

Spatial Variations of Organic and Inorganic Carbon Stocks in Some Forest and Rangeland Soils of Northern Iran

MARYAM OSAT¹, AHMAD HEIDARI^{2*}

1. Assistant professor of Horticulture Crop Research Department, Kordestan agricultural and natural resources research and education center, AREEO, Sanandaj, Iran

2. Professor, Soil Science Department, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

(Received: Feb. 19, 2019- Revised: March. 11, 2019- Accepted: March. 17, 2019)

ABSTRACT

Spatial variability of soil organic carbon in different land uses could be effective in interpreting and simulating the behavior of ecosystems in encountering the climate and environmental changes. The hilly lands of the study area are unique ecosystem with particular importance due to the effect of slope in creating microclimates with different vegetation. The spatial variability of soil organic and inorganic carbon contents and storages were studied at various depths. The effects of land use, parent material, topographical properties and some of soil characteristics on soil organic and inorganic carbon contents and storages were investigated in 56 soil pedons. In average, the highest (SOC=196.6 Mg/ha, SIC=88.2 Mg/ha) and lowest (SOC=59.9 Mg/ha, SIC=11.3 Mg/ha) storage contents of soil organic and inorganic carbon were found in Mollisols and Entisols, accordingly. The highest average total carbon storage also was found in Mollisols (284.9 Mg/ha) while the lowest was in Entisols (71.2 Mg/ha). Increasing soil inorganic carbon with increasing soil organic carbon indicates that inorganic carbon originates from soil organic carbon. In forestland, most amounts of soil organic carbon stocks are located in surface horizons, in fresh and semi-decomposed forms and in combination with silt fractions. Therefore, forest soils are more fragile in response to the changes in management rather than rangelands that contain most of their organic carbon stocks in subsurface horizons and in combination with clay fractions.

Keywords: Soil Organic Carbon, Soil Inorganic Carbon, Spatial Variability, Forest, Rangeland

تغییرات مکانی ذخایر کربن آلی و غیر آلی در چند رده خاک جنگلی و مرتعی شمال ایران

مریم اوسط^۱، احمد حیدری^{۲*}

۱. استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی-باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان،

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران

۲. استاد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه

تهران، کرج ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۳۰ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۱۲/۲۰ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۱۲/۲۶)

چکیده

بررسی تغییرات مکانی کربن آلی خاک در کاربری‌های مختلف، کمک شایانی در تفسیر و شبیه‌سازی رفتار اکوسیستم‌های خاکی در مواجهه با تغییرات اقلیمی و زیست‌محیطی می‌کند. اراضی تپه‌ای و شیب‌دار روستای باندر به دلیل اکوسیستم منحصر به فرد و تأثیر شیب در ایجاد خرد اقلیم‌ها و تغییرات پوشش گیاهی، از اهمیت خاصی برخوردار است. تغییرات مکانی میزان محتوا و ذخیره کربن آلی و غیرآلی خاک در اعماق مختلف مورد مطالعه قرار گرفت. تأثیر نوع کاربری اراضی، مواد مادری، ویژگی‌های توپوگرافی و برخی از ویژگی‌های خاک نیز بر روی میزان محتوا و ذخیره کربن آلی و غیرآلی خاک در ۵۶ خاکرخ بررسی شد. به طور متوسط بیشترین میزان ذخایر کربن آلی و غیرآلی خاک $SOC=196/6 \text{ Mg/ha}$ ، در مالی‌سول‌ها و کمترین مقادیر در انتی‌سول‌ها $SIC=88/2 \text{ Mg/ha}$ ، $SOC=59/9 \text{ Mg/ha}$ ، $SIC=11/3$ به دست آمد. بیشترین میزان ذخیره کربن کل نیز به طور متوسط در مالی‌سول‌ها $284/9 \text{ Mg/ha}$ و کمترین آن در انتی‌سول‌ها $71/2 \text{ Mg/ha}$ به دست آمد. همبستگی بین ذخایر کربن آلی و غیرآلی خاک نشان دهنده آن است که کربن غیر آلی خاک در این منطقه از کربن آلی سرچشمه می‌گیرد. در کاربری جنگل قسمت اعظم ذخایر کربن آلی خاک در افق‌های سطحی قرار داشته و کربن آلی آن نیز بیشتر از نوع تازه و نیمه تجزیه شده و در ارتباط با جزء سیلت خاک می‌باشد. بنابراین خاک‌های جنگلی نسبت به خاک‌های مرتعی که قسمت اعظم کربن آلی آن‌ها در افق‌های زیرسطحی و در ارتباط با جزء رس خاک قرار دارد، در پاسخ به تغییر کاربری و اقدامات مدیریتی شکننده‌تر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: کربن آلی، کربن غیرآلی، تغییرات مکانی، جنگل، مرتع

مقدمه

کربن آلی خاک در کاربری‌های مختلف، کمک شایانی در تفسیر و شبیه‌سازی رفتار اکوسیستم‌های خاکی در مواجهه با تغییرات اقلیمی و زیست‌محیطی خواهد نمود (Wang et al., 2009). Wang et al. (2009) نشان دادند که کاربری اراضی و نوع خاک بیشترین تأثیر را در تغییرپذیری مکانی کربن آلی خاک دارند. مطالعات Arrouays et al. (2001) نشان داد که اراضی زراعی کمترین و کوهستان‌ها بیشترین مقادیر کربن آلی خاک را دارند. به طور کلی محتوای کربن آلی خاک تحت تأثیر عواملی چون اقلیم منطقه، پوشش گیاهی، خصوصیات خاک، کاربری اراضی، توپوگرافی و نوع مدیریت قرار دارد. این عوامل در مقیاس‌های مختلف، تغییرات مکانی کربن آلی را کنترل می‌کنند. در مقیاس جهانی، تنوع اقلیمی (دما و بارندگی) مهم‌ترین عوامل کنترل کننده تغییرات کربن آلی خاک (Wang et al., 2013) می‌باشند. از طرف دیگر در یک منطقه مشخص، کربن آلی خاک

کربن موجود در خاک یکی از مهم‌ترین منابع کربن موجود در جهان بوده که به دو شکل کربن آلی (SOC) و غیرآلی (SIC) یافت می‌شود (Shi et al., 2012). کربن آلی خاک حدود دوسوم منبع کربن موجود در خاک‌های جهان را تشکیل داده (Wang et al., 2013) و میزان آن دو برابر کربن موجود در اتمسفر و سه برابر کربن موجود در پوشش گیاهی سطح زمین است (Cotrufo et al., 2011). ذخایر کربن خاک و اتمسفر ارتباط نزدیکی با فعالیت فتوسنتز گیاهان و تجزیه مواد آلی خاک دارد (de Blécourt et al., 2017).

مدیریت کربن آلی به عنوان یکی از تأثیرگذارترین عوامل در کیفیت خاک و حفاظت از محیط زیست، (Rajan, 2010; Brejda et al., 2000) مستلزم شناخت ساختار تغییرپذیری آن در زمان و مکان است. بررسی تغییرات مکانی

کربن غیر آلی حدود یک‌سوم از منابع کربن خاک را به خود اختصاص داده است (Hirmas *et al.*, 2010). Raheb *et al.* (2017) نتیجه گرفتند که میزان کربن آلی خاک (SOC) با میزان کربن غیر آلی خاک (SIC) توزیع معکوسی را با عمق خاک نشان می‌دهند. میزان کربن کل خاک (STC) با تغییر اقلیم از رژیم رطوبتی اریدیک به نیمه مرطوب افزایش می‌یابد. Raheb *et al.* (2017) همچنین نتیجه گرفتند که علیرغم میزان کم SOC در مناطق خشک، بیشترین مقدار نسبت SIC/SOC در منطقه خشک به دست آمد که نشان دهنده اهمیت تأثیر اقلیم در ذخیره SIC در خاک است.

مقادیر نسبتاً کم کربنات‌ها در تشکیل خاکدانه، تعدیل پ-هاش، تأمین برخی عناصر غذایی، افزایش پایداری و نفوذپذیری و قابلیت جذب برخی عناصر غذایی مفید می‌باشد. در حالی که مقادیر نسبتاً زیاد تا زیاد کربنات‌ها موجب تخریب ساختمان، ناپایداری خاک، کاهش نفوذپذیری و قابلیت نگهداشت آب و عدم تغذیه مناسب گیاه می‌شود. بر خلاف کربن آلی، کربن غیر آلی خاک خصوصاً در خاک‌هایی که به صورت در جا تشکیل شده‌اند، اغلب با افزایش عمق افزایش می‌یابد.

اراضی تپه‌ای و شیب‌دار منطقه باندر عمدتاً بر روی سنگ‌های آذرآواری واقع شده‌اند ولی بخش کوچکی از اراضی مورد مطالعه بر روی سنگ بستر آهکی قرار دارد. به دلیل اکوسیستم منحصر به فرد منطقه و تأثیر شیب در ایجاد خرد اقلیم‌ها و تغییرات پوشش گیاهی، از اهمیت خاصی برخوردار است. دامنه جنوبی منطقه عمدتاً زیر پوشش مرتعی و زراعی بوده ولی دامنه شمالی و غربی منطقه تحت پوشش جنگل می‌باشد. به منظور برآورد ذخایر کربن آلی و غیرآلی خاک در این اراضی شیب‌دار، بررسی تغییرات مکانی کربن آلی در اعماق مختلف صورت گرفت. همچنین تأثیر نوع کاربری اراضی، مواد مادری، ویژگی‌های توپوگرافی و برخی از ویژگی‌های خاک نیز بر روی میزان کربن آلی و غیر آلی مورد بررسی قرار گرفت. ارزیابی ذخایر کربن آلی و پیش‌بینی پاسخ اکوسیستم به تغییرات محیطی بدون شک تأثیر بسیاری در اخذ تصمیمات صحیح مدیریتی داشته و در کنترل تخریب اراضی و دستیابی به کشاورزی پایدار مفید خواهد بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه به مساحت ۱۰۰ هکتار در روستای باندر از توابع بخش کلاردشت شهرستان چالوس در استان مازندران و در محدوده $36^{\circ} 26' 21''$ N تا $36^{\circ} 26' 40''$ N و $40^{\circ} 26' 34''$ E و $40^{\circ} 26' 40''$ E، $19^{\circ} 51'$ تا $18^{\circ} 52' 18''$ واقع شده است. روستای باندر قسمتی از منطقه حفاظت شده البرز میانی بوده و از پوشش گیاهی و جانوری متنوعی برخوردار است. شکل (۱) نمایی از منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

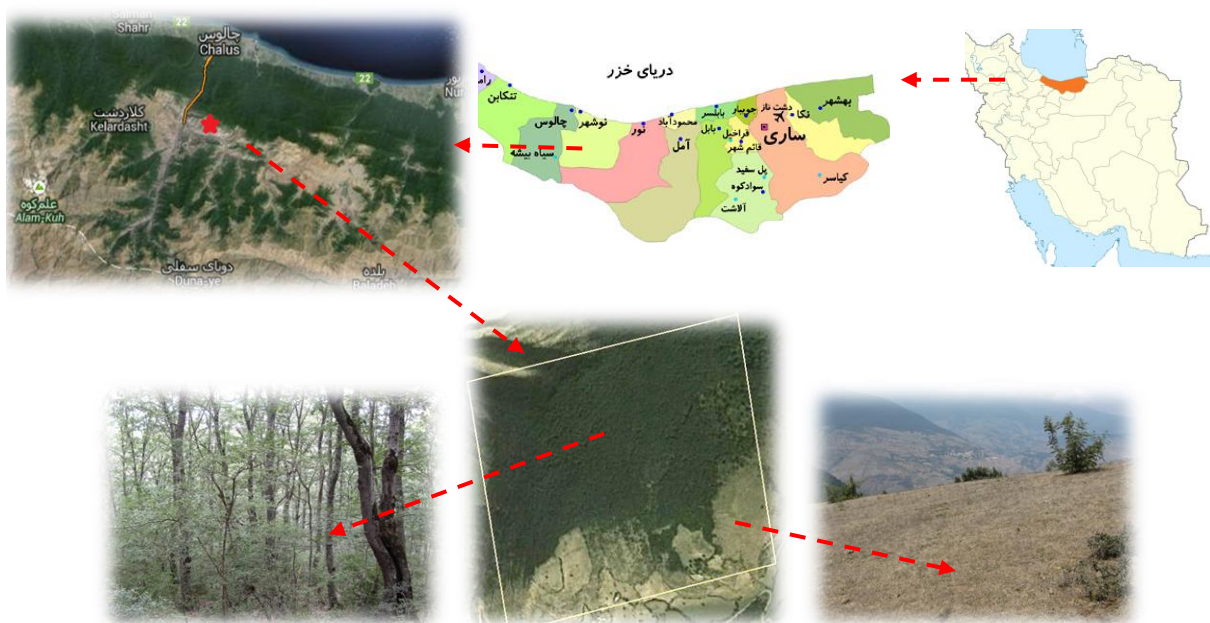
عمدتاً تحت تأثیر نوع کاربری اراضی و مدیریت (de Blécourt *et al.*, 2013; Mekuria *et al.*, 2009) و همچنین ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی از جمله درصد شیب و موقعیت شیب (Wang *et al.*, 2009) قرار می‌گیرد. ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی با تأثیر بر توزیع آب و میزان انرژی دریافتی از عوامل مهم تأثیرگذار بر تغییرپذیری ویژگی‌های خاک از جمله کربن آلی به حساب می‌آید.

اجزای اندازه‌ای ذرات خاک نیز که از خصوصیات پایدار خاک بوده و تحت تأثیر مواد مادری و برخی عوامل خاک‌ساز قرار دارد، از عوامل تأثیرگذار در ذخیره کربن آلی خاک می‌باشد (Six *et al.*, 2002; Wang *et al.*, 2010). نحوه اتصال مواد آلی با اجزای معدنی خاک بر روی فرآیندهای زیستی، تشکیل ساختمان و تجزیه‌پذیری آن‌ها تأثیر دارد. نتایج بسیاری از مطالعات نشان می‌دهند که بالاترین مقادیر کربن آلی خاک در ارتباط با جزء رس می‌باشد (Crow *et al.*, 2007; Jimenez *et al.*, 2008; Kaiser *et al.*, 2013; Kalbitz, 2012; Bagherifam *et al.*, 2013). تأثیر میزان رس بر محتوای کربن آلی خاک در اعماق بیشتر و برای خاک‌های عمیق‌تر مشهودتر است.

تغییر مدیریت و کاربری اراضی از قبیل جنگل تراشی و تبدیل مراتع به اراضی کشاورزی نقش مهمی در کاهش ذخایر کربن خاک‌ها دارد. مراتع جهان به طور فعال در حال ذخیره کردن کربن و تعدیل و کاهش غلظت CO₂ اتمسفر هستند که میزان آن به نوع مرتع، اقلیم، مدیریت و خصوصیات خاک بستگی دارد (Cui *et al.*, 2005). در بسیاری از مطالعات میزان کربن آلی خاک سطحی به ترتیب از بیشترین به کمترین مقادیر در جنگل، مرتع و اراضی زراعی مشاهده شده است (Wang *et al.*, 2010).

صرف‌نظر از نقش مهم کربن آلی در چرخه جهانی کربن، اثرات کربن آلی خاک بر روی بسیاری از ویژگی‌ها از جمله حاصلخیزی خاک، ساختمان خاک و ظرفیت نگهداری آب خاک بسیار برجسته بوده و نقش مهمی در افزایش تولید محصولات دارد (Blécourt *et al.*, 2017). در صورتی که مقدار کربن آلی خاک بیشتر از ۲٪ باشد، می‌تواند به عنوان یک عامل اصلی در تعیین رفتار خاک مؤثر باشد.

کربن غیر آلی سومین مخزن کربن کل در خاک‌ها را به خود اختصاص می‌دهد که عمدتاً به صورت کلسیت تشکیل شده در خاک می‌باشد (Hirmas *et al.*, 2010). کربن غیر آلی خاک (SIC) به صورت اشکال نسبتاً پایدار کربنات کلسیم (CaCO₃) و دولومیت (CaMg(CO₃)₂) در مناطق خشک و نیمه‌خشک تجمع می‌یابد (Wang *et al.*, 2013). مطالعات بسیار محدودتری در مورد SIC نسبت به SOC وجود دارد و این در حالی است که



شکل ۱. نمایی از موقعیت منطقه مورد مطالعه (تصاویر بالا به ترتیب از راست به چپ: کشور، استان، تصویر ماهواره‌ای) به همراه دو نوع پوشش گیاهی عمده (مرتع، جنگل)

حفر شده بر روی نقشه خطوط تراز منطقه را نشان می‌دهد. تشریح پروفیل‌ها بر اساس روش استاندارد (USDA-NRCS, 2012a) و طبقه‌بندی خاک‌ها مطابق با سیستم جامع رده‌بندی آمریکایی (Soil Survey Staff, 2014) صورت گرفت. تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی بر روی نمونه‌های برداشت شده از پروفیل‌ها و برخی از مته‌ها (در صورت مشاهده تغییرات با خاکرخ-های مجاور) صورت گرفت. جهت انجام تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی، نمونه‌های برداشت شده پس از هوا خشک شدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. آزمایش‌های لازم از جمله درصد رطوبت اشباع، جرم مخصوص ظاهری به روش کلوخه (Kunze & Dixon, 1986)، بافت خاک به روش هیدرومتر (Gee & Bauder, 1986)، کربن آلی به روش والکلی-بلاک (Walkley & Black, 1934) و کربنات کلسیم معادل به روش کلسیمتری (Burt, 2004) انجام گردیدند. اسیدیته، قابلیت هدایت الکتریکی، کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول نیز به روش استاندارد در عصاره اشباع خاک‌ها اندازه‌گیری شدند (Sparks, 1996).

میزان ذخیره کربن آلی و کربن غیرآلی خاک در کل ضخامت خاک در واحد هکتار با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه شد.

(رابطه ۱)

$$SOC_t (Mg ha^{-1}) = \sum_{i=1}^k [(SOC_i) = \rho_i \times P_i \times D_i \times (1 - S_i)] \times 10^4$$

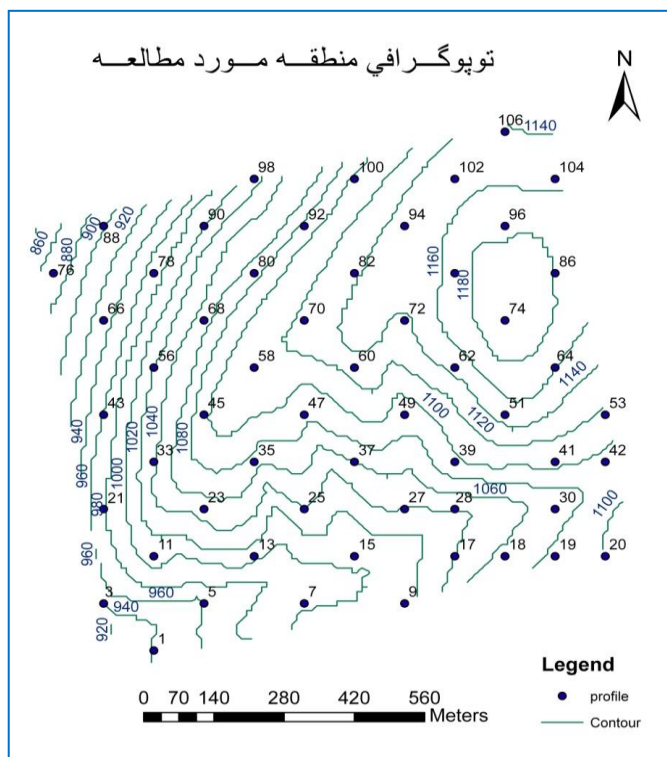
(رابطه ۲)

$$SIC_t (Mg ha^{-1}) = \sum_{i=1}^k (SIC_i) = 0.12 \times \rho_i \times P_i \times D_i \times (1 - S_i) \times 10^4$$

رژیم رطوبتی و حرارتی منطقه مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار JNSM (۲۰۱۲) به ترتیب زیریک و ترمیک برآورد گردید (USDA-NRCS, 2012b). میانگین دمای منطقه ۱۵/۹ سلسیوس و میانگین بارش منطقه ۶۰/۱ میلی‌متر می‌باشد. تأثیر جهت شیب در منطقه باعث به وجود آمدن تغییرات مشخص در خرد اقلیم‌ها و پوشش گیاهی گردیده و بنابراین خاک‌های متنوعی در این وسعت کم به چشم می‌خورد. ارتفاع این منطقه حدود ۱۰۰۰ متر بالاتر از سطح دریا و ۵۰۰ متر بالاتر از شهر مرزن آباد است. اختلاف ارتفاع ۵۰۰ متری از مرزن آباد باعث می‌شود که این روستا گاهی بالاتر از ابرها قرار گیرد و یا از مه پوشیده شود. بارندگی این منطقه برای تأمین نیاز آبی پوشش جنگلی به‌خصوص در شیب‌های جنوبی که آفتاب بیش‌تری دریافت می‌کنند، کافی نیست. به همین دلیل است که شیب‌های جنوبی بیشتر حالت مرتعی و بوته‌زار دارد. در حالی که شیب‌های شمالی معمولاً دارای پوشش جنگلی هستند که بخشی از آب مورد نیاز خود را از طریق مه دریافت می‌کنند.

سطح وسیعی از منطقه را توفها، سیلت‌سنگ و سنگ‌های آتش‌فشانی تفکیک نشده کرتاسه بالایی به خود اختصاص می‌دهد. همچنین سنگ آهک گلوبوترونکانا و سنگ آهک مارنی در قسمت‌های حاشیه‌ای منطقه و سنگ آهک دولومیتی در قسمت‌های مرکزی منطقه دیده می‌شود.

نمونه‌برداری از ۵۶ خاکرخ و ۴۴ مته (به منظور بررسی تغییرات در فاصله میان خاکرخ‌ها) به صورت شبکه‌ای نسبتاً منظم با فواصل ۱۰۰ متر انجام شد. شکل (۲) پراکندگی خاکرخ‌های



شکل ۲. موقعیت پروفیل‌های حفر شده بر روی نقشه توپوگرافی منطقه با فواصل ۲۰ متر خطوط تراز

SAGA و بقیه پارامترها با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS به دست آمد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای Excel و SAS صورت گرفت. جهت تجزیه و تحلیل‌های زمین-آماری نیز از نرم‌افزار Arc GIS استفاده شد. قبل از رسم واریوگرام‌ها و پهنه‌بندی متغیرهای کربن آلی و غیر آلی در افق-های سطحی و زیرسطحی، داده‌ها از نظر توزیع آماری، وجود روند^۷ و ناهمسانگردی^۸ مورد بررسی قرار گرفتند. به‌منظور بررسی و توصیف ساختار مکانی متغیرهای مورد نظر از نیم تغییر نما استفاده شد. پس از تهیه واریوگرام‌ها، بهترین مدل‌ها با توجه به مقادیر ME^{10} ، $RMSE^{11}$ و ضریب تبیین^{۱۲} (R^2) به آن‌ها برازش داده شد. هر چه مقدار $RMSE$ کمتر (نزدیک به صفر) و مقدار R^2 بیشتر (نزدیک به یک) باشد عملکرد مدل به کار رفته بیشتر است. در نهایت پس از محاسبه واریوگرام‌های تجربی و برازش مدل‌های مناسب به آن‌ها، مقادیر متغیرهای مورد نظر، در نقاط نمونه‌برداری نشده با استفاده از روش کریجینگ معمولی تخمین زده شد.

SOC_t و SIC_t به ترتیب کل کربن آلی و کربن غیرآلی ذخیره شده در یک هکتار از کل ضخامت خاک بر حسب ($Mg\ pi$ ، ha^{-1})، جرم مخصوص ظاهری بر حسب $Mg\ m^{-3}$ ، Pi میزان کربن آلی یا غیرآلی در افق i بر حسب $g\ C\ g^{-1}$ ، D_i ضخامت افق i بر حسب m و S_i میزان حجمی قطعات درشت‌تر از ۲ میلی‌متر در افق i می‌باشند (Raheb et al., 2017). کل کربن ذخیره شده در خاک (STC_t) بر حسب $Mg\ ha^{-1}$ ، از مجموع کربن آلی کل و کربن غیر آلی کل ذخیره شده در خاک محاسبه گردید (رابطه ۳).

(رابطه ۳) $STC_t (Mg\ ha^{-1}) = \sum_{i=1}^k STC_t + SIC_t$

برای استخراج پارامترهای توپوگرافی منطقه از مدل رقومی ارتفاع با درجه تفکیک ۱۰ متر استفاده شد. مدل رقومی ارتفاع از نظر وجود فرورفتگی^۱ مورد بررسی قرار گرفت و فرورفتگی‌های موجود در آن شناسایی و حذف گردید. در این مطالعه پارامترهای ارتفاع^۲ از سطح دریا، درجه شیب، جهت شیب^۳، انحنای افقی^۴، انحنای عمودی^۵، شاخص خیسی^۶ و فاکتور LS ^۷ استخراج و مورد بررسی قرار گرفتند. از بین این پارامترها، انحنای افقی، انحنای عمودی، شاخص خیسی و فاکتور LS با استفاده از نرم‌افزار

7. Length-Slope
8. Trend
9. Anisotropy
10. Mean Error
11. Root Mean Square Error
12. Coefficient of determination

1. Sink
2. Height
3. Aspect
4. Plan curvature
5. Profile curvature
6. Wetness index

نتایج و بحث

خاک در منطقه مورد مطالعه شناسایی شدند (جدول ۱). ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی یک پروفیل از هر یک از رده‌های خاک مشاهده شده در منطقه در جدول‌های (۲) و (۳) ارائه شده است.

چهار رده خاک شامل انتی‌سول، اینسپتی‌سول، مالی‌سول و آلفی-سول مشتمل بر چهار تحت رده (Xeralfs, Orthents, Xerolls و Xerepts)، هفت گروه بزرگ، ۱۴ زیر گروه و ۲۶ فامیل

جدول ۱- رده‌ها، تحت رده‌ها، گروه‌های بزرگ و زیرگروه‌های خاک بر اساس سیستم رده‌بندی آمریکایی (Soil Survey Staff (2014)

ردیف	رده خاک	تحت رده	گروه بزرگ	زیرگروه	تعداد فامیل	شماره پروفیل‌ها
۱	Entisols	Orthents	Xerorthents	Lithic Xerorthents	۱۲	۱۰۰-۱۳-۲۱-۲۳-۳-۱۱-۴۱-۳۳-۴۳-۵۱-۶۰-۶۴
۲				Lithic Haploxerepts	۴	۹۶-۷۰-۵۸-۳۷
۳	Inceptisols	Xerepts	Haploxerepts	Typic Haploxerepts	۹	۲۵-۴۵-۴۷-۵۶-۶۸-۷۲-۷۸-۸۴-۹۲
۴				Humic Haploxerepts	۳	۱۰۲-۸۲-۲۷
۵				Calcixerepts	۶	۱۰۴-۲۸-۵-۳۵-۴۹-۹۰
۶				Typic Haploxeralfs	۱	۹۸
۷	Alfisols	Xeralfs	Haploxeralfs	Calcic Haploxeralfs	۲	۸-۵-۱
۸				Mollic Haploxeralfs	۱	۹۴
۹				Lithic Haploxerolls	۷	۱۰۶-۸۸-۷۴-۶۶-۶۲-۵۳-۴۲
۱۰				Fluventic Haploxerolls	۱	۱۵
۱۱	Mollisols	Xerolls		Lithic Calcixerolls	۱	۳۹
۱۲				Calcixerolls	۴	۲۰-۱۹-۳۰-۷۶
۱۳				Pachic Calcixerolls	۴	۱۸-۱۷-۹-۷
۱۴				Typic Argixerolls	۱	۸۶

جدول ۲- ویژگی‌های مورفولوژیکی پروفیل‌ها به همراه طبقه‌بندی آن‌ها تا سطح فامیل

افق	عمق cm	رنگ		ساختمان	نسبت	مقاومت		سختی پدیده	پوشش
		خشک	مرطوب			ف	س		
Fine, mixed, superactive, thermic Pachic Calcixerolls : P-7									
Ap	۱۰-۰	10YR4/3	10YR3/3	2 m sbk	3f	3vf/f	2 m sbk	ev vp vs fi vh	
A	۲۵-۱۰	10Y4/3	10YR3/3	3 m sbk	3f+2m	3vf/f	3 m sbk	ev vp vs fi eh	
Bw	۵۵-۲۵	10Y4/3	10YR3/3	2cabk+sbk	3m	3vf/f	2cabk+sbk	ev vp vs fi eh	
Bk1	۹۰-۵۵	10Y4/4	10YR4/4	2 m pr	3c	2f	2 m pr	ev vp vs fi eh	
Bk2	۱۲۰-۹۰	10Y4/4	10YR4/4	2 m pr	1m	2f	2 m pr	ev vp vs fi eh	
Btk1	۱۵۰-۱۲۰	10Y4/4	10YR4/4	2 m pr	2 m pr	ev vp vs fr eh	
Loamy-skeletal, mixed, active, calcareous, thermic Lithic Xerorthents : P-13									
A	۱۷-۰	10YR6/3	10YR5/4	2 m gr	2vf/f	2vf/f	2 m gr	ev p s fr mh	
AC	۳۰-۱۷	10YR6/3	10YR5/4	2 m sbk	2vf	1vf	2 m sbk	ev p s fr mh	
Fine-loamy, mixed, active, thermic Typic Calcixerepts : P-35									
AP	۲۰-۰	10YR6/4	10YR4/4	2 f gr	2vf/m	2vf/f	2 f gr	es p s fi vh	
Bw	۳۵-۲۰	10YR6/4	10YR5/4	2 m gr/sbk	2f/m	2vf	2 m gr/sbk	es p s fi vh	
Bk1	۶۰-۳۵	10YR6/4	10YR5/6	2 m sbk	2vf	1vf	2 m sbk	ev p s fr vh	
Bk2/C	۹۰-۶۰	10YR7/4	10YR6/4	ev p s fr vh	
Fine, mixed, active, thermic Calcic Haploxeralfs : P-80									
A	۱۵-۰	10YR4/4	10YR4/4	2 m sbk	2c/vf/f	3vf	2 m sbk	ne vp vs fi eh	
Bw	۳۵-۱۵	10YR5/4	10YR4/4	2 m sbk	2/vf/f	2vf/f	2 m sbk	ne vp vs fi eh	
Bt1	۵۷-۳۵	10YR5/6	10YR4/4	2 m sbk	2vf	2vf/f	2 m sbk	es vp vs fi eh	
Bk1	۹۰-۵۷	10YR7/4	10YR7/4	m	2vf/f	2vf	m	ev p s fr ha	
Bk2	۱۲۰-۹۰	10YR7/3	10YR6/4	m	2vf/f	...	m	ev p s fr vh	

جدول ۳- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی پروفیل‌ها به همراه طبقه‌بندی آن‌ها تا سطح فامیل

افق	EC dS/m	pH	CEC cmol ⁺ /kg	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺ me/l	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
Fine, mixed, superactive, thermic Pachic Calcixerolls : P-7										
Ap	۰/۷۷	۸/۳۹	nd	۰/۶	۶/۴	۱/۲	۶/۹	۱/۸	۰/۳۷	۰/۹۶
A	۱/۷۰	۸/۱۴	nd	۰/۶	۱۱	۱/۳	۹/۹	۲/۱	۰/۶	۰/۶۹
Bw	۱/۱۵	۷/۷۷	nd	.	۱۱/۸	۱/۲	۱۱	۲/۵	۰/۱۹	۰/۸۹
Bk1	۰/۷	۸/۰۷	nd	.	۵	۱	۶/۳	۱/۹	۰/۰۹	۰/۷۲
Bk2	۰/۱۷	۷/۹۶	nd	.	۳/۱	۱/۲	۵/۳	۱/۹	۰/۰۶	۰/۸۳
Btk1	۰/۵۴	۸/۱۸	nd	.	۳	۱/۲	۴	۱/۸	۰/۰۶	۰/۵۷
Loamy-skeletal, mixed, active, calcareous, thermic Lithic Xerorthents : P-13										
A	۰/۷۵	۸/۰۳	nd	.	۶/۷	۱/۶	۶/۶	۲/۱	۰/۱۲	۰/۵۹
AC	۰/۶۵	۸/۲۵	nd	.	۵/۴	۱/۴	۵/۲	۲/۱	۰/۰۸	۰/۵۵
Fine-loamy, mixed, active, thermic Typic Calcixerepts : P-35										
AP	۱/۱۲	۸/۰۸	۱۲/۶	۰/۴	۶/۵۰	۵/۴	۱۰/۲	۲	۰/۲۷	۰/۴۲
Bw	۰/۷۵	۷/۹۳	۱۴/۱	۰/۲	۳/۷۰	۴/۱	۵/۹	۲/۲	۰/۰۷	۰/۴۲
Bk1	۰/۴۷	۸/۱	۱۲/۵	.	۳	۲/۴	۲/۲	۲/۸	۰/۰۴	۰/۴۶
Bk2/C	۰/۳۸	۸/۲	۱۳/۷	.	۲/۷۰	۱/۳	۱/۹	۲	۰/۰۶	۰/۵۸
Fine, mixed, active, thermic Calcic Haploxeralfs : P-80										
A	۱/۴۲	۷/۶	۲۴/۰	.	۳/۲	۱۰/۵	۱۰/۲	۳/۴	۰/۲۱	۰/۳۶
Bw	۰/۸۱	۷/۵۶	۲۳/۶	.	۱/۷	۶/۸	۵/۵	۱/۶	۰/۰۵	۰/۵۴
Bt1	۱/۹۴	۷/۹۳	۲۳/۸	۰/۴	۴	۱۶/۱	۱۶/۲	۲/۵	۰/۰۷	۰/۵۵
Bk1	۰/۵۲	۷/۶۴	۱۷/۲	.	۲/۶	۳/۴	۴/۱	۰/۹	۰/۰۵	۰/۳۷
Bk2	۰/۳۴	۷/۸۲	nd	.	۲/۸	۱/۶	۲/۷	۰/۷	۰/۰۵	۰/۳۸
افق	BD g/cm ³	Gravel	SP	CaCO ₃	OC %	Clay	Silt	Sand	Texture	
Fine, mixed, superactive, thermic Pachic Calcixerolls : P-7										
Ap	۱/۶۰	.	۶۵/۲	۵/۷	۳/۲۶	۴۷/۶	۳۸	۱۴/۴	C	
A	۱/۴۳	۱/۵	۷۵/۳	۶/۱	۴/۴۴	۴۷/۶	۳۸	۱۴/۴	C	
Bw	۱/۷۱	۱	۷۲/۳	۸/۴	۳/۰۱	۴۹/۶	۳۸	۱۲/۴	C	
Bk1	۱/۸۲	۱/۹	۶۴/۶	۱۱/۳	۰/۷۴	۵۳/۶	۳۴	۱۲/۴	C	
Bk2	۱/۸۳	۸	۶۷/۲	۱۲/۴	۰/۳۹	۵۳/۶	۳۴	۱۲/۴	C	
Btk1	۱/۸۵	۲۰/۹	۶۳/۹	۱۵	۰/۳۵	۴۹/۶	۳۲	۱۸/۴	C	
Loamy-skeletal, mixed, active, calcareous, thermic Lithic Xerorthents : P-13										
A	۱/۶۳	۴۶/۷	۴۴/۷	۳/۶	۱/۴۳	۱۹/۶	۳۸	۴۲/۴	L	
AC	nd	۶۰/۴	۴۳/۹	۶/۶	۱/۱۸	۲۰/۶	۴۱	۳۸/۴	L	
Fine-loamy, mixed, active, thermic Typic Calcixerepts : P-35										
AP	۱/۷۴	۱۰	۴۶/۵	۱/۹	۱/۲۸	۲۳/۶	۳۷	۳۹/۴	L	
Bw	۱/۶۰	۲۲/۴	۴۷/۵	۷/۴	۱/۰۱	۲۴/۶	۳۶	۳۹/۴	L	
Bk1	۱/۵۰	۱۰/۶	۴۲/۴	۱۵/۶	۰/۵۴	۲۳/۶	۳۹	۳۷/۴	L	
Bk2/C	۱/۵۱	۶/۴	۳۹/۳	۱۸/۹	۰/۳۰	۲۱/۶	۳۸	۴۰/۴	L	
Fine, mixed, active, thermic Calcic Haploxeralfs : P-80										
A	۱/۶۷	۰/۶	۵۹/۸	۰/۷	۲/۲۷	۳۵/۶	۳۸	۲۶/۴	CL	
Bw	۱/۸۷	۱/۱	۴۶/۷	۰/۷	۰/۵۴	۳۷/۶	۳۴	۲۸/۴	CL	
Bt1	۱/۷۵	۳/۱	۵۲/۱	۲/۱	۰/۴۹	۴۱/۶	۳۲	۲۶/۴	C	
Bk1	۱/۴۹	۰/۷	۵۴/۲	۳۹/۶	۰/۴۲	۴۲/۶	۳۵	۲۲/۴	C	
Bk2	۱/۶۵	۳/۱	۵۴/۷	۳۲/۹	۰/۳	۴۲/۶	۳۳	۲۴/۴	C	

nd اندازه‌گیری نشده.

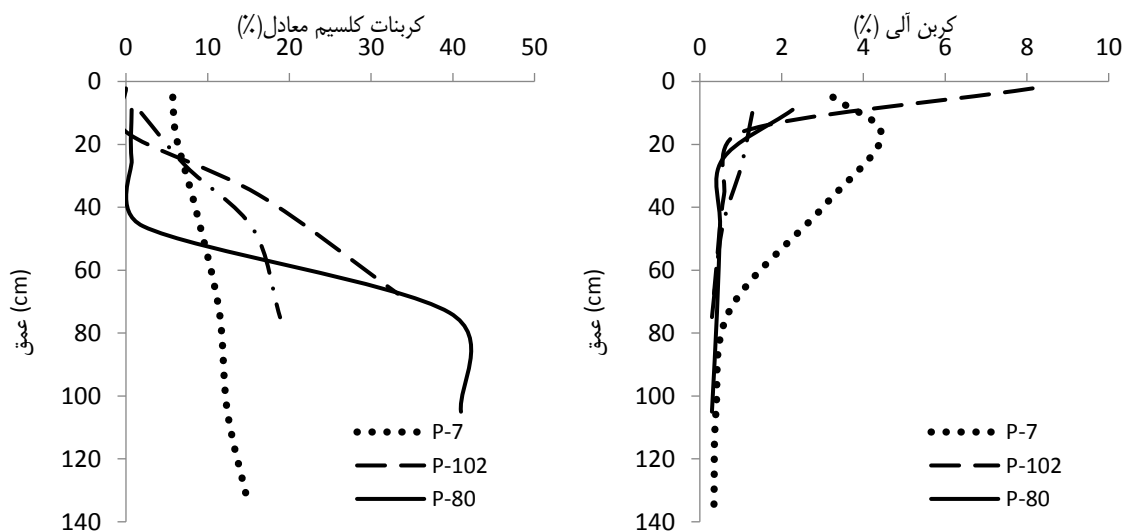
خاک‌های جنگلی مشاهده گردید. مقادیر بالای کربن آلی در خاک‌های جنگلی را می‌توان توسط افزایش بقایای گیاهی به سطح خاک و خرد اقلیم نسبتاً مرطوب حاکم بر جنگل که ترکیب گونه-های گیاهی و سرعت تجزیه مواد آلی را تحت تأثیر قرار می‌دهد،

درصد کربن آلی خاک‌های مطالعه شده از ۰/۱۵ درصد (افق) (CB) تا ۱۴/۵ درصد (افق O) تغییر می‌کند. کمترین مقادیر کربن آلی مربوط به خاک‌های کم‌عمق قرار گرفته بر روی شیب‌های تند است. بالاترین مقادیر درصد کربن آلی خاک در افق‌های سطحی

آهکی است مؤید آن است آنیون بیکربنات حاصل از تجزیه مواد آلی در افق‌های سطحی پس از انتقال به اعماق خاک و پس از افت فشار گاز CO₂ به صورت کربنات‌های جامد رسوب نموده است. به عبارت دیگر منشأ عمده کربنات‌ها همان مواد آلی خاک است.

جدول (۴) همبستگی بین کربن آلی و غیر آلی خاک را با ویژگی‌های توپوگرافی و برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نشان می‌دهد. ذخایر کربن آلی در موقعیت‌های مختلف توپوگرافی، تغییرات مکانی گسترده‌ای را نشان می‌دهد که به وجود فرآیندهای ژئومورفیک در این اراضی نسبت داده می‌شود. با بالا رفتن درجه و طول شیب با افزایش میزان فرسایش و کم‌عمق شدن خاک‌ها از میزان کربن آلی خاک کاسته و با افزایش ارتفاع به دلیل متراکم‌تر شدن پوشش گیاهی به میزان کربن آلی خاک افزوده می‌گردد. از بین پارامترهای توپوگرافی، ارتفاع و شاخص خیزی نیز با کربن معدنی خاک در سطح ۰/۰۵ همبستگی دارد که نشان دهنده آبشویی و انتقال کربنات‌ها از مناطق بالادست منطقه به مناطق پایین‌دست می‌باشد. انحنای افقی و انحنای عمودی در این مطالعه همبستگی معنی‌داری با هیچ‌یک از ویژگی‌های بررسی شده نداشتند. کربن آلی خاک از همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ با آنیون بی‌کربنات برخوردار است (جدول ۴).

توضیح داد. به طور کلی درصد مواد آلی از سطح به عمق کاهش می‌یابد (شکل ۳) که این امر بیان‌گر شرایط مناسب از نظر ساختمان خاک و بالاتر بودن فعالیت زیستی و چرخه عناصر در افق‌های سطحی می‌باشد. با این حال به نظر می‌رسد که تفاوت‌هایی در توزیع کربن آلی بین خاک سطحی و زیرسطحی وجود دارد که به نوع کاربری اراضی مربوط می‌گردد. بر اساس گزارش Jobbagy & Jackson (2000) در کاربری جنگل چیزی حدود ۵۰٪، در بوته‌زارها ۳۳٪ و در چمنزارها ۴۲٪ از کربن آلی خاک در ۲۰ سانتی‌متری فوقانی تمرکز یافته است. همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌گردد تغییرات کربن آلی خاک با عمق در جنگل (پروفیل ۱۰۲) شدیدتر از مرتع (پروفیل ۷) می‌باشد. از طرف دیگر درصد کربن آلی خاک در پروفیل ۷ (مرتع) با افزایش عمق ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. این تغییرات عمدتاً به نحوه افزایش مواد آلی (احتمالاً از منشأ رسوبات) و توزیع عمودی ریشه‌های گیاهان مختلف بستگی دارد. درصد کربنات کلسیم معادل بین ۵۹/۱ - ۰ درصد تغییر می‌کند. در اغلب موارد درصد کربنات کلسیم معادل از سطح به عمق افزایش یافته که این امر نشان دهنده آهکی بودن مواد مادری در برخی پروفیل‌ها و تشکیل کربنات از CO₂ در افق‌های سطحی و شستشوی آن به افق‌های تحت‌الارضی در پروفیل‌های تشکیل شده بر روی مواد مادری غیر آهکی نسبت داده می‌شود. توزیع معکوس کربن آلی و کربنات‌ها با عمق خاک خصوصاً در پروفیل‌هایی که مواد مادری آن‌ها غیر



شکل ۳. تغییرات ماده آلی و کربنات کلسیم معادل با عمق در پروفیل‌های ۷ و ۳۵ (مرتع)، ۸۰ و ۱۰۲ (جنگل)

ظاهری از کمتر از ۱ g cm⁻³ (افق‌های O) تا ۲/۱۴ g cm⁻³ (سنگ بستر هوادیده پروفیل ۶۶) تغییر می‌کند. مقادیر بسیار پایین جرم مخصوص ظاهری در افق‌های O خاک‌های جنگلی نشان می‌دهد که این افق‌ها از مواد آلی نسبتاً تازه و سبک تشکیل شده و آثار

با افزایش درصد مواد آلی جرم مخصوص ظاهری کاهش و درصد رطوبت اشباع به شدت افزایش می‌یابد (جدول ۴) که این امر نشان دهنده نقش مهم و حیاتی مواد آلی در بهبود ساختمان و افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک می‌باشد. جرم مخصوص

جنگل نسبت به چمنزارها دارای مواد آلی سبک و مجزای بیشتری بوده و این در حالی است که قسمت اعظم مواد آلی چمنزارها را کمپلکس‌های آلی و معدنی موجود در خاکدانه‌های ریز و پایدار تشکیل می‌دهد. با این حال نتایج مطالعات (Neill et al., 1996) نشان داد که ساختار مواد آلی خاک تولید شده توسط گیاهان مرتعی با مواد آلی تولید شده توسط گیاهان جنگلی متفاوت بوده و نسبت به تجزیه میکروبی سریع‌تر واکنش نشان می‌دهند.

همان‌طور که در جدول (۵) مشاهده می‌گردد همبستگی منفی معنی‌داری بین کربن آلی خاک و اسیدیته وجود دارد. قسمت اعظم مراتع دارای مواد مادری آهکی است. مقادیر بالای اسیدیته از طریق تنظیم فعالیت میکروبی و تسریع تجزیه و همچنین افزایش انحلال مواد آلی بر میزان کربن آلی خاک اثر منفی دارد (Leverman et al., 2001).

بر اساس جداول ۴ و ۵ تنها در کاربری مرتع، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین کربن آلی و غیر آلی خاک مشاهده می‌گردد. مطالعات صورت گرفته در این زمینه نشان می‌دهد که در مورد روابط بین SIC و SOC یافته‌های متناقضی وجود دارد. از یک طرف مطالعات اندکی از همبستگی منفی بین SIC و SOC (Li et al., 2010; Zhao et al., 2016a) خبر داده‌اند و از طرف دیگر برخی مطالعات نشان داده‌اند که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین ذخایر SIC و SOC وجود دارد (Wang et al., 2015; Guo et al., 2016; Shi et al., 2017; Zhang et al., 2010). این عدم توافق در مورد روابط بین SIC و SOC به دلیل تفاوت در شرایط اقلیمی، ویژگی‌های خاک و فعالیت‌های مدیریتی است که بر روی فرآیندهای انحلال و رسوب کربنات‌ها تأثیر می‌گذارد. همبستگی منفی بین SOC و SIC اغلب در افق‌های سطحی مشاهده می‌شود. غلظت دی‌اکسیدکربن این افق‌ها در نتیجه تنفس ریشه و تجزیه مواد آلی بالا رفته که این امر منجر به اسیدی شدن شرایط و انحلال کربنات‌ها می‌گردد.

همبستگی مثبت بیشتر در خاک‌هایی با pH بالا و بدون محدودیت از نظر Ca و Mg مشاهده می‌شود (Guo et al., 2016). در مطالعات (Shi et al., 2017) همبستگی ضعیفی بین SIC و SOC در خاک سطحی ($R=0.38$, $P=0.69$) و همبستگی مثبت و معنی‌داری در عمق ۱۰۰-۰ سانتی‌متری مشاهده شد ($R=0.74$, $P<0.001$).

مشخصی از هومیفیکاسیون در آن‌ها دیده نمی‌شود (Wasak & Drewnik, 2015).

همبستگی مثبت و معنی‌داری بین درصد کربن آلی خاک و درصد رس و سیلت و همبستگی منفی و معنی‌داری بین درصد کربن آلی خاک و درصد شن وجود دارد. بنابراین خاک‌های ریزبافت نسبت به خاک‌های درشت‌بافت، پتانسیل بیشتری در ترسیب کربن و ذخیره آن در طولانی مدت دارند (Henderson et al., 2004). بیشترین محافظت فیزیکی و شیمیایی از مواد آلی در خاک‌های با مقادیر بالای رس صورت می‌گیرد. آرزیم‌هایی که در تجزیه مواد آلی خاک دخالت دارند توسط کانی‌های رسی جذب شده و به صورت غیرفعال در می‌آیند. همچنین جذب مواد آلی توسط رس‌ها، آن‌ها را در برابر ریزجانداران خاک محافظت کرده و از تجزیه سریع آن‌ها جلوگیری می‌کند. عوامل دیگری نیز نظیر تنفس بالا در خاک‌های شنی نسبت به خاک‌های رسی که هدر رفت تنفسی کمتری دارند، منجر به تجمع مقادیر کمتر مواد آلی در این خاک‌ها می‌گردد (Schimel et al., 1985). Wang et al. (2010 a) ارتباط مثبت و معنی‌دار مشاهده شده بین میزان کربن آلی و درصد رس را به تأثیر بافت خاک بر پوشش گیاهی، رطوبت قابل استفاده و حاصلخیزی خاک نسبت دادند.

روابط همبستگی بین کربن آلی و غیر آلی خاک با فاکتورهای مورد نظر، به تفکیک در کاربری‌های مرتع و جنگل نیز مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۵). همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌گردد همبستگی مثبت و معنی‌داری بین کربن آلی خاک و جزء رس در کاربری مرتع وجود دارد که این همبستگی در کاربری جنگل مشاهده نگردیده است. این امر نشان می‌دهد که کربن آلی خاک جنگل بیشتر از نوع تازه و نیمه تجزیه شده بوده و بیشتر در ارتباط با جزء سیلت خاک می‌باشد. بنابراین کربن آلی خاک جنگل در مقایسه با مرتع که قسمت اعظم آن در ارتباط با جزء رس خاک است، نسبت به تغییر کاربری و اقدامات مدیریتی حساس‌تر و شکننده‌تر می‌باشد. کربن آلی موجود در شن عمدتاً به صورت تازه یا نیمه تجزیه شده، کربن آلی موجود در سیلت بیشتر به صورت ترکیبات نسبتاً مقاوم حلقوی (آروماتیک) و کربن آلی موجود در رس بیشتر از نوع آلکیل-C و هیدروکربن‌های میکروبی می‌باشند که در برابر تجزیه میکروبی مقاوم‌تر بوده و نسبت به اقدامات مدیریتی دیرتر واکنش می‌دهند (Lorenz et al., 2008). در مطالعات Wasak & Drewnik (2015) نیز کاربری

جدول ۴. همبستگی بین کربن آلی و غیر آلی افق‌های سطحی خاک با پارامترهای توپوگرافی و برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی (۶۴ نمونه)

	Elevation	Slope	Aspect	PL Curv	PR Curv	WI	LS	OC	CaCO ₃	BD	Clay	Sand	Silt	EC	pH	SP
OC	۰/۳۳**	-۰/۴۹*	۰/۳۱*	-۰/۰۲	-۰/۰۷	۰/۱۴	-۰/۳۴**	۱	-۰/۰۷	-۰/۸۷**	۰/۳۶**	-۰/۵۹**	۰/۷۱**	۰/۲۸*	-۰/۲۳	۰/۹۶**
CaCO ₃	-۰/۳۰*	-۰/۱۳	-۰/۰۳	-۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۲۹*	۰/۱۲	-۰/۰۷	۱	۰/۰۴	۰/۲۷*	-۰/۲۹*	۰/۲۲	-۰/۱۶	۰/۰۲	-۰/۰۷
CO ₃ ²⁻	۰/۱۰	۰/۰۴	-۰/۱۹	-۰/۰۱	-۰/۱۶	۰/۰۴	-۰/۰۶	۰/۱۵	-۰/۱۲	-۰/۱۰	-۰/۱۹	۰/۲۷*	-۰/۲۷*	۰/۱۹	۰/۵۰**	۰/۱۵
HCO ₃ ⁻	۰/۲۴*	-۰/۳۵**	۰/۲۲	-۰/۱۵	۰/۰۳	۰/۳۱*	-۰/۳۳**	۰/۶۸**	۰/۰۶	-۰/۴۸**	۰/۲۷*	-۰/۳۹**	۰/۴۳**	۰/۱۳	-۰/۱۹	۰/۶۳**

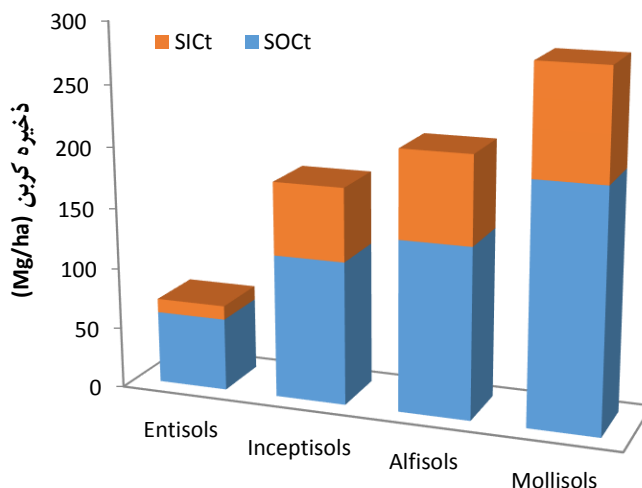
جدول ۵. همبستگی بین کربن آلی و غیر آلی افق‌های سطحی خاک با پارامترهای توپوگرافی و برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی به تفکیک در کاربری‌های مرتع و جنگل

	Elevation	Slope	Aspect	PL Curv	PR Curv	WI	LS	OC	CaCO ₃	BD	Clay	Sand	Silt	EC	pH	SP
کاربری مرتع (۲۶ نمونه)																
OC	۰/۳۱	-۰/۳۲	۰/۲۷	-۰/۱۷	۰/۰۱	۰/۴۱*	-۰/۰۶	۱	۰/۴۵*	-۰/۸۳**	۰/۷۹**	-۰/۸۲**	۰/۶۷**	-۰/۱۵	-۰/۶۹**	۰/۹۲**
CaCO ₃	۰/۱۰	-۰/۰۹	۰/۳۴	-۰/۲۷	۰/۱۱	۰/۳۱	۰/۱۶	۰/۴۵*	۱	-۰/۵۱**	۰/۴۰*	-۰/۴۰*	۰/۳۲	-۰/۲۴	-۰/۲۸	۰/۴۰*
CO ₃ ²⁻	۰/۲۳	-۰/۱۰	-۰/۴۷*	-۰/۰۰۸	-۰/۲۶	-۰/۰۳	-۰/۳۱	-۰/۳۷	-۰/۴۰*	۰/۲۵	-۰/۳۲	۰/۳۶	-۰/۳۵	۰/۵۲**	۰/۴۶*	-۰/۲۴
HCO ₃ ⁻	-۰/۱۵	-۰/۵۶**	۰/۵۳**	-۰/۲۸	۰/۱۰	۰/۶۷**	-۰/۰۸	۰/۴۸*	۰/۳۲	-۰/۱۱	۰/۵۸**	-۰/۶۱**	۰/۵۲**	-۰/۴۵*	-۰/۴۷*	۰/۵۴**
کاربری جنگل (۳۵ نمونه)																
OC	۰/۳۲	-۰/۳۸*	۰/۰۱	۰/۰۱	-۰/۱۱	۰/۳۸*	-۰/۴۷**	۱	-۰/۰۷	-۰/۸۶**	-۰/۰۰۵	-۰/۴۴*	۰/۶۷**	۰/۵۴**	۰/۰۴	۰/۹۶**
CaCO ₃	-۰/۵۵**	-۰/۰۶	-۰/۱۸	-۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۰۶	۰/۱۷	-۰/۰۷	۱	۰/۰۴	-۰/۰۰۹	-۰/۲۸	۰/۴۳*	-۰/۱۲	۰/۰۴	-۰/۱۰
CO ₃ ²⁻	۰/۱۲	۰/۱۱	-۰/۱۱	-۰/۰۲	-۰/۱۶	۰/۰۲	۰/۰۰۱	۰/۳۱	۰/۰۱	-۰/۲۲	-۰/۰۸	۰/۰۷	-۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۵۵**	۰/۲۹
HCO ₃ ⁻	۰/۳۹*	-۰/۳۵**	۰/۰۱	-۰/۱۲	-۰/۰۳	۰/۲۳	-۰/۴۵**	۰/۷۱**	۰/۰۱	-۰/۵۴**	۰/۰۷	-۰/۳۴	۰/۴۵*	۰/۴۰*	-۰/۰۶	۸/۶۴**

** همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۱، * همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۵
 PL Curv: انحنا سطح، PR Curv: انحنا پروفیلی، WI: شاخص خیس، LS: فاکتور LS

بالاترین ذخایر کربن آلی خاک در افق‌های سطحی مشاهده می‌گردد. روند معکوسی در روند تغییرات ذخایر کربن غیر آلی خاک‌ها وجود دارد، به طوری که بالاترین ذخایر کربن غیر آلی خاک‌ها در افق‌های زیرسطحی یافت می‌گردند.

ذخایر کربن آلی و غیر آلی خاک
 جدول (۶) ذخایر کربن آلی، کربن غیر آلی و کربن کل خاک را در پروفیل‌های مطالعه شده نشان می‌دهد. در تمامی پروفیل‌ها،

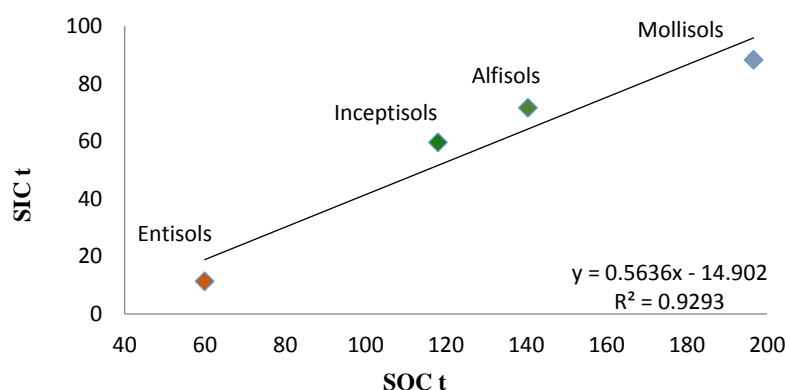


شکل ۴. نمودار میانگین ذخایر کربن آلی و غیر آلی خاک در رده‌های انتی‌سول، اینسپتی‌سول، آلفی‌سول و مالی‌سول شناسایی شده در منطقه

جدول ۶- ذخایر کربن آلی و غیرآلی خاک در پروفیل‌های مطالعه شده

شماره پروفیل	زیرگروه خاک	SOct Mgha ⁻¹	SICt Mgha ⁻¹	STCt Mgha ⁻¹
1	Calcic Haploxeralfs	157	419	576
3	Lithic Xerorthents	59	18	77
5	Typic Calcixerpts	211	149	359
7	Pachic Calcixerolls	386	337	723
9	Pachic Calcixerolls	253	189	443
11	Lithic Xerorthents	59	16	75
13	Lithic Xerorthents	51	23	73
15	Fluventic Haploxerolls	164	131	295
17	Pachic Calcixerolls	217	535	752
18	Pachic Calcixerolls	304	573	877
19	Typic Calcixerolls	232	371	602
20	Typic Calcixerolls	233	150	382
21	Lithic Xerorthents	28	0	28
23	Lithic Xerorthents	50	7	56
25	Typic Haploxerepts	148	164	312
27	Humic Haploxerepts	84	37	121
28	Typic Calcixerpts	95	127	223
30	Typic Calcixerolls	211	190	401
33	Lithic Xerorthents	51	5	56
35	Typic Calcixerpts	98	195	293
37	Lithic Haploxerepts	27	12	39
39	Lithic Calcixerolls	96	109	205
41	Lithic Xerorthents	63	54	117
42	Lithic Haploxerolls	124	107	231
43	Lithic Xerorthents	106	6	113
45	Typic Haploxerepts	111	7	118
47	Typic Haploxerepts	90	13	103
49	Typic Calcixerpts	165	47	212
51	Lithic Xerorthents	50	45	95
53	Lithic Haploxerolls	79	17	96
56	Typic Haploxerepts	46	16	62
58	Lithic Haploxerepts	126	11	138
60	Lithic Xerorthents	37	5	42
62	Lithic Haploxerolls	96	2	99
64	Lithic Xerorthents	77	4	81
66	Lithic Haploxerolls	223	249	472
68	Typic Haploxerepts	50	9	58
70	Lithic Haploxerepts	99	5	104
72	Typic Haploxerepts	133	18	151
74	Lithic Haploxerolls	107	48	155
76	Typic Calcixerolls	226	378	604
78	Typic Haploxerepts	140	83	223
80	Calcic Haploxeralfs	115	441	556
82	Humic Haploxerepts	129	6	134
84	Typic Haploxerepts	111	12	123
86	Typic Argixerolls	297	11	308
88	Lithic Haploxerolls	135	151	286
90	Typic Calcixerpts	155	281	436
92	Typic Haploxerepts	109	180	290
94	Mollic Haploxeralfs	104	15	119
96	Lithic Haploxerepts	192	9	201
98	Typic Haploxeralfs	116	26	142
100	Lithic Xerorthents	89	1	90
102	Humic Haploxerepts	128	298	427
104	Typic Calcixerpts	243	491	734
106	Lithic Haploxerolls	158	108	266

رنگ سبز حداکثر و رنگ قرمز حداقل مقادیر را در هر ستون نشان می‌دهند و رنگ‌های حد واسط مقادیر میانی را نشان می‌دهد.



شکل ۵. روند تغییرات ذخایر کربن آلی و غیر آلی خاک در رده‌های مختلف خاک‌های منطقه

خاک نیز افزایش یافته است که این امر نشان دهنده آن است که کربن غیر آلی خاک از کربن آلی موجود در این خاک‌ها سرچشمه می‌گیرد.

تغییرات مکانی کربن آلی و غیر آلی خاک

همبستگی مکانی کربن آلی و غیر آلی خاک در سه افق سطحی خاک‌های منطقه مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۶). وجود ساختار مکانی برای کربن آلی خاک در مقیاس مزرعه و زمین‌نما در مطالعات متعدد نشان داده شده است (Spielvogel *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2010^b; Schawanghart & Jarmer, 2001). جدول (۷) مدل‌های برازش داده شده، واریانس قطعه‌ای، سقف و دامنه واریوگرام و همچنین نسبت واریانس قطعه‌ای به سقف را نشان می‌دهد.

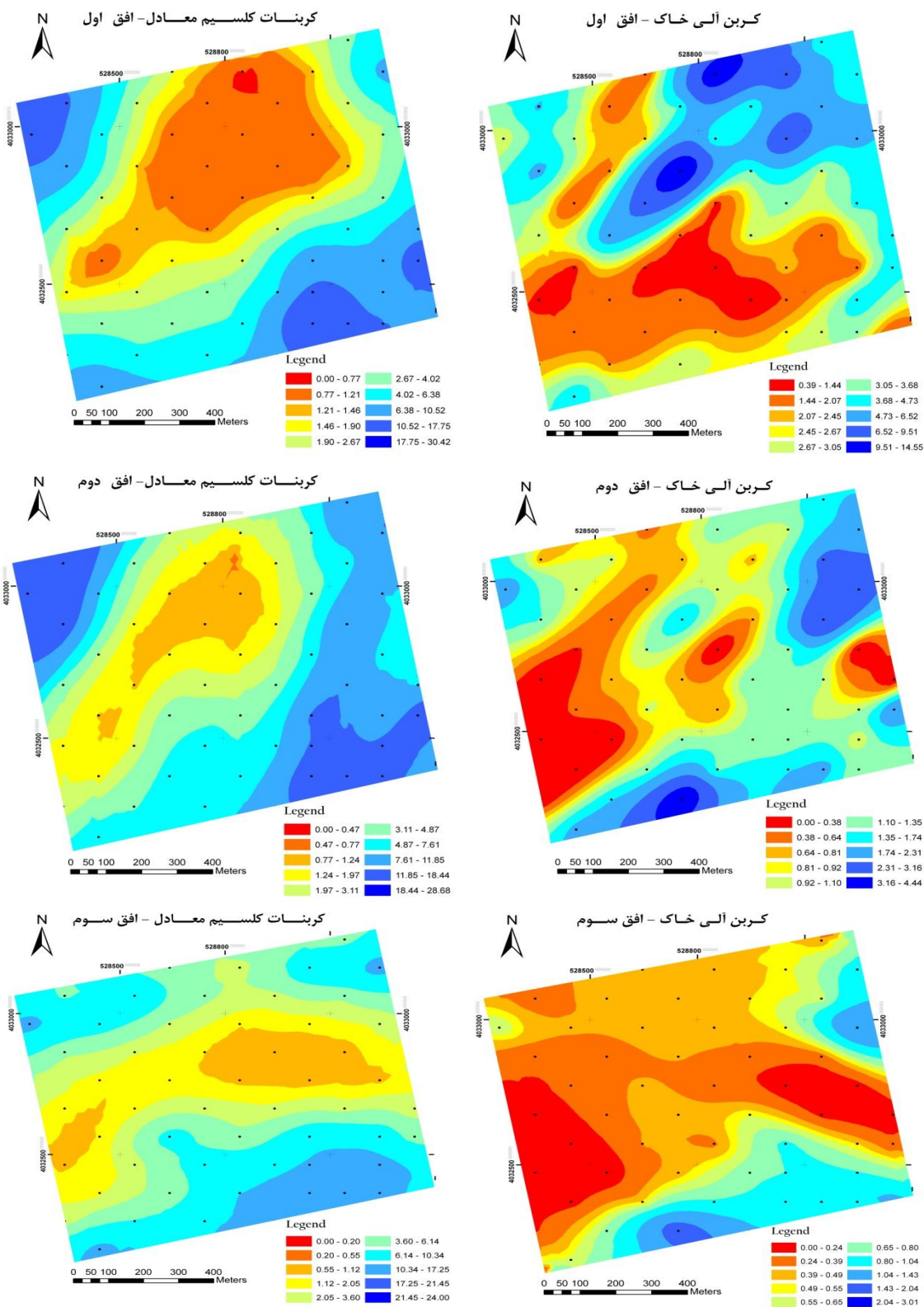
مدل نمایی^۱ بهترین مدل برازش داده شده به متغیرهای بررسی شده بود. این مدل دارای تخمینی نارایب بوده و مقادیر RMSS نزدیک به ۱، نیز مؤید دقت بالای تخمین توسط این مدل می‌باشد. در مطالعات مختلف، مدل‌های نمایی (Liu *et al.*, 2006; Powers, 2006; Habashi *et al.*, 2009) و کروی (Law *et al.*, 2009) بهترین مدل‌های برازش داده شده به کربن آلی معرفی شده‌اند.

شکل (۴) تغییرات ذخیره کربن آلی و غیر آلی خاک را در رده‌های خاک منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. بیشترین ذخایر کربن آلی و غیر آلی خاک در مالی‌سول‌ها مشاهده شد (SIC=۸۸/۲۷، SOC=۱۹۶/۶۷) و مقادیر آن‌ها به ترتیب در آلفی-سول‌ها (SIC=۷۱/۵۶، SOC=۱۴۰/۴۹)، اینسپتی‌سول‌ها (SIC=۵۹/۵۷، SOC=۱۱۸/۰۶) و انتی‌سول‌ها (SIC=۱۱/۳۳) کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه خاک‌های مورد مطالعه عمدتاً بر روی سنگ بستر توف تشکیل شده‌اند که فاقد کربنات بوده‌اند لذا منشأ کربن غیر آلی موجود در این خاک‌ها عمدتاً از تجزیه مواد بوده است. البته حداکثر کربن غیر آلی در پروفیل‌هایی مشاهده شد که بر روی سنگ آهک توسعه یافته‌اند، هر چند تعداد آن‌ها محدود می‌باشد. حداقل میزان ذخیره کربن آلی و کربن غیر آلی در انتی‌سول‌ها بود که حداقل تحول و کم ضخامت‌ترین خاک‌های منطقه را به خود اختصاص داده‌اند.

شکل (۵) روند تغییرات ذخایر کربن آلی خاک در مقابل ذخایر کربن غیر آلی خاک را در رده‌های مختلف منطقه نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌گردد با افزایش تکامل خاک، میزان ذخایر کربن آلی و غیر آلی خاک‌ها نیز افزایش می‌یابد. با افزایش ذخایر کربن آلی خاک، ذخایر کربن غیر آلی

جدول ۷. مدل‌های برازش داده شده و پارامترهای مربوط به واریوگرام‌های تجربی متغیرهای مورد بررسی

متغیر	مدل	اثر قطعه‌ای	سقف	اثر قطعه‌ای / سقف	دامنه (متر)	RMSS
SOM افق اول	نمایی	۲/۴۷	۶/۱۰	۰/۴۰	۷۷۰	۱/۰۱
SOM افق دوم	نمایی	۰/۳۷	۰/۵۶	۰/۶۶	۹۰۹	۱/۰۳
SOM افق سوم	نمایی	۰/۱۴	۰/۲۷	۰/۵۱	۱۰۰۶	۱/۱
SIC افق اول	نمایی	۱۴/۸۷	۳۴/۲۰	۰/۴۳	۱۰۹۷	۱/۰۰۳
SIC افق دوم	نمایی	۳۳/۹۳	۵۶/۹۰	۰/۵۹	۱۱۸۵	۱/۰۳
SIC افق سوم	نمایی	۲۵/۴۸	۴۳/۶۹	۰/۵۸	۱۱۸۵	۱/۰۵



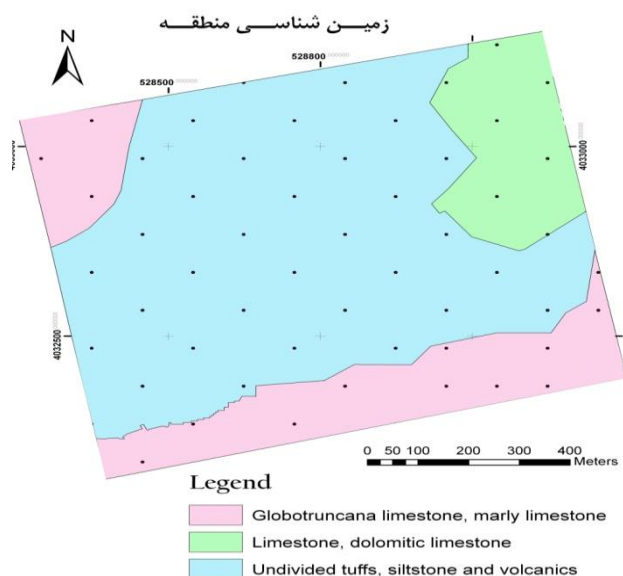
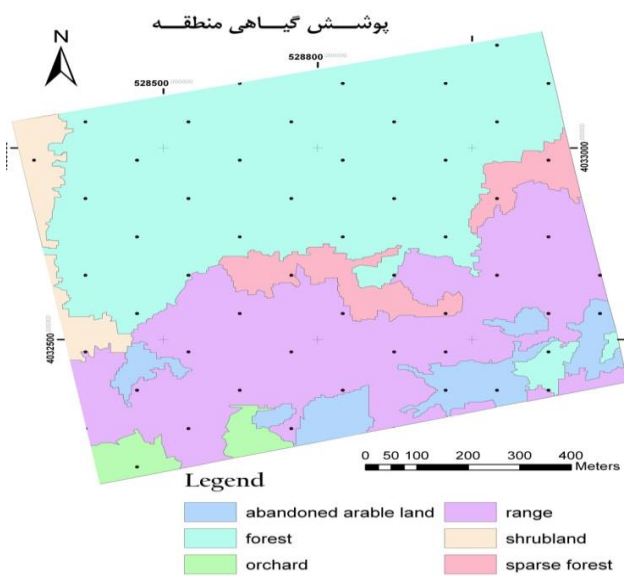
شکل ۶. تغییرات مکانی کربن آلی و غیر آلی خاک در سه افق فوقانی

کوتاه دامنه و تغییرات ذاتی باشد (Wang et al., 2009). خصوصیات با پیوستگی متوسط تا قوی می‌توانند منجر به تولید نقشه‌هایی با کارایی بالا گردند. یکی از شاخص‌های مناسب برای بررسی میزان پیوستگی مکانی متغیر ناحیه‌ای نسبت واریانس قطعه‌ای با سقف می‌باشد (Cambardella et al., 1994).

تمامی واریوگرام‌ها دارای ساختار نسبتاً خوب می‌باشند که می‌تواند بیانگر مناسب بودن فواصل نمونه‌برداری برای نشان دادن ساختار مکانی متغیرهای مورد بررسی باشد. سقف‌دار بودن مدل‌ها یکی از دلایل صادق بودن فرضیات ایستایی نوع دوم است. واریانس قطعه‌ای می‌تواند ناشی از عواملی چون خطای نمونه‌برداری، تغییرات

روند کاملاً متفاوتی را از خود نشان می‌دهند. توزیع کربن آلی در منطقه بیشتر تابع نوع کاربری است. کمترین مقادیر کربن آلی در افق‌های سطحی، در مراتع با درصد شیب بالا مشاهده می‌شود. بالاترین مقادیر کربن آلی خاک در افق‌های سطحی عمدتاً در مناطقی است که از پوشش جنگلی برخوردار است (مقایسه شکل ۶ و ۷). پوشش‌های گیاهی جنگل شامل زی‌توده هوایی^۱، زی‌توده زیرزمینی^۲ و بستر رویی جنگل^۳ است که در سطح خاک و یا در اعماق مختلف می‌توانند از ذخایر کربن محسوب گردند (Hedde et al., 2008; Rodriguez-Loinez et al., 2008). معمولاً عمق اول خاک به‌ویژه در کاربری جنگل پتانسیل بیشتری از نظر میزان کربن و حضور مواد آلی حاصل از بقایای گیاهی دارد. بقایای گیاهی و لاشبرگ‌های حاصل از درختان می‌توانند منبع مهمی در افزایش مخازن کربن آلی افق‌های سطحی باشد. بنابراین افق سطحی خاک‌های جنگلی که از طریق ریزش شاخ و برگ‌ها، همواره بقایای آلی تازه دریافت می‌کنند، نسبت به سایر کاربری‌ها دارای بیشترین مقادیر کربن آلی می‌باشد. این در حالی است که روند تغییرات مکانی کربن آلی در افق‌های زیرسطحی بسیار متفاوت است. بیشترین مقادیر کربن آلی در افق‌های زیرسطحی در کاربری‌های مرتع و زراعت‌های رها شده که اکنون به مرتع تبدیل شده‌اند مشاهده می‌شود. مقادیر بالای کربن آلی در این افق‌ها به دلیل تجمع بیشتر ریشه‌های جوان و افشان می‌باشد که نقش مهمی در تثبیت کربن ایفا می‌کنند. بنابراین کم عمق‌تر بودن سیستم ریشه‌ای و بالا بودن تولید خالص اولیه در افق‌های زیرسطحی مراتع دلیل اصلی روند حاکم می‌باشد.

در صورتی که این نسبت کمتر از ۲۵ درصد باشد پیوستگی مکانی قوی، اگر بین ۲۵ تا ۷۵ درصد باشد پیوستگی مکانی متوسط و اگر بیش از ۷۵ درصد باشد پیوستگی مکانی ضعیف است. این نسبت توسط محققین بسیاری برای بررسی میزان پیوستگی مکانی متغیرهای محیطی استفاده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده نسبت واریانس قطعه‌ای به سقف تمامی متغیرها از ۰/۴۰ تا ۰/۶۶ متغیر است که نشان دهنده پیوستگی مکانی متوسط می‌باشد. به طور کلی پیوستگی مکانی زیاد در خواص خاک را می‌توان به عوامل ذاتی (فرایندهای خاک‌سازی) و پیوستگی مکانی ضعیف را به عوامل بیرونی (مانند مدیریت) ارتباط داد. همان‌طور که در شکل (۶) مشاهده می‌گردد، با افزایش عمق درصد کربن غیرآلی خاک افزایش می‌یابد و این در حالی است که الگوی تغییرات با افزایش عمق تغییرات چندانی نداشته و بیشتر تابع نوع مواد مادری منطقه می‌باشد. بر اساس نقشه زمین‌شناسی (شکل ۷) در قسمت‌های حاشیه‌ای منطقه عمدتاً سنگ آهک گلوبوترونکانا، سنگ آهک مارنی و سنگ آهک دولومیتی وجود داشته و در قسمت‌های مرکزی عمدتاً توف‌ها، سیلت‌سنگ و سنگ‌های آتشفشانی تفکیک نشده کرتاسه بالایی یافت می‌شوند. بنابراین درصد کربن غیر آلی همواره در قسمت‌های حاشیه‌ای منطقه بیشتر می‌باشد. این اثر در افق‌های سطحی مشهودتر است زیرا آهک موجود در خاک‌های قسمت‌های مرکزی نیز تحت تأثیر فرآیندهای خاک‌سازی در افق‌های زیرسطحی تجمع یافته است. تغییرات کربن آلی خاک در افق‌های سطحی و زیرسطحی



شکل ۷. نقشه زمین‌شناسی و پوشش گیاهی منطقه

و نیمه تجزیه شده و در ارتباط با جزء سیلت خاک می‌باشد. بنابراین نسبت به خاک‌های مرتعی که قسمت اعظم کربن آلی آن‌ها در افق‌های زیرسطحی و در ارتباط با جزء رس خاک قرار دارد، در پاسخ به تغییر کاربری و اقدامات مدیریتی شکننده‌تر می‌باشد. هرگونه تغییر در مدیریت و کاربری می‌تواند تأثیر چشم‌گیری بر کیفیت، باروری و تولید داشته باشد و بنابراین مدیریت خاک‌ها و اراضی نقش کلیدی در پایداری نظام تولید خواهد داشت.

REFERENCES

- Arrouays, D. Deslais, W. and Badeau, V. (2001). The carbon content of topsoil and its geographical distribution in France. *Soil Use and Management*, 17, 7-11.
- 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)
- 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 American Journal*, 64, 2115-2124.
- Burt, R. (2004). Soil survey laboratory methods manual. NRCS, USDA, *Soil survey investigation report*, No: 42, Version 4.0.
- Cambardella, C. A. Moorman, T. B. Novak, J.M. Parkin, T. B. Karlen, D.L. Turco, R. F. and Konopka, A. E. (1994). Field-scale variability of soils properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal* 58, 1501-1511.
- Cotrufo, M. F. Conant, R. T. and Paustian, K. (2011). Soil organic matter dynamics: land use, management and global change. *Plant and Soil*, 38: 1-3.
- Crow, S. E. Swantson, 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. Chung, 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.
- de Blécourt, M. Brumme, R. Xu, J. Corre, M. D. and Veldkamp, E. (2013). *Soil carbon stocks decrease following conversion of secondary forests to rubber (Hevea brasiliensis) plantation*. Edited by: Bond-Lamberty, B. PLoS one, 8, e69357, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0069357>.
- de Blécourt, M. Corre, M. D. Paudel, E. Harrison, R. D. Brumme, R. and Veldkamp, E. (2017). Spatial variability in soil organic carbon in a tropical montane landscape: associations between soil organic carbon and land use, soil properties, vegetation, and topography vary across plot to landscape scales. *SOIL*, 3: 123-137.
- Gee, G. W. and Bauder, J. W. (1986). Particle size analysis. In: Klute, A. (Ed.) *Methods of soil analysis, Part 1*. Physical and Mineralogical methods, second ed. *Agronomy*, 9: 383-411.
- Guo, Y. Wang, X. Li, X. Wang, J. Xu, M. and Li, D. (2016). Dynamics of soil organic and inorganic carbon in the cropland of upper Yellow River Delta, China. *Sci Rep*, 6: 36105.
- Habashi, H. Hosseini, M. Mohammadi, J. and Rahmani, R. (2007). Geostatistic application in soil science study of forest regions. *Journal of Agriculture and Natural Resources Science*, 14(1): 1-10. (In Farsi)
- Hedde, M. Aubert, M. Decaens, T. and Bureau, F. (2008). Dynamics of soil carbon in a beechwood chronosequence forest. *Forest Ecology and Management*, 225: 193-202.
- Henderson, D. C. Ellert, B. H. and Naeth, M. A. (2004). Grazing and soil carbon along a gradient of Albetra rangelands. *Journal of Range Management*, 57, 402-410.
- 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.
- 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.
- Jobbagy, E. G. and Jackson, R. B. (2000). The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological applications*, 10(2): 423-436.
- Kaiser, K. and Kalbitz, K. (2012). Cycling downwards dissolved organic matter in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 52: 29-32.
- Kunze, G. W. and Dixon, J. B. (1986). Method of soil analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods. *American Society of agronomy*.
- Law, M. C. Balasundram, S. K. Husni, M. H. A. Ahmed, O. H. and Harun, M. H. (2009). Spatial variability of soil organic carbon in oil palm. *International Journal of Soil Science*, 1816-4978.
- Leverman, A. M. Zoomer, H. R. and Verhoef, H. A. (2001). The effect of oxygen, pH and organic carbon on soil-layer specific denitrifying capacity in acid coniferous forest. *Soil Biology and Biochemistry*, 33(4-5):683-687

نتیجه‌گیری کلی

بیشترین ذخایر کربن آلی و غیر آلی خاک در مالی‌سول‌های منطقه وجود دارد که این امر به دلیل بالا بودن درصد مواد آلی، ضخامت بیشتر خاک‌ها و تمرکز آن‌ها بر روی مواد مادری آهکی منطقه می‌باشد. بر اساس نتایج به دست آمده، در کاربری جنگل از یک طرف قسمت اعظم ذخایر کربن آلی خاک در افق‌های سطحی قرار دارد و از طرف دیگر کربن آلی آن بیشتر از نوع تازه

- Li, G. T. Zhang, C. L. and Zhang, H. J. (2010). Soil inorganic carbon pool changed in long-term fertilization experiments in north China plain. *World Cong Soil Sci Soil Solut Changing World*, 19: 220-223.
- Liu, D. Wang, Z. Song, K. Li, X. Li, J. Li, F. and Duan, H. (2006). Spatial distribution of soil organic carbon and analysis of related factors in croplands of the black soil region, Northeast China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 113: 73-81.
- Lorenz, K. Lal, R. and Shipitalo, 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.
- Mekuria, W. Veldkamp, E. Haile, M. Gebrehiwot, K. Muys, B. and Nyssen, J. (2009). Effectiveness of exclosures to control soil erosion and local community perception on soil erosion in Tigray, Ethiopia. *African Journal of Agricultural Research*, 4, 365-377.
- Neill, C. Fry, B. Melillo, J. M. Steudler, P. A. Moraes, J. F. L. and Cerri, C. C. (1996). Forest-and pasture-derived carbon contributions to carbon stocks and microbial respiration of tropical pasture soils. *Oecologia*, 107, 113-119.
- Powers, J. S. (2006). Spatial variation of soil organic carbon concentrations and stable isotopic composition in 1-ha plots of forest and pasture in Costa Rica: implications for the natural abundance technique. *Biology and Fertility of Soils*, 42, 580-584.
- Raheb, A. Heidari, A. and Mahmoodi Sh. (2017). Organic and inorganic carbon storage in soils along an arid to dry sub-humid climosequence in northwest of Iran. *Catena*, 153, 66-74.
- Rajan, K. (2010). Soil organic carbon-the most reliable indicator for monitoring land degradation by soil erosion. *Current Science*, 99(6), 823-827.
- Rodriguez-Loinaz, G. Onaindia, M. Amezaga, I. Mijangos, I. and Garbisu, C. (2008). Relationship between vegetation diversity and soil functional diversity in native mixed-oak forest soil. *Biology & Biochemistry*, 40, 49-60.
- Schawanghart, W. and Jarmer, T. (2001). Linking spatial patterns of soil organic carbon to topography- A case study from south-eastern Spain. *Geomorphology*, 126, 252-263.
- Schimel, D. Stillwell, M. A. and Woodmansee, R. G. (1985). Biogeochemistry of C, N and P in a soil catena of short grass steppe. *Ecology*, 66: 276-282.
- Shi, H. J. Wang, X. J. Zhao, Y. J. Xu, M. G. Li, D. W. and Guo, Y. (2017). Relationship between soil inorganic carbon and organic carbon in the wheat-maize cropland of the North China Plain. *Plant and Soil*, 418, 423-436.
- 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 mechanism of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. *Plant and 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*.
- Spielvogel, S. Prietzel, J. Auerswald, K. Kogel-Knabner, I. (2009). Site specific spatial patterns of soil organic carbon stocks in different landscape units of a high-elevation forest including a site with forest dieback. *Geoderma*, 152, 218-230.
- 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.
- Walkley, A. Black, I. A. (1934). An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid in soil analysis. 1. Experimental. *Soil Science Society of American Journal*, 79, 459-465.
- Wang, Y. Li, Y. Ye, X. and Wang, X. (2010) a. Profile storage of organic/inorganic carbon in soil: From forest to desert. *Science of the Total Environment*, 408(8): 1925-31.
- Wang, D. Shi, X. Wang, H. Weindorf, D. C. Yu, D. Sun, W. Ren, H. and Zhao, Y. (2010) b. Scale effect of climate and soil texture on soil organic carbon in the uplands of Northeast China. *Pedosphere*, 408, 1925-193.
- Wang, X. J. Wang, J. P. Xu, M. G. Zhang, W. J. Fan, T. L. and Zhang, J. (2015). Carbon accumulation in arid croplands of northwest China: pedogenic carbonate exceeding organic carbon. *Scientific Reports*, 5:11439.
- Wang, Y. Zhang, X. C. Zhang, J. L. and Li, S. J. (2009). Spatial variability of soil organic carbon in a watershed on the loess plateau. *Pedosphere*, 19, 486-495.
- 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 use across a transect of continental steppes in Inner Mongolia. *Catena*, 109, 110-117.
- Wasak, K. Drewnik, M. (2015). Land use effects on soil organic carbon sequestration in calcareous Leptosols in former pastureland – a case study from the Tatra Mountains (Poland). *Soil Earth*, 6, 1103-1115.
- Zhang, N. He, X. D. Gao, Y. B. Li, Y. H. Wang, H. T. Ma, D. Zhang, R. and Yang, S. (2010). Pedogenic carbonate and soil dehydrogenase activity in response to soil organic matter in *Artemisia ordosica* community. *Pedosphere*, 20: 220-235.
- Zhao, X. Zhang, R. Huang C. Q. Wang, B. Q. Cao, H. Koopal, L. K. and Tan, W. F. (2016a). Effect of different vegetation cover on the vertical distribution of soil organic and inorganic carbon in the Zhifanggou Watershed on the loess plateau. *Catena*, 139, 191-198.