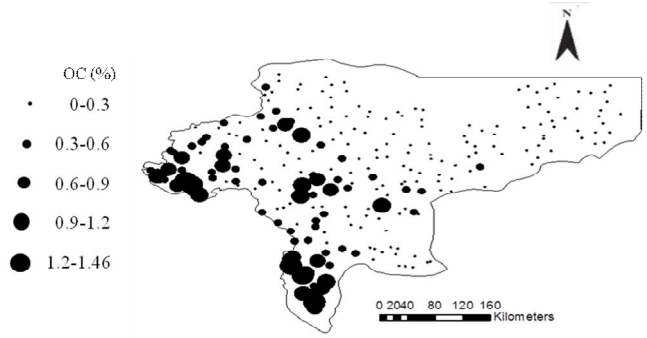
جدول 6- توصیف آماری درصد کربن آلی خاک در زیر تقسیمات اقلیمی استان اصفهان

منطقه اقلیمی	تعداد	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
خشک	161	0/0	1/0	0/1	0/1	3/5	13/8
نیمه‌خشک	65	0/0	1/3	0/4	0/2	1/5	3/4
نیمه‌مرطوب	22	0/5	1/4	0/8	0/3	0/6	-1/0

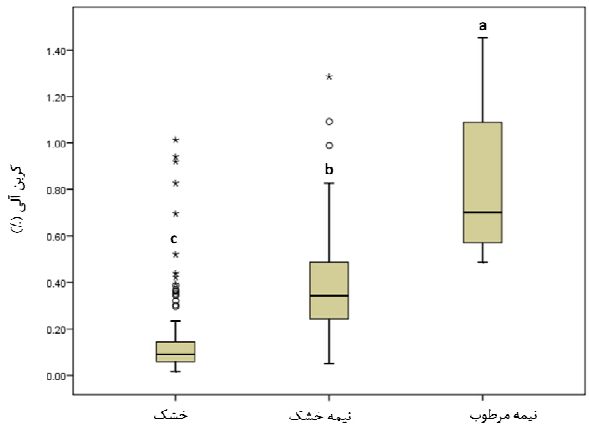
جدول 7- ارتباط مقدار کربن آلی خاک با ویژگی‌های خاک و اقلیم در زیر تقسیمات اقلیمی استان اصفهان به روش رگرسیون خطی گام به گام

منطقه اقلیمی	معادله خطی بدست آمده	$Adj\ R^2$ R^2	SEE
خشک	OC (%) = 0.27-0.43(Sand)+0.24(Precipitation)	0/3**	0/13
نیمه‌خشک	OC (%) = 3.56-0.43(Sand)-0.21(Temperature)- 0.20(pH)	0/4*	0/18
نیمه مرطوب	OC (%) = -0.92+0.45(Precipitation)	0/2*	0/29

** معنی‌داری در سطح 1% و * معنی‌داری در سطح 5% را نشان می‌دهند.



شکل 2- نقشه توزیع میزان کربن آلی خاک‌های استان اصفهان (نقاط اندازه‌گیری شده)



شکل 3- نمودار جعبه‌ای کربن آلی خاک در منطقه مطالعاتی

نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه تحلیل مؤلفه‌های اصلی در خاک‌های استان نشان داد که خاک‌های استان تحت تأثیر 4 دسته عوامل قرار دارند که به‌ترتیب تحت عنوان اقلیم و بافت خاک، شوری خاک، درصد گچ و آهک معرفی می‌شوند. مدلسازی رگرسیون چندمتغیره نیز نشان داد که اقلیم و بافت خاک نقش مؤثری در پیش‌بینی مقدار کربن آلی خاک دارند. اختلاف معنی‌دار آماری بین مناطق اقلیمی متفاوت در استان از نظر مقدار کربن آلی خاک مشاهده شد. نتایج تقسیم‌بندی اقلیمی استان نیز مؤید این مطلب است که بخش اعظم استان در منطقه اقلیمی خشک واقع شده و از نظر کربن آلی فقیر است این مناطق بیشتر در شمال، شمال شرق و شرق استان واقع شده‌اند. این در حالیست که تنها در بخش کوچکی از غرب و جنوب استان که دارای اقلیم نیمه‌مرطوب است، شرایط خاک از نظر مقدار کربن آلی مناسب است. در مجموع با توجه به تفاوت اقلیمی چشمگیر در استان و کمبود کربن آلی خاک‌های استان انتظار می‌رود با برنامه‌ریزی‌های درازمدت و اقدامات مدیریتی لازم از کاهش ذخایر کربن خاک و به تبع آن تخریب خاک به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک جلوگیری به عمل آید.

فهرست منابع:

1. پیله‌ور شهری، ا.، ایوبی، ش. و خادمی، ح. 1389. مقایسه مدل شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی چندمتغیره در پیش‌بینی کربن آلی خاک به کمک داده‌های آنالیز سطح زمین. نشریه آب و خاک. 24(6): 1151-1163.
2. لکزیان، ا.، فاضلی سنگانی، م.، آستارایی، ع و فتوت، ا. 1392. تخمین و پهنه‌بندی میزان کربن آلی خاک با استفاده از آنالیز عوارض زمین (مطالعه موردی: بخشی از اراضی شهرستان مشهد). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). 27(1): 180-192.
3. متین فر، ح. ر. و مالکی، ع. 1389. علوم خاک. انتشارات دانشگاه لرستان.
4. مقامی مقیم، ف.، کریمی، ع. ر.، حق‌نیا، غ. ح. و دوراندیش، آ. 1392. امکان استفاده از کربن آلی خاک به عنوان شاخصی برای تصمیم‌سازی درباره تغییر کاربری اراضی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی (علوم آب و خاک). 17(65): 77-88.
5. منصوری، ا.، کریمی، ع. ر.، پرویزی، ی. و امامی، ح. 1393. بررسی اثر دما و بارندگی بر میزان کربن آلی خاک در بخشی از مراتع استان کرمانشاه. دومین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار.

6. نادری، ه.، هدایتی‌زاده، ر. و درودی، ه. 1386. اثر خصوصیات فیزیوگرافی (ارتفاع و شیب) بر میزان ذخیره کربن آلی و کل نیتروژن خاک، دهمین کنگره علوم خاک ایران، تهران.
7. واحدی، ع. ا.، متاجی، ا. و حجتی، م. 1393. مدلسازی مخزن کربن آلی خاک در رابطه با ویژگی‌های فیزیکو-شیمیایی خاک در جنگل گلندرود در شمال ایران. مجله پژوهش‌های خاک. 28(1): 53-62.
8. Batjes, N. H. 1996. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. Eur. J. Soil Sci. 47: 151-163.
9. Bonino, E. E. 2006. Change in carbon pools associated with a land use gradient in the dry Chaco, Argentina. Forest Ecol. Manag. 223: 183-189.
10. Burke, I. C., C. M. Yonker, W. J. Parton, C. V. Cole, K. Flach, and D. S. Schimel. 1989. Texture, climate, and cultivation effects on soil organic matter content in U.S. grassland soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 53: 800-805.
11. Cotrufo, M. F., R. T. Conant, and K. Paustian. 2011. Soil organic matter dynamics: land use, management and global change. Plant soil. 338:1-3.
12. Epstein, H. E., I. C. Burke, and Lauenroth, W. K. 2002. Regional patterns of decomposition and primary production rates in the U.S. Great Plains. Ecol. 83: 320-327.
13. Franzluebbers, A. J. 2002. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. Soil Till. Res. 66: 95-106.
14. Homann, P. S., P. Sollins, H. N. Chappell, and A. G. Stangenberger. 1995. Soil organic carbon in a mountainous, forested region: relation to site characteristics. Soil Sci. Soc. Am. J. 59: 1468-1475.
15. Jobbagy, E. G., and R. B. Jackson. 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. Ecol Appl. 10: 423-436.
16. Johnson, R. A. and D.W. Wichern. 1982. Applied multivariate statistical analysis. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, SA, 590 p.
17. Lal, R., J. Kimble, and R. Follett. 1997. Soil quality management for carbon sequestration. p. 1-8. In R. Lal et al. (ed.) Soil properties and their management for carbon sequestration. USDA, NRCS, NSSC, Lincoln, NE.
18. Lu, Y. C., C. Daughtry, G. Hart, and B. Watkins. 1997. The current state of precision farming. Food. Rev. Int. 13: 141-162.
19. Lucas, S. T. 2004. Elevation of labile soil carbon test for prediction of soil productivity response to organic matter management. M. Sc. Thesis, University of Maryland, College park. 212 pages.
20. Meersmans, J., B. Wesemael, E. Goidts, M. Van Molle, S. DeBaets, and F. De Ridder. 2011. Spatial analysis of soil organic carbon evolution in Belgian croplands and grasslands, 1960–2006. Glob. Change Biol. 17: 466-479.
21. Post, W. M. 1993. Organic carbon in soil and global carbon cycle. P. 216-302. In: M. Heiman (ed.). The Global Carbon Cycle., NATO ASI Series 1: Global Environmental Change. Springer, New York.
22. Rasmussen, C., R. Southward, and W. Horwath. 2006. Mineral control of organic carbon mineralization in a range of temperate conifer forest soils. Glob. Change Biol. 12: 834-847.
23. Smith, K. A. 1991. Soil Analysis. 2nd ed., Marcel Decker, New York.
24. Tarkalson, D. D., B. Brown, H. Kok, and D. L. Bjorneberg. 2009. Irrigated small-grain residue management effects on soil chemical and physical properties and nutrient cycling. Soil Sci. 174:303-311.
25. Tian, Y. Q., D. F. Anthony, Y. Changjiang, and B. Ashley. 2013. Effects of climate and land-surface processes terrestrial dissolved organic carbon export to major U.S. coastal rivers. Ecol. Engineer. 54: 192-201.

26. www.isfp.ir/ Accessed on May 25, 2014.
27. Wang, M. Y., X. Z. Shi, D. S. Yu, S. X. Xu, M. Z. Tan, W. X. Sun, and Y. C. Zhao. 2013. Regional differences in the effect of climate and soil texture on soil organic carbon. Pedosphere. 23: 799-807.
28. Zeraatpishe, M. and F. Khormali. 2012. Carbon stock and mineral factors controlling soil organic carbon in a climatic gradient, Golestan province. J. Soil Sci. Plant Nutr. 12: 637-654.