تحقیقات آب و خاک ایران، دورهٔ ۴۵، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۳، (ص ۳۴۳-۳۳۳)

بررسی پویایی اجزای فیزیکی کربن آلی خاک‌دانه‌های پایدار در انواع مختلف کاربری اراضی

ابراهیم مقیسه[۱]*، احمد حیدری[۲]، محمد قنادی مراغه[۳]، فریدون سرمدیان[۴]، نجات پیرولی[۵]، میراحمد موسوی شلمانی[۶]، سعداله تیموری[۷]، علی خراسانی[۸]

۱ و ۳ و ۵. عضو هیئت علمی پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

۲ و ۴. عضو هیئت علمی گروه مهندسی علوم خاک دانشگاه تهران

۶ و ۷ و ۸. پژوهشگر پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۶/۲۲ ـ تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۳/۴)

چکیده

در این تحقیق افق‌های مشابه (A، AB، B_1) از کاربری‌های جنگل پهن‌برگ، جنگل سوزنی‌برگ، و مرتع انتخاب و درصد خاک‌دانه‌های پایدار در آب آن‌ها تعیین شد. در هر یک از کلاس‌های خاک‌دانه‌های پایدار افق A، مقادیر قطعات مواد آلی آزاد، بخش درون‌خاک‌دانه‌ای، و کمپلکس‌های رس+سیلت بر حسب چگالی و اندازه تعیین و مقدار کربن و نیتروژن آن‌ها با دستگاه تجزیهٔ عنصری CHN اندازه‌گیری شد. در هر نوع کاربری غالباً با کاهش اندازهٔ خاک‌دانه درصد خاک‌دانه‌های پایدار و مقدار کربن آلی آن‌ها افزایش یافته است. با مطالعهٔ پایداری خاک‌دانه‌ها در آب مشخص شد خاک‌دانه‌های بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر به تغییر کاربری جنگل حساسیت بیشتری نشان می‌دهند. از سویی دیگر، بخش‌های F-LF، F-POM، و IA-POM در مقایسه با سایر اجزای کربن شاخص‌های حساس‌تری به تغییر کاربری تشخیص داده شدند. ترتیب تجزیه‌پذیری اجزا از توالی IA-S+C<IA-POM<F-POM<F-LF تبعیت می‌کند که نقش مهم خاک‌دانه‌ها را در حفاظت از مواد آلی نشان می‌دهد.

کلیدواژگان: تفکیک فیزیکی، خاک‌دانه‌های پایدار، قطعات مواد آلی، کاربری اراضی

مقدمه

درک پویایی[۱] کربن در خاک برای بررسی آسیب‌پذیری مواد آلی خاک در مقابل تغییر کاربری اراضی ضروری است (Lee *et al*., 2009). در مطالعات پویایی مواد آلی در خاک غالباً نوع اجزای کربن آلی، نحوهٔ قرارگیری اجزا کنار یک‌دیگر، نحوهٔ تشکیل اجزا، سرعت گردش، و فرآیندهای مؤثر بر پایداری مواد آلی بررسی می‌شوند (Torn *et al*., 2009). بررسی پیشینهٔ علمی جهان نشان می‌دهد در بیشتر مطالعات سال‌های اخیر، برای بررسی اثر نحوهٔ مدیریت و تغییر نوع کاربری اراضی بر پویایی مواد آلی خاک، از روش‌های تفکیک[۲] بر اساس خاک‌دانه، چگالی، و اندازه استفاده شده است (Marzaioli *et al*., 2010). تشکیل خاک‌دانه‌ها نقش مهمی در فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی، و زیستی خاک دارد. از این رو برای مطالعهٔ پویایی کربن، با توجه به پیچیدگی‌های موجود در مواد تشکیل‌دهندهٔ متن خاک[۳]، اغلب از خاک‌دانه‌ها کمک گرفته می‌شود (Olk and Gregorich, 2006). تفکیک مواد آلی بر اساس اندازهٔ خاک‌دانه نمایانگر نحوهٔ توزیع مواد آلی در خاک‌دانه‌های ریز و درشت است (Torn *et al*., 2009). بر اساس مطالعات محققان، اثر اندازهٔ خاک‌دانه‌ها بر توزیع کربن آلی در آن‌ها متفاوت است. Tisdall and Oades (1982) و Six *et al*. (2002) افزایش مقدار کربن آلی خاک با افزایش اندازهٔ خاک‌دانه‌ها و Bossuyt *et al*. (2002) و Holeplass *et al*. (2004) عکس این موضوع را گزارش کرده‌اند.

مواد آلی به صورت فیزیکی عمدتاً از دو بخش قطعات مواد آلی[۴] (POM) یا مواد آلی کمپلکس‌نشده[۵] و کمپلکس‌های آلی-معدنی[۶] (IA-S+C) تشکیل می‌شوند. مواد آلی کمپلکس‌نشده مجموعه‌ای از اجزای مواد آلی هستند که به ذرات معدنی خاک متصل نیستند و در مقایسه با سایر اجزای کربن آلی خاک

* نویسندهٔ مسئول: emoghiseh@nrcam.org

1 Dynamics
2. Fractionation
3. Soil matrix
4. Particulate Organic Matter
5. Physically uncomplexed
6. Organo-mineral Complexes or Intra-aggregate silt+clay

نسبت به تغییر شیوه‌های مدیریتی یا تغییر نوع کاربری اراضی حساس‌ترند و برحسب چگالی یا اندازه از یک‌دیگر جدا می‌شوند (Golchin *et al*., 1994; Gregorich and Bear, 2008). مواد آلی بر اساس اندازه و چگالی به بخش درشت (>53 µm)، مواد آلی سبک[1] (LF)، مواد آلی بدون ارتباط با خاک‌دانه‌ها و واقع‌شده بین آن‌ها (بر اساس شناورسازی در محلولی با چگالی 1.6-2.6g/cm^3)، و مواد آلی محبوس[2] توسط خاک‌دانه‌ها تقسیم می‌شوند. این مواد پس از پراکنده‌کردن ذرات به وسیلهٔ هگزامتافسفات سدیم و الک‌کردن با الک‌های ۵۳ تا ۲۵۰ میکرون تفکیک می‌شوند (Liao *et al*., 2006; Neider and Benbi, 2008). کمپلکس‌های آلی- معدنی مواد آلیِ مرتبط با بخش معدنی خاک‌اند. این بخش از مواد آلی بخش اصلی و غالب مواد آلی خاک را تشکیل می‌دهند و در ذخیرهٔ طولانی‌مدت کربن در خاک اهمیت زیادی دارند (Von Lützow *et al*., 2008).

مطالعهٔ پویایی مواد آلی خاک در مطالعهٔ آثار تغییر کاربری اراضی در سامانه‌های کشاورزی بسیار گسترده است. اما استفاده از این روش‌ها برای زیست‌بوم‌های طبیعی (غیر زراعی) متداول نیست (Liao *et al*., 2006; Moghiseh, 2012). محققان داخل کشور نیز بیشتر اثر تغییر کاربری جنگل به اراضی زراعی را مطالعه کرده‌اند و نتایج کمتری دربارهٔ زیست‌بوم‌های طبیعی مشاهده شده است. Emadi *et al*. (2008)، Hajabbasi *et al*. (1997)، Khormali *et al*. (2009)، Avsat (2010)، Fallahzade and Hajabbasi (2011)، Beheshti *et al*. (2012) اثر تغییر کاربری جنگل به زراعی را بر خصوصیات کیفی، فیزیکی، و شیمیایی خاک همراه تغییرات ذخایر، قطعات مواد آلی، و پویایی اجزای کربن آلی خاک در نقاط مختلف کشور مطالعه کرده‌اند.

در این تحقیق پویایی کربن با استفاده از تفکیک فیزیکی (بر حسب اندازه و چگالی) مواد آلی در خاک‌دانه‌های پایدار در سه کاربری جنگل پهن‌برگ، جنگل سوزنی‌برگ، و مرتع در منطقهٔ کلاردشت استان مازندران ارزیابی شد. تغییر کاربری اراضی در منطقهٔ کلاردشت به‌شدت گسترش یافته است؛ طوری که بین سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۹ وسعت جنگل‌های پهن‌برگ در این منطقه از ۶۸/۳۸ به ۴۵/۶۰ کیلومتر مربع کاهش و عمدتاً به مرتع تغییر یافته و سطح کمی نیز به جنگل سوزنی‌برگ تبدیل شده است (Moghiseh *et al*., 2012).

خاک‌های سه نوع کاربری جنگل اولیهٔ پهن‌برگ[3] (PF) و ثانویهٔ سوزنی‌برگ[4] (SF) و مرتع[5] (R)، بر اساس آخرین کلید سیستم طبقه‌بندی جامع خاک (۲۰۱۱)، طبقه‌بندی شدند. خاک‌های شناسایی‌شده به‌ترتیب شامل فامیل‌های Very-fine, mixed, mesic, Aquic Palexeralfs؛ Clayey-skeletal, mixed, active, mesic, Calcic Pachic Haploxerolls؛ و Very-fine, mixed, active, mesic, Typic Haploxerolls بودند. گونهٔ غالب در جنگل پهن‌برگ درخت راش[6] و در جنگل سوزنی‌برگ درخت نوئل سبز[7] است. مراتع عمدتاً شامل گونه‌های علفی، درختچه‌ای، و پوشیده از انواع گونه‌های مختلف گرامینه[8] هستند (Moghiseh *et al*., 2012).

مواد و روش‌ها

بر اساس مطالعهٔ Moghiseh *et al*. (2012) در زمینهٔ وضعیت تغییر کاربری جنگل پهن‌برگ در منطقهٔ کلاردشت، سه کاربری جنگل پهن‌برگ (PF) و جنگل سوزنی‌برگ (SF) و مرتع (R) و خاک‌های آن‌ها انتخاب شدند. اندازه‌گیری درصد خاک‌دانه‌های پایدار در آب، تفکیک فیزیکی مواد آلی در خاک‌دانه‌های پایدار- بر حسب اندازه و چگالی- و اندازه‌گیری مقدار کربن و نیتروژن آن‌ها به شرح ذیل انجام شد.

اندازه‌گیری درصد خاک‌دانه‌های پایدار در آب

به منظور مطالعهٔ پایداری خاک‌دانه‌های سه افق A و AB و B_1 در نیم‌رخ‌های خاک سه کاربری مذکور نمونه‌های دست‌نخورده تهیه شد. نمونه‌ها هواخشک و خاک‌دانه‌ها با سری الک تفکیک شد. با این روش، چهار کلاس خاک‌دانه‌های درشت mm ۲>، دو کلاس خاک‌دانه‌های متوسط[9] mm ۲-۰/۲۵۰، و یک کلاس خاک‌دانه‌های ریز[10] mm ۰/۲۵-۰/۰۵۳ از یک‌دیگر تفکیک شد. در این تحقیق خاک‌دانه‌های درشت شامل خاک‌دانه‌های ۱۶mm>، ۱۶-۹/۵، ۹/۵-۴/۷۵، ۴/۷۵-۲، و خاک‌دانه‌های متوسط دارای اندازهٔ mm ۲-۰/۵ و ۰/۵-۰/۲۵ هستند. پایداری هر کلاس خاک‌دانه، به طور مجزا[11]، به کمک الک تر (۲۹ rpm بالا و پایین و به مدت ۳۰ دقیقه) تعیین شد. از تقسیم وزن

1. Free Light Fraction and Free POM
2. Occluded or Intra-aggregate POM

3. Primary forest
4. Secondary Forest
5. Rangeland
6. Fagus orientalis
7. Picea abies
8. Graminea *spp*
9. Small macroaggregate
10. Microaggregate
11. Individually

خاک‌دانه‌های پایدار بر وزن نمونهٔ اولیه، درصد خاک‌دانه‌های پایدار در آب[1] (WSA) تعیین شد (Kemper and Roseno, 1986; Six *et al*., 2002; Ussiri *et al*., 2006; Abid and Lal, 2008; Moghiseh, 2012).

تفکیک بخش آزاد سبک[2] با چگالی کمتر از ۱ gcm^{-3}

تفکیک اجزای مواد آلی خاک‌دانه‌های پایدار بر حسب چگالی و اندازه فقط در افق A انجام شد. هنگام اندازه‌گیری پایداری خاک‌دانه‌ها با روش الک تر، ذرات درشت مواد آلی و ریشهٔ شناور بر آب، که چگالی کمتر از ۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب داشتند، تفکیک و جمع‌آوری و خشک شد. این مواد برای هر یک از کلاس‌های اندازهٔ خاک‌دانه‌ها و روی غربال‌های با اندازهٔ مشخص تفکیک شد. این بخش همان بخش سبک آزاد (Free LF) است که در حقیقت نشان‌دهندهٔ مقدار بقایای گیاهی واردشده به هر کلاس خاک‌دانهٔ پایدار خاک است (Liao *et al*., 2006).

تفکیک قطعات مواد آلی آزاد[3] با چگالی کمتر از ۱٫۷ gcm^{-3}

قطعات مواد آلی آزاد (F-POM)، که بدون ارتباط با ذرات معدنی خاک هستند، از طریق شناورسازی هر بخش خاک‌دانهٔ پایدار موجود روی غربال‌های با اندازهٔ مختلف در محلول یدید سدیم با چگالی ۱٫۷ ≤ گرم بر سانتی‌متر مکعب تفکیک شدند (Gregorich and Bear, 2008).

تفکیک قطعات مواد آلی درون خاک‌دانه‌ای[4] (IA-POM) از کمپلکس‌های رس+سیلت (IA-S+C)

برای تفکیک مواد آلی محبوس درون خاک‌دانه، بخش باقی‌مانده از مرحلهٔ قبلی، با چگالی ۱٫۷< گرم بر سانتی‌متر مکعب، با استفاده از محلول ۵ گرم در لیتر هگزا متافسفات سدیم پراکنده شد. برای این کار نمونه‌ها به مدت ۱۶ ساعت روی شیکر رفت‌وبرگشتی با سرعت ۱۸۰ بار در دقیقه تکان داده شد. سوسپانسیون حاصل به الک ۵۳ µm منتقل و با آب مقطر شست‌وشو شد تا همهٔ اجزای مربوط به کمپلکس‌های رس+سیلت (IA-S+C) از آن عبور کند و فقط قطعات مواد آلی درون خاک‌دانه‌ای بزرگ‌تر از ۵۳ µm باقی بماند (Moghiseh, 2012; Liao *et al*., 2006; Gregorich *et al*., 2006).

اندازه‌گیری درصد کربن و نیتروژن

همهٔ بخش‌های تفکیک‌شده در مراحل قبلی، اعم از اجزای مواد آلی، بر حسب اندازه و چگالی و خاک‌دانه‌های پایدار بعد از خشک‌شدن در دمای ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد توزین و آسیاب و مقدار کربن و نیتروژن آن‌ها، با استفاده از دستگاه تجزیهٔ عنصری CHN، اندازه‌گیری شد.

تجزیهٔ آماری

آنالیز واریانس (ANOVA) به منظور ارزیابی آثار کاربری اراضی بر پویایی کربن در اجزای مختلف مواد آلی خاک‌دانه‌های پایدار و مقایسهٔ میانگین نتایج با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۹۵ درصد ($P<0/05$) با استفاده از نرم‌افزار SPSS 19.0 و Excel انجام شد.

یافته‌ها و بحث

به طور کلی، تبدیل جنگل پهن‌برگ به جنگل سوزنی‌برگ و تغییر کاربری جنگل پهن‌برگ به مرتع به‌ترتیب سبب افزایش و کاهش کربن آلی در سه افق A و AB و B_1 نیم‌رخ‌های خاک سه کاربری شد (جدول ۱). با تبدیل جنگل پهن‌برگ به سوزنی‌برگ حدود ۳۸٫۸۳ Mg C/ha معادل ۱۸ درصد ذخیرهٔ کربن آلی تا عمق ۱ متری خاک افزایش یافت. در صورتی که تغییر کاربری جنگل پهن‌برگ به مرتع سبب افزایش حدود ۳۰٫۸۶ Mg C/ha معادل ۱۴٫۳ درصد ذخیرهٔ کربن آلی تا عمق ۱ متری خاک شد (Moghiseh *et al*., 2012; Moghiseh, 2012).

اثر کاربری اراضی بر خاک‌دانه‌های پایدار در آب (WSA) و پویایی کربن آلی آن‌ها

بر اساس نتایج، با کاهش اندازهٔ خاک‌دانه‌ها درصد خاک‌دانه‌های پایدار سه افق A و AB و B_1 در کاربری‌های جنگل پهن‌برگ، جنگل سوزنی‌برگ، و همچنین افق‌های A و B_1 کاربری مرتع افزایش می‌یابد (شکل ۱). در افق‌های مذکور حداقل مقدار خاک‌دانه‌های پایدار خاک‌دانه‌های بزرگ‌تر از ۱۶ میلی‌متر بود. حداکثر مقدار خاک‌دانه‌های پایدار به خاک‌دانه‌های ۰٫۲۵۰-۰٫۰۵۳ و ۰٫۰۵۳-۰٫۲۵۰ میلی‌متر تعلق دارد (شکل ۱). مقدار کربن آلی خاک‌دانه‌های پایدار، هم‌زمان با کاهش اندازهٔ آن‌ها، همانند درصد مقدار خاک‌دانه‌های پایدار در افق‌های مطالعه‌شده، افزایش می‌یابد (شکل ۲). بیشترین مقدار کربن آلی در خاک‌دانه‌های با اندازه‌های ۰٫۲۵۰-۰٫۰۵۳ و ۰٫۰۵۳-۰٫۲۵۰ و کمترین مقدار کربن آلی در خاک‌دانه‌های بزرگ‌تر از ۱۶ میلی‌متر اندازه‌گیری شد (شکل ۲). خاک‌دانه‌های درشت، به دلیل داشتن مواد آلی کمتر از خاک‌دانه‌های متوسط و ریز، پایداری ضعیف‌تری داشتند و به‌آسانی تخریب شدند (Bossuyt

1. Water Stable Aggregates
2. Free Light Fraction
3. Free POM
4. Intra-aggregate particulate organic matter

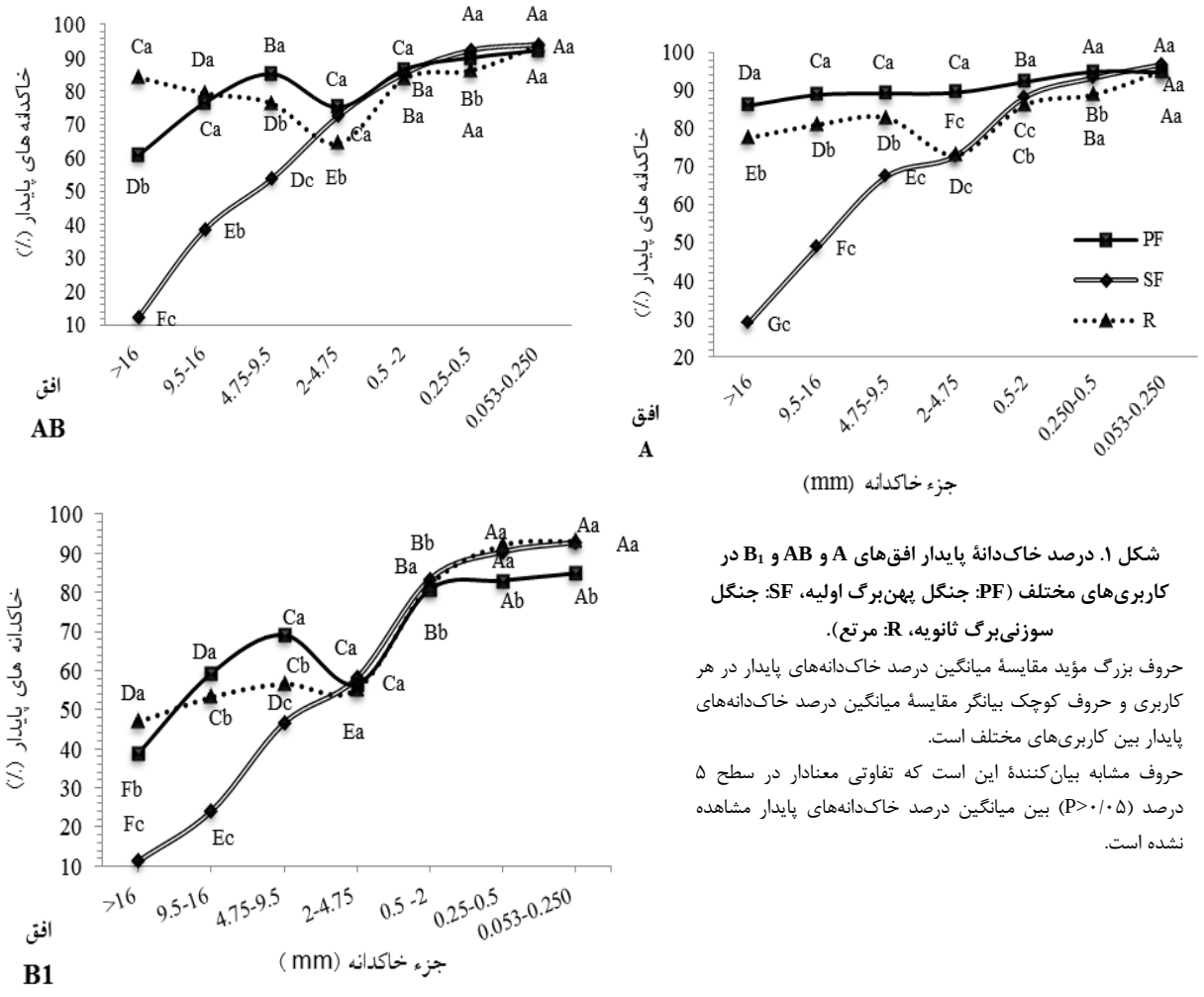
et al., 2002; Liao *et al.*, 2006). نتایج این تحقیق در کاربری‌های مطالعه‌شده هم‌سو با گزارش Bossuyt *et al.* (2002) و Tobiašová(2011) بود که نشان می‌دهد با کاهش اندازهٔ خاک‌دانه مقدار کربن آلی و پایداری خاک‌دانه‌ها افزایش می‌یابد (شکل‌های ۱ و ۲).

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی سه افق A و AB و B_1 کاربری‌های مطالعه‌شده (Moghiseh *et al.*, 2012)

افق	کاربری اراضی	pH	EC (dS/m)	BD *(Mg/m^3)	کربن آلی (٪)	CCE ٪	نیتروژن کل (٪)	C/N	CEC cmol$^+$/kg	BSP ٪
	PF	۷٫۸۴b	۱٫۴۵a	۱٫۰۲b	۶٫۱۲b	۰٫۲	۰٫۳۸b	۱۵٫۶۰a	۳۹٫۵۸	۵۴٫۳۳
A	SF	۸٫۰۲a	۲٫۰۱a	۱٫۰۱b	۶٫۳۷a	۱۷٫۹۷	۰٫۴۵a	۱۴٫۸۰b	۴۶٫۵۰	۸۶٫۱۰
	R	۷٫۹۹a	۱٫۳۱a	۱٫۲۳a	۳٫۴۵c	۰٫۴۴	۰٫۳۵b	۱۰٫۰۷c	۳۶٫۲۷	۸۴٫۵۳
	PF	۷٫۵۰b	۰٫۵۴c	۱٫۲۴a	۳٫۲۵b	۰٫۱	۰٫۲۶a	۱۲٫۷۳b	۳۵٫۶۵	۶۶٫۷۶
AB	SF	۸٫۰۱a	۱٫۲۷a	۱٫۲ab	۳٫۷۴a	۲۴٫۰	۰٫۲۹a	۱۸٫۲۸a	۴۲٫۶۹	۸۶٫۵۴
	R	۸٫۰۹a	۰٫۹۱b	۱٫۲۹ac	۲٫۸۰c	۰٫۲۳	۰٫۳۱a	۸٫۸۹c	۴۰٫۹۸	۷۹٫۷۶
B_{t1}	PF	۷٫۶۰b	۰٫۵۴b	۱٫۴۷a	۱٫۱۹c	۰٫۱۵	۰٫۱۰	۱۰٫۷۱	۲۸٫۴۵	۸۵٫۹۲
B_{k1}	SF	۸٫۰۹a	۰٫۸۸a	۱٫۳۳b	۲٫۳۴a	۲۶٫۴۹	۰٫۲۰	۱۳٫۴۰	۲۹٫۴۴	۸۰٫۱۶
B_{w1}	R	۸٫۰۵a	۰٫۹۰a	۱٫۳۰b	۲٫۱۱b	۰٫۲	۰٫۱۰	۲۳٫۴۰	۳۲٫۳۰	۸۹٫۶۹

* وزن مخصوص ظاهری (BD)، کربنات کلسیم معادل (CCE)، درصد اشباع بازی (BSP)

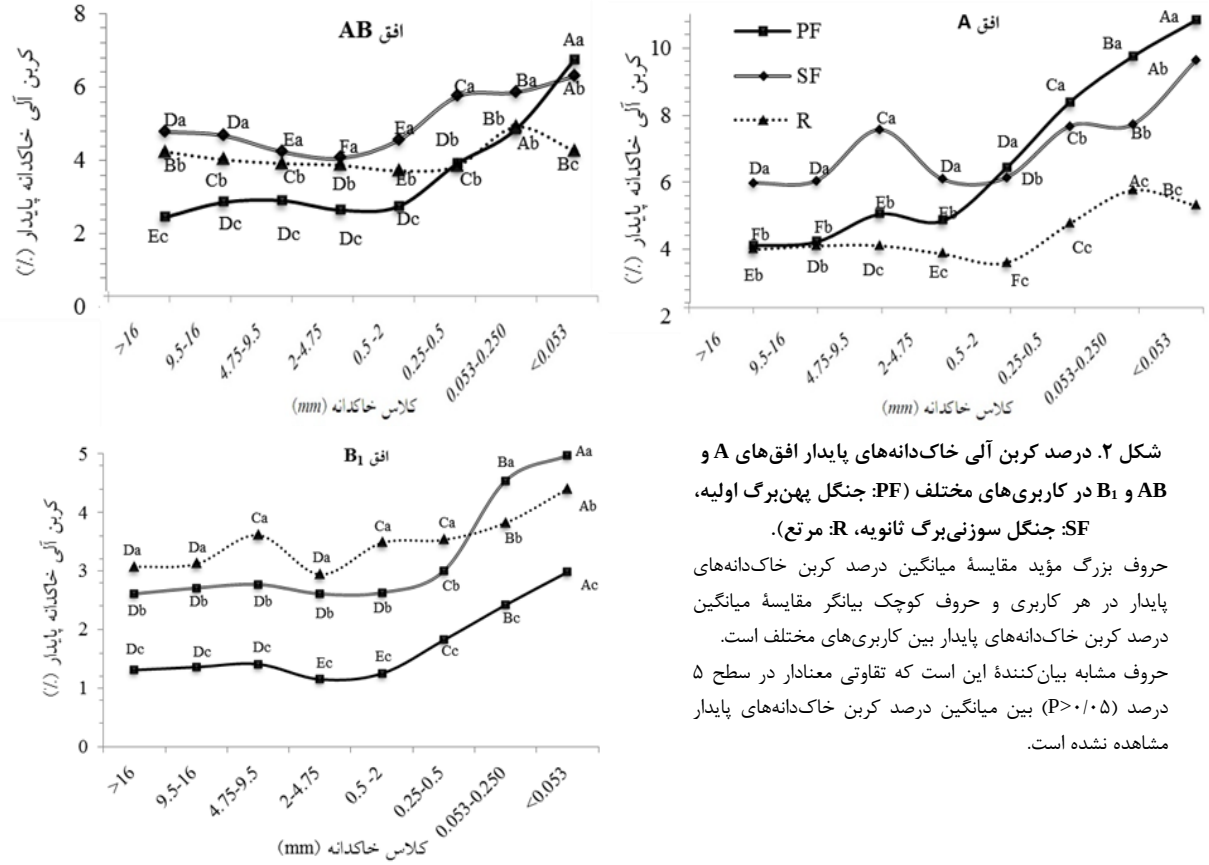
حروف مشابه: تفاوت معناداری بین میانگین هر خصوصیت از افق خاک کاربری‌ها در سطح ۹۵ درصد وجود ندارد (P>۰/۰۵).



شکل ۱. درصد خاک‌دانهٔ پایدار افق‌های A و AB و B_1 در کاربری‌های مختلف (PF: جنگل پهن‌برگ اولیه، SF: جنگل سوزنی‌برگ ثانویه، R: مرتع).

حروف بزرگ مؤید مقایسهٔ میانگین درصد خاک‌دانه‌های پایدار در هر کاربری و حروف کوچک بیانگر مقایسهٔ میانگین درصد خاک‌دانه‌های پایدار بین کاربری‌های مختلف است.

حروف مشابه بیان‌کنندهٔ این است که تفاوتی معنادار در سطح ۵ درصد (P>۰/۰۵) بین میانگین درصد خاک‌دانه‌های پایدار مشاهده نشده است.



شکل ۲. درصد کربن آلی خاک‌دانه‌های پایدار افق‌های A و AB و B_1 در کاربری‌های مختلف (PF: جنگل پهن‌برگ اولیه، SF: جنگل سوزنی‌برگ ثانویه، R: مرتع).

حروف بزرگ مؤید مقایسهٔ میانگین درصد کربن خاک‌دانه‌های پایدار در هر کاربری و حروف کوچک بیانگر مقایسهٔ میانگین درصد کربن خاک‌دانه‌های پایدار بین کاربری‌های مختلف است.

حروف مشابه بیان‌کنندهٔ این است که تفاوتی معنادار در سطح ۵ درصد (P>۰/۰۵) بین میانگین درصد کربن خاک‌دانه‌های پایدار مشاهده نشده است.

تفاوت معناداری بین درصد خاک‌دانه‌های پایدار بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر در سه افق A و AB و B_1 جنگل پهن‌برگ و جنگل سوزنی‌برگ مشاهده شد؛ طوری که درصد خاک‌دانه‌های پایدار بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر در جنگل پهن‌برگ بیشتر از جنگل سوزنی‌برگ بود. ولی در خاک‌دانه‌های متوسط و ریز تفاوت معناداری مشاهده نشد. این موضوع بیانگر آن است که تغییر کاربری از جنگل پهن‌برگ به جنگل سوزنی‌برگ موجب تخریب بیشتر خاک‌دانه‌های درشت می‌شود. حساسیت زیاد خاک‌دانه‌های درشت به تخریب این ویژگی را شاخصی مهم در ارزیابی تأثیر تغییر کاربری اراضی جنگلی به سایر انواع کاربری‌ها معرفی می‌کند (Connant *et al*., 2004).

نتایج نشان داد هرچند در خاک‌دانه‌های درشت جنگل سوزنی‌برگ در مقایسه با خاک‌دانه‌های درشت جنگل پهن‌برگ مقدار کربن آلی بیشتر است، این موضوع تأثیر چندانی بر پایداری خاک‌دانه‌های جنگل سوزنی‌برگ ندارد (شکل‌های ۱ و ۲). با مطالعهٔ ترکیب شیمیایی مواد آلی این کاربری‌ها با روش طیف‌سنجی تبدیل فوریه زیر قرمز[1] (FTIR) مشخص شد که بالاتربودن درصد نسبی ترکیبات آب‌گریز، همچون ترکیبات آلیفاتیکی، در جنگل پهن‌برگ نقش مؤثرتری بر افزایش پایداری خاک‌دانه‌ها در مقایسه با جنگل سوزنی‌برگ با کربن آلی بالاتر دارد (Moghiseh *et al*., 2013).

با تغییر کاربری جنگل پهن‌برگ به مرتع، درصد خاک‌دانه‌های پایدار بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر در افق‌های A و AB و B_1، به استثنای خاک‌دانه‌های بزرگ‌تر از ۱۶ میلی‌متر، کاهش یافت. نتایج شکل ۱ نشان می‌دهد تغییر کاربری جنگل به مرتع تأثیر زیادی بر خاک‌دانه‌های متوسط و ریز ندارد (John *et al*., 2005; Emadi *et al*., 2008). به‌نظر می‌رسد سرعت بالای تجزیهٔ مواد آلی و جابه‌جایی سریع آن‌ها از طریق انتشار گاز کربنیک در کاربری مرتع سبب کاهش ذخیرهٔ کربن در خاک و کاهش پایداری خاک‌دانه‌ها شده باشد (Moghiseh *et al*., 2012; Connant *et al*., 2004).

در کاربری مرتع، هم‌زمان با کاهش درصد خاک‌دانه‌های پایدار، مقدار کربن آلی خاک‌دانه‌های درشت در افق A– به استثنای خاک‌دانه‌های بزرگ‌تر از ۹/۵ میلی‌متر کاهشی معنادار داشت (شکل ۲). این تعارضِ افزایش کربن آلی و کاهش پایداری، همان‌گونه که پیش‌تر نیز در تغییر کاربری جنگل پهن‌برگ به جنگل سوزنی‌برگ مشاهده شد، نشان می‌دهد که فقط مقدار کل کربن بر پایداری مؤثر نیست و در پایداری

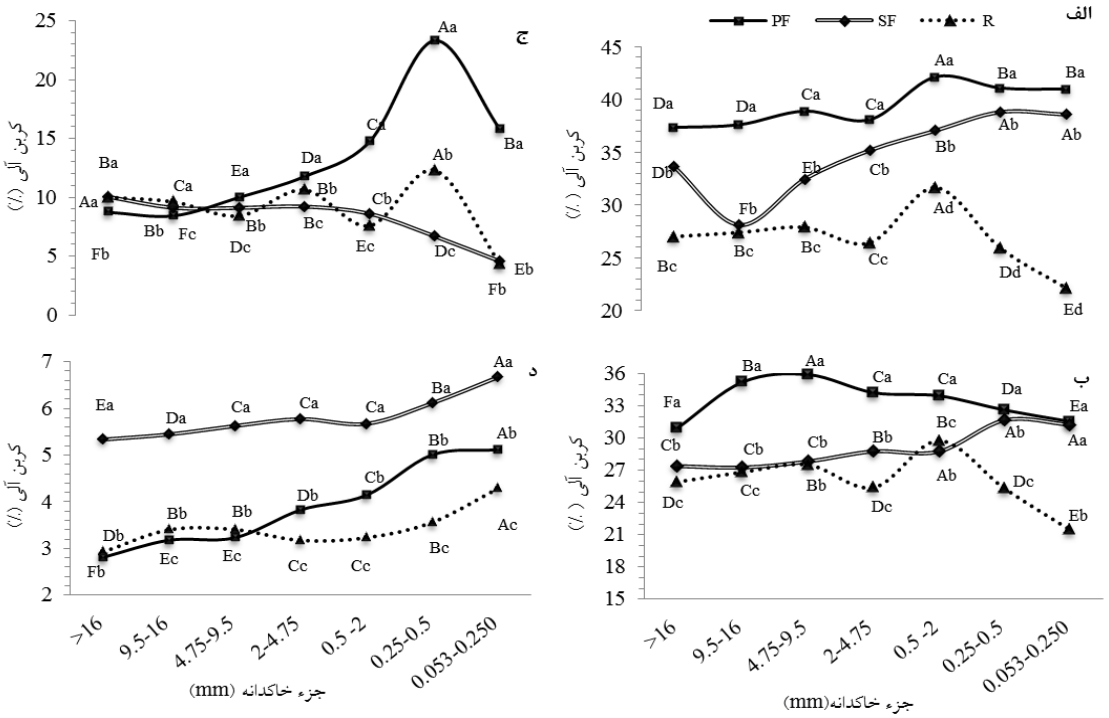
1. Fourier Transform Infrared Spectrometry (FTIR Spectrometry)

خاک‌دانه‌ها باید کیفیت مواد آلی و شکل‌های مختلف کربن را نیز بررسی کرد (Moghiseh *et al*., 2013). بررسی پایداری خاک‌دانه‌ها، به جز در خاک‌دانه‌های بزرگ‌تر از ۱۶ میلی‌متر، نشان داد که ساختمان خاک در کاربری جنگل شرایطی بهتر از کاربری مرتع دارد. Tobiašová (2011) نیز نتایجی مشابه را گزارش کرده است.

روند تغییرات خاک‌دانه‌های پایدار در افق AB کاربری مرتع نسبت به کاربری‌های جنگل پهن‌برگ و جنگل سوزنی‌برگ متفاوت بود. بر اساس نتایج، با کاهش اندازهٔ خاک‌دانه‌های ۱۶ میلی‌متر تا ۴/۷۵-۲ میلی‌متر درصد خاک‌دانه‌های پایدار کاهشی معنادار می‌یابد و دوباره از خاک‌دانه‌های کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر پایداری خاک‌دانه‌ها بالا می‌رود (شکل ۱). این روند هم‌سو با روند تغییر مقدار کربن آلی در اجزای خاک‌دانه و متفاوت با سایر کاربری‌ها، به‌خصوص جنگل پهن‌برگ، بود (شکل ۲). این کاهش مقدار کربن آلی همراه کاهش اندازهٔ خاک‌دانه با نتایج Tisdall and Oades (1982) و Six *et al*. (2002) مطابقت دارد. احتمال می‌رود، با توجه به روند کاهش مقدار کربن و کاهش اندازهٔ خاک‌دانه‌ها، برخلاف کاربری جنگل پهن‌برگ و سوزنی‌برگ، شکل‌گیری خاک‌دانه‌ها در افق AB کاربری مرتع متفاوت باشد. پایداری بیشتر خاک‌دانه‌های بزرگ‌تر از ۱۶ میلی‌متر در افق AB کاربری مرتع نسبت به کاربری جنگل پهن‌برگ نشان‌دهندهٔ وابستگی این خاک‌دانه‌ها به عوامل پیونددهنده، همچون حضور ریشه‌های زنده و مواد آلی حاصل از ترشحات ریشه در خاک، است (Moghiseh, 2012; Oades, 1984). این در حالی است که خاک‌دانه‌های ریز مستقل از مواد آلی بسیار تجزیه‌پذیرند؛ همچون ریشه‌ها و بقایای گیاهی (Tisdall and Oades; 1982).

اثر کاربری اراضی بر پویایی کربن آلی و مقدار نیتروژن و نسبت C:N در اجزای فیزیکی خاک‌دانه‌های پایدار

در افق A کاربری‌های جنگل پهن‌برگ و جنگل سوزنی‌برگ و مرتع مقدار کربن آلی سه بخش F-LF و F-POM و IA-S+C به استثنای بخش F-POM کاربری جنگل پهن‌برگ روندی مشابه داشت؛ طوری که با کاهش اندازهٔ خاک‌دانه‌های پایدار مقدار کربن بیشتری مشاهده شد (شکل ۳ الف، ۳ ب، ۳ د).



شکل ۳. درصد کربن آلی اجزای مختلف مواد آلی خاک‌دانه‌های پایدار: الف) بخش سبک آزاد[1]، ب) قطعات مواد آلی آزاد[2]، ج) قطعات مواد آلی محبوس درون خاک‌دانه[3]، د) کمپلکس‌های رس+سیلت[4]. حروف بزرگ مؤید مقایسهٔ میانگین بین کربن آلی آن بخش خاک‌دانه‌ها در هر کاربری و حروف کوچک بیانگر مقایسهٔ میانگین کربن آلی هر بخش یک خاک‌دانه بین کاربری‌های مختلف (PF: جنگل پهن‌برگ اولیه، SF: جنگل سوزنی‌برگ ثانویه، R: مرتع) است. حروف مشابه بیان‌کنندهٔ این است که تفاوت معناداری در سطح ۵ درصد (p>۰/۰۵) بین میانگین کربن آلی مشاهده نشده است.

1. Free Light Fraction
2. Free POM
3. Intra-aggregate particulate organic matter
4. Intra-aggregate silt+clay

اما روند تغییرات کربن آلی بخش IA-POM در این سه کاربری با یک‌دیگر متفاوت است. با کاهش اندازهٔ خاک‌دانه، مقدار کربن آلی این بخش در جنگل پهن‌برگ بیشتر و در کاربری جنگل سوزنی‌برگ و مرتع کمتر می‌شود (شکل ۳ ج). در هر کلاس حداکثر مقدار کربن در بخش F-LF و حداقل آن در بخش IA-S+C است (شکل ۳).

تغییر کاربری جنگل پهن‌برگ سبب کاهش مقدار کربن آلی در اجزای F-LF، F-POM همهٔ خاک‌دانه‌ها، و بخش IA-POM خاک‌دانه‌های کوچک‌تر از ۹/۵ میلی‌متر شده است (شکل ۳). تغییر کاربری، علاوه بر کاهش ورودی مقدار کربن (بخش F-LF)، سبب تخریب خاک‌دانه‌ها و کاهش مقدار کربن بین خاک‌دانه‌ای (F-POM) و درون خاک‌دانه‌ای (IA-POM) نیز شده است (شکل‌های ۲ و ۳). مقدار بیشتر کربن این اجزا در جنگل پهن‌برگ نسبت به جنگل سوزنی‌برگ و مرتع احتمالاً نتیجهٔ ورودی بیشتر و حفاظت مواد آلی (F-POM و IA-POM) بین و درون خاک‌دانه‌های پایدارتر جنگل پهن‌برگ است (شکل ۳). Liao *et al.* (2006) نیز نتایج مشابهی به‌دست آورده‌اند.

با وجود مقدار کربن کل بیشتر در افق A جنگل سوزنی‌برگ در مقایسه با جنگل پهن‌برگ، با تفکیک اجزای کربن آلی مشخص شد تغییر کاربری جنگل سبب کاهش کربن آلی اجزای سبک و قطعات مواد آلی در جنگل سوزنی‌برگ می‌شود (جدول ۱ و شکل ۳). از این رو اجزای سبک (F-LF و F-POM) و قطعات مواد آلی درون خاک‌دانه‌ای (IA-POM)، به منزلهٔ ذخیرهٔ فعال خاک، شاخصی مهم و حساس به تغییر کاربری اراضی نسبت به سایر اجزا یا کل کربن خاک معرفی می‌شوند (Golchin *et al.*, 1995; Six *et al.*, 2002; Tan *et al.*, 2007).

بر اساس نتایج در هر سه نوع کاربری با کاهش اندازهٔ خاک‌دانه‌های پایدار کربن بخش IA-S+C افزایش می‌یابد (شکل ۳ د). تغییر کاربری جنگل پهن‌برگ سبب افزایش معنادار کربن آلی بخش IA-S+C همهٔ خاک‌دانه‌های جنگل سوزنی‌برگ و بیشتر خاک‌دانه‌های مرتع می‌شود. به‌نظر می‌رسد پایین‌تربودن پایداری خاک‌دانه‌های درشت در دو کاربری جنگل سوزنی‌برگ و مرتع سبب تخریب و تجزیهٔ مواد آلی بخش‌های F-LF و F-POM و IA-POM توسط جامعهٔ زیستی خاک در مقایسه با جنگل پهن‌برگ می‌شود (شکل ۱) (Bronick and Lal, 2005). از این رو می‌توان فرض کرد با تجزیهٔ زیستی مواد آلی بخش‌های F-LF و F-POM و IA-POM کربن آن‌ها با ذرات رس و سیلت کمپلکس و سبب افزایش کربن بخش IA-S+C می‌شود. فعالیت‌های زیستی سبب پایین‌آمدن نسبت C:N و بالارفتن درصد نیتروژن بخش IA-S+C در کاربری جنگل سوزنی‌برگ نسبت به جنگل پهن‌برگ شد (جدول ۲).

با مقایسهٔ درصد کربن بخش IA-POM بین سه کاربری جنگل پهن‌برگ و جنگل سوزنی‌برگ و مرتع، می‌توان نتیجه گرفت که این بخش کربن در جنگل پهن‌برگ بیشتر در خاک‌دانه‌های متوسط و ریز (کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر) ذخیره شده است (Tobiašová, 2011). ولی در جنگل سوزنی‌برگ و مرتع این امر در خاک‌دانه‌های درشت (بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر) اتفاق افتاده است (شکل ۳ ج). به‌رغم فراوانی خاک‌دانه‌های درشت در این سه کاربری (Moghiseh, 2012)، پایداری این خاک‌دانه‌ها در مقایسه با خاک‌دانه‌های ریز و متوسط کمتر است (شکل ۱). در نتیجهٔ این عدم پایداری، خاک‌دانه‌های درشت توانایی حفاظت طولانی‌مدت مواد آلی را ندارند (Baldock and Skjemstad, 2000). از سوی دیگر، خاک‌دانه‌های ریز با پایداری بیشتر نقشی مؤثرتر در حفاظت مواد آلی دارند و ذخیره‌گاه کربن آلی محسوب می‌شوند. بنابراین، بر اساس این تحقیق تغییر کاربری جنگل پهن‌برگ سبب تغییر نوع خاک‌دانه در حفاظت از کربن نیز می‌شود (Liao *et al.*, 2006).

به طور کلی، حداکثر درصد نیتروژن چهار بخش مواد آلی (F-LF، F-POM، IA-POM، IA-S+C) افق A کاربری‌های جنگل پهن‌برگ و جنگل سوزنی‌برگ و مرتع، به استثنای بخش IA-POM کاربری جنگل سوزنی‌برگ، در خاک‌دانه‌های متوسط و ریز است که نشان‌دهندهٔ تجزیهٔ کربن و غنی‌سازی نیتروژن توسط فعالیت‌های میکروبی است (جدول ۲) (Huisz *et al.*, 2009). بالابودن نیتروژن بخش IA-POM کاربری جنگل سوزنی‌برگ در خاک‌دانه‌های درشت ممکن است به دلیل بالابودن مقدار کربن این بخش و حضور متابولیت‌های میکروبی غنی از نیتروژن نسبت به سایر خاک‌دانه‌ها باشد (شکل ۳) (Wagai *et al.*, 2009).

تقریباً در هر کلاس خاک‌دانهٔ جنگل پهن‌برگ و مرتع حداکثر درصد نیتروژن در بخش سبک F-LF و حداقل آن در بخش IA-S+C مشاهده شد. در حالی که در کاربری جنگل سوزنی‌برگ حداکثر درصد نیتروژن در بخش سبک F-LF و حداقل آن در بخش IA-POM اندازه‌گیری شد. کاهش درصد نیتروژن از بخش سبک F-LF، به منزلهٔ ورودی کربن به خاک، تا دیگر اجزا نشان‌دهندهٔ این است که فرآیندهای تجزیهٔ مواد

آلی تأثیری مهم بر مقدار نیتروژن دارد (Poirier *et al*., 2005). مقدار نیتروژن بخش IA-POM تحت تأثیر حفاظت خاک‌دانه‌ای یا مقاومت شیمیایی آن‌ها در ارتباط با مواد معدنی خاک است (Baldock and Skjemstad, 2000). کاهش مقدار نیتروژن در بخش IA-S+C بیانگر مقاوم‌بودن این بخش به تجزیه در مقایسه با سایر اجزاست (جدول ۲) (Poirier *et al*., 2005).

در اجزای F-LF و F-POM و IA-POM کاربری جنگل پهن‌برگ و مرتع بیشترین مقدار نسبت C:N در خاک‌دانه‌های درشت (الیوت، ۱۹۸۶) و کمترین آن در بخش IA-S+C است (جدول ۲). احتمال می‌رود به دلیل حضور بقایای گیاهی جدید و مواد آلی کمتر تجزیه‌یافته در بخش F-LF، F-POM خاک‌دانه‌های درشت در مقایسه با خاک‌دانه‌های ریز و ذرات رس+سیلت به سبب بالابودن نسبت C:N باشد (جدول ۲) (Golchin *et al*., 1995; Six *et al*., 2002; John *et al*., 2005; Tan *et al*., 2007). در این مطالعه، با استفاده از روش‌های مختلف تفکیک مواد آلی، همچون چگالی و اندازه، ترتیب تجزیه‌پذیری اجزای مختلف مواد آلی در سه نوع کاربری مطالعه‌شده مشخص شد؛ طوری که حداکثر نسبت C:N در بخش F-LF در کاربری‌های جنگل و بخش F-POM در کاربری مرتع مشاهده شد. از طرف دیگر، در همهٔ کاربری‌ها حداقل نسبت C:N در بخش IA-S+C کلاس‌های اندازه‌ای خاک‌دانه‌ها برآورد شد (جدول ۲) (Poirier *et al*., 2005). بنابراین کاهش نسبت C:N از توالی F-LF > F-POM > IA-POM > IA-S+C تبعیت کرده که نشان‌دهندهٔ افزایش درجهٔ تجزیه و هوموسی‌شدن کامل مواد آلی است (جدول ۲) (Golchin *et al*., 1995; Poirier *et al*., 2005; John *et al*., 2005; Liao *et al*., 2006; Von Lützow *et al*, 2008).

جدول ۲. نسبت C:N و درصد نیتروژن اجزای مختلف مواد آلی خاک‌دانه‌های افق A سه کاربری جنگل پهن‌برگ (PF)، جنگل سوزنی‌برگ (SF)، و مرتع (R)

کاربری	بخش خاک‌دانه (میلی‌متر)	اجزای مواد آلی خاک							
		F-LF		F-POM		IA-POM		IA-S+C	
		C/N	N%	C/N	N%	C/N	N%	C/N	N%
PF	>۱۶	۳۸٫۹۳	۰٫۹۶	۳۶٫۰۰	۰٫۸۶	۳۷٫۹۷	۰٫۲۳	۱۲٫۲۱	۰٫۲۳
	۹٫۵-۱۶	۳۹٫۱۹	۰٫۹۶	۳۸٫۹۵	۰٫۹۰	۳۷٫۵۷	۰٫۲۲	۱۳٫۴۴	۰٫۲۴
	۴٫۷۵-۹٫۵	۴۰٫۱۳	۰٫۹۷	۳۸٫۴۶	۰٫۹۳	۳۷٫۸۹	۰٫۲۶	۱۲٫۹۸	۰٫۲۵
	۲-۴٫۷۵	۳۸٫۵۰	۰٫۹۹	۳۶٫۵۵	۰٫۹۴	۲۸٫۷۶	۰٫۴۱	۱۳٫۲۰	۰٫۲۹
	۰٫۵-۲	۴۱٫۷۴	۱٫۰۱	۳۸٫۶۲	۰٫۸۸	۳۲٫۷۰	۰٫۴۵	۱۳٫۵۰	۰٫۳۱
	۰٫۲۵۰-۰٫۵	۳۵٫۱۳	۱٫۱۷	۳۴٫۷۲	۰٫۹۴	۳۰٫۰۰	۰٫۷۸	۱۴٫۱۲	۰٫۳۵
	۰٫۰۵۳-۰٫۲۵۰	۳۵٫۶۵	۱٫۱۵	۳۱٫۱۳	۱٫۰۱	۳۲٫۳۸	۰٫۴۹	۱۳٫۴۹	۰٫۳۸
SF	>۱۶	۲۸٫۲۸	۱٫۱۹	۲۶٫۵۰	۱٫۰۳	۲۳٫۸۰	۰٫۴۲	۱۱٫۶۹	۰٫۴۶
	۹٫۵-۱۶	۲۷٫۸۴	۱٫۰۱	۲۵٫۴۹	۱٫۰۷	۱۹٫۸۳	۰٫۴۶	۱۱٫۳۶	۰٫۴۸
	۴٫۷۵-۹٫۵	۳۲٫۴۶	۱٫۰۰	۲۵٫۵۱	۱٫۰۹	۲۰٫۱۳	۰٫۴۵	۱۱٫۵۹	۰٫۴۹
	۲-۴٫۷۵	۳۶٫۶۷	۰٫۹۶	۲۷٫۸۵	۱٫۰۳	۱۷٫۷۸	۰٫۵۲	۱۲٫۱۶	۰٫۴۷
	۰٫۵-۲	۳۸٫۶۰	۰٫۹۶	۲۷٫۶۳	۱٫۰۴	۱۸٫۳۸	۰٫۴۷	۱۲٫۰۷	۰٫۴۷
	۰٫۲۵۰-۰٫۵	۳۰٫۵۸	۱٫۲۷	۲۸٫۳۶	۱٫۱۲	۲۱٫۳۶	۰٫۳۱	۱۲٫۰۵	۰٫۵۱
	۰٫۰۵۳-۰٫۲۵۰	۲۹٫۶۸	۱٫۳۰	۲۶٫۵۹	۱٫۱۸	۲۳٫۷۱	۰٫۲۵	۱۲٫۱۶	۰٫۵۵
R	>۱۶	۱۷٫۶۶	۱٫۵۳	۱۹٫۵۸	۱٫۳۲	۱۵٫۰۹	۰٫۶۶	۹٫۸۳	۰٫۳۰
	۹٫۵-۱۶	۱۷٫۵۷	۱٫۵۶	۱۸٫۷۹	۱٫۴۳	۱۷٫۳۰	۰٫۵۶	۱۱٫۹۶	۰٫۲۸
	۴٫۷۵-۹٫۵	۱۸٫۴۸	۱٫۵۱	۱۹٫۶۹	۱٫۴۰	۱۵٫۷۱	۰٫۵۴	۱۱٫۲۸	۰٫۳۰
	۲-۴٫۷۵	۱۹٫۷۳	۱٫۳۴	۱۹٫۸۳	۱٫۲۸	۱۸٫۵۶	۰٫۵۷	۱۱٫۴۰	۰٫۲۸
	۰٫۵-۲	۲۰٫۵۶	۱٫۵۴	۱۹٫۴۵	۱٫۵۳	۱۱٫۹۴	۰٫۶۳	۱۲٫۱۵	۰٫۲۷
	۰٫۲۵۰-۰٫۵	۱۷٫۴۰	۱٫۴۹	۱۸٫۷۳	۱٫۳۵	۱۶٫۴۴	۰٫۷۵	۱۲٫۰۱	۰٫۳۰
	۰٫۰۵۳-۰٫۲۵۰	۱۶٫۶۶	۱٫۳۳	۱۷٫۱۹	۱٫۲۵	۱۳٫۷۹	۰٫۳۱	۱۱٫۵۸	۰٫۳۷

در برخی خاک‌دانه‌های افق A جنگل پهن‌برگ، با محبوس‌شدن مواد آلی درون خاک‌دانه‌ها (بخش IA-POM)، نسبت C:N افزایش نشان می‌دهد؛ طوری که حداکثر C:N در بخش IA-POM و حداقل آن در بخش IA-S+C است (جدول ۲). به‌نظر می‌رسد بالابودن نسبت C:N در بخش IA-POM معرف حفاظت مواد آلی درون خاک‌دانه در برابر تجزیهٔ میکروبی باشد. از طرف دیگر ممکن است ترکیب شیمیایی متفاوتی در مقایسه با سایر اجزای مواد آلی داشته باشد (Zinn *et al*., 2007). به طور کلی، بر اساس نتایج این تحقیق نسبت C:N بالا و بالابودن درصد نسبی ترکیبات آب‌گریزی (Moghiseh *et al*., 2013) در بخش IA-POM تأثیر مهمی بر پایداری خاک‌دانه‌های جنگل پهن‌برگ دارد (Baldock and Skjemstad, 2000; Wagai *et al*., 2009).

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج بررسی پایداری خاک‌دانه‌ها، عموماً با کاهش اندازهٔ خاک‌دانه‌ها، درصد خاک‌دانه‌های پایدار و مقدار کربن آلی آن‌ها رفتاری مشابه دارند. همچنین مشخص شد خاک‌دانه‌های درشت (بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر) در مقایسه با سایر خاک‌دانه‌ها به تغییر کاربری جنگل پهن‌برگ حساس‌ترند. با وجود زیادبودن مقدار کربن آلی خاک‌دانه‌های درشت در جنگل سوزنی‌برگ نسبت به جنگل پهن‌برگ، پایداری خاک‌دانه‌ها در جنگل سوزنی‌برگ در مقایسه با جنگل پهن‌برگ کمتر بود؛ که به‌نظر می‌رسد این موضوع ناشی از تفاوت نوع و کیفیت مواد آلی در این دو کاربری باشد. مطالعهٔ پویایی کربن آلی در خاک با استفاده از روش‌های مختلف تفکیک مواد آلی بر حسب اندازه و چگالی نشان داد بخش قطعات مواد آلی سبک و بخش مواد آلی درون خاک‌دانه‌ای در مقایسه با سایر بخش‌های مواد آلی و همچنین کربن کل خاک شاخصی مناسب‌تر برای بررسی حساسیت خاک به تغییر کاربری اراضی از جنگل پهن‌برگ به جنگل سوزنی‌برگ یا مرتع است. با استفاده از روش‌های مختلف تفکیک مواد آلی، همانند روش تفکیک مواد آلی بر حسب چگالی آن‌ها یا روش تفکیک بر حسب اندازهٔ ذرات، توالی حساسیت به تخریب بخش‌های مختلف مواد آلی خاک به صورت IA-S+C<IA-POM<F-POM<F-LF مشخص شد. این توالی نشان‌دهندهٔ تجزیه‌پذیری و هوموسی‌شدن کامل مواد آلی از بخش F-LF تا IA-S+C است. نتایج نشان داد با محبوس‌شدن مواد آلی درون خاک‌دانه‌ها بخش IA-POM کاربری جنگل پهن‌برگ نسبت C:N افزایش می‌یابد. نسبت‌های بالای C:N در این بخش IA-POM نشان‌دهندهٔ حفاظت از مواد آلی در داخل خاک‌دانه است. به‌نظر می‌رسد ترکیب شیمیایی مواد آلی در این بخش تا حد زیادی با ترکیب شیمیایی مواد آلی آزاد و سبک (F-LF و F-POM) متفاوت است. بالابودن درصد نسبی مواد آب‌گریز در بخش IA-POM در جنگل پهن‌برگ در مقایسه با سایر کاربری‌ها نقش مهمی در پایداری خاک‌دانه‌ها و توقف کربن[1] در خاک دارد.

REFERENCES

Abid, M. and Lal, R. (2008). Tillage and drainage impact on soil quality, I. Aggregate stability, carbon and nitrogen pools. *Soil Tillage Research*, 100, 89–98.

Avsat, M. (2010). *Effects of land use change on variation of soil organic carbon in Karaj region*. M.Sc. Thesis, University of Tehran. 210 p. (in Farsi).

Baldock, J. A. and Skjemstad, J. O. (2000). Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. *Organic Geochemistry*, 31, 697-710.

Beheshti, A. Raiesi, F., and Golchin, A. (2012). Soil properties, C fractions and their dynamics in land use conversion from native forests to croplands in northern Iran. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 148, 121–133.

Bossuyt, H., Six, J., and Paul, F. (2002). Aggregate-protected carbon in no-tillage and conventional tillage agro ecosystems using carbon-14 labeled plant residue. *Soil Science Society of American Journal*, 66, 1965–1973.

Bronick, C. J. and Lal, R. (2005). Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124, 3 –22.

Connant, R. T., Six, J., and Paustein, K. (2004). Land use effects on soil carbon fractions in the southeastern United States. II. Changes in soil carbon fractions along a forest o pasture chronosequence aggregate structure and carbon storage in Panama: evidence from soil carbon fractionation and stable isotopes. *Biology & Fertility of Soils*, 40, 194-200.

Emadi, M., Baghernejad, M., Fathi, H., and Saffari, M. (2008). Effects of land use change on selected soil physical and chemical properties in North Highlands of Iran. *Journal of Applied Science*, 8(3), 496-502.

Fallahzade, J. and Hajabbasi, M. A. (2011). Soil organic matter status changes with cultivation of overgrazed pasture in semi-dry West Central Iran. *International Journal of Soil Science*, 6(2), 114-123

Golchin, A., Oades, J. M., Skjemstad, J. O., and Clarke, P. (1994). Study of free and occluded

1. Carbon Sequestration

particulate organic matter in soils by solid state ^{13}C P/MAS NMR spectroscopy and scanning electron microscopy. *Australian Journal of Soil Science, 32*, 285–309.

Golchin, A., Oades, J. M., Skjemstad, J. O., and Clarke, P. (1995). Structural and dynamic properties of soil organic matter as reflected 13C natural abundance, pyrolysis mass spectrometry and solid-state ^{13}C NMR spectroscopy in density fractions of an Oxisol under forest and pasture. *Australian Journal of Soil Science*, 33, 59–76.

Gregorich, E. G. and Beare, M. H. (2008). Physically uncomplexed Organic Matter. In: Carter M.R., and Gregorich E.G., (eds). *Soil Sampling and Methods of Analysis*, Canadian Society of Soil Science Second Edition, Taylor & Francis Group, LLC. Chapter 47.

Gregorich, E. G., Beare, M. H., McKim, U. F., and Skjemstad, J. O. (2006). Chemical and biological characteristics of physically uncomplexed organic matter. *Soil Science Society American Journal*, 70, 975–985.

Hajabbasi, M. A., Jalalian, A., and Karimzadeh, H. R. (1997). Deforestation effects on soil physical and chemical properties, Lordegan, Iran. *Plant and Soil*, 190, 301-308.

Holeplass, H., Singh, B. R., and Lal, R. (2004). Carbon sequestration in soil aggregates under different crop rotations and nitrogen fertilization in an Inceptisols in southeastern Norway. *Nutrient Cycle Agro ecosystems, 70*, 167–177.

Huisz, A., Tóth, T., and Németh, T. (2009). Water-stable aggregation in relation to the normalized stability index. *Communication of Soil Science and Plant Analysis*, 40, 800–814.

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

Kemper, W. D. and Rosenau, R. C. (1986). Aggregate stability and size distribution. In: Klute A, editor. *Methods of soil analysis*. Part 1. Physical and mineralogical methods. Madison, WI. 1986: 425-442.

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

Lee, S. B., Lee, C. H., Jung, K. Y., Park, K. D., Lee, D., Carolina, P. K., Lisboa, R., Conant, T., Haddix, M. L., Eduardo, C., Cerri, P., and Cerri, C. C. (2009). Soil carbon turnover measurement by physical fractionation at a forest-to-pasture chronosequence in the Brazilian Amazon. *Ecosystems*, 12, 1212–1221.

Liao, J. D., Boutton, T. W., and Jastrow, J. D. (2006). Storage and dynamics of carbon and nitrogen in soil physical fractions following woody plant invasion of grassland. *Soil Biology and Biochemistry*, 38, 3184–3196.

Marzaioli, F., Lubritto, C., Galdo, I. D., Onofrio, A., Cotrufo, M. F., and Terrasi, F. (2010). Comparison of different soil organic matter fractionation methodologies: Evidences from ultrasensitive ^{14}C measurements. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 268, 1062-1066.

Moghiseh, E. (2012). *Assessing the effects of changes in forest land-use on soil carbon dynamics and isotopic changes (Kelardasht, Mazandaran province)*. Ph.D Thesis, University of Tehran. 283 p. (in Farsi).

Moghiseh, E., Heidari, A., Ghannadi, M., Tofighi, H., Sarmadian. F., Karimian Eghbal, M. (2012). Effects of forestland change on physico-chemical properties, SOC storage and soil respiration in Kelardasht area. *Journal of Iran Research Water and Soil*. 43 (1), 37-46 (in Farsi).

Moghiseh, E., Heidari, A., and Ghannadi, M. (2013). Impacts of land use on variations of soil ^{14}C-age and determination of organic matter quality by FTIR spectrometry. *Journal of Nuclear Science and Technology*. (accepted and in Press).

Nieder, R., and Benbi, D. K. (2008). *Carbon and nitrogen in the terrestrial environment*, Springer Science & Business Media B.V. 434 pp.

Oades, J. M. (1984). Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant Soil.* 76, 319–337.

Olk, D. C. and Gregorich, G. E. (2006). Overview of the symposium proceedings, meaningful pools in determining soil carbon and nitrogen dynamics. *Soil Science Society American Journal*, 70, 967–974.

Poirier, N., Sohi, S. P., Gaunt, J. L., Mahieu, N., Randall, E. W., Powlson, D. S., and Evershed, R. P. (2005). The chemical composition of measurable soil organic matter pools. *Organic Geochemistry*, 36, 1174–1189.

Six, J., Callewaert, P., Lenders, S., De Gryze, S., Morris, S. J., Gregorich, E. G., and Paul, E. A. (2002). Measuring and understanding carbon storage in afforested soils by physical fractionation. *Soil Science Society American Journal, 66*, 1981–1987.

Tan, Z., Lal, R., Owens, L., and Izaurralde, R. C. (2007). Distribution of light and heavy fractions of soil organic carbon as related to land use and tillage practice. *Soil & Tillage Research*, 92, 53–59.

Tisdall, J. M. and Oades, J. M. (1982). Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science.* 33, 141–163.

Tobiašová, E. (2011). The effect of organic matter on the structure of soils of different land uses *Soil & Tillage Research*, 89, 45–56.

Torn, M. S., Swanston, C. W., Castanha, C., and Trumbore, S. E. (2009). Storage and turnover of

organic matter in soil in soil. In: N., Sensei, B., Xing, P.M., Huang. *Biophysico-chemical processes involving natural nonliving organic matter in environmental systems.* John Wiley & Sons Inc. Chapter 6.

Ussiri, D., Lal, R., and Jacinthe, P. A. (2006). Soil properties and carbon sequestration of afforested pastures in reclaimed, mine-soils of Ohio. *Soil Science Society of American Journal*, 70, 1797–1806.

Von Lützow, M., Kögel-Knabner, I., Ludwig, B., Matzner, E., Flessa, H., Ekschmitt, K., Guggenberger, G., Marschner, B., and Kalbitz, K. (2008). Stabilization mechanisms of organic matter in four temperate soils: development and application of a conceptual model. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 171, 111-124.

Wagai, R., Mayer, L. M., and Kitatama, K. (2009). Nature of the "occluded" low-density fraction in soil organic matter studies: A critical review. *Soil Science and Plant Nutrition*, 55, 13–25

Zinn, Y. L., Lal, R., Bigham, J. M., and Resck, D. V. S. (2007). Edaphic controls on soil organic carbon retention in the Brazilian Cerrado: soil structure, *Soil Science Society of American Journal*, 71, 1215-1224.