نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
جلد چهارم، شماره سوم، ۱۳۹۳
http://ejsms.gau.ac.ir

# پیامد کاربرد کودهای آلی گیاهی بر بخش‌های شیمیایی و زیستی کربن آلی خاک

*علی‌اکبر صفری‌سنجانی[1] و منیره افضل‌پور[2]
[1]استاد گروه علوم خاک، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، [2]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان
تاریخ دریافت: ۹۲/۲/۱۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۹/۱۷

## چکیده

یک راه برای بهبود دادن ویژگی‌های زیستی، شیمیایی و فیزیکی خاک و نگهداشت کربن در خاک، افزایش درون‌داد کربن آلی از راه برگرداندن مانده‌های گیاهی و کودهای جانوری است. نمونه‌های خاک برداشت شده از لایه ۳۰-۰ سانتی‌متر یک زمین کشاورزی با مانده‌های یونجه، گندم و خاک اره آسیاب شده (۲ میلی‌متر) در نسبت ۲۰ گرم کود در ۱ کیلوگرم وزن خشک خاک تیمار شد و در دمای آزمایشگاه و رطوبت گنجایش مزرعه‌ای برای ۱۲۰ روز نگهداری شد. پس از گذشت ۱، ۲۰، ٦۰ و ۱۲۰ روز از آغاز آزمایش، زیرنمونه‌هایی از هر نمونه خاک برای بررسی‌ها برداشت شدند. آزمایش با یک طرح کاملاً تصادفی در چارچوب فاکتوریل با فاکتورها مانده گیاهی و گذشت زمان و در ۳ تکرار انجام شد. کربن زیتوده ریزجانداران خاک در همه تیمارها در برابر شاهد، افزایش یافت و در زمان ۲۰ روز به بیش‌ترین اندازه خود در تیمار کاه یونجه (۰/٤۷۲ گرم بر کیلوگرم) و در تیمار کاه گندم (۰/۳۷۲ گرم بر کیلوگرم) رسید. ولی کربن زیتوده در تیمار خاک اره به گونه آهسته و پیوسته‌ای با زمان افزایش یافت. کاربرد مانده‌های گیاهی به‌ویژه کاه یونجه و کاه گندم در خاک، بخش‌های کربن محلول در آب سرد و گرم را به اندازه چشم‌گیری افزایش داد. این بخش‌ها در روزهای نخست آزمایش در تیمار کاه یونجه به‌ترتیب ۱/۷۵ و ۷/۱۵ گرم بر کیلوگرم و در تیمار کاه گندم به‌ترتیب ۱/۱۳ و ٤/٤۰ گرم بر کیلوگرم خاک بودند که به اندازه چشم‌گیری بیش‌تر از آن‌ها در تیمار خاک اره (به‌ترتیب ۱/۰۷ و ۲/۹۲ گرم بر کیلوگرم) هستند. اگرچه فولویک اسید عصاره‌گیری شده در روزهای نخست انکوباسیون خاک در تیمارهای کاه یونجه و کاه گندم به اندازه چشم‌گیری بیش‌تر از خاک تیمار نشده بود ولی در روزهای پایانی ناهمانندی آن‌ها با خاک تیمار نشده چشم‌گیر نبود. کربن آلی

* مسئول مکاتبه: aa-safari@basu.ac.ir

بخش هیومیک اسید تنها در خاک‌های تیمار شده با کاه یونجه بیش از آن در خاک بدون مانده گیاهی بود که در این تیمار پس از ١٢٠ روز به بیش‌ترین اندازه خود رسید (٥/٠٤ گرم بر کیلوگرم). بررسی روندهای دگرگونی و همبستگی‌های میان بخش‌های شیمیایی و زیستی کربن آلی خاک نشان داد که بخش محلول در باز و اسید (فولویک اسید) و نیز کربن آلی بخش محلول در آب سرد و گرم همبستگی و هم‌زمانی ویژه‌ای با کربن آلی زیتوده ریزجانداران دارند.

***واژه‌های کلیدی:*** مواد آلی خاک، بخش‌بندی شیمیایی، مانده‌های گیاهی، انکوباسیون خاک

**مقدمه**

کشاورزی آلی بهره نگرفتن از کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌های ساختگی[1]، تلاش برای نگهداری کیفیت زیستگاه‌ها و افزایش برهم‌کنش‌های سودمند بیولوژیک در زیستگاه‌ها می‌باشد (واندرمر، ١٩٩٥). کاربرد پی در پی کودهای آلی در کشاورزی آلی، ماده آلی خاک را در اندازه بالاتری نگهداری می‌کند (ویو و همکاران، ٢٠٠٤؛ واتسن و همکاران، ٢٠٠٢). افزایش ماده آلی خاک و در پی آن، افزایش اندوخته[2] آلی عناصر در بسیاری از بررسی‌ها برای سیستم‌های کشاورزی آلی گزارش شده است (استاکدل و همکاران، ٢٠٠١).

ماده آلی خاک (SOM)[3]، گروه نایکنواختی از مواد گوناگون مانند مانده‌های گیاهی، جانوری و ریزجانداری تازه، با تجزیه میانه و هوموسی شده به همراه مواد ساخته شده ریزجانداران در خاک است (صفری‌سنجانی، ٢٠٠٣). آن‌ها گروه ناهمگنی از ترکیب‌های آلی با ترکیب شیمیایی و تندی فروزینگی[4] و زمان بازگشت[5] ناهمانند می‌باشند (اودس، ١٩٩٣) که می‌توانند در ٣ دسته گروه‌بندی شوند: الف- مانده‌های تازه و نیمه‌تجزیه شده گیاهی و جانوری (ماده آلی واکنش‌دهنده)، ب- ترکیب‌های به‌دست آمده از فروزینگی مانده‌های آلی و ترکیب‌هایی که با ریزجانداران دوباره در خاک ساخته می‌شوند (مانند پروتئین‌ها، اسیدهای آلی و کربوهیدرات‌های ریزجانداران)، ج- مواد هوموسی با وزن مولکولی بالا (مانند اسید فولویک، اسید هیومیک و هیومین) که تا اندازه‌ای در برابر تجزیه پایدار هستند (صفری‌سنجانی، ٢٠٠٣).

1- Synthetic
2- Pool
3- Soil Organic Matter
4- Biodegradation
5- Turnover Time

داکسبوری و همکاران (۱۹۸۹) اندوخته کربن آلی خاک را بر پایه زمان چرخش[1] و فراهمی آن‌ها برای فرایندهای زیستی به دو بخش گروه‌بندی کردند. الف- بخش واکنش‌دهنده یا پویا و ب- بخش پایدار.

بخش واکنش‌دهنده، همان مانده‌های گیاهی و جانوری افزوده شده به خاک می‌باشند که به اندازه کمی فروزینه شده و سرچشمه آن‌ها هنوز روشن بوده و ریزجانداران به سادگی از آن‌ها بهره‌گیری می‌کنند. اندوخته واکنش‌دهنده بخش کوچکی از ماده آلی خاک را پدید آورده که زمان ماندگاری کوتاه (ماه‌ها یا چندین سال) داشته و در کیفیت خاک کارایی ویژه‌ای دارد (ویل، ۱۹۹۲). اندوخته واکنش‌دهنده ماده آلی کارایی ویژه‌ای در دانه‌بندی خاک، کلاته کردن فلزهای کم نیاز گیاهی و افزایش زیست‌فراهمی عناصر غذایی دارد (بلیر و کراکر، ۲۰۰۰) و به خوبی به دگرگونی روش کاربری زمین و شیوه بهره‌وری از خاک پاسخ می‌دهد. اندوخته واکنش‌دهنده ماده آلی در برابر همه ماده آلی خاک در کنترل دگرگونی ویژگی‌های خاک کارایی بیش‌تری دارد (لاولاند و وب، ۲۰۰۳).

در برابر آن، اندوخته پایدار و ناواکنش‌دهنده کربن آلی با زمان ماندگاری بالا (چند قرن) از ترکیب‌های سختی که بسیار پایدار به تجزیه هستند، پدید آمده‌اند. آن‌ها برای انباشته شدن در خاک شایستگی دارند. ماده آلی ناواکنش‌دهنده و پایدار همبستگی بزرگی با توان ماندگاری کربن خاک در زمان‌های دراز، گنجایش تبادل کاتیونی و گنجایش نگهداری آب خاک دارد. اندوخته‌های ماده آلی سازنده بخش واکنش‌دهنده شامل: کربن قابل کانی شدن، کربن زیتوده ریزجانداران، کربن محلول، مواد آلی دانه‌ای و فروزینه نشده یا با فروزینگی کم (POM)[2] می‌باشد (هاینس، ۲۰۰۵).

کربن زیتوده ریزجانداران، کربن بدن ریزجانداران می‌باشد که با مرگ آن‌ها وارد زنجیره کربن خاک می‌شود. کربن زیتوده ریزجانداران مهم‌ترین بخش واکنش‌دهنده ماده آلی در خاک می‌باشد (اسمیت و همکاران، ۲۰۰۱).

کربن محلول نیز کربنی است که با یون‌های کانی ترکیب شده است (علی‌اصغرزاده، ۱۹۹۸). ماده آلی محلول دامنه گسترده‌ای از ترکیب‌های آلی مانند اسیدهای آلی آلیفاتیک، فنول‌ها، اسیدهای فنولیک، اسیدهای آمینه آزاد، کربوهیدرات‌ها و مولکول‌های پیچیده هوموسی با وزن مولکولی ناهمانندی را در برمی‌گیرد (استیونسن، ۱۹۹٤).

1- Turnover Time
2- Particulate Organic Matter

کاربرد نهاده‌هایی مانند کودهای شیمیایی برای دست‌یابی به کارکرد گیاهی بالاتر، در ایران با آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک، سبب شده است که جایگاه مواد آلی کم‌تر شناخته شود، به‌گونه‌ای کـه در بیش از ٦٠ درصد خاک‌های زیر کشت در ایران، اندازه کربن آلی کم‌تر از ١ درصد و در بخش بزرگی از کشور کم‌تر از ٠/٥ درصد می‌باشد (صفری‌سنجانی، ٢٠٠٣). هر چند بهره‌گیـری از کودهـای کـانی شاید تندترین راه برای افزایش حاصل‌خیزی خاک به‌شمار رود، ولی هزینه‌های کاربرد کود، آلودگی و به هم ریختن محیط زیست و خاک نگران‌کننده است. بنابراین بهره‌گیری درست از مانده‌های گیاهی و کودهای آلی به همراه کاربرد بهینه‌ای از کودهای کانی، کارایی ویژه‌ای در نگهداری باروری، سـاختمان و کارکرد زیستی خاک دارد. هر چند در دو دهه گذشته پژوهش‌های بسیاری بر اندوخته ماده آلی خاک و چگونگی کارفرمایی (مدیریت) آن در جهان انجام شده است، اما در کشور ایران با این‌کـه کـشوری خشک و نیمه‌خشک است، این گونه پژوهش‌ها بسیار اندک است. افزون بر آن، به‌کارگیری یافتـه‌هـای کشورهای دیگر برای کشور ایران بسته به ناهمانندی در ویژگی‌های خاک، اقلیم و چگونگی بهره‌گیری از زمین کار درستی نیست. گذشته از آن برای کشورهای پرباران که مواد آلی خـاک‌هایـشان در انـدازه پذیرفتنی است شاید نیاز بالایی به کار پژوهشی بر آبشویی فلزهای سنگین از خاک باشد، ولـی بـرای کشورهای خشک و نیمه‌خشک کار بر روش‌های افزودن مواد آلی، دگرگـونی مـواد آلـی، بخـش‌هـای کربن آلی و یافتن روش‌های نگهداری کربن آلی در خاک مانند کار بر آبیاری، پتانسیل‌هـای گونـاگون آب در خاک، دگرگونی نم و پتانسیل‌های آب، پیوند و همبستگی آن‌ها و نگهداری آب در خاک است. زیرا کارکرد سودمند ماده آلی و درجه نیاز خاک‌های کشاورزی در این کشورها به مواد آلـی کـم‌تـر از آب نیست و انجام چنین پژوهش‌هایی در سرزمین‌های خشک و نیمه‌خشک جایگاه ویژه‌ای دارد.

هنوز به درستی روشن نیست که پس از افزودن مانده‌های گیاهی، هر یک از بخش‌های کربن آلـی خاک چگونه و به چه سهمی دگرگون می‌شوند و آیا میان این بخش‌ها پیوندی هم هست یا هر بخـش به‌گونه‌ای مستقل دگرگون می‌شود؟ آیا ترکیب‌های آلی محلولی که از خاک عصاره‌گیـری مـی‌شـود از گذشته است که رس‌ها آن‌ها را نگهداری کرده‌اند یا تراوش‌های ریزجانداران است کـه تـازه در خـاک رها شده‌اند؟.

اهداف این پژوهش عبارتند از شناخت چگونگی فروزینگی زیستی برخی از مانده‌های گیـاهی در خاک و شناخت پیامد کاربرد برخی از مانده‌های گیاهی بر بخش‌های شیمیایی و زیستی مواد آلی خاک بوده که در آن فرضیه‌های ١- پیامد افزودن مانده‌های گیاهی در خاک بر بخش‌های شیمیایی و زیـستی

کرین آلی خاک یکسان نیست، ۲- مانده‌های گیاهی افزوده شده پس از فروزینگی در خاک در بخش‌های یکسانی قرار نمی‌گیرند و ۳- افزایش و کاهش بخش‌های محلول مواد آلی خاک وابسته به بخش زنده کربن آلی در خاک است، آزمون شده است.

## مواد و روش‌ها

**چگونگی و جایگاه نمونه‌برداری:** برای انجام این پژوهش، از لایه ۳۰-۰ سانتی‌متری یک نمونه خاک از پیرامون گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی‌سینا همدان که دارای بافتی میانه است، به روش مرکب نمونه‌برداری شد. جایگاه نمونه‌برداری دارای اقلیمی نیمه‌خشک در سیستم رده‌بندی KCC[1] با بارندگی سالانه ۳۰۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۳ درجه سانتی‌گراد است. خاک برداشت شده هوا خشک شد و از الک ۲ میلی‌متری گذر داده شد. بخشی از آن برای بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک برداشت شد و مانده آن برای تیمارهای آزمایش به‌کار رفت.

**بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک:** اندازه‌گیری بافت خاک، بر پایه قانون استوکس و به روش هیدرومتری انجام شد (گی و بادر، ۱۹۸٦). pH خاک، در عصاره ۱:۵ خاک به آب، به کمک دستگاه pH متر (مدل ۸۲۷) (توماس، ۱۹۹٦) و رسانایی الکتریکی در عصاره ۱:۵ خاک به آب، به کمک دستگاه هدایت‌سنج در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، اندازه‌گیری شد (رودس، ۱۹۹٦). کربنات کلسیم معادل خاک، به روش تیتراسیون برگشتی اسید مانده با هیدروکسید سدیم (سیمز، ۱۹۹٦)، گنجایش تبادل کاتیونی به روش استات آمونیم (باور) (راول، ۱۹۹٤)، نیتروژن کل، به روش کجلدال و پتاسیم فراهم به روش استات آمونیوم اندازه‌گیری شد (کلوت، ۱۹۸٦). فسفر اولسن، به کمک عصاره‌گیر بی‌کربنات سدیم نیم مولار و pH ۸/۵، به روش اولسن (۱۹۵٦) جداسازی و به روش اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. به ۲/۵ گرم خاک ۵۰ میلی‌لیتر بی‌کربنات سدیم ۰/۵ مولار با pH ۸/۵ افزوده شده و برای ۳۰ دقیقه شیک شد. سپس سانتریفیوژ شده و غلظت فسفر در عصاره صاف شده به روش مورفی و ریلی (۱۹٦۲) اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری کربن آلی خاک، به روش اکسیداسیون تر انجام گرفت (نلسون و سامرز، ۱۹۹٦). کربن زیتوده ریزجانداران در خاک، با روش ونس و همکاران (۱۹۸۷) ارزیابی شد. برای اندازه‌گیری کربن زیتوده از یک تیمار دو زیرنمونه ۱۰ گرمی از خاک تر و تازه هر تیمار برداشت شد و وزن آون خشک

1- KÖppen Climate Classification System

برابر آن اندازه‌گیری شد. نمونه تر و تازه نخست برای ٢٤ ساعت در تیمار بخار کلروفرم (مرک) به جوش آمده در دسیکاتور خلاء گذاشته شد. زیرنمونه دوم با کلروفرم گازدهی نشد. خاک‌های گازدهی شده و گازدهی نشده با سولفات پتاسیم نیم نرمال و با نسبت ١:٤ خاک به سولفات پتاسیم پس از نیم ساعت تکان دادن (شیک شدن) و پالایش آن عصاره‌گیری شده و کربن آلی آنها در عصاره‌ها به روش اکسیداسیون تر اندازه‌گیری شد. در این شیوه به کمک ناهمانندی میان کربن آلی عصاره‌گیری شده با سولفات پتاسیم از نمونه گازدهی شده و نمونه گازدهی نشده، اندازه کربن در زیتوده ریزجانداران خاک ارزیابی شد و داده‌های به‌دست آمده با ثابت بازیابی کربن زیتوده (Kc=٠/٣٨) بهبود یافت.

**بخش‌بندی شیمیایی ماده آلی**

**جداسازی ماده آلی محلول در آب:** برای جداسازی ماده آلی محلول در آب نمونه‌های خاک، ١٥٠ میلی‌لیتر آب مقطر به ١٥ گرم خاک (١:١٠ خاک به آب) افزوده شد و نمونه‌ها برای نیم ساعت تکان داده شد. پس از آن نمونه‌ها برای ٢٠ دقیقه سانتریفیوژ شده (٤٠٠٠ دور در دقیقه) و از کاغذ پالایه گذرانده شد و اندازه کربن آلی عصاره (کربن محلول در آب سرد) اندازه‌گیری شد. سپس به خاک مانده شده در لوله سانتریفیوژ ١٥٠ میلی‌لیتر آب مقطر افزوده و برای ١٦ ساعت در یک گرمابه در دمای ٨٠ درجه سانتی‌گراد نگهداشته شد، پس از این دوره زمانی مانند پیش سانتریفیوژ و از کاغذ پالایه گذرانده شد و اندازه کربن آلی عصاره (کربن محلول در آب گرم) اندازه‌گیری شد (گریگوریچ و همکاران، ٢٠٠٣).

**جداسازی ماده محلول در اسید و باز (فولویک اسید و هیومیک اسید):** برای جداسازی بخش محلول در باز، ٢٠٠ میلی‌لیتر از محلول بازی (١٠٠ میلی‌لیتر هیدروکسید سدیم ٠/١ مولار + ١٠٠ میلی‌لیتر پیروفسفات سدیم ٠/١ مولار) را به ٢٠ گرم از خاک افزوده و برای ٤٨ ساعت در یک گرمابه در دمای ٦٠ درجه سانتی‌گراد تکان داده شد، سپس برای ٢٠ دقیقه سانتریفیوژ گردید (٤٠٠٠ دور در دقیقه). نمونه پالایش شده و بخش گذر کرده از کاغذ پالایه، بخش محلول در باز (هیومیک اسید + فولویک اسید) می‌باشد و بخش نامحلول هیومین می‌باشد. برای جداسازی هیومیک اسید از فولویک اسید pH عصاره پالایش شده را با اسیدسولفوریک ١ نرمال به کم‌تر از ٢ کاهیده و دوباره مانند پیش سانتریفیوژ انجام گرفت. در این گام بخش فولویک اسید (محلول در اسید) و بخش

هیومیک اسید (نامحلول در اسید) جداسازی شد (لاو، ۱۹۷۵). بخش ته‌نشین شده (هیومیک اسـید) در آون در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد سانتی‌گراد خشک شده و وزن گردید. همچنین وزن کربن آلی خاک در بخش هیومیک اسید و فولویک اسید در کیلوگرم خاک به روش اکسیداسیون تر اندازه‌گیری شد.

**نمونه‌برداری و بررسی ویژگی‌های مانده‌های گیاهی:** مانده‌های یونجه و کاه گندم از جهاد کشاورزی شهرستان نهاوند گردآوری شد. ویژگی‌های بررسی شده این کودها شامل pH، EC، همه مـاده جامـد محلول (TDS)، همه کربن آلی محلول، همه کربن آلی، همه فسفر و همه نیتروژن بود. روش اندازه‌گیری پارامترهای یاد شده مانند روش اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک بود، اما از نسبت ۱:۱۰ آب به کـاه بـرای اندازه‌گیری این پارامترها در ۳ تکرار بهره‌گیری شد. همه مواد جامد محلول[1] مانده‌های گیاهی بر پایـه روش استاندارد (APHA)[2] اندازه‌گیری شد، هر یک از آن‌ها را با آب به نسبت ۱:۱۰ آمیختـه و بـرای ۲ ساعت در دمای آزمایشگاه تکان داده شد. سپس سوسپانسیون سانتریفوژ شده و آبگونـه رویـین[3] در درون ظرف‌های نگهـداری نمونـه گـردآوری شـده و بـرای ۲٤ سـاعت در آون در دمـای ٦۰ درجـه سانتی‌گراد گذاشته شد. وزن خشک به‌دست آمده، کل ماده جامد محلول هر یک از مانده‌ها مـی‌باشـد. برای اندازه‌گیری همه کربن آلی محلول مانده‌ها، هر یک از آن‌ها را بـا آب بـه نـسبت ۱:۱۰ آمیختـه و برای ۲ ساعت در دمای آزمایشگاه تکان داده شد. سپس سوسپانسیون آن‌ها سانتریفوژ شده و کربن آلی محلول در ۸ میلی‌لیتر از آبگونه رویین به روش اکسیداسیون با دی‌کرومات ارزیـابی شـد. کـربن آلـی کودها به روش اکسیداسیون خشک در دمای ۵۷۰ سانتی‌گراد در کـوره و سـپس وزن کـردن خاکـستر مانده و کسر خاکستر مانده از ۲ گرم کود به‌کار رفته هماننـد روش بررسـی‌هـای متیـسن و همکـاران (۲۰۰۵) اندازه‌گیری شد. همه نیتروژن کودها به روش کجلدال و همه فسفر آن‌هـا نیـز بـر پایـه روش سوختن ۲ ساعته در کوره الکتریکی و در دمـای ۵۵۰ سـانتی‌گـراد و پـس از حـل خاکـستر در اسـید کلریدریک، به روش رنگ‌سنجی اندازه‌گیری شد (پیرزاک، ۱۹۵۹).

**تیمار خاک با مانده‌های گیاهی:** در این پژوهش از آزمایش فاکتوریل با دو فاکتور کود آلی و زمان بـا طرح کامل تصادفی در ۳ تکرار، بهره‌گیری شد. برای تیمار خاک، هر یک از مانده‌های گیاهی آسیاب و از الک ۲ میلی‌متر گذرانده شدند. مانده‌های یونجه، گندم و خاک اره، به اندازه ۲۰ گرم بر کیلوگرم بـه

1- Total Dissolved Solids
2- American Public Health Association
3- Supernatant

خاک نمونه‌برداری‌شده، به گونه خشک و آسیاب شده آمیخته و افزوده شد. درون ظروف شیشه‌ای با درب نیمه باز، به اندازه ٢ کیلوگرم از خاک آمیخته با مانده‌های گیاهی ریخته شد. سپس با افزودن آب به روش وزنی رطوبت هر نمونه به گنجایش مزرعه‌ای که پیش‌تر تعیین شده بود، رسانده شد. یادآور شود که برای تعیین رطوبت گنجایش مزرعه‌ای هر نمونه، بخشی از خاک در درون لیوانی بلند ریخته شد و پس از ریختن آب روی خاک و رسیدن جبه نم به میانه خاک درون لیوان، روی آن با پلاستیک پوشانده شد و برای ٤٨ ساعت رها شد و سپس از بخش میانی خاک درون لیوان برداشته و رطوبت آن به روش وزنی اندازه‌گیری شد.

هر نمونه در تاریکی در دمای آزمایشگاه برای ١٢٠ روز نگهداری شده و پس از ١، ٢٠، ٦٠ و ١٢٠ روز از کاربرد تیمارها به اندازه ٢٠٠ گرم از خاک با بهم زدن آن در ٣ تکرار جداگانه از هر تیمار برداشت شد و همه کربن آلی خاک، کربن زیتوده و بخش‌های شیمیایی کربن آلی خاک به روش‌های یاد شده در بالا بررسی گردید. همچنین در این پژوهش نسبت کربن زیتوده به همه کربن آلی خاک (MBC/TOC ratio) یا ضریب میکروبی نیز برآورد و آزمون شد. پژوهش‌های پیشین نویسنده نشان داده است که برای مانده‌های یونجه و گندم زمان ٣٠-١٥ روز ریزجانداران بیش‌ترین فراوانی و کارکرد زیستی را دارند که در زمان‌های ٦٠ و ١٢٠ روز بسته به ویژگی‌های خاک و مانده گیاهی به تعادل زیستی می‌رسند.

**محاسبه‌ها و تجزیه و تحلیل آماری:** برای بررسی پیامد مانده‌های گیاهی (که در ٤ سطح بدون مانده، ٢ درصد مانده‌های یونجه، گندم و خاک اره به‌کار رفته) و زمان انکوباسیون خاک (که در ٤ سطح ١، ٢٠، ٦٠ و ١٢٠ روز بوده است) بر بخش‌های شیمیایی و زیستی کربن آلی خاک از یک آزمایش فاکتوریل با طرح کامل تصادفی در ٣ تکرار بهره‌گیری شد. پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌ها به کمک نرم‌افزار SAS انجام شد و مقایسه میانگین‌ها به کمک آزمون دانکن در پایه آماری ٥ درصد انجام گرفت. برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel بهره‌گیری شده است.

## نتایج و بحث

**ویژگی‌های شیمیایی مانده‌های گیاهی:** جدول ١ میانگین برخی از ویژگی‌های شیمیایی کودهای آلی به‌کار رفته را نشان می‌دهد. کاه گندم، بیش‌ترین pH (٧/٩٢) و خاک اره و کاه یونجه کم‌ترین اندازه pH (به‌ترتیب ٥/٤٠ و ٥/٨٠) را دارا بودند. کاه یونجه، بیش‌ترین رسانایی الکتریکی (٩/٤٠ دسی‌زیمنس بر متر) و خاک اره و کاه گندم کم‌ترین رسانایی الکتریکی (به‌ترتیب ٠/٣١ و ٤/١ دسی‌زیمنس بر متر) را دارا بودند.

**جدول ۱- برخی از ویژگی‌های شیمیایی مانده‌های گیاهی افزوده شده به خاک.**

| ویژگی | واحد | کاه یونجه | کاه گندم | خاک اره |
|---|---|---|---|---|
| pH | - | ۵/۸۰ | ۷/۹۲ | ۵/٤۰ |
| رسانایی الکتریکی | دسی‌زیمنس بر متر | ۹/٤ | ٤/۱ | ۰/۳۱ |
| کربن آلی | گرم بر کیلوگرم | ۵۰۷ | ۵۳۰/۵ | ۵۷۱/۳۲ |
| ازت کل | گرم بر کیلوگرم | ۲۱/۱۳ | ۵/٦ | ۱/۰۵ |
| فسفر کل | گرم بر کیلوگرم | ۵/۸٤ | ٤/۲ | ۰/۵۸ |
| ماده جامد محلول | گرم بر کیلوگرم | ۳۰٦ | ۵۲ | ۲٤ |
| کربن آلی محلول | گرم بر کیلوگرم | ۲۸/۵٦ | ۲۳/۲ | ۱٤ |
| C/N | - | ۲۳/۹۹ | ۹٤/۷۳ | ۵٤٤/۱۱ |
| C/P | - | ۸٦/۸۲ | ۱۲٦/۳۱ | ۹۸۵ |

اندازه کربن آلی خاک اره ۵۷۱/۳۲ و همه نیتروژن آن ۱/۰۵ گرم برکیلوگرم بود که به‌ترتیب، بیش‌ترین و کم‌ترین اندازه کربن آلی و نیتروژن کل را در میان کودهای آلی دارا بود. در برابر آن کاه یونجه دارای کم‌ترین اندازه کربن آلی (۵۰۷ گرم بر کیلوگرم) است. از سوی دیگر نیتروژن کل در کاه یونجه (۲۱/۱۲۸ گرم برکیلوگرم) بیش‌تر از دیگر کودها بود. بنابراین خاک اره و کاه یونجه، به‌ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین نسبت C/N (به‌ترتیب ۵٤٤/۰۹ و ۲٤/۱٤) بودند. کاه یونجه، بیش‌ترین اندازه فسفر کل (۵/۸٤ گرم برکیلوگرم) و خاک اره کم‌ترین اندازه فسفر کل را دارا بودند. نسبت C/P نیز همانند با C/N، در خاک اره بیش‌ترین و در کاه یونجه کم‌ترین بود.

کاه یونجه، بیش‌ترین اندازه ماده جامد محلول (۳۰٦ گرم بر کیلوگرم) و خاک اره کم‌ترین اندازه ماده جامد محلول (۲٤ گرم بر کیلوگرم) را دارا بودند. در کاه یونجه، بیش‌ترین اندازه کربن آلی محلول (۲۸/۵٦ گرم بر کیلوگرم) و در خاک اره کم‌ترین اندازه آن (۱٤ گرم بر کیلوگرم) دیده شد.

**ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک، پیش از تیمار با کودهای آلی:** میانگین برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، پیش از تیمار با کودهای آلی در جدول ۲ آمده است. اندازه شن، سیلت و رس خاک به‌ترتیب ٤۸، ۳۱ و ۲۱ درصد بود و به کمک مثلث بافت خاک، بافت آن لوم است.

خاک آزمایش شده آهکی و درصد کربنات کلسیم معادل آن ۳/۷ درصد بود. رسانایی الکتریکی آن ۰/۱۲ دسی‌زیمنس بر متر و شوری این خاک پایین است. این خاک pH برابر ۷/۹ داشته و از خاک‌های

خنثی تا کمی قلیایی است. گنجایش تبادل کاتیونی این خاک ٢٣/٨ سانتی‌مول بار بـر کیلـوگرم خـاک خشک است.

همه نیتروژن و کربن آلی خاک به‌ترتیب ٢/١١ و ٢١/٣٤ گرم بر کیلوگرم خاک است. فسفر فراهم، فسفر زیتوده و پتاسیم فراهم این خاک به‌ترتیب ٧٧/١٦، ٤٦/١٧ و١٨٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک است.

یافته‌های به‌دست آمده از بخش‌بندی ماده آلی خاک پیش از تیمار با کودهای آلی در جدول ٢ نشان داده شده است. اندازه کربن زیتوده خاک ٠/٠٨٣ گرم بر کیلوگرم خاک است. اندازه کـربن محلـول در آب سرد و گرم به‌ترتیب ١/٠١٢ و ٢/١٥ گرم بر کیلوگرم خاک و اندازه کربن در بخش فولویک اسید و هیومیک اسید به‌ترتیب ٢/٧٨ و ٤/٠١ گرم بر کیلوگرم خاک بود. نسبت کربن زیتوده میکروبی به همـه کربن آلی خاک (MBC/TOC) برابر ٠/٠٠٤ ارزیابی شد.

**پیامد کاربرد کودهای آلی، گذشت زمان و برهم‌کنش آن‌ها بر بخش‌های شیمیایی و زیـستی کـربن آلی خاک:** تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که از دیدگاه آماری پیامد کاربرد کودها، زمان و برهم‌کنش میان آن‌ها بر بخش‌های کربن آلی جداسازی شده به روش شیمیایی (همه کربن، کربن زیتـوده، کـربن محلول در آب سرد، کربن محلول در آب گرم، کربن بخش فولویک اسید و نـسبت MBC/TOC) در پایه ١ درصد از دیدگاه آماری چشم‌گیر است (جدول ٣).

**جدول ٢- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به‌کار رفته در پژوهش و بخش‌های شیمیایی کربن آلی آن.**

| ویژگی | واحد | اندازه |
|---|---|---|
| بافت | - | لوم |
| شن | درصد | ٤٨ |
| سیلت | درصد | ٣١ |
| رس | درصد | ٢١ |
| کربنات کلسیم معادل | درصد | ٣/٧ |
| pH | - | ٧/٩ |
| رسانایی الکتریکی | دسی‌زیمنس بر متر | ٠/١٢ |
| گنجایش تبادل کاتیونی | سانتی‌مول بار بر کیلوگرم خاک | ٢٣/٨ |
| همه ازت | گرم بر کیلوگرم خاک | ٢/١١ |
| C/N | - | ١٠/١١ |

**ادامه جدول ۲-**

| ویژگی | واحد | اندازه |
|---|---|---|
| فسفر فراهم | میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک | ۷۷/۱٦ |
| پتاسیم فراهم | میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک | ۱۸٦ |
| همه کربن آلی | گرم بر کیلوگرم خاک | ۲۱/۳٤ |
| کربن زیتوده | گرم بر کیلوگرم خاک | ۰/۰۸۳ |
| کربن محلول در آب سرد | گرم بر کیلوگرم خاک | ۱/۰۱۲ |
| کربن محلول در آب گرم | گرم بر کیلوگرم خاک | ۲/۱٥٤ |
| کربن فولویک اسید | گرم بر کیلوگرم خاک | ۲/۷۸ |
| کربن هیومیک اسید | گرم بر کیلوگرم خاک | ٤/۰۱ |
| MBC/TOC | - | ۰/۰۰٤ |

**پیامد کاربرد کودهای آلی بر بخش‌های شیمیایی و زیستی کربن آلی خاک:** آزمون میانگین بخش‌های شیمیایی و زیستی کربن آلی خاک در تیمارهای کودی گوناگون در جدول ٤ آمده است. کودهای آلی گوناگون پیامدهای ناهمانندی را بر بخش‌های شیمیایی و زیستی کربن آلی خاک داشتند. افزودن مانده‌های گیاهی به خاک، مایه افزایش همه کربن آلی شد. فراوانی همه کربن آلی در تیمار خاک اره بیش‌ترین (۲٥/٥۸ گرم بر کیلوگرم خاک) و در تیمار بدون مانده گیاهی کم‌ترین (۱٥/۳۲ گرم بر کیلوگرم خاک) بود.

**جدول ۳- پیامد کاربرد کودهای آلی، گذشت زمان و برهم‌کنش آن‌ها بر بخش‌های شیمیایی و زیستی کربن آلی خاک.**

| منابع دگرگونی | میانگین مربع‌ها | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | درجه آزادی | همه کربن آلی | کربن زیتوده | کربن محلول در آب سرد | کربن محلول در آب گرم |
| زمان | ۳ | ۲۰۳/۰۱۹** | ۰/۰٥** | ۱٤/۷۱** | ۳۰/۲۸** |
| کود آلی | ۳ | ۲۱۸/۲٤** | ۰/۰۹** | ۳/٤٥** | ۳٦/۳٦** |
| زمان × کود آلی | ۹ | ۲/۷٤** | ۰/۰۱٤۳** | ۲/۲۳** | ۷/۰٦۹** |
| خطا | ۳۲ | ۰/۰۲٤ | ۰/۰۰۰٦٤ | ۰/۰۰۰۲۰۷ | ۰/۰۰۰۲۹ |

ادامه جدول ٣-

| منابع دگرگونی | درجه آزادی | میانگین مربع‌ها | | |
|---|---|---|---|---|
| | | کربن فولویک اسید | کربن هیومیک اسید | MBC/TOC |
| زمان | ٣ | ٣/٢٦** | ٠/٣٢** | ٠/٠٠٠١٤** |
| کود آلی | ٣ | ٠/٣١** | ٠/٤٦** | ٠/٠٠٠١٨** |
| زمان × کود آلی | ٩ | ٠/١١** | ٠/٠٣١٧ | ٠/٠٠٠٠٣٤** |
| خطا | ٣٢ | ٠/٠٣٨ | ٠/٠٢٨٤ | ٠/٠٠٠٠٠١٥٥ |

* و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده پیامد چشم‌گیر تیمار در پایه آماری ٥ و ١ درصد است.

کربن آلی خاک انباره مهم تغذیه ریزجانداران خاک است و در دوره انکوباسیون کاهش یافت. مواد آلی خاک که مانده‌های گیاهان، جانداران و ریزجانداران خاک است در گام‌های گوناگون تجزیه اندوخته بزرگی از غذا و انرژی برای ریزجانداران خاک می‌باشد.

فراوانی کربن زیتوده در خاک در تیمار کاه یونجه بیش‌ترین (٠/٢٩١ گرم بر کیلوگرم خاک) و در تیمار بدون مانده گیاهی کم‌ترین (٠/٠٩٢٧ گرم بر کیلوگرم خاک) بود. کودهای آلی مایه افزایش فراوانی ریزجانداران خاک شده و فراوانی کربن زیتوده خاک را افزایش داد. این بخش از کربن خاک بسیار وابسته به کیفیت ماده آلی می‌باشد. کاه یونجه دارای نسبت‌های C/N و C/P کم‌تر و مواد آلی تجزیه‌شونده بیش‌تری در برابر دیگر مانده‌های گیاهی به‌کار رفته است، از این‌رو کاربرد آن یک بستر شایسته برای کارکرد ریزجانداران در خاک فراهم می‌کند. افزایش زیتوده ریزجانداران و کارکرد آن‌ها و در پی آن افزایش زیست فراهمی بیش‌تر عناصر در کاربرد مواد آلی گوناگون گزارش شده است (مارینری و همکاران، ٢٠٠٧) (هلفریچ و همکاران، ٢٠٠٨). گزارش کردند، انکوباسیون خاک با برگ‌های ذرت مایه افزایش چشم‌گیری در کربن زیتوده نسبت به خاک بدون مانده گیاهی شد و بیش‌ترین فراوانی آن در آغاز آزمایش بود که با گذشت زمان انکوباسیون کاهش یافت. پایین بودن کربن زیتوده می‌تواند بیان‌کننده پاسخ ریزجانداران به تنش‌های زیستگاه یا اختلالی در اکوسیستم باشد (لانگر و گاندر، ٢٠٠١).

فراوانی کربن آلی محلول در آب (کربن آلی محلول در آب سرد و کربن آلی محلول در آب گرم) در تیمار کاه یونجه بیش‌ترین (٢/٣٢ و ٦/٠٥٤ گرم بر کیلوگرم خاک، به‌ترتیب برای کربن محلول در آب سرد و گرم) و در تیمار بدون مانده گیاهی کم‌ترین (١/١١ و ١/٩٩ گرم بر کیلوگرم خاک، به‌ترتیب برای کربن محلول در آب سرد و گرم) بود. مانده‌های گیاهی و هوموس دو انباره بسیار مهم ماده آلی محلول در خاک هستند (کلبیتز و همکاران، ٢٠٠٠).

**جدول ٤- آزمون میانگین بخش‌های شیمیایی و زیستی کربن آلی خاک در تیمارهای کودی به‌کار رفته.**

| تیمار کود آلی خاک | همه کربن آلی (گرم بر کیلوگرم خاک) | | کربن زیتوده (گرم بر کیلوگرم خاک) | | کربن محلول در آب سرد (گرم بر کیلوگرم خاک) | | کربن محلول در آب گرم (گرم بر کیلوگرم خاک) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | M* | SD | M | SD | M | SD | M | SD |
| کاه یونجه | ٢٠/٩٠$^{c}$ | ٤/٤٩ | ٠/٢٩١$^{a}$ | ٠/١١ | ٢/٣٢$^{a}$ | ٢/٠٢٩ | ٦/٠٥٤$^{a}$ | ٣/١٦ |
| کاه گندم | ٢٢/١٣$^{b}$ | ٤/٢١ | ٠/٢١٧$^{b}$ | ٠/١ | ١/٦٣$^{b}$ | ١/١٤ | ٣/٨٨$^{b}$ | ١/٧٨ |
| خاک اره | ٢٥/٥٨$^{a}$ | ٣/٤٣ | ٠/١٤٣$^{c}$ | ٠/٠٤٨ | ١/٢٨$^{c}$ | ٠/٤٢ | ٢/٩٢$^{c}$ | ٠/٠٨٣ |
| بدون کود | ١٥/٣٢$^{d}$ | ٢/٨١ | ٠/٠٩٢٧$^{c}$ | ٠/٠٢٨ | ١/١١$^{d}$ | ٠/٥ | ١/٩٩$^{d}$ | ٠/٩ |

**ادامه جدول ٤-**

| تیمار کود آلی خاک | کربن فولویک اسید (گرم بر کیلوگرم خاک) | | کربن هیومیک اسید (گرم بر کیلوگرم خاک) | | MBC/TOC | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | M* | SD | M | SD | M | SD |
| کاه یونجه | ٢/٩٢$^{a}$ | ٠/٧٥ | ٤/٥٩$^{a}$ | ٠/٣١ | ٠/٠١٤٢$^{a}$ | ٠/٠٠٥٨ |
| کاه گندم | ٢/٨٣$^{a}$ | ٠/٥٥ | ٤/٤$^{b}$ | ٠/١٥ | ٠/٠١$^{b}$ | ٠/٠٠٥٣ |
| خاک اره | ٢/٦٣$^{b}$ | ٠/٣٥ | ٤/٢٨$^{b}$ | ٠/٢٢ | ٠/٠٠٥٨$^{c}$ | ٠/٠٠٢٣ |
| بدون کود | ٢/٥٧$^{b}$ | ٠/٣٢ | ٤/١٣$^{c}$ | ٠/١٤ | ٠/٠٠٦$^{c}$ | ٠/٠٠١٩ |

M* و SD به‌ترتیب نشان‌دهنده میانگین و انحراف معیار ویژگی‌ها است. میانگین‌های دارای دست‌کم یک حرف یکسان در پایه آماری ٥ درصد ناهمانندی چشم‌گیری ندارند.

سرچشمه مواد عصاره‌گیری شده با آب گرم شاید به گونه شیمیایی ناهمگون بوده، زیرا آب گرم (بیش از ٧٠ درجه سانتی‌گراد) یاخته‌های ریزجانداران (میکروفلور خاک) را کشته و ترکیب‌های زیتوده ریزجانداران را نیز عصاره‌گیری می‌کند، همچنین اندازه چشم‌گیری از مواد آلی مرده را هم عصاره‌گیری می‌کند (اسپارلینگ و همکاران، ١٩٩٨). پژوهش‌های گریگورچ و همکاران (٢٠٠٣) نشان داد که خاک‌هایی که کود آلی دریافت کرده بودند در برابر خاک‌های بدون کود یا با کود شیمیایی دارای کربن آلی محلول در آب بیش‌تری بودند. آن‌ها گزارش کردند که در یک سیستم تک‌کشتی ذرت، اندازه کربن محلول در آب در خاک‌های با کود آلی در برابر خاک‌هایی بدون کود ٥ برابر بیش‌تر بود و در تناوب ذرت- سویا خاک‌هایی با کود آلی کربن آلی محلول آن ٢ برابر خاک‌های با کود شیمیایی بود.

فراوانی کربن در بخش فولویک اسید خاک در تیمار کاه یونجه بیش‌ترین (٢/٩٢ گرم بر کیلوگرم خاک) و در تیمار بدون مانده گیاهی کم‌ترین (٢/٥٧ گرم بر کیلوگرم خاک) بود. فراوانی کربن در بخش هیومیک اسید خاک نیز در تیمار کاه یونجه بیش‌ترین (٤/٥٩ گرم بر کیلوگرم خاک) و در تیمار بدون مانده گیاهی کم‌ترین (٤/١٣ گرم بر کیلوگرم خاک) بود. افزایش اندازه کربن در بخش فولویک اسید و هیومیک اسید خاک نشان‌دهنده شایسته بودن ویژگی‌های خاک برای کارکرد ریزجانداران می‌باشد. افزایش مواد آلی به خاک مایه افزایش کارایی ریزجانداران و آنزیمی خاک گردیده و در فرایند هوموسی شدن بسته به سرشت آن‌ها اندازه هیومیک و فولویک اسید در خاک را نیز افزایش می‌دهد (فرقانی، ٢٠٠٤). فرقانی (٢٠٠٤) گزارش کرد که اندازه فولویک اسید پدید آمده در برابر هیومیک اسید، پس از ٩٠ روز انکوباسیون خاک با مواد آلی (کودهای جانوری و مانده‌های گیاهی گوناگون) کم‌تر بوده است و این نشان می‌دهد که فولویک اسید با وزن مولکولی کم در گام نخستین به اندازه فراوانی پدید آمده که به آهستگی به هیومیک اسید در کمپوست رسیده دگرگون شده است.

نسبت MBC/TOC پیش از تیمار خاک با کودهای آلی بسیار پایین‌تر از حد آستانه بود. جنکینسون و لاد (١٩٨١) اندازه MBC/TOC=٠/٠٢٢ را مرز آستانه تعادل برای خاک‌های کشت شده گزارش کردند. این یافته با یافته‌های آنانیوا و همکارن (٢٠٠٨)، که این نسبت را در خاک‌های گوناگون میان ٨–١/٧ درصد به‌دست آوردند، نیز هم‌خوانی ندارد. آشکار است که ریزجانداران خاک آزمایش شده از کمبود ماده آلی در تنش هستند. به هر گونه اندازه‌های نسبت MBC/TOC در خاک بررسی شده با گزارش بوهم و همکاران (٢٠٠٥) همخوانی دارد. آن‌ها این نسبت را در خاک‌های اروپایی بررسی شده از ٢/٧–٠/٦٥ درصد گزارش کرده‌اند.

افزودن کودهای آلی مایه افزایش این نسبت شد. بیش‌ترین نسبت MBC/TOC در تیمار کاه یونجه (٠/٠١٤٢) و کم‌ترین اندازه آن در تیمار بدون مانده گیاهی (٠/٠٠٦) دیده شد. نسبت MBC/TOC در تیمار خاک اره و شاهد ناهمانندی چشم‌گیری نداشت. این نسبت بیش‌ترین پاسخ را به کارهای خاک‌ورزی و کشاورزی نشان می‌دهد و در خاک‌هایی که کود کانی دریافت کردند، بسته به کاهش در شمار باکتری‌ها پایین است (کوبات و همکاران، ١٩٩٩). اندازه بالاتر MBC/TOC در خاک‌های تیمار شده با مانده‌های گیاهی شاید به‌دلیل افزایش در کربن به آسانی تجزیه‌پذیر به دنبال افزودن مانده‌های گیاهی باشد (مارینری و همکاران، ٢٠٠٧) که این نشان از کاهش تنش ماده آلی برای ریزجانداران خاک دارد.

به هر گونه یافته‌های این پژوهش با گزارش بوهم و همکاران (۲۰۰۵)، هماهنگی ندارد. این پژوهندگان نسبت MBC/TOC را در خاک‌هایی که کود کانی دریافت کرده بودند را بیش‌تر از خاک‌هایی به‌دست آوردند که کود آلی و دامی دریافت کرده بودند. این پژوهندگان پیامد افزایش کربن آلی خاک (در زیر کسر) را بر نسبت MBC/TOC کاراتر از افزایش ریزجانداران در تیمارهای کود آلی می‌دانند.

**پیامد گذشت زمان بر بخش‌های شیمیایی و زیستی کربن آلی خاک:** آزمون میانگین‌های هر یک از بخش‌های شیمیایی و زیستی کربن آلی خاک در زمان‌های آزمایش شده در جدول ۵ آمده است.

**جدول ۵- آزمون میانگین‌های هر یک از بخش‌های شیمیایی و زیستی کربن آلی خاک در زمان‌های گوناگون.**

| زمان (روز) | همه کربن آلی (گرم بر کیلوگرم خاک) | | کربن زیتوده (گرم بر کیلوگرم خاک) | | کربن محلول در آب سرد (گرم بر کیلوگرم خاک) | | کربن محلول در آب گرم (گرم بر کیلوگرم خاک) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | M* | SD | M | SD | M | SD | M | SD |
| ۱ | ۲۶/۹۷[a] | ٤/٥۲ | ۰/۱٦۳[b] | ۰/۰۸۲ | ۱/۲۳[b] | ۰/۳۱ | ٤/۳۰[b] | ۱/۸٤ |
| ۲۰ | ۲۰/۳۸[b] | ۳/۷۷ | ۰/۲۷۹[a] | ۰/۱٥ | ۳/۲۲[a] | ۱/٦۱ | ٥/٦۹[a] | ۳/۲۸ |
| ٦۰ | ۱۸/٥۱[c] | ۳/٦٦ | ۰/۱۳۱[c] | ۰/۰٤۹ | ۰/۷۷[d] | ۰/۰۲٤ | ۲/۳٤[d] | ۰/۸٤ |
| ۱۲۰ | ۱۸/۰۷۸[d] | ۳/٦۹ | ۰/۱٦۹[b] | ۰/۰٦٦ | ۱/۱۲[c] | ۰/۲۷ | ۲/٥۱[c] | ۰/۸۷ |

**ادامه جدول ۵-**

| زمان (روز) | کربن فولویک اسید (گرم بر کیلوگرم خاک) | | کربن هیومیک اسید (گرم بر کیلوگرم خاک) | | MBC/TOC | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | M* | SD | M | SD | M | SD |
| ۱ | ۳/۰۰۷[b] | ۰/۳۷ | ٤/۲۷[b] | ۰/۱۸ | ۰/۰۰٦[d] | ۰/۰۰۲۷ |
| ۲۰ | ۳/۳٤[a] | ۰/۳۹ | ٤/۲٤[b] | ۰/۱۹ | ۰/۰۱۳۸[a] | ۰/۰۰۷۷ |
| ٦۰ | ۲/۳۲[c] | ۰/۰۳۳ | ٤/۳۱[b] | ۰/۲ | ۰/۰۰۷۲[c] | ۰/۰۰۲٤ |
| ۱۲۰ | ۲/۲۸[c] | ۰/۰٥٥ | ٤/٥۹[a] | ۰/۳٤ | ۰/۰۰۹۲[b] | ۰/۰۰۳ |

M* و SD به‌ترتیب نشان‌دهنده میانگین و انحراف معیار ویژگی‌ها است. میانگین‌های دارای دست‌کم یک حرف یکسان در پایه آماری ۵ درصد ناهمانندی چشم‌گیری ندارند.

فراوانی همه کربن آلی خاک با گذشت زمان در همه تیمارها کاهش یافت. فراوانی کربن زیتوده و کربن محلول در آب از روز نخست آزمایش تا روز ٢٠ افزایش و سپس در زمان ٦٠ روز کاهش و در پایان ١٢٠ روز، دوباره افزایش یافت. یافته‌های این پژوهش با یافته‌های کلارک و همکاران (٢٠٠٧) هم‌خوانی دارد. آن‌ها گزارش کردند که افزایش در کربن محلول خاک ٣ روز پس از تیمار خاک با مانده‌های گیاهی آغاز شد و در تیمار یونجه، ١٥ روز پس از نگهداری خاک و در تیمار گندم، در روز ٢٨ به بیشینه خود (١٥ و ٤/٥ گرم بر کیلوگرم خاک، به‌ترتیب برای تیمار یونجه و گندم) رسید و پس از آن کربن آلی محلول خاک کاهش یافت و در روز ٤٢ به کم‌ترین اندازه خود رسید. کربن محلول خاک تیمار خاک اره ناهمانندی چشم‌گیری با خاک شاهد نداشت و پس از ٢٨ روز به بیشینه خود (٣ گرم بر کیلوگرم خاک) رسید و پس از آن کاهش یافت.

ماده آلی محلول یک ماده غذایی مهم برای ریزجانداران است (مارشنر و بریداو، ٢٠٠٢) و به تندی در هنگام انکوباسیون کاهش می‌یابد. پژوهش‌های آزمایشگاهی نشان داده است که ریزجانداران اندازه‌های ناهمانندی از ماده آلی محلول را می‌توانند فروزینه کنند (نلسون و همکاران، ١٩٩٤). این پژوهش‌ها، دامنه زمانی چندین ساعت تا چندین ماه را برای فروزینگی ماده آلی محلول گزارش کردند. نشان داده شده است که تنها ٤٠-١٠ درصد ماده آلی محلول در آب در آزمایشگاه فروزینه شونده بوده است.

فراوانی کربن بخش فولویک اسید از روز نخست آزمایش تا روز ٢٠ افزایش و سپس از زمان ٦٠ روز تا پایان دوره کاهش یافت. فراوانی کربن بخش هیومیک اسید از روز نخست آزمایش تا زمان ١٢٠ افزایش چشم‌گیری نداشت، ولی در زمان ١٢٠ روز افزایش یافت. نسبت MBC/TOC از روز نخست آزمایش تا روز ٢٠ افزایش و سپس در زمان ٦٠ کاهش و در پایان ١٢٠ روز، دوباره افزایش یافت.

در این پژوهش دیده شد که افزودن مانده‌های گیاهی به خاک مایه افزایش فراوانی و کارکرد ریزجانداران در روزهای نخست انکوباسیون خاک شد که به دنبال آن کربن در زیتوده ریزجانداران هم افزایش یافت. افزایش فراوانی و کارکرد ریزجانداران مایه فروزینگی بیش‌تر ماده آلی خاک می‌شود که به دنبال آن ترکیب‌های سخت‌تر ماده آلی بیش‌تر تجزیه شده و بخش محلول ماده آلی افزایش می‌یابد.

اما با گذشت زمان و کاهش فراوانی و کارکرد ریزجانداران فراوانی کربن زیتوده و بخش کربن محلول در آب کاهش می‌یابد. همچنین در روزهای نخست انکوباسیون خاک به‌دلیل فراوانی و فعالیت بیش‌تر ریزجانداران و فراوانی بیش‌تر کربن ساده تجزیه‌شونده در خاک تندی فروزینگی ماده آلی بیش‌تر می‌باشد از این‌رو کربن آلی خاک با تندی بیش‌تری کاهش می‌یابد. اندازه کربن زیتوده خاک در این زمان افزایش یافته و نسبت کربن زیتوده به همه کربن آلی خاک افزایش می‌یابد.

**پیامد برهم‌کنش کاربرد مانده‌های گیاهی و گذشت زمان بر بخش‌های کربن آلی خاک:** شکل‌های ۱، ۲ و ۳ روند دگرگونی زمانی بخش‌های شیمیایی و زیستی کربن آلی خاک در تیمارهای کودی گوناگون را نشان می‌دهند. همه کربن آلی خاک با گذشت زمان در همه تیمارهای کودی یک روند کاهشی را نشان داد. همه کربن آلی خاک در تیمار خاک اره در همه زمان‌های اندازه‌گیری بیش‌تر از دیگر تیمارها بود. شیب کاهش همه کربن آلی خاک در این تیمار کم‌تر از دیگر تیمارهای آلی بود. بنابراین بیش‌ترین فراوانی همه کربن آلی خاک در زمان ۱ روز و در تیمار کودی خاک اره دیده شد. پس از خاک‌های تیمار شده با خاک اره، همه کربن آلی خاک در تیمار کاه گندم بیش‌تر بود. تندی کاهش کربن آلی خاک در تیمار کاه یونجه بیش‌تر از کاه گندم و آن نیز بیش‌تر خاک اره بود. به هر گونه، کم‌ترین اندازه آن در همه زمان‌های اندازه‌گیری در تیمار بدون مانده گیاهی دیده شد که در این خاک‌ها با تندی کم‌تری با گذشت زمان کاهش یافت.

کربن زیتوده خاک در تیمار کاه یونجه و گندم از روز نخست آزمایش تا زمان ۲۰ روز افزایش و سپس در زمان ٦۰ روز کاهش و در زمان ۱۲۰ روز دوباره افزایش یافت. کربن زیتوده خاک در تیمار خاک اره یک روند افزایشی تا پایان دوره نشان داد. کربن زیتوده خاک در تیمار بدون مانده گیاهی از روز نخست آزمایش تا زمان ۲۰ روز افزایش و سپس تا پایان دوره کاهش یافت. به هر گونه بیش‌ترین فراوانی کربن زیتوده خاک در همه زمان‌ها در تیمار خاک با کاه یونجه دیده شد. بیش‌ترین نسبت MBC/TOC در زمان ۲۰ روز و در تیمار کاه یونجه (۰/۰۲۳۷) ارزیابی شد، پس از آن تا زمان ٦۰ کاهش و در زمان ۱۲۰ روز دوباره افزایش یافت و روند دگرگونی آن در تیمار کاه یونجه و گندم همانند بود. این نسبت در تیمار خاک اره از یک روند افزایشی پیروی کرد. نسبت MBC/TOC در تیمار بدون مانده گیاهی از روز نخست تا زمان ۲۰ روز افزایش سپس تا پایان دوره از یک روند کاهشی پیروی کرد.

هنگام انکوباسیون خاک با بهینه کردن نمناکی و دمای خاک در ٢٠ روز نخست فراوانی و کارکرد ریزجانداران به‌ویژه باکتری‌های گرم منفی تند رشد افزایش می‌یابد که به کاهش تند همه مواد آلی خاک به‌ویژه مواد آلی ساده آن و افزایش کربن زیتوده می‌انجامد. رخداد این فرایندها در خاک بدون مانده گیاهی وابسته به رها شدن مواد آلی ریزجانداران پیشین خاک و خرد شدن خاکدانه‌ها هنگام دست‌خوردگی و جابه‌جایی آن به آزمایشگاه است.

در خاک‌های با مواد آلی اندک و در زندگی الیگوتروفی ریزجانداران در تنش بوده به انرژی بیش‌تری برای زنده‌مانی در این زیستگاه‌های دشوار نیاز دارند. بنابراین درصد بیش‌تری از انرژی هدررفته و اندازه کم‌تری از کربن در بخش آلی بدن ریزجانداران اندوخته می‌شود (نانی‌پیری و همکاران، ١٩٩٧؛ میکانوا، ٢٠٠٦). از این‌رو پس از ٢٠ روز در خاک بدون مانده گیاهی نسبت MBC/TOC تا پایان دوره روند کاهشی دارد.

در تیمارهای کاه یونجه و گندم در آغاز انکوباسیون افزون بر بهینه‌سازی دما و نمناکی خاک تنش کمبود ماده آلی در خاک برداشته شد ولی پس از ٢٠ روز و فروزینگی مواد آلی ساده، با گذشت زمان تنش کمبود ماده آلی نمایان گشت ولی این تنش بسیار کم‌تر از آن در خاک تیمار نشده است. در خاک تیمار شده با خاک اره روند دگرگونی نسبت MBC/TOC به گونه دیگری است و تا پایان آزمایش افزایشی است. زیرا این ماده آلی سخت بوده و تنش هم‌چنان نمایان است که با گذشت زمان با سازگاری ریزجانداران خاک به آهستگی این تنش زیستی کم‌تر می‌شود.

کاهش نسبت MBC/TOC در خاک‌های با تنش فلزهای سنگین نیز گزارش شده است. استفانو ویکز و همکاران (٢٠١٠) و ژانگ و همکاران (٢٠١٠) گزارش نمودند که اندازه کربن میکروبی خاک و نسبت MBC/TOC در زیستگاه‌های دشوار با افزایش غلظت فلزهای سنگین کاهش می‌یابد. این کاهش وابسته به سوق دادن کربن جذب شده در یاخته از رشد ریزجاندار به سوی ساخت انرژی برای کارکردهای نگهداری یاخته و زنده‌مانی آن‌ها است (کیلهام، ١٩٨٥). به سخن دیگر در خاک‌های پر تنش و زیستگاه‌های دشوار ریزجانداران به انرژی بیش‌تری برای زنده‌مانی نیاز دارند. بنابراین درصد بیش‌تری از کربن آلی جذب شده اکسید شده و به ریخت انرژی یاخته‌ای برای زنده‌مانی هدررفته و اندازه کم‌تری از کربن آلی جذب شده در بخش آلی بدن ریزجانداران اندوخته می‌شود (نانی‌پیری و همکاران، ١٩٩٧؛ میکانوا، ٢٠٠٦). گمان می‌رود این تنش با تنفس پایه بیش‌تر و بهر متابولیک[1] بیش‌تر در خاک‌های پرتنش آشکار و نمایان‌تر شود.

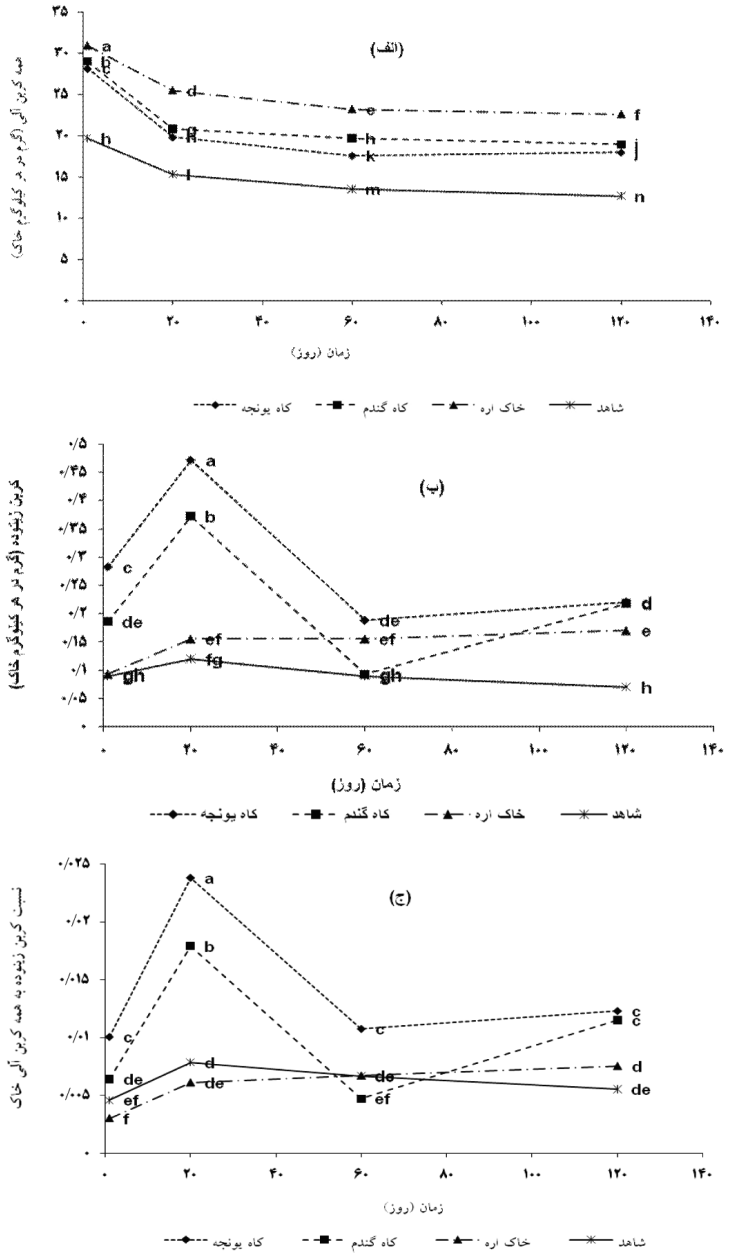
1- Metabolic Quotient

کربن محلول در آب سرد در همه تیمارهای کودی یک روند همانندی داشت، این بخش از کربن خاک در ۲۰ روز نخست آزمایش افزایش و سپس در زمان ٦۰ روز به کم‌ترین اندازه خود رسید و پس از آن در زمان ۱۲۰ روز دوباره افزایش یافت. روند دگرگونی کربن آلی محلول در آب گرم در تیمار کاه یونجه و گندم همانند با دگرگونی کربن محلول در آب سرد در این تیمارها بود. کربن محلول در آب گرم در تیمار خاک اره یک روند افزایشی داشت. در تیمار بدون مانده گیاهی کربن محلول در آب گرم از روز نخست آزمایش تا زمان ۲۰ روز افزایش و سپس در زمان ٦۰ روز کاهش و پس از آن در زمان ۱۲۰ روز دوباره افزایش یافت.

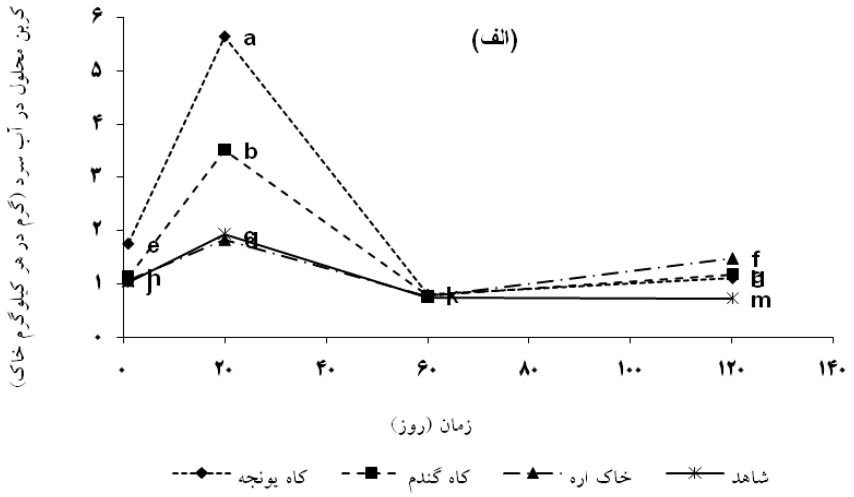
کربن بخش فولویک اسید خاک در ۲۰ روز نخست آزمایش روند افزایشی و پس از آن تا پایان دوره یک روند کاهشی نشان داد. بیش‌ترین اندازه کربن در این بخش در تیمار یونجه و زمان ۲۰ روز (۳/۸۹ گرم بر کیلوگرم خاک) دیده شد.

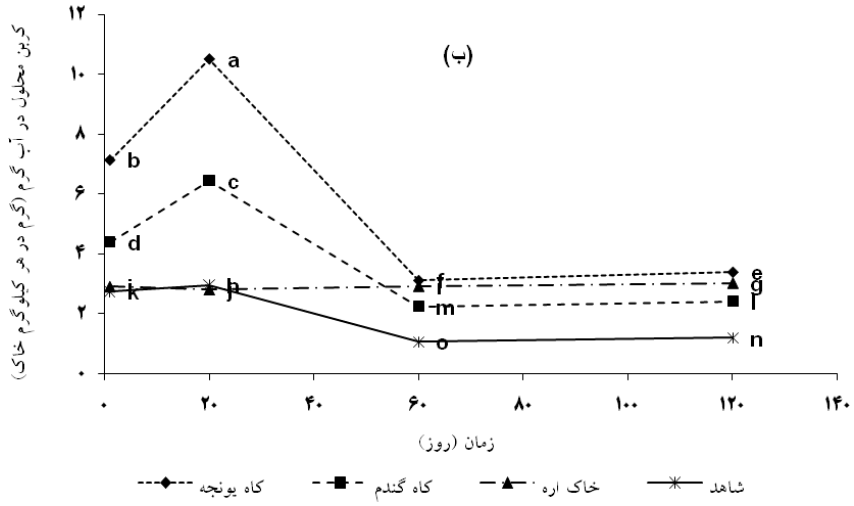
کربن بخش هیومیک اسید در ماه‌های نخست انکوباسیون خاک دگرگونی چشم‌گیری نداشت اما در پایان دوره (۱۲۰ روز) افزایش چشم‌گیری را در همه تیمارها نشان داد. کربن بخش هیومیک اسید در تیمار خاک اره و خاک بدون مانده گیاهی ناهمانندی چشم‌گیری نداشتند. بیش‌ترین اندازه کربن در این بخش در تیمار یونجه و زمان ۱۲۰ روز (٥/۰٤٤ گرم بر کیلوگرم خاک) دیده شد.

**بررسی همبستگی‌ها:** ضریب همبستگی میان هر یک از بخش‌های کربن‌های آلی اندازه‌گیری شده در خاک در جدول ٦ گزارش شده است. همه کربن آلی با کربن فولویک اسید همبستگی مثبت و چشم‌گیری در پایه آماری ۱ درصد و با کربن محلول در آب گرم همبستگی مثبت و چشم‌گیری در پایه آماری ٥ درصد نشان داد. همچنین همه کربن آلی با کربن محلول در آب سرد و کربن زیتوده همبستگی مثبت و با کربن هیومیک اسید همبستگی منفی نشان داد. لی و جاس (۲۰۰۳) در بررسی‌های خود گزارش کردند که همبستگی مثبت و بالایی میان کربن زیتوده و همه کربن آلی خاک دیده می‌شود. در برابر آن‌ها مارینری و همکاران (۲۰۰۷) همبستگی منفی را میان همه کربن آلی با کربن زیتوده، کربن هیومیک اسید و کربن محلول در آب سرد دیدند.

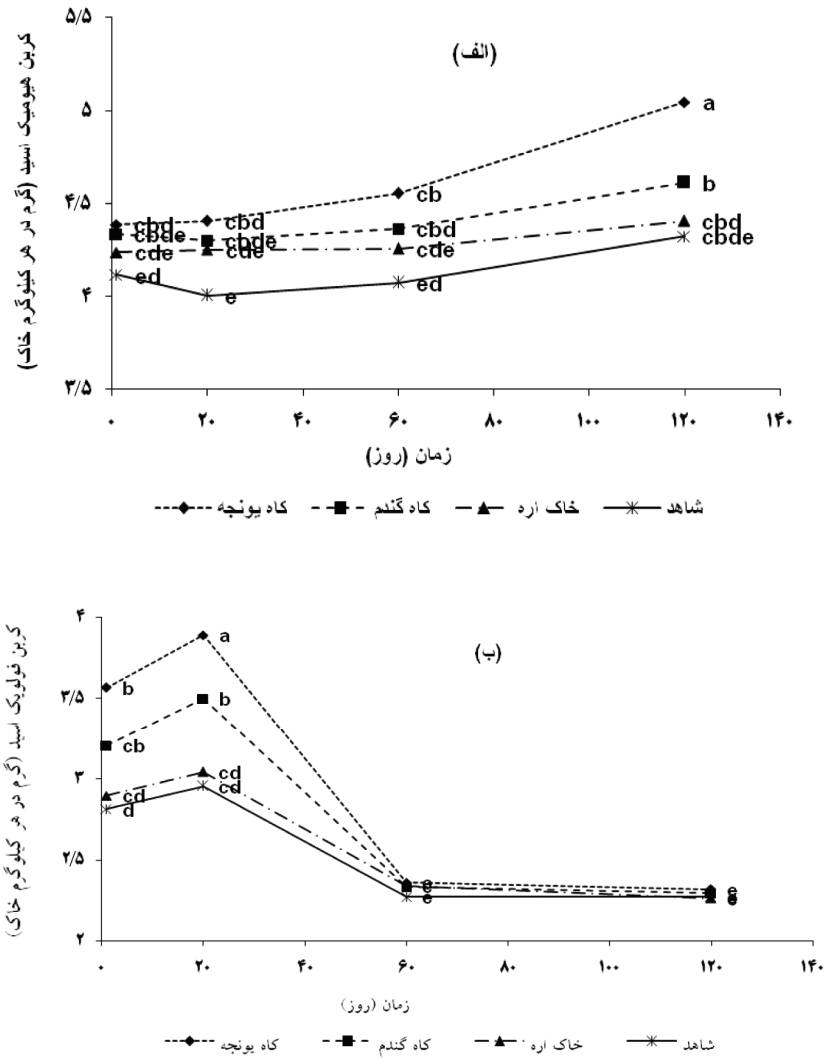



**شکل ١- روند دگرگونی همه کربن آلی (الف)، کربن زیتوده (ب) و ضریب میکروبی (ج) خاک در تیمارهای کودی گوناگون در زمان آزمایش.**




**شکل ۲- روند دگرگونی کربن آلی محلول در آب سرد (الف) و گرم (ب) در تیمارهای کودی گوناگون در دوران آزمایش.**




**شکل ٣- روند دگرگونی کربن بخش هیومیک اسید (الف) و فولویک اسید (ب) خاک در تیمارهای کودی گوناگون در دوران آزمایش.**

**جدول ٦- ضریب همبستگی میان بخش‌های شیمیایی و زیستی کربن آلی خاک تیمار شده با مانده‌های گیاهی.**

| | همه کربن آلی | کربن محلول در آب سرد | کربن محلول در آب گرم | کربن فولویک اسید | کربن هیومیک اسید |
|---|---|---|---|---|---|
| کربن محلول در آب سرد | ۰/۰۳۸ | ۱ | | | |
| کربن محلول در آب گرم | ۰/۲۸* | ۰/۸۷** | ۱ | | |
| کربن فولویک اسید | ۰/٤٤** | ۰/۷۷** | ۰/۸۵** | ۱ | |
| کربن هیومیک اسید | -۰/۰۱٤ | -۰/۰۱۷ | ۰/۱۲ | -۰/۱۸ | ۱ |
| کربن زیتوده | ۰/۱٤ | ۰/۸٤** | ۰/۹۱** | ۰/٦۸** | ۰/۲۸* |

* و ** به‌ترتیب نشانگر پیامد چشم‌گیر در پایه آماری ۵ و ۱ درصد.

فراوانی کربن و نیتروژن آلی محلول، بستگی زیادی با همه کربن و نیتروژن خاک دارد (گریگوریچ و همکاران، ۲۰۰۳). اسپارلینگ و همکاران (۱۹۹۸) در بررسی ٦٦ خاک در نیوزلند، یک رابطه خطی میان همه کربن آلی خاک و کربن قابل عصاره‌گیری با آب گرم گزارش کردند.

کربن محلول در آب سرد با کربن محلول در آب گرم، کربن فولویک اسید و کربن زیتوده همبستگی مثبت و چشم‌گیری در پایه آماری ۱ درصد و با کربن هیومیک اسید همبستگی منفی نشان داد. مارینری و همکاران (۲۰۰۷) همبستگی مثبتی را میان کربن محلول در آب سرد و کربن زیتوده دیدند که با یافته‌های این پژوهش هم‌خوانی دارد. کلارک و همکاران (۲۰۰۷) همبستگی چشم‌گیری میان کربن محلول در آب سرد و کانی شدن کربن در روزهای نخستین انکوباسیون خاک (۷-۳ روز) دیدند. ترین‌سوت‌روت (۲۰۰۰) این نتایج را برای ٤۷ مانده گیاهی گوناگون گزارش کرد. جنسون و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که مقدار کربن و نیتروژن محلول همبستگی بسیار بالایی با کانی شدن کربن در ۲۲ روز نخست آمیختن مانده‌ها به خاک دارد.

کربن محلول در آب گرم با کربن فولویک اسید و کربن زیتوده همبستگی مثبت و چشم‌گیری در پایه آماری ۱ درصد نشان داد ولی با کربن هیومیک اسید همبستگی منفی داشت. کربن فولویک اسید با کربن زیتوده همبستگی مثبت و چشم‌گیری در پایه آماری ۱ درصد و با کربن هیومیک اسید همبستگی منفی نشان داد. کربن هیومیک اسید تنها با کربن زیتوده همبستگی مثبت و چشم‌گیری در پایه آماری ۵ درصد نشان داد.

## نتیجه‌گیری

کاربرد کودهای آلی مایه افزایش همه کربن آلی، کربن زیتوده، کربن محلول، کربن فولویک اسید، کربن هیومیک اسید خاک در برابر شاهد شد که تندی فرایندها و دگرگونی بخش‌های شیمیایی و زیستی کربن آلی خاک در تیمار کاه یونجه بیش‌تر از تیمارهای دیگر بود.

کاربرد کودهای آلی مایه افزایش نسبت MBC/TOC در خاک شد. یافته‌های این پژوهش اهمیت کودهای آلی در افزایش کیفیت خاک را نشان می‌دهد. پایین بودن کربن زیتوده می‌تواند نشان‌دهنده پاسخ ریزجانداران به تنش‌های محیطی یا ناهماهنگی در اکوسیستم باشد. اگرچه در همه خاک‌ها ریزجانداران با تنش کمبود ماده آلی روبرو هستند و زندگی الیگوتروفی دارند ولی در خاک‌های خشک و نیمه‌خشک این تنش نمایان‌تر است و دادن کودهای آلی کمک شایسته‌ای به ریزجانداران سودمند و بهبود توان باروری خاک می‌کند.

هر چند گزارش شده است که مواد موکوییدی ریزجانداران در پیدایش خاکدانه‌ها کارایی دارند و پیدایش خاکدانه‌ها به نگهداری پلی‌ساکاریدها در خاک کمک می‌کند ولی از بررسی روندها و همبستگی‌های میان بخش‌های شیمیایی و زیستی کربن آلی خاک شاید بتوان دریافت که کربن آلی ساخته و رها شده ریزجانداران در خاک خود را در بخش محلول در آب سرد و گرم نشان می‌دهند که پایداری چندانی در خاک ندارند و با گذشت زمان کاهش می‌یابند. به هر گونه این یافته نیاز به بررسی بیش‌تر دارد.

## منابع


1. Aliasgharzadeh, N. 1998. Soil Microbiology and Biochemistry. 1st Edition. Tabriz University Press, 405p. (In Persian)
2. Ananyeva, N.D., Susyan, E.A., Chernova, O.V., and Wirth, S. 2008. Microbial respiration activities of soils from different climatic regions of European Russia. Eur. J. Soil Biol. 44: 147-157.
3. Blair, N., and Crocker, G.J. 2000. Crop rotation effects on soil carbon and physical fertility of two Australian soils. Aust. J. Soil Res. 38: 71-84.
4. Bohme, L., Langer, U., and Bohme, F. 2005. Microbial biomass, enzyme activities and microbial community structure in two European long-term field experiments. Agr. Ecos. Envion. 109: 141-152.
5. Clark, G.J., Dodgshun, N., Sale, P.W.G., and Tang, C. 2007. Changes in chemical and biological properties of a sodic clay subsoil with addition of organic amendments. Soil Biol. Biochem. 39: 2806-2817.

6.Duxbury, J.M., Smith, M.S., and Doran, J.W. 1989. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients, P 33-67. In: Coleman, D.C. et al. (Eds.), Dynamic of Soil Organic Matter in Tropical Ecosystems. NifTAL Project, Dept. of Agronomy and Soil Science, College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii, Honolulu, HI.
7.Forghani, A. 2004. Study of biochemical changes and properties fulvic and humic acid in soil treated with different organic materials. 8th Iranian Soil Science Congress, Pp: 78-79. (In Persian)
8.Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1986. Particle-size analysis, P 383-411. In: Klute, A. (Ed), Methods of soil analysis, part 1: Physical and mineralogical methods. Soil Sci Soc. Am. Madison, Wisconsin, USA.
9.Gregorich, E.G., Beare, M.H., Stoklas, U., and St-Georges, P. 2003. Biodegradibility of soluble organic matter in maize-cropped soils. Geoderma. 113: 237-252.
10.Haynes, R.J. 2005. Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: an overview. Adv. Agric. 85: 221-268.
11.Helfrich, M., Ludwig, B., Potthoff, M., and Flessa, H. 2008. Effect of litter quality and soil fungi on macroaggregate dynamics and associated partitioning of litter carbon and nitrogen. Soil Boil. Biochem. 40: 1823-1835.
12.Jenkinson, D.S., and Ladd, J.N. 1981. Microbial biomass in soil: measurement and turnover, P 415-471. In: Paul, E.A., and J.N. Ladd (Eds), Soil biochemistry. vol 5. Marcel Dekker New York.
13.Jensen, L.S., Salo, T., Palmason, F., Breland, T.A., Henriksen, T.M., Stenberg, B., Pedersen, A., Lundstrom, C., and Esala, M. 2005. Influence of biochemical quality on C and N mineralisation from a broad variety of plant materials in soil. Plant Soil. 273: 307-326.
14.Kalbitz, K., Solinger, S., Park, J.H., Michalzik, B., and Matzner, B. 2000. Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: a review. Soil Sci. 165: 277-304.
15.Kanazawa, S., and Filip, Z. 1986. Distribution of microorganisms, total biomass and enzyme activities in different particles of brown soil. Microb. Ecol. 12: 205-215.
16.Killham, K. 1985. A physiological determination of the impact of environmental stress on the activity of microbial biomass. Environ. Pollut. 38: 283-294.
17.Klut, A. 1986. Method of Soil Analysis: Physical, Chemical and Mineralogical Methods. Soil Sci. Soc. Am. Madison, Wiscosin, USA, Pp: 432-449.
18.Kubat, J., Novakova, J., Mikanova, O., and Apfelthaler, R. 1999. Organic carbon cycle, incidence of microorganisms and respiration activity in long-term field experiment. Rost. Vyroba. 45: 389-395.
19.Langer, U., and Gunther, T. 2001. Effects of alkaline dust deposits from phosphate fertilizer production on microbial biomass and enzyme activity in grassland soils. Environ. Pollut. 12: 321-327.

20.Lee, K.H., and Jose, S. 2003. Soil respiration and microbial biomass in pecan-cotton alley cropping system in southern USA. Agrof. Syst. 58: 45-54.
21.Loveland, P., and Webb, J. 2003. Is there a critical level of organic matter in the agriculture soils of temperate regions: A review. Soil Till. Res. 70: 1-18.
22.Lowe, L.E. 1975. Fractionation of acid-soluble components of soil organic matter using polyvinylpyrrolidone. Can. J. Soil Sci. 55: 119-126.
23.Marinari, S., Liburdi, K., Masciandaro, G., Ceccanti, B., and Grego, S. 2007. Humification-mineralization pyrolytic indices and carbon fractions of soil under organic and conventional management in central Italy. Soil Till. Res. 92: 10-17.
24.Marschner, B., and Bredow, A. 2002. Temperature effects on release and ecologically relevant properties of dissolved organic carbon in sterilized and biologically active soil samples. Soil Biol. Biochem. 34: 459-466.
25.Matthiessen, M.K., Larney, F.J., Selinger, L.B., and Olson, A.F. 2005. Influence of loss-on-ignition temperature and heating time on ash Content of compost and manure. Soil Sci. Plant anal. 36: 2561-2573.
26.Mikanova, O. 2006. Effects of heavy metals on some soil biological parameters. J. Geochem. Exp. 88: 220-223.
27.Murphy, J., and Riley, J.P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chem. Acta. 27: 31-36.
28.Nannipieri, P., Badalucco, L., Landi, L., and Pietramellara, G. 1997. Measurement in assessing the risk of chemicals to the soil ecosystem, P 507-534. In: Zelikoff, J.T. (Ed.), Ecotoxicology: Responses, Biomarkers and Risk Assessment. OECD Workshop. SOS Publ. Fair Haven, New York.
29.Nelson, D.W., and Somers, L.E. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter of soil analysis. Part 3. Chemical Methods. Madision, Wisconsin. USA, Pp: 961-1010.
30.Nelson, P.N., Dictor, M.C., and Soulas, G. 1994. Availability of organic carbon in soluble and particle-size fractions from a soil profile. Soil Biol. Biochem. 26: 1549-1555.
31.Oades, J.M. 1993. The role of biology on the formation, stabilization and degradation of soil structure. Geoderma. 59: 377-400.
32.Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., and Dean, L.A. 1956. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA. Circ. 939. U. S. GOV. Print Office, Washington, DC.
33.Peperzak, P., Caldwell, A.G., Hunziker, R., and Black, C.A. 1959. Phosphorus fractions in manures. Soil Sci. 87: 293-302.
34.Rhoades, J.D. 1996. Salinity: Electerical conductivity and total dissolved soils, P 417-435. In: Sparks, D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical methods. Soil Sci. Soc. Am. Madison, WI.
35.Rowell, D.L. 1994. Soil Science: Methods and Applications. Longman Grop, Harlow.
36.Safari Sinegani, A.A. 2003. Soil biology and biochemistry. Bu-Ali Sina University Press, Hamedan, 520p. (In Persian)

37. Sims, J.T. 1996. Lime requirement methods of soil analysis, Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical methods. Soil Sci. Soc. Am. Madison, WI. USA. 491p.
38. Smith, E., Leeflang, P., Gommans, S., Van den Broek, J., Van Mil, S., and Wernars, K. 2001. Diversity and seasonal fluctuations of the dominant members of the bacterial soil community in a wheat field as determined by cultivation and molecular methods. Appl. Environ. Microb. 67: 2284-2291.
39. Sparling, G., Vojvodic´-Vukovic´, M., and Schipper, L.A. 1998. Hot-water-soluble C as a simple measure of labile soil organic matter: the relationship with microbial biomass C. Soil Biol. Biochem. 30: 1469-1472.
40. Stefanowicz, A.M., Niklinska, M., Kapusta, P., and Szarek-Lukaszewska, G. 2010. Pine forest and grassland differently influence the response of soil microbial communities to metal contamination. Sci. Total Environ. 408: 6134-6141.
41. Stevenson, F.J. 1994. Humus chemistry: Genesis, composition, reactions. Second ed. Wiley, New York.
42. Stockdale, E.A., Lampkin, N.H., Hovi, M., Keatinge, R., Lennartsson, E.K.M., Macdonald, D.W., Padel, S., Tatersall, F.H., Wolfe, M.S., and Watson, C.A. 2001. Agronomic and environmental implications of organic farming systems. Adv. Agric. 70: 261-327.
43. Thomas, G.W. 1996. Soil pH soil acidity, P 475-490. In: Sparks D.L. (Ed.), Methods of soil analysis. Part 3, Chemical methods. ASA, Madison, WI.
44. Trinsoutrot, I., Recous, S., Bentz, B., Lineres, M., Cheneby, D., and Nicolardot, B. 2000. Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under nonlimiting nitrogen conditions. Soil Sci. Soc. Am. J. 64: 918-926.
45. Vance, E.D., Brookes, P.C., and Jenkinson, D.S. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. Soil Biol. Biochem. 19: 703-707.
46. Vandermer, J. 1995. The ecological basis of alternative agriculture. Ann. Rev. Ecol. Syst. 26: 201-224.
47. Watson, C.A., Atkinson, D., Gosling, P., Jackson, L.R., and Rayns, F.W. 2002. Managing soil fertility in organic farming systems. Soil Use Manage. 18: 239-247.
48. Weil, R.R. 1992. Inside the heart of sustainable farming: An intimate look at soil life and how to keep it thriving. New Farm. 12: 108-127.
49. Wu, T., Schoenau, J.J., Li, F., Qian, P., Malhi, S.S., Shi, Y., and Xu, F. 2004. Influence of cultivation and fertilization on total organic carbon and carbon fractions in soils from the Loess Plateau of China. Soil Till. Res. 77: 59-68.
50. Zhang, F.P., Li., C.F., Tong, L.G., Yue, L.X., Li, P., Ciren, Y.J., and Cao, C.G. 2010. Response of microbial characteristics to heavy metal pollution of mining soils in central Tibet, China. Appl. Soil Ecol. 45: 144-151.

*J. of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 4(3), 2014*
*http://ejsms.gau.ac.ir*

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

# Effect of application of plant residues on chemical and biological fractions of organic carbon in soil

***A.A. Safari Sinegani[1] and M. Afzalpour[2]**
[1]Professor, Dept. of Soil Science, Bu-Ali Sina University, Hamadan,
[2]M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Bu-Ali Sina University, Hamadan
Received: 05/08/2013; Accepted: 12/08/2013

## Abstract

An option for improving soil physical, chemical and biological properties and carbon sequestration is by increasing organic carbon (OC) input through recycling of crop residues and organic manures. The objective of this study was to determine the degradation of some plant residues and the influence of application of plant residue on different chemical and biological forms of OC in soil. The was sampled soil from the top 30-cm layer of an agricultural land treated with mild (d<2 mm) alfalfa, wheat and sawdust residues, at a rate of 20 g $kg^{-1}$ (dry weight basis) and incubated in field capacity and lab temperature conditions. After 1, 20, 60 and 120 days of incubation a portion of each soil were taken for analysis. The experiment was considered a completely randomized design as factorial in three replicates. The factors were residues type and the passing time of incubation. Microbial biomass carbon (MBC) increased in all treatments significantly. It increased to the highest values in soil treated with alfalfa (0.472 g $kg^{-1}$) and wheat (0.372 g $kg^{-1}$) straws in 20th day of soil incubation. But it increased slowly and continuously in sawdust-amended soil during incubation. The application of plant residue especially alfalfa and wheat straws in soil increased cold water (CW) and hot water (HW) extractable OC significantly. They were 1.75 and 7.15 g $kg^{-1}$ in alfalfa straw treated soils and 1.13 and 4.40 g $kg^{-1}$ in wheat straw treated soils respectively in 1st day of soil incubation. They were significantly higher than those in sawdust treated soil (1.07 and 2.92 g $kg^{-1}$ soil). Although fulvic acid fraction increased significantly in soil treated with alfalfa and wheat straws in early stages of incubation, but the addition of plant residues did not increase soil fulvic acid in late stages of soil incubation. The increase of humic acid was only significant in alfalfa treated soil. It increased the highest value in alfalfa treated soil (5.04 g $kg^{-1}$) in $120^{th}$ day of soil incubation. The study of changes of different chemical and biological fractions of OC during soil incubation and their correlations revealed that MBC had high dependence and coherence with fulvic acid, CW and HW extractable OC.

***Keywords:*** Soil organic matter, Chemical fractionation, Plant residue, Soil incubation

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