

## بخش بندی فیزیکی کربن آلی در خاک های شنی و رسی تیمار شده با کود جانوری و زئولیت

علی اکبر صفری سنجانی<sup>۱\*</sup> و سمیه طاهری قهریزجانی<sup>۲</sup>

۱- استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد پیشین گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۳۹۴/۰۴/۰۸ پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۰۳/۱۴	نگهداشت کربن در خاک از راه افزودن کودهای جانوری به خاک و کاربرد زئولیت می تواند افزون بر بهبود ویژگی های خاک، به کاهش گازهای گلخانه ای کمک کند. هدف از این پژوهش، بررسی پیامد کاربرد زئولیت و کودهای جانوری بر ریخت های کربن آلی خاک بود. دو نمونه خاک شنی و رسی از لایه ۳۰ سانتی متری روپین دو زمین کشاورزی در همدان برداشت شد. این خاک ها در لوله های پی وی سی با قطر ۲۰ سانتی متر که به دو بخش جداگانه برش داده شده بود، ریخته و ذرت کشت شد. هنگامی که گیاه ذرت به گام گلدهی از رشد خود رسید، از دو جایگاه ریزوسفر و ناریزوسفری خاک ها نمونه برداری گردید و بخش های فیزیکی کربن آلی خاک اندازه گیری شد. این پژوهش نشان داد که کاربرد زئولیت در خاک شنی پیامد چشم گیری بر همه کربن آلی، ماده آلی بخش سبک و کربن آلی بخش هم اندازه شن نداشت؛ ولی کربن آلی بخش هم اندازه سیلت و رس را به اندازه چشم گیری افزایش داد. کربن آلی بخش سنگین با افزودن زئولیت افزایش یافت؛ ولی این افزایش از دیدگاه آماری چشم گیر نبود. در خاک رسی، همه کربن آلی خاک، بخش هم اندازه شن، کربن آلی بخش هم اندازه سیلت و رس و کربن آلی بخش سنگین با افزودن زئولیت کاهش چشم گیری یافت؛ ولی کربن آلی بخش سبک دگرگونی چشم گیری نداشت. افزودن کودهای جانوری و به ویژه کود گاوی مایه افزایش ماده آلی بخش های گوناگون به ویژه بخش سبک در هر دو خاک شنی و رسی شد. کربن آلی خاک بویژه بخش سنگین و بخش هم اندازه سیلت و رس در خاک های ریزوسفری بیش از ناریزوسفری بود.
<b>کلمات کلیدی:</b> بخش بندی فیزیکی، زئولیت، کربن اندوزی، کود جانوری.	
* عهده دار مکاتبات Email: aa-safari@basu.ac.ir	

## مقدمه

اندوخته کربن آلی خاک بزرگترین اندوخته این عنصر در روی زمین است و اندازه آن نزدیک ۸۰ درصد همه اندوخته کربن کره زمین برآورد شده است (۲). نگهداری کربن آلی یا کربن اندوخته<sup>۱</sup> در بهبود کیفیت خاک در کشاورزی پایدار جایگاه بسیار بالایی دارد و کارایی ویژه‌ای در کاهش CO<sub>2</sub> اتمسفر و گرمایش جهانی دارد (۳۱). کربن اندوخته شده در مواد آلی در اکوسیستم‌های خاکی نزدیک ۱۵۰۰ پیکو گرم برآورد شده است (۱۸). خاک گندم‌زارها دارای ۸ تا ۱۰٪ از این کربن است (۱۱ و ۲۵). مواد آلی خاک انبارهای از مواد مغذی خاک است و فراوانی و چگونگی آن بر حاصل‌خیزی خاک تاثیر دارد (۱۵ و ۲۲). مواد آلی خاک پ-اچ خاک را بافری می‌کند که این کار در برآورد عناصر غذایی در دسترس برای گیاه جایگاه بسیار بالایی دارد (۷).

اندازه مواد آلی انباشته شده در خاک افزون بر پنج فاکتور خاکساز و ویژگی‌های خاک به روش‌های خاک ورزی، روش‌های گرداندن (مدیریت) و چگونگی بهره‌گیری از مانده‌های جانوری و گیاهی بستگی دارد (۱۵ و ۳۱). گزارش شده است که به گونه میانگین ۴۲٪ کربن آلی لایه ۱۵ سانتی متری رویه خاک ها پس از ۳۰-۴۰ سال برداشت پی در پی گیاهان کشاورزی در سراسر دشت بزرگ ایالت متحده کاهش یافته است. پژوهش‌های دیگر نیز کاهش کربن آلی خاک را پس از کشاورزی و کشت و کار گزارش کردند (۸؛ ۱۶ و ۲۹). پژوهش‌های دیگر نیز نشان دادند که افزایش درون داد کربن آلی مانده‌ها به خاک اندوخته کربن آلی خاک، را افزایش می‌دهد (۱؛ ۴؛ ۱۷ و ۲۱).

اندوخته کربن آلی خاک به محیط زیست طبیعی و نگهداری از آن بستگی دارد و این به روش کاربری زمین و شیوه بهره‌گیری از خاک بستگی دارد (۳۹). در

سال‌های کنونی، بر گسترش سیستم‌های کشاورزی پایدار نگاه ویژه شده و در این راستا کاربرد مواد کانی طبیعی برای بهبود باروری و بهسازی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، پیشنهاد شده است. کاربرد ژئولیت همانند یک بهساز کانی به تنهایی و یا همراه با مواد آلی، با بیشتر شناسه‌های کیفیت خاک وابستگی دارد. به گونه‌ای که در بیشتر کشورهای جهان ژئولیت‌ها به گونه‌ای گسترده برای بهبود کیفیت خاک‌های ناتوان بهره‌گیری شده‌اند (۲۷). برای نمونه در کشور ژاپن، کاربرد ژئولیت‌های طبیعی برای بهبود کیفیت خاک، به گذشته‌های دورتر برمی‌گردد. کشاورزان ژئولیت‌ها را برای همسنگ کردن اسیدیته خاک و نیز افزایش نگهداری آمونیوم به خاک می‌افزایند (۹).

ژئولیتی که با کود آمیخته شده باشد، با نگهداری عناصر غذایی و افزایش توانایی جذب خاک مایه بهبود کیفیت خاک در زمان‌هایی دراز می‌گردد (۲۴). همچنین نوری و همکاران، (۲۳) در بررسی پیامد ژئولیت طبیعی کلینوپتیلولیت بر شوری خاک و کارکرد گیاه نتیجه گزارش کردند، کلینوپتیلولیت مایه افزایش چند و چون فرآورده گیاهی و نیز مایه بهبود کیفیت خاک می‌گردد. همچنین ژئولیت از راه بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مایه نگهداری رطوبت خاک، کاهش آتشویی عناصر غذایی و رها سازی آرام آنها بر پایه نیاز گیاهان و در پایان مایه افزایش رشد گیاه و بهبود کیفیت خاک می‌شود (۱۳؛ ۱۹ و ۴۰).

گزارش شده است که افزودن ژئولیت و کودهای جانوری در دو خاک با بافت درشت و ریز، ویژگی‌های شیمیایی آنها را در برابر شاهد دگرگون ساخت، به گونه‌ای که در کاربرد ژئولیت پ-اچ خاک با بافت ریز و گنجایش تبادل کاتیونی، پتاسیم فراهم و شوری هر دو خاک به اندازه چشم‌گیری افزایش یافت (۳۳). در بررسی ویژگی‌های زیستی خاک‌ها دیده شد که کاربرد ژئولیت و کودهای جانوری ویژگی‌های بیولوژیک هر دو خاک شنی و رسی را در برابر شاهد دگرگون کرد، به

و (۳۳). اندازه شن، سیلت و رس در خاک با بافت ریز به ترتیب ۳۲، ۲۶ و ۴۲ درصد بود و بافت این خاک رسی است. این درصدها در خاک با بافت درشت به ترتیب ۸، ۸۵ و ۷ درصد و بافت خاک شن لومی است. خاک شن لومی دارای ۱/۷۵ درصد کربنات کلسیم معادل و خاک رسی دارای ۳/۲۵ درصد کربنات کلسیم معادل بود. کربن آلی خاک به ترتیب در دو خاک شن لومی و رسی ۳/۳۷ و ۹/۲۳ گرم بر کیلوگرم خاک است. گنجایش تبادل کاتیونی خاک شن لومی ۴/۵۳ سانتی مول بار بر کیلوگرم خاک و در خاک رسی ۱۸/۱۱ سانتی مول بار بر کیلوگرم خاک بود. پ-اچ دو خاک شن لومی و سنگین به ترتیب ۷/۴۲ و ۷/۷۵ است که در دسته خاک‌های خنثی تا کمی قلیایی هستند. رسانایی الکتریکی در دو خاک شن لومی و سنگین ۰/۱۳ و ۰/۱۹ دسی‌زیمنس بر متر است. فسفر فراهم (در عصاره بی‌کربنات سدیم نیم نرمال با پ-اچ ۸/۵) دو خاک به ترتیب ۳۱/۷۳ و ۶۸/۵۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک است و پتاسیم فراهم (در عصاره استات آمونیوم ۱ نرمال) دو خاک ۱۵۲/۳۲ و ۳۹۶/۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک است.

کودهای مرعی و گاوی به کار رفته در این پژوهش که از روستای حیدره در همدان از یک دامداری خانگی گردآوری شده بودند ویژگی‌های زیر را داشتند. کربن آلی اندازه‌گیری شده در کوره الکتریکی در کود گاوی ۵۱۲ گرم بر کیلوگرم و کربن آلی محلول (بروش اکسیداسیون تر) آن ۵/۴۲ گرم بر کیلوگرم بود. این ویژگی‌ها در کود مرعی به ترتیب ۴۳۳ و ۱۰/۳۲ گرم بر کیلوگرم بود. کربن آلی محلول و نیز کل مواد جامد محلول کود مرعی بیشتر از کود گاوی بود. شوری و نمک‌های محلول آلی و کانی در کود مرعی بیش‌تر و رسانایی الکتریکی عصاره ۱:۵ آن ۶/۸۵ دسی‌زیمنس بر متر بود؛ ولی عصاره ۱:۵ کود گاوی رسانایی الکتریکی ۴/۷ دسی‌زیمنس بر متر داشت. پ-اچ اندازه‌گیری شده در عصاره ۵:۱ کودها، برای کود مرعی کم‌تر (۶/۸۹) و برای کود گاوی نزدیک قلیایی (۸/۱۶) است. همه فسفر کود مرعی بیشتر (۷/۷ گرم بر کیلوگرم) از همه فسفر کود گاوی (۵/۶ گرم بر کیلوگرم) بود.

گونه‌ای که در همه تیمارها فراوانی باکتری‌ها، اکتینومیسیت‌ها و تنفس برانگیخته به اندازه چشم‌گیری افزایش یافت. در برابر آنها فراوانی قارچ‌ها با افزودن زئولیت به خاک‌ها دگرگونی چشم‌گیری نداشت. کاربرد زئولیت در خاک شن لومی مایه افزایش چشم‌گیر تنفس پایه، کربن و فسفر زیتوده و فراوانی اسپورگلومرال‌ها شد؛ ولی از دیدگاه آماری در خاک رسی پیامد چشم‌گیری بر آنها نداشت. بنابراین کاربرد زئولیت و کودهای جانوری در خاک شن لومی در برابر خاک رسی پیامدهای نمایان‌تری بر ویژگی‌های زیستی خاک داشت (۳۲).

این ویژگی‌های سودمند کاربرد زئولیت و کودهای آلی نشان دهنده نیاز به شناخت پیامد کاربرد این بهسازی‌های کانی و آلی بر ریخت‌های گوناگون کربن آلی در خاک و نگهداشت کربن در خاک است. در این پژوهش با افزودن زئولیت و کودهای گاوی و مرعی در دو خاک با بافت ناهمانند و کشت گیاه ذرت، چگونگی دگرگونی کربن آلی و بخش‌های آن در خاک ریزوسفری و ناریوسفری بررسی شد. پیامد کاربرد زئولیت بر کربن اندوزی در خاک پرسشی است که در این پژوهش بررسی گردیده است.

## مواد و روش

### ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، کود و زئولیت به‌کاررفته در پژوهش

در این پژوهش از لایه روین (۰-۳۰ سانتی متر) دو خاک کشاورزی با بافت ریز و درشت بهره‌گیری شد. خاک با بافت ریز از زمین‌های کشاورزی روستای قمشانه و خاک با بافت درشت نیز از زمین‌های کشاورزی پیرامون کارخانه سیلیس در نزدیکی شهر همدان به روش مرکب نمونه برداری شدند.

از آنجایی که روش‌های اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک، کود و زئولیت در نوشتارهای پیشین نویسندگان این مقاله آمده است، از نوشتن و تکرار آنها خودداری شد (۳۲)

سپس بخش ۱۰ سانتی‌متری لوله پی‌وی‌سی را روی توری ۲۵ میکرومتری گذاشته و آن هم از خاک همان تیمار پر شد. برای آبیاری گلدان‌ها، آبیاری از پایین به بالا با ریختن آب در پایه بخش زیرین انجام گردید (۳۲).

پس از گذشت نزدیک به دو ماه هنگامی که گیاهان به بیشترین رشد رویشی خود رسیدند و برخی از آن‌ها نیز به گام گلدهی رسیده بودند، برداشت گیاهان انجام شد؛ و برای نمونه‌برداری از خاک ریزوسفری و ناریزوسفری از روش لایه برداری نازک<sup>۱</sup> بهره‌گیری شد که در آن خاک لایه‌ی یک سانتی‌متری چسبیده به زیر توری ۲۵ میکرومتری زیر ریشه همانند خاک ریزوسفری برداشت گردید. لایه خاک ۱ سانتی‌متری زیر آن نیز همانند خاک ناریزوسفری برداشت شد (۳۵).

### بخش‌بندی فیزیکی کربن آلی خاک

در این پژوهش افزون بر اندازه‌گیری همه کربن آلی خاک در تیمارهای گوناگون، هر یک از بخش‌های فیزیکی کربن آلی خاک به روش‌های زیر اندازه‌گیری و بررسی شد.

#### چگالی بخش‌بندی<sup>۲</sup>

بخش سبک و سنگین ماده آلی خاک با روش بهبود یافته استریکلند و سولینز (۳۶) جداسازی شد. برای این کار ۲۰ میلی‌لیتر از دیدسدیم (NaI) با چگالی ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب به ۱۰ گرم خاک افزوده شد. نمونه‌ها با دست تکان داده شدند و سپس برای ۱۰ دقیقه با ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شده و مواد شناور در محلول (با چگالی کمتر از ۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب) با یک کاغذ پالایه شیشه‌ای جدا گردید. این کار برای ۴ بار تکرار شد (تازمانی که مواد شناور در محلول دیگر دیده نشود). مواد روی کاغذ پالایه را همانند بخش سبک (LF) و مواد ته‌نشین شده در لوله سانتریفیوژ را همانند بخش سنگین (HF) گرفته شد. بخش سنگین در آن در دمای ۵۰°C خشک شد و کربن آلی آن به روش اکسایش تر (۳۸) اندازه‌گیری گردید

زئولیت طبیعی کلینوپتیلولیت به کار رفته در این پژوهش، از شرکت افرازند فراهم شد که از کانسارهای شهر میانه برداشت شده است. اندازه دانه‌های زئولیت به کار رفته در تیمارها آزمایشی از ۱۰۰ تا ۴۰۰ میکرون بود. از آنجایی که شوری زئولیت فراهم شده بالا (۴ دسی‌زیمنس بر متر) بود و می‌توانست سبب کاهش رشد گیاه شود، چند بار با آب لوله‌تاجایی شسته شد که رسانایی الکتریکی عصاره آن از ۴ دسی‌زیمنس بر متر به کمتر از ۲ دسی‌زیمنس بر متر برسد. پ-اچ زئولیت به کاررفته خنثی (۷/۲)، همه کربن آلی و فسفر فراهم آن اندک (به ترتیب ۰/۹۲ و ۱۹/۶۷ گرم بر کیلوگرم) بود. در برابر آنها در زئولیت به کاررفته پتاسیم فراهم (میانگین ۱۰۴۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و گنجایش تبادل کاتیونی (۱۶۹/۲۷ سانتی مول بر کیلوگرم زئولیت) بالا بود.

### کشت گیاه ذرت

این پژوهش دارای دو آزمایش جداگانه بود که در دو خاک یکی با بافت رسی و دیگری بافت شن لومی با کشت گیاه ذرت در گلخانه انجام شد. هر آزمایش به ریخت فاکتوریل با سه فاکتور زئولیت در سه سطح (بدون زئولیت، ۱۰ درصد و ۲۰ درصد)، کود در سه سطح (بدون کود، ۲ درصد کود مرغی و ۲ درصد کود گاوی) و جایگاه نمونه‌برداری در دو بخش (ریزوسفری و ناریزوسفری) با طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. چگونگی کاربرد تیمارها و کاشت گیاه ذرت در آنها در مقاله پیشین آورده شده است (۳۲ و ۳۳). در اینجا به گونه فشرده یاد آور می‌شود که در این پژوهش از گلدان‌هایی از جنس لوله پی‌وی‌سی با قطر ۲۰ سانتی‌متر که به دو بخش جداگانه برش داده شده بودند، بهره‌گیری شد. لوله‌های پی‌وی‌سی به دو بخش ۵ سانتی‌متری و ۱۰ سانتی‌متری برش داده شد و بخش ۵ سانتی‌متری را از خاک هر تیمار پر نموده و بر روی آن توری از جنس آهن گلوآنیزه با سوراخ‌های ۲۵ میکرومتری گذاشته شد، که این کار برای جداسازی خاک دارای ریشه از خاک بدون ریشه انجام گردید. زیرا تنها ریشه‌های موئین گیاه می‌تواند از سوراخ‌های توری ۲۵ میکرومتری بگذرد؛

1- Thin slicing technique  
2- Density fractionation

کربن آلی هر بخش از این خاک ها، از روش اکسایش تر (۳۸) بهره گیری شد و کربن آلی هر یک از گروه های اندازه دانه ای بر پایه گرم بر کیلوگرم بخش جدا شده گزارش گردید.

همان گونه که یاد شد، این پژوهش، دو آزمایش جداگانه بود که در دو خاک یکی با بافت رسی و دیگری بافت شن لومی انجام شد. داده های به دست آمده از آزمایش های فاکتوریل یاد شده با طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار آزمون شد. جدا کردن آزمایش خاک ها و تجزیه واریانس جداگانه آنها به دلیل تکرار کم آزمایش بود و افزودن فاکتور سوم (بافت خاک) پیچیدگی تفسیر پیامد کاربرد زئولیت و کود دامی بر ویژگی های بررسی شده را بیش تر می کرد. برای پردازش داده های هر آزمایش و رسم نمودارها از نرم افزار ۲۰۰۳ و ۲۰۰۷ Excel و برای آزمون آماری از نرم افزار SAS بهره گیری شد. پیامد کاربرد هر یک از تیمارها و برهمکنش آنها با انجام تجزیه واریانس ارزیابی گردید. میانگین هر یک از بخش های کربن آلی خاک در تیمارهای به کار رفته به روش دانکن در پایه پنج درصد، آزمون شد.

### نتایج و بحث

#### پیامد کاربرد زئولیت، کودهای جانوری و جایگاه نمونه برداری بر بخش های کربن آلی خاک شن لومی

#### همه کربن آلی خاک شن لومی

از آنجایی که شمار جدول های آزمون میانگین ها در این نوشتار بالا است (۷ جدول)، جدول های تجزیه واریانس داده ها آورده نشد و تنها در اینجا از نتایج تجزیه واریانس یاد شده است؛ هر چند آزمون میانگین ها به روش دانکن چندان نیازی به آنچه در جدول تجزیه واریانس آمده است ندارد. در هر حال آنچه که از تجزیه واریانس داده های همه کربن آلی خاک برداشت شد، این بود که زئولیت به کار رفته پیامد چشم گیری بر همه

و بر پایه گرم کربن آلی بر کیلوگرم خاک گزارش شد. بخش سبک با آب مقطر چندین بار شسته شده و در آون در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد خشک شده و سپس این ماده آلی وزن گردید و بر پایه گرم ماده آلی بر کیلوگرم خاک گزارش گردید.

#### بخش بندی اندازه دانه ای<sup>۱</sup>

برای جداسازی و اندازه گیری کربن آلی در دانه های آلی-کانی نخستین<sup>۲</sup> (دانه های هم اندازه شن، سیلت و رس)، ۵۰ گرم از خاک مرطوب در آب مقطر به نسبت ۱:۲/۵ آمیخته و در روی دستگاه تکان دهنده<sup>۳</sup> برای ۱۶ ساعت با ۲۵۰ رفت و برگشت در دقیقه، تکان داده شد. این روش پراکنش (۲۶ و ۳۷)، مایه پخش کامل خاکدانه های درشت گردید. از آنجایی که تکان دادن انرژی بسنده ای برای خرد کردن خاکدانه های ریز (۰/۰۵۳ میلی متر) ندارد، از روش فراآوادهی<sup>۴</sup> برای ۱۵ دقیقه (در گرمابه<sup>۵</sup> با فرکانس ۳۵ کیلوهرتز) نیز بهره گیری شد. برای آگاهی از خرد شدن کامل خاکدانه های ریز، درصد دانه های نخستین پس از فراآوادهی با داده های به دست آمده از بافت خاک سنجیده شد که آنها باید برابر باشند (۳۱). اگر درصد شن اندازه گیری شده در این روش بیش تر از آن در روش تعیین بافت خاک به دست آید، این امر نشان می دهد که خاکدانه ها بخوبی خرد و دانه ای آنها پخش نشده اند.

پس فراآوادهی سوسپانسیون خاک از الک ۰/۰۵۳ میلی متر گذرانده شد تا دانه های شن و ماده آلی هم اندازه شن یا مواد آلی دانه ای (POM)<sup>۶</sup> بر روی الک جدا گردد. پس از گذراندن سوسپانسیون خاک ها از الک، آنچه روی الک مانده در آون در دمای ۵۰°C خشک شد و وزن بخش آلی-کانی هم اندازه شن اندازه گیری شد. بخشی که از الک گذر می کند همان بخش هم اندازه سیلت-رس است که آن را هم خشک کرده و وزن شد. برای اندازه گیری

- 1- Particle size fractionation
- 2- Primary organo-mineral particles
- 3- Shaker
- 4- Ultrasonification
- 5- Bath
- 6- Particulate organic matter

بخش سبک نداشت؛ هر چند که با افزایش درصد زئولیت به کار رفته درصد مواد آلی سبک خاک افزایش یافته بود؛ در برابر آن کاربرد کودهای جانوری در پایه آماری یک درصد بر اندازه این بخش از ماده آلی خاک پیامد چشم‌گیری داشت و پیامد جایگاه نمونه‌برداری هم بر مواد آلی سبک در پایه آماری یک درصد چشم‌گیر بود. همچنین این جدول نشان می‌دهد که پیامد برهمکنش کود-زئولیت-جایگاه نمونه‌برداری در پایه آماری پنج درصد روی بخش سبک ماده آلی خاک چشم‌گیر بود.

آزمون میانگین‌ها در تیمارهای کود-زئولیت-جایگاه نمونه‌برداری نشان داد که بیش‌ترین اندازه ماده آلی بخش سبک در تیماری که دارای ۲۰ درصد زئولیت و کود گاوی بود، در بخش ناریزوسفری (۲۵/۱۸) گرم بر کیلوگرم خاک دیده شد (جدول ۲). افزایش بیش‌تر در اندازه ماده آلی بخش سبک خاک در تیمار کود گاوی در بررسی فرخ‌نیا (۱۲) هم گزارش شده است. با افزایش درصد زئولیت به کار رفته درصد مواد آلی سبک خاک افزایش یافت؛ ولی بزرگی این پیامد به اندازه پیامد کاربرد کودهای دامی نبود. از سوی دیگر در بیشتر تیمارها دیده شد که بخش سبک مواد آلی در خاک ریزوسفری کمتر از خاک ناریزوسفری است. کمتر بودن این بخش از ماده آلی در جایگاه ریزوسفری شاید وابسته به کارکرد بهتر ریزجانداران و فروزینه شدن<sup>۱</sup> بهتر مواد آلی کودها در این جایگاه باشد.

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که پیامد کاربرد زئولیت در خاک شن لومی در پایه آماری پنج درصد بر کربن آلی بخش سنگین چشم‌گیر بوده و پیامد جایگاه نمونه‌برداری در پایه آماری یک درصد بر این بخش از کربن آلی خاک چشم‌گیر، پیامد دیگر تیمارها و برهم‌کنش میان تیمارها بر این بخش از کربن آلی خاک چشم‌گیر نبود.

کربن آلی خاک نداشت؛ هر چند با افزایش درصد زئولیت همه کربن آلی خاک هم افزایش یافت و بیش‌ترین اندازه کربن آلی در خاک شن لومی در تیمار دارای ۱۰ درصد زئولیت دیده شد. این موضوع شاید وابسته به کم بودن زمان آزمایش از یک سو و زمان بر بودن فرآیند افزایش ماده آلی باشد (۵) و زئولیت نتوانسته باشد پیامد چشم‌گیری بر اندازه همه کربن آلی خاک شن لومی داشته باشد.

پیامد کاربرد کود بر همه کربن آلی خاک شن لومی در پایه آماری یک درصد چشم‌گیر بود. آزمون میانگین داده‌ها نشان داد که تیمار کود مرغی (۴/۳۶) گرم بر کیلوگرم خاک (دارای بیش‌ترین اندازه کربن آلی در خاک شن لومی بود (جدول ۱)). به گونه‌ای که این اندازه ناهمانندی چشم‌گیری با همه کربن آلی خاک در تیمار کود گاوی ندارد؛ ولی به اندازه چشم‌گیری بیشتر از آن در خاک کود داده نشده است. فرخ‌نیا (۱۲) بیشتر بودن اندازه کربن آلی در کود گاوی را گزارش کرد که با یافته‌های این پژوهش هم‌خوانی ندارد.

تجزیه واریانس داده‌های خاک شن لومی نشان داد که پیامد جایگاه نمونه‌برداری بر همه کربن آلی خاک از دیدگاه آماری چشم‌گیر نبود؛ هر چند که کربن آلی جایگاه ریزوسفری بیشتر از جایگاه ناریزوسفری بود. این یافته با گزارش رشیدی (۲۸) در کشت گیاهان گوناگون هم‌خوانی ندارد. در این گزارش کربن آلی در جایگاه ریزوسفری به گونه چشم‌گیری از آن در جایگاه ناریزوسفری بیشتر است.

### ماده آلی بخش سبک و کربن آلی بخش سنگین خاک شن لومی در چگالی بخش‌بندی

مواد آلی خاک بسته به اندازه مواد کانی که به آن می‌چسبد، چگالی ناهمانندی داشته و بر پایه آن به بخش‌های سبک و سنگین جداسازی می‌شود. یافته‌های تجزیه واریانس داده‌ها در این بخش نشانگر آن بود که زئولیت پیامد چشم‌گیری بر اندازه ماده آلی خاک در

جدول (۱) آزمون میانگین بخش‌های کربن آلی خاک شن لومی در تیمارهای زئولیت، کود و جایگاه نمونه‌برداری

**Table (1) Mean test of organic carbon fractions in loamy sand in treatments of zeolite, manure and soil sampling site.**

کربن آلی در اندازه سیلت و رس		کربن آلی در اندازه شن		کربن آلی بخش سنگین		همه کربن آلی		
(Organic carbon in silt+clay fraction) (g kg <sup>-1</sup> fraction)		(Organic carbon in sand fraction) (g kg <sup>-1</sup> fraction)		(Organic carbon in heavy fraction) (g kg <sup>-1</sup> soil)		(Total organic carbon) (g kg <sup>-1</sup> soil)		
انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	
Standard ) (deviation	(Mean)	Standard ) (deviation	(Mean)	Standard ) (deviation	(Mean)	Standard ) (deviation	(Mean)	
0.16	0.76b	0.97	2.00a	1.31	2.15b	0.84	3.72a	بدون زئولیت (No-Zeolite)
0.27	0.97a	0.66	1.58a	1.06	3.04a	1.10	4.12a	۱۰٪ زئولیت (10%-Zeolite)
0.21	0.98a	0.64	1.44a	1.14	2.45ab	0.76	3.86a	۲۰٪ زئولیت (20%-Zeolite)
0.28	0.86a	1.05	1.89a	1.31	2.18a	0.59	3.18b	بدون کود (No-manure)
0.22	0.96a	0.75	1.54a	1.06	2.67a	0.90	4.36a	کود مرغی (Poultry manure)
0.22	0.89a	0.47	1.57a	1.14	2.79a	0.76	4.15a	کود گاوی (Cow manure)
0.26	0.97a	0.83	1.94a	0.93	3.05a	0.74	3.99a	ریزوسفری (Rhizosphere)
0.16	0.84b	0.66	1.40a	1.27	2.05b	0.06	3.81a	ناریزوسفری (Non-rhizosphere)

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

Means with at least a similar letter are not significantly different.

صفری سنجابی و طاهری قهریزجانی: بخش‌بندی فیزیکی کربن آلی در خاک های...

جدول (۲) آزمون میانگین بخش سبک مواد آلی خاک شن لومی در تیمار برهمکنش زئولیت-کود- جایگاه نمونه‌برداری

Table(2) Mean test of organic matter in light fraction in loamy sand in treatment interaction of zeolite, manure and soil sampling site.

ماده آلی بخش سبک		جایگاه نمونه‌برداری	کود	زئولیت %
انحراف معیار	میانگین			
Standard )	(Mean)	Soil sampling site	Manure	Zeolite%
0.02	14.31d	ریزوسفری (Rhizosphere)	بدون کود	بدون زئولیت
1.48	15.54d	ناریزوسفری (Non-)	(No-manure)	(No-Zeolite)
0.11	16.51cd	ریزوسفری (Rhizosphere)	کود مرغی	
0.22	19.86a-d	ناریزوسفری (Non-)	(Poultry manure)	
1	14.33d	ریزوسفری (Rhizosphere)	کود گاوی	
5.1	20.41a-d	ناریزوسفری (Non-)	(Cow manure)	
0.68	13.68d	ریزوسفری (Rhizosphere)	بدون کود	۱۰٪ زئولیت
4.2	17.43b-d	ناریزوسفری (Non-)	(No-manure)	(10%-Zeolite)
2.8	14.67d	ریزوسفری (Rhizosphere)	کود مرغی	
7.21	23.21a-c	ناریزوسفری (Non-)	(Poultry manure)	
10.34	23.84ab	ریزوسفری (Rhizosphere)	کود گاوی	
1.17	16.70b-d	ناریزوسفری (Non-)	(Cow manure)	
3.28	15.01d	ریزوسفری (Rhizosphere)	بدون کود	۲۰٪ زئولیت
1.34	19.42a-d	ناریزوسفری (Non-)	(No-manure)	(20%-Zeolite)
2.02	16.07dc	ریزوسفری (Rhizosphere)	کود مرغی	
0.67	17.74b-d	ناریزوسفری (Non-)	(Poultry manure)	
3.65	20.37a-d	ریزوسفری (Rhizosphere)	کود گاوی	
1.63	25.18a	ناریزوسفری (Non-)	(Cow manure)	

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

Means with at least a similar letter are not significantly different.

سنگین کربن آلی خاک در هر یک از جایگاه های نمونه‌برداری آشکار شد که در خاک ریزوسفری اندازه کربن آلی بخش سنگین (۳/۰۵ گرم بر کیلوگرم خاک) بیشتر از خاک ناریزوسفری است (جدول ۱).

این یافته شاید وابسته به ساخت بهتر پلی‌ساکاریدهای گیاهی و باکتریایی در خاک ریزوسفری باشد (۳۰) که می-

با آزمون میانگین داده‌ها آشکار شد که بیشترین اندازه کربن آلی در بخش سنگین در تیمار دارای ۱۰ درصد زئولیت (۳/۰۴ گرم بر کیلوگرم خاک) دیده شد و با افزایش درصد زئولیت به کار رفته، اندازه آن نه تنها افزایش نداشت بلکه کاهش اندکی هم داشت، که این کاهش از دیدگاه آماری چشم‌گیر نبود. در بررسی بخش



سیلت و رس، کربن آلی بیش تری دارد. همچنین با افزایش زئولیت اندازه کربن آلی در بخش هم اندازه سیلت و رس افزایش یافت و بیشترین اندازه آن در تیمار دارای ۲۰ درصد زئولیت (۰/۹۸ گرم بر کیلوگرم بخش) دیده شد (جدول ۱). در خاک ریزوسفری پلی ساکاریدهای گیاهی و باکتریایی بیش تری پدید می آید و از سوی دیگر مرگ و رها شدن یاخته های موین ریشه در خاک ریزوسفری (۳۰) می تواند به افزایش مواد آلی در آن بیانجامد به گونه ای که می تواند با پیوند به کانی های خاک، خود را در بخش های گوناگون اندازه های نشان دهند (۳۱) و افزودن زئولیت به خاک شن لومی می تواند به این فرایند کمک کند.

### پیامد کاربرد زئولیت، کودهای جانوری و جایگاه نمونه برداری بر بخش های کربن آلی خاک با بافت رسی

#### همه کربن آلی خاک

تجزیه واریانس نشان داد که پیامد افزودن زئولیت، کود و جایگاه نمونه برداری بر همه کربن آلی در خاک با بافت رسی نسبت به آنچه که در خاک شن لومی دیده شد ناهماتند است. افزودن زئولیت و کود و همچنین جایگاه نمونه برداری بر همه کربن آلی این خاک در پایه آماری یک درصد، پیامد چشم گیری داشت. آزمون میانگین همه کربن آلی خاک نشان داد که با افزایش درصد زئولیت به کار رفته کربن آلی خاک رسی کاهش یافت. بالاترین کربن آلی در تیمار بدون زئولیت (۱۲/۷۳ گرم بر کیلوگرم خاک) و کمترین آن در تیمار ۲۰ درصد زئولیت (۸/۰۰ گرم بر کیلوگرم خاک) دیده شد.

برهمکنش میان کود- جایگاه نمونه برداری هم در پایه آماری پنج درصد بر کربن آلی خاک پیامد چشم گیر دارد. از آزمون میانگین همه کربن آلی خاک در تیمارهای برهمکنش کود- جایگاه نمونه برداری این گونه برداشت شد که اگرچه در هر یک از تیمارهای کودی همه کربن آلی در خاک ریزوسفری بیش تر است، ولی این ناهماتندی تنها در خاک تیمار شده با کود گاوی از دیدگاه آماری چشم گیر

توانند به رس های خاک چسبیده و خود را در بخش سنگین نشان دهند (۳۱) که افزودن زئولیت به خاک شن لومی می تواند به این فرایند کمک کند.

صفری سنجانی و افضل پور (۳۴) با افزودن مانده های گیاهی و بررسی ریخت های شیمیایی و زیستی کربن آلی دریافتند که میان کربن آلی محلول خاک به ویژه بخش محلول در آب گرم و فراوانی و کارکرد ریزجانداران همبستگی چشم گیری دیده می شود. این بخش می تواند همان پلی ساکاریدها و مواد موسیلاژی باکتریایی باشد که با رس های خاک به گونه موسیژل در می آیند.

### کربن آلی خاک شن لومی در بخش بندی اندازه دانه ای

بخش بندی اندازه دانه ای برای بررسی خاک های با پایداری پایین و خاک زمین های کشاورزی روش سودمندی در بخش بندی کربن آلی خاک گزارش شده است. در این روش کربن آلی خاک در دو بخش هم اندازه شن و هم اندازه سیلت و رس بخش بندی شد. درصد کربن آلی در دانه های هم اندازه شن جدا شده با این روش بخش بندی فیزیکی، می تواند مواد آلی درشتی باشد که هنوز فروزینه نشده و تازه است. بخش دیگری از آن، برخی از مواد آلی نیمه فروزینه شده ای است که با مواد کانی خاک به ویژه رس ها پوشیده شده و پیوند نیرومندی با آنها دارد (۳۵).

تجزیه واریانس داده ها نشان داد که افزودن زئولیت به خاک پیامد چشم گیری بر کربن آلی بخش هم اندازه شن نداشته و تنها جایگاه نمونه برداری در پایه آماری پنج درصد بر کربن آلی این بخش پیامد چشم گیر داشته است. از سوی دیگر افزودن زئولیت در پایه آماری یک درصد بر کربن آلی بخش هم اندازه سیلت و رس پیامد چشم گیر داشته و نیز جایگاه نمونه برداری بر کربن آلی این بخش در پایه آماری پنج درصد پیامد چشم گیر بوده است. پیامد دیگر تیمارها و برهم کنش میان تیمارها بر این بخش ها از کربن آلی خاک چشم گیر نبود.

آزمون میانگین داده ها هم این گونه نشان داد که در جایگاه ریزوسفری، هر دو بخش هم اندازه شن و هم اندازه

برابر آنها آندری و همکاران (۳) پیامد سودمند زئولیت بر افزایش ماده آلی یک خاک اسیدی با بافت لومی رسی را گزارش کردند. به هر گونه یافته‌های این پژوهش بویژه در خاک رسی با آن همخوانی ندارند. در این پژوهش بویژه در خاک رسی شاید افزودن زئولیت از راه بهبود تهویه و افزایش کارکرد ریزجانداران مایه کاهش همه کربن آلی خاک شده باشد. صفری سنجابی و طاهری قهریزجانی (۳۲) نشان دادند که افزودن زئولیت مایه بهبود بسیاری از ویژگی‌های زیستی خاک می‌شود.

بنکوا و همکاران (۶) در آزمایشی پیامد بهسازهای گوناگون آلی و کانی مانند زئولیت کلینوپتیلولیت را بر چند و چون هوموس یک خاک اسیدی آلوده به عناصر سنگین بررسی و گزارش کردند که افزودن زئولیت، موجب تسلی فرآیند پیدایش هومیک اسید و افزایش درصد همه کربن<sup>۳</sup> خاک از راه بهبود کربن اندوزی در آن شد و روی هم‌رفته تیمارهای زئولیت پیامد سودمندی بر هوموس خاک داشته و آن را از ریخت هومیک- فولویک به هومیک<sup>۴</sup> دگرگون کرده است.

#### ماده آلی بخش سبک و کربن آلی بخش سنگین خاک رسی در چگالی بخش‌بندی

با تجزیه واریانس داده‌های به‌دست آمده از چگالی بخش‌بندی کربن آلی خاک آشکار شد که افزودن زئولیت در اندازه ماده آلی بخش سبک در خاک رسی پیامد چشم‌گیری نداشته و تنها افزودن کود در پایه آماری پنج درصد بر اندازه ماده آلی خاک یخش سبک خاک رسی پیامد چشم‌گیر داشته است.

آزمون میانگین‌ها نشان داد که بالاترین اندازه ماده آلی بخش سبک همانند آنچه که در آزمایش خاک شن لومی دیده شد، در تیمار کود گاوی (۲۱/۳۸ گرم بر کیلوگرم خاک) به‌دست آمد که با آن در تیمار کود مرغی (۱۸/۵۹ گرم بر کیلوگرم خاک) ناهمانندی چشم‌گیری نداشت.

بود. از سوی دیگر در هریک از خاک‌های ریزوسفری و ناریوسفری کربن آلی خاک‌های تیماری شده با کود گاوی بیش‌تر از کود مرغی و در آن بیش‌تر از خاک بدون کود بود. روی هم‌رفته بالاترین کربن آلی در خاک ریزوسفری در تیمار کود گاوی (۱۲/۰۰ گرم بر کیلوگرم خاک) دیده شد (جدول ۳). این یافته با آنچه در خاک شن لومی به‌دست آمد ناهمانند است. این ناهمانندی‌ها به فروزینگی بهتر مواد آلی در خاک شن لومی در برابر خاک رسی وابسته است. پوشش رسی دانه‌های خاک و نگهداری فیزیکی و شیمیایی کربن آلی در خاک‌های رسی از تسلی فروزینگی و پویایی کربن آلی خاک به اندازه چشم‌گیری می‌کاهد. گزارش شده کربن آلی که در خاکدانه‌های کوچک است، به دور از فرایندهای تجزیه میکروبی نگهداری می‌گردد و از بخش‌های پایدار ماده آلی به شمار می‌رود (۲۰).

از سوی دیگر گزارش شده است که زئولیت‌ها از راه افزایش حاصل‌خیزی خاک، مایه افزایش کارکرد گیاهی می‌شوند. بنابراین زئولیت‌ها از راه بهبود رشد گیاه، افزایش فوسنتز و به دنبال آن انباشتگی زیستی CO<sub>2</sub> اتمسفری، انباشتگی بیشتر مواد آلی در خاک از راه افزایش ساخت گیاهی و از سوی دیگر واکنش با مواد هومیکی بالغ‌تر<sup>۱</sup> مایه بهبود گنجایش طبیعی کربن‌گیری خاک<sup>۲</sup> می‌شوند (۱۰). پژوهش انجام شده با این گزارش همخوانی چندانی ندارد. اگر چه در خاک شن لومی دیده شد که با افزودن زئولیت کربن آلی خاک افزایش یافت و بیشترین میزان آن در تیمار ۱۰ درصد زئولیت دیده شد ولی این از دیدگاه آماری چشم‌گیر نبود. در برابر آن در خاک رسی دیده شد که افزودن زئولیت مایه کاهش اندوزش کربن آلی در خاک شده است.

گاروا و همکاران (۱۴) چشم‌گیر نبودن پیامد افزودن زئولیت بر افزایش ماده آلی خاک را، گزارش کردند. در

3- Total C (%)

4- Humic- fulvic to humic

1- Humic substances with a high level of maturity  
2- Soil carbon sequestration

چشم گیر بوده است. چگالی بخش بندی کربن آلی در خاک رسی نشان داد که کاربرد زئولیت پیامد چشم گیری بر اندازه ماده آلی خاک در بخش سنگین دارد. یافته های پیامد کاربرد زئولیت بر کربن آلی بخش سنگین در خاک شن لومی با خاک رسی ناهمانند بود. آزمون میانگین داده ها نشان داد که بیشترین اندازه کربن آلی در بخش سنگین خاک شن لومی در تیمار دارای ۱۰ درصد زئولیت (۳/۰۴ گرم بر کیلوگرم خاک) دیده شد و با افزایش درصد زئولیت بکاررفته، اندازه آن کاهش یافت؛ هر چند این کاهش از دیدگاه آماری چشم گیر نبود.

به هر گونه این یافته با گزارش فرخ نیا (۱۲) همخوانی دارد (جدول ۴). او با تیمار یک خاک با بافت لوم به کودهای دامی گوناگون دریافت که افزودن کودهای جانوری به خاک پیامد چشم گیری بر اندازه ماده آلی بخش سبک دارد. یافته های او نشان داد که بیشترین اندازه ماده آلی بخش سبک در تیمار کود گاوی دیده شد که با دیگر تیمارهای کودی و شاهد ناهمانندی چشم گیری داشت. تجزیه واریانس داده ها نشان داد که پیامد هر یک از تیمارهای زئولیت، کود و جایگاه نمونه برداری خاک رسی بر کربن آلی بخش سنگین آن در پایه آماری یک درصد

### جدول (۳) آزمون میانگین کل کربن آلی خاک رسی در تیمارهای زئولیت و برهمکنش کود و جایگاه نمونه برداری

Table (3) Mean test of total organic carbon in clay soil in treatments of zeolite and interaction of manure and soil sampling site.

کل کربن آلی (Total organic carbon, g kg <sup>-1</sup> soil)			
انحراف معیار Standard ) (deviation	میانگین (Mean)	زئولیت % (Zeolite %)	
1.29	12.73a	بدون زئولیت (No-Zeolite)	
1.53	10.22b	۱۰٪ زئولیت (10%-Zeolite)	
1.36	8.00c	۲۰٪ زئولیت (20%-Zeolite)	
انحراف معیار Standard ) (deviation	میانگین (Mean)	جایگاه نمونه برداری (Soil Sampling Site)	کود (Manure)
2.29	9.36bc	ریزوسفری (Rhizosphere)	بدون کود (No-manure)
2.2	8.56c	ناریزوسفری (Non-rhizosphere)	
2.57	11.50ab	ریزوسفری (Rhizosphere)	کود مرغی (Poultry manure)
2.06	10.75abc	ناریزوسفری (Non-rhizosphere)	
1.74	12.00a	ریزوسفری (Rhizosphere)	کود گاوی
1.7	9.74bc	ناریزوسفری (Non-rhizosphere)	کود گاو (Cow manure)

میانگین های دارای دست کم یک حرف یکسان در پایه آماری ۵٪ ناهمانندی چشم گیری ندارند

Means with at least a similar letter are not significantly different.

صفری سنجابی و طاهری قهریزجانی: بخش‌بندی فیزیکی کربن آلی در خاک‌های...

جدول (۴) آزمون میانگین ماده آلی بخش سبک در چگالی بخش‌بندی خاک رسی در تیمارهای کود دامی  
Table (4) Mean test of organic matter in light fraction in clay soil in treatments of manure.

ماده آلی بخش سبک (Organic matter in light fraction, g kg <sup>-1</sup> soil)		
انحراف معیار (Standard deviation)	میانگین (Mean)	کود Manure
5.94	17.89b	بدون کود (No-manure)
2.81	18.59ab	کود مرغی (Poultry manure)
3.79	21.38a	کود گاوی (Cow manure)

میانگین‌های دارای دست‌کم یک حرف یکسان در پایه آماری ۵٪ ناهمانندی چشم‌گیری ندارند

Means with at least a similar letter are not significantly different.

جدول (۵) آزمون میانگین کربن آلی بخش سنگین در چگالی بخش‌بندی خاک رسی در تیمارهای کود دامی و  
برهمکنش زئولیت - جایگاه نمونه برداری

Table(5) Mean test of organic carbon in heavy fraction in clay soil in treatments of manure and  
interaction of zeolite and soil sampling site.

کربن آلی بخش سنگین (Organic carbon in heavy fraction, g kg <sup>-1</sup> soil)			
انحراف معیار (Standard deviation)	میانگین (Mean)	کود Manure	
2.04	5.23b	بدون کود (No-manure)	
2.58	6.00b	کود مرغی (Poultry manure)	
2.2	7.42a	کود گاوی (Cow manure)	
انحراف معیار (Standard deviation)	میانگین (Mean)	جایگاه نمونه‌برداری (Soil sampling site)	زئولیت٪ (Zeolite %)
2.2	9.34a	ریزوسفری (Rhizosphere)	بدون زئولیت
1.83	5.76b	ناریزوسفری (Non-rhizosphere)	(No-Zeolite)
1.89	6.74b	ریزوسفری (Rhizosphere)	۱۰٪ زئولیت
1.78	4.70b	ناریزوسفری (Non-rhizosphere)	(10%-Zeolite)
2.44	5.40b	ریزوسفری (Rhizosphere)	۲۰٪ زئولیت
1.55	5.370b	ناریزوسفری (Non-rhizosphere)	(20%-Zeolite)

میانگین‌های دارای دست‌کم یک حرف یکسان در پایه آماری ۵٪ ناهمانندی چشم‌گیری ندارند

Means with at least a similar letter are not significantly different.

بزرگ‌ترین کربن اندازه‌گیری شده در بخش سنگین در هر دو خاک در همه تیمارهای آزمایشی است. این یافته وابسته به ساخت و رهاسازی کربن های پیوسته به رس ها در خاک ریزوسفری است. هم کربن آلی بخش سبک در ریزوسفر گیاه بهتر هموسی می شود و هم پلی ساکاریدهای باکتریایی و گیاهی بیش تر در ریزوسفر پدید می آید که با پیوستن به دانه های رس خاک در آن بهتر می ماند.

در این پژوهش بویژه افزودن زئولیت از راه افزایش فراوانی و بهبود کارکرد ریزجانداران می تواند مایه کاهش کربن آلی خاک شود. این یافته در بخش ریزوسفری خاک های شنی بخوبی نمایان است؛ ولی در خاک رسی پیوند رس ها به بخش های گوناگون کربن آلی بویژه در ریزوسفر که پلی ساکاریدهای بیشتری پدید می آید می تواند کم تر نمایان شود. همان گونه که دیده شد، بیش ترین کربن آلی بخش سنگین در تیمار بدون زئولیت و در بخش ریزوسفری اندازه گیری شد.

### کربن آلی خاک رسی در بخش بندی اندازه دانه‌ای

تجزیه واریانس نشان داد که افزودن زئولیت و کود و برهمکنش میان این دو در خاک رسی در پایه آماری یک درصد بر کربن آلی بخش هم‌اندازه شن پیامد چشم گیر داشته است؛ ولی در بررسی کربن آلی بخش هم اندازه سیلت و رس در این خاک رسی دیده شد که تنها پیامد افزودن زئولیت در پایه آماری یک درصد بر کربن آلی بخش هم اندازه سیلت و رس چشم گیر بود.

آزمون میانگین کربن آلی در بخش هم اندازه شن خاک رسی نشان داد که در هر یک از تیمارهای کودی افزودن زئولیت مایه کاهش کربن آلی بخش هم اندازه شن شده است. این کاهش در خاک های کود داده شده نمایان تر است (جدول ۶).

در خاک رسی در تیمار بدون زئولیت کربن آلی بخش سنگین مانند بخش سبک بیش ترین بود. این نشان می دهد افزودن زئولیت در خاک رسی بر نگهداری کربن آلی در هر دو بخش سبک و سنگین پیامد زیانباری دارد. این پیامد وابسته به اندازه دانه های زئولیت می تواند باشد.

اندازه دانه‌های زئولیت به کار رفته در تیمارها آزمایشی از ۰/۱۰ تا ۰/۴۰ میلیمتر و در اندازه شن ریز تا شن میانه بود که می تواند در خاک رسی مایه درشت شدن بافت خاک و افزایش فراوانی و کارکرد ریزجانداران شود (۳۲). این خود به افزایش تندی فروزینگی زیستی<sup>۱</sup> مواد آلی در خاک رسی می انجامد و مایه کاهش کربن اندوزی در این خاک می شود.

در برابر آن پیامد کار برد کودهای جانوری در خاک رسی بر کربن آلی بخش سنگین مانند کربن آلی بخش سبک در پایه آماری یک درصد چشم گیری بود. آزمون میانگین کربن آلی بخش سنگین خاک نشان داد که بالاترین اندازه کربن آلی در این بخش در تیمار کود گاوی (۷/۴۲ گرم بر کیلوگرم خاک) دیده شد که با آن در تیمارهای کود مرغی (۶/۰۰ گرم بر کیلوگرم خاک) و بدون کود (۵/۲۳ گرم بر کیلوگرم خاک) ناهمانندی چشم گیر داشت (جدول ۵).

همچنین از داده‌های جدول ۴ می‌توان دریافت که پیامد برهمکنش زئولیت- جایگاه نمونه‌برداری در پایه آماری پنج درصد بر کربن آلی این بخش چشم گیر است. روی هم‌رفته در هر تیمار زئولیت خاک رسی اندازه کربن بخش سنگین در خاک ریزوسفری بیش تر از آن در خاک ناریزوسفری بود. بیش ترین اندازه کربن آلی بخش سنگین در تیمار بدون زئولیت و در خاک ناریزوسفری اندازه‌گیری شد که به ۹/۳۴ گرم بر کیلوگرم خاک رسید. این

داشت و این گونه بود که در خاک شن لومی با افزودن زئولیت کربن آلی این بخش افزایش یافته بود و بیش‌ترین اندازه آن در تیمار ۲۰ درصد زئولیت دیده شد. ولی در خاک رسی افزودن زئولیت مایه کاهش کربن آلی بخش هم اندازه سیلت و رس شد و بیش‌ترین کربن آلی در تیمار بدون زئولیت و دارای کود گاوی دیده شد؛ آزمون میانگین داده‌ها در خاک شن لومی هم این گونه بود که در جایگاه ریزوسفری، هر دو بخش هم اندازه شن و هم اندازه سیلت و رس، اندازه کربن آلی بیش‌تر است. همان‌گونه که گفته شد این یافته‌ها شاید وابسته به ساخت بهتر پلی ساکاریدهای گیاهی و باکتریایی و مرگ و رها شدن یاخته‌های مویین ریشه در خاک ریزوسفری باشد که می‌توانند به رس‌های خاک چسبیده و خود را در بخش‌های گوناگون تا اندازه‌ای نشان دهند که افزودن زئولیت به خاک شن لومی به این فرایند می‌تواند کمک کند.

به هر گونه از یافته‌های بالا چنین برمی‌آید که پیامد زئولیت بر بخش‌های گوناگون کربن آلی خاک بستگی به بافت خاک دارد. کاربرد زئولیت در خاک شنی پیامد چندانی ندارد ولی در خاک رسی بر نگهداشت کربن آلی پیامد زیانبار دارد. شاید این دانه‌های کانی هم اندازه شن باشد و در نگهداری کربن آلی بیش از آنکه ویژگی‌های شیمیایی کانی‌ها مهم باشد ویژگی‌های فیزیکی آنها مهم است. به گونه‌ای که کاربرد آن در خاک رسی با کاهش فراوانی نسبی رس در خاک مایه کاهش کربن آلی اندوزی از راه کاهش پیوندهای هم‌متافته‌های آلی - کانی<sup>۱</sup> در خاک شود.

این پدیده شاید وابسته به کارکرد بهتر ریزجانداران در کاهش کربن آلی در این خاک رسی باشد. بخش هم اندازه شن بیش‌تر از موادی آلی دانه‌ای آزاد و یا پوشیده شده پدید می‌آید، هر چه توان پوشش رس‌های خاک کم‌تر باشد ویژگی‌های این بخش به بخش سبک کربن آلی نزدیک‌تر می‌شود و بهتر می‌تواند در واکنش‌های زیستی به کار رود. به هر گونه افزودن کودهای دامی مایه افزایش چشم‌گیر این بخش از کربن آلی خاک در هر یک از تیمارهای زئولیت شده است. بنابراین بیش‌ترین کربن آلی در بخش هم اندازه شن در تیمار کود گاوی در خاک بدون زئولیت (۳/۹ گرم بر کیلوگرم این بخش) به دست آمد.

آزمون میانگین کربن آلی بخش هم اندازه سیلت و رس نشان داد که افزودن زئولیت مایه کاهش این بخش از کربن در خاک رسی شده است. میانگین کربن آلی بخش هم اندازه سیلت و رس خاک بدون زئولیت بیش‌ترین است که افزودن زئولیت تا اندازه ۱۰ درصد بر کربن آلی این بخش در خاک رسی پیامد چشم‌گیری ندارد؛ اما با افزایش آن تا ۲۰ درصد به این خاک، کاهش چشم‌گیر این بخش کربن آلی خاک را به دنبال داشت (جدول ۷).

در خاک شن لومی یافته‌ها به این گونه بود که افزودن زئولیت به خاک پیامد چشم‌گیری بر کربن آلی بخش هم اندازه شن نداشته و تنها جایگاه نمونه برداری در پایه آماری پنج درصد بر کربن آلی این بخش پیامد چشم‌گیر داشته و نیز نشان داده شد که افزودن زئولیت در پایه آماری یک درصد بر کربن آلی بخش هم اندازه سیلت و رس پیامد چشم‌گیر داشته است؛ همچنین جایگاه نمونه برداری بر کربن آلی این بخش در پایه آماری پنج درصد پیامد چشم‌گیر داشته است.

خاک شن لومی با خاک رسی در کربن آلی بخش هم اندازه سیلت و رس ناهم‌اندی چشم‌گیری

جدول (۶) آزمون میانگین کربن آلی بخش هم‌اندازه شن در بخش‌بندی اندازه‌ای خاک رسی در تیمارهای برهمکنش زئولیت-کود

Table (6) Mean test of organic carbon in sand size fraction in clay soil in treatments of interaction of zeolite and manure.

کربن آلی در اندازه شن (Organic carbon in sand size fraction, g kg <sup>-1</sup> fraction)			
انحراف معیار (Standard deviation)	میانگین (Mean)	کود (Manure)	زئولیت % (Zeolite %)
0.31	2.06bcd	بدون کود (No-manure)	بدون زئولیت (No-Zeolite)
0.44	3.06b	کود مرغی (Poultry manure)	
0.27	3.99a	کود گاوی (Cow manure)	
0.42	2.11bde	بدون کود (No-manure)	۱۰٪ زئولیت (10%-Zeolite)
0.36	2.22dc	کود مرغی (Poultry manure)	
0.27	2.52c	کود گاوی (Cow manure)	
0.43	1.81de	بدون کود (No-manure)	۲۰٪ زئولیت (20%-Zeolite)
0.1	1.70e	کود مرغی (Poultry manure)	
0.6	2.52c	کود گاوی (Cow manure)	

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

Means with at least a similar letter are not significantly different.

جدول (۷) آزمون میانگین کربن آلی بخش هم‌اندازه سیلت و رس در بخش‌بندی اندازه‌ای خاک رسی در تیمارهای زئولیت

Table (7) Mean test of organic carbon in silt+clay size fraction in clay soil in treatments of zeolite.

کربن آلی در اندازه سیلت و رس (Organic carbon in silt+clay size fraction, g kg <sup>-1</sup> fraction)		
انحراف معیار (Standard deviation)	میانگین (Mean)	زئولیت % (Zeolite%)
0.97	4.68a	بدون زئولیت (No-Zeolite)
0.9	4.39a	۱۰٪ زئولیت (10%-Zeolite)
0.56	3.68b	۲۰٪ زئولیت (20%-Zeolite)

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

Means with at least a similar letter are not significantly different.

### نتیجه‌گیری

کاربرد زئولیت بر بخش سبک مواد آلی خاک در هر دو خاک رسی و شنی پیامد چشم‌گیری نداشت. کاربرد کودهای جانوری در خاک شنی در پایه آماری یک درصد بر اندازه این بخش از ماده آلی خاک پیامد چشم‌گیری داشت ولی در خاک رسی افزودن کود در پایه آماری پنج درصد بر اندازه ماده آلی خاک بخش سبک خاک پیامد چشم‌گیر داشت.

پیامد کاربرد زئولیت بر کربن آلی بخش سنگین در خاک شنی با خاک رسی ناهم‌اند بود. آزمون میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین اندازه کربن آلی در این بخش خاک شنی در تیمار دارای ۱۰ درصد زئولیت دیده شد و روی هم‌رفته کربن آلی بخش سنگین در خاک‌های شنی دارای زئولیت بیشتر از بدون زئولیت آن بود. در برابر آن کربن آلی بخش سنگین در خاک با بافت رسی در جایگاه ریزوسفری با افزایش درصد زئولیت بکاررفته کاهش یافت. به هر گونه در باره پیامد جایگاه نمونه‌برداری دیده شد که در هر دو خاک بخش ریزوسفری آنها کربن آلی بخش سنگین بیشتری دارند. کاربرد زئولیت بر کربن آلی بخش هم اندازه شن در خاک شنی پیامد چشم‌گیری نداشت ولی در خاک رسی مایه کاهش این ریخت کربن آلی در خاک شد.

خاک شنی تنها جایگاه نمونه‌برداری در پایه آماری پنج درصد روی کربن آلی بخش هم اندازه شن پیامد چشم‌گیر داشته ولی در خاک رسی افزودن زئولیت مایه کاهش و افزودن کود مایه افزایش کربن آلی بخش هم اندازه شن شد.

افزودن زئولیت در خاک شنی با افزایش کربن آلی بخش هم اندازه سیلت و رس همراه شد و بیشترین اندازه کربن آلی آن در این بخش در تیمار ۲۰ درصد زئولیت دیده شد. ولی در خاک رسی افزودن زئولیت مایه کاهش کربن آلی بخش هم اندازه سیلت و رس شد و بیشترین کربن آلی در تیمار بدون زئولیت دارای کود گاوی دیده شد. آزمون میانگین داده‌ها در هر دو خاک شنی و رسی این گونه بود که در جایگاه ریزوسفری، هر دو بخش هم اندازه شن و هم اندازه سیلت و رس، اندازه کربن آلی بیشتر بود.

روهمرفته این پژوهش نشان می‌دهد که کاربرد زئولیت در خاک شنی بر نگهداشت کربن آلی در خاک کشت شده پیامد چندانی ندارد ولی در خاک رسی مایه افزایش تندی فروزینگی زیستی کربن آلی و هدررفت و کاهش نگهداشت بویژه بخش‌های سنگین آن در خاک می‌شود.

### منابع

1. Allmaras, R.R., Schomberg, H.H., Douglas Jr., C.L., Dao, T.H., 2000. Soil organic carbon sequestration potential of adopting conservation tillage in US croplands. Soil Water Conservation Society Journal, 55: 365-373.
2. Amundson, R., 2001. The carbon budget in soil. Annual Review of Earth and Planetary Science, 29: 535-562.
3. Andry, H., Yamamoto, T., Inoue, M., 2009. Influence of artificial zeolite and hydrated lime amendments on erodibility of a sodic soil. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 40: 1053-1072.



4. Angers, D.A., N'dayegamiye, A., Cote, D., 1993. Tillage-induced difference in organic matter of particle-size fractions and microbial biomass. *Soil Science Society American Journal*, 57: 512–516.
5. Barzegar, A. R. 2001. *The Basic of Soil Physic*. Shahid Cham-ran University Press, Ahwaz, Iran. P. 252. (In Persian).
6. Benkova, M., Filcheva, E., Raytchev, T., Sokolowska, Z., M., H., 2005. Impact of different ameliorants on humus state in acid soil polluted with heavy metals. In: T. Raytchev, G. Józefaciuk., Z. Sokołowska, H. M. (Eds.), *Physicochemical management of acid soils polluted with heavy metals*. ALF-GRAF, Lublin. Poland, pp. 46-58.
7. Campbell, C.A., McConkey, B.G., Zentner, R.P., Selles, F., Curtin, D., 1996. Tillage and crop rotation effects on soil organic C and N in a coarse-textured typic Haploboroll in southwestern Saskatchewan. *Soil and Tillage Research*, 37: 3–14.
8. Dao, T.H., Stiegler, J.H., Banks, J.C., Boggle-Boerngen, L., Adams, B., 2002. Effects of post-contract and uses on soil carbon and nitrogen of Conservation Reserve grasslands. *Agronomy Journal*, 94: 146–152.
9. Dyer A., 1985. *An Introduction to Zeolites Molecular Sieves*. John Willey & Son, Heidberg,, New York, USA.
10. Ekaterina, F., Chakalov, K., 2002. Soil fertility management with zeolite amendments- Effect of zeolite on carbon sequestration: A Review. In: J.M. Kimble, R. Lal, R.F. Follett (Eds.), *Agriculture practices and policies for carbon sequestration in soil*. LEWIS PUBLISHERS, New York Washington, D.C., pp. 232-237.
11. Eswaran, H., Vanden, B.E., Reich, P., 1993. Organic carbon in soils of the world. *Soil Science Society American Journal*, 57: 192–194.
12. Farrokhnia, M. 2010. *The effect of some animal manures on soil organic matter fractions*. MSc Thesis. Agriculture Faculty, Bu-Ali Sina University. 171 p. (In Persian).
13. Ferguson, G.A., Pepper, I.L., 1987. Ammonium retention in sand amended with clinoptilolite. *Soil Science Society American Journal*, 51: 231-234.
14. Garau, G., Castaldi, P., Santona, L., Deiana, P., Melis, P., 2007. Influence of red mud, zeolite and lime on heavy metal immobilization, culturable heterotrophic microbial populations and enzyme activities in a contaminated soil. *Geoderma*, 142: 47–57.

15. Haas, H.J., Evans, C.E., Miles, E.F., 1957. Nitrogen and carbon changes in Great Plains soils as influenced by cropping and soil treatments. USDA Tech. Bull., 1164. U.S. Gov. Printing Office, Washington ,DC.
16. Havlin, J.L., Kissel, D.E., Maddux, L.D., Classen, M.K., Long, J.H., 1990. Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen. Soil Science Society American Journal, 54: 448–454.
17. Hendrix, P.F., Franzluebbbers, A.J., McCracken, D.V., 1998. Management effects on C accumulation and loss in soil of the southern Appalachian Piedmont of Georgia. Soil and Tillage Research, 47: 245–251.
18. Janzen, H.H., 2004. Carbon cycling in earth systems a soil science perspective. Agriculture Ecosystem, and Environment, 104: 399–417.
19. Kavooosi, M. 2007. Effects of zeolite application on rice yield, nitrogen recovery, and nitrogen use efficiency. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 38: 69–76.
20. Lal, R., 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. Science, 304: 1623–1627.
21. Larson, W.E., Pierce, F.J., 1991. Conservation and enhancement of soil quality. In: J.W. Dorn (Ed.), Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World IBSRAM Proc, 12th, , Bangkok, Thailand. , pp. 175-203.
22. Ligan, N ,Jinmin, H., Li, T., Peng, M., Shuanhuai, L., Pengfei, S., 2005. Spatio-temporal variability of soil nutrients in salt-affected soil under amelioration. Acta Pedological Siencia, 42: 84–90.
23. Noori, M., Zendeudel., M., Ahmadi A. 2006. Using natural zeolite for the improvement of soil salinity and crop yield. Toxicological and Environmental Chemistry, 88(1): 77-84.
24. Polat, E., Karaca, M., Demir, H., A., N.O., 2004. Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture. Journal of Fruit Ornamental Plant Research, 12: 183-188.
25. Post, W.M ,Emanuel, W.R., Zinke, P.J., Stangenberger, A.G., 1982. Soil carbon pools and world life zones. Nature, 298: 156–159.
26. Puget, p., Chenu, C., Balesdent, J., 1995. Total and young organic matter distribution in aggregate of silty cultivated soils. Eurpian Journal of Soil Science, 46: 449-459.

27. Ranjbar Choobe, M., Esfahani, M., Kavooosi, M. and Yazdani, M. R. 2004. Effects of irrigation and natural zeolite on growth and quality of tobacco (*Nicotiana tabacum* var. *Coker 347*). Journal of Agricultural Sciences, 2: 71-84. (In Persian).
28. Rashidi, T. 2010. Effect of cultivation of some agronomic plants on phosphorus fractions in rhizospheric soil. MSc Thesis. Agriculture Faculty, Bu-Ali Sina University. 173 p. (In Persian).
29. Reeder, J.D., Schuman, G.E., Bowman, R.A., 1998. Soil carbon and nitrogen changes in CRP lands in the Central Great Plains. Soil and Tillage Research, 47: 339-349.
30. Safari Sinegani, A.A. 2013. Soil Biology and Biochemistry. Bu-Ali Sina University Publication center, Hamadan, Iran. (In Persian).
31. Safari Sinegani, A.A., 2015. Soil Organic Matter. Bu-Ali Sina University Publication Center, Hamadan, Iran. (In Persian).
32. Safari Sinegani, A.A., Taheri Ghahrizjani, S. 2014. Effects of zeolite and manures applications on biological properties of light and heavy soils in greenhouse maize culture. Journal of Water and Soil Science, 24(4): 197-213. (In Persian).
33. Safari Sinegani A.A. and Taheri Ghahrizjani S. 2015. The effects of application of zeolite, cow and poultry manures on chemical properties of sandy and clay soils in greenhouse maize culture. Journal of Soil Management, 3(1): 53-68. (In Persian).
34. Safari Sinegani, A.A., Afzalpour, M. 2014. Effect of application of plant residues on chemical and biological fractions of organic carbon in soil. Journal of Soil Management and Sustainable Production, 4(3), 33-60. (In Persian).
35. Safari Sinegani, A.A., Rashidi, T., 2011. Changes in phosphorus fractions in the rhizosphere of some crop species under glasshouse conditions. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 174(6): 899-907.
36. Strickland, T.C., Sollins, P., 1987. Improved method for separating light and heavy fraction organic material from soil. Soil Science Society American Journal, 51: 1390-1393.
37. Tiessen, H., Stewart, J.W.B., 1983. Particle-size fractions and their use in studies of organic matter composition in size. Soil Science Society American Journal, 47: 509-514.
38. Walkley, A., 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.

39. Wang, X., Li., Y.C., Murioz-Carpena, R., Nkedi-kizza, P., Olczy, T., 2004. Effect of Zeolite soil amendment on phosphorus leaching in sweet corn field. Soil Crop Science Society Florida, Proc. 64: 55-59.
40. Xiubin, H., Zhanbin, H., 2001. Zeolite application for enhancing water infiltration and retention in loess soil. Resources, Conservation and Recycling journal, 34: 45–52.