مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۴، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۲ (ص ۲۰۲-۱۹۳)

اثر شیب و تغییر کاربری اراضی بر پایداری و میزان کربن آلی خاکدانه‌ها

پریسا مختاری[۱]، شمس‌الله ایوبی[۲]*، محمدرضا مصدقی[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی‌ارشد، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه آزاد خوراسگان

۲ ، ۳. دانشیار خاک‌شناسی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۵/۱۷- تاریخ تصویب: ۱۳۹۱/۱/۲۳)

چکیده

این تحقیق به منظور بررسی تأثیر شیب و تغییر کاربری اراضی بر پایداری خاکدانه‌ها و میزان کربن آلی آنها در جنگل‌های بلوط غرب منطقهٔ لردگان استان چهارمحال و بختیاری صورت گرفته است. کاربری‌های رایج در منطقه شامل جنگل طبیعی، جنگل تخریب‌شده و کشاورزی دیم در اراضی تپه ماهوری در سه کلاس شیب ۰-۱۰، ۱۰-۳۰ و ۳۰-۵۰ درصد، تیمارهای مورد مطالعه انتخاب شدند. تعداد ۹۹ نمونه خاک از عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری سطحی خاک برداشت و جهت انجام آزمایش آماده شد. نتایج این مطالعه نشان داد تخریب جنگل و کشت مداوم دیم در طول نیم قرن باعث کاهش معنی‌دار شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها شامل MWD، WSA و GMD در همهٔ کلاس‌های شیب شده است. بیشترین درصد خاکدانه‌های درشت (۲-۴/۷۵ میلی‌متر) و خاکدانه‌های متوسط (۰/۲۵- ۲ میلی‌متر) در شیب ۰-۱۰ درصد اراضی جنگلی با بیشترین ذخیرهٔ مادهٔ آلی مشاهده شد. بیشترین درصد خاکدانه‌های درشت در جنگل و بیشترین درصد خاکدانه‌های ریز (۰/۰۵۳- ۰/۲۵ میلی‌متر) در اراضی کشاورزی دیم و جنگل تخریب شده مشاهده شد. اختلاف معنی‌داری بین کاربری‌های مورد مطالعه در خصوص کربن آلی درون خاکدانه‌ها مشاهده شد. در مورد میزان کربن آلی موجود در خاکدانه‌های متوسط و ریز، بین کاربری جنگل تخریب شده و اراضی کشاورزی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. نتایج این تحقیق همچنین نشان داد اختلاف معنی‌داری بین شیب‌های مختلف در میزان نیتروژن کل، کربن آلی و نسبت C/N وجود دارد، به طوری که کمترین مقدار آنها در شیب‌های تند (۳۰-۵۰ درصد) مشاهده شد. توزیع نسبی نیتروژن کل و نسبت C/N در خاکدانه‌ها روندی مشابه روند کربن آلی از خود نشان داد.

کلیدواژگان: پایداری خاکدانه، درجهٔ شیب، کاربری اراضی، کربن آلی خاک، نیتروژن کل.

مقدمه

ساختمان خاک در عملیات شخم و شیار، نگهداری آب، نفوذ ریشه و قابلیت فرسایش‌پذیری خاک توجه قابل ملاحظه‌ای را در مسائل کشاورزی و محیط زیست به خود اختصاص داده است (Jastrow, 1996). نوع کاربری اراضی عامل مهم و مؤثر بر ذخیره‌سازی مادهٔ آلی در خاک است، و نه تنها مقدار مادهٔ آلی خاک را کنترل می‌کند بلکه بر ترکیب و کیفیت مواد آلی خاک تأثیر دارد (Helfrich, *et* John *et al.*, 2005; Six *et al.*, 2002 Fallahzadeh and Yousefi, *et al.*, 2008; *al.*, 2006; .(Hajabbasi, 2012;

در کشور ما هم مطالعات متعددی در زمینهٔ تأثیر تغییر کاربری اراضی بر خصوصیات و کیفیت خاک انجام شده است، از جمله کربن آلی و پایداری خاکدانه‌ها. Ajamai *et al* (2009) در مطالعهٔ جنگل‌های شمال کشور و اثر تخریب آنها در موقعیت‌های مختلف شیب، Ayoubi *et al* (2011) در مقایسهٔ سه کاربری مختلف در منطقهٔ گرگان، و Navidi *et al* (2010) در بررسی آثار تغییر کاربری در مراتع قزوین نشان دادند تغییر کاربری اراضی تأثیر معنی‌داری بر کربن آلی، همچنین پایداری خاکدانه‌ها داشته است.

کاربری اراضی بر پایداری خاکدانه‌ها و توزیع خاکدانه‌ها نیز مؤثر است. خاکدانه‌های کوچک پایدارتر از خاکدانه‌های بزرگ‌اند، بنابراین هنگامی که خاک تحت کشت قرارمی‌گیرد، خاکدانه‌های بزرگ به طور ناگهانی شکسته می‌شوند و مادهٔ آلی بیشتری در معرض معدنی‌شدن قرارمی‌گیرد (Cambardella .(Six *et al.*, 1990 ; and Elliot, 1993

مادهٔ آلی خاک و خاکدانه‌ها بر هم اثر متقابل دارند؛ به این معنا که مادهٔ آلی باعث تشکیل خاکدانه می‌شود و با به‌هم پیوستن خاکدانه‌های کوچک خاکدانه‌های بزرگ تشکیل می‌شود و در مقابل خاکدانه‌ها مواد آلی را در داخل خود محافظت فیزیکی می‌کنند (Six *et al.*, 1990, 2002).

روش‌های تفکیک جزء فیزیکی مادهٔ آلی خاک مانند تفکیک درحد اندازهٔ ذرات اولیه و تفکیک خاکدانه‌ای از

* نویسنده مسئول: ayoubi@cc.iut.ac.ir

روش‌های شیمیایی غیرمخرب‌تر است و نتایج آنها ارتباط مستقیمی با ساختمان خاک دارد و تابع مادهٔ آلی خاک است (Christensen, 1992). خاکدانه‌های بزرگ به تغییر کاربری اراضی و عملیات کشت حساس‌اند، درحالی‌که خاکدانه‌های کوچک حساسیت کمتری دارند (Puget *et al.*, 2000). تغییر در کاربری اراضی، مانند قطع درختان جنگلی و به تبع آن کشت‌وکار، بر کمیت و کیفیت مواد آلی خاک تأثیر دارد و عامل اصلی اتصال و ثبات خاکدانه‌هاست. در مطالعات مختلفی گزارش شده است که اراضی جنگلی، در مقایسه با اراضی کشت شده، وزن مخصوص کمتر، مقدار مادهٔ آلی بیشتر، ثبات خاکدانه‌ای و هدایت هیدرولیکی اشباع بیشتری دارند (Ajami *et al.*, 2009; Scott *et al.*, 1986).

اندازه‌گیری کربن آلی کل در تودهٔ خاک اطلاعات دقیقی در مورد توزیع و نقش آن در بخش‌های ریزساختمان خاک در اختیار قرارنمی‌دهد. لذا، اندازه‌گیری کربن آلی در خاکدانه‌های با اندازهٔ مختلف جهت تفسیر نقش کربن آلی در پایداری ساختمان خاک اهمیت دارد. آگاهی در مورد ثبات خاکدانه‌ها و کربن آلی خاک مرتبط با آن‌ها به بررسی نگرانی‌ها در مورد حفظ پایداری ساختمان خاک و مادهٔ آلی خاک کمک شایانی می‌کند.

در ارتباط با کربن آلی همراه خاکدانه‌ها محققان خارجی (Six *et al.*, 2002; Christensen, 1992) مطالعات گسترده‌ای انجام داده‌اند، در حالی که در کشور ما تحقیقات محدودی صورت گرفته است. Fallahzadeh, Hajabbasi (2012) توزیع کربن آلی، نیتروژن و کربوهیدرات‌ها در خاکدانه‌های مختلف اراضی بیابانی و کشاورزی (گندم و یونجه) در دشت ابرکوه (مرکز ایران) را بررسی کردند. نتایج مطالعهٔ آنها نشان داد که زیر کشت بردن اراضی بیابانی باعث افزایش معنی‌دار مقادیر کربن آلی، نیتروژن کل، کربوهیدرات‌ها و پایداری خاکدانه‌های خاک در تمام عمق‌ها شده است. Doaee (2009) در بررسی تفکیک فیزیکی اجزای مادهٔ آلی در خاک‌های زراعی و مرتعی مجاور روی شیب تپه‌ای نشان داد که کاربری زمین اثر معنی‌داری بر خاکدانه‌های پایدار در آب و میزان کربن درون آنها داشته است. بیشترین درصد خاکدانه‌های پایدار در موقعیت پای شیب و کمترین درصد مربوط به پشتهٔ شیب بوده است.

در مناطق زاگرس مرکزی در چند دههٔ اخیر جنگل‌های طبیعی بلوط غرب به شدت تخریب شده‌اند. در برخی نقاط به صورت اراضی کشت دیم سال‌هاست به صورت نامطلوب و بدون مدیریت صحیح بهره‌برداری می‌شوند. هر چند مطالعات محدودی در زمینهٔ تأثیر تغییر کاربری بر برخی کیفیت‌های خاک در این منطقه انجام شده است، هیچ مطالعه‌ای در زمینهٔ تغییر کاربری اراضی بر کربن آلی همراه با بخش‌های مختلف خاکدانه‌ای در اراضی تپه ماهوری این منطقه صورت نگرفته است. لذا، این تحقیق با هدف بررسی اثر شیب و تغییر کاربری اراضی در منطقهٔ لردگان استان چهارمحال و بختیاری انجام شده است، از جمله بررسی: ۱. میزان پایداری خاکدانه‌ها به کمک روش الک مرطوب؛ و ۲. میزان ذخیرهٔ کربن آلی و نیتروژن و نسبت C/N در اجزای مختلف خاکدانه‌ای در اراضی شیب‌دار و تپه ماهوری بخشی از زیرحوضهٔ آبخیز سرخون.

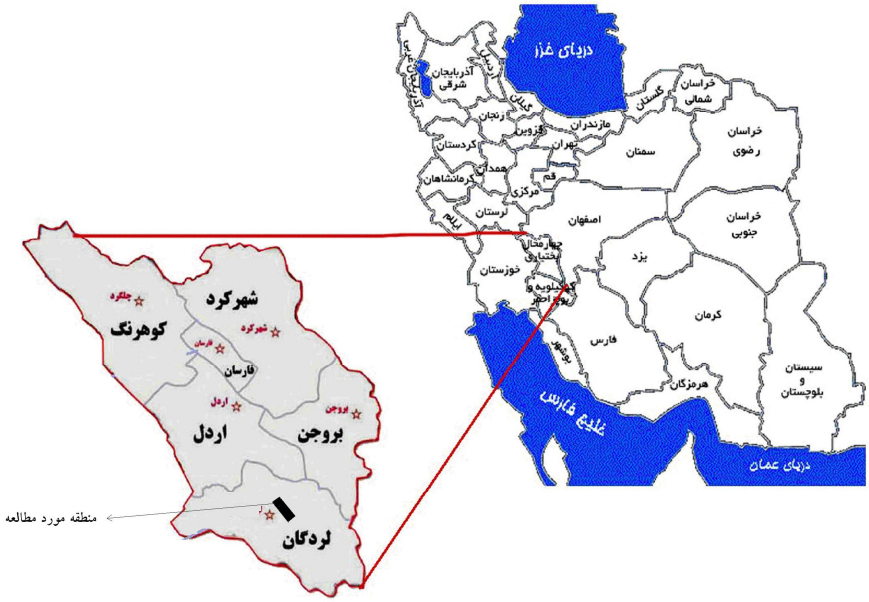
مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه

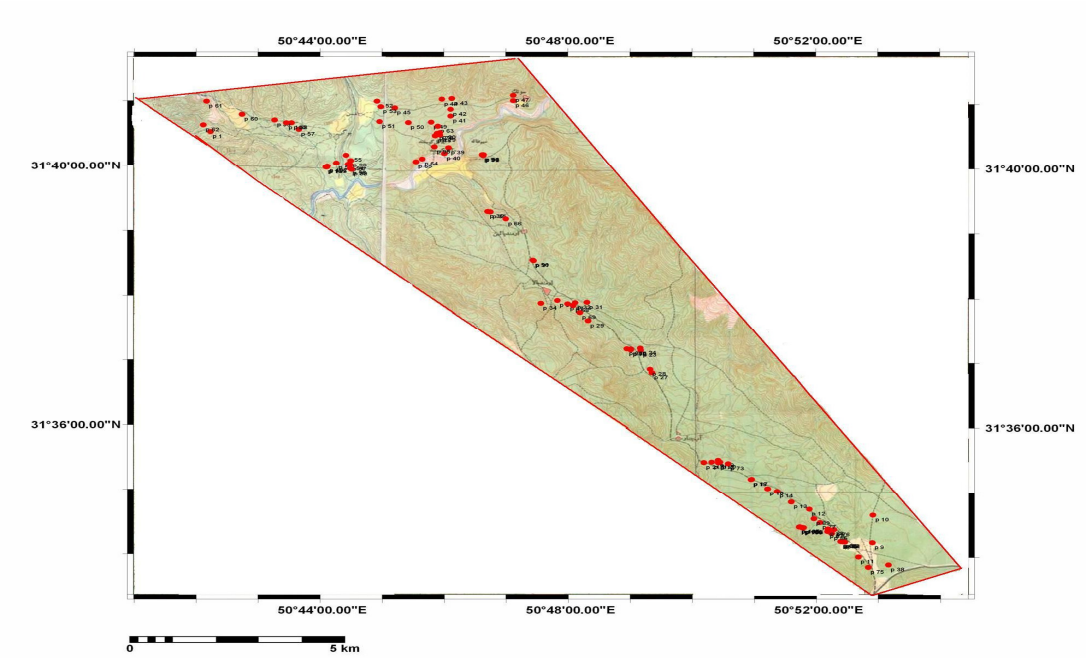
منطقهٔ مورد مطالعه در بخشی از زیرحوضهٔ سرخون واقع در حوضهٔ آبخیز کارون شمالی در حد فاصل شهرستان‌های لردگان و سرخون بین عرض‌های جغرافیایی ´۳۱°۳۱ تا ´۴۲°۳۱ و طول جغرافیایی ´۴۲°۵۰ و ´۵۲°۵۰ قرارگرفته است (شکل۱). ارتفاع منطقه از سطح دریا حدود ۱۵۵۰ متر و دارای آب و هوای نیمه‌مرطوب با تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های نیمه‌سرد است. این اقلیم در تقسیم‌بندی اقلیمی گوسن، مدیترانه‌ای گرم و خشک و در تقسیم کوپن نیمه‌گرمسیری با تابستان‌های گرم و خشک است. میانگین بارندگی سالیانه حدود ۴۲۰ میلی‌متر است که بیشتر نزولات در زمستان می‌بارد. بارندگی ۷۰ میلی‌متر در ۲۴ ساعت در این منطقه گزارش شده است. تعداد روزهای یخبندان حدود ۶۰ روز است. متوسط سالانهٔ دمای منطقه ۱۴/۸ درجهٔ سانتی‌گراد است. رژیم رطوبتی و حرارتی خاک به ترتیب Typic Xeric و Mesic است (گزارش خاک‌شناسی منطقهٔ لردگان).

پوشش طبیعی منطقهٔ مورد مطالعه در سال‌های پیشین مشتمل بر جنگل‌های طبیعی بلوط غرب بوده است. ولی به‌تدریج به دلیل افزایش جمعیت، قطع بی‌رویهٔ درختان جهت تأمین سوخت و تملک و کشت دیم، جنگل‌های طبیعی منطقه در حال نابودی‌اند و در برخی مناطق اثری از جنگل دیده نمی‌شود. از نظر زمین‌شناسی منطقهٔ انتخاب شده بر رسوبات کواترنری عمدتاً شامل تراس‌های قدیمی رودخانه‌ای است که بر اثر فرسایش‌های طولانی‌مدت گذشته به شدت بریده‌بریده[1] شده‌اند و اراضی تپه ماهوری با ارتفاع بیش از ۵۰ متر و شیب بالاتر از ۷۰ درصد هم ایجاد کرده‌اند. خاک‌های غالب در منطقه در فامیل‌های Fine loamy, mixed, thermic, Typic Haploxerolls , Fine mixed, thermic, Typic Calcixerepts. قرار دارند (راهنمای تشریح پروفیل حفاظت خاک آمریکا، ۲۰۰۶).

1. Dissected



شکل ۱. موقعیت منطقهٔ جغرافیایی مورد مطالعه در بخش زیرحوضهٔ سرخون، زاگرس مرکزی



شکل ۲. پراکنش مکانی نقاط مورد مطالعه

نمونه‌برداری

به منظور بررسی و ارزیابی اثر شیب و نوع کاربری اراضی بر پایداری خاکدانه‌ها و اجزای فیزیکی مادهٔ آلی همراه آنها در منطقهٔ مورد مطالعه، سه کاربری شامل اراضی جنگل طبیعی (NF)، جنگل تخریب شده (DF) و اراضی تحت کشت دیم (CL) ارزیابی شدند. برای بررسی فرضیهٔ تأثیر میزان شیب و توپوگرافی بر پایداری خاکدانه‌ها و توزیع اجزای فیزیکی مادهٔ آلی در منطقهٔ مورد مطالعه، سه کلاس شیب تشخیص داده شد و فاکتور آنالیز آماری به کار رفت: شیب ۰-۱۰٪ (S1)، شیب ۱۰-۳۰٪ (S2) شیب بیش از ۳۰ درصد (S3). جمعاً تعداد ۹۹ نمونه خاک از شیب‌های سه‌گانهٔ مزبور و سه کاربری در یازده تکرار از عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری شد. شکل ۲ توزیع مکانی نقاط مورد مطالعه را نشان می‌دهد. موقعیت نقاط با دستگاه GPS[1] تعیین شد.

1. Global positiong sysytem

تجزیه‌های آزمایشگاهی

برای تعیین پایداری خاکدانه‌ها و تعیین شاخص‌های آن مراحل زیر انجام شد. ۱۰۰ گرم نمونهٔ خاک با خاکدانه‌های دست‌نخورده از الک ۴/۷۵ میلی‌متر عبور داده شد. نمونهٔ خاک روی سری الک‌هایی به قطر۲، ۱، ۰/۵، ۰/۲۵، ۰/۱۰، ۰/۰۵۳ میلی‌متر قرار داده شد (Cambardella and Elliot, 1993). مجموعهٔ الک‌ها به مدت ۱۰ دقیقه با سیکل عمودی ۳۰ بار در دقیقه در آب الک شدند. در پایان الک کردن، غربال‌ها به آرامی از آب بیرون آورده شد و بخش خاکدانه‌ها در آون مرطوب (در ۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد) به مدت سه روز نگه‌داشته و در نهایت خشک شدند. سپس، سهم شن هر جزء با الک ۰/۰۵۳ میلی‌متر تعیین شد. درصد خاکدانه‌های پایدار در آب[1] (%WSA)، متوسط وزنی قطر[2] (MWD) و میانگین هندسی قطر[3] (GMD) به ترتیب به کمک معادلات ۱، ۲ و ۴ تعیین شد.

$$\%WSA = \left(\sum_{i=1}^{n} \frac{W_{i(a+s)} - W_{i(s)}}{W_t - \sum_{i=1}^{n} W_{i(s)}} \right) \times 100$$

رابطه ۱)

در این معادله $W_{i(a+s)}$ وزن خشک ذرات روی غربال، $W_{i(s)}$، وزن خشک شن روی غربال، W_t وزن خشک کل خاک (یعنی ۱۰۰ گرم) و n تعداد جزء خاکدانه (یعنی ۶) است.

$$MWD = \sum_{i=1}^{n} w_i . \overline{X}_i$$

رابطه۲)

در معادلهٔ مزبور $\overline{X}_i$ میانگین هندسی اندازهٔ خاکدانه‌ها روی الک i، و W_i بخش خاکدانه‌های پایدار روی الک i است و با استفاده از فرمول‌های ۳ و۴ محاسبه شده‌اند.

$$w_i = \frac{W_{i(a+s)} - W_{i(s)}}{\sum_{i=1}^{n} W_{i(a+s)} - \sum_{i=1}^{n} W_{i(s)}}$$

رابطه ۳)

$$GMD = \exp\left[\frac{\sum_{i=1}^{n} w_i \log \overline{X}_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i} \right]$$

رابطه ۴)

اجزای خاکدانه‌های تفکیک‌شده به روش مرطوب در سه بخش خاکدانه‌های درشت (Macroaggregates) در اندازهٔ ۴/۷۵-۲ میلی‌متر، خاکدانه‌های متوسط (Mesoaggregates) در اندازهٔ ۰/۲۵ تا ۲ میلی‌متر و خاکدانه‌های ریز (Microaggregates) در اندازهٔ ۰/۰۵۳ تا ۰/۲۵ میلی‌متر در هم تلفیق شدند. نمونه‌های ترکیبی مورد آنالیز کربن آلی و نیتروژن کل قرارگرفتند. مقدار کربن آلی خاک با اکسایش مرطوب (Walkly and Black, 1934) و نیتروژن کل (TN)[4] با روش کلدال (Krik, 1959) اندازه‌گیری شد.

آنالیز واریانس و مقایسهٔ میانگین‌ها

جهت بررسی تأثیر نوع کاربری اراضی و درصد شیب بر شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ها و توزیع فیزیکی کربن آلی همراه آنها در منطقهٔ مورد مطالعه، طرح کاملاً تصادفی در قالب طرح فاکتوریل با دو فاکتور شیب و کاربری اراضی آنالیز واریانس با نرم افزار SAS و مقایسهٔ میانگین به روش دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

خلاصه‌ای از خصوصیات و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های منطقه در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری در جدول ۱ ارائه شده است. خصوصیاتی نظیر بافت خاک و توزیع اندازهٔ ذرات خاک، کربن آلی خاک، درصد آهک بین سه کاربری تفاوت دارند. pH و EC خاک تحت تأثیر کاربری قرارنگرفت (جدول ۱).

پایداری خاکدانه‌ها

نتایج آنالیز واریانس نشان داد کشت‌وکار مداوم دیم در طول حدود ۵۰ سال در منطقه بعد از جنگل‌تراشی باعث شده است تا مقادیر MWD، WSA و GMD به طور معنی‌داری ($P<0.05$) کاهش یابد. بیشترین مقادیر شاخص‌های مزبور در جنگل طبیعی و شیب حداقل (NFS1) مشاهده شد. نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد بین تیمارهای مختلف خاک‌های جنگلی تخریب‌شده و کشت‌شده اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. Doaee (2008) در بررسی آثار تغییر کاربری اراضی و موقعیت شیب در منطقه‌ای در استان چهارمحال نشان داد بیشترین پایداری خاکدانه‌ها در موقعیت شیب و مربوط به اراضی مرتع طبیعی بود. Khormali *et al*. (2009) در خاک‌های لسی جنگلی شمال کشور نشان دادند جنگل‌تراشی و متعاقب آن کشت‌وکار باعث شده مقدار MWD از ۱/۴۹ میلی‌متر به ۰/۸۸ میلی‌متر کاهش یابد. این مسئله را به هدررفت مادهٔ آلی و تخریب خاکدانه‌ها مرتبط دانسته‌اند. پایداری خاکدانه‌ای کمتر در اراضی کشاورزی احتمالاً با آثار خاک‌ورزی بر خاکدانه‌ها و خرد شدن آنها مرتبط است. این مسئله باعث می‌شود مواد آلی در معرض هوا قرارگیرد و سریع‌تر اکسید شود (Six *et al*., 2000).

1. Water Stable aggregates
2. Mean weight diameter
3. Geometric mean diameter
4. Total nitrogen

جدول ۱. خلاصه‌ای از برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های منطقه در کاربری‌های انتخاب شده در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری سطحی خاک

کاربری اراضی	خصوصیات خاک									
	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	بافت خاک	آهک(٪)	SOC (%)	PH	EC(dS/m)	BD ($g\ m^{-3}$)
NF	۴۱	۳۵/۸	۲۳/۲	رسی	۴۴/۰۶	۲/۶۱	۷/۵	۰/۴۵	۱/۳۸
DF	۳۸/۲	۳۵/۳	۲۶/۵	لومی رسی	۵۱/۳۴	۱/۹۶	۷/۷	۰/۷۶	۱/۵۴
CL	۳۷/۹	۳۵/۱	۲۷	لومی رسی	۵۵/۲۶	۱/۷۸	۷/۸	۰/۶۹	۱/۷۵

NF: جنگل طبیعی، DF: جنگل تخریب شده، CL: اراضی کشت دیم، SOC: کربن آلی خاک، EC: هدایت الکتریکی خاک، BD: چگالی ظاهری خاک

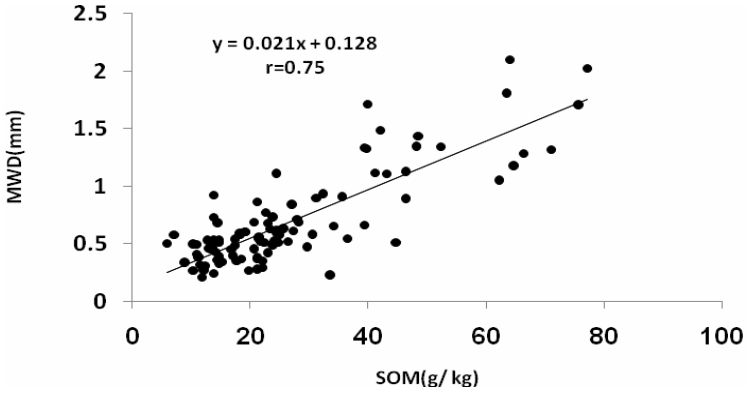
جدول ۲. اثر کاربری اراضی و درجهٔ شیب بر شاخص‌های پایداری خاکدانه‌ای در منطقهٔ مورد مطالعه

کلاس شیب پایداری خاکدانه

	S1			S2			S3		
	NF	DF	CL	NF	DF	CL	NF	DF	CL
WSA (%)	۸۳/۸۴a	۷۵/۵۰abc	۷۲/۹۵bc	۸۱/۷۸ab	۷۴/۱۹abc	۶۶/۰۹c	۸۰/۱۴ab	۷۳/۵۹bc	۵۲/۰۸d
MWD(mm)	۱/۲۹a	۰/۵۱b	۰/۴۶b	۱/۰۸a	۰/۴۹b	۰/۴۴b	۱/۰۶a	۰/۴۶b	۰/۴۳b
GMD(mm)	۰/۷۸a	۰/۵۰b	۰/۴۶b	۰/۷۳a	۰/۵b	۰/۴۵b	۰/۷۱a	۰/۴۹b	۰/۴۵b

S1: شیب ۰-۱۰ درصد، S2: شیب ۱۰-۳۰ درصد، S3: شیب ۳۰-۵۰ درصد، NF: جنگل طبیعی، DF: جنگل تخریب‌شده، CL: اراضی کشت دیم، WSA: درصد خاکدانه‌های پایدار، MWD: میانگین وزنی خاکدانه‌ها، GMD: میانگین هندسی وزن خاکدانه‌ها.

پایداری خاکدانه‌ها به آثار متقابل ذرات اولیه و ترکیبات آلی بستگی دارد تا خاکدانه‌های پایدار تشکیل شود. این آثار تحت تأثیر فاکتورهای مختلف محیطی نظیر خصوصیات خاک، مدیریت اراضی و نوع کاربری اراضی قرارمی‌گیرد (Elustondo *et al.*, 1990). مادهٔ آلی اهمیت زیادی در تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها دارد (Lu *et al.*, 1998). هدررفت کربن آلی خاک بر اثر کشت‌وکار با تخریب خاکدانه‌های بزرگ مرتبط است. آنالیز همبستگی نشان داد در منطقهٔ مورد مطالعه ضریب همبستگی قوی ($r=0.75^{**}$, $P<0.001$) بین مادهٔ آلی خاک و MWD وجود دارد (شکل۲). بنابراین، اختلاف مشاهده شده در مقدار پایداری خاکدانه‌ها بر اثر تغییر کاربری محتملاً مرتبط با تغییر مقدار و نوع کربن آلی خاک است. Caravaca *et al* (2004) نشان دادند پایداری خاکدانه‌ها در اراضی کشاورزی به طور معنی‌داری نسبت به اراضی جنگلی کاهش یافته است. یافته‌های Celik (2005) نشان داد کشت‌وکار باعث می‌شود مقدار MWD در عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متری و ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متری به ترتیب ۶۱ و ۵۲ درصد نسبت به اراضی طبیعی کاهش یابد.



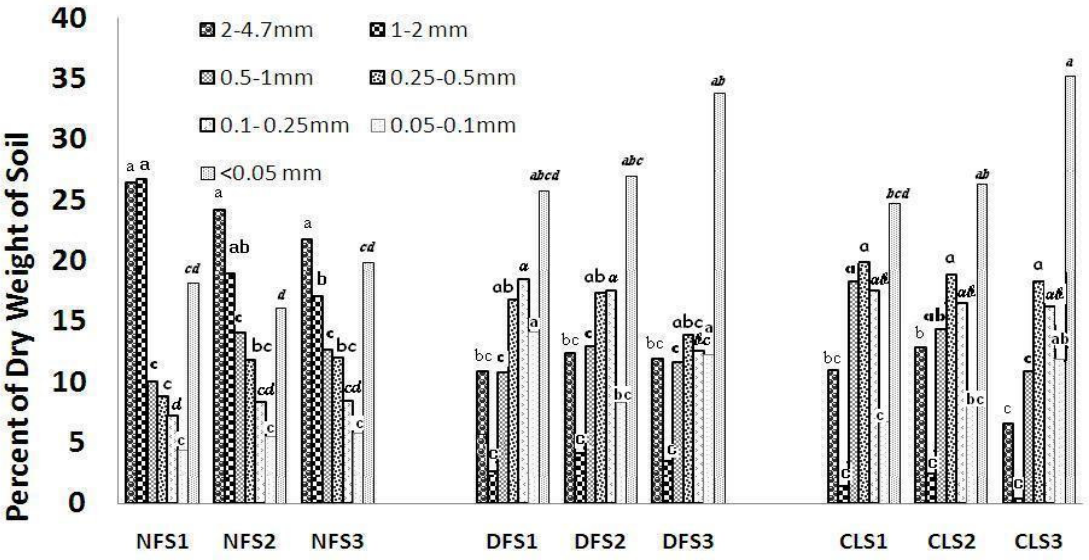
شکل ۳. ارتباط رگرسیون خطی بین مقدار مادهٔ آلی (SOM) و شاخص MWD در کل نمونه‌های مورد مطالعه

پایداری خاکدانه‌ای بیشتر در اراضی جنگلی مرتبط با ریشه‌دهی بیشتر، مقدار مادهٔ آلی بیشتر، پوشش گیاهی دائم، حفاظت فیزیکی بیشتر و دائمی‌تر است. تشکیل خاکدانه‌های بزرگ‌تر در اکوسیستم‌های جنگلی به طور مستقیم و غیرمستقیم مرتبط با ریشه‌ها و هیف‌های قارچها عامل پیونددهنده است (Jastro *et al.*, 1998). Balabane and Plante(2004) گزارش کردند خاک‌های مرتع طبیعی به علت فعالیت میکروبی بیشتر، بقایای گیاهی و ریشهٔ گیاهی بیشتر،

وجود مواد هومیکی و پلی‌ساکارید بیشتر نسبت به اراضی کشت شده میزان MWD و خاکدانه‌های پایدار بزرگ‌تر است.

شکل ۴ توزیع کلاس‌های مختلف خاکدانه را در کاربری‌ها و کلاس‌های مختلف نشان می‌دهد. توزیع خاکدانه‌ها به طور معنی‌داری بین کاربری‌ها متفاوت است. بیشترین درصد گروه‌های خاکدانه‌های بزرگ (۲-۴/۷۵ میلی‌متر و ۰/۲۵- ۲ میلی‌متر) در شیب کم (S1) وجود داشت. بیشترین خاکدانه‌های درشت (۲-۴/۷۵ میلی‌متر) در شیب S1 و کاربری جنگل طبیعی (NF) مشاهده شد، در حالی که خاکدانه‌های ریز در اراضی جنگل تخریب شده و اراضی کشت شده مشاهده شد. نتایج مطالعات Mikha and Rice (2004) نشان داد خاکدانه‌های بزرگ در سیستم‌های بدون شخم نسبت به سیستم‌های کشت‌وکار سنتی بیشتر بوده‌اند. در هر حال خاکدانه‌های ریز در کشت و کار سنتی بیشتر بوده‌اند. نتایج تحقیقات ما با نتایج Besnard *et al*. (1996) همخوانی داشت. کشت‌وکار باعث می‌شود تا خاکدانه‌های بزرگ به خاکدانه‌های ریزتر متلاشی گردد و این مسئله در اراضی شیبدار بارزتر بوده است.

همان‌طور که نتایج شکل ۴ نشان می‌دهد، خاک‌های کشت‌شده از نظر خاکدانه‌های ریز سهم بیشتری به خود اختصاص داده‌اند، در حالی که خاکدانه‌های درشت در اراضی جنگلی غالب بوده‌اند. نتایج مطالعات Celik (2005) و Ayoubi *et al*. (2011) نیز نشان داد بین توزیع اندازهٔ خاکدانه‌ها در اراضی کشت شده و جنگل طبیعی اختلاف معنی‌داری وجود دارد. این اختلاف عمدتاً به تخریب فیزیکی خاکدانه‌ها و تولید خاکدانه‌هایی با پایداری کمتر می‌انجامد. در این ارتباط ریشهٔ گیاهان و هیف قارچها نقش مهمی دارد. نتایج مطالعات رایت و هونز (۲۰۰۵) و روبرتسون و گراندی (۲۰۰۶) نیز با یافته‌های این تحقیقات هماهنگی نشان می‌دهند.



شکل ۴. توزیع کلاس‌های مختلف خاکدانه در کاربری‌ها و شیب‌های انتخاب شده در منطقهٔ مورد مطالعه

تأثیر شیب و تغییر کاربری بر کربن آلی همراه با خاکدانه‌ها

نتایج آثار شیب و کاربری اراضی بر ذخیرهٔ کربن آلی، نیتروژن کل و نسبت C/N در اندازه‌های سه‌گانهٔ خاکدانه‌های درشت، متوسط و کوچک در جدول ۳ ارائه شده است. بیشترین کربن آلی (۲۲ گرم بر کیلوگرم) همراه با خاکدانه‌های درشت در جنگل طبیعی با کمترین شیب دیده می‌شود که معمولاً مواد آلی تازه و بقایا را از شیب‌های به‌واسطهٔ فرایندهای فرسایش سطحی دریافت می‌کند. از بین تیمارهای انتخاب‌شده، کربن آلی خاک در همهٔ فراکشن‌های خاکدانه در جنگل طبیعی بیشترین بود که این مسئله به دلیل نرخ ورودی و نرخ تجزیهٔ کمتر مواد آلی در این کاربری است. کربن آلی همراه خاکدانه‌ای به طرز معنی‌داری در جنگل تخریب شده و کشت شده نسبت به جنگل کاهش یافته است. این اختلافات در خاکدانه‌های بزرگ‌تر مشهودتر است. در مطالعات قبلی گزارش شده است که در سیستم‌های کشت درازمدت پایداری خاکدانه‌ها مخصوصاً خاکدانه‌های بزرگ کاهش می‌یابد (Jastrow *et al.*, 1996; Mikha and Rice, 1996). کشت‌وکار باعث می‌شود تا خاکدانه‌های بزرگ شکسته و مواد آلی که قبل از آن در داخل خاکدانه حفاظت فیزیکی می‌شده‌اند در معرض اکسایش قرارگیرند (Oades, 1988).

جدول ۳. تأثیر کاربری اراضی و درجهٔ شیب بر مقدار کربن آلی، نیتروژن کل، و نسبت C/N در اندازه‌های مختلف خاکدانه‌ها در منطقهٔ مورد مطالعه

	اندازهٔ خاکدانه Ag	کلاس شیب								
		S1			S2			S3		
		NF	DF	CL	NF	DF	CL	NF	DF	CL
SOC (g kg^{-1})	۲-۴/۷۵ میلی‌متر	۲۲a	۱۰/۶c	۸/۲۶cd	۱۴/۵۱b	۱۰/۱۵c	۷/۸۱cd	۱۵/۴۲b	۹/۸۵cd	۵/۴۷d
	۰/۲۵-۲ میلی‌متر	۲۲/۰۵a	۹/۵۵c	۸/۱۱c	۱۴/۴b	۹/۴۸c	۷/۷۱c	۱۵/۲۸b	۹/۵۴c	۵/۱۸c
	۰/۰۵۳-۰/۲۵ میلی‌متر	۱۹/۹۱a	۹/۹c	۷/۷۷cd	۱۵/۳۵b	۸/۹۱cd	۷/۳۶cd	۱۴/۷۲b	۸/۸۶cd	۴/۹۹d
TN(g kg^{-1})	۲-۴/۷۵ میلی‌متر	۱/۲۹a	۱/۱۱b	۰/۸۸cd	۱/۰b	۱/۰۱b	۰/۸۴	۰/۹۶c	۱/۰۱b	۰/۵۸d
	۰/۲۵-۲ میلی‌متر	۱/۱۵a	۰/۹۴b	۰/۸۳c	۰/۸۰cd	۰/۹۲b	۰/۷۹cd	۰/۸۴b	۰/۹۲b	۰/۵۱d
	۰/۰۵۳-۰/۲۵ میلی‌متر	۰/۹۵a	۰/۸۸b	۰/۸۰c	۰/۷۴cd	۰/۸۸b	۰/۷۸cd	۰/۷۸cd	۰/۸۹b	۰/۵۵d
C/N	۲-۴/۷۵ میلی‌متر	۲۳a	۱۲b	۱۰/۲b	۱۹/۶a	۱۱/۵b	۱۰b	۱۹/۷a	۱۱b	۹/۹b
	۰/۲۵-۲ میلی‌متر	۱۹a	۱۰/۳b	۹/۸b	۱۸a	۱۰/۲b	۹/۶b	۱۸a	۱۰/۱b	۹/۹b
	۰/۰۵۳-۰/۲۵ میلی‌متر	۱۵/۴a	۸/۹b	۸/۸b	۱۵/۳a	۸/۸b	۸/۶b	۱۵/۲a	۸/۷b	۸/۴b

SOC: کربن آلی خاک، TN: نیتروژن کل، C/N: نسبت کربن به نیتروژن، S1: شیب ۰-۱۰ درصد، S2: شیب ۱۰-۳۰ درصد، S3: شیب ۳۰-۵۰ درصد، NF: جنگل طبیعی، DF: جنگل تخریب‌شده، CL: اراضی کشت دیم

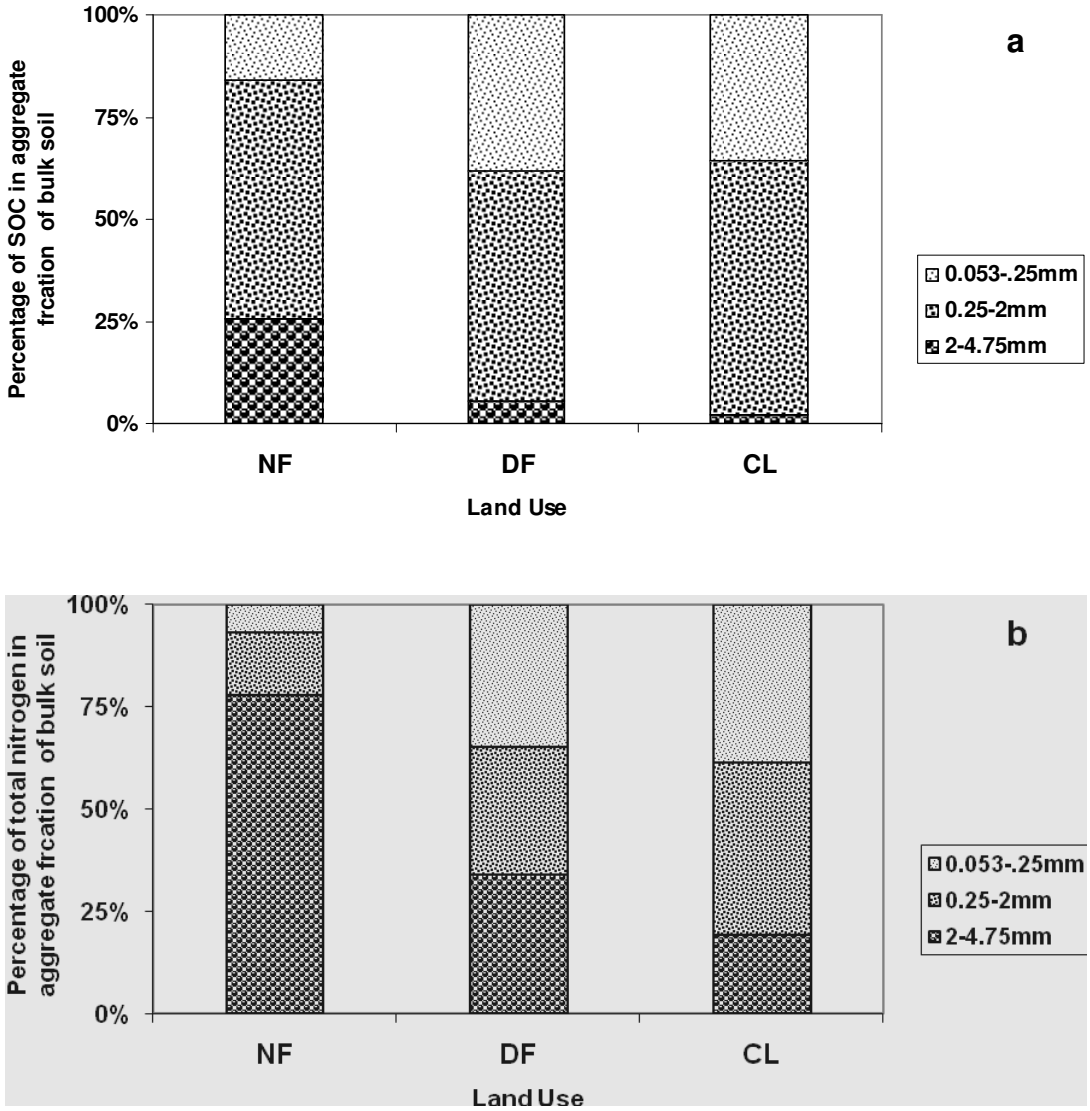
خاکدانه‌های بزرگ پایدار در خاک‌های جنگلی از نظر کربن آلی نسبت به خاکدانه‌های کوچک غنی‌ترند و قطر خاکدانه عامل مهمی از نظر ذخیرهٔ کربنی است. این ذخیره شدن کربن عمدتاً مربوط به مواد آلی تازه است، در حالی که مواد آلی قدیمی‌تر داخل خاکدانه‌ها بین اندازه‌های مختلف ثابت است. این نتیجه با یافته‌های Cambardella and Elliot (1993) مطابقت دارد. نتایج این مطالعه همچنین ثابت کرد که مقدار مادهٔ آلی ذخیره شدهٔ خاکدانه‌های ریز کمتر تحت تأثیر کشت‌وکار قرارمی‌گیرد. این نتایج با نتایج مطالعهٔ John *et al* (2005) مطابقت دارد که ذخیرهٔ کربن آلی در چند کاربری مختلف را مقایسه کرده‌اند. Bronick and Lal (2005) گزارش کردند خاک‌های دست نخورده نسبت به خاک‌های کشت‌وکار شده در داخل خاکدانه‌ها کربن آلی زیادی دارند. Six *et al*. (2000) همچنین گزارش کردند مقدار کربن آلی در خاکدانه‌های درشت در تیمار بدون کشت (No-tillage) نسبت به سیستم کشت‌وکار سنتی افزایش یافته است. محققان دیگر نیز در این خصوص به نتایج مشابهی دست یافته‌اند (Puget *et al.*, 1995; Jastrow *et al.*, 1995; Lio *et al.*, 2006).

اختلاف معنی‌داری بین سه کاربری در خصوص میزان کربن آلی خاکدانه‌های درشت وجود دارد ولی برای خاکدانه‌های ریز و متوسط این اختلاف معنی‌دار نیست (جدول ۳). در این ارتباط نیتروژن کل هم روند مشابهی نشان داد. بیشترین مقدار برای کربن آلی جنگل طبیعی و شیب S1 و کمترین برای شیب S3 در کاربری دیم بود. اگرچه اختلاف معنی‌داری بین کربن آلی در خاکدانه‌های متفاوت کاربری جنگل وجود داشت، ولی درمورد دو کاربری دیگر این اختلافات معنی‌دار نیست. نتایج مشابهی برای کلاس‌های مختلف شیب برای نیتروژن کل و نسبت C/N به دست آمد، به طوری‌که کمترین در شیب S3 با بیشترین نرخ فرسایش مشاهده شد. این نتایج تأکید می‌کند که فرسایش و کشت‌وکار فاکتورهای تعیین‌کننده در کاهش مادهٔ آلی و محدودکنندهٔ تشکیل خاکدانه‌های بزرگ و پایدار است.

توزیع نسبی نیتروژن کل بین فراکشن‌های مختلف خاکدانه‌ای با توزیع کربن آلی مشابه بود. نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد نسبت C/N برای همهٔ تیمارها روند زیر را نشان داده است: خاکدانه‌های درشت> خاکدانه‌های متوسط> خاکدانه‌های ریز. افزایش C/N با افزایش اندازهٔ خاکدانه نشان می‌دهد که کربن آلی در خاکدانه‌های درشت جوان‌تر از خاکدانه‌های ریز است (John *et al.*, 2005). این نسبت در خاکدانه‌های جنگلی حدود ۱۵ تا ۲۳ و در خاکدانه‌های کاربری جنگل تخریب شده و اراضی کشت دیم حدود ۸ تا ۱۱ بود. این مشاهدات نشان می‌دهد تجزیه و برگشت عناصر کربن و نیتروژن در کاربری‌های مختلف نرخ متفاوتی دارد که مربوط به کیفیت و نوع مادهٔ آلی و فعالیت میکروبی مربوط می‌شود (Shi *et al.*, 2010). Cambardella and Elliot (1993) تأکید کردند این تغییرات در نسبت C/N مربوط به این است که کربن آلی عمدتاً حفاظت فیزیکی ولی نیتروژن آلی حفاظت شیمیایی می‌شود. کیفیت مادهٔ آلی در کاربری‌های مختلف در این راستا نقش مهمی ایفا می‌کند.

شکل ۵ توزیع کربن آلی و نیتروژن کل را در خاکدانه‌های مختلف در سه کاربری مختلف در ۱۰۰ گرم خاک نشان می‌دهد. جنگل طبیعی دارای مقدار متوسط کربن آلی برای خاکدانه‌های درشت، متوسط و ریز به ترتیب ۲۵/۷۸، ۵۸/۱۶ و ۱۶/۰۶ درصد است. برای جنگل تخریب شده این مقادیر به ترتیب ۵/۲۹، ۵۶/۳۵، ۳۵/۳۶ و برای اراضی کشت شده ۲/۱۲، ۶۲/۳۵ و

۳۵/۵۳ درصد گزارش شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود بخش قابل ملاحظه‌ای از کربن آلی در اکوسیستم‌های تخریب شده در خاکدانه‌های کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر ذخیره شده است، در حالی‌که خاکدانه‌های درشت‌تر از ۲ میلی‌متر بخش عمده در اراضی جنگل طبیعی بودند. نتایج مشابه John *et al* (2005) نشان داد بخش عمدهٔ کربن آلی در خاکدانه‌های متوسط برای کشت ذرت و گندم مشاهده شد. خاکدانه‌های درشت فاکتور مهمی در حاصلخیزی و باروری خاک دارند و بسیار به تغییر مدیریت حساس‌اند (Oades, 1988). خاک‌های جنگلی کربن آلی و نیتروژن بیشتری با خاکدانه‌های درشت داشتند.



شکل ۵. توزیع نسبی کربن آلی (a) و نیتروژن کل (b) در خاکدانه‌های با اندازهٔ مختلف در سه کاربری انتخاب شده در منطقهٔ مورد مطالعه

این داده‌ها نشان می‌دهد که اراضی جنگل طبیعی که قادرند خاکدانه‌های بزرگ‌تری تولید و حفظ کنند، توانایی بیشتری در ترسیب کربن نسبت به دو اکوسیستم دیگر دارایند. این نتیجه‌گیری با یافته‌های Cambardella and Elliot (1993) هماهنگی دارد. نتایج مشابه Doaee (2009) در مطالعهٔ تغییر کاربری اراضی از مرتع طبیعی به اراضی کشاورزی دیم در منطقهٔ بروجن استان چهارمحال و بختیاری در موقعیت‌های مختلف شیب به دست آمد.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد توزیع کلاس‌های مختلف خاکدانه‌ای با کشت‌وکار تحت تأثیر قرارگرفت و به طور ویژه در اندازهٔ خاکدانه‌های بزرگ کاهش یافت. در اراضی جنگل طبیعی خاکدانه‌های غالب خاکدانه‌های درشت بودند در حالی‌که در دو کاربری جنگل تخریب شده و اراضی کشاورزی دیم خاکدانه‌های متوسط و ریز غالب بودند. تأثیر کاربری اراضی بر ذخیرهٔ کربن آلی در شیب‌های تند با فرایند غالب فرسایش و مادهٔ آلی کمتر

بارزتر بود. توزیع نسبی نیتروژن کل و نسبت C/N هم مشابه با روند کربن آلی بود. تفاوت در ذخیرهٔ کربن آلی و نسبت C/N منطبق بر مفهوم سلسه‌مراتبی تشکیل خاکدانه بود. بی‌شک خاک‌های جنگلی مقدار بیشتری کربن آلی را در خاکدانه‌های خود نگهداری کرده است.

خاکدانه‌های پایدار زیاد و کربن آلی همراه با خاکدانه‌ها در اراضی جنگل طبیعی، نقش مهم این کاربری را در مدیریت اراضی و ترسیب کربن و پایداری اکوسیستم نشان می‌دهد. در مجموع نتایج این تحقیق تأکید دارد که عدم تخریب اراضی در منطقهٔ مورد مطالعه باعث بهبود خاکدانه‌سازی، افزایش ذخیرهٔ کربن خاک، کاهش هدررفت کربن به صورت CO_2 و فرسایش مخصوصاً در شرایطی با بارندگی نسبتاً زیاد و توپوگرافی شدید منطقه می‌شود.

REFERENCES

Ajamai, M., F. Khormali, and Ayoubi, S. (2009), Variability of some soil quality indicators after land use change in loessial soils I eastern Golestan Province. I*ranian Journal of Soil and Water Research.* 39, 15-31. (In Persian).

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.

Besnard, E., C. Chenu, J. Balesdent, P. Puget, D. Arrouyas. (1996), Fate of particulate orgabic matter in soil aggregates during cultivation. *European Journal of Soil Science*. 47, 495-503.

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 & Tillage Research*. 81,239–252.

Cambardella, C. A., and E. T. Elliot. (1993), Carbon and nitrogen distribution in aggregates from cultivated and native grassland soils. *Soil Science Society America Journal.* 57: 1071-1076.

Caravaca, F., A. Lax, and J. Albaladjeo. (2004), Aggregate stability and characteristics of particle size fractions in cultivated and forest soils of semiarid Spain. *Soil & Tillage Research*. 78, 83-90.

Celik, I. (2005), Land use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean highland of Turkey. *Soil & Tillage Research*. 83, 270- 277.

Christensen, B. T. (1992), Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates, *Advances in soil science* vol. 20, CRC-Lewis Publishers, Boca Raton, Vol 20: 1–89.

Doaee, N. (2009), Physical differentiation of soil organic matter in cultivaeted and pasture soils on the hill slope. MSc Thesis. Abu Ali cina University. Hamadan. 125 P. (In Persian).

Elustondo, J., D.A. Angers, M.R. Laverdiere, and A. N'dayegamiye. (1990), Influence de la culture de mais et de la prairie sur l'aregation et la matiere organique de sept soils de Quebec. *Canadian Journal of Soil Science*. 70, 395-403.

Fallahzadeh, J.L., and M. Hajabbasi. (2012), Distribution of organic carbon, nitrogen and carbohydrates in aggregates of desert and cultivated soils in central Iran. S*oil and Water Journal*. 25, 518-529. (In Farsi).

Grandy, A. S. and Robertson, G. P. (2006), Aggregation and Organic Matter Protection Following Tillage of a Previously Uncultivated Soil. *Soil Science Society America Journal*. 70,1398–1406.

Helfrich, M., B. Ludwig, P. Buurman, H. Flessa. (2006), Effects of land use on the composition of soil organic matter in density and aggregate fractions as revealed by solid-state ^{13}C- NMR spectroscopy. *Geoderma*. 136, 331-341.

Jastrow, J. D. (1996), Soil aggregate formation and the accrual of particulate and mineral-associated organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*. 28, 665-676.

Jastrow, K.D., R. M. Miller, and J. Lussenhop. (1998), Contributions of interactions biological mechanisms to soil aggregate stabilization in restored prairie. *Soil Biology and Biochemistry* 30, 905-916.

John, B., T. Yamashita, B. Ludwig, and H. Flessa. (2005), Storage of organic carbon in aggregate and density fractions of silty soils under different types of land use. *Geoderma.* 128, 63-79.

Khormali F, Ajami M, Ayoubi S., Ch. Srinivasarao and S.P. Wani. (2009), Role of deforestation and hillslope position on soil quality attributes of loess-derived soils in Golestan province, Iran. *Agriculture Ecosystem Environment.* 134,178–189.

Krik, P.L., (1950), Kjeldahl method for total nitrogen. *Analytical Chemistry*. 22, 354-358.

Mikha, M. M. and Rice, C. W. (2004), Tillage and Manure Effects on Soil and Aggregate-Associated Carbon and Nitrogen. *Soil Science Society America Journal*. 68, 809–816.

Navidi, M.N., F. Sarmadian, and Mahmudi, S. (2010). Effects of land use change on the chemical and physical soil quality indicators in surface soils of pastures in Ghazvin province. *Rangeland and Watershed Management*. 62: 2. (In Farsi).

Oades, J. M. (1988), The retention of organic matter in soils. Biogeochemistry. 5, 35-70.

Puget, P., C. Chen, and J. Balesdent. (1995), Total and young organic matter distributions in aggregates of silty cultivated soils. *European Journal of Soil Science*.. 46, 449-459.

Puget, P., C. Chenu and J. Balesdent. (2000), Dynamics of soil organic matter associated with particle-size fractions of water-stable aggregates. *European Journal of Soil Science.* 51, 595–605

SAS Institute. 1990. SAS/STAT User's guide. Vol:2, Version 6 ed. SAS Inst., Cary, NC.

Shi, X, Xiao L, Rui L *et al.* . (2010), Dynamics of soil organic carbon and nitrogen associated with physically separated fractions in a grassland-cultivation sequence in the Qinghai-Tibetan plateau. *Biology and Fertility of Soils* 46,103–111.

Six, J., R.T. Conant, E.A. Paul and K. Paustian. (2002), Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil***.** 24,155–176.

Six, J., Elliott, E. T. and Paustion, K. (1999) .Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. *Soil Science Society America Journal*, 63,1350-1352.

Six, J., Elliott, E.T.and Paustian, K. (2000), Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biology and Biochemistry*. 32, 2013–2099.

Soil Survey Staff. (2006), Keys to Soil Taxonomy, Ninth edition, NRCS, USDA.

Wright A. L. and Hons, F. M. (2005), Tillage impacts on soil aggregation and carbon and nitrogen sequestration under wheat cropping sequences. *Soil Tillage Resrech*. 84, 67–75.

Yousefi, M.H., Shariatmadari, M., and M.A. Hajababsi. (2008), Measurement of soil organic carbon pools as soil quality indicator. *Soil and Water Journal*. 11, 429-441. (In Farsi).