

## پیامد کاربرد زئولیت و کودهای جانوری بر ویژگی‌های زیستی خاک‌های سبک و سنگین در کشت گلخانه‌ای ذرت

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

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۱۴ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۱۸

<sup>۱</sup> استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا

<sup>۲</sup> دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا

\* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: [aa-safari@basu.ac.ir](mailto:aa-safari@basu.ac.ir)

### چکیده

هدف از این پژوهش بررسی پیامد کاربرد زئولیت و کود جانوری بر فراوانی و کارکرد ریزجانداران در کشت گلخانه‌ای ذرت بود. دو آزمایش جداگانه در دو خاک شن لومی و رسی با طرح کامل تصادفی به گونه فاکتوریل با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای این پژوهش زئولیت در سه سطح (بدون زئولیت، ۱۰٪ و ۲۰٪ زئولیت) و کود در سه سطح (بدون کود، کود مرعی و کود گاوی) به اندازه ۲۰ گرم وزن خشک بر کیلوگرم خاک و جایگاه نمونه‌برداری از خاک در دو سطح (ریزوسفر و ناریزوسفر) بودند. برای نمونه‌برداری خاک ریزوسفری از روش برش لایه نازک بهسازی شده، بهره‌گیری شد. هنگامی که گیاهان به گام گلدهی از رشد خود رسیدند، از دو جایگاه ریزوسفر و ناریزوسفر خاک نمونه‌برداری شد و برخی از ویژگی‌های بیولوژیک در هر دو خاک اندازه‌گیری شد. یافته‌های این پژوهش نشان داد که کاربرد زئولیت و کودهای جانوری ویژگی‌های بیولوژیک هر دو خاک سبک و سنگین را در برابر شاهد دگرگون کرد به گونه‌ای که در همه تیمارها فراوانی باکتری‌ها، اکتینومیست‌ها 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 اسپورگومرال‌ها 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 نمایان تری بر ویژگی‌های زیستی خاک داشت.

واژه‌های کلیدی: بافت خاک، ریزجانداران، زئولیت، کود جانوری، ریزوسفر

## Effects of Zeolite and Manures Applications on Biological Properties of Light and Heavy Soils in Greenhouse Maize Culture

AA Safari Sinegani<sup>\*1</sup> and S Taheri Ghahrizjani<sup>2</sup>

Received: 4 January 2014, Accepted: 7 February 2014

<sup>1</sup>- Prof., Dept. of Soil Sci., Faculty of Agric., Univ. of Bu-Ali Sina, Hamadan, Iran

<sup>2</sup>- Former M.Sc. Student, Dept. of Soil Sci., Faculty of Agric., Univ. of Bu-Ali Sina, Hamadan, Iran

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

### Abstract

The objective of this study was to evaluate the effect of addition of natural zeolite and manures applications on some soil microbial population and activities in greenhouse maize culture. Two experiments were conducted, in two types of loamy sand and clay soils separately. Each experiment was conducted under a complete randomized factorial design in three replicates. The studied factors were zeolite (at three levels of 0%, 10% and 20% of zeolite), manures at a rate of 20 g/kg soil on dry weight basis ( at three levels including no manure, poultry manure and cow manure) and soil sampling zone at two levels including rhizosphere and nonrhizosphere. The modified thin-slicing technique was used for soil sampling from rhizosphere zone. At the flowering stage of maize growth, soil was sampled from the rhizosphere and nonrhizosphere zone for some biological analyses. The result were revealed that the addition of zeolite and manures to both of the loamy sand and clay soils, changed the soil biological properties markedly, in which populations of the bacteria and actinomycetes and substrate induced respiration were significantly increased in the all treatments. However, the population of fungi was not significantly changed in the zeolite treated soils. The addition of zeolite increased the basal respiration, glumerales spore numbers, biomass carbon and biomass phosphorus in the loamy sand soil significantly but they were not increased in clay soil in the same treatments statistically. Therefore, the application of zeolite and manures in the loamy sand soil compared to clay soil caused marked changes in biological properties.

**Keywords:** Manure, Microorganisms, Rhizosphere, Soil texture, Zeolite

افزایش در رشد و برداشت گیاه و هم از دیدگاه زیست‌محیطی دارند. در باره پیامد سودمند سیستم ارگانوزئولیتی بر کارکرد زیستی خاک گزارش‌هایی شده است که فراوانی و کارکرد ریزجانداران با کاربرد ارگانو زئولیت ها به اندازه چشم‌گیری افزایش می یابد

مقدمه

بهره‌گیری از کودهای ارگانوزئولیتی<sup>۱</sup> برای رشد بهتر گیاه بسیار سودمند است. این گونه از کودها ناهمانندی چشم‌گیری با کودهای کانی، هم از دیدگاه

<sup>1</sup>-Organo zeolite

بررسی انجام شده در سال‌های ۱۹۹۰-۱۹۹۱ نشان داد که کاربرد کودهای ارگانوزئولیتی و به‌ویژه ترکیب این کودها با کودهای کانی فراوانی ریزجانداران را در دوره بهار و تابستان در برابر تیمار خاک (بدون کود کانی) به شدت افزایش می‌دهد. ولی افزودن کودهای کانی به خاک به تنهایی پیامد ناچیزی بر شمار ریزجانداران خاک دارد. پیامد افزودن کودهای ارگانوزئولیتی بر شمار ریزجانداران در دوره زمستان چشم‌گیر نبوده است. در برابر آن با آغاز بهار، فراوانی ریزجانداران در خاک های تیمار شده با کودهای ارگانوزئولیتی در برابر خاک تیمار نشده به اندازه چشم‌گیری بیشتر بود (اندرونیکاشویلی و همکاران ۱۹۹۵).

دیده شده است که در تیمار ۵٪ زئولیت در خاک، فراوانی و گوناگونی میکروفلور خاک دگرگون می‌شود. افزایش زئولیت به اندازه ۱۵-۱۰٪ در خاک مایه گوناگونی بیشتری در ریزجانداران خاک شد. همچنین بهره‌گیری از کلینوپتیلولیت در خاک مایه پیدایش آمیب‌های بزرگ‌تر با اندازه ۵۰-۶۰ میکرون می‌شود، که این مایه افزایش پوکی و بهبود ساختمان خاک می‌شود. گزارش شده است که شمار اکتینومیست‌های خاک به اندازه چشم‌گیری افزایش می‌یابد و این نیز مایه نابودی و کاهش میکروفلور ناخواسته خاک می‌شود. با این که کاربرد زئولیت اسیدیته خاک را افزایش می‌دهد و این برای اکتینومیست‌ها سودمند است و شمار آنها را افزایش می‌دهد (آندرونیکاشویلی و همکاران ۱۹۸۴).

بخش بزرگی از فلور خاک باکتری‌های میکولیتیک (قارچ کافت) هستند که مایه کاهش ۲-۳ برابری در فراوانی قارچ‌های انگلی در خاک می‌شوند. افزودن زئولیت به خاک پیامدهای سودمندی روی رشد و کارکرد ریزجانداران سودمند مانند، ازتوباکترها و باکتریهای سبز-آبی داشته است. این ریزجانداران می‌توانند نیتروژن اتمسفر را تثبیت کنند و آن را به گونه بیولوژیکی به خاک برسانند، بنابراین اندازه نیترات خاک را افزایش می‌دهند و از این راه زئولیت همه ویژگی‌های سودمند برای افزایش این گروه از ریزجانداران را بهینه می‌سازد. نشان داده شده که افزودن زئولیت به

(آندرونیکاشویلی و همکاران ۱۹۸۴، لگو، ۲۰۰۰، مک‌گیلوی و همکاران ۲۰۰۳، لگو و همکاران ۲۰۰۶).

لگو و همکاران (۲۰۰۶) در باره این سیستم‌ها واژه بسیار شایسته کودزیستی را به کار می‌برد که بازتاب‌کننده همبستگی میان زئولیت آمونیومی شده و شمار باکتری‌های خاک است. درستی بهره‌گیری از این واژه در آزمایش‌های زیستی خاک نشان داده شده است.

در پژوهشی دیده شد که فراوانی ریزجانداران هنگام افزودن ۱۰ تن در هکتار زئولیت به خاک در برابر افزودن کودهای N,P,K بیشتر افزایش یافت. بدین گونه که تا سه سال پس از افزودن زئولیت به خاک فراوانی اکتینومیست‌ها ۲/۵۱ برابر و ریزجانداران تجزیه‌کننده سلولز ۱/۳ برابر بیشتر از خاک بدون زئولیت بود. کاهش در فراوانی قارچ‌ها نیز رخ داد. با افزایش اندازه زئولیت بکار رفته در خاک تا بیست تن در هکتار فراوانی باکتری‌هایی که از منابع کانی نیتروژن بهره‌گیری می‌کنند، بیشتر افزایش داشتند. کودهای ارگانوزئولیتی پیامد چشم‌گیری بر فراوانی و چگونگی ترکیب ریزجانداران خاک دارد که نه تنها در خاک‌های اسیدی که در خاک‌هایی با ویژگی قلیایی ضعیف نیز همین پیامدها را دارند (آندرونیکاشویلی و همکاران ۲۰۰۸).

گزارش شده است با بهره‌گیری از کودهای ارگانوزئولیتی فراوانی نیتریفیکاتورها، باکتری‌های تجزیه‌کننده سلولز و به ویژه تثبیت‌کننده‌های نیتروژن افزایش می‌یابند که این پیامدهای زیستی برای افزایش توان باروری خاک‌ها بسیار سودمند است و نه تنها رشد گیاهان را آسان می‌کند، فراوانی و کارکرد همه ریزجانداران خاک را نیز افزایش می‌دهد. از سوی دیگر افزایش ویژگی قلیایی در خاک با افزودن آمیخته کلینوپتیلولیت<sup>۱</sup> و کود مرغی (پی‌اچ ۷/۵-۸/۵) هیچ پیامد زیانباری بر کارکرد ریزجانداران خاک نداشت (واسیلیو و همکاران ۱۹۸۴).

<sup>۱</sup> - Clinoptiolite

گردد. تاکنون بهره‌گیری از زئولیت‌ها در ایران بسیار اندک بوده و بیشتر در خوراک دام و پرندگان و کشت گیاهان است. بر پایه آگاهی‌های بدست آمده از وزارت صنایع و معادن تا اکنون پنج کانسار زئولیتی در استان‌های آذربایجان شرقی و غربی و سمنان شناخته شده است و زئولیت از این کانسارها برداشت می‌شود. همه اندوخته زئولیتی این کانسارها از گونه کلینوپتیلولیت بوده و بیش از ۲۰ میلیون تن می‌باشد. بیشتر کانسارهای ثبت شده زئولیت ایران در مناطق سمنان و میانه هستند. بر پایه گزارش سازمان زمین شناسی ایران، زئولیت‌های طبیعی پس از کانی‌های آهن، دومین کانی غالب در نهشته‌های ایران هستند (کاظمیان، ۲۰۰۲). بنابه پژوهش‌های انجام شده در دنیا کاربرد زئولیت‌ها در کشاورزی می‌تواند افزون بر رشد گیاه پیامد‌های چشم‌گیری بر ویژگی‌های گوناگون زیستی خاک داشته باشد که بزرگی این پیامدها در ریزوسفر خاک‌های سبک و سنگین تاکنون بررسی نشده است. این پژوهش با هدف نشان دادن بزرگی و اهمیت پیامد کاربرد زئولیت و کودهای جانوری بر برخی از ویژگی‌های زیستی خاک ریزوسفری با کشت گیاه ذرت در دو خاک با بافت سبک و سنگین انجام شد.

### مواد و روش‌ها

#### جایگاه و چگونگی نمونه‌برداری خاک

برای انجام این پژوهش نیاز به دو خاک کشاورزی با بافت سبک و سنگین بود. خاک با بافت سنگین از ژرفای ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری یک خاک در منطقه‌ی قمشانه و خاک با بافت سبک نیز از ژرفای ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری یک خاک در پیرامون کارخانه سیلیس در نزدیکی همدان به روش مرکب نمونه‌برداری شدند. هر یک از خاک‌ها جداگانه به خوبی آمیخته شد و سپس از ال‌ک ۸ میلی‌متری گذرانده شد. پیش از تیمار کردن خاک بخشی از خاک هوا خشک، کوبیده و از ال‌ک ۲ میلی‌متری گذرانده شد و برای بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن نگهداری شد. بخشی دیگر از خاک کوبیده و از ال‌ک ۲ میلی‌متری گذرانده شد و برای

خاک‌های اسیدی در گرجستان در نواحی گرمسیری و مرطوب، اندازه نیتروژن تثبیت شده را ۴۰-۳۰٪ افزایش می‌دهد. که این پیامد سودمند افزودن کلینوپتیلولیت به اندازه نیتروژن خاک بستگی دارد (آندرونیکاشویلی و همکاران ۱۹۸۴).

در یک بررسی، دگرگونی روزانه اندازه زیتوده ریزجانداران در تیمارهای گوناگون بررسی شد. تیمارهای انجام شده شامل شاهد، خاک - پیت (۱:۹)، خاک - کلینوپتیلولیت (۱/۵: ۸/۵) و خاک - کلینوپتیلولیت - پیت (۱:۱:۸) بودند. زمان این پژوهش ۲۲ روز بود. توده زیستی همه باکتری‌ها پس از ۲۲ روز در این تیمارها به ترتیب ۲/۶۹، ۲/۶۶، ۵/۳۲ و ۳/۸۸ میلی گرم در کیلوگرم به دست آمد. بدین گونه فراوانی زیتوده باکتری‌ها در تیمار کلینوپتیلولیت و خاک در برابر تیمار خاک ۱/۸ برابر افزایش یافت و در تیمار خاک - کلینوپتیلولیت - پیت ۱/۴ برابر شاهد افزایش یافت. روی هم رفته کاربرد زئولیت مایه بهینه‌سازی ویژگی‌های خاک برای ریزجانداران می‌شود. همان‌گونه که پیشتر گفته شد، پیامد کلینوپتیلولیت در خاک‌های اسیدی زیستگاه بهتری برای باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن فراهم می‌کند و این به نوبه‌ی خود روی نیتروژن خاک می‌تواند پیامدهای سودمند داشته باشد (تسیتسیشویلی و همکاران ۱۹۹۳).

ویژگی‌های زیستی زئولیت‌ها به ویژه پیامد بیولوژیک آنها تاکنون کمتر بررسی شده است (آندرونیکاشویلی و همکاران ۲۰۰۸). همچنین پیامد زئولیت‌ها بر فراوانی و کارکرد ریزجانداران در خاک به خوبی شناخته نشده است (چاندر و جورجسنن ۲۰۰۲). از آنجا که واکنش گروه‌های ریزجانداران<sup>۱</sup> در برابر افزودن زئولیت گوناگون است، انجام پژوهش‌های بیشتر و ژرف‌تر برای شناخت بهتر پیامد کاربرد زئولیت بر ویژگی‌های میکروبی خاک<sup>۲</sup> یک نیاز است که باید انجام شود (مالباچوا و سیمون ۲۰۰۳).

دانش بهره‌گیری از زئولیت در ایران تا اندازه‌ای نوین بوده و بهره‌گیری از آن به دو دهه پیش برمی-

<sup>1</sup> Microbial populations

<sup>2</sup> Soil microbial properties

(آلف و نانی‌پیری ۱۹۹۵، صفری سنجانی و همکاران ۱۳۸۹).

فراوانی باکتری‌ها به روش پرگنه‌شماری<sup>۴</sup> در کشتگاه پایه نوترینت آگار<sup>۵</sup> (N.A) که همه نیازهای غذایی رشد بیشتر باکتری‌ها را دارد، شمارش شد. برای شمارش اکتینومیست‌های خاک از روش پرگنه‌شماری در کشتگاه گزینشی و ویژه<sup>۶</sup> (RBSCN-Agar) بهره‌گیری شد (آلف و نانی‌پیری ۱۹۹۵). شمارش اسپور گلومرال‌ها بر پایه روش غربال و شیب ساکارز در وزن ویژه ای از خاک مرطوب انجام شد (جردمان و نیکولسون ۱۹۶۳، سیلویا ۱۹۹۴).

تنفس پایه خاک به روش آیزرمایر در سال ۱۹۵۲ و تنفس برانگیخته به روش‌آلف و نانی‌پیری در سال ۱۹۹۵ با اندازه‌گیری دی‌اکسید کربن پدید آمده (میلی گرم در یک روز از یک گرم وزن خشک خاک) در درون ظروف دربسته شیشه‌ای اندازه‌گیری و برآورد شد (صفری سنجانی و همکاران ۱۳۸۹).

فسفر زیتوده ریزجانداران در خاک، با روش بروکس و همکاران در سال ۱۹۸۲ جداسازی و به روش رنگ‌سنجی مورفی و ریلی در سال ۱۹۶۲ اندازه‌گیری شد (کنو ۱۹۹۶). کربن زیتوده ریزجانداران در خاک، با روش ونس و همکاران (۱۹۸۷) ارزیابی شد.

#### فراهم و آماده‌سازی کودهای آلی

کودهای مرغی و گاوی به کاررفته در این پژوهش، از کودهای هواخشک، آسیاب و الک شده (با قطر دانه‌های کمتر از ۴ میلی‌متر) از منطقه حیدره از یک دامداری خانگی گردآوری شده بود.

ویژگی‌هایی از کودها مانند pH و EC آن‌ها در عصاره ۱:۵ کود به آب، اندازه‌گیری شدند. کل مواد جامد محلول<sup>۷</sup> (TDS)، کودها بر پایه روش استاندارد<sup>۸</sup> (APHA) با خشک کردن عصاره ۱:۵ کود به آب در دمای ۵۵±۵ درجه سلسیوس و وزن کردن آن

بررسی ویژگی‌های بیولوژیک آن در یخچال در دمای ۴ درجه سلسیوس به ریخت تازه و با همان نم خود نگهداری شد.

#### بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

تعیین بافت خاک بر پایه قانون استوکس و به روش هیدرومتری انجام شد (گی و بادر ۱۹۸۶). رسانایی الکتریکی در عصاره ۵:۱ خاک:آب، به کمک دستگاه هدایت سنج در دمای ۲۵ درجه سلسیوس، اندازه‌گیری شد (رودز ۱۹۹۰).

پ-اچ خاک، در عصاره ۵:۱ خاک:آب، به کمک دستگاه پ-اچ‌متر اندازه‌گیری شد (توماس ۱۹۹۶) و کربنات کلسیم معادل خاک، به روش تیتراسیون برگشتی با هیدروکسید سدیم، اندازه‌گیری شد (لوپپیرت و اسکوارز ۱۹۹۶).

گنجایش تبادل کاتیونی خاک به روش استات آمونیوم یک نرمال اندازه‌گیری شد (باور و همکاران ۱۹۵۲). اندازه‌گیری ماده آلی خاک به روش اکسایش تر انجام گرفت (واکلی و بلاک ۱۹۳۴) و پتاسیم فراهم به روش استات آمونیوم اندازه‌گیری شد (کلوت ۱۹۸۶). فسفر فراهم (در عصاره بی کربنات سدیم با پ-اچ ۸/۵) با دستگاه اسپکتروفتومتر و به روش مورفی و ریلی<sup>۱</sup> در سال ۱۹۶۲ اندازه‌گیری شد (کنو ۱۹۹۶).

#### بررسی ویژگی‌های بیولوژیک خاک

از ویژگی‌های زیستی خاک، فراوانی یگان سازنده کلنی قارچ‌ها (CFU)<sup>۲</sup> در محیط کشت بهبود یافته سیب‌زمینی، دکستروز و آگار<sup>۳</sup> (MPDA) شمارش شد. برای ساخت آن به محیط کشت P.D.A، ۰/۰۳ گرم در لیتر رزبنگال افزوده شد و به هر لیتر کشتگاه PDA، پس از سترون کردن و زمانی که دمای آن نزدیک ۴۰ تا ۵۰ درجه سلسیوس رسید، ۰/۰۵ گرم در لیتر استرپتومایسین و چند قطره اسیدلاکتیک افزوده شد که این مواد به کمک آنتی‌بیوتیک و اسیدی کردن این زیستگاه ساختگی از رشد باکتری‌ها جلوگیری می‌کند

<sup>۴</sup>-Colony count

<sup>۵</sup>-Nutrient agar

<sup>۶</sup>-Rose Bengal starch casein nutrient agar

<sup>۷</sup>-Total dissolved solids

<sup>۸</sup>-American Public Health Association

<sup>۱</sup>-Murphy and Riley

<sup>۲</sup>-Colony forming units

<sup>۳</sup>-Modified potato dextrose agar

هر یک از خاک‌های نمونه‌برداری شده با بافت سبک و سنگین جداگانه در اندازه ۵ کیلوگرم با ۱۰۰ گرم از کودهای مرغی و گاوی (به اندازه‌های ۰ و ۲ درصد وزنی) و بسته به تیمار ژئولیت با ۰، ۵/۱ و ۱ کیلوگرم ژئولیت با قطر ۰/۱ تا ۰/۴ میلی‌متر (به اندازه‌های ۰، ۱۰ و ۲۰ درصد وزنی) تیمار و به خوبی آمیخته شد.

در این پژوهش از گلدان‌هایی از جنس لوله پلیکا با قطر ۲۰ سانتی‌متر که به دو بخش جداگانه برش داده شده بودند، بهره‌گیری شد (شکل ۱). در آغاز لوله‌های پلیکا به دو بخش ۵ سانتی‌متری و ۱۰ سانتی‌متری برش داده شده بودند. گلدان‌ها را روی سکوهایی به بلندی ۱/۵ متر، درازای ۱/۶۵ و پهنای ۱/۲۸ متر، که کف سکوها از پودر سیلیس به بلندی ۵ سانتی‌متر پر شده بود گذاشته شد و برای اینکه خاک کف گلدان‌های لوله‌ای با سیلیس آمیخته نشود، از پارچه‌های ۱۰۰ میکرومتری در کف گلدان‌ها بهره‌گیری شد. نخست بخش ۵ سانتی‌متری را از خاک هر تیمار پر نموده و بر روی آن توری از جنس آهن گالوانیزه با سوراخ‌های ۲۵ میکرومتری گذاشته، که این کار برای جداسازی خاک دارای ریشه از خاک بدون ریشه انجام شد. چرا که تنها ریشه‌های مویین گیاه می‌تواند از سوراخ‌های توری ۲۵ میکرومتری بگذرد. سپس لوله پلیکای بخش ۱۰ سانتی‌متری را روی توری ۲۵ میکرومتری گذاشته و آن هم از خاک همان تیمار پر شد. برای آبیاری گلدان‌ها، آبیاری از پایین به بالا به گونه‌ای انجام می‌شد که روزانه سیلیس کف سکوها را سیراب (اشباع) نموده و آب زهکش نشده از لایه سیلیسی زیرین به خاک و از پایین به بالا جذب و به گیاه می‌رسید (صفری سنجانی و رشیدی ۲۰۱۱). گزارش شده که در این گونه آزمایش‌ها ریشه‌های مویین و هیف‌های قارچ‌های میکوریزی می‌توانند از توری ۲۵ میکرومتری بگذرند و به خاک بخش پایینی برسند و ریزوسفر را بسازند، ولی ریشه گیاه از آن نمی‌گذرد و به آسانی از آن جدا می‌شود (جورج و همکاران ۲۰۰۲).

اندازه‌گیری شد (بی‌نام ۱۹۹۸). برای عصاره‌گیری پس از ساختن سوسپانسیون کود، آن را برای ۱۲۰ دقیقه روی شیکر تکان داده و پس از سانتریفیوژ شدن، از کاغذ پالایه گذرانده شد.

کربن آلی کودها به روش اکسیداسیون خشک با گذاشتن در کوره بر پایه روش متیسن و همکاران (۲۰۰۵) اندازه‌گیری شد. کربن آلی محلول کودها در حجم ویژه‌ای از آبگونة رویین سوسپانسیون ۱:۱۰ به روش اکسیداسیون با دی‌کرومات ارزیابی شد. همه نیتروژن کودها به روش کجلدال و همه فسفر آن‌ها نیز بر پایه روش سوختن ۲ ساعته در کوره الکتریکی و در دمای  $550^{\circ}\text{C}$  و پس از حل خاکستر در اسیدکلریدریک، به روش رنگ‌سنجی اندازه‌گیری شد (پپرزاک و همکاران ۱۹۵۹).

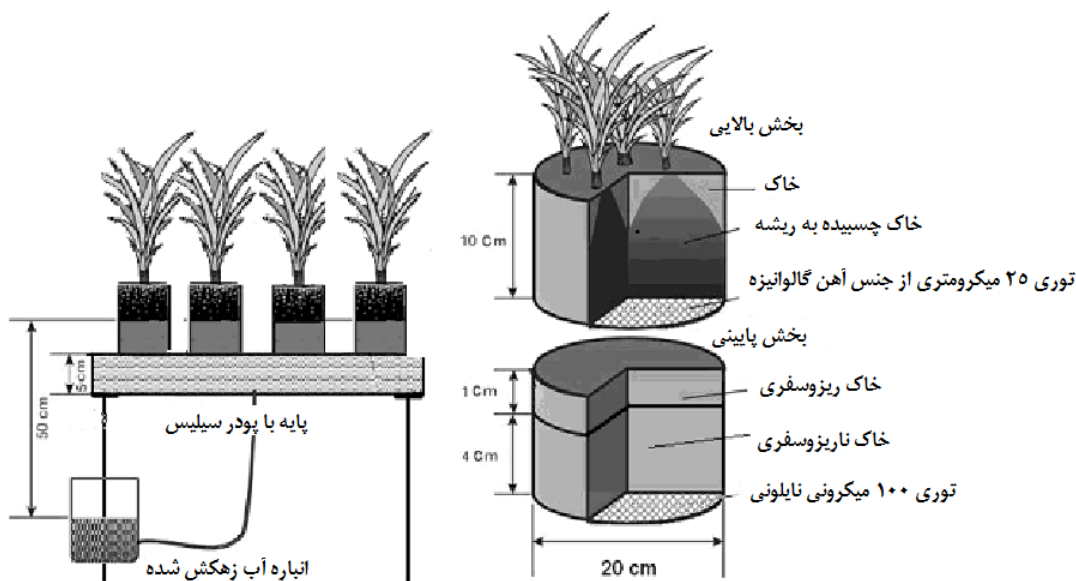
#### فراهم سازی و آماده کردن ژئولیت

ژئولیت طبیعی کلینوپتیلولیت بکاررفته در این پژوهش، از شرکت افزازند فراهم شد که از کانسارهای شهر میانه برداشت شده است. اندازه دانه‌های ژئولیت بکاررفته در تیمارها آزمایشی از ۱۰۰ تا ۴۰۰ میکرون بود. از آنجایی که شوری ژئولیت فراهم شده بالا بود و می‌توانست مایه کاهش رشد گیاه شود، چند بار با آب لوله تا جایی شسته شد که رسانایی الکتریکی عصاره آن از ۴ dS/m به کمتر از ۲ dS/m برسد.

#### گام کشت گلخانه‌ای

این پژوهش، دو آزمایش جداگانه بود که به گونه زیر در دو خاک یکی با بافت سبک و دیگری بافت سنگین انجام شد. هر آزمایش به ریخت فاکتوریل با سه فاکتور ژئولیت در سه سطح (بدون ژئولیت، 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 کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد.

#### تیمار خاک



شکل ۱- نمایش شماتیک گلدان‌ها و سیستم آبیاری برای کشت گیاه (برگرفته از صفری سنجانی و رشیدی ۲۰۱۱).

برداشت گیاه با همان روش‌ها انجام شد تا پیامد کاربرد ژئولیت، کود دامی و کاشت گیاه ذرت بر این ویژگی‌ها در هر یک از خاک‌های با بافت سبک و سنگین آزمون شود. همچنین در این پژوهش بهرمتابولیک<sup>۱۳</sup> (qCO<sub>2</sub>) ریزجانداران که از بخش کردن تنفس پایه به کربن زیتوده به دست می‌آید، در دو خاک ریزوسفری و ناریزوسفری در هر یک از تیمارها بررسی گردید.

#### تجزیه و تحلیل آماری

همانگونه که یاد آور شد این پژوهش با دو آزمایش جداگانه بر روی دو خاک با بافت‌های سبک و سنگین به ریخت فاکتوریل با سه فاکتور ژئولیت در سه سطح (بدون ژئولیت، ۱۰ درصد و ۲۰ درصد)، کود در سه سطح (بدون کود، کود مرغی و کود گاوی) و جایگاه نمونه‌برداری در دو بخش (ریزوسفری و ناریزوسفری) با طرح کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. برای پردازش داده‌های هر آزمایش و رسم نمودارها از نرم‌افزار ۲۰۰۷ و EXCEL ۲۰۰۳ و برای آزمون آماری از نرم‌افزار SAS بهره‌گیر شده است. پیامد کاربرد هریک از تیمارها و برهمکنش آنها با انجام تجزیه واریانس ارزیابی شد. آزمون میانگین هریک از

#### کشت گیاه

خاک‌های نمونه‌برداری شده از الک ۸ میلی‌متری گذرانده شده بود و بسته به تیمار با کود گاوی یا مرغی و نیز با ژئولیت آمیخته شد. پیش از کشت گیاه، گلدان‌ها آبیاری شده بودند و هنگامی که رطوبت شایسته برای کشت فراهم گردید، در هر گلدان از خاک شنی و خاک رسی، پنج بذر در ژرفای سه تا پنج سانتی‌متری کاشته شد و سپس گلدان‌ها در گلخانه بر پایه الگوی طرح کاملا تصادفی و با سه تکرار آرایش یافتند. در هر سکو ۱۸ گلدان گذاشته شد. پس از گذشت نزدیک 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.

برای نمونه‌برداری از خاک، از دو جایگاه گوناگون در هر گلدان نمونه‌برداری شد. لایه‌ای یک سانتی‌متری خاک چسبیده به زیر توری ۲۵ میکرومتری در بخش ۵ سانتی‌متری همانند خاک ریزوسفری برداشت شد. خاک ۱ سانتی‌متری زیر آن همانند خاک ناریزوسفری برداشت شد (صفری سنجانی و رشیدی ۲۰۱۱).

هر یک از آزمایش‌های زیستی یاد شده در بالا بر هر یک از نمونه‌های خاک گردآوری شده پس از

<sup>13</sup> - Metaboloic quotient

سبک ۰/۰۴۳ و ۰/۶۵ و در خاک سنگین ۰/۰۸۹ و ۱/۱ میلی‌گرم دی اکسیدکربن آزاد شده در هر گرم خاک در روز می‌باشد.

#### برخی از ویژگی‌های کودهای جانوری

برخی از ویژگی‌های شیمیایی کودهای به کار رفته در خاک در جدول ۲ آمده است. بر پایه آن کود گاوی درصد کربن آلی بیشتری (نزدیک ۵۱۲ گرم در کیلوگرم) و کربن آلی محلول کمتری (۵/۴۲ گرم در کیلوگرم) را در برابر آنها در کود مرغی (۴۳۳ و ۱۰/۳۲ گرم در کیلوگرم) داشته است. از دیدگاه شوری، کود مرغی شورتر، با رسانایی  $6/85 \text{ dS/m}$  و کود گاوی با رسانایی الکتریکی  $4/7 \text{ dS/m}$  است. اسیدیته اندازه‌گیری شده در عصاره ۵:۱ کودها، برای کود مرغی کمتر ( $6/89$ ) و برای کود گاوی نزدیک قلیایی ( $8/16$ ) است. در بررسی فسفر اندازه‌گیری شده کودها به روش سوزاندن در کوره، کود مرغی فسفر بیشتر و کود گاوی فسفر کمتری داشت. کربن آلی محلول و نیز کل مواد جامد محلول کود مرغی بیشتر از کود گاوی بود.

برخی از ویژگی‌های زئولیت به کار رفته در این پژوهش

در جدول ۳ برخی از ویژگی‌های زئولیت به کار رفته آمده است. بر پایه آن زئولیت پ-اچ حدود خنثی دارد و رسانایی آن همان گونه که گفته شد بالا بود که با شست و شو به زیر ۲ رسانده شد. نکته قابل توجه دیگر در مورد زئولیت به کار رفته در این پژوهش، اینکه مقدار پتاسیم فراهم ( $10450 \text{ mg/kg}$ ) و گنجایش تبادل کاتیونی ( $16927 \text{ Cmol}^+/\text{kg}$ ) بالایی داشت.

ویژگی‌های یاد شده و در تیمارهای به کار رفته به روش دانکن در پایه پنج درصد، انجام شد.

#### نتایج و بحث

برخی از ویژگی‌های خاک‌های نمونه‌برداری شده

نتایج آزمایش برخی از ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و زیستی خاک‌هایی که برای این پژوهش بهره‌گیری شد در جدول ۱ آمده است. اندازه شن، سیلت و رس در خاک با بافت سبک به ترتیب ۸۵، ۸ و ۷ درصد بود و به کمک مثلث بافت خاک، بافت آن شن لومی<sup>۱۴</sup> به دست آمد. این درصدها در خاک با بافت سنگین به ترتیب ۳۲، ۲۶ و ۴۲ درصد بود و بافت این خاک رسی است. خاک سبک دارای  $1/75$  درصد آهک و خاک سنگین داری  $2/25$  درصد آهک بود. گنجایش تبادل کاتیونی خاک سبک  $4/53$  سانتی مول بار بر کیلوگرم خاک خشک و در خاک سنگین  $18/11$  سانتی مول بار بر کیلوگرم خاک خشک بود. کربن آلی خاک به ترتیب در دو خاک سبک و سنگین  $3/37$  و  $9/23$  گرم بر کیلوگرم خاک است.

pH دو خاک سبک و سنگین به ترتیب  $7/42$  و  $7/75$  است که در دسته خاک‌های خنثی تا کمی قلیایی هستند. رسانایی الکتریکی در دو خاک سبک و سنگین به ترتیب  $0/13$  و  $0/19$  دسی‌زیمنس بر متر و شوری آنها پایین است. فسفر فراهم دو خاک به ترتیب  $31/73$  و  $68/53$  میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک است و پتاسیم فراهم دو خاک  $152/32$  و  $396/18$  میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک است. فسفر زیتوده در دو خاک به ترتیب  $21/32$  و  $41/98$  میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک است. کربن زیتوده در خاک سبک  $180$  و در خاک سنگین  $428$  میکروگرم برگرم خاک است.

لگاریتم یگان‌های سازنده کلنی قارچ، باکتری و اکتینومیست در خاک سبک به ترتیب  $3/79$ ،  $6/39$  و  $5/19$  در هر گرم خاک خشک است و این‌ها در خاک سنگین به ترتیب  $4/17$ ،  $7/05$  و  $5/73$  در هر گرم خاک خشک است. تنفس پایه و برانگیخته به ترتیب در خاک

<sup>14</sup>- loamy sand



جدول ۱- میانگین برخی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک‌ها پیش از کشت گیاه.

ویژگی	خاک سبک	خاک سنگین
بافت	شن لومی	رسی
شن (%)	۸۵	۳۲
سیلت (%)	۸	۲۶
رس (%)	۷	۴۲
کربنات کلسیم معادل (%)	۱/۷۵	۳/۲۵
گنجایش تبادل کاتیونی (Cmol <sup>+</sup> /kg)	۴/۵۲	۱۸/۱۱
همه کربن آلی (g/kg)	۳/۳۷	۹/۲۳
pH	۷/۴۲	۷/۷۵
رسانایی الکتریکی (dS/m)	۰/۱۲	۰/۱۹
فسفر فراهم (mg/kg)	۳۱/۷۳	۶۸/۵۳
پتاسیم فراهم (mg/kg)	۱۵۲/۳۲	۳۹۶/۱۸
فسفر زیتوده (mg/kg soil)	۲۱/۳۲	۴۱/۹۸
کربن زیتوده (mg/kg)	۱۸۰	۴۲۸
لگاریتم فراوانی قارچ‌ها (CFU/g soil)	۳/۷۹	۴/۱۷
لگاریتم فراوانی باکتری‌ها (CFU/g soil)	۶/۳۹	۷/۰۵
لگاریتم فراوانی اکتینومیسیت‌ها (CFU/g soil)	۵/۱۹	۵/۷۹
تنفس پایه (mgCO <sub>2</sub> /g soil day)	۰/۰۴۳	۰/۰۸۹
تنفس برانگیخته (mgCO <sub>2</sub> /g soil day)	۰/۶۵	۱/۱

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های شیمیایی کودهای جانوری.

ویژگی اندازه‌گیری شده	کود مرغی	کود گاوی
pH	۶/۸۹	۸/۱۶
رسانایی الکتریکی (dS/m)	۶/۸۵	۴/۷
کربن آلی (g/kg)	۴۳۳	۵۱۲
همه فسفر (g/kg)	۷/۷	۵/۶
همه ماده جامد محلول (g/kg)	۳۲/۰۶	۱۵/۱
کربن آلی محلول (g/kg)	۱۰/۳۲	۵/۴۲

جدول ۳- برخی از ویژگی‌های شیمیایی زئولیت.

ویژگی‌های اندازه‌گیری شده	اندازه
pH	۷/۲
رسانایی الکتریکی (dS/m)	۱/۹
همه کربن آلی (g/kg)	۰/۹۱۸
فسفر فراهم (mg/kg)	۱۹/۶۶۹
پتاسیم فراهم (mg/kg)	۱۰۴۵۰
گنجایش تبادل کاتیونی (Cmol <sup>+</sup> /kg)	۱۶۹/۲۷

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که جایگاه نمونه‌برداری پیامد چشم‌گیری در پایه آماری یک درصد بر فراوانی باکتری‌ها داشت (جدول ۴). آزمون میانگین‌ها ناهمانندی چشم‌گیری در فراوانی باکتری‌ها در جایگاه‌های گوناگون نشان داد که بیشترین لگاریتم فراوانی در خاک ریزوسفری ( $7/528$  CFU/g soil) و کمترین آن در خاک ناریوسفری بدست آمد. بالا بودن فراوانی باکتری‌ها در خاک ریزوسفری می‌تواند وابسته به افزایش تراوش‌های ریشه‌ای به این جایگاه و رشد بیشتر ریزجانداران در این جایگاه باشد.

از آنجایی که قارچ‌ها کارایی ویژه‌ای در فروزینی مواد کربنه خاک دارند، با داشتن کارکردهای تغذیه‌ای ویژه و برهمکنش با دیگر ریزجانداران، بررسی آن‌ها از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. آزمون میانگین فراوانی قارچ‌ها در خاک‌های تیمار شده با زئولیت نشان داد که هرچند فراوانی قارچ‌ها با افزایش زئولیت افزایش یافته است اما این افزایش از دیدگاه آماری چشم‌گیر نبود (جدول ۴). در برابر آن کاربرد کودهای جانوری فراوانی قارچ‌ها را در پایه آماری یک درصد افزایش داد. بیشترین اندازه لگاریتم فراوانی قارچ‌ها در تیمار کود مرغی ( $4/715$  CFU/g soil) و کمترین اندازه آن در تیمار بدون کود ( $4/482$  CFU/g soil) بدست آمد. جایگاه نمونه‌برداری هم بر فراوانی قارچ‌ها بدون پیامد نبود و لگاریتم فراوانی قارچ‌ها به اندازه چشم‌گیری در خاک ریزوسفری ( $5/184$  CFU/g soil) از خاک ناریوسفری ( $4/074$  CFU/g soil) بیشتر بود (جدول ۵).

یافته‌های بدست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها در این بخش نشان داد که پیامد کاربرد زئولیت در پایه آماری پنج درصد بر فراوانی اسپور گلومرال‌ها چشم‌گیر بوده و پیامد کاربرد کودهای جانوری و پیامد ریشه گیاه (جایگاه نمونه‌برداری) در پایه آماری یک درصد چشم‌گیر بود، ولی پیامد برهم کنش هیچ یک از تیمارهای یاد شده بر این ویژگی زیستی خاک چشم‌گیر نبود (جدول ۴).

پیامد کاربرد زئولیت، کودهای جانوری و جایگاه نمونه‌برداری بر فراوانی باکتری‌ها، قارچ‌ها، اسپور گلومرال‌ها و اکتینومیست‌ها در خاک با بافت سبک

در این پژوهش کاربرد زئولیت و کودهای جانوری به گونه چشم‌گیری ویژگی‌های بیولوژیک خاک سبک را دگرگون ساخت (جدول ۴). تجزیه واریانس داده‌های بدست آمده نشان داد که پیامد کاربرد زئولیت بر فراوانی باکتری‌ها در پایه آماری پنج درصد چشم‌گیر بود ولی بر فراوانی قارچ‌ها پیامد چشم‌گیری نداشت. همچنین پیامد کاربرد زئولیت بر فراوانی اکتینومیست‌ها در پایه آماری یک درصد چشم‌گیر بود. پیامد کاربرد کودهای جانوری بر فراوانی باکتری‌ها، قارچ‌ها و اکتینومیست‌ها در پایه آماری یک درصد چشم‌گیر بود. همچنین پیامد جایگاه نمونه‌برداری خاک بر ویژگی‌های بیولوژیک بررسی شده پیامد چشم‌گیری در پایه آماری یک درصد داشت که این نشان دهنده پیامد چشم‌گیر ریشه گیاه ذرت بر ویژگی‌های خاک ریزوسفری در برابر خاک ناریوسفری است.

پیامد برهم کنش‌های میان زئولیت، کود دامی و جایگاه نمونه‌برداری بر فراوانی این ریزجانداران از دیدگاه آماری چشم‌گیر نبود و تنها از میان این برهم کنش‌ها، پیامد برهم کنش میان زئولیت و جایگاه نمونه‌برداری و همچنین پیامد برهم کنش میان کود دامی و جایگاه نمونه‌برداری بر فراوانی اکتینومیست‌ها از دیدگاه آماری چشم‌گیر بود.

آزمون میانگین‌های فراوانی باکتری‌ها در خاک‌های تیمار شده با زئولیت و کودهای جانوری نشان داد که لگاریتم فراوانی باکتری‌ها در خاک با ۲۰ درصد زئولیت ( $7/141$  CFU/g soil) بیشترین اندازه را داشت و کمترین اندازه آن در خاک بدون زئولیت بود (جدول ۵). فراوانی باکتری‌ها در تیمارهای کود دامی بیشتر و با تیمار بدون کود ناهمانندی چشم‌گیری داشت، بیشترین اندازه لگاریتم آن در تیمار کود مرغی ( $CFU/g soil$ ) و کمترین آن در تیمار بدون کود شمارش شد.

پیامد کاربرد زئولیت، کودهای جانوری و جایگاه نمونه برداری بر تنفس پایه و برانگیخته در خاک با بافت سبک

رهاسازی دی اکسید کربن از خاک، نشانی از تندی فروزینی مواد آلی در خاک می باشد. هرچه اندازه تنفس پایه بیشتر برآورد شود کیفیت زیستی خاک بالاتر خواهد بود. تجزیه واریانس داده های تنفس پایه خاک سبک نشان داد که افزودن زئولیت و کود جانوری و جایگاه نمونه برداری پیامد چشم گیری در پایه آماری یک درصد بر تنفس پایه خاک دارد. ولی پیامد برهم کنش هیچ یک از تیمارهای یاد شده بر این ویژگی زیستی خاک چشم گیر نبود (جدول ۴).

همچنین آزمون میانگین های داده ها نشان داد که تیمار دارای ۲۰ درصد زئولیت بیشترین اندازه تنفس پایه ( $0/145 \text{ mgCO}_2 / \text{g soil day}$ ) را دارد و دیده شد که در تیمارهای کودی به کار رفته بالاترین اندازه تنفس پایه در تیمار کود مرغی ( $0/139 \text{ mgCO}_2 / \text{g soil day}$ ) بود، و نیز در باره جایگاه نمونه برداری بالاترین تنفس در بخش ریزوسفری ( $0/133 \text{ mgCO}_2 / \text{g soil day}$ ) دیده شد (جدول ۵).

پیامد کاربرد تیمارها و نیز پیامد برهمکنش میان زئولیت-کود و کود-جایگاه نمونه برداری در پایه آماری یک درصد بر تنفس برانگیخته خاک چشم گیر بود. داده های جدول ۷ نشان می دهد که در آزمون میانگین برهمکنش میان زئولیت-کود بالاترین اندازه تنفس برانگیخته در تیمار ۲۰ درصد زئولیت دارای کود مرغی ( $1/925 \text{ mgCO}_2 / \text{g soil day}$ ) رخ داده است و نیز در برهمکنش میان کود-جایگاه نمونه برداری بالاترین اندازه تنفس برانگیخته در تیمار کود مرغی در بخش ریزوسفری ( $1/974 \text{ mgCO}_2 / \text{g soil day}$ ) دیده شد. ناهمانندی تنفس برانگیخته در خاک ریزوسفری می تواند به فراوانی بیشتر ریزجانداران در این جایگاه و افزایش زیتوده آنها وابسته باشد.

آزمون میانگین داده ها نشان داد که فراوانی اسپور در تیمار ۱۰ و ۲۰ درصد زئولیت ناهمانندی چشم گیری نداشت و بیشترین اندازه آن در تیمار ۱۰ درصد زئولیت (۴۱۳ اسپور در ۱۰ گرم خاک خشک) بود ولی با تیمار بدون زئولیت ناهمانندی چشم گیری داشتند. در تیمارهای کود به کار رفته در کود مرغی (۴۲۴ اسپور در ۱۰ گرم خاک خشک) بیشترین اسپور شمارش شد. فراوانی اسپورها در بخش ریزوسفری (۴۴۴ اسپور در ۱۰ گرم خاک خشک) به اندازه چشم گیری بیشتر از آن در خاک ناریوسفری بود (جدول ۵).

تجزیه واریانس داده های بدست آمده نشان داد که فراوانی اکتینومیست های خاک وابسته به تیمارهای زئولیت و کودهای جانوری است. مانند دیگر ریزجانداران پیامد جایگاه نمونه برداری هم بر فراوانی اکتینومیست ها در پایه آماری یک درصد چشم گیر بود. برهمکنش میان زئولیت-جایگاه نمونه برداری و نیز کود-جایگاه نمونه برداری هم پیامد چشم گیری بر فراوانی اکتینومیست های خاک داشت (جدول ۴). آزمون میانگین لگاریتم فراوانی اکتینومیست ها نشان داد که در برهمکنش زئولیت-جایگاه نمونه برداری بیشترین فراوانی اکتینومیست ها در تیمار دارای ۲۰ درصد زئولیت و در بخش ریزوسفری ( $6/792 \text{ CFU/g soil}$ ) دیده شد. در برهمکنش میان کود-جایگاه نمونه برداری بیشترین لگاریتم فراوانی اکتینومیست در تیمار کود مرغی و در بخش ریزوسفری ( $6/745 \text{ CFU/g soil}$ ) دیده شد (جدول ۶). این جدول نشان می دهد که در هر جایگاه نمونه برداری هر چه درصد زئولیت بکاررفته بیشتر می شود فراوانی اکتینومیست ها بیشتر می شود. از سوی دیگر در هر جایگاه نمونه برداری خاک تیمار شده با کود مرغی بیشترین و خاک بدون کود کمترین فراوانی اکتینومیست را دارد.

**جدول ۴- پیامد کاربرد ژئولیت، کود و جایگاه نمونه‌برداری بر ویژگی‌های بیولوژیک خاک سبک.**

میانگین مربع‌ها								منابع دگرگونی	
درجه آزادی	باکتری‌ها	قارچ‌ها	اکتینومیست‌ها	تنفس پایه	تنفس	فسفرزیتوده	کربن زیتوده	اسپورگلومرالها	
۲	۰/۰۶۴*	۰/۰۲۵	۰/۴۷۳**	۰/۰۱۲**	۰/۵۶۰**	۱۵۴۳/۳۶۳	۳۵۰۵۸۸/۰۰۶**	۳۹۵۹۰/۱۷۲*	ژئولیت
۲	۰/۶۶۷**	۰/۲۹۶**	۰/۳۹۶**	۰/۰۱۰*	۰/۷۵۳**	۱۰۴۲۱/۹۳۹*	۳۴۳۲۲۷/۸۱۰**	۴۱۲۲۲/۳۸۹*	کود
۱	۱۰/۸۳۸**	۱۶/۶۲۲**	۱۴/۸۹۶**	۰/۰۱۰*	۱/۴۸۰**	۱۷۵۸۶/۸۸۱**	۱۷۳۲۶۶/۱۴۹*	۱۹۷۶۹۴/۴۴۴**	جایگاه‌نمونه‌برداری
۴	۰/۰۱۲	۰/۰۰۱	۰/۰۱۱	۰/۰۰۰۷	۰/۱۶۳**	۴۶۲/۴۴۰	۲۲۷۳۸/۶۹۶	۴۷۴۲/۵۰۰	ژئولیت*کود
۲	۰/۰۰۴	۰/۰۱۰	۰/۰۴۵**	۰/۰۰۲	۰/۰۵۴	۳۸۳۵/۴۰۷	۱۲۶۹۰/۶۶۷	۱۸۰۴/۵۹۶	ژئولیت*جایگاه‌نمونه‌برداری
۲	۰/۰۰۰۷	۰/۰۷۴	۰/۰۴۱**	۰/۰۰۰۷	۰/۱۸۹**	۲۸/۸۶۳	۲۹۱۴۷/۳۰۹	۱۶۷۵/۴۲۱	کود*جایگاه‌نمونه‌برداری
۴	۰/۰۲۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰۲	۰/۰۷۸	۱۳۵/۷۹۳	۲۷۰۷۵/۹۷۵	۶۳۸۹/۴۰۷	ژئولیت*کود*جایگاه‌نمونه‌برداری
۳۶	۰/۰۱۴	۰/۰۴۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲	۰/۰۳۱	۲۳۲۸/۰۶۶	۴۷۴۵۴/۰۰۱	۱۱۴۱۲/۳۵۴	خطا

\* و \*\* به ترتیب نشانگر پیامد چشمگیر در پایه آماری پنج و یک درصد است

**جدول ۵- آزمون میانگین‌های فراوانی برخی از ویژگی‌های بیولوژیک خاک سبک در تیمارهای گوناگون ژئولیت، کود و جایگاه**

**نمونه‌برداری.**

لگاریتم فراوانی باکتری‌ها (CFU/g soil)		لگاریتم فراوانی قارچ‌ها (CFU/g soil)		اسپور گلومرال‌ها (در ۱۰ گرم خاک خشک)		تنفس پایه (mgCO <sub>2</sub> /g soil day)		کربن زیتوده (µg/g soil)		فسفر زیتوده (mg/kg soil)		
SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	
۱۰/۵۰۱	۷/۰۲b	۴/۵۸a	۴/۵۸a	۱۰۳/۳	۳۲۹b	۰/۰۳۲	۰/۰۹۰b	۱۵۴/۰	۳۳۸/۸b	۲۵/۶	۶۲/۹a	بدون ژئولیت
۰/۴۹۸	۷/۱۱ab	۴/۶۴a	۴/۶۴a	۱۱۷/۳	۴۱۳a	۰/۰۴۶	۰/۱۲۲ab	۲۱۹/۲	۵۴۰/۷a	۵۵/۶	۷۱/۸a	۱۰٪ژئولیت
۰/۵۰۷	۷/۱۴a	۴/۶۷a	۴/۶۷a	۱۳۸/۸	۴۰۷a	۰/۰۶۰	۰/۱۴۵a	۳۰۹/۷	۶۰۶/۷a	۵۸/۵	۸۱/۴a	۲۰٪ژئولیت
۰/۴۶۸	۶/۹۴c	۴/۴۸b	۴/۴۸b	۹۲/۹	۳۳۲b	۰/۰۴۸	۰/۰۹۲b	۲۱۳/۷	۳۴۰/۲b	۲۵/۸	۵۱/۱b	بدون کود
۰/۴۸۶	۷/۳۱a	۴/۷۲a	۴/۷۲a	۱۲۱/۳	۴۲۷a	۰/۰۵۶	۰/۱۳۹a	۲۱۰/۶	۵۴۱/۳a	۶۳/۴	۹۸/۳a	کود مرغی
۰/۴۸۱	۷/۰۲b	۴/۶۹a	۴/۶۹a	۱۴۱/۸	۳۹۰ab	۰/۰۴۱	۰/۱۲۷a	۲۸۰/۲	۶۰۴/۷a	۴۵/۴	۶۶/۷ab	کود گاوی
۰/۲۰۳	۷/۵۴a	۵/۱۸a	۵/۱۸a	۱۱۸/۵	۴۴۴a	۰/۰۵۷	۰/۱۳۳a	۲۲۱/۳	۵۵۲/۰ a	۵۰/۲	۹۰/۱a	ریزوسفری
۰/۲۰۵	۶/۶۴b	۴/۰۸b	۴/۰۸b	۹۹/۷	۳۲۳b	۰/۰۴۳	۰/۱۰۵b	۲۸۴/۶	۴۳۸/۷ b	۴۴/۸	۵۴/۰b	ناریزوسفری

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

**جدول ۶- آزمون میانگین فراوانی اکتینومیست‌های خاک سبک در تیمارهای برهمکنش تیمارها ژئولیت-کود و ژئولیت-جایگاه**

**نمونه‌برداری.**

لگاریتم فراوانی اکتینومیست‌ها (CFU/g soil)		جایگاه نمونه‌برداری	ژئولیت
SD	M		
۰/۱۲۲	۶/۳۷۶b	ریزوسفری	بدون ژئولیت
۰/۱۲۵	۵/۴۴۲d	ناریزوسفری	بدون ژئولیت
۰/۱۵۶	۶/۶۴۰a	ریزوسفری	۱۰٪ژئولیت
۰/۱۷۰	۵/۵۴۱c	ناریزوسفری	۱۰٪ژئولیت
۰/۱۷۶	۶/۷۹۲a	ریزوسفری	۲۰٪ژئولیت
۰/۱۷۶	۵/۶۷۴c	ناریزوسفری	۲۰٪ژئولیت

SD	M	جایگاه نمونه برداری	کود
۰/۱۷۳	۶/۴۵۱b	ریزوسفری	بدون کود
۰/۱۱۷	۵/۳۶۴d	ناریزوسفری	بدون کود
۰/۲۵۴	۶/۷۴۵a	ریزوسفری	کودمرغی
۰/۱۵۱	۵/۶۲۳c	ناریزوسفری	کودمرغی
۰/۱۶۱	۶/۶۱۲a	ریزوسفری	کودگاوی
۰/۰۹۴	۵/۶۷۰c	ناریزوسفری	کودگاوی

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

#### جدول ۷- آزمون میانگین تنفس برانگیخته خاک سبک در تیمارهای برهمکنش کود-جایگاه نمونه برداری و ژئولیت-کود.

تنفس برانگیخته mg CO <sub>2</sub> / g soil day			
SD	M	جایگاه نمونه برداری	کود
۰/۱۸۴	۱/۷۷۷ab	ریزوسفری	بدون کود
۰/۵۲۵	۱/۲۲۷c	ناریزوسفری	بدون کود
۰/۲۱۴	۱/۹۷۴a	ریزوسفری	کودمرغی
۰/۱۴۳	۱/۸۳۰ab	ناریزوسفری	کودمرغی
۰/۱۴۰	۱/۹۲۵a	ریزوسفری	کودگاوی
۰/۱۳۷	۱/۶۲۶b	ناریزوسفری	کودگاوی
SD	M	کود	ژئولیت
۰/۵۹۷	۱/۰۹۶b	بدون کود	بدون ژئولیت
۰/۲۲۲	۱/۸۴۸a	کودمرغی	بدون ژئولیت
۰/۲۳۰	۱/۶۶۳a	کودگاوی	بدون ژئولیت
۰/۲۴۷	۱/۶۱۷a	بدون کود	۱۰٪ ژئولیت
۰/۱۹۲	۱/۸۸۰a	کودمرغی	۱۰٪ ژئولیت
۰/۲۰۶	۱/۷۸۶a	کودگاوی	۱۰٪ ژئولیت
۰/۱۸۸	۱/۷۹۳a	بدون کود	۲۰٪ ژئولیت
۰/۱۶۶	۱/۹۷۳a	کودمرغی	۲۰٪ ژئولیت
۰/۱۳۶	۱/۸۷۹a	کودگاوی	۲۰٪ ژئولیت

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

آمده از تجزیه واریانس داده‌های فسفر زیتوده خاک سبک نشان داد که هرچند با افزایش درصد ژئولیت اندازه فسفر زیتوده نیز افزایش یافت اما این افزایش از دیدگاه آماری چشم‌گیر نبود. پیامد کاربرد کود دامی در پایه آماری پنج درصد بر فسفر زیتوده خاک چشم‌گیر بود و نیز جایگاه نمونه برداری در پایه آماری یک در صد روی فسفر زیتوده خاک پیامد چشم‌گیر داشت.

پیامد کاربرد ژئولیت، کودهای جانوری و جایگاه نمونه برداری بر فسفر زیتوده و کربن زیتوده در خاک با بافت سبک

افزودن مواد آلی به خاک، سوبسترای آلی خاک را تا اندازه‌ای افزایش می‌دهد که اگر نسبت کربن به فسفر بالایی داشته باشد، مایه افزایش تندی آلی شدن فسفر می‌شود (صفری سنجانی ۱۳۹۲) که به افزایش فسفر آلی و فسفر زیتوده می‌انجامد. یافته‌های بدست

تیمار همانند آنچه در خاک با بافت سبک دیده شد بر فراوانی قارچ‌ها از دیدگاه آماری چشم‌گیر نبود.

هر چند فراوانی باکتری‌ها در خاک با بافت سنگین بیشتر بود اما پیامد تیمارها بر فراوانی این ریزجانداران در خاک سبک بیشتر از خاک سنگین بود، چرا که افزایش فراوانی باکتری‌ها در خاک سبک در برابر خاک شاهد آن بیشتر بود.

با افزایش درصد زئولیت بکاررفته در خاک سنگین فراوانی اسپورگلومرال‌ها نیز افزایش یافت و بیشترین فراوانی اسپور در تیمار ۲۰ درصد زئولیت به اندازه ۹۹۵ اسپور در ۱۰ گرم خاک خشک دیده شد، اما این افزایش از دیدگاه آماری چشم‌گیر نبود (برای کوتاه کردن نوشتار داده‌ها و جدول‌های بدست آمده از بررسی خاک سنگین نشان داده نشده است). بنابراین هر چند فراوانی اسپور گلومرال در خاک سنگین بیشتر از خاک سبک بود اما پیامد کاربرد زئولیت بر فراوانی اسپور گلومرال‌ها در خاک سبک چشم‌گیرتر بود.

آزمون میانگین داده‌ها نشان داد که کاربرد زئولیت در خاک سنگین نیز بر فراوانی اکتینومیست‌ها پیامد چشم‌گیر داشته و بیشترین فراوانی در تیمار ۲۰ درصد زئولیت ( $6/187$  CFU/g soil) دیده شد و در باره جایگاه نمونه‌برداری هم فراوانی بیشتر آنها در بخش ریزوسفری بود. اما در برهمکنش کود- جایگاه نمونه‌برداری بیشترین فراوانی در تیمار کود مرغی و در بخش ریزوسفری ( $6/676$  CFU/g soil) دیده شد (برای کوتاه کردن نوشتار داده‌ها و جدول‌های بدست آمده از بررسی خاک سنگین نشان داده نشده است). از این یافته‌ها آنچه که برداشت می‌شود این است که پیامد تیمارها بر فراوانی این ریزجانداران در خاک سبک بیشتر از خاک سنگین است.

افزودن زئولیت به خاک با بافت سنگین هرچند تنفس پایه را بالا برد اما این پیامد از دیدگاه آماری چشم‌گیر نبود و تنها جایگاه نمونه‌برداری پیامدش در پایه آماری یک درصد چشم‌گیر بود. آزمون میانگین تنفس پایه نشان داد که بیشترین اندازه تنفس پایه در بخش ریزوسفری ( $0/194$  mgCO<sub>2</sub> /g soil day) خاک بدست آمد که وابسته کار تارهای موئین ریشه در

پیامد برهم کنش هیچ یک از تیمارهای یاد شده بر فسفر زیتوده خاک چشم‌گیر نبود (جدول ۴).

آزمون میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین اندازه فسفر زیتوده در تیمار کود مرغی (mg/kg soil) وجود داشت. در بررسی پیامد جایگاه نمونه‌برداری نیز بالاترین اندازه فسفر زیتوده را در بخش ریزوسفری (mg/kg soil) بدست آمد (جدول ۵).

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که پیامد کاربرد زئولیت و کود بر اندازه کربن زیتوده نیز در پایه آماری یک درصد چشم‌گیر بود ولی پیامد جایگاه نمونه‌برداری بر کربن زیتوده در پایه آماری پنج درصد چشم‌گیر بود. به هر گونه پیامد برهم کنش هیچ یک از تیمارهای یاد شده بر کربن زیتوده خاک چشم‌گیر نبود (جدول ۴). آزمون میانگین کربن زیتوده نشان داد که بیشترین اندازه در تیمار ۲۰ درصد زئولیت (mg/kg) ( $6/6/7$ ) اندازه‌گیری شد. در تیمارهای کودی ناهمانندی چشم‌گیری میان دو کود مرغی و گاوی از دیدگاه آماری نبود هرچند در تیمار کود گاوی اندازه بیشتری ( $6/4/7$  mg/kg) بدست آمد. آنها با تیمار بدون کود ناهمانندی زیادی داشتند. درباره جایگاه نمونه‌برداری هم نشان داده شد که کربن زیتوده بیشتری در بخش ریزوسفری ( $552/0$  mg kg<sup>-1</sup>) است (جدول ۵).

**پیامد کاربرد زئولیت، کودهای جانوری و جایگاه نمونه‌برداری بر ویژگی‌های زیستی خاک با بافت سنگین**  
برای کوتاه کردن نوشتار داده‌ها و جدول‌های بدست آمده از بررسی خاک سنگین نشان داده نشده است. به هر گونه آنچه که از تجزیه آماری داده‌ها در این خاک بدست آمد نشان داد که فراوانی ریزجانداران در این بافت خاک هم از پیامدهای کاربرد زئولیت و کود به دور نمانده و در این خاک هم با افزودن زئولیت و کود دامی در خاک فراوانی ریزجانداران خاک افزایش یافته است. تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که پیامد کاربرد زئولیت بر فراوانی باکتری‌ها و اکتینومیست‌ها در پایه آماری یک درصد چشم‌گیر است. ولی پیامد این

به روش‌های گوناگون فرایند واجذب فسفر رها شده از یاخته‌ها بسیار اهمیت دارد و در خاک‌های رسی و سنگین مایه کم‌برآورد فسفر زیتوده خاک می‌شود. به هر گونه پیامد تیمارهای به کاررفته بر کربن و فسفر زیتوده عصاره‌گیری شده از خاک سبک به اندازه‌ای بزرگ بود که از دیدگاه آماری چشم‌گیر شد.

روی‌هم‌رفته یافته‌های این پژوهش نشان داد که کاربرد زئولیت پیامد سودمندی بر ویژگی‌های بیولوژیک بررسی شده در خاک‌های با بافت سبک و سنگین دارد که با یافته‌های دیگر پژوهش‌های انجام شده در این زمینه هم‌خوانی دارد (آکینیمی ۲۰۰۶). کاربرد زئولیت در خاک سبک بر فراوانی باکتری‌ها، اسپور گلومرال‌ها و اکتینومیسیت‌ها پیامد سودمند و چشم‌گیری داشت که با افزایش درصد زئولیت بکاررفته فراوانی این ریزجانداران هم بیشتر شد. ولی پیامد آن بر فراوانی قارچ‌ها در هر دو خاک و فراوانی اسپور گلومرال‌ها در خاک سنگین چشم‌گیر نبود. این یافته با گزارش‌های آندرونیکاشویلی و همکاران (۱۹۸۴، ۱۹۹۵، ۲۰۰۸) هم‌خوانی دارد.

آندرونیکاشویلی و همکاران ۱۹۸۴ گزارش کرده‌اند که کاربرد ۵٪ زئولیت در خاک، فراوانی و گوناگونی میکروفلور خاک دگرگون کرده است. افزایش زئولیت به اندازه ۱۵-۱۰٪ در خاک مایه گوناگونی بیشتری در ریزجانداران خاک شده است. گزارش شده است که در تیمار خاک با زئولیت شمار اکتینومیسیت‌های خاک به اندازه چشم‌گیری افزایش می‌یابد و این نیز مایه نابودی و کاهش میکروفلور ناخواسته خاک می‌شود. کاربرد زئولیت اسیدیته خاک را افزایش می‌دهد و این برای اکتینومیسیت‌ها سودمند است و شمار آنها را افزایش می‌دهد ولی برای قارچ‌ها چندان شایسته نمی‌باشد. بخش بزرگی از فلور خاک باکتری‌های میکولیتیک (قارچ کافت) هستند که این‌ها مایه کاهش ۲-۳ برابری در فراوانی قارچ‌های انگلی در خاک می‌شوند (آندرونیکاشویلی و همکاران ۱۹۸۴).

هر چند کاربرد زئولیت بر فسفر و کربن زیتوده و همچنین تنفس پایه خاک با بافت سنگین از دیدگاه آماری چشم‌گیر نبود ولی مایه افزایش آنها شده بود.

افزودن مواد آلی ساده تر و فراوانی ریزجانداران در این بخش از خاک نمونه‌برداری شده است.

یافته‌های این بخش در خاک سبک نشان داد که به کاربردن این تیمارها تنفس پایه را در خاک سبک به اندازه بیشتری دگرگون می‌کند و بیشترین اندازه تنفس پایه در تیمار دارای ۲۰ درصد زئولیت ( $\text{mgCO}_2/\text{g soil day}$ ) دیده شد.

تجزیه واریانس داده‌های تنفس برانگیخته نشان از این داشت که افزودن زئولیت در پایه آماری پنج درصد و کود و جایگاه نمونه‌برداری در پایه آماری یک درصد پیامد چشم‌گیری بر تنفس برانگیخته خاک سنگین بافت داشتند. در این پژوهش نیز پاسخ بهتر تنفس برانگیخته به تیمارهای بکاررفته در برابر تنفس پایه آشکار می‌گردد.

آزمون میانگین داده‌ها نشان داد که با افزایش زئولیت تنفس برانگیخته خاک بیشتر شد و در تیمار ۲۰ درصد زئولیت ( $\text{mgCO}_2/\text{g soil day}$ ) تنفس برانگیخته بیشترین بود. یافته‌های بدست آمده در خاک سبک و خاک سنگین نشان داد که بزرگی پیامد زئولیت بر تنفس برانگیخته در خاک با بافت سبک بیشتر بوده و این در پایه آماری یک درصد چشم‌گیر بود و بیشترین تنفس برانگیخته در تیمار دارای ۲۰ درصد زئولیت دارای کود مرغی ( $\text{mgCO}_2/\text{g soil day}$ ) دیده شد. در باره پیامد کود و جایگاه نمونه‌برداری در خاک سبک همانند خاک سنگین بود و در هر دو این در پایه آماری یک درصد چشم‌گیر بود.

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که در برابر خاک سبک افزودن زئولیت در خاک سنگین پیامد چشم‌گیری بر کربن زیتوده و فسفر زیتوده نداشت (برای کوتاه کردن نوشتار داده‌ها و جدول‌های بدست آمده از بررسی خاک سنگین نشان داده نشده است). همچنین پیامد کود دامی و جایگاه نمونه‌برداری بر این ویژگی‌های زیستی خاک چشم‌گیر نبود. این شاید وابسته به واجذب کربن آلی و فسفر رها شده از یاخته‌های لیز شده در خاک رسی و سنگین بویژه پس از تیمار با زئولیت باشد. صفری سنجانی و حسین پور (۲۰۱۰) گزارش کردند که در اندازه‌گیری فسفر زیتوده

بیشترین بود و بررسی بهرمتابولیک نشان از بهینه بودن آن در برابر خاک‌های دیگر داشت.

### نتیجه‌گیری کلی

این پژوهش نشان داد که:

فراوانی باکتری‌ها و نیز اکتینومیست‌ها در هر دو خاک سبک و سنگین با افزودن زئولیت افزایش یافت ولی فراوانی قارچ‌ها با افزودن زئولیت دگرگونی چشمگیری نداشت. فراوانی باکتری‌ها و اکتینومیست‌ها و نیز فراوانی قارچ‌های خاک با افزودن کود جانوری افزایش یافت. به هر گونه فراوانی و کارکرد ریزجانداران بیشتر از تیمارهای انجام شده وابسته به گیاه و رشد ریشه در خاک است زیرا در هر دو خاک سبک و سنگین فراوانی و کارکرد آنها در خاک ریزوسفری نسبت به خاک ناریوسفری بسیار بیشتر بود.

همچنین بررسی تنفس پایه، تنفس برانگیخته، فسفر و کربن زیتوده و فراوانی اسپور گلومرال‌ها نشان داد که این ویژگی‌های زیستی در هر دو خاک سبک و سنگین با افزودن زئولیت و کود دامی افزایش می‌یابد ولی افزایش این ویژگی‌ها در خاک با بافت سبک نمایان تر بود به گونه‌ای که افزایش تنفس پایه، فسفر و کربن زیتوده و فراوانی اسپور گلومرال‌ها در خاک سنگین از دیدگاه آماری چشمگیر نبود.

در برابر آن افزودن زئولیت در خاک سبک نه تنها بر فراوانی و زیتوده ریزجانداران بلکه بر کارکرد ریزجانداران در خاک با بافت سبک پیامد سودمند و چشمگیری داشت. بررسی بهرمتابولیک ( $qCO_2$ ) ریزجانداران در خاک سبک که از بخش کردن تنفس پایه به کربن زیتوده به دست می‌آید نشان داد که این ویژگی در خاک ریزوسفری و کودداده شده و همچنین تیمار شده با زئولیت کمتر از خاک‌های دیگر است. بهرمتابولیک یک شناسه بوم شناختی در ارزیابی بزرگی تنش زیستگاهی بر ریزجانداران است که هر چه کمتر باشد نشان از شایستگی و بهتر بودن زیستگاه برای آنها است. در چنین زیستگاهی هر گرم از کربن زیتوده، در یک زمان (روز) کربن کمتری را برای زنده ماندن سوزانده و به دی اکسید کربن دگرگون می‌کند. در خاک سبک تیمار نشده بهرمتابولیک  $0/266$  در روز و در خاک‌های تیمار شده با  $10$  و  $30$  درصد زئولیت به ترتیب  $0/226$  و  $0/220$  در روز بود. این نشان می‌دهد که افزودن زئولیت از تنش ریزجانداران در خاک سبک به گونه آشکاری کاسته است. یافته‌ها نشان دادند که کاربرد زئولیت همراه کود جانوری پیامد بهتری بر ویژگی‌های بیولوژیک نسبت به زئولیت به تنهایی داشت. فراوانی ریزجانداران و تنفس پایه و برانگیخته، کربن و فسفر زیتوده و فراوانی اسپور گلومرال در جایگاه ریزوسفری خاک‌های تیمار شده با زئولیت و کود دامی

### منابع مورد استفاده

- صفری سنجان‌ی‌ع، شریفی ز، و صفری سنجان‌ی م، ۱۳۸۹. روش‌های آزمایشگاهی در میکروبیولوژی. انتشارات دانشگاه بوعلی سینا. ۵۲۵ صفحه.
- صفری سنجان‌ی‌ع، ۱۳۹۲. بیولوژی و بیوشیمی خاک. چاپ چهارم. انتشارات دانشگاه بوعلی سینا. ۵۲۰ صفحه.
- Akinyemi, O.M., 2006. The effects of soil amendments on the Efficiency of Agricultural Cropping System. PhD. Thesis, Toronto.
- Alef K and Nannipieri P, 1995. Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press Harcourt Brace & Company Publishers London.
- Anonymous, 1998. Total Solids USGS Water Quality Monitoring council. American Public Health Association Annual Report.
- Andronicashvili T, Kardava M and Gamisonia M, 1995. Effects of natural zeolite on microbe landscape of some soils in Georgia Proc Pp:111–112. Int Simp Sofia Zeolite Meeting June 18–25 Sofia Bulgaria.
- Andronikashvili T, Tsitsishvili G, Gamisonia M, Gochelashvili Z and Rusadze A, 1984. Proceedings of the Conference on investigation and application of natural zeolites: 2: 149-156. Slovzeo 84 Vysoke Tatry Czechoslovakia.
- Andronikashvili T, Urushadze T, Eprikashvili L, Gamisonia M and Nakaidze E, 2008. Towards the biological activity of the natural zeolite – clinoptilolite-containing tuff. BNAS 2: 99-107.



- Bower CA, Reitmeir RF and Fireman M, 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Science* 73:251-261.
- Brookes PC, Powelson DS and Jenkinson DS, 1982. Measurement of microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry* 16:169-175.
- Chander K and Joergensen RG, 2002. Decomposition of <sup>14</sup>C labelled glucose in a Pb-contaminated soil remediated with synthetic zeolite and other amendments. *Soil Biology and Biochemistry* 34: 643-649.
- Gee GW and Bauder JW, 1986. Particle size analysis In: Klute A (ed). *Method of Soil Analysis part 1: Physical and Mineralogical Methods*. Soil Science Society of America Madison Wisconsin USA 383-411.
- Georg TS, Gregory PJ, Robinson JS and Buresh RJ, 2002. Changes in phosphorus concentrations and pH in the rhizosphere of some agroforestry and crop species. *Plant and Soil* 246: 65-73.
- Gerdman JW and Nicolson TH, 1963. Spores of mycorrhizal endogone species extracted by wet sieving and decanting. *Transaction British Mycological Society* 46: 235-244.
- Kazemian H, 2002. Zeolite science in Iran: A Brief review Pp. 162-164. In: Misaelides P (ed). *International Conference on the Occurrence Properties and Utilization of Natural Zeolites*. Greece.
- Klute A, 1986. *Method of soil Analysis : Physical Chemical and Mineralogical Methods*. Soil Science Society of America Madison Wisconsin USA.
- Kuo S, 1996. *Phosphorus Methods of Soil Analysis* Madison Wisconsin USA.
- Leggo PJ, 2000. An investigation of plant growth in an Organo-Zeolite substrate and its ecological significance. *Plant and Soil* 219: 135-146
- Leggo PJ, Ledesert B and Christie G, 2006. The role of clinoptilolite in organo-zeolitic-soil systems used for phytoremediation. *Science of the Total Environment* 363:1-10.
- Loeppert RH and Suarez GL, 1996. Carbonates and Gypsum. Pp: 437-474. In: Sparks DL (ed). *Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods*. Madison Wisconsin USA.
- Matthiessen MK, Larney FJ, Selinger LB and Olson AF, 2005. Influence of loss-on-ignition temperature and heating time on ash Content of compost and manure. *Soil Science and Plant analysis* 36:2561-2573.
- McGilloway R, Weaver R, Ming D, and Gruener J, 2003. Nitrification in a zeoponic substrate. *Plant and Soil* 256: 371-378.
- Muhlbachova G and Simon T, 2003. Effects of zeolite amendment on microbial biomass and respiratory activity in heavy metal contaminated soils. *Plant Soil and Environment* 49: 536-541.
- Peperzak P, Caldwell AG, Hunziker R and Black CA, 1959. Phosphorus fractions in manures. *Soil Science* 87:293-302.
- Roades JD, 1990. Salinity electrical conductivity and total dissolved solids. Pp 417 – 436. In: Sparks DL (ed). *Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical methods* Madison. Wisconsin USA.
- Safari Sinegani AA and Hossainpour A, 2010. Evaluation of different sterilization methods on soil biomass phosphorous extracted with NaHCO<sub>3</sub>. *Plant Soil and Environment* 56: 156-162.
- Safari Sinegani AA and Rashidi T, 2011. Changes in phosphorus fractions in the rhizosphere of some crop species under glasshouse condition. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 174 899-907.
- Sylvia DM, 1994. Vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) fungi. Pp. 351-378. In: Weaver RW, Angle S, Bottomley P, Bezdiecek D, Smith S, Tabatabai A, Wollum A, Mickelson S.H and Bigham JM (eds). *Methods of Soil Analysis, Part 2. Microbiological and Biochemical Properties*. SSSA Book Series, no. 5. Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Thomas GW, 1996. Soil pH and soil activity. Pp. 475 – 490. In: Klute A (Ed). *Methods of Soil Analysis part 3: Chemical Methods* Madison Wisconsin USA .
- Tsitsishvili GV andronikashvili Kirov GN and Filizova LD, 1993. *Natural Zeolites* (Ellis Horwood Series in Inorganic Chemistry). Ellis Horwood Ltd. United kingdom.
- Vance ED, Brookes PC and Jenkinson DS, 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry* 19: 703-707.
- Vassiliev VA, Lukyanenko I and Mineev V, 1984. Organic fertilizers in intensive agriculture. *Soil Science Society American Journal* 47:129-138.
- Walkley A and Black IA, 1934. An examination of digestion method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration. *Soil Science Society American Journal* 37: 29-38.