

پیامد آلودگی کادمیم بر بخش‌های اندازه دانه‌ای کربن آلی در خاک‌های همدان و لاهیجان تیمار شده با کاه گندم

علی اکبر صفری سنجانی^{۱*}، میلاد جعفری منصف^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۲۰)

چکیده

آلودگی خاک به فلزهایی مانند کادمیم با کاهش کارکرد ریزجانداران می‌تواند کربن‌اندوزی در خاک را دگرگون سازد. مانده‌های گیاهی پس از افزوده شدن به خاک، به ریخت مواد آلی دانه‌ای آزاد بوده که با گذشت زمان به کمک ریزجانداران خاک با رس-ها پوشیده شده و در پایان به ریخت هم تافته‌های آلی-کانی در می‌آیند. در این پژوهش، پیامد کاربرد کادمیم در دو سطح (صفر و ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و گذشت زمان در ۴ سطح (۱ روز، ۱، ۳ و ۵ ماه) بر بخش‌های اندازه دانه‌ای کربن آلی دو خاک همدان و شمال که با ۵ درصد کاه گندم تیمار شده‌اند، در سه تکرار آزمون شد. بخش هم‌اندازه شن و بخش هم‌اندازه سیلت+رس مواد آلی خاک‌ها در زمان‌های یاد شده به روش بخش‌بندی اندازه دانه‌ای جدا شده و کربن آلی آنها به روش اکسیداسیون تر اندازه‌گیری شد. برای خاک همدان، بیشترین کربن آلی خاک در بخش سیلت+رس خاک، به اندازه ۱۵/۸۰ گرم بر کیلوگرم خاک (۳۲ درصد) در روز نخست آزمایش بود. تندی کاهش کربن آلی با گذشت زمان در خاک همدان بیشتر از آن در خاک لاهیجان بود. آلودگی خاک به کادمیم از تندی فروزینگی یا تجزیه کربن آلی در هر دو خاک کاست و مایه نگهداری کربن آلی بویژه در خاک لاهیجان شد که این می‌تواند وابسته به رس فراوان تر و بالاتر بودن زیست‌فراهمی و فاکتور آلودگی کادمیم در این خاک باشد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی خاک، بخش بندی اندازه دانه‌ای، کاه گندم، کربن اندوزی

۱-استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان (مکاتبه کننده)

۲-فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

* پست الکترونیک: aa-safari@basu.ac.ir

مقدمه

رها شدن گاز گلخانه‌ای دی اکسید کربن از خاک یک فرایند زیستی است که بستگی به ویژگی‌های گوناگون خاک دارد (Safari-Sinegani, 2015). بنابراین نگهداری و کربن اندوزی در خاک می‌تواند وابسته به آلودگی خاک به فلزهای سنگین باشد (Dumat et al., 2006; Quenea et al., 2009). پیشرفت مرزهای دانش و کاربردهای آن در چند دهه گذشته، همراه با گسترش شهرها مایه پیدایش و رهاسازی برخی مواد آلاینده و گاهی ناشناخته‌ها به زیستگاه‌ها شده است. کاربرد کودها، زباله‌های کمپوست شده، لجن پساب‌ها و آبیاری با آبهای آلوده مایه افزایش فلزهای سنگین در خاک می‌شود که دشواری‌های گوناگونی در پی دارد. رفتار فلزهای سنگین بسته به ویژگی‌های خاک گوناگون است و می‌تواند بر کارکرد زیستی خاک و شمار بسیاری از ریزجانداران خاک پیامد زیانباری داشته باشد. برخی از فلزهای سنگین جنبش بیشتری داشته و می‌توانند در نیمرخ خاک جابجا شوند. کادمیم از این گونه فلزها می‌باشد که درجه زهری بودن آن بیش از بسیاری از فلزهای دیگر است. بر پایه رای برخی از پژوهشگران، غلظت بحرانی فلز کادمیم در خاک ۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک گزارش شده است (Kabata-Pendias & Pendias, 2001). پژوهش‌های بسیاری بر پیامد مواد آلی خاک بر فلزهای سنگین و زیست فراهمی آنها در خاک انجام شده است. مواد آلی تازه مانند مانده-های گیاهی و کودهای دامی با ترکیب‌های آلی محلول فراوان، می‌توانند فراهمی فلزها را در زمان کوتاهی پس از افزودن آن بیشتر کنند (Almas et al., 1999; Clemente et al., 2006; Safari-Sinegani & Jafari Monsef, 2016). حال آنکه مواد آلی مانند کمپوست و پیت با دارا بودن مواد هومیکی و پایدارتر می‌توانند فراهمی فلزهای سنگین را با جذب و ایجاد کمپلکس کاهش دهند (Shuman, 1999). در برابر آن، پیامد آلودگی خاک به فلزهای سنگین بر مواد آلی خاک چندان روشن نمی‌باشد.

انباشتگی بیش از اندازه فلزهای سنگین مانند کادمیم در خاک مایه کاهش فروزینگی^۱ مواد آلی (Chen et al., 2014; Quenea et al., 2009)، کاهش گوناگونی زیستی و ساختار جمعیتی ریزجانداران (Andersson & Nilsson, 1972) و کاهش کارایی آنزیم‌ها (Pradip & Subhasish, 2008) می‌شود.

ماده آلی و کارکرد ریزجانداران بر زیست فراهمی فلزها در خاک پیامدهای ویژه‌ای دارد. به هر گونه در برخی از گزارش‌ها آمده است که آلودگی خاک به فلزهای سنگین مانند سرب از راه افزایش تنش بر ریزجانداران مایه افزایش پهنسختی^۲ (qCO₂) کربن آلی و تنفس خاک شده است (Ausmus et al., 1978; Chaney et al., 1978; Insam et al., 1996). ریزجانداران در تنش برای زنده مانی در چنین زیستگاه‌های دشوار، بخش بزرگی از کربن آلی بدست آمده را اکسید و برای زنده ماندن خود بکار می‌برند.

اگر چه تاکنون روشن شده است که در بسیاری از موارد آلودگی خاک به فلزهای سنگین بر زندگی و کارکرد ریزجانداران و همچنین تندی فروزینگی مواد آلی پیامد بد دارد. جداسازی خاکدانه‌ها و بررسی فلزهای سنگین و کربن آلی آنها در خاک‌های آلوده نشان داده است که فلزهای سنگین و کربن آلی کهنه خاک بیشتر در دانه‌های ریز انباشته شده است. از سوی دیگر پویایی و تندی فروزینگی کربن آلی خاکدانه‌های درشت که آلودگی فلزی کمتری دارد، بسیار بیشتر از آن در خاکدانه‌های ریز است (Dumat et al., 2006; Quenea et al., 2009). هر چند در این پژوهش‌ها انباشتگی کربن آلی در خاکدانه‌ها به گونه-ای به آلودگی خاک به فلزهای سنگین پیوند خورده است ولی آگاهی چندانی درباره پیامد آلودگی خاک بر دگرگونی ریخت‌های گوناگون کربن آلی در خاک و کربن اندوزی در آن در برابر یک خاک آلوده نشده، یافت نشد. این پژوهش در دو نمونه از خاک‌های همدان و لاهیجان که دارای ویژگی‌هایی ناهمانند است، انجام شد. هدف از آن ارزیابی پیامد آلودگی با کادمیم بر چگونگی کاهش بخش‌های گوناگون کربن آلی پس از افزودن مانده‌های گیاهی به خاک‌هایی با ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی بسیار ناهمانند است. فرضیه این پژوهش آن است که پیامد آلوده شدن خاک به فلز کادمیم بر ریخت‌های گوناگون کربن آلی و کربن‌اندوزی خاک بستگی به ویژگی‌های خاک دارد و در دو خاک یاد شده ناهمانند است.

مواد و روش‌ها

یک نمونه خاک از خاک‌های کشاورزی همدان با آب و هوای نیمه خشک ("۴۸' ۵۶' ۳۴" شمالی و "۲۳' ۲۸' ۴۸" شرقی) و یک نمونه خاک از خاک‌های چایکاری گیلان

2- Metabolic quotient

1 -Degradation

در این پژوهش بخش‌های هم‌اندازه شن و هم‌اندازه سیلت+رس کربن آلی خاک‌ها، به روش بخش‌بندی اندازه دانه‌ای^۲ پس از ۱ روز، ۱ ماه، ۳ ماه و ۵ ماه بررسی و اندازه‌گیری شدند. برای جداسازی ترکیب‌های آلی-کانی نخستین (دانه‌های هم‌اندازه شن، سیلت+رس)، ۵۰ گرم از هر یک از نمونه‌های خاک تازه و نم‌دار در آب مقطر به نسبت ۱:۲/۵ آمیخته و برای ۱۶ ساعت روی تکان دهنده (شیکر) رفت و برگشتی با تندی ۲۵۰ دور در دقیقه تکان داده شد. این روش پراکنش مایه پخش کامل خاکدانه‌های درشت می‌گردد. از آنجایی که تکان دادن، انرژی کافی برای خرد کردن خاکدانه‌های ریز (۰/۰۵۳ میلی‌متر) را ندارد، از روش فراآوادهی^۳ برای ۱۵ دقیقه (مدل دستگاه فراآوادهی: T₃₁₀/H، با فرکانس ۳۵ کیلوهرتز) بهره‌گیری شد. برای آگاهی از خرد شدن همه خاکدانه‌های ریز، درصد دانه‌های نخستین پس از فراآوادهی با داده‌های بدست آمده از بافت خاک سنجیده شد. سپس سوسپانسیون از الک ۰/۰۵۳ میلی‌متر گذرانده شد تا دانه‌های شن و ماده آلی دانه‌ای^۴ (POM) از آن جدا گردد، پس از گذر از الک در آون در دمای ۵۰ درجه سلسیوس، وزن بخش شن ارزیابی شد (Safari-Sinegani, 2015). پس از اندازه‌گیری کربن آلی بخش هم‌اندازه شن به روش اکسیداسیون تر (Walkley & Black, 1934) با داشتن درصد شن خاک، گرم کربن آلی این بخش در کیلوگرم خاک برآورد و گزارش شد.

دانه‌های سیلت و رس گذرانده شده از الک نیز گردآوری و در دمای ۵۰ درجه سلسیوس در آون خشک شده و بخش سیلت+رس با هم وزن شد. کربن آلی این بخش نیز به روش اکسیداسیون تر (روش واکلی و بلاک، ۱۹۳۴) اندازه‌گیری شد. با داشتن درصد شن و رس خاک و اندازه کربن آلی در این بخش گرم کربن آلی این بخش در کیلوگرم خاک برآورد و گزارش شد. در پایان پردازش داده‌های اندازه‌گیری بخش‌های کربن آلی خاک‌ها به کمک نرم‌افزار Excel و آزمون آماری با نرم افزار SAS انجام شد. همان‌گونه که پیش‌تر یاد شد، جداگانه برای هر خاک آزمایشی دو فاکتور با طرح کاملاً تصادفی انجام شد. فاکتور نخست آلودگی با کادمیم در دو سطح (صفر و ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) و فاکتور دوم زمان در ۴ سطح (۱)

(لاهیجان) (۵۹' ۱۱' ۳۷ شمالی و ۵۱' ۱' ۵۰ شرقی) با آب و هوای مرطوب که ویژگی‌هایی ناهمسانند دارند، در سه تکرار و به روش مرکب نمونه‌برداری شد. نمونه‌های خاک هوا خشک شدند و از الک ۲ میلی‌متر گذرانده شدند. پیش از تیمار خاک‌ها، بافت خاک (Gee & Bauder, 1986) ، پ-اچ خاک (در عصاره ۱:۵ خاک به آب)، رسانندگی الکتریکی (در عصاره ۱:۵ خاک به آب)، کربنات کلسیم معادل خاک (به روش تیتراسیون برگشتی اسید مانده با هیدروکسید سدیم)، گنجایش تبادل کاتیونی (به روش استات آمونیوم)، کربن آلی خاک (به روش اکسیداسیون تر)، نیتروژن کل (به روش کج‌لدال) و پتاسیم فراهم (به روش استات آمونیوم) اندازه‌گیری شد (Sparks et al., 1996). همچنین از ویژگی‌های بیولوژیک خاک فراوانی قارچ‌ها، باکتری‌ها و اکتینومیست‌ها به روش پرگنه شماری یا شمارش کلنی‌ها^۱ اندازه‌گیری شد (Safari-Sinegani et al., Alef & Nannipieri, 1995, 2010).

تیمار خاک‌ها

پیش از کاربرد مواد آلی در خاک‌ها، کاه گندم که یکی از فراوان‌ترین مانده‌های کشاورزی است، آسیاب شده و از الک ۲ میلی‌متر گذرانده شد. سپس به اندازه ۵ درصد وزنی از آن به هر یک از خاک‌ها افزوده شد و نمناکی خاک در گنجایش زراعی در خاک‌های تیمار شده با مواد آلی اندازه‌گیری شد. برای هر تکرار از خاک‌های همدان و لاهیجان (سرهم ۶ نمونه خاک) نیمی بدون تیمار با کادمیم و نیمی دیگر با ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم از نمک نیتراتی آن به ریخت محلول و با آبفشان تیمار شد (Safari-Sinegani & Jafari Monsef, 2016). رطوبت خاک‌ها همواره میان ۰/۵۰ تا ۰/۷۵ گنجایش زراعی خود (FC) در زمان آزمایش نگهداری شد. بنابراین برای انجام این پژوهش از دو آزمایش فاکتوریل جداگانه بر خاک‌های همدان و لاهیجان با طرح کاملاً تصادفی بهره‌گیری شد. برای هر خاک فاکتورهای این پژوهش، کاربرد کادمیم در دو سطح (صفر و ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) و زمان در ۴ سطح (۱ روز، ۱ ماه، ۳ ماه و ۵ ماه) است که در سه تکرار از خاک نمونه‌برداری شده انجام شد.

بخش‌بندی کربن آلی خاک

2- Particle size fractionation
3-Ultrasonification
4-Particulate organic matter

1- Colony count

دسی‌زیمنس بر متر، همه کربن آلی و همه نیتروژن آن به ترتیب ۵۳۳/۳۳ و ۵/۷۸ گرم بر کیلوگرم بود. C/N کاه گندم ۹۲/۱۷ و ماده جامد محلول آن ۶۲/۶۶ گرم بر کیلو گرم اندازه‌گیری شد.

پیامد آلودگی کادمیم و گذشت زمان بر بخش‌های گوناگون کربن آلی در خاک همدان

تجزیه واریانس داده‌های بدست آمده از اندازه‌گیری بخش های گوناگون کربن آلی در خاک همدان نشان داد که پیامد گذشت زمان بر هر دو بخش کربن آلی جداسازی شده به روش فیزیکی (کربن هم‌اندازه شن، کربن هم‌اندازه سیلت+رس) در پایه آماری ۱ درصد چشم‌گیر است (جدول ۳). پیامد آلودگی کادمیم تنها بر کربن آلی هم‌اندازه سیلت+رس در این خاک در پایه آماری ۱ درصد چشم‌گیر است. پیامد آلودگی خاک همدان به کادمیم بر کربن هم‌اندازه شن آن کمتر بوده و در پایه آماری ۵ درصد چشم‌گیر شده است. این شاید وابسته به پیامد بزرگ و چشم‌گیر زمان بر این بخش بوده است که پیامد آلودگی کادمیم را پوشانده است. پیامد برهمکنش گذشت زمان و آلودگی کادمیم بر بخش هم‌اندازه سیلت+رس چشم‌گیر نیست. در برابر آن پیامد برهمکنش گذشت زمان و آلودگی کادمیم بر بخش هم‌اندازه شن در پایه آماری ۱ درصد چشم‌گیر است. آزمون میانگین بخش‌های کربن آلی هم‌اندازه شن و نیز هم‌اندازه سیلت+رس خاک در جدول ۴ آمده است.

آشکارا اندازه کربن آلی در بخش‌های هم‌اندازه شن و همچنین سیلت+رس خاک با گذشت زمان کاهش یافته است که این کاهش برای بخش هم‌اندازه شن نمایان‌تر است. در خاک همدان کربن آلی خاک بیشتر خود را در بخش هم‌اندازه شن نشان داده است که در روز نخست آزمایش به اندازه ۱۴/۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود. ماده آلی تازه افزوده شده به این خاک بیشتر در بخش هم‌اندازه شن جای گرفته است که بخش سبک ماده آلی خاک را می‌سازد. این بخش از بخش‌های کارا و واکنش دهنده مواد آلی خاک است که به تندی فروزینه می‌شود (Safari-Sinegani, 2015).

روز، ۱ ماه، ۳ ماه و ۵ ماه بود که در سه تکرار از هر خاک نمونه‌برداری شده انجام شد. در این پژوهش یافته‌های روز نخست نماینده واکنش های تند فیزیکوشیمیایی، ماه نخست نماینده بیشینه واکنش‌های زیستی، ماه سوم نماینده پایان واکنش های کند زیستی و ماه پنجم نماینده پایان همه واکنش‌ها و یکنواخت شدن است. پس از تجزیه واریانس داده‌ها، میانگین ویژگی‌های بررسی شده در تیمارها با آزمون دانکن در پایه آماری ۵ درصد سنجیده و آزمون شدند.

نتایج و بحث

ویژگی‌های خاک‌ها و مانده‌های گیاهی

میانگین برخی از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک‌ها، پیش از تیمار با کاه گندم و کادمیم در جدول ۱ آمده است. اندازه شن، سیلت و رس خاک همدان به ترتیب ۵۸، ۲۴ و ۱۸ درصد و اندازه شن، سیلت و رس خاک لاهیجان به ترتیب ۲۴، ۴۶ و ۳۰ درصد بود. به کمک مثلث بافت خاک، برای خاک همدان بافت لوم‌شنی و برای خاک لاهیجان بافت لوم‌رسی برآورد شد. pH خاک همدان بالا بود و ۷/۷ اندازه‌گیری شد، در برابر آن این ویژگی برای خاک لاهیجان اسیدی و به اندازه ۵/۶ بود. رسانندگی الکتریکی خاک لاهیجان کمتر از همدان و به ترتیب ۰/۱۲ و ۰/۱۹ دسی‌زیمنس بر متر بودند که هر دو خاک، از گونه خاک‌های با شوری پایین بشمار می‌آیند. گنجایش تبادل کاتیونی خاک همدان کمتر از خاک لاهیجان بود، که در هر کدام به ترتیب ۱۲/۱ و ۲۹/۷ سانتی مول بار بر کیلوگرم خاک اندازه‌گیری شدند. همه نیتروژن خاک‌ها، به ترتیب برای خاک همدان و لاهیجان ۰/۷۴ و ۱/۵۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. همه کربن آلی خاک لاهیجان بیشتر از خاک همدان است که اندازه آنها ۲۱/۶۹ و ۷/۹۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ترتیب برای خاک لاهیجان و همدان می‌باشند. همانگونه که دیده شد خاک لاهیجان دارای ویژگی‌های بهتری برای زندگی ریزجانداران خاک است و فراوانی قارچ‌ها، اکتینومیست‌ها و باکتری‌ها در آن بیشتر است. جدول ۲ برخی از ویژگی‌های شیمیایی ماده آلی به کار رفته را نشان می‌دهد. کاه گندم به کار رفته دارای pH 7/7، رسانندگی الکتریکی آن ۴/۰۲

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های به کار رفته در پژوهش
Table 1- Some physicochemical properties of the soils used in the study

خاک همدان Hamadan soil		خاک لاهیجان Lahijan soil		واحد Unite	ویژگی Properties
انحراف معیار SD	میانگین Mean	انحراف معیار SD	میانگین Mean		
Sandy loam		Clay loam		-	بافت Texture
0.75	58	0.30	24	%	شن Sand
0.60	24	0.70	46	%	سیلت Silt
0.50	18	0.10	30	%	رس Clay
0.40	12.1	0.10	29.7	Cmol +.kg ⁻¹	گنجایش تبادل کاتیونی CEC
0.05	7.7	0.10	5.6	-	اسیدیته خاک pH
0.02	0.19	0.01	0.12	dS.m ⁻¹	هدایت الکتریکی Electrical conductivity
0.21	19.83	0.03	1.22	%	کربنات کلسیم معادل Equivalent CaCO ₃
0.10	7.91	0.60	21.69	g.kg ⁻¹	کربن آلی کل Total organic carbon
0.01	0.74	0.03	1.52	g.kg ⁻¹	نیترژن کل Total nitrogen
0.20	10.69	0.60	14.27	-	نسبت کربن به نیترژن C/N
0.01	4.24	0.07	4.99	Cfu.g ⁻¹ soil	لگاریتم فراوانی باکتری‌ها Log bacteria
0.02	6.39	0.03	6.40	Cfu.g ⁻¹ soil	لگاریتم فراوانی قارچ‌ها Log fungi
0.01	4.14	0.06	4.62	Cfu.g ⁻¹ soil	لگاریتم فراوانی اکتینومیست‌ها Log actinomycetes

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی کاه گندم افزوده شده به خاک

Table 2- The examined chemical properties of wheat residue added to soil

SD	انحراف معیار	میانگین Mean	واحد Unite	ویژگی Properties
0.09		7.27	-	اسیدیته خاک pH
0.02		4.02	dS.m ⁻¹	هدایت الکتریکی Electrical conductivity
3.4		62.66	g.kg ⁻¹	ماده جامد محلول Total dissolved solid
1.7		23.3	g.kg ⁻¹	کربن آلی محلول Soluble organic carbon
15.21		533.33	g.kg ⁻¹	کربن آلی کل Total organic carbon
0.13		5.78	g.kg ⁻¹	نیترژن کل Total nitrogen
2.8		92.17	-	نسبت کربن به نیترژن C/N

جدول ۳- تجزیه واریانس پیامد آلودگی کادمیم، گذشت زمان و برهم‌کنش آن‌ها بر بخش‌های گوناگون کربن آلی در خاک همدان
Table 3- Analysis of variance for effect of Cd pollution, time duration and their interaction on different fractions of organic carbon in Hamadan soil

Mean Squares		میانگین مربعات	
کربن هم‌اندازه شن Sand size fraction	کربن هم‌اندازه سیلت+رس Silt+Clay size fraction	درجه آزادی df	منابع دگرگونی Source of variation
158.43**	1.917**	3	گذشت زمان Time duration
0.997*	0.785**	1	آلودگی کادمیم Cd pollution
1.754**	0.14	3	برهم‌کنش Interaction
0.22	0.055	16	خطا Error

* و ** به ترتیب نشانگر پیامد چشم‌گیر در پایه آماری ۵ و ۱ درصد است (* and ** Significant at 5 and 1% probability levels respectively)

جدول ۴- آزمون میانگین بخش‌های کربن آلی هم‌اندازه سیلت+رس و هم‌اندازه شن (گرم بر کیلوگرم خاک) در خاک همدان آلوده شده به کادمیم در زمان‌های گوناگون نمونه برداری

Table 4- Mean test of organic carbon in silt+clay size and sand size fractions (g kg^{-1}) in Hamadan soil polluted with Cd in different sampling times

کربن هم‌اندازه شن Sand size fraction		کربن هم‌اندازه سیلت+رس Silt+Clay size fraction		زمان نمونه برداری و تیمار خاک Sampling time and soil treatment
انحراف معیار SD	میانگین‌ها Mean	انحراف معیار SD	میانگین‌ها Mean	
0.615	14.11 ^a	0.171	7.89 ^{bc}	روز نخست، بدون آلودگی کادمیم 1 st day , control soil
0.644	14.12 ^a	0.046	8.33 ^a	روز نخست، با آلودگی کادمیم 1 st day, polluted soil
0.15	7.98 ^b	0.19	7.62 ^c	ماه نخست، بدون آلودگی کادمیم 1 st month, control soil
0.495	8.30 ^b	0.091	8.27 ^{ab}	ماه نخست، با آلودگی کادمیم 1 st month, polluted soil
0.539	3.13 ^d	0.343	7.11 ^d	ماه سوم، بدون آلودگی کادمیم 3 rd month. control soil
0.162	5.05 ^c	0.346	7.53 ^c	ماه سوم، با آلودگی کادمیم 3 rd month, polluted soil
0.163	2.94 ^d	0.283	6.92 ^d	ماه پنجم، بدون آلودگی کادمیم 5 th month, control soil
0.595	2.32 ^d	0.229	6.85 ^d	ماه پنجم، با آلودگی کادمیم 5 th month, polluted soil

میانگین‌های دارای دست کم یک حرف یکسان در هر ستون در پایه آماری ۵٪ ناهمانندی چشم‌گیری ندارند.

Means with a similar letter in each column is not significantly different at 5% probability level

زمان، آلودگی خاک به کادمیم و برهم‌کنش آنها بر کربن آلی این خاک در بخش هم‌اندازه شن و بخش هم‌اندازه سیلت+رس در پایه آماری ۱ درصد چشم‌گیر است (جدول ۵). چشم‌گیر بودن پیامد گذشت زمان در هر دو خاک همدان و لاهیجان که با ۵ درصد کاهش گندم تیمار شده اند، پذیرفتنی است. ولی آنچه نیاز به یادآوری دارد رفتار ناهمانند آلودگی کادمیم در این خاک‌ها است. در خاک لاهیجان پیامد آلودگی کادمیم بر بخش‌های اندازه‌گیری شده کربن آلی نمایان تر است. آزمون میانگین بخش‌های کربن آلی هم‌اندازه شن و هم‌اندازه سیلت+رس خاک در تیمار آلودگی خاک به کادمیم و بررسی پیامد گذشت زمان بر بخش‌های هم‌اندازه این دانه‌های خاک در جدول ۶ آمده‌است. همانند آنچه که در خاک همدان دیده شد، اندازه کربن آلی در بخش‌های شن و همچنین سیلت+رس خاک با گذشت زمان کاهش یافته‌است ولی تندی این کاهش در خاک لاهیجان با اینکه فراوانی ریزجانداران در آن بیشتر بود (جدول ۱) بسته با بافت ریزتری که دارد، کمتر است (Safari-Sinegani, 2015). کربن آلی در این

کربن در اندازه سیلت+رس در سه ماه آغازین در نمونه‌های آلوده به کادمیم به گونه چشم‌گیری در پایه آماری ۵ درصد بیش از اندازه آن در نمونه‌های بدون آلودگی است. آلودگی خاک به فلز کادمیم مایه کاهش تندی فروزینگی و بالا بودن کربن آلی در بخش هم‌اندازه سیلت+رس شده‌است. این یافته در بخش هم‌اندازه شن تنها در ماه سوم نمونه‌برداری نمایان است که در آن خاک آلوده این بخش را (۵/۰۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بیش از خاک آلوده نشده (۳/۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) دارد. این نشان می‌دهد که آلودگی خاک به کادمیم پیامد نمایان‌تری بر بخش‌های ریزتر کربن آلی در خاک دارد. در خاک همدان تندی فروزینگی بخش هم‌اندازه شن به اندازه ای بالا است که وابستگی آن به آلودگی خاک به فلز کادمیم از دیدگاه آماری در پایه ۵ درصد چشم‌گیر شده است.

پیامد آلودگی کادمیم و گذشت زمان بر بخش‌های گوناگون کربن آلی در خاک لاهیجان

تجزیه واریانس داده‌های اندازه‌گیری کربن آلی خاک لاهیجان نشان داد که از دیدگاه آماری پیامدهای گذشت

خاک های بررسی شده در نمودار ۱ نشان داده شده است. همانگونه که دیده می شود در خاک همدان بخش بزرگی از کربن در آغاز در بخش هم اندازه شن خود را نشان می دهد (۴۰/۸ درصد). در برابر آن در خاک لاهیجان کربن آلی این بخش (۲۹ درصد) نزدیک بخش هم اندازه سیلت+رس (۳۲ درصد) است. این بخش هم اندازه شن در هر دو خاک بیش تر از مانده گیاهی افزوده شده به خاک (کاه گندم) پدید آمده است که با گذشت زمان در خاک همدان از ۴۰/۸ درصد در روز نخست به ۸/۵۰ درصد در خاک آلوده نشده و ۶/۷۱ درصد در خاک آلوده شده می رسد. این بخش در خاک لاهیجان از نزدیک ۲۹ درصد در روز نخست به ۱۰/۴۰ درصد در خاک آلوده نشده و ۱۶/۸۳ درصد در خاک آلوده شده می رسد. بنابراین در خاک همدان آلودگی پیامد چندانی بر تندی کاهش این بخش ندارد ولی در خاک لاهیجان کربن آلی بخش هم اندازه شن در خاک آلوده بسیار بیشتر فروزینه شده است. این بار دیگر نشان می دهد که پیامد آلودگی خاک به کادمیوم در خاک لاهیجان بیشتر است.

در این پژوهش درصد کربن از دست رفته در خاک همدان آلوده نشده و آلوده شده در زمان ۱۵۰ روز نگهداری خاک به ترتیب ۷۱/۵ و ۷۳/۵ درصد بود. کربن آلی از دست رفته در خاک لاهیجان بسیار کمتر و در خاک آلوده نشده و آلوده شده لاهیجان در زمان ۱۵۰ روز نگهداری خاک به ترتیب ۶۴/۰۵ و ۶۱/۸۸ درصد است. این یافته بار دیگر نشان می دهد که در خاک لاهیجان نه تنها فراوان تر بودن رس به نگهداری کربن در خاک کمک کرده است بلکه در خاک آلوده شده بالا بودن زیست فراهمی کادمیوم و فاکتور آلودگی (Safari-Sinegani & Jafari Monsef, 2016) مایه کاهش کارکرد ریزجانداران در فروزینیگی زیستی کربن و از دست رفتن آن شده است (Zalaghi & Safari-Sinegani, 2014). دگرگونی کربن آلی بخش هم اندازه رس در خاک لاهیجان بیش تر از آن در خاک همدان است. این بخش در خاک آلوده و نالوده لاهیجان در آغاز آزمایش به ترتیب ۳۲/۱۲ و ۳۲/۶۸ درصد بود که پس از ۵ ماه به ۲۱/۲۸ و ۲۵/۵۴ درصد رسید. این یافته شاید وابسته به پیامد آغازگر در خاک دست خورده لاهیجان پس از افزودن کاه گندم باشد که مایه افزایش فروزینیگی کربن آلی هوموسی آن شده است. افزودن مانده های گیاهی به خاکهایی که کربن آلی هوموسی

خاک بیشتر در بخش سیلت+رس خاک انباشته شده و در روز نخست آزمایش به اندازه ۱۵/۸۰ میلی گرم بر کیلوگرم خاک است که با گذشت زمان در هر دو بخش بررسی شده کاهش یافته است (جدول ۶). به هر گونه کربن آلی در بخش هم اندازه شن در این خاک نیز در روز نخستین آزمایش در تیمارهای با و بدون آلودگی کادمیم ناهمانندی چشم گیری با یکدیگر ندارند، ولی با گذشت چند روز از آغاز آزمایش، تندی فروزینش ماده آلی بخش هم اندازه شن در تیمارهای بدون آلودگی کادمیم افزایش یافته و از اندازه کربن آلی این بخش کاسته شده است. به گونه ای که از روز سی ام تا پایان آزمایش همواره اندازه کربن آلی بخش هم اندازه شن در خاک های آلوده به گونه چشم گیری بیشتر از خاک های نالوده است.

کربن آلی خاک لاهیجان در بخش هم اندازه سیلت+رس نیز در روز نخستین آزمایش در تیمارهای با و بدون آلودگی کادمیم ناهمانندی چشم گیری با یکدیگر ندارند، ولی با گذشت زمان کربن آلی در بخش هم اندازه سیلت+رس خاک در نمونه های آلوده به کادمیم کمتر از آن در خاک نالوده شده است. آلودگی خاک به کادمیم مایه آن شده که اندازه کربن آلی در این بخش، در نمونه های آلوده به کادمیم، به گونه چشم گیری (در پایه آماری ۵ درصد) کمتر از نمونه های دیگر شود. این یافته نشان می دهد که آلودگی خاک به کادمیم تندی فروزینش و دگرگونی بخش هم اندازه شن را به بخش هم اندازه سیلت+رس کاهش داده است، زیرا در خاک های آلوده، بخش هم اندازه شن بیشتر و بخش هم اندازه سیلت+رس کمتر از آنها در خاک های نالوده است. گزارش ها نشان داده است که مواد آلی دانه ای درشت خاک به کمک جانداران خاکزی می توانند به دانه های کوچکتر شکسته شوند. بنابه نگره مفهومی Golchin et al., 1995 درباره چگونگی پیدایش، پایداری و فروپاشی ریزخاکدانه ها، می توان بالا بودن بخش هم اندازه سیلت+رس کربن آلی در خاک های بدون آلودگی را وابسته به فروزینیگی زیستی بهتر و خرد شدن مواد آلی دانه ای (POM) در هسته خاکدانه ها در خاک های نالوده دانست که به کمتر بودن بخش هم اندازه شن در این خاک ها در برابر آن در خاک های آلوده انجامیده است (Golchin et al., 1995). دگرگونی درصد کربن آلی در بخش هم اندازه شن و هم اندازه سیلت+رس به همراه کربن آلی از دست رفته در

آلی بخش سیلت+رس در خاک همدان وابسته به جایگزینی آن از دگرگونی بخش هم اندازه شن می‌تواند باشد (Safari Sinegani, 2015). زیرا این خاک پیش از تیمار با کاه گندم در برابر خاک لاهیجان کربن آلی بسیار کمی داشت (جدول ۱).

فراوانی دارند، مایه افزایش فراوانی و کارکرد ریزجانداران می‌شود که این به کاهش کوتاه مدت کربن آلی هوموسی خاک می‌انجامد (Safari-Sinegani, 2015). بخش هم-اندازه سیلت+رس در خاک آلوده و ناآلوده همدان در روز نخست به ترتیب ۲۴/۰۹ و ۲۲/۸۲ درصد بود که به ۱۹/۸۱ و ۲۰/۰۱ درصد رسید. کمتر بودن دگرگونی کربن

جدول ۵- تجزیه واریانس پیامد آلودگی کادمیم، گذشت زمان و برهم‌کنش آن‌ها بر بخش‌های گوناگون کربن آلی در خاک لاهیجان
Table 5- Analysis of variance for effect of Cd pollution, time duration and their interaction on different fractions of organic carbon in Lahijan soil

Mean Squares میانگین مربعات			منابع دگرگونی
کربن هم‌اندازه شن Sand size fraction	کربن هم‌اندازه سیلت+رس Silt+Clay size fraction	درجه آزادی df	Source of variation
74.305**	21.848**	3	گذشت زمان Time duration
19.701**	14.604**	1	آلودگی کادمیم Cd pollution
3.340**	1.147**	3	برهم‌کنش Interaction
0.138	0.115	16	خطا Error

* و ** به ترتیب نشانگر پیامد چشم‌گیر در پایه آماری ۵ و ۱ درصد است (* and ** Significant at 5 and 1% probability levels respectively)

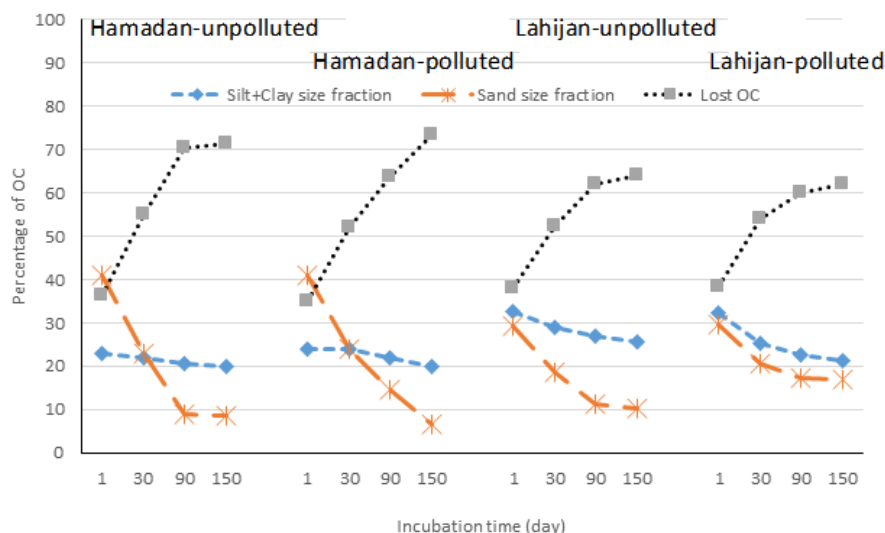
جدول ۶- آزمون میانگین بخش‌های کربن آلی هم‌اندازه سیلت+رس و هم‌اندازه شن (گرم بر کیلوگرم خاک) در خاک لاهیجان آلوده شده به کادمیم در زمان‌های گوناگون نمونه برداری

Table 6- Mean test of organic carbon in silt+clay size and sand size fractions (g kg⁻¹ soil) in Lahijan soil polluted with Cd in different sampling times

کربن هم‌اندازه شن Sand size fraction		کربن هم‌اندازه سیلت+رس Silt+Clay size fraction		زمان نمونه برداری و تیمار خاک Sampling time and soil treatment
انحراف معیار SD	میانگین‌ها Mean	انحراف معیار SD	میانگین‌ها Mean	
0.065	14.13 ^a	0.329	15.80 ^a	روز نخست، بدون آلودگی کادمیم 1 st day, control soil
0.854	14.24 ^a	0.635	15.53 ^a	روز نخست، با آلودگی کادمیم 1 st day, polluted soil
0.052	8.91 ^c	0.257	14.06 ^b	ماه نخست، بدون آلودگی کادمیم 1 st month, control soil
0.415	9.93 ^b	0.336	12.27 ^d	ماه نخست، با آلودگی کادمیم 1 st month, polluted soil
0.139	5.36 ^e	0.313	13.08 ^c	ماه سوم، بدون آلودگی کادمیم 3 rd month, control soil
0.244	8.38 ^{cd}	0.127	10.96 ^e	ماه سوم، با آلودگی کادمیم 3 rd month, polluted soil
0.325	5.03 ^e	0.175	12.35 ^d	ماه پنجم، بدون آلودگی کادمیم 5 th month, control soil
0.126	8.14 ^d	0.295	10.29 ^f	ماه پنجم، با آلودگی کادمیم 5 th month, polluted soil

میانگین‌های دارای دست کم یک حرف یکسان در هر ستون در پایه آماری ۵٪ ناهمبندی چشم‌گیری ندارند.

Means with a similar letter in each column is not significantly different at 5% probability level



شکل ۱- دگرگونی کربن آلی از دست رفته و کربن آلی بخش هم‌اندازه شن و هم‌اندازه سیلت+رس در خاک‌های همدان و لاهیجان آلوده نشده و آلوده شده

Figure 1- Changes of lost organic carbon and organic carbon in the silt+clay and sand size fractions in unpolluted and polluted Hamadan and Lahijan soils

در هر دو بخش به ویژه بخش هم‌اندازه شن بهتر نگهداری کرده است. این آشکارا نشان دهنده کارایی رس‌های خاک در پوشش دانه های آلی تازه افزوده شده به خاک است که در خاک همدان کمتر رخ داده است.

۲- روی هم رفته آلودگی خاک به کادمیم تندی فروزینش بخش های کارای کربن آلی (بخش هم‌اندازه شن) در خاک‌های همدان و لاهیجان را کاهش داد که این پیامد در خاک‌های لاهیجان نمایان تر بود. آلودگی خاک به کادمیم مایه نگهداری بهتر کربن آلی در بخش هم‌اندازه شن این خاک شد. پژوهش‌ها نشان داده اند که آلودگی خاک به فلزهای سنگین مایه کاهش تنفس برانگیخته^۳ و تنفس پایه خاک و بدنبال آنها رها شدن دی اکسید کربن از خاک می‌شود (Yazdan Panah *et al.*, 2008). هر چند در برخی گزارش‌ها آمده است که آلودگی خاک به فلز سرب مایه افزایش تنفس خاک شده است (Ausmus *et al.*, 1978; Chaney *et al.*, 1978) ولی در این پژوهش همانند گزارش‌های یاد شده در بالا، آلودگی خاک به کادمیم مایه کاهش فروزینگی زیستی کربن آلی بویژه بخش هم‌اندازه شن در خاک لاهیجان شده است. این پیامد کادمیم در خاک همدان کمتر بود. گذشته از بافت خاک این پیامد وابسته به کمتر شدن زیست فراهمی کادمیم در خاک همدان می‌تواند باشد. صفری سنجانی و

نتیجه گیری کلی

۱- گذشت زمان پیامد چشم‌گیری بر بخش‌های گوناگون کربن آلی خاک داشت و همه بخش‌های کربن آلی خاک‌ها با گذر زمان کاهش یافت. این کاهش در خاک همدان نمایان تر از خاک لاهیجان بوده است. خاک لاهیجان در آغاز دارای کربن آلی و ریزجانداران بیشتری بوده است و شاید گمان رود که این خاک با کیفیت بهتری که دارد، مواد آلی در آن بیشتر فروزینه شود ولی کربن آلی در آن بویژه در بخش سیلت و رس آن بیشتر از خاک همدان است. خاک همدان کربن آلی خود را بیشتر در بخش هم‌اندازه شن نشان داد که توان کمتری برای نگهداری کربن آلی در خاک دارد. اندوختن مواد آلی در خاک بویژه مواد آلی دانه‌ای به ریخت پوشیده^۱ وابسته به فراوانی رس در خاک است. محققان دریافتند که در کمبیسول‌های^۲ کشاورزی جنوب آلمان، مواد آلی دانه‌ای پوشیده شده با رس در خاک‌های گوناگون با افزایش درصد رس آنها به گونه چشم‌گیری افزایش می‌یابد (Kölbl & Kögel-Knabner, 2004). این نشان از کارکرد ویژه رس‌ها در کربن اندوزی در خاک دارد. در این پژوهش دیده شد که در هر دو خاک تندی فروزینگی کربن آلی بخش هم‌اندازه شن بسیار بیشتر از آن در بخش هم‌اندازه سیلت+رس بود و خاک لاهیجان با بافت ریزتر پس از ۵ ماه کربن آلی را

1- Occluded POM
2-Cambisols

3- Substrate induced respiration

چندانی ندارد. فاکتور آلودگی کادمیم در خاک لاهیجان بزرگتر از ۸۰ درصد ولی در خاک همدان کمتر از ۵۵ درصد بود. این نشان می‌دهد که پیامد آلودگی کادمیم بر فروزینگی زیستی کربن آلی در خاک‌های همدان کمتر است و کربن آلی افزوده شده به خاک از بخش هم‌اندازه شن آن بیشتر فروزینه شده و از خاک رها می‌شود.

جعفری منصف (Safari Sinegani & Jafari Monsef., 2016) با آلوده کردن خاک‌های همدان و لاهیجان به ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم دریافتند که در خاک‌های لاهیجان پس از ۳۶۰۰ ساعت کادمیم بیشتر به گونه تبدیلی و محلول (<۰.۵٪) مانده است ولی در خاک‌های همدان این بخش اندک (>۰.۱٪) است و بخش بزرگی از آن به ریخت پسمانده (<۰.۴۵٪) در آمده است که کارایی

Reference

- Alef K. and Nannipieri P. 1995. *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. London, Academic Press Harcourt Brace and Company Publishers, 576p.
- Almas A., Singh B. and Salbu B. 1999. Mobility of cadmium-109 and zinc-65 in soil influenced by equilibration time, temperature, and organic matter. *Journal of Environmental Quality*, 28: 1742–1750.
- Andersson A. and Nilsson K.O. 1972. Enrichment of trace elements from sewage sludge fertilizer in soils and plants. *Ambio*, 1: 176-179.
- Ausmus B. S., Dadson G. J. and Jacson D. R. 1978. Behavior of heavy metals in forest microcosms. *Water, Air and Soil Pollution*, 10: 19-26.
- Chaney W. R., Kelly J. M. and Strickland R. C. 1978. Influence of cadmium and zinc on carbon dioxide evolution from litter and soil from a black oak forest. *Journal of Environmental Quality*, 7: 115-119.
- Chen Y. P., Liu Q., Liu Y. J., Jia F. A. and He X. H. 2014. Responses of soil microbial activity to cadmium pollution and elevated CO₂. *Scientific Reports* 4: 4287.
- Clemente R., Escolar A. and Berna M.P. 2006. Heavy metals fractionation and organic matter mineralization in contaminated calcareous soil amended with organic materials. *Bioresource Technology*, 97: 1894-1901.
- Dumat C., Quenea K., Bermond A., Toïnen S. and Benedetti M. F. 2006. Study of the trace metal ion influence on the turnover of soil organic matter in cultivated contaminated soils. *Environmental Pollution*, 142: 521-529.
- Gee G. W. and Bauder J. W. 1986. Particle size analysis. In: Klut A. (Ed.), *Method of Soil Analysis-part 1. Physical and Mineralogical Methods*. Soil Science Society of America. Madison Wisconsin USA, pp. 383-411.
- Golchin A., Clarke P., Oades J. M. and Skjemsad J. O. 1995. The effects of cultivation on the composition of organic matter and structural stability of soils. *Australian Journal of Soil Research*, 33: 975-993.
- Insam H., Hutchinson T. C. and Reber H. H. 1996. Effects of heavy metal stress on the metabolic quotient of the soil microflora. *Soil Biology and Biochemistry*, 28(4–5): 691-694.
- Kabata-Pendias A. and Pendias H. 2011. *Trace Element in Soils and Plants*. Taylor & Francis Group. USA: CRC, press. 505p.
- Kölbl A. and Kögel-Knabner I. 2004. Content and composition of free and occluded particulate organic matter in a differently textured arable Cambisol as revealed by solid-state ¹³C NMR spectroscopy. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 167: 45–53.
- Pradip B. and Subhasish T. 2008. Fractionation and bioavailability of metals and their impacts on microbial properties in sewage irrigated soil. *Chemosphere*, 72: 543–550.
- Quenea K., Lamy I., Winterton P., Bermond A. and Dumat C. 2009. Interactions between metals and soil organic matter in various particle size fractions of soil contaminated with waste water. *Geoderma*, 149: 217–223.
- Safari Sinegani A. A. 2015. *Soil organic matter*. Hamadan, Iran: Bu-Ali Sina University Publication Center, 364p.

- Safari Sinegani A. A. and Jafari Monsef M. 2016. Chemical speciation and bioavailability of cadmium in the temperate and semiarid soils treated with wheat residue. *Environmental Science Pollution Research*, 23: 9750–9758.
- Safari Sinegani A. A., Sharifi Z. and Safari Sinegani M. 2010. *Methods in Applied Microbiology*. Hamadan, Iran: Bu-Ali Sina University Press, 525p.
- Shuman L. 1999. Organic waste amendments effect on zinc fractions of two soils. *Journal of Environmental Quality*, 28: 1442–1447.
- Sparks D.L., Page A.L., Helmke P.A. and Loeppert R.H. (ed.) 1996. *Methods of Soil Analysis- Part 3. Chemical methods*. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. Madison, WI, USA.
- Walkley A. and Black I. A. 1934. An examination of the Degtareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29–38.
- Wang Y., Shi J., Wang H., Lin Q., Chen X. and Chen Y. 2007. The influence of soil heavy metals pollution on soil microbial biomass, enzyme activity, and community composition near a copper smelter. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 67(1): 75-81.
- YazdanPanah N., Fotovat A., Lakzian A. and Hagniya G. H. 2008. The effect of heavy metals (Cd and Zn) on microbial respiration in calcareous and noncalcareous soils. *Journal of Water and Soil*, 22(1): 59-69.
- Zalaghi R. and Safari-Sinegani A. A. 2014. The importance of different forms of Pb on diminishing biological activities in a calcareous soil. *Chemistry and Ecology*, 30(5): 446-462.

Effect of cadmium pollution on soil organic carbon particle size fractions in Hamadan and Lahijan soils treated with wheat straw

Ali Akbar Safari Sinegani^{1*}, Milad Jafari Monsef²

(Received: April 2016

Accepted: January 2017)

Abstract

Soil pollution by heavy metals like cadmium (Cd) with lowering the activity of microorganism can change carbon sequestration in soil. Plant residues when applied in soil are in free particulate form. They will be covered by clay particle and finally will be transformed to organ mineral particles biologically. In this study, the effects of Cd addition (0 and 10 mg kg⁻¹ soil) and time duration (1 day, 1, 3 and 5 months) on particle size fraction of organic carbon (OC) were studied in Hamadan and Lahijan soils in 3 replicates. Sand size fraction (SSF) and silt+clay size fraction (Si+CSF) of soil organic carbon were analyzed by the particle size fractionation and OC determination by wet oxidation. The main part of OC in Hamadan soil was in SSF (14.12 mg kg⁻¹ soil or 40%) but it was in Si+CSF in Lahijan soil (15.80 mg kg⁻¹ soil or 32%) in 1st day of soil incubation. The rate of OC decrease in Hamadan soil was markedly higher than that in Lahijan soil. Soil pollution with Cd decreased OC biodegradation in both of the studied soils. It increased OC retention especially in Lahijan soil. This effect may be related to higher clay content and higher Cd bioavailability and contamination factor in Lahijan soil.

Keywords: Carbon sequestration, Particle size fractionation, Soil pollution, Wheat straw

1-Professor, Department of Soil Science, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran.

2-Graduate of MSc Soil Science, Department of Soil Science, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran.

*Corresponding Author Email: aa-safari@basu.ac.ir