علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره یک، فروردین ماه ۹۹

تأثیر علف‌کش‌ها و حشره‌کش‌های مختلف بر برخی از شاخص‌های اکوفیزیولوژیک و شیمیایی خاک

اکبر قویدل[۱]*

Ghaviidel@yahoo.com

فاطمه مولوی[۲]

منیژه عیوضی نی[۳]

تاریخ دریافت:۹۵/۱۲/۱۱ **تاریخ پذیرش:۹۶/۰۲/۲۶**

چکیده

زمینه و هدف: به‌منظور بررسی تأثیر آفت‌کش‌ها بر کیفیت زیستی خاک، اثر سه نوع علف‌کش و سه نوع حشره‌کش پرمصرف بر شاخص‌های اکوفیزیولوژیک و شیمیایی خاک مورد آزمایش قرار گرفت.

روش بررسی: آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد که شامل فاکتور آفت‌کش در هفت سطح (سه علف‌کش و سه حشره‌کش به همراه خاک شاهد) و فاکتور زمان در دو سطح (یک ماه و دو ماه پس از کاربرد آفت کش) بود. آزمایش در گل‌دان به مدت دو ماه در شرایط گل‌خانه انجام گرفت. برخی از شاخص‌های زیستی و اکوفیزیولوژیک خاک پس از یک ماه و نیز پس از دو ماه اندازه گیری شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که در اثر کاربرد آفت‌کش‌ها، جمعیت باکتری‌ها و قارچ‌ها و شاخص‌های اکوفیزیولوژیک شامل تنفس پایه، تنفس برانگیخته، کربن زی‌توده‌ی میکروبی، نیتروژن زی‌توده‌ی میکروبی و بهره میکروبی پس از گذشت یک ماه کاهش و بهره متابولیک خاک افزایش معنی داری نسبت به شاهد داشته است. همچنین نتایج نشان داد که کاربرد آفت‌کش‌ها بر مقدار کربن آلی تأثیری نداشته است. مقایسه نتایج نشان داد که با وجود کاهش شاخص‌های اکوفیزیولوژیک خاک پس از گذشت یک ماه، شاخص‌های فوق پس از آن روند افزایشی داشته و در پایان ماه دوم به مقدار قبل از کاربرد آفت‌کش رسیده‌اند. نتایج نشان داد که در بین تیمارهای آفت‌کش، علف‌کش توفوردی بیش‌ترین تأثیر منفی و حشره‌کش کلروپیریفوس کم‌ترین تأثیر منفی را بر شاخص‌های اندازه گیری شده داشته است.

بحث و نتیجه گیری: می‌توان نتیجه گرفت که به‌کارگیری آفت‌کش‌های مورد استفاده در این تحقیق موجب کاهش کیفیت زیستی خاک در کوتاه مدت می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی خاک، سموم کشاورزی، کشاورزی پایدار، کیفیت زیستی خاک

۱- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، (مسوول مکاتبات). تلفن ۰۴۵۳۳۵۱۰۸۰۵

۲ -کارشناسی ارشد علوم و مهندسی خاک دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۳- کارشناسی ارشد علوم و مهندسی خاک دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

J. Env. Sci. Tech., Vol 22, No.1, March, 2020

The Effect of Herbicides and Insecticides on Some of Soil Eco-physiological and Chemical Indices

Akbar Ghavidel[1]*
Ghaviidel@yahoo.com
Fatemeh Molavi[2]
Manijeh Eyvazi ney[3]

Accepted: 2017.05.16 Received: 2017.03.01

Abstract

Background and Objective: In order to study the effect of pesticides on soil biological quality, three herbicides and insecticides with the highest consumption rates, on soil eco-physiological and chemical indices were investigated.

Method: The experiment was carried out as factorial in a completely randomized design with seven treatments of which were triplicated. The pesticides were applied as constructed by the manufacturer and then the pots maintained in a greenhouse condition for two months. Then, some of the soil eco-physiological and chemical indices were measured after one month and also after two months.

Findings: The results showed that in comparison with the application of the pesticides caused a significant decrease in soil bacterial and fungal population, basal respiration, substrate-induced respiration, microbial biomass carbon, microbial biomass nitrogen, and microbial quotient and a significant increase in soil metabolic quotient. The results also showed that the application of the pesticides has no significant effect on soil organic carbon. The results showed that, although soil eco-physiological indices decreased after one month, the indices increased after two months reaching the level that was before application of the pesticides. The results also showed that 2, 4-D had the highest and Chloropyrifos had the lowest adverse effects on the indices.

Discussion and Conclusion: It could be concluded that application of the pesticides which are used in this work decreased soil biological quality short terms.

Keywords: Soil pollution, Pesticides, Sustainable Agriculture, Soil Biological Quality

1- Assistant Professor at Department of Soil Science and Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil Iran. *(Corresponding Author)
2- M.Sc., Student of Soil Science and Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil Iran.
3- M.Sc., Student of Soil Science and Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil Iran.

مقدمه

برای حفظ محصولات کشاورزی از گزند آفات در مزارع و انبارها، مقادیر زیادی آفت‌کش مصرف می‌شود که این سموم علاوه بر آلودگی‌های محیط‌زیستی از جمله آلودگی منابع آب و خاک، سلامت انسان را به دلیل اثرات باقی‌مانده در مواد غذایی با منشأ گیاهی، تهدید می‌کند (۱). استفاده گسترده از آفت‌کش‌ها به دلیل سمیت، تحرک و پایداری علف‌کش‌ها ممکن است منجر به پراکندگی آن‌ها به محیط زیست طبیعی شود؛ بنابراین، استفاده بیش از حد از آفت‌کش‌ها که یک مشکل عمده مؤثر بر کیفیت محیط زیست بوده و از این رو بیش‌تر مطالعات برای تعیین اثرات آن‌ها بر موجودات زنده سوق پیدا کرده است (۲). آفت‌کش‌ها به‌گونه‌ای ساخته می‌شوند که فعالیت برخی از آنزیم‌ها را در موجود هدف غیرفعال نموده و از این طریق علف‌های هرز یا آفات را در مزارع کنترل کنند؛ ولی در این فرایند تنها موجود هدف تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد. این موضوع ممکن است منجر به کاهش تنوع میکروبی خاک و کاهش حاصل‌خیزی خاک شود (۳). تداوم کاربرد آفت‌کش‌ها با تأثیرگذاری بر فلور و فون خاک (۴) و همچنین خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک باعث تخریب کاهش کیفیت خاک شده و در نهایت موجب کاهش حاصل‌خیزی خاک می‌گردد (۵). تحقیقات نشان داده است که خصوصیات زیستی خاک بیش‌تر و سریع‌تر از خصوصیات شیمیایی و فیزیکی، تحت تأثیر آفت‌کش‌ها قرار می‌گیرد (۶). خصوصیات زیستی خاک به تغییرات حساس بوده و بیان‌گر بروز تغییرات در کیفیت و سلامت خاک می‌باشند (۷). فعالیت میکروبی خاک به‌طور مستقیم پایداری اکوسیستم، حاصل‌خیزی خاک و تولید پایدار را تحت تأثیر قرار می‌دهد و این موضوع به‌طور عمومی پذیرفته شده که سطح مناسب فعالیت میکروبی برای حفظ کیفیت خاک ضروری است (۸). بر اساس نتایج تجادا و همکاران (۲۰۱۵)، کاهش فعالیت زیستی و آنزیمی خاک در اثر تأثیر سوء آفت‌کش بر جمعیت میکروبی دخیل در چرخه نیتروژن، فسفر و گوگرد رخ می‌دهد (۹). همچنین پیشنهاد کردند که احتمالاً کاهش فعالیت آنزیمی خاک به دلیل پوشش مواد آلی توسط آفت‌کش‌ها و ممانعت از دسترسی آنزیم به مواد آلی (سوبسترا) صورت می‌گیرد. البته محققان دیگری نیز نشان داده‌اند که اگر آفت‌کش به کار رفته در خاک، توسط جمعیت میکروبی خاک تجزیه شود، افزودن این آفت‌کش موجب افزایش فعالیت زیستی خاک در میان مدت می‌شود. هر چند در ابتدا ممکن است کاهش فعالیت زیستی خاک مشاهده شود (۱۰). شوکلا (۲۰۰۰) نشان داد که با کاربرد قارچ کش در خاک جمعیت باکتریایی و قارچی کاهش یافته و فعالیت آنزیمی خاک کاهش یافت (۱۱). همچنین والیا و همکاران (۲۰۱۴) دریافتند که کاربرد قارچ‌کش موجب اختلال در فرایندهای آمونیفیکاسیون و نیتریفیکاسیون خاک شده و کربن زی‌توده‌ی میکروبی و معدنی شدن کربن کاهش یافته است (۱۲). همچنین نتایج آن‌ها نشان داد که در اثر کاربرد قارچ کش، فعالیت آنزیم‌های آمیلاز، انورتاز و فسفاتاز کاهش یافت. تجادا و همکاران در سال ۲۰۱۱ نشان دادند که کاربرد حشره‌کش کلروپیریفوس تأثیر منفی بر ریزجانداران خاک و شاخص‌های اکوفیزیولوژیک خاک داشته که به دلیل تجزیه ضعیف آن توسط ریزجانداران خاک‌زی بوده است (۱۳).

کلروپیریفوس یک حشره‌کش ارگانوفسفره غیر سیستمی است که برای کنترل حشرات در کشاورزی و مراتع مورد استفاده قرار می‌گیرد. این حشره‌کش در به مدت طولانی در خاک ماندگار بوده و در مقابل تجزیه نسبتاً پایدار است. گتزین (۱۹۸۱) و لئونی و همکاران (۱۹۸۱) دریافتند که نیمه عمر آن بین ۷ تا ۱۲۰ روز بوده و سرعت تجزیه آن در خاک بستگی به بافت، pH، دما، مقدار رطوبت، مقدار کربن آلی خاک و فرمولاسیون آفت‌کش دارد (۱۴, ۱۵). تجادا و همکاران در سال ۲۰۱۱ نشان دادند که نیمه عمر کلروپیریفوس در خاک بیش از ۹۰ روز بوده است (۱۳).

جمعیت میکروبی خاک، زی‌توده‌ی میکروبی و تنفس پایه خاک شاخص‌های مهمی از فرایندهای میکروبی و بیوشیمیایی خاک هستند؛ زیرا این شاخص‌ها بر تجزیه مواد آلی در خاک، ترسیب

کربن، چرخه عناصر غذایی و فراهمی زیستی این عناصر تأثیر گذار می‌باشند (۱۶). تحقیقات پارلهو و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که زی‌توده‌ی میکروبی بخش مهمی از ماده آلی خاک است که می‌تواند تحت تأثیر تغییرات قرار گرفته و کاهش یابد (۸). همچنین این نتایج نشان داد که تنفس خاک و کربن زی‌توده‌ی میکروبی از جمله حساس ترین شاخص‌ها برای سنجش آلودگی خاک می‌باشند. نتایج تحقیقات دیگر نیز نشان داد که استفاده طولانی مدت از آفت‌کش‌ها موجب کاهش تنفس پایه خاک و کربن زی‌توده‌ی میکروبی شده است (۱۷).

از آنجا که خاک جزء مهمی از اکوسیستم طبیعی بوده و کاهش کیفیت آن موجب تأثیر بر محیط زیست و کشاورزی می‌شود، لذا با در نظر داشتن اهداف کشاورزی پایدار بایستی تأثیر مواد شیمیایی کشاورزی بر کیفیت خاک مشخص گردد. از طرف دیگر کیفیت و سلامت خاک به فعالیت‌های زیستی خاک بستگی دارد و برای سنجش کیفیت خاک از شاخص‌های اکوفیزیولوژیک استفاده می‌شود؛ بنابراین در صورت به کارگیری آفت‌کش‌ها در کشاورزی باید از طریق سنجش شاخص‌های اکوفیزیولوژیک خاک، تأثیر آفت‌کش‌ها بر کیفیت خاک ارزیابی شود. لذا با توجه به اهمیت کیفیت خاک و ارتباط مستقیم آن با شاخص‌های اکوفیزیولوژیک و فعالیت میکروبی خاک، هدف از این تحقیق بررسی تأثیر سه نوع علف‌کش و سه نوع حشره‌کش پر مصرف در کشاورزی بر برخی از شاخص‌های اکوفیزیولوژیک خاک می‌باشد تا از این طریق اثر کاربرد آفت‌کش‌ها بر کیفیت خاک کشاورزی مورد ارزیابی قرار گیرد.

روش بررسی

به‌منظور انجام این تحقیق از خاک‌های مراتع دشت اردبیل که سابقه کشت و کار یا مصرف آفت‌کش نداشته‌اند نمونه برداری انجام شد. نمونه‌ها به آزمایشگاه گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه محقق اردبیلی منتقل شده و به دو قسمت تقسیم شدند. قسمتی از خاک به‌عنوان خاک مرجع یا شاهد در شرایط گل‌خانه و با حفظ رطوبت ۷۰-۵۰ درصد ظرفیت مزرعه نگهداری شدند. به دلیل این که خاک‌های تحت تیمار آفت‌کش باید با خاک شاهد مقایسه می‌شدند بنابراین خاک شاهد در شرایط طبیعی حفظ گردید. قسمت دیگر نمونه خاک هوا خشک شده و از الک ۴/۸ میلی متری عبور داده شدند.

در نمونه‌های هوا خشک برخی از خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک تعیین گردید. در این راستا بافت خاک به روش هیدرومتری دو قرائته (۱۸)، pH و EC در عصاره گل اشباع (۱۹)، نیتروژن به روش کجلدال (۲۰)، فسفر به روش اولسن (۲۱)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون (۱۸) سدیم و پتاسیم به روش فلیم فوتومتری (۲۲)، کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون (۲۲) و کربن کل به روش والکلی بلک (۱۸) اندازه گیری شدند. همچنین برخی از خصوصیات زیستی خاک از جمله تعداد کل باکتری‌ها به روش بیش‌ترین تعداد محتمل (۲۳)، تعداد کل قارچ‌ها به روش بیش‌ترین تعداد محتمل (۲۳)، تنفس پایه (۲۴)، تنفس تحریک شده (۲۴)، کربن زی‌توده‌ی میکروبی (۲۴) و نیتروژن زی‌توده‌ی میکروبی (۲۴) اندازه گیری شدند.

در این تحقیق از سه علف‌کش پرمصرف شامل گالانت (هالوکسی فوپ-پی-متیل)، تو فور دی و گرانستار (تری بنورون متیل) و سه حشره‌کش پر مصرف شامل کلروپیریفوس، دیازینون و ایمیداکلوپرید استفاده شد. میزان مصرف هر کدام از آفت‌کش‌ها مطابق با مقدار توصیه شده و توسط شرکت سازنده بود. هالوکسی فوپ-پی-متیل با غلظت ۱۰/۸ ٪ محصول شرکت نانجینگ هواژو چین، به مقدار یک لیتر در هکتار، تو فور دی با غلظت ۶۷/۵ ٪ محصول شرکت پاک سم، به مقدار ۲ لیتر در هکتار، گرانستار با غلظت ۷۵ ٪ محصول شرکت گیاه، به مقدار ۲۰ گرم در هکتار، کلروپیریفوس (۴۰/۸ ٪) محصول شرکت ایپروکم چین، به مقدار ۲/۵ لیتر در هکتار، دیازینون (۶۰ ٪) محصول شرکت گل سم به مقدار ۳/۵ لیتر در هکتار و ایمیداکلوپرید (۳۵ ٪) محصول شرکت آریا شیمی به مقدار ۲۵۰ میلی لیتر در هکتار مصرف گردید. برای تیمار خاک گل‌دان‌ها با هر کدام از آفت‌کش‌ها، مقدار مورد نظر،

پس از انحلال در آب مقطر به‌صورت مرحله به مرحله و در طی سه مرحله با خاک هر گل‌دان در درون یک ظرف مخلوط شده و به درون گل‌دان منتقل شدند. برای هر گل‌دان مقدار یک کیلوگرم خاک در نظر گرفته شد.

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد که شامل فاکتور آفت‌کش در هفت سطح و فاکتور زمان در دو سطح بود. سطوح آفت‌کش عبارت بودند از سه تیمار علف‌کش، سه تیمار حشره‌کش به همراه خاک مرجع (شاهد) و سطوح زمان عبارت بودند از یک ماه و دو ماه پس از کاربرد آفت‌کش که در سه تکرار و در مجموع ۴۲ واحد آزمایشی انجام گرفت. پس از آماده نمودن تیمارها، گل‌دانها به مدت دو ماه در اتاقک رشد نگهداری شدند. دمای اتاقک رشد در مدت آزمایش ۲±۲۵ درجه سانتی‌گراد بود و رطوبت گل‌دانها در محدودهٔ ۷۰-۵۰ ٪ رطوبت ظرفیت مزرعه نگهداری شدند. به‌منظور شبیه سازی شرایط واقعی مزرعه، مقدار نور اتاقک رشد به‌صورت دورهٔ ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی تنظیم گردید تا با شرایط اوایل فصل بهار که زمان مصرف اغلب آفت‌کش‌ها می‌باشد، هماهنگ شود.

اندازه‌گیری شاخص‌های اکوفیزیولوژیک طی دو مرحله، مرحله اول یک ماه پس از شروع آزمایش و مرحله دوم دو ماه پس اتمام آزمایش انجام گرفت. در هر مرحله، از خاک گل‌دانها نمونه برداشت شده و برخی از شاخص‌های زیستی خاک شامل تعداد کل باکتری‌ها به روش بیش‌ترین تعداد محتمل (۲۳)، تعداد کل قارچها به روش بیش‌ترین تعداد محتمل (۲۳)، تنفس پایه (۲۴)، تنفس تحریک شده (۲۴)، کربن زی‌توده‌ی میکروبی (۲۴) و نیتروژن زی‌توده‌ی میکروبی (۲۴) اندازه گیری شدند. همچنین از روی داده‌های حاصل و با استفاده از فرمول‌های ذیل، شاخص‌های بهرهٔ میکروبی و بهرهٔ متابولیک محاسبه شدند (۲۴).

فرمول (۱) بهره میکروبی خاک (Soil Microbial Quotient)

$$MQ = \frac{C(mic)}{C(org)}$$

فرمول (۲) بهره متابولیک خاک (Soil Metabolic Quotient)

$$qC0_{2(mgCO2-C\cdot g-1Cmic\cdot h-1)} = \frac{BR}{MBC}$$

در نهایت تجزیه واریانس داده‌های حاصل با استفاده از نرم افزار SPSS ویرایش ۲۲، انجام شده و مقایسه میانگین تیمارها با استفاده آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال مربوط انجام گرفت.

یافته‌ها

مشخصات خاک مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۱ ارایه شده است. همچنین برخی از ویژگی‌های زیستی خاک مورد استفاده در جدول ۲ ارایه شده است.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که بین تیمارهای مختلف آفت‌کش از لحاظ تأثیر بر شاخص‌های کربن زی‌توده‌ی میکروبی، نیتروژن زی‌توده‌ی میکروبی، تنفس پایه، تنفس برانگیخته، بهره متابولیک، بهره میکروبی، جمعیت باکتری‌ها و جمعیت قارچها تفاوت معنی داری در سطح احتمال یک درصد ($p>0.01$) وجود داشته ولی روی کربن آلی خاک تفاوت معنی داری نداشته است. فاکتور زمان نیز بر همه شاخص‌های فوق به‌جز کربن آلی خاک تأثیر معنی داری ($p>0.01$) در سطح احتمال یک درصد داشته است. در همین راستا اثر متقابل تیمارهای مختلف آفت‌کش بر زمان بر همه شاخص‌های اندازه گیری شده تأثیر معنی داری در سطح احتمال یک درصد ($p>0.01$) داشته و روی کربن آلی خاک تأثیر معنی داری نداشته است.

جدول ۱ –برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

Table 1- Some of the Soil Physical and Chemical Properties

شن (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)	pH	EC (dS/m)	نیتروژن (درصد)	کربن آلی (درصد)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
۳۹	۲۸	۳۳	۷/۸	۱/۸۶	۰/۰۱	۱/۵۵	۱۶	۳۹۸

جدول ۲ –برخی از ویژگی‌های زیستی خاک مورد استفاده در آزمایش

Table 2- Some of Soil Biological Properties

کربن زی‌توده‌ی میکروبی ($mgC_{mic}.Kg^{-1}$ dm)	نیتروژن زی‌توده‌ی میکروبی ($mgN_{mic}.Kg^{-1}$ dm)	تنفس پایه ($mgCO_2$-C.kg^{-1} $dm.day^{-1}$)	تنفس برانگیخته ($mgCO_2$-C.kg^{-1} $dm.day^{-1}$)	بهره متابولیک ($mgCO_2$-C.g^{-1} $C_{mic}.Day^{-1}$)	بهره میکروبی ($mgC_{mic}.g$-$^1C_{org}$)	جمعیت باکتری‌ها (Number. gr^{-1} $dm^{8}\times10$)	جمعیت قارچ‌ها (Number. gr^{-1} dm $10^{6}\times$)
۱۳۱۲	۱۶۶	۰/۶۷	۳/۱	۰/۴۴	۰/۸۳	۳/۵	۱/۱۵

تأثیر به کار گیری آفت‌کش‌ها بر جمعیت باکتری‌های خاک و جمعیت قارچ‌های خاک در طی زمان، به ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. با توجه به این شکل‌ها مشاهده می‌شود که به‌طور کلی جمعیت ریزجانداران در اثر به کار گیری آفت‌کش‌ها، پس از یک ماه کاهش و پس از دو ماه مجدداً افزایش یافته و تقریباً به وضعیت قبل از به‌کارگیری آفت‌کش می‌رسد. لذا در مقایسه میانگین نتایج تأثیر آفت‌کش‌ها بر شاخص‌های زیستی اندازه‌گیری شده، نتایج ماه اول مقایسه شده است؛ زیرا این شاخص‌ها با جمعیت ریزجانداران تناسب دارند و در صورت کاهش جمعیت ریزجانداران کاهش و با افزایش جمعیت افزایش می‌یابند.

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در مقایسه با شاهد، همه تیمارهای آفت‌کش موجب کاهش معنی‌دار کربن زی‌توده‌ی میکروبی پس از گذشت یک ماه شده بودند و بیش‌ترین مقدار کربن زی‌توده‌ی میکروبی در شاهد و کم‌ترین مقدار آن در تیمار تو فور دی مشاهده گردید (جدول ۴). نتایج نشان داد که کاربرد کلروپیرویفوس، دیازینون، هالوکسی فوپ-پی-متیل، ایمیداکلوپرید، تو فور دی و تری بنورون متیل به ترتیب موجب کاهش ۲۵/۶ ٪، ۳۴/۵ ٪، ۴۳/۴ ٪، ۳۷/۹ ٪، ۵۱/۲ ٪ و ۳۲/۸ ٪ کربن زی‌توده‌ی میکروبی نسبت به شاهد شده است.

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر فاکتورهای آفت‌کش، زمان و اثرات متقابل آن‌ها بر برخی شاخص‌های زیستی و شیمیایی خاک

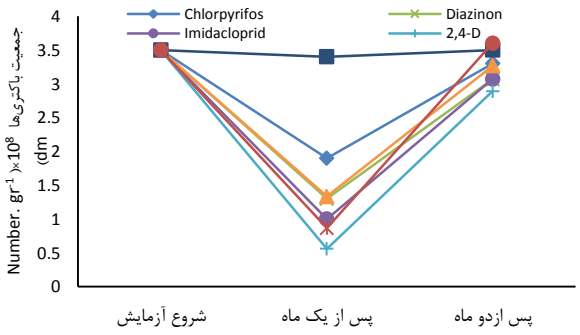
Table 3- Analysis of Variance of Pesticide, Time and Their Interactions on Some of Soil Biological and Chemical Indices

منابع تغییر	درجه آزادی	کربن زی‌توده‌ی میکروبی	نیتروژن زی‌توده‌ی میکروبی	تنفس پایه	تنفس برانگیخته	کربن آلی	بهره‌ی متابولیک	بهره‌ی میکروبی	جمعیت باکتری‌ها	جمعیت قارچ‌ها
مدل	۱۳	۱۴۰۰۱۱**	۴۰۰۱**	۰/۰۵۱**	۲/۶۱**	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۰۱۳**	۰/۰۶۰**	۳/۸۳**	۰/۴۷۴**
آفت‌کش	۶	۱۲۵۵۳۸**	۲۵۲۰**	۰/۰۲۳**	۱/۷۱**	۰/۰۰۵^{ns}	۰/۰۱**	۰/۰۵**	۱/۸۰**	۰/۳۶۹**
زمان	۱	۵۴۲۸۷۲**	۳۱۹۸۲**	۰/۳۳۵**	۲۲۷۴۸**	۰^{ns}	۰/۰۷**	۰/۲۳۱**	۳۲/۶**	۳/۷۴**
آفت‌کش×زمان	۶	۸۷۳۴۱**	۸۱۸**	۰/۰۳۱**	۰/۱۶۹*	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۶**	۰/۰۴۱**	۱/۰۷۱**	۰/۰۳۵**
خطا	۲۸	۳۵۲	۳۳/۶	۰/۰۰۱	۰/۰۸	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۲۱	۰/۰۰۴

**: معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد ($p>0.01$)، *: معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ($p>0.05$)، ns: غیر معنی‌دار

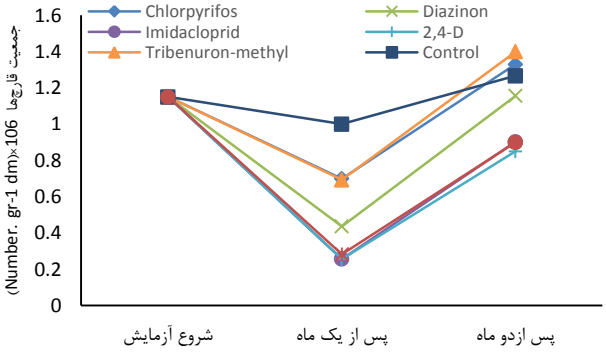
همچنین نتایج مقایسه میانگین نشان داد که به کار گیری آفت‌کش‌ها موجب کاهش معنی‌دار نیتروژن زی‌توده‌ی میکروبی پس از یک ماه از زمان کاربرد شد و بیش‌ترین مقدار آن در شاهد و کم‌ترین مقدار آن در تیمار تو فور دی مشاهده گردید (جدول ۴). نتایج نشان داد که کاربرد کلروپیرویفوس، دیازینون، هالوکسی فوپ-پی-متیل، ایمیداکلوپرید، تو فور دی و تری بنورون متیل به ترتیب موجب کاهش ۱۳ ٪، ۲۲/۸ ٪، ۴۲/۳ ٪، ۲۶/۸ ٪، ۴۷/۲ ٪ و ۲۱/۱ ٪ نیتروژن زی‌توده‌ی میکروبی نسبت به شاهد شده است. این در حالی است که تأثیر به کار گیری آفت‌کش‌ها بر تنفس پایه‌ی خاک متفاوت بود؛ بدین ترتیب که به‌کارگیری کلروپیرویفوس موجب افزایش (۱۸/۶ ٪) معنی‌دار تنفس پایه خاک نسبت به شاهد شده و آفت‌کش‌های تو فور دی (۱۸/۴ ٪) و تری بنورون متیل (۱۳/۲ ٪) موجب کاهش معنی‌دار تنفس پایه نسبت به شاهد شده و آفت‌کش‌های دیازینون و ایمیداکلوپرید نیز تأثیر معنی‌داری بر تنفس پایه نداشته‌اند. کم‌ترین مقدار تنفس پایه در تیمار تو فور دی مشاهده گردید (جدول ۴). از لحاظ تنفس برانگیخته، همه تیمارهای آفت‌کش موجب کاهش معنی‌دار نسبت به شاهد شدند؛ بیش‌ترین مقدار تنفس برانگیخته در شاهد و کم‌ترین مقدار آن در تیمار تو فوردی مشاهده گردید (جدول ۴). کاربرد کلروپیرویفوس، دیازینون، هالوکسی فوپ-پی-متیل، ایمیداکلوپرید، تو فور دی و تری بنورون متیل به ترتیب موجب کاهش ۳۸/۹ ٪، ۵۰ ٪، ۶۱/۱ ٪، ۵۳/۳ ٪، ۷۰ ٪ و ۴۴/۴ ٪ تنفس برانگیخته نسبت به شاهد شده است. مقایسه میانگین تأثیر آفت‌کش‌ها بر تعداد باکتری‌های خاک، نشان داد که حضور آفت‌کش‌های مورد استفاده، موجب کاهش معنی‌دار تعداد باکتری‌ها نسبت به شاهد پس از گذشت یک ماه شده است. در این میان بیش‌ترین جمعیت باکتری در شاهد ($۳/۴\times۱۰^{۸}$) و کم ترین جمعیت در تیمار تو فور دی ($۱/۹\times۱۰^{۸}$) مشاهده گردید (جدول ۴). همچنین به کار گیری آفت‌کش‌ها، پس از یک ماه تأثیر منفی بر جمعیت قارچ‌های خاک داشته و موجب کاهش معنی‌دار جمعیت قارچ‌ها نسبت به شاهد شد. بیش‌ترین جمعیت قارچ‌ها در شاهد ($۱۰^{۶}$) و کم‌ترین جمعیت در تیمارهای توفوردی

($۲/۵\times۱۰^{۵}$)، ایمیداکلوپرید ($۲/۵\times۱۰^{۵}$) و هالوکسی فوپ-پی-متیل ($۲/۸\times۱۰^{۵}$) مشاهده گردید (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین تأثیر آفت‌کش‌ها بر شاخص بهره‌ی متابولیک خاک پس از گذشت یک ماه، در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که به‌کارگیری آفت‌کش‌های کلروپیریفوس و دیازینون موجب افزایش بهره‌ی متابولیک خاک نسبت به شاهد و آفت‌کش‌های هالوکسی فوپ-پی-متیل و ایمیداکلوپرید موجب کاهش معنی‌دار نسبت به شاهد شده و سایر آفت‌کش‌ها نیز تأثیر معنی‌داری بر بهره متابولیک خاک پس از یک ماه نداشته‌اند. مقایسه تأثیر آفت‌کش‌ها بر بهره‌ی میکروبی خاک پس از یک ماه نشان داد که به‌کارگیری همه آفت‌کش‌ها موجب تأثیر منفی و معنی‌دار بر بهره‌ی میکروبی خاک شده و آن را نسبت به شاهد کاهش داده‌اند؛ به‌طوری که بیش‌ترین مقدار بهره‌ی میکروبی خاک در شاهد و کم‌ترین مقدار آن در تیمار توفوردی مشاهده گردید (شکل ۴).



شکل ۱- تأثیر به کار گیری آفت‌کش‌های مختلف بر جمعیت باکتری‌های خاک

Fig 1- The effect of pesticide application on soil bacterial population



شکل ۲- تأثیر به کار گیری آفت‌کش‌های مختلف بر جمعیت قارچ‌های خاک

Fig 2- The effect of pesticide application on soil fungal population

بحث و نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد آفت‌کش‌ها فعالیت و جمعیت ریزجانداران خاک‌زی و شاخص‌های زیستی و اکوفیزیولوژیک خاک را کاهش داده است. تحقیقات دیگر نشان داده‌اند که تأثیر سوء آفت‌کش‌ها بر جانداران خاک‌زی به دلیل سمیت آن‌ها برای موجودات غیر هدف بروز می‌کند (۳). با وجود این که کاربرد آفت‌کش‌ها با هدف افزایش کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی انجام می‌گیرد ولی استفاده از آفت‌کش‌ها برای تولید اغلب محصولات کشاورزی موجب بروز نگرانی در مورد اثرات زیست‌محیطی آن‌ها بر کیفیت خاک و پایداری اکوسیستم شده است (۲۵). نتایج این تحقیق نشان داد به‌کارگیری آفت‌کش موجب کاهش جمعیت میکروبی اعم از باکتری و قارچ شده و به تبع آن کاهش شاخص‌های زیستی خاک را در پی دارد. همچنین نتایج نشان داد که تأثیر آفت‌کش‌ها بر ریزجانداران خاک‌زی متفاوت بوده است؛ از بین آفت‌کش‌های مورد استفاده در این تحقیق، توفوردی بیش‌ترین و کلروپیریفوس کم‌ترین تأثیر منفی را بر شاخص‌های اندازه‌گیری شده داشت.

با توجه به این که همه شاخص‌های اندازه‌گیری شده (به‌جز شاخص‌های بهره متابولیک و میکروبی که از روی داده‌ها محاسبه شده‌اند) پس از گذشت یک ماه نسبت به شاهد کاهش داشته و پس از دو ماه از زمان مصرف مجدداً افزایش یافته (برخی از

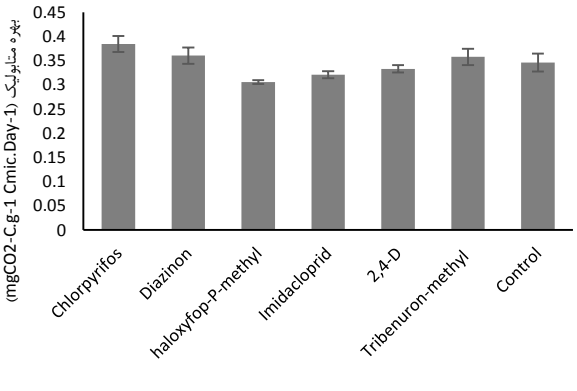
داده‌ها نشان داده نشده‌اند) و به سطح قبل از مصرف رسیده‌اند (شکل ۱ و ۲)؛ لذا می‌توان اظهار داشت که کاهش این شاخص‌ها موقتی بوده و پس از دو ماه به وضعیت قبل از کاربرد آفت‌کش رسیده که این نتایج در تحقیقات دیگری نیز حاصل شده است (۲۶). البته اظهار نظر در مورد تأثیرات کاربرد مکرر یا طولانی مدت آفت‌کش‌ها نیاز به تحقیقات بیش‌تری دارد. دلیل دیگری که محققان برای افزایش شاخص‌ها پس از یک دوره کوتاه ارایه نموده‌اند، تجزیه آفت‌کش‌ها توسط ریزجانداران خاک‌زی اعم از باکتری و قارچ است (۲۷). رشد ریزجانداران پس از افزودن آفت‌کش‌ها ممکن است به دلیل افزایش منبع کربن در اثر مرگ ریزجانداران حساس به آفت‌کش باشد که موجب افزایش رشد ریزجانداران مقاوم به آفت‌کش می‌شود (۲۸). محققان نشان داده‌اند که اغلب آفت‌کش‌هایی که امروزه در کشاورزی مصرف می‌شوند قابل تجزیه می‌باشند. با وجود این، تجزیه توسط همه ریزجانداران خاک‌زی انجام نمی‌شود و تحقیقات نشان داده‌اند که باکتری‌های گرم منفی بیش‌تر از باکتری‌های مثبت در این تجزیه درگیر هستند. طبق تحقیق سایکون و همکاران در سال ۲۰۱۳ باکتری‌های گرم منفی در مقابل کاربرد حشره‌کش ایمیداکلوپرید مقاوم‌تر از باکتری‌های گرم مثبت بودند (۲۹)؛ بنابراین در اثر افزودن این حشره‌کش، زی‌توده‌ی میکروبی باکتری‌های گرم مثبت در خاک نسبت به باکتری‌های گرم منفی کاهش یافت. همچنین این محققان نشان دادند که به‌کارگیری ایمیداکلوپرید در کوتاه مدت (۱۴ روز) موجب کاهش زی‌توده‌ی قارچ در خاک شده است ولی در دراز مدت این کاهش جبران شده است. تحقیق دیگری نشان داد که کاربرد توفوردی موجب کاهش ۲۵ ٪ در تنفس برانگیخته خاک نسبت به شاهد شده است (۲۶). همچنین، محققان نشان داده‌اند که کاربرد آفت‌کش‌های بوتاکلور، ایمیداکلوپرید و کلروپریفوس نه تنها فعالیت‌های میکروبی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد، بلکه موجب تأثیر منفی بر فون خاک از قبیل کرم‌های خاکی می‌شود (۳۰). نتایج تحقیق دیگری نشان داد که علف‌کش هالوکسی فوپ- پی متیل علاوه بر گیاهان، بر جمعیت جلبک‌های سبز نیز تأثیر منفی دارد (۳۱). در همین راستا، نشان داده شده است که هالوکسی فوپ-پی متیل همزیستی بین سویا و باکتری همزیست *Bradirhizobium japonicum* را کاهش داده و تعداد غده‌های تثبیت کننده‌ی نیتروژن را نیز تا ۹۷ ٪ کاهش داده است (۳۲).

جدول ۴ –مقایسه میانگین تأثیر آفت‌کش‌ها بر شاخص‌های زیستی خاک پس از گذشت یک ماه

Table 4- Mean Comparison of the Effect of Pesticides on Some Biological Indices of Soil after One Month

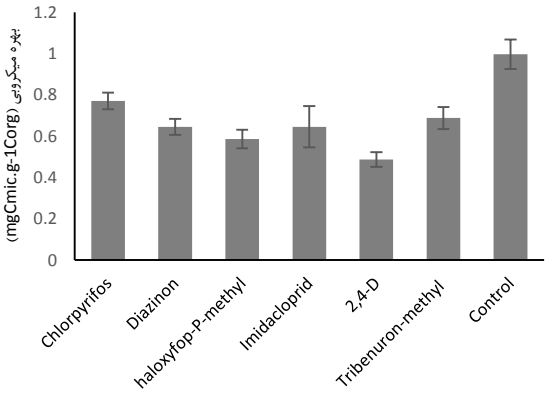
آفت‌کش مورد استفاده	کربن زی‌توده‌ی میکروبی ($mgC_{mic.}Kg^{-1}$ dm)	نیتروژن زی‌توده‌ی میکروبی ($mgN_{mic.}Kg^{-1}$ dm)	تنفس پایه ($mgCO_2$-C.kg^{-1} (dm.day^{-1}	تنفس برانگیخته ($mgCO_2$-C.kg^{-1} (dm.day^{-1}	جمعیت باکتری‌ها Number. gr^{-1} (dm 10^8×	جمعیت قارچ‌ها Number. gr^{-1} (dm 10^6×
کلروپیریفوس	۱۲۵۷^{b}	۱۷۰^{a}	۰/۵۶۷^{a}	۲/۵۷^{b}	۲/۶۰^{b}	۱/۰۲^{b}
دیازینون	۱۰۶۸^{e}	۱۵۵^{b}	۰/۴۶۸^{b}	۲/۱۸^{c}	۲/۱۸^{cd}	۰/۷۹۷^{c}
هالوکسی فوپ-پی-متیل	۱۰۸۶^{e}	۱۳۰^{c}	۰/۳۹۲^{d}	۲/۱۴^{c}	۲/۲۳^{c}	۰/۵۹۱^{d}
ایمیداکلوپرید	۱۱۴۳^{d}	۱۵۳^{b}	۰/۴۴۵^{bc}	۲/۱۵^{c}	۲/۰۴^{d}	۰/۵۸۰^{d}
تو فور دی	۹۶۵^{f}	۱۱۵^{d}	۰/۳۹۰^{d}	۱/۷۱^{d}	۱/۷۳^{e}	۰/۵۵۳^{d}
تری بنورون متیل	۱۱۶۹^{c}	۱۶۵^{a}	۰/۴۱۵^{cd}	۲/۴۵^{bc}	۲/۳۰^{c}	۱/۰۵^{b}
شاهد	۱۴۱۳^{a}	۱۶۶^{a}	۰/۴۷۸^{b}	۳/۴۲^{a}	۳/۴۵^{a}	۱/۱۳^{a}

سلامت خاک که شامل ویژگی‌های بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی خاک می‌باشد موجب حفظ کارکرد خاک هم در اکوسیستم‌های طبیعی و هم در اکوسیستم‌های مدیریت شده می‌گردد (۳۳). ارتباط قوی بین کشاورزی پایدار و کیفیت خاک وجود داشته و سلامت خاک متأثر از فرایندهای میکروبیولوژیک خاک است. در صورت هر گونه تغییر در کیفیت خاک، ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک در کوتاه مدت تغییر نمی‌کنند؛ این در حالی است که شاخص‌های اکوفیزیولوژیک خاک به تغییرات اکوسیستم خاک حساس بوده و در صورت بروز تغییرات به سرعت تغییر می‌کنند (۳۴). شاخص‌های زیستی برای سنجش کیفیت و سلامت خاک به کار گرفته می‌شوند. برخی از این شاخص‌ها از جمله کربن و نیتروژن زی‌توده‌ی میکروبی، جمعیت باکتری‌ها و قارچ‌ها و تنفس پایه و برانگیخته نشان‌دهنده‌ی کمیت جامعه میکروبی خاک بوده و با افزایش جمعیت ریزجانداران خاک‌زی افزایش می‌یابند. برخی دیگر از شاخص‌ها از جمله بهره‌ی متابولیک و بهره‌ی میکروبی نشان دهنده‌ی کیفیت زیستی خاک می‌باشند. افزایش بهره‌ی متابولیک در یک خاک در اثر افزایش تنفس پایه یا کاهش کربن زی‌توده‌ی میکروبی خاک مشاهده می‌گردد و بیانگر وجود تنش در اکوسیستم خاک می‌باشد؛ در این شرایط با وجود ثابت ماندن زی‌توده‌ی میکروبی، تنفس میکروبی تشدید می‌شود (۳۵). از طرف دیگر نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد آفت‌کش‌ها موجب کاهش معنی دار بهره میکروبی خاک شده است. در این شرایط نسبت بین کربن آلی خاک و کربن زی‌توده‌ی میکروبی به نحوی تغییر می‌یابد که سهم کربن زی‌توده‌ی میکروبی از کل کربن خاک کاهش یابد؛ به عبارت دیگر کاهش بهره میکروبی در شرایطی رخ می‌دهد که عاملی باعث تأثیر سوء بر ریزجانداران خاک می‌گردد ولی روی کربن آلی خاک تأثیری ندارد. بهره میکروبی یک شاخص حساس به تغییرات محیط خاک می‌باشد و در صورت تأثیر عاملی بر رشد و توسعه ریزجانداران خاک‌زی، این شاخص تغییر می‌یابد؛ لذا از این شاخص می‌توان برای ارزیابی تغییر پذیری جمعیت میکروبی خاک در اثر تغییرات شرایط خاک استفاده نمود (۳۶). برای حفظ کیفیت خاک و در نظر داشتن پایداری اکوسیستم خاک، باید این شاخص‌ها در وضعیت طبیعی خاک (بدون دخالت انسان) حفظ شوند. بدیهی است که در صورت به هم خوردن تعادل اکوسیستم خاک، در نهایت تولید محصول در زمین‌های کشاورزی، هم از لحاظ کمیت و هم از لحاظ کیفیت کاهش خواهد یافت.



شکل ۳- تأثیر آفت‌کش‌های مختلف بر بهره‌ی متابولیک خاک پس از گذشت یک ماه

Fig 3- The effect of pesticide application on soil metabolic quotient after one month



شکل ۴- تأثیر آفت‌کش‌های مختلف بر بهره‌ی میکروبی خاک پس از گذشت یک ماه

Fig 4- The effect of pesticide application on soil microbal quotient after one month

نتیجه‌گیری

کاربرد آفت‌کش‌ها بر جمعیت و فعالیت ریزجانداران خاک‌زی تأثیر داشته و موجب کاهش جمعیت باکتری‌ها و قارچ‌ها، تنفس پایه و برانگیخته، کربن و نیتروژن زی‌توده‌ی میکروبی و بهره میکروبی خاک و افزایش بهره متابولیک خاک شده است. نتایج نشان داد که تغییرات این شاخص‌ها پس از یک ماه از زمان مصرف قابل مشاهده بوده و پس آن طی دو ماه تقریباً به سطح قبل از مصرف آفت‌کش رسیده است. همچنین نتایج نشان داد که بین آفت‌کش‌ها از لحاظ تأثیر بر شاخص‌های زیستی و اکوفیزیولوژیک خاک تفاوت وجود دارد و توفوردی بیش‌ترین و کلروپریفوس کم ترین تأثیر منفی را بر این پارامترها داشته است. علی‌رغم این که تأثیر آفت‌کش‌ها پس از دو ماه به سطح قبل از کاربرد آفت‌کش رسیده است ولی نمی‌توان در مورد تأثیرات بلند مدت آفت‌کش‌ها بر اکوسیستم خاک اظهار نظر نمود؛ زیرا ممکن است که روند تغییرات در بلند مدت موجب تغییر در ترکیب و کارکرد جامعه میکروبی خاک داشته و موجب کاهش کیفیت خاک گردد.

منابع

1. Helfrich LA, Weigmann DL, Hipkins PA, Stinson ER. Pesticides and aquatic animals: a guide to reducing impacts on aquatic systems. 2009.
2. Seiber JN, Kleinschmidt LA. Contributions of pesticide residue chemistry to improving food and environmental safety: past and present accomplishments and future challenges. Journal of agricultural and food chemistry. 2011;59(14):7536-43.
3. 3.Niemi RM, Heiskanen I, Ahtiainen JH, Rahkonen A, Mäntykoski K, Welling L, et al. Microbial toxicity and impacts on soil enzyme activities of pesticides used in potato cultivation. Applied Soil Ecology. 2009;41(3):293-304.
4. Reinecke S, Reinecke A. The impact of organophosphate pesticides in orchards on earthworms in the Western Cape, South Africa. Ecotoxicology and environmental safety. 2007;66(2):244-51.
5. Hart M, Brookes P. Soil microbial biomass and mineralisation of soil organic matter after 19 years of cumulative field applications of pesticides. Soil Biology and Biochemistry. 1996;28(12):1641-9.
6. Franco-Andreu L, Gómez I, Parrado J, García C, Hernández T, Tejada M. Behavior of two pesticides in a soil subjected to severe drought. Effects on soil biology. Applied Soil Ecology. 2016;105:17-24.
7. García-Ruiz R, Ochoa V, Hinojosa MB, Carreira JA. Suitability of enzyme activities for the monitoring of soil quality improvement in organic agricultural systems. Soil Biology and Biochemistry. 2008;40(9):2137-45.
8. Parelho C, Rodrigues A, Barreto M, Ferreira N, Garcia P. Assessing microbial activities in metal contaminated agricultural volcanic soils–An integrative approach. Ecotoxicology and environmental safety. 2016;129:242-9.
9. Tejada M, García C, Hernández T, Gómez I. Response of Soil Microbial Activity and Biodiversity in Soils Polluted with Different Concentrations of Cypermethrin Insecticide. Archives of environmental contamination and toxicology. 2015;69(1):8-19.

10. Goswami MR, Pati UK, Chowdhury A, Mukhopadhyay A. Studies on the effect of cypermethrin on soil microbial biomass and its activity in an alluvial soil. Int J Agric Food Sci. 2013;3(1):1-9.
11. Shukla G, Varma A. Soil enzymology: Springer Science & Business Media; 2010.
12. Walia A, Mehta P, Guleria S, Chauhan A, Shirkot C. Impact of fungicide mancozeb at different application rates on soil microbial populations, soil biological processes, and enzyme activities in soil. The Scientific World Journal. 2014;2014.
13. Tejada M, Gómez I, del Toro M. Use of organic amendments as a bioremediation strategy to reduce the bioavailability of chlorpyrifos insecticide in soils. Effects on soil biology. Ecotoxicology and environmental safety. 2011;74(7):2075-81.
14. Getzin LW. Degradation of Chlorpyrifos in Soil: Influence of Autoclaving, Soil Moisture, and Temperature 1. Journal of Economic Entomology. 1981;74(2):158-62.
15. Leoni V, D'Alessandro Ld, Merolli S, Hollick C, Collison R. The soil degradation of chlorpyrifos and the significance of its presence in the superficial water in Italy. Agrochimica (Italy). 1981.
16. Caldwell BA. Enzyme activities as a component of soil biodiversity: a review. Pedobiologia. 2005;49(6):637-44.
17. Wakelin S, Gerard E, Black A, Hamonts K, Condron L, Yuan T, et al. Mechanisms of pollution induced community tolerance in a soil microbial community exposed to Cu. Environmental Pollution. 2014;190:1-9.
18. Jones JB. Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis: CRC Press; 2001.
19. Gupta PK. Soil, Plant, Water And Fertilizer Analysis (2Nd Ed.): Agrobios (India); 2009.
20. 20. Nelson DW, Sommers LE. Total carbon, organic carbon, and organic matter. Methods of soil analysis part 3—chemical methods. 1996(methodsofsoilan3):961-1010.
21. Olsen S, Sommers L, Page A. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties of Phosphorus ASA Monograph. 1982(9):403-30.
22. 22. Jackson ML. Soil chemical analysis: advanced course: UW-Madison Libraries Parallel Press; 2005.
23. 23. Alef K, Nannipieri P. Methods in applied soil microbiology and biochemistry: Academic Press; 1995.
24. Schinner F, Öhlinger R, Kandeler E, Margesin R. Methods in Soil Biology: Springer Berlin Heidelberg; 2012.
25. Banks ML, Kennedy AC, Kremer RJ, Eivazi F. Soil microbial community response to surfactants and herbicides in two soils. Applied Soil Ecology. 2014;74:12-20.
26. Zabaloy MC, Garland JL, Gómez MA. An integrated approach to evaluate the impacts of the herbicides glyphosate, 2,4-D and metsulfuron-methyl on soil microbial communities in the Pampas

region, Argentina. Applied Soil Ecology. 2008;40(1):1-12.

27. Fu F, Xiao L, Wang W, Xu X, Xu L, Qi G, et al. Study on the degradation of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) and 2-methyl-4-chloro-phenoxyacetic sodium (MCPA sodium) in natural agriculture-soils of Fuzhou, China using capillary electrophoresis. Science of The Total Environment. 2009;407(6):1998-2003.
28. Waldrop MP, Firestone MK. Microbial community utilization of recalcitrant and simple carbon compounds: impact of oak-woodland plant communities. Oecologia. 2004;138(2):275-84.
29. Cycoń M, Markowicz A, Borymski S, Wójcik M, Piotrowska-Seget Z. Imidacloprid induces changes in the structure, genetic diversity and catabolic activity of soil microbial communities. Journal of Environmental Management. 2013;131:55-65.
30. Chen C, Wang Y, Zhao X, Wang Q, Qian Y. Comparative and combined acute toxicity of butachlor, imidacloprid and chlorpyrifos on earthworm, Eisenia fetida. Chemosphere. 2014;100:111-5.
31. Ma J, Wang S, Wang P, Ma L, Chen X, Xu R. Toxicity assessment of 40 herbicides to the green alga Raphidocelis subcapitata. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2006;63(3):456-62.
32. Parsa M, Aliverdi A, Hammami H. Effect of the recommended and optimized doses of haloxyfop-P-methyl or imazethapyr on soybean-Bradyrhizobium japonicum symbiosis. Industrial Crops and Products. 2013;50:197-202.
33. Crouzet O, Batisson I, Besse-Hoggan P, Bonnemoy F, Bardot C, Poly F, et al. Response of soil microbial communities to the herbicide mesotrione: A dose-effect microcosm approach. Soil Biology and Biochemistry. 2010;42(2):193-202.
34. Floch C, Chevremont A-C, Joanico K, Capowiez Y, Criquet S. Indicators of pesticide contamination: soil enzyme compared to functional diversity of bacterial communities via Biolog® Ecoplates. European Journal of Soil Biology. 2011;47(4):256-63.
35. Nguyen DB, Rose MT, Rose TJ, Morris SG, van Zwieten L. Impact of glyphosate on soil microbial biomass and respiration: A meta-analysis. Soil Biology and Biochemistry. 2016;92:50-7.
36. Rose MT, Cavagnaro TR, Scanlan CA, Rose TJ, Vancov T, Kimber S, et al. Impact of herbicides on soil biology and function. Advances in Agronomy. 2016;136:133-220.