

## تغییرات کربن، نیتروژن خاک و پایداری خاکدانه تحت تأثیر کاربری‌های مختلف زمین

مریم اسدیان<sup>۱</sup>، سید محمد حجتی<sup>۲\*</sup>، محسن محمدزاده<sup>۳</sup> و مهدی نادی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. (maryam.asadiyan23@gmail.com)

۲- استاد، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، تهران، ایران. (s\_m\_hodjati@yahoo.com)

۳- استاد، گروه آمار، دانشگاه تربیت مدرس تهران، تهران، ایران. (mohsen\_m@modares.ac.ir)

۴- استادیار، گروه هواشناسی کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. (mehdi.nadi@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۰۴

### چکیده

این پژوهش با هدف بررسی تغییرات محتوی کربن آلی، نیتروژن کل خاک و شاخص پایداری خاکدانه با افزایش عمق در کاربری‌های مختلف اراضی در منطقه الندان ساری انجام شد. به‌همین منظور نمونه‌های خاک به‌صورت منظم تصادفی (تعداد شش نقطه در هر کاربری) و از اعماق صفر تا ۱۰، ۲۰-۱۰، ۳۰-۲۰، ۴۰-۳۰ و ۵۰-۴۰ سانتی‌متری با استفاده از استوانه فلزی و مته خاک‌شناسی برداشت شد. بافت، واکنش خاک، درصد آهک، کربن آلی، نیتروژن کل و میانگین هندسی قطر خاکدانه (به‌عنوان شاخص پایداری خاکدانه) در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که مشخصه‌های کربن و نیتروژن خاک به‌طور معنی‌داری ( $p < 0/05$ ) تحت تأثیر عامل‌های عمق خاک و کاربری اراضی قرار گرفته‌اند. این درحالی‌ست که مشخصه میانگین هندسی قطر خاکدانه تنها تحت تأثیر عمق خاک بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش عمق خاک، مقدار کربن، نیتروژن و شاخص پایداری خاکدانه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. در لایه‌های سطحی خاک، بیشترین مقدار کربن (۴/۶ درصد) و ازت (۰/۳۱ درصد) در توده دست‌کاشت ون و کمترین مقدار این مشخصه‌ها (۲/۵ درصد برای کربن و ۰/۱۵ درصد برای نیتروژن) در توده کاج سیاه مشاهده شد. همچنین با افزایش میانگین هندسی قطر خاکدانه، کربن آلی ( $p < 0/05$ ) افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: الندان، پایداری خاکدانه، توده دست‌کاشت، عمق خاک، ماده آلی.

## مقدمه

طی نیم قرن گذشته، تغییر کاربری اراضی و فعالیت‌های وابسته به آن سبب تخریب مساحت قابل توجهی از اراضی، کاهش توان تولیدی و ظرفیت پایین در ایجاد منافع برای جوامع بشری شده است. امروزه تخریب خاک به واسطه کاهش سطح جنگل‌ها، عملیات نامناسب کشاورزی، برداشت بیش از حد هیزم برای سوخت و دیگر فعالیت‌های انسانی به‌عنوان بخشی از تخریب اراضی در مقیاس جهانی مطرح است. کیفیت و کمیت مواد آلی خاک و به‌دنبال آن مقدار ذخیره-سازی یا هدر رفت کربن و نیتروژن خاک از مشخصه-هایی است که به شدت تحت تأثیر چنین تغییراتی قرار می‌گیرند. در پژوهشی که توسط (Bruun et al., 2015) انجام شد، نتایج حاکی از آن بود که تغییر کاربری اراضی از بوم سازگان طبیعی مانند جنگل‌ها به زراعت منجر به کاهش بیش از ۵۰ درصد از محتوای کربن آلی خاک شد. در کشور ما نیز تغییر در کاربری اراضی، به‌ویژه در طول قرن گذشته، کیفیت خاک، تولید محصول و پایداری محیط زیست را تحت تأثیر قرار داده است. به‌طوری که پژوهش‌ها حکایت از کاهش ۳۰ تا ۷۰ درصدی محتوای کربن و به‌ویژه نیتروژن آلی در کاهش شدید تولید محصول در سال-های اول پس از تغییر کاربری اراضی از جنگل به کشاورزی در خاک‌های نواحی شمالی کشور دارد. مواد آلی نقش به‌سزایی در بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک دارند. از این‌رو، کاهش مقدار مواد آلی خاک می‌تواند حاصلخیزی، پایداری ساختمان و قابلیت تولید خاک و همچنین خاکدانه‌سازی را تحت تأثیر قرار دهد (Soleimany et al., 2021). خاکدانه‌ها ذرات ثانویه‌ای هستند که در اثر هم‌آوری ذرات اولیه رس، سیلت و شن به‌همراه مواد آلی سیمانی و اتصال دهنده تشکیل می‌شوند. اندازه

خاکدانه‌ها و پایداری آن‌ها بر ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند نفوذپذیری (ویژگی‌های هیدرولیک)، تهویه، مقاومت خاک، فرسایش و توانایی خاک برای انتقال مایعات، املاح، گازها و گرما اثر قابل توجهی دارد. پایداری خاکدانه‌ها متأثر از ویژگی‌هایی مانند مقدار رس، اکسیدهای آهن، کربنات کلسیم و مواد آلی است. ساز و کار اثر مواد آلی بر پایداری خاکدانه‌ها نه تنها به مقدار و نوع مواد آلی، بلکه بیش از آن به آرایش و نحوه پیوندهای آن با اجزای معدنی خاک وابسته است (Guo et al., 2020). اندازه و پایداری خاکدانه‌ها می‌تواند به‌عنوان شاخصی از تغییرات کیفیت خاک ناشی از مدیریت‌های متفاوت در شرایط مشخص محسوب شود. در همین راستا یافته‌های (Heshmati et al., 2014) نشان داد که عملیات مدیریتی نادرست در دراز مدت سبب کاهش مواد آلی و در آخر منجر به کاهش پایداری خاکدانه‌ها شده و حساسیت ساختمان خاک‌ها به خاک‌ورزی را نیز افزایش می‌دهد. بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر ویژگی‌های مختلف خاک، امکان شناسایی شیوه‌های بهینه مدیریت پایدار و به‌دنبال آن پیشگیری از تخریب فزاینده خاک را فراهم می‌آورد. به‌همین سبب در پژوهش حاضر ارزیابی تغییرات محتوای کربن، نیتروژن و پایداری خاکدانه‌ها با افزایش عمق خاک در کاربری‌های مختلف اراضی در منطقه الندان ساری مورد بررسی و تحقیق قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش واقع در سری ۶، بخش ۱ حوزه ۲ آبخیز رود تجن، تحت مدیریت شرکت چوب و کاغذ مازندران است، که بین ۲۴' ۳۵° تا ۲۷' ۵۳° طول شرقی و ۱۰' ۳۶° تا ۱۳' ۳۶° عرض شمالی قرار گرفته است، که سطحی بالغ بر ۲۰۵۱ هکتار را در محدوده

ارتفاعی ۱۷۸۳-۱۰۰۰ متر از سطح دریا را به خود اختصاص داده است. متوسط باران سالانه حدود ۸۵۸ میلی‌متر، خاک منطقه عمیق در حدود ۱۲۰ سانتی‌متر، نوع خاک قهوه‌ای جنگلی و بافت خاک متوسط تا کمی سنگین است (Anonymus, 2004).

در این پژوهش پنج نوع کاربری متداول توده طبیعی مدیریت‌شده خالص راش شرقی (*Fagus orientalis* Lipsky)، توده مخروطه با گونه‌های ممرز و انجیلی (*Parrotia*، *Carpinus betulus* L.)، توده دست‌کاشت ون (*Fraxinus persica*)، توده دست‌کاشت کاج سیاه (*Pinus excelsior* L.) و زمین کشاورزی (تحت کشت دیم گندم و جو) در منطقه مورد نظر شناسایی شدند. لازم به ذکر است که سن توده‌های دست‌کاشت مشابه و در حدود ۳۰ سال است (این زمان نزدیک به تعداد سال‌هایی است که از مدیریت جنگل طبیعی، شروع عملیات کشاورزی و رهاسازی بخشی از توده جنگلی و به دنبال آن تبدیل به عرصه مخروطه گذشته است). در این پژوهش بخش‌هایی از این کاربری‌ها که به صورت پیوسته با هم بوده و کمینه اختلاف ارتفاع از سطح دریا، کمینه تغییر درصد و جهت شیب در آن‌ها وجود داشت، انتخاب شد.

#### روش جمع آوری اطلاعات

پس از بازدید و شناسایی دقیق منطقه در فصل تابستان و در مرداد ماه، با استفاده از روش منظم تصادفی و شبکه آماربرداری به ابعاد ۵۰×۱۰۰ متر، تعداد شش نقطه در هر یک از کاربری‌های مورد بررسی انتخاب و به نمونه‌برداری خاک از عمق صفر تا ۱۰، ۲۰-۱۰، ۳۰-۲۰، ۴۰-۳۰ و ۴۰-۵۰ سانتی‌متری به وسیله استوانه فلزی (قطر هشت سانتی‌متر) و اگر (مته خاک‌شناسی) اقدام شد. برای کاهش اثرهای مرزی، حاشیه کاربری‌ها برای نمونه‌برداری در نظر گرفته نشد و برداشت نمونه-

ها متمایل به بخش مرکزی هر کاربری شد. پس از نمونه‌برداری در مجموع تعداد ۳۰ نمونه خاک از هر کاربری (شش تکرار از پنج عمق) از عرصه برداشت و بعد از انتقال به آزمایشگاه، بافت خاک به روش هیدرومتری، واکنش خاک (اسیدیته) به روش پتانسیومتری با استفاده از دستگاه pH متر، آهک به روش تیتراسیون، کربن آلی به روش والکی بلاک، نیتروژن کل به روش کج‌دال مورد اندازه‌گیری قرار گرفت (Jafari haghghi, 2003). برای ارزیابی شاخص پایداری خاکدانه از سری الک‌ها و دستگاه الک چرخان (روش الک خشک) استفاده شد. بدین صورت که در ابتدا نمونه خاک، هوا خشک و پس از جداسازی سنگ و ریشه مقدار ۱۰۰ گرم از آن روی سری الک (به ترتیب از بالا به پایین ۵، ۲، ۱، ۰/۵ و ۰/۲۵ میلی‌متر) ریخته شده و به مدت دو دقیقه با سرعت ۲۷۰ دور در دقیقه در شرایط خشک غربال و در پایان این مدت مقدار خاک باقی‌مانده روی هر الک توزین و در آخر میانگین هندسی قطر خاکدانه (Geometric Mean Diameter) به عنوان یکی از شاخص‌های پایداری خاکدانه از رابطه زیر محاسبه شد (Kalhor et al., 2017):

$$GMD: \exp \left( \frac{\sum_{i=1}^n w_i \log \bar{x}_i}{\sum w_i} \right) \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه،  $\bar{x}_i$  میانگین قطر خاکدانه‌های باقی‌مانده روی هر الک،  $i$  میانگین قطر منافذ الک بالایی و پایینی،  $n$  تعداد الک‌ها و  $w_i$  نسبت وزن خاکدانه‌های روی هر الک به وزن کل خاک به کار برده شده در ابتدای آزمایش است.

#### تحلیل آماری

تحلیل آماری مشخصه‌های مورد نظر در کاربری‌های مورد بررسی و اعماق مختلف خاک پس از حصول اطمینان از نرمال بودن پراکنش داده‌ها (آزمون کولوموگروف-اسمیرنوف) و همگنی واریانس

دارای تفاوت معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) بود، به طوری که بیشترین مقدار این مشخصه در لایه سطحی و کمترین مقدار آن در لایه‌های پایینی خاک اندازه‌گیری شد. مقایسه میانگین درصد شن خاک در بین اعماق مختلف در بیشتر کاربری‌ها حاکی از آن بود که بیشترین مقدار این مشخصه به‌طور معنی‌داری در لایه‌های پایینی خاک و کمترین مقدار آن در لایه سطحی خاک بود. همچنین واکنش خاک و درصد آهک نیز در کاربری‌های مورد بررسی در بین اعماق مختلف تفاوت معنی‌داری را نشان داد. به گونه‌ای که شاهد روند افزایشی این مشخصه‌ها با افزایش عمق خاک در کاربری‌های مختلف بوده‌ایم (جدول ۱).

(آزمون لون)، از طریق تحلیل واریانس یک‌طرفه (ANOVA) و آزمون SNK (برای مقایسه میانگین‌ها) انجام شد. همچنین برای بررسی اثر هم‌زمان عمق و کاربری بر مشخصات خاک از آنالیز واریانس دوطرفه، تعیین ارتباط بین متغیرها از همبستگی پیرسون استفاده شد. لازم به ذکر است که کلیه آزمون‌های آماری در محیط نرم‌افزار SPSS 20 انجام شد. همچنین کشیدن نمودارها در محیط نرم‌افزار Excel انجام شد.

## نتایج

نتایج تحلیل واریانس نشان داد که مشخصه درصد رس خاک در اغلب کاربری‌ها بین اعماق مختلف

جدول ۱- مقایسه میانگین  $\pm$  اشتباه معیار توزیع ذرات، واکنش خاک و آهک در کاربری‌های اراضی و اعماق مختلف خاک

Table 1. Means  $\pm$  Standard error of the soil particle distribution, pH and CaCO<sub>3</sub> in different land uses and depths

عمق Depth	کاربری اراضی Land use	رس (درصد) Clay (%)	شن (درصد) Sand (%)	سیلت (درصد) Silt (%)	واکنش خاک pH	آهک (درصد) CaCO <sub>3</sub> (%)
0-10	راش <i>Fagus orientalis</i> Lipsky	2.83a $\pm$ 48.43	1.49e $\pm$ 12.82	38.74 $\pm$ 2.38a	6.23 $\pm$ 0.12a	1.5 $\pm$ 0.34a
10-20		2.24b $\pm$ 32.73	2.15d $\pm$ 25.79	41.47 $\pm$ 1.99a	6.54 $\pm$ 0.15b	1.6 $\pm$ 0.32a
20-30		0.85bc $\pm$ 28.27	2.09c $\pm$ 31.36	40.36 $\pm$ 1.82a	7.01 $\pm$ 0.15bc	1.7 $\pm$ 0.45a
30-40		1.37c $\pm$ 24.82	1.76b $\pm$ 37.54	37.63 $\pm$ 1.04a	7.04 $\pm$ 0.15cd	1.5 $\pm$ 0.46a
40-50		0.61c $\pm$ 21.99	1.26a $\pm$ 47.57	30.43 $\pm$ 1.35b	6.78 $\pm$ 0.14d	1.67 $\pm$ 0.23a
0-10	ون <i>Fraxinus excelsior</i> L.	3.14a $\pm$ 48.82	1.22c $\pm$ 12.06	39.12 $\pm$ 2.91a	6.45 $\pm$ 0.07a	2.67 $\pm$ 0.37a
10-20		2.55b $\pm$ 35.54	1.58b $\pm$ 21.70	42.75 $\pm$ 2.53a	6.53 $\pm$ 0.14a	1.8 $\pm$ 0.53a
20-30		1.08c $\pm$ 22.82	3.63a $\pm$ 34.25	42.92 $\pm$ 2.79a	6.68 $\pm$ 0.15a	2.16 $\pm$ 0.62a
30-40		0.9c $\pm$ 23.17	3.58a $\pm$ 37.74	39.08 $\pm$ 3.07a	6.67 $\pm$ 0.14a	1.45 $\pm$ 0.34a
40-50		0.89c $\pm$ 21.80	2.60a $\pm$ 41.13	37.06 $\pm$ 2.32a	6.71 $\pm$ 0.06a	1.25 $\pm$ 0.3a
0-10	کاج سیاه <i>Pinus nigra</i> Arnold	1.03a $\pm$ 32.73	2.67c $\pm$ 21.76	45.50 $\pm$ 1.71a	6.38 $\pm$ 0.11b	1.8 $\pm$ 0.57a
10-20		1.45b $\pm$ 27.75	3.18bc $\pm$ 28.81	43.42 $\pm$ 2.03a	6.62 $\pm$ 0.18ab	0.85 $\pm$ 0.3a
20-30		0.77bc $\pm$ 25.19	3.62ab $\pm$ 37.14	37.66 $\pm$ 2.94ab	6.63 $\pm$ 0.14ab	1.75 $\pm$ 0.38a
30-40		1.08cd $\pm$ 22.32	3.10a $\pm$ 42.39	33.70 $\pm$ 2.97b	7 $\pm$ 0.02a	0.85 $\pm$ 0.52a
40-50		20.89 $\pm$ 0.83d	3.19a $\pm$ 47.60	31.50 $\pm$ 2.50b	6.94 $\pm$ 0.1a	1.75 $\pm$ 0.37a
0-10	مخروبه Destructed forest	3.85a $\pm$ 39.54	2.23b $\pm$ 25.89	34.55 $\pm$ 3.06a	6.05 $\pm$ 0.2a	1.9 $\pm$ 0.48c
10-20		3.45a $\pm$ 27.96	3.38a $\pm$ 39.54	32.49 $\pm$ 2.07a	6.56 $\pm$ 0.01a	3.65 $\pm$ 1.13c
20-30		2.50a $\pm$ 26.62	1.66a $\pm$ 40.01	33.35 $\pm$ 3.03a	6.38 $\pm$ 0.08a	8.5 $\pm$ 4.93c
30-40		4.67a $\pm$ 37.14	1.07a $\pm$ 33.44	29.4 $\pm$ 3.90a	6.43 $\pm$ 0.19a	22.6 $\pm$ 5.98b
40-50		4.68a $\pm$ 39.14	1.25ab $\pm$ 31.93	28.92 $\pm$ 4.65a	6.59 $\pm$ 0.15a	43.65 $\pm$ 6.22a

ادامه جدول ۱.

Continued table 1.

عمق	کاربری اراضی	رس (درصد)	شن (درصد)	سیلت (درصد)	واکنش خاک	آهک (درصد)
Depth	Land use	Clay (%)	Sand (%)	Silt (%)	pH	CaCO <sub>3</sub> (%)
0-10	کشاورزی Arable land	1.65a ±26.54	1.93a±32.92	40.53±1.22a	6.04±0.09b	2.65±0.3b
10-20		0.94a ±22.36	1.74a±34.74	42.89±1.58a	6.53±0.09a	2.5±0.81b
20-30		1.03a±22.10	2.17a±41.08	36.81±2.87a	6.48±0.18a	2.35±0.47b
30-40		1.5a ±22.90	2.38a±38.14	38.95±1.21a	6.47±0.09a	3.65±0.9b
40-50		2.57a ±26.58	3.98a±32.84	40.56±1.71a	6.58±0.08a	8.15±1.47a

حروف متفاوت لاتین نشان دهنده اختلاف معنی داری و حروف مشابه نشان دهنده عدم اختلاف معنی داری است.

The different letters indicate significant difference and the same letters indicate non-significant difference

جدول ۲- اثر عمق خاک، کاربری اراضی و اثر متقابل آن‌ها بر کربن آلی خاک، نیتروژن کل و میانگین هندسی قطر خاکدانه

Table 2. The effect of soil depth, land use and their interaction on soil organic carbon, total nitrogen and geometric mean diameter

عامل	متغیر	df	F	Sig.
Factor	Characteristic			
عمق خاک Soil depth	کربن آلی Organic carbon	4	115.369	p<0.01
	نیتروژن کل Total nitrogen	4	132.232	p<0.01
	میانگین هندسی قطر خاکدانه Geometric mean diameter	4	6.423	p<0.01
کاربری اراضی Land use	کربن آلی Organic carbon	4	6.128	p<0.01
	نیتروژن کل Total nitrogen	4	11.176	p<0.01
	میانگین هندسی قطر خاکدانه Geometric mean diameter	4	0.226	0.923 ns
عمق خاک × کاربری اراضی Soil depth × Land use	کربن آلی Organic carbon	16	2.443	p<0.01
	نیتروژن کل Total nitrogen	16	6.636	p<0.01
	میانگین هندسی قطر خاکدانه Geometric mean diameter	16	1.771	p<0.05

ns: عدم اختلاف معنی داری

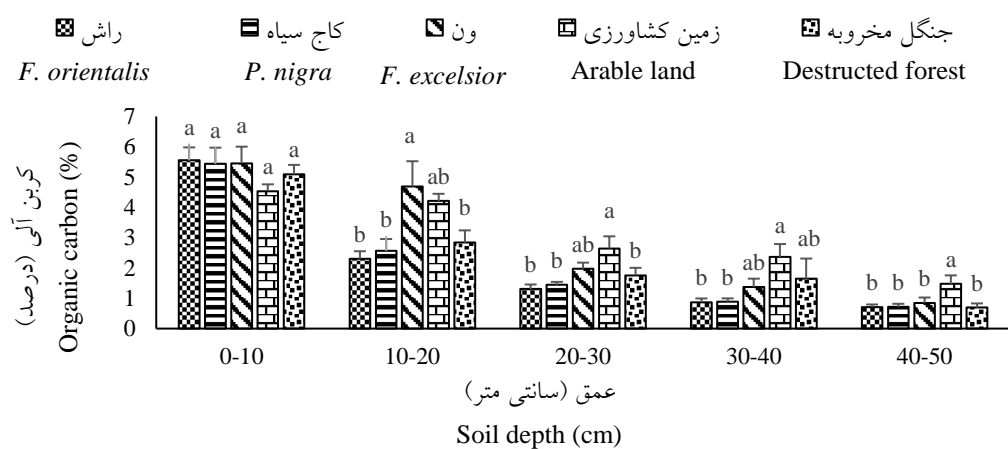
ns: non-significant difference

گیری شده) علاوه بر توده ون، کاربری زمین کشاورزی نیز بیشترین مقدار کربن آلی خاک را به خود اختصاص داده است. همچنین کمترین مقدار این ویژگی از خاک در تمامی اعماق در کاربری‌های جنگلکاری کاج سیاه و توده خالص راش اندازه‌گیری شد (شکل ۱). نتایج تحلیل اثر کاربری اراضی بر

مقایسه میانگین مشخصه‌ی کربن آلی خاک در بین کاربری‌های مختلف حاکی از آن بوده است که بیشترین مقدار این مشخصه به‌طور معنی‌داری در لایه سطحی خاک (۲۰-۱۰ سانتی‌متری) در کاربری جنگلکاری ون مشاهده شد. درحالی که در اعماق پایین‌تر خاک (از عمق شخم تا آخرین عمق اندازه-

کمترین مقدار آن‌ها در لایه پایینی خاک (۶۰-۴۰ سانتی‌متری) اندازه‌گیری شد (شکل ۳). پراکنش عمودی مشخصه‌های کربن و نیتروژن خاک در کاربری‌های مختلف الگوهای متفاوتی را نشان داد. به طوری که مقدار این مشخصه‌ها در توده دست‌کاشت ون در اعماق سطحی خاک (۲۰-۰ سانتی‌متری) متفاوت از دیگر اعماق بود. این درحالی است که این تفاوت‌ها در توده‌های راش و مخروطه تنها در عمق اول (۱۰-۰ سانتی‌متری) قابل مشاهده بوده و در دیگر اعماق روند تغییرات تقریباً یکسان است. همچنین در کاربری کشاورزی از عمق دوم (۲۰-۱۰ سانتی‌متری) به بعد، کربن آلی خاک از نظر مقدار عددی کاملاً متمایز از دیگر کاربری‌ها بود (شکل ۳).

نیتروژن کل خاک نشان می‌دهد که بیشترین مقدار این مشخصه در لایه‌های سطحی ۲۰-۰ سانتی‌متری مربوط به توده ون و کمترین مقدار آن مربوط به توده کاج است. این درحالی است که در لایه‌های پایین‌تر تا عمق ۶۰ سانتی‌متری کاربری کشاورزی نیز بیشترین مقدار این مشخصه را (به همراه توده ون) به خود اختصاص داد. لازم به ذکر است که در این لایه‌ها کمترین مقدار این مشخصه نیز در توده خالص راش و کاج سیاه مشاهده شد (شکل ۲). نتایج تحلیل واریانس مشخصه‌های کربن آلی، نیتروژن کل خاک در هر یک از کاربری‌های مورد بررسی نشان داد که مقدار این مشخصه‌ها با افزایش عمق خاک روند کاهشی دارد. به گونه‌ای که بیشترین مقدار این مشخصه‌ها به طور معنی‌داری در لایه سطحی خاک (۱۰-۰ سانتی‌متری) و



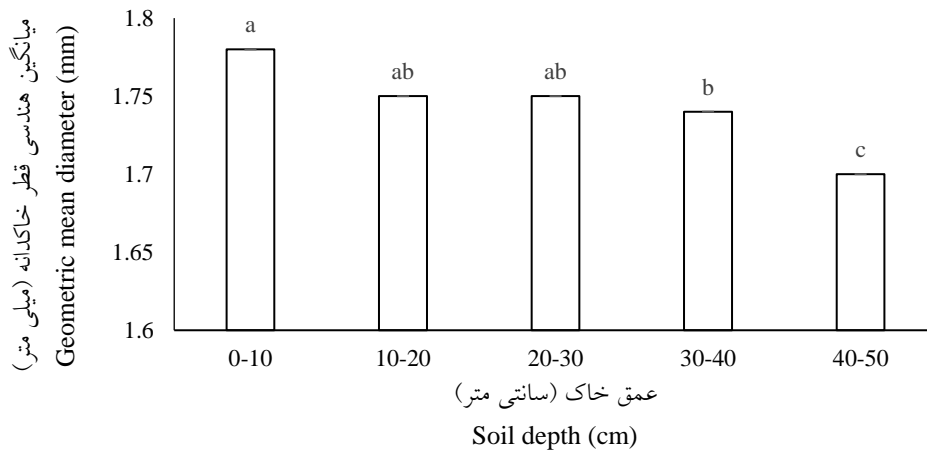
شکل ۱- مقایسه میانگین کربن آلی در اعماق مختلف خاک بین کاربری‌های اراضی مورد بررسی

Figure 1. Mean comparison of organic carbon in different depths of soil at the studied land uses

بسیاری از کاربری‌ها بود (شکل ۴). همچنین مقایسه میانگین شاخص پایداری خاکدانه بین اعماق مختلف نشان داد که بیشترین مقدار این شاخص در لایه‌های سطحی خاک و کمترین مقدار آن در لایه‌های پایینی خاک اندازه‌گیری شد (شکل ۵).

مقایسه میانگین اثر متقابل عمق و کاربری بر میانگین هندسی قطر خاکدانه نشان داد که مقدار این شاخص در کاربری‌هایی چون توده ون، راش و زمین کشاورزی در عمق ۵۰-۴۰ سانتی‌متری به طور معنی‌داری کمتر از مقدار آن در لایه‌های سطحی خاک





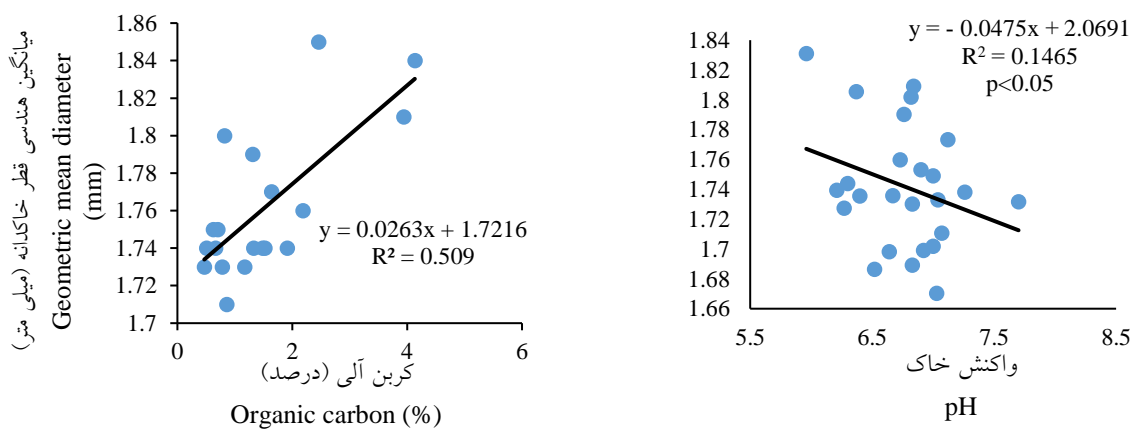
شکل ۵- مقایسه میانگین شاخص پایداری خاکدانه در بین اعماق مختلف خاک

Figure 5. Mean comparison of geometric mean diameter at different soil depths

دارای رابطه منفی معنی دار (در سطح احتمال ۰/۰۱) هستند (جدول ۳).

معادلات رگرسیونی به دست آمده از روابط بین شاخص پایداری خاکدانه با دیگر مشخصات خاک حاکی از آن بود که رابطه میان میانگین هندسی قطر خاکدانه با مشخصه کربن آلی خاک به طور معنی داری ( $p < 0/05$ ) از یک روند صعودی پیروی کرد. این در حالی است که ارتباط میان شاخص پایداری خاکدانه با درصد شن و واکنش خاک به طور معنی داری حاکی از یک روند کاهشی بود (شکل ۶).

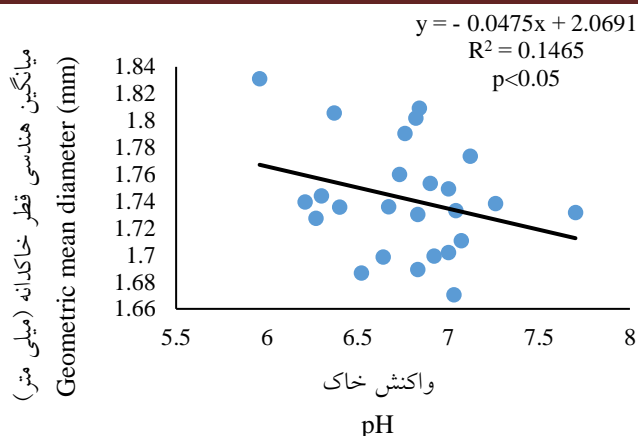
در این پژوهش همبستگی متقابل متغیرهای مختلف نشانگر آن است که تغییرات شاخص پایداری خاکدانه به طور عمده متأثر از مقدار مواد آلی، درصد شن و واکنش خاک (در سطح احتمال ۰/۰۵) است. به طوری که این مشخصه با کربن آلی خاک همبستگی مثبت معنی دار و با مشخصه هایی چون درصد شن و واکنش خاک همبستگی منفی معنی داری داشت. همچنین نتایج این آنالیز حاکی از آن بوده است که مشخصه های کربن آلی و نیتروژن کل با درصد رس خاک دارای رابطه مثبت معنی دار (در سطح احتمال ۰/۰۱) و درصد رس و سیلت با مقدار شن خاک



شکل ۶- رابطه خطی بین شاخص پایداری خاکدانه با کربن آلی، درصد شن و واکنش خاک

Figure 6. The linear relationship between aggregate stability index and organic carbon, sand percent and soil reaction (pH)





ادامه شکل ۶.

Continued figure 6.

جدول ۳- مقادیر ضریب همبستگی خصوصیات خاک در کاربری‌های اراضی مورد بررسی

Table 3. Pearson correlation coefficients (*r*) of soil properties in the studied land uses

میانگین هندسی قطر خاکدانه (میلی متر) Geometric mean diameter (mm)	آهک (درصد) CaCO <sub>3</sub> (%)	واکنش خاک Soil reaction (pH)	نیتروژن کل (درصد) Total nitrogen (%)	کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	سیلت (درصد) Silt (%)	شن (درصد) Sand (%)	رس (درصد) Clay (%)
1	0.179	-0.383*	0.133	0.378*	0.320	-0.432*	0.249
	1	-0.429*	-0.061	0.028	-0.615**	-0.373	0.897**
		1	-0.365	-0.401**	0.228	0.079	-0.279
			1	0.718**	0.203*	-0.688**	0.634**
				1	0.353**	-0.666**	0.498**
					1	-0.853**	-0.162
						1	-0.377*
							1

(p<0.01):\*\*  
(p<0.05):\*

## بحث

بیشترین مقدار این مشخصه‌ها را به خود اختصاص داد. بالابودن مقدار کربن و نیتروژن کل خاک در توده ون در ارتباط با مقدار مواد آلی غنی از نیتروژن است که به واسطه لاشه‌ریزی به خاک این توده اضافه می‌شود. مواد آلی که منجر به افزایش محتوای مواد مغذی خاک شده‌اند از جمعیت میکروارگانیسم‌های غنی‌کننده ازت خاک حمایت می‌کنند و در نتیجه سبب افزایش مقدار این مشخصه (به واسطه افزایش مقدار و سرعت تجزیه مواد آلی) در خاک این عرصه می‌شوند (Houben et al., 2018). همچنین کم بودن مقدار این ویژگی‌ها در کاربری‌های جنگلکاری کاج و توده خالص راش را می‌توان به کند بود سرعت تجزیه لاشبرگ و اسیدی بودن خاک در این توده‌ها نسبت داد. در رابطه با بیشتر بودن مقدار این مشخصه‌ها در لایه‌های زیرین خاک در کاربری کشاورزی در مقایسه با دیگر کاربری‌ها باید به این نکته اشاره کرد که، اعمال عملیات خاک‌ورزی (شخم) در اراضی زراعی به به هم خوردگی ساختمان خاک (شکسته شدن و خرد شدن خاکدانه‌ها) منجر شده و در نتیجه سبب جابجایی مواد آلی از لایه سطحی به لایه‌های زیرین خاک می‌شود (Yousefifard et al., 2007). در این پژوهش مشخصه‌هایی چون کربن آلی و نیتروژن کل در بیشتر کاربری‌های مورد بررسی با افزایش عمق یک روند نزولی را از خود نشان داده‌اند. به طوری که بیشترین مقدار این مشخصه‌ها در لایه سطحی و کمترین مقدار آن‌ها در لایه زیرین خاک اندازه‌گیری شد. بالا بودن مقدار کربن و مواد آلی در لایه‌های سطحی نسبت به لایه‌های پایینی خاک را می‌توان به مقدار بقایای آلی که به خاک وارد می‌شود، نسبت داد. بدین ترتیب که با افزایش عمق از مقدار بیوماس گیاهی (هوموس) کاسته شده و متعاقب آن به واسطه کم شدن جمعیت و مقدار فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک، مقدار تجزیه و مقدار

در این پژوهش در هر یک از کاربری‌های مورد بررسی شاهد روند کاهشی در مقدار رس و در نقطه مقابل روند افزایشی در مقدار شن با افزایش عمق بوده‌ایم. بالابودن مقدار رس در لایه‌های سطحی خاک به مقدار بالای مواد آلی در این لایه‌ها مربوط می‌شود. زیرا حضور مواد آلی منجر به چسبندگی ذرات خاک به یکدیگر و کمک به تشکیل ساختار خاکدانه می‌شود (Kurz et al., 2006). در رابطه با بیشتر بودن درصد شن در لایه‌های زیرین خاک، سرشت خاک منطقه مورد بررسی از دلایلی است که می‌توان به آن اشاره کرد. به طوری که طبق اطلاعات موجود در کتابچه طرح جنگلداری منطقه، لایه‌بندی خاک به گونه‌ای بوده است که در ابتدا ذرات درشت‌تر شن در لایه‌های پایینی ته‌نشین شده و سپس ذرات رس در لایه‌های بالایی خاک رسوب کرده است (Anonymus, 2004). واکنش خاک و درصد آهک نیز از مشخصاتی بودند که با افزایش عمق مقدار آن‌ها افزایش یافته است. کم بودن مقدار این مشخصه‌ها در لایه‌های سطحی خاک و بیشتر بودن مقدار آن‌ها در لایه‌های پایینی خاک را می‌توان به از دست رفتن کربنات‌ها (مانند کربنات کلسیم) از لایه‌های سطحی و تجمع این عناصر در لایه‌های پایینی خاک در نتیجه آب‌شویی نسبت داد (Liu et al., 2019). همچنین نوع سنگ مادری (مارنی) در منطقه مورد بررسی نیز می‌تواند دلیلی دیگر بر بالا بودن مقدار این مشخصه در اعماق پایینی خاک باشد. مقایسه میانگین کربن آلی و نیتروژن کل خاک در لایه‌های سطحی در بین کاربری‌های مختلف حاکی از آن بود که بیشترین مقدار این مشخصه‌ها در توده جنگلکاری ون و کمترین مقدار آن‌ها در جنگلکاری کاج سیاه مشاهده شد. این در حالی است که در لایه‌های زیرین خاک، کاربری زمین کشاورزی

تمایز بودن الگوی پراکنش کربن کاربری کشاورزی (از نظر مقدار عددی) از دیگر کاربری‌ها را می‌توان به انجام عملیات خاک‌ورزی و به‌دنبال آن تجمع ترکیبات آلی در لایه‌های زیرین خاک این نوع کاربری نسبت داد. نتایج تحلیل همبستگی و ویژگی‌های مختلف خاک با مشخصه میانگین هندسی قطر خاکدانه حاکی از آن است که این مشخصه به‌طور معنی‌داری متأثر از مقدار کربن آلی خاک بود. کربن آلی موجود در خاک به‌دلیل سطح ویژه بالا سبب اتصال ذرات خاک به یکدیگر شده و منجر به افزایش تشکیل خاکدانه‌های پایدار می‌شود (Mousavi et al., 2012). در این پژوهش وجود رابطه منفی بین مشخصه درصد شن خاک با شاخص پایداری خاکدانه را می‌توان به تأثیر مقدار رس خاک نسبت داد. بدین صورت که در این پژوهش به‌دنبال افزایش عمق خاک، مقدار شن افزایش و مقدار رس کاهش یافت. (Canasveras et al., 2010) در مطالعه خود بیان کرده‌اند که افزایش مقدار رس همراه با افزایش ذخیره مواد آلی خاک سبب مقاومت بیشتر در خاکدانه‌ها خواهد شد. در رابطه با همبستگی منفی بین واکنش خاک و میانگین هندسی قطر خاکدانه می‌توان به نقش به‌سزای مشخصه آهک خاک اشاره کرد. (Sevink et al., 1998) در پژوهش خود پایداری خاکدانه‌ها در اعماق پایین‌تر خاک را به‌طور عمده وابسته به اسیدیته و مقدار اشباع بازی خاک دانسته‌اند. آن‌ها همچنین مشاهده کردند که در خاک‌هایی با مواد آلی کمتر پایداری خاکدانه‌ها به مقدار قابل‌توجهی متأثر از آهک خاک بود. در این پژوهش نتایج به‌دست‌آمده از روابط رگرسیونی بین میانگین هندسی قطر خاکدانه با کربن آلی خاک حاکی از یک سیر افزایشی بود. این بدان معنی است که میان این شاخص و ماده آلی خاک یک رابطه متقابل و مثبت برقرار است. ماده آلی از یک طرف عامل مهم اتصال‌دهنده

ورودی مواد آلی به خاک نیز کاهش می‌یابد (Malo et al., 2005). از آنجایی که نیتروژن خاک به‌طور زیاد در قالب ترکیبات آلی در خاک وجود داشته، از این‌رو از این ترکیبات به‌عنوان انباری برای نیتروژن یاد می‌شود. به‌همین سبب در رابطه با تغییرات نیتروژن کل در اعماق مختلف خاک و اینکه با افزایش عمق روند کاهشی را نشان داد، می‌توان گفت که این تغییرات کاملاً مرتبط با تغییرات مواد آلی خاک است (Asadian et al., 2012). مشخصه میانگین هندسی قطر خاکدانه نیز همانند کربن آلی خاک یک روند کاهشی را (به‌دنبال افزایش عمق خاک) نشان داد. بیشتر بودن مقدار این شاخص از پایداری خاکدانه در لایه‌های سطحی خاک را می‌توان در ارتباط مستقیم با مقدار ماده آلی در این لایه‌ها دانست. ماده آلی به‌عنوان یک عامل سیمانی‌کننده عمل کرده و برای هم‌آوری ذرات خاک و تشکیل خاکدانه‌های مقاوم اهمیت به‌سزایی دارد. به‌طور معمول خاک‌هایی که به نسبت دارای مواد آلی بیشتری هستند، خاکدانه‌های پایدارتری هم دارند (Liu et al., 2019). در رابطه با متفاوت بودن الگوی پراکنش کربن و نیتروژن خاک با افزایش عمق در توده دست‌کاشت ون در مقایسه با دیگر کاربری‌ها می‌توان گفت که به‌واسطه بالا بودن مقدار ورودی سالیانه نیتروژن در لاشبرگ گونه ون و متعاقب آن افزایش سرعت تجزیه این نوع لاشبرگ، مقدار محتوی مواد مغذی (به‌واسطه فعالیت میکروارگانیسم‌ها) در خاک افزایش می‌یابد (Hashemi et al., 2017). به‌همین سبب و به‌واسطه غنی بودن خاک، ما شاهد بالا بودن مقدار کربن و نیتروژن در لایه‌های پایینی خاک (علاوه بر لایه سطحی) در توده ون بوده‌ایم. این نتایج با یافته‌های (Jobbagy and Jackson, 2000) که نوع گونه گیاهی را عامل مؤثر بر پراکنش مواد آلی با افزایش عمق دانسته‌اند، هم‌خوانی دارد. همچنین

خاکدانه‌ها به یکدیگر بوده (Obalum et al. 2017) و از طرف دیگر از نظر فیزیکی، در مقابل تجزیه (توسط میکروارگانیزم‌ها) در داخل خاکدانه‌های پایدار حفظ می‌شود. عامل اثرگذار در ایجاد رابطه منفی رگرسیونی بین شن خاک و میانگین هندسی قطر خاکدانه، درصد رس خاک است. بدین صورت که با افزایش مقدار شن در خاک و به دنبال آن کاهش درصد رس، ساختمان خاک سست شده و از مقدار پایداری آن کاسته می‌شود. همچنین در مورد رابطه منفی رگرسیونی مشاهده شده میان واکنش خاک و شاخص پایداری خاکدانه، ذکر این نکته ضروری است که اگرچه همبستگی بین این شاخص و آهک خاک معنی‌دار نبوده است، اما این احتمال وجود دارد که آهک نقش قابل توجهی در مقدار پایداری خاکدانه ایفا کند. به طوری که با افزایش مقدار این مشخصه (آهک) و به دنبال آن افزایش مقدار اسیدیته در خاک‌هایی با کربن آلی اندک، در نتیجه حل شدن آهک در آب و به دنبال آن حذف اتصالات بین ذرات اولیه، درصد خاکدانه‌های ریز بیشتر شده و در نتیجه ساختمان خاک ناپایدارتر خواهد شد (Al-Barak and Rowell, 2006).

#### نتیجه‌گیری

به‌طور کلی با توجه به نتایج پژوهش می‌توان گفت که مشخصه‌های محتوی کربن آلی و نیتروژن کل خاک تحت تأثیر هردو عامل کاربری اراضی و عمق خاک قرار گرفته‌اند. این در حالی است عمق خاک تنها عامل اثرگذار بر مشخصه میانگین هندسی قطر خاکدانه بوده است. در رابطه با اثر عمق خاک، شاهد کاهش مقدار این مشخصه‌ها به دنبال افزایش عمق در بیشتر کاربری‌ها بوده‌ایم. در مورد اثر کاربری در این پژوهش مشاهده شد که در لایه‌های سطحی خاک، کاربری توده جنگلکاری شده ون بیشترین مقدار کربن و

نیتروژن خاک و کاربری توده جنگلکاری کاج سیاه کمترین مقدار این مشخصه‌ها به خود اختصاص داد. در لایه‌های زیرین خاک بیشترین مقدار این ویژگی‌ها در کاربری کشاورزی اندازه‌گیری شد. همچنین پراکنش عمودی کربن و نیتروژن خاک در توده ون، الگوی متفاوتی را نسبت به دیگر کاربری‌ها نشان داد. با توجه به اهمیت لایه سطحی خاک (به واسطه دارا بودن بخش اعظم عناصر غذایی و آب مورد نیاز گیاهان) در بهبود و یا حفظ حاصلخیزی خاک و تا حد زیادی توان تولید خاک و رویشگاه و با در نظر گرفتن نتایج به دست آمده از این پژوهش در رابطه با وضعیت لایه‌های سطحی خاک در توده‌های دست‌کاشت مورد بررسی، می‌توان پیشنهاد داد که تلفیق کشت گونه‌های سوزنی و پهن-برگ (در عرصه‌هایی با شرایط توده‌های مورد بررسی در این پژوهش) در برنامه‌های مدیریتی آینده عرصه‌های منابع طبیعی در دستور کار قرار گیرد. همچنین با توجه به نقش پایداری خاکدانه در بهبود خواص فیزیکی خاک و با توجه به رابطه مثبت معنی‌دار این مشخصه با کربن آلی خاک و در نظر گرفتن پایین بودن مقدار کربن آلی در کاربری کشاورزی در لایه سطحی خاک در این پژوهش (آن هم به واسطه سوزاندن بقایای گیاهی مانند کاه و کلش و عملیات شخم) که به نوبه خود منجر به کاهش مقدار پایداری خاکدانه و افزایش به هم خوردگی ساختمان خاک می‌شود، پیشنهاد می‌شود که به مسئله مدیریت کشت با حداقل عملیات خاک‌ورزی و همچنین افزودن مواد آلی به خاک این نوع اراضی توجه ویژه‌ای شود.

## References

- Al-Barrak, K.; Rowell, D., The solubility of gypsum in calcareous soils. *Geoderma* **2006**, *136* (3-4), 830-837.
- Anonymus, Booklet of Tajan Forestry Plan-6 Alandan District; Forest and Rangeland Organization, 2004; p 236. (In Persian)
- Asadiyan, M.; Hojjati, S. M.; Pourmajidian, M. R.; Fallah, A., Impact of land-use management on nitrogen transformation in a mountain forest ecosystem in the north of Iran. *Journal of forestry Research* **2013**, *24* (1), 115-119.
- Bruun, T. B.; Elberling, B.; de Neergaard, A.; Magid, J., Organic carbon dynamics in different soil types after conversion of forest to agriculture. *Land Degradation & Development* **2015**, *26* (3), 272-283.
- Cañasveras, J. C.; Barrón, V.; Del Campillo, M.; Torrent, J.; Gómez, J., Estimation of aggregate stability indices in Mediterranean soils by diffuse reflectance spectroscopy. *Geoderma* **2010**, *158* (1-2), 78-84.
- Guo, L.; Shen, J.; Li, B.; Li, Q.; Wang, C.; Guan, Y.; D'Acqui, L. P.; Luo, Y.; Tao, Q.; Xu, Q., Impacts of agricultural land use change on soil aggregate stability and physical protection of organic C. *Science of The Total Environment* **2020**, *707*, 136049.
- Hashemi, S. A.; Hojati, S. M.; Hoseiny Nasr, S. M.; Asadyan, M.; Tafazoli, M., Studying soil physical, chemical and net Nitrogen mineralization in plantation and natural stands in Darabkola Forest (Sari). *Forest Research and Development* **2017**, *3* (2), 119-132. (In Persian)
- Heshmati, M.; Gheitori, M.; Parvizi, I.; Shahbazi, Kh.; Sheykhoosi, M.; Soleimani, H., The effect of land use change on aggregate stability and soil organic carbon in watershed of Merk in Kermanshah. Presented at Gonbad kavos University, Gorgan, The first national conference of natural resource management, February 27, **2014**. (In Persian)
- Houben, D.; Faucon, M.-P.; Mercadal, A.-M., Response of organic matter decomposition to no-tillage adoption evaluated by the tea bag technique. *Soil Systems* **2018**, *2* (3), 42.
- Jafari-Haghigh, M., Methods of Soil Analysis, Publications of Nedaye Zoha, 2003; p 195. (In Persian)
- Jobbágy, E. G.; Jackson, R. B., The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological applications* **2000**, *10* (2), 423-436.
- Kalhor, S. A.; Xu, X.; Chen, W.; Hua, R.; Raza, S.; Ding, K., Effects of different land-use systems on soil aggregates: a case study of the Loess Plateau (Northern China). *Sustainability* **2017**, *9* (8), 1349.
- Kurz, I.; O'Reilly, C. D.; Tunney, H., Impact of cattle on soil physical properties and nutrient concentrations in overland flow from pasture in Ireland. *Agriculture, ecosystems & environment* **2006**, *113* (1-4), 378-390.
- Liu, M.; Han, G.; Zhang, Q., Effects of soil aggregate stability on soil organic carbon and nitrogen under land use change in an erodible region in Southwest China. *International journal of environmental research and public health* **2019**, *16* (20), 3809.
- Malo, D.; Schumacher, T.; Doolittle, J., Long-term cultivation impacts on selected soil properties in the northern Great Plains. *Soil and tillage research* **2005**, *81* (2), 277-291.
- Mousavi, S.F.; Moazzeni, M.; Mostafazadeh-Fard, A.; Yazdani, M.R., Effects of rice straw incorporation on some physical characteristics of paddy soils. *Journal Agriculture Science Technology* **2012**, *14*, 1173-1183. (In Persian)
- Obalum, S.; Chibuike, G.; Peth, S.; Ouyang, Y., Soil organic matter as sole indicator of soil degradation. *Environmental monitoring and assessment* **2017**, *189* (4), 1-19.
- Sevink, J.; Verstraten, J.; Jongejans, J., The relevance of humus forms for land degradation in Mediterranean mountainous areas. *Geomorphology* **1998**, *23* (2-4), 285-292.
- Soleimany, M.; Eslamdoust, J.; Akbarinia, M.; Kooch, Y., Soil aggregate stability index and particulate organic matter in response to differently afforested lands in the temperate regions of Iran. *Journal of Forest Science* **2021**, *67* (8), 376-384.
- Yousefifard, M.; Khademi, H.; and Jalalian, A., Decline in soil quality as a result of land use change in Cheshmeh Ali region, Chaharmahal Bakhtiari Province. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* **2007**, *14* (1), 21-31.

## The changes of soil carbon, nitrogen and aggregate stability affected by different land uses

M. Asadian<sup>1</sup>, S. M. Hojjati<sup>\*2</sup>, M. Mohammadzadeh<sup>3</sup> and M. Nadi<sup>4</sup>

1- PhD Student of Forest Science and Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, I. R. Iran. (maryam.asadiyan23@gmail.com)

2- Professor, Department of Forest Science and Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, I. R. Iran. (s\_m\_hodjati@yahoo.com)

3- Professor, Department of Statistics, Tarbiat Modares University, Tehran, I. R. Iran. (mohsen\_m@modares.ac.ir)

4- Assistant Professor in agricultural meteorology, Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, I. R. Iran. (mehdi.nadi@gmail.com)

Received: 21.10.2021      Accepted: 25.12.2021

### Abstract

The present study was conducted for investigation the trend of soil carbon, total nitrogen and soil aggregate stability changes with increasing depth under different land uses in Alandan area–Sari. The soil samples were taken from soil depths 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 cm using coring (8 cm diameter) and auger method in each site systematic randomly (n=6). The soil texture, soil pH, the percentage of CaCO<sub>3</sub>, organic carbon, total nitrogen and geometric mean diameter (soil aggregate stability index) was measured in the laboratory. The result showed that, soil carbon and nitrogen were significantly ( $p<0.05$ ) affected by soil depth and land use change. However, the geometric mean diameter was only affected by soil depth. The compared means showed that, the amount of carbon, nitrogen and soil aggregate stability index is significantly reduced with increasing soil depth. In the surface soil layers, the highest carbon (4.6%) and nitrogen (0.31%) were found in ash plantation and theirs lowest (2.5 % and 0.15% respectively) were observed in pine plantation. Also, soil organic carbon is significantly ( $p<0.05$ ) increased with increasing geometric mean diameter.

**Keywords:** Alandan, Stability aggregate, Plantation, Soil depth, Organic matter.

---

\* Corresponding author

Tel: +989117434910