

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 فلزاتی مانند کادمیم می‌تواند با کاهش کارکرد ریزجانداران، کربن‌اندوزی در خاک را دگرگون سازد. پسماندهای گیاهی پس از افزوده شدن به خاک، به شکل مواد آلی دانه‌ای آزاد هستند که با گذشت زمان به کمک ریزجانداران خاک، با رس‌ها پوشیده شده و در پایان به صورت هم‌تافته‌های آلی-کانی درمی‌آیند. 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 گردیده بودند، در سه تکرار ارزیابی 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 گردید. در روز نخست آزمایش، بیشترین کربن آلی خاک در بخش شن به میزان ۱۴/۱۲ گرم بر کیلوگرم خاک (۴۰ درصد) برای خاک همدان، و در خاک لاهیجان با بافتی ریزتر، در بخش سیلت+رس خاک، به میزان ۱۵/۸۰ گرم بر کیلوگرم خاک (۳۲ درصد) مشاهده شد. تندی کاهش کربن آلی با گذشت زمان در خاک همدان نسبت به خاک لاهیجان بیشتر بود. آلودگی خاک به کادمیم باعث کاهش تندی فروزینگی یا تجزیه کربن آلی در هر دو خاک شده و منجر به نگهداری کربن آلی بویژه در خاک لاهیجان گردید که این امر می‌تواند ناشی از مقادیر بالای رس، زیست‌فراهمی و فاکتور آلودگی کادمیم در این خاک باشد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی خاک، بخش‌بندی اندازه دانه‌ای، کاه گندم، کربن‌اندوزی

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 گلخانه‌اي دي اکسيد کربن از خاک يک فرآيند زيستی است که به ويژگي‌هاي گوناگون خاک بستگي دارد (Safari-Sinegani, 2015). بنابر اين نگهداري و کربن‌اندوزي در خاک مي‌تواند وابسته به آلودگي خاک به فلزات سنگين باشد (Dumat et al., 2006; Quenea et al., 2009). پيشرفت مرزهاي دانش و کاربردهاي آن در چند دهه گذشته، همراه با گسترش شهرها مایه پيدايش و رهاسازي برخي مواد آلاينده و گاهي ناشناخته‌ها به زيستگاه‌ها شده است. کاربرد کودها، زباله‌هاي کمپوست شده، لجن پساب‌ها و آبياري با آبهاي آلوده باعث افزايش فلزات سنگين در خاک مي‌شود که دشواري‌هاي گوناگوني در پي دارد. رفتار فلزات سنگين بسته به ويژگي‌هاي خاک، گوناگون است و مي‌تواند بر کارکرد زيستی خاک و بسياري از ريزجانداران خاک پيامد زيانباري داشته باشد. برخي از فلزات سنگين جنبش بيشتري داشته و مي‌توانند در نيمرخ خاک جابجا شوند. کادميم از جمله فلزات پرتحرک مي‌باشد که درجه سميت آن در مقايسه با ساير فلزات بيشتري است. بر اساس ديده‌گاه برخي از پژوهشگران، غلظت بحراني فلز کادميم در خاک، ۳ ميلي‌گرم بر کيلوگرم خاک گزارش شده است (Kabata-Pendias & Pendias, 2001). پژوهش‌هاي بسياري در زمينه بررسي تأثير مواد آلي خاک بر فلزات سنگين و زيست فراهمي آنها در خاک انجام شده است. مواد آلي تازه مانند مانده‌هاي گياهي و کودهاي دامی با ترکيب‌هاي آلي محلول فراوان، مي‌توانند فراهمي فلزات را در زمان کوتاهی پس از افزودن آنها افزايش دهند (Almas et al., 1999; Clemente et al., 2006; Safari-Sinegani & Jafari Monsef, 2016). درحاليکه مواد آلي ديگري نظير کمپوست و پيت با دارا بودن مواد هوميکي و پايدارتر مي‌توانند فراهمي فلزات سنگين را از طريق جذب و ايجاد کمپلکس کاهش دهند (Shuman, 1999). با اين حال، پيامد آلودگي خاک به فلزات سنگين بر مواد آلي خاک چندان روشن نمي‌باشد. انباشتگي بيش از اندازه فلزات سنگين مانند کادميم در خاک منجر به کاهش فروزينگي^۱ مواد آلي (Chen et al., 2009; Quenea et al., 2014)، کاهش گوناگوني زيستی و ساختار جمعيتي ريزجانداران (Andersson & Nilsson, 1972) و کاهش کارآيي آنزيم‌ها (Pradip & Subhasish, 2008; Wang et al., 2007) مي‌شود و از سوي ديگر افزودن

ماده آلي و کارکرد ريزجانداران بر زيست فراهمي فلزات در خاک پيامدهاي ويژه‌اي دارد. در برخي از گزارش‌ها آمده است که آلودگي خاک به فلزات سنگين از قبيل سرب، از طريق افزايش تنش، باعث افزايش بهرسوختي^۲ (qCO_2) کربن آلي و تنفس خاک شده است (Ausmus et al., 1978; Chaney et al., 1978; Insam et al., 1996). وجود تنش در زيستگاه‌هاي دشوار، ريزجانداران براي بقاء خود، بخش بزرگي از کربن آلي بدست آمده را اکسيد نموده و صرف تنفس مي‌نمايند.

در بسياري از موارد آلودگي خاک به فلزات سنگين تأثير منفي بر زندگي و کارکرد ريزجانداران و تندی فروزينگي مواد آلي داشته است. جداسازي خاکدانه‌ها و بررسي فلزات سنگين و کربن آلي آنها در خاک‌هاي آلوده نشان داد که فلزات سنگين و کربن آلي کهنه خاک بيشتري در دانه‌هاي ريز انباشته مي‌گردد. از سوي ديگر پويابي و تندی فروزينگي کربن آلي خاکدانه‌هاي درشت که آلودگي فلزي کمتری دارند، بسيار بيشتري از پويابي آن در خاکدانه‌هاي ريز است (Dumat et al., 2006; Quenea et al., 2009). هر چند در اين پژوهش‌ها انباشتگي کربن آلي در خاکدانه‌ها به گونه‌اي به آلودگي خاک به فلزات سنگين پيوند خورده است ولي آگاهی چنداني درباره پيامد آلودگي خاک بر دگرگوني اشکال گوناگون کربن آلي در خاک و کربن اندوزي در آن در برابر نمونه خاكي غيرآلوده، يافت نشد. هدف از اين پژوهش ارزيابي پيامد آلودگي با کادميم بر چگونگي کاهش بخش‌هاي گوناگون کربن آلي پس از افزودن مانده‌هاي گياهي به خاک‌هاي با ويژگي‌هاي فزيکي، شيميايي و زيستی بسيار ناهمانند بود که در دو نمونه از خاک‌هاي متفاوت همدان و لاهيجان انجام گرديد. فرضيه اين پژوهش آن است که تأثير آلوده شدن خاک با فلز کادميم بر اشکال گوناگون کربن آلي و کربن‌اندوزي خاک، بسته به ويژگي‌هاي دو نمونه خاک مورد مطالعه متفاوت است.

مواد و روش‌ها

نمونه خاک‌هاي مورد مطالعه به ترتيب از خاک‌هاي کشاورزي همدان با آب و هوای نيمه خشک ($34^{\circ} 56' 48''$ شمالي و $48^{\circ} 28' 23''$ شرقي) و خاک‌هاي چاينکاري گيلان (لاهيجان) ($37^{\circ} 11' 59''$ شمالي و $50^{\circ} 1' 51''$ شرقي) با آب و هوای مرطوب که داراي ويژگي‌هاي ناهمانند بودند،

دانه‌ای^۴ 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 نمودار در آب مقطر با نسبت ۱:۲/۵ آمیخته و برای ۱۶ ساعت روی تکان دهنده (شیکر) رفت و برگشتی با سرعت ۲۵۰ دور در دقیقه تکان داده شدند. این روش پراکنش، منجر به پخش کامل خاکدانه‌های درشت می‌گردد. از آنجایی که تکان دادن، انرژی کافی برای خرد کردن خاکدانه‌های ریز (۰/۵۳ میلی‌متر) را ندارد، از روش فرآوادی^۵ نیز به مدت ۱۵ دقیقه (مدل دستگاه فرآوادی: T310/H، با فرکانس ۳۵ کیلوهرتز) بهره‌گیری شد. برای آگاهی از خرد شدن همه خاکدانه‌های ریز، درصد دانه‌های نخستین پس از فرآوادی، با استفاده از داده‌های بدست آمده از بافت خاک مورد سنجش قرار گرفت. سپس سوسپانسیون از الک ۰/۵۳ میلی‌متر گذرانده شد تا دانه‌های شن و ماده آلی دانه‌ای^۶ (POM) از آن جدا گردد، سپس نمونه بدست آمده در آون در دمای ۵۰ درجه سلسیوس قرار داده شد و وزن بخش شن ارزیابی گردید (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 با هم (سیلت+رس) وزن گردیدند. کربن آلی این بخش نیز به روش اکسیداسیون تر (Walkley & Black, 1934) اندازه‌گیری شد. با داشتن درصد شن و رس خاک و اندازه کربن آلی در این بخش، گرم کربن آلی این بخش در کیلوگرم خاک نیز برآورد و گزارش شد. در پایان، پردازش داده‌های مربوط به اندازه‌گیری بخش‌های کربن آلی خاک‌ها، به کمک نرم‌افزار Excel و آزمون آماری با نرم افزار SAS انجام شد. پس از تجزیه واریانس داده‌ها، میانگین ویژگی‌های بررسی شده در تیمارها با آزمون دانکن در سطح آماری ۵ درصد سنجیده و آزمون شدند. همان‌گونه که پیش‌تر یاد شد، برای هر خاک بطور جداگانه آزمایشی دو فاکتوره با طرح کاملاً تصادفی اجرا گردید. فاکتور نخست آلودگی با کادمیم در دو سطح (صفر و ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) و

در سه تکرار و با روش مرکب نمونه‌برداری شدند. نمونه‌های خاک هوا خشک شده 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)، هدایت الکتریکی (در عصاره ۱:۵ خاک به آب)، کربنات کلسیم معادل خاک (به روش تیتراسیون برگشتی اسید باقیمانده با هیدروکسید سدیم)، ظرفیت 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 گردیدند (Sparks *et al.*, 1996). همچنین از ویژگی‌های بیولوژیک خاک فراوانی قارچ‌ها، باکتری‌ها و اکتینومیست‌ها به روش پرگنه شماری یا شمارش کلنی‌ها^۳ اندازه‌گیری شدند (Safari-Sinegani *et al.*, 2010; Alef & Nannipieri, 1995).

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 به هر یک از خاک‌ها اضافه شده و میزان رطوبت خاک در ظرفیت زراعی در خاک‌های تیمار شده با مواد آلی اندازه‌گیری گردید. برای هر تکرار از خاک‌های همدان و لاهیجان (۶ نمونه خاک) نیمی بدون تیمار با کادمیم و نیمی دیگر با ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم از نمک نیتراتی آن به شکل محلول و با آبشان تیمار شد (Safari-Sinegani & Jafari, 2016). در طول مدت زمان اجرای آزمایش، رطوبت خاک‌ها همواره میان ۰/۵۰ تا ۰/۷۵ ظرفیت زراعی خود (FC) نگهداری گردید. بنابراین برای انجام این پژوهش از دو آزمایش فاکتوریل جداگانه در خاک‌های همدان و لاهیجان با طرح کاملاً تصادفی بهره‌گیری شد. فاکتورهای آزمایش برای هر خاک شامل 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) بود که در سه تکرار از خاک نمونه‌برداری شده انجام شد.

بخش‌بندی کربن آلی خاک

در این پژوهش بخش‌های هم‌اندازه شن و هم‌اندازه سیلت+رس کربن آلی خاک‌ها، به روش بخش‌بندی اندازه

6-Particulate organic matter

3- Colony count
4- Particle size fractionation
5-Ultrasonification

آن نیز به ترتیب ۵۳۳/۳۳، ۵/۷۸، ۹۲/۱۷ و ۶۲/۶۶ گرم بر کیلوگرم بود.

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

تجزیه واریانس داده‌های بدست آمده از اندازه‌گیری بخش‌های گوناگون کربن آلی در خاک همدان نشان داد که اثر گذشت زمان بر هر دو بخش کربن آلی جداسازی شده به روش فیزیکی (کربن هم‌اندازه شن، کربن هم‌اندازه سیلت+رس) در سطح 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 معنی‌دار شده است. این امر احتمالاً 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 معنی‌دار نیست. در مقابل 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.

بطور قابل‌ملاحظه‌ای مقدار 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. هم‌اندازه شن جای گرفته است که بخش سبک ماده آلی خاک را تشکیل می‌دهد. این بخش از بخش‌های کارا و واکنش‌دهنده مواد آلی خاک است که به تندی فروزینه می‌شود (Safari-Sinegani, 2015).

فاکتور دوم زمان در ۴ سطح (۱ روز، ۱ ماه، ۳ ماه و ۵ ماه) بود. در این پژوهش یافته‌های روز نخست نماینده واکنش‌های تند فیزیکوشیمیایی، ماه نخست نماینده بیشینه واکنش‌های زیستی، ماه سوم نماینده پایان واکنش‌های کند زیستی و ماه پنجم نماینده پایان همه واکنش‌ها و یکنواخت شدن است.

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 ارائه شده 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. خاک همدان با pH بالایی (۷/۷) داشت در حالیکه pH خاک لاهیجان پایین و اسیدی (۵/۶) بود. با توجه به اینکه هدایت الکتریکی خاک لاهیجان همدان به ترتیب ۰/۱۲ و ۰/۱۹ دسی‌زیمنس بر متر بود، هر دو خاک از گونه خاک‌های با شوری پایین بشمار می‌آیند. ظرفیت 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. مقدار نیتروژن خاک‌ها، برای خاک همدان و لاهیجان نیز به ترتیب ۰/۷۴ و ۱/۵۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. کربن آلی خاک لاهیجان بیشتر از خاک همدان بود، بطوریکه مقدار این شاخص در خاک لاهیجان و همدان به ترتیب ۲۱/۶۹ و ۷/۹۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم گردید. همانگونه که مشاهده می‌شود خاک لاهیجان دارای ویژگی‌های بهتری برای زندگی ریزجانداران خاک است و فراوانی قارچ‌ها، اکتینومیسیت‌ها و باکتری‌ها در آن بیشتر می‌باشد. جدول ۲ برخی از ویژگی‌های شیمیایی ماده آلی به کار رفته را نشان می‌دهد. کاه گندم به کار رفته دارای $pH = 7.27$ و هدایت الکتریکی ۰/۲ دسی‌زیمنس بر متر است. کربن آلی، نیتروژن، C/N و ماده جامد محلول

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 Unit	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	نیتروژن کل Total nitrogen
0.20	10.69	0.60	14.27	-	نسبت کربن به نیتروژن 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 اکتینومیسیت‌ها Log actinomycetes

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی کاه گندم افزوده شده به خاک
Table 2- The examined chemical properties of wheat residue added to soil

انحراف معیار SD	میانگین Mean	واحد Unit	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	نیتروژن کل Total nitrogen
2.8	92.17	-	نسبت کربن به نیتروژن 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

میانگین مربعات Mean Squares			
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 نمونه‌برداری

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 نمونه‌برداری 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}	
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٪ ناهمبندی چشم‌گیری ندارند.

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

این یافته در بخش هم‌اندازه شن تنها در ماه سوم نمونه-برداری نمایان است، بطوریکه در این بخش مقدار کربن خاک آلوده (۵/۰۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) ۱/۶۱ برابر بیشتر از خاک غیرآلوده (۳/۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. این امر نشان می‌دهد که آلودگی خاک به کادمیم تأثیر بارزتری بر بخش‌های ریزتر کربن آلی در خاک دارد. در خاک همدان

مقدار کربن در اندازه سیلت+رس در سه ماه آغازین در نمونه‌های آلوده به کادمیم در مقایسه با نمونه‌های بدون آلودگی به گونه چشم‌گیری بیشتر بود ($P \leq 0.05$). آلودگی خاک به فلز کادمیم باعث کاهش تندی فروزینگی و بالا بودن کربن آلی در بخش هم‌اندازه سیلت+رس شده است.

تندی فروزینگی بخش هم‌اندازه شن به اندازه‌ای بالا است که وابستگی آن به آلودگی خاک به فلز کادمیم از دیدگاه آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار شده است.

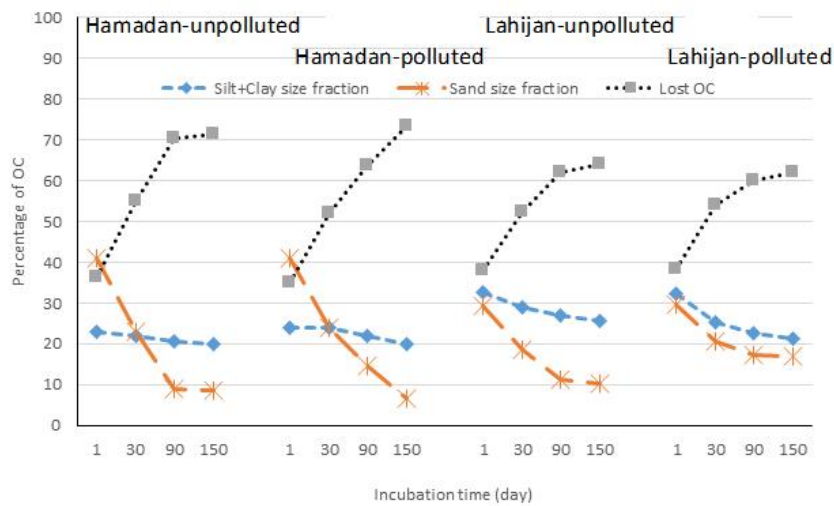
پیامد آلودگی کادمیم و گذشت زمان بر بخش‌های گوناگون کربن آلی در خاک لاهیجان

تجزیه واریانس داده‌های اندازه‌گیری کربن آلی خاک لاهیجان نشان داد که از دیدگاه آماری پیامدهای گذشت 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 شده‌اند، پذیرفتنی است. ولی آنچه نیاز به یادآوری دارد رفتار ناهمبند آلودگی کادمیم در این خاک‌ها است. در خاک لاهیجان پیامد آلودگی کادمیم بر بخش‌های اندازه‌گیری شده کربن آلی نمایان‌تر است. مقایسات 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 ارائه شده است. همانند آنچه که در خاک همدان دیده شد، اندازه کربن آلی در بخش‌های شن و همچنین سیلت+رس خاک با گذشت زمان کاهش یافته است ولی تندی این کاهش در خاک لاهیجان با اینکه فراوانی ریزجانداران در آن بیشتر بود (جدول ۱) بسته به بافت ریزتری که دارد، کمتر است (Safari-Sinegani, 2015). در روز نخست آزمایش، کربن آلی در این خاک به اندازه ۱۵/۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود و بیشتر در بخش سیلت+رس خاک انباشته گردیده بود، البته با گذشت زمان مقدار آن در هر دو بخش بررسی شده کاهش یافت (جدول ۶). به هر ترتیب کربن آلی در بخش هم‌اندازه شن در این خاک نیز در روز نخستین آزمایش در تیمارهای با و بدون آلودگی کادمیم اختلاف چشم‌گیری با یکدیگر نداشتند، ولی با گذشت چند روز از آغاز آزمایش، تندی فروزینش ماده آلی بخش هم‌اندازه شن در تیمارهای بدون آلودگی کادمیم افزایش یافته و از اندازه کربن آلی این بخش کاسته شد. به گونه‌ای که از روز سی‌ام تا پایان آزمایش، بطور پیوسته اندازه کربن آلی بخش هم‌اندازه شن در خاک‌های آلوده نسبت به خاک‌های غیرآلوده به طور قابل‌ملاحظه‌ای بیشتر بود.

کربن آلی خاک لاهیجان در بخش هم‌اندازه سیلت+رس نیز در روز نخستین آزمایش در تیمارهای با و بدون آلودگی کادمیم اختلاف آماری چشم‌گیری با یکدیگر نداشتند، ولی با گذشت زمان کربن آلی در بخش هم‌اندازه سیلت+رس خاک در نمونه‌های آلوده به کادمیم کمتر از مقدار آن در خاک غیرآلوده شده است. آلودگی خاک به کادمیم باعث شده که اندازه کربن آلی در این بخش، در نمونه‌های آلوده به کادمیم، به گونه چشم‌گیری (در پایه آماری ۵ درصد) در مقایسه با نمونه‌های دیگر کمتر شود. این یافته نشان می‌دهد که آلودگی خاک به کادمیم تندی فروزینش و دگرگونی بخش هم‌اندازه شن را به بخش هم‌اندازه سیلت+رس کاهش داده است، چراکه در خاک‌های آلوده، بخش هم‌اندازه شن بیشتر و بخش هم‌اندازه سیلت+رس کمتر از مقدار آنها در خاک‌های غیرآلوده است. گزارش‌ها نشان داده است که مواد آلی دانه‌ای درشت خاک به کمک جانداران خاکزی می‌توانند به دانه‌های کوچکتر شکسته شوند. بنا به دیدگاه مفهومی درباره چگونگی پیدایش، پایداری و فروپاشی ریزخاکدانه‌ها، می‌توان بالا بودن بخش هم‌اندازه سیلت+رس کربن آلی در خاک‌های بدون آلودگی را به فروزینگی زیستی بهتر و خرد شدن مواد آلی دانه‌ای (POM) در هسته خاکدانه‌ها در خاک‌های غیرآلوده مرتبط دانست که به کمتر بودن بخش هم‌اندازه شن در این خاک‌ها نسبت به خاک‌های آلوده منجر شده است (Golchin et al., 1995). دگرگونی درصد کربن آلی در بخش هم‌اندازه شن و هم‌اندازه سیلت+رس به همراه کربن آلی از دست رفته در خاک‌های بررسی شده در شکل ۱ نشان داده شده است. همانگونه که دیده می‌شود در خاک همدان بخش بزرگی از کربن در آغاز در بخش هم‌اندازه شن خود را نشان می‌دهد (۴۰/۸ درصد). در مقابل، در خاک لاهیجان کربن آلی این بخش (۲۹ درصد) نزدیک بخش هم‌اندازه سیلت+رس (۳۲ درصد) است. این بخش هم‌اندازه شن در هر دو خاک بیش‌تر به دلیل 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 غیرآلوده و ۶/۷۱ درصد در خاک آلوده رسیده است. این بخش در خاک لاهیجان از نزدیک ۲۹ درصد در روز نخست به ۱۰/۴۰ درصد در خاک غیرآلوده و ۱۶/۸۳ درصد در خاک آلوده می‌رسد. بنابراین در خاک همدان آلودگی پیامد چندانی بر تندی کاهش این بخش نداشته ولی در خاک لاهیجان کربن

که پیامد منفی آلودگی خاک به کادمیم در خاک لاهیجان بیشتر است.

آلی بخش هم‌اندازه شن در خاک آلوده به مقدار بیشتری فروزینه شده است. این امر بار دیگر نشان‌دهنده‌ی آن است



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

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

دست‌خورده لاهیجان پس از افزودن کاه گندم باشد که باعث افزایش فروزینگی کربن آلی هوموسی آن شده است. افزودن مانده‌های گیاهی به خاک‌هایی که کربن آلی هوموسی فراوانی دارند، منجر به افزایش فراوانی و کارکرد ریزجانداران می‌شود که این امر به کاهش کوتاه‌مدت کربن آلی هوموسی خاک می‌انجامد (Safari-Sinegani, 2015). بخش هم‌اندازه سیلت+رس در خاک آلوده و غیرآلوده 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 آلی بخش سیلت+رس در خاک همدان می‌تواند به جایگزینی آن از دگرگونی بخش هم‌اندازه شن وابسته باشد (Safari Sinegani, 2015). چراکه این خاک پیش از تیمار با کاه گندم در برابر خاک لاهیجان کربن آلی بسیار کمی داشت (جدول ۱).

در این پژوهش درصد کربن از دست رفته در خاک همدان غیرآلوده و آلوده در زمان ۱۵۰ روز نگهداری خاک به ترتیب ۷۱/۵ و ۷۳/۵ درصد و در خاک لاهیجان بسیار کمتر و در خاک غیرآلوده و آلوده به ترتیب ۶۴/۰۵ و ۶۱/۸۸ درصد بود. بنابراین در خاک لاهیجان نه تنها فراوان‌تر بودن رس به نگهداری کربن در خاک کمک کرده است بلکه در خاک آلوده، بالا بودن زیست‌فراهمی کادمیم و فاکتور آلودگی (Safari-Sinegani & Jafari Monsef, 2016) منجر به کاهش کارکرد ریزجانداران در فروزینگی زیستی کربن و از دست رفتن آن شده است (Zalaghi & Safari-Sinegani, 2014). دگرگونی کربن آلی بخش هم‌اندازه رس در خاک لاهیجان بیش‌تر خاک همدان است. این بخش در خاک آلوده و غیرآلوده 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

جدول ۵- تجزیه واریانس پیامد آلودگی کادمیم، گذشت زمان و برهم کنش 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

میانگین مربعات Mean Squares			منابع دگرگونی Source of variation
کربن هم‌اندازه شن Sand size fraction	کربن هم‌اندازه سیلت+رس Silt+Clay size fraction	درجه آزادی df	
74.305**	21.848**	3	گذشت زمان Time duration
19.701**	14.604**	1	آلودگی کادمیم Cd pollution
3.340**	1.147**	3	برهم کنش 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 نمونه‌برداری
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 ۵/۵/ ناهمبندی چشم‌گیری ندارند.

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

نتیجه‌گیری کلی

از خاک لاهیجان بود. در آغاز، خاک لاهیجان دارای کربن آلی و ریزجاندانان بیشتری بود. 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

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 هم‌اندازه بارزتر

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 باعث 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 باعث کاهش فروریختگی زیستی کربن آلی بویژه در بخش هم‌اندازه شن در خاک لاهیجان شده است. این پیامد کادمیم در خاک همدان کمتر بود. گذشته از بافت خاک، این پیامد می‌تواند به کمتر شدن زیست فراهمی کادمیم در خاک همدان وابسته باشد. صفری سنجانی و 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 شکل تبدالی و محلول (<۰.۵٪) مانده است ولی در خاک‌های همدان این بخش اندک (>۰.۱٪) بوده و بخش بزرگی از آن به شکل پسمانده (<۰.۴۵٪) درآمد است که کارآیی چندانی ندارد. فاکتور آلودگی کادمیم در خاک لاهیجان بزرگتر از ۸۰ درصد ولی در خاک همدان کمتر از ۵۵ درصد بود. این امر نشان‌دهنده ی آن است که پیامد آلودگی کادمیم بر فروریختگی زیستی کربن آلی در خاک‌های همدان کمتر است و کربن آلی افزوده شده به خاک از بخش هم‌اندازه شن آن بیشتر فروریزه شده و از خاک رها می‌شود.

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 شکل پوشیده^۷ وابسته به فراوانی رس در خاک است. محققان دریافتند که در کمبیسول‌های^۸ کشاورزی جنوب آلمان، مواد آلی دانه‌ای پوشیده شده با رس در خاک‌های گوناگون با افزایش درصد رس آنها به گونه چشم‌گیری افزایش می‌یابد (Köbl & Kögel-Knabner, 2004). این امر نشان از کارکرد ویژه رس‌ها در کربن‌اندوزی در خاک دارد. در این پژوهش دیده شد که در هر دو خاک تندی فروریختگی کربن آلی بخش هم‌اندازه شن بسیار بیشتر از مقدار آن در بخش هم‌اندازه سیلت+رس بود و خاک لاهیجان با بافت ریزتر پس از ۵ ماه کربن آلی را در هر دو بخش به ویژه بخش هم‌اندازه شن بهتر نگهداری کرده است. این امر به وضوح نشان‌دهنده کارآیی رس‌های خاک در پوشش دانه‌های آلی تازه افزوده شده به خاک است که در خاک همدان کمتر رخ داده است. ۲- بطورکلی آلودگی خاک به کادمیم تندی فروریختن بخش‌های کارای کربن آلی (بخش هم‌اندازه شن) در خاک‌های همدان و لاهیجان را کاهش داد که این پیامد در خاک‌های لاهیجان نمایان‌تر بود. آلودگی خاک به کادمیم باعث نگهداری بهتر کربن آلی در بخش هم‌اندازه شن این خاک شد. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که آلودگی خاک به فلزهای سنگین منجر به کاهش تنفس برانگیخته^۹ و تنفس

Reference

- Alef K., and Nannipieri P. 1995. *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. Academic Press Harcourt Brace and Company Publishers, London, 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.

9- Substrate induced respiration

7- Occluded POM
8-Cambisols

- 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. Bu-Ali Sina University Publication Center, Hamadan, Iran, 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. Bu-Ali Sina University Press, Hamadan, Iran, 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 Loepfert R.H. 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 replications. 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