DOI: 10.22059/ijswr.2018.261182.667956 تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۰، شماره ۵، مهر ۱۳۹۸ (ص ۱۲۱۷-۱۲۰۷)

Investigation of Cadmium Chloride and Cobalt Chloride Concentrations on Some Soil Microbial Indices under Cultivated Savory Plant

MASOUD HAMIDI[1], MASOUD BAZGIR[*12]

1. Graduate Student, Department of Water and Soil Engineering, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Water and Soil Engineering, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.
(Received: June. 30, 2018- Revised: Oct. 18, 2018- Accepted: Oct. 27, 2018)

ABSTRACT

In the twentieth century, soil quality and health declining has become a major challenge due to application of poor and polluted water sources. Accordingly, the effect of different concentrations of cobalt chloride and cadmium chloride in irrigation water (0 (control), 100, 200 and 400 mM) on some soil microbial indices during vegetative growth of the medicinal Savory plant (*Satureja hortensis* L.), in two separate experiments was carried out in a completely randomized design with three replications in the research greenhouse of Agricultural Faculty in Ilam. The experiments were done in 5 kg-pots with 26 cm in height and 30 cm in diameter and longed for two months in 2014. The results showed the highest values of basal respiration rate and *substrate induced respiration* in the control and the lowest values of these two indices in 400 mM concentrations of cadmium chloride and cobalt chloride. In terms of soil microbial biomass carbon, the highest value (308 $mg.kg^{-1}$ soil) and the lowest value (190 $mg.kg^{-1}$ soil) were found in the control and 400 mM concentration of cadmium chloride salt solution, respectively. The highest (27 $mg.kg^{-1}$ soil) and the lowest (14 $mg.kg^{-1}$ soil) values of soil microbial biomass nitrogen were found in control and 400 mM concentration of cadmium chloride, respectively. As well as, the lowest (19 $mg.kg^{-1}$ soil) amount of soil microbial biomass nitrogen was obtained in 400 mM concentration of cobalt chloride salt solution. The highest amount of microbial quotient, metabolic coefficient and microbial biomass were observed in the control treatment. The microbial biomass carbon and microbial biomass nitrogen ratio increased by irrigation water with different concentrations of cobalt chloride. Increasing the concentrations of cadmium chloride and cobalt chloride showed a negative effect on the microbial quality of the soil, which will pay more attention to the quality of irrigation water for health and quality of the soil microbial community, and hence the quality and overall health of the plant, and ultimately represent health and food safety.

Keywords: Soil respiration, *Microbial* biomass *carbon and nitrogen*, Soil quality, Heavy metals

* Corresponding Author's Email:m.bazgir@ilam.ac.ir

بررسی غلظت‌های کلرید کادمیوم و کلرید کبالت بر برخی شاخص‌های میکروبی خاک تحت کشت گیاه مرزه

مسعود حمیدی[1]، مسعود بازگیر[2*]

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام ایلام، ایران.

۲. استادیار خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام ایلام، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۴/۹- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۷/۲۶- تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۸/۵)

چکیده

در قرن بیستم، کاهش کیفیت و سلامت خاک به دلیل استفاده از منابع آبی بی‌کیفیت و آلوده به یک چالش اساسی تبدیل شده است. بر این اساس، غلظت‌های مختلف کلرید کبالت و کلرید کادمیوم آب آبیاری (صفر (شاهد)، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌مولار) در دو آزمایش جداگانه به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۳ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام طی رشد رویشی گیاه دارویی مرزه (*Satureja hortensis* L.) در گلدان‌های پنج کیلوگرمی به ابعاد قطر دهانه ۳۰ و ارتفاع ۲۶ سانتی‌متر بر برخی شاخص‌های میکروبی خاک در طی دو ماه بررسی گردید. نتایج نشان داد بیشترین میزان تنفس پایه و تنفس برانگیخته در نمونه شاهد و کمترین میزان این دو شاخص نیز در غلظت ۴۰۰ میلی‌مولار کلرید کادمیوم و کلرید کبالت برآورد گردید. از لحاظ کربن زیست‌توده میکروبی خاک، بیشترین (۳۰۸ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و کمترین (۱۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) به ترتیب مربوط به شاهد و غلظت ۴۰۰ میلی‌مولار از نمک کلرید کادمیوم بود. بیشترین (۲۷/۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و کمترین (۱۴/۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) نیتروژن زیست‌توده میکروبی خاک به ترتیب در خاک شاهد و غلظت ۴۰۰ میلی‌مولار کلرید کادمیوم مشاهده شد. هم‌چنین کمترین نیتروژن زیست‌توده میکروبی (۱۹/۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) در غلظت ۴۰۰ میلی‌مولار نمک کلرید کبالت به دست آمد. شاخص‌های بهره میکروبی، ضریب متابولیکی و زیست‌توده میکروبی فعال در نمونه شاهد بیشترین مقدار بودند. در اثر آبیاری با غلظت‌های مختلف کلرید کبالت نسبت کربن به نیتروژن زیست‌توده میکروبی افزایش یافت. افزایش غلظت‌های کلرید کادمیوم و کلرید کبالت تأثیر منفی بر کیفیت میکروبی خاک را نشان داد که این امر توجه بیشتر به کیفیت آب آبیاری را برای سلامت و کیفیت جامعه میکروبی خاک و به‌تبع آن کیفیت و سلامت جامعه گیاهی و در نهایت سلامت و امنیت غذایی را نمایان می‌سازد.

واژه‌های کلیدی: تنفس خاک، کربن و نیتروژن زیست‌توده میکروبی، کیفیت خاک، عناصر سنگین

مقدمه

امروزه استفاده از گیاهان دارویی در جهان اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است و اکنون تقاضا برای گیاهان دارویی به عنوان مواد اولیه صنایع بهداشتی و دارویی در حال افزایش است (Agha Alikhani *et al.*, 2013). گیاه دارویی مرزه (*Satureja hortensis* L.) متعلق به خانواده نعنا (*Lamiaceae*) بوده که به عنوان سبزی، ادویه و گیاه دارویی کشت می‌شود (Hadian, 2008). آلودگی خاک و آب با عناصر سمی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم سلامت انسان، حیوانات، گیاهان و ریز جانداران را تهدید می‌کند (Tejada, 2009).

کیفیت و سلامت خاک با استفاده از خواص فیزیکی و شیمیایی مختلف و همچنین شاخص‌های بیولوژیکی اندازه‌گیری و فرآیندهای اکولوژیک در اکوسیستم و حاصلخیزی خاک توسط فرآیندهای میکروبی خاک کنترل می‌شود. فعالیت موجودات خاکزی به وسیله نمک‌ها تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Renella *et al.*, 2005). تغییرات در خصوصیات خاک تحت تأثیر برخی خصوصیات محیطی از قبیل اقلیم، توپوگرافی، مواد مادری، پوشش گیاهی و فعالیت‌های انسانی قرار دارد (Ollinger *et al.*, 2002).

تأثیر گیاهان مختلف در افزایش عناصر غذایی به خاک را به رفتار عناصر، نوع و طبیعت خاک، تجمع مواد آلی، فعالیت میکروبی و درجه استقامت کانی‌ها در مقابل هوادیدگی نسبت می‌دهند (Balamurgan *et al.*, 2000). شاخص‌های بیولوژیک خاک از جنبه‌های مهم کیفیت خاک هستند و به همین دلیل کیفیت خاک با استفاده از خواص مختلف بیولوژیک نیز اندازه-گیری می‌شود (Herrick, 2000).

* نویسنده مسئول: m.bazgir@ilam.ac.ir

جامعه میکروبی خاک مسئول تنظیم چرخه عناصر غذایی و فراهم ساختن شرایط مناسب برای جذب عناصر غذایی خاک برای رشد گیاه است (Ghollarata and Raiesi, 2007). شاخص-های بیولوژیکی خاک از مهم‌ترین بخش‌های کیفیت و سلامت خاک هستند، افزایش آلودگی سبب تغییرات شدید ژنتیکی و فیزیولوژیک در جامعه میکروبی خاک و کاهش شاخص‌های میکروبی خاک می‌شود (Shirzadeh *et al*., 2013; Aliasgharzad *et al*., 2011).

زیست‌توده زنده میکروبی بخش فراهم کربن خاک با زمان برگشت بسیار کوتاه است و بدین ترتیب منبع عناصر غذایی بسیار فراهمی برای گیاه است و در واقع معدنی شدن کربن و نیتروژن آلی را کنترل می‌کند. تنفس و زیست‌توده میکروبی و فعالیت آنزیمی خاک غالب‌ترین پارامترهای مورد مطالعه هنگام بررسی اثرات سمی عناصر سنگین بر رشد و فعالیت‌های میکروبی هستند و گاهی زیست‌توده میکروبی نیز به عنوان یک شاخص حساس به غلظت آلاینده‌ها به شمار می‌رود (Fritze *and* Perkiomaki, 2000).

نتایج نشان می‌دهد که پساب‌های صنعتی علاوه بر عناصر غذایی و مواد آلی حاوی عناصر سنگین هستند که می‌توانند برای مدت طولانی در خاک باقیمانده و با گذشت زمان فعالیت بیولوژیکی خاک را تحت تأثیر قرار دهند (Shi et al., 2008). نتایج تحقیقات نشان می‌هد که کیفیت آب استفاده شده در آبیاری گیاهان می‌تواند بر بسیاری از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و شاخص‌های زیستی خاک اثرات مثبت و منفی زیادی را وارد کند (Mermoud *et al*., 2013; Moradinasab Mandal *et al*., 2008; *et al*., 2016).

نتایج تحقیقات Shirzadeh *et al*. (2013) بر روی تأثیر سطوح گوناگون سرب بر کربن زیست‌توده، شناسه‌های اکوفیزیولوژیک، تنفس پایه و برانگیخته خاک در انکوباسیون نشان داد با افزایش غلظت سرب اکثر این شاخص‌ها کاهش می‌یابد. همچنین بررسی تأثیر آلودگی سرب بر برخی شاخص‌های بیولوژیکی کیفیت خاک در حضور گیاه مرتعی تلخه (*Acroptilon* Sp.) نشان داد که با افزایش غلظت سرب در خاک، تنفس خاک، تنفس برانگیخته با سوبسترا و شاخص قابلیت دسترسی به کربن به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (Karimi *et al*., 2011). افزایش آلودگی کادمیومی رشد گیاه، تنفس پایه و برانگیخته خاک، زیست‌توده زنده میکروبی کربن و نیتروژن را کاهش و افزایش غلظت کادمیوم ضریب متابولیکی (qCO_2) را افزایش داده است (Kazemalilou and Rasouli-Sadaghiani, 2013).

محدودیت منابع و کاهش کیفیت آب به دلیل آلودگی و یا وجود املاح و نمک‌ها در سال‌های اخیر توجه پژوهشگران را بر میزان اثرات مثبت یا منفی کیفیت آبیاری بر شاخص‌های کیفیت خاک و گیاهان، معطوف کرده است. مطالعه حاضر با هدف ارزیابی تأثیر سه نوع غلظت متفاوت از آب حاوی کلرید کادمیوم و کلرید کبالت در آبیاری گلدان‌های تحت کشت گیاه دارویی مرزه بر برخی از شاخص‌های میکروبی خاک صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های خاک گلدان‌ها و تاریخ کاشت

گیاه دارویی مرزه (*Satureja hortensis* L.) در تاریخ ۱۵ آبان سال ۱۳۹۳ در گلدان‌های پنج کیلویی با ابعاد قطر دهانه ۳۰ و ارتفاع ۲۶ سانتی‌متر با خاک‌های Sandy clay loam و دارای مقداری لاشبرگ کمپوست شده و به همراه مقدار ترکیبی از کودهای آلی کشت شد (جدول ۱).

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک گلدان‌ها مورد آزمایش

شن (درصد)	۷۲	کربن آلی (درصد)	۰/۶۵۰
سیلت (درصد)	۸	pH	۷/۳۰
رس (درصد)	۲۰	کربنات کلسیم (درصد)	۴۳/۰
بافت	Sandy clay loam	نیتروژن کل (درصد)	۰/۰۷۰
ظرفیت زراعی (درصد)	۱۹	فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۱۲/۲
نقطه پژمردگی دائم (درصد)	۱۲	پتاسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۲۴۸
هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	۱/۲	ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی‌مول بار در کیلوگرم خاک)	۱۴/۰

نحوه اعمال تیمارها

گلدان‌ها در محیط گلخانه نگهداری شدند بازدیدها دو بار در هفته برای آبیاری و کنترل شرایط آزمایشگاهی صورت گرفت. همچنین دوره‌های آبیاری سه یا چهار روزه بود. غلظت‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌مولار از نمک‌های کلرید کادمیوم و کلرید کبالت با آب مقطر برای اعمال تنش بر روی خاک گلدان‌ها تهیه گردید (Kazemalilou snd Rasouli-Sadaghiani, 2013; Azizi and Mirblouk, 2017). آبیاری با غلظت‌های محلول نمک‌های تهیه شده در تاریخ ۱۷ دی ماه سال ۱۳۹۳ بعد از کشت اولیه گیاه طی دوره‌های آبیاری سه یا چهار روزه انجام پذیرفت. پس از دو ماه آبیاری (۱۷ اسفندماه سال ۱۳۹۳) از هر تیمار (سه سطح غلظت آبیاری شده با دو نمک و همچنین نمونه‌های شاهد) سه نمونه خاک از گلدان‌ها سه روز پس از آخرین آبیاری برداشت شدند، این قسمت تا حدودی شبیه کار برخی از محققین بود (Dayani and Raiesi, 2012; Shirzadeh *et al*., 2013).

اندازه‌گیری‌ها

بافت خاک به روش هیدرومتری طبق قانون استوکس (Bouuyoucos, 1962)، درصد نگهداری رطوبت خاک در حالت اشباع از روش Klute (1986)، ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی با روش Briggs and Shant (1912) برآورد شد. pH خاک از روش گل اشباع و توسط دستگاه pHمتر و EC خاک با استفاده از عصاره‌ی گل اشباع با کمک دستگاه ECمتر اندازه‌گیری شدند (Mclen, 1982). کربن آلی (OC) به روش والکی و بلاک و با کمک تیتراسیون با فروآمونیم سولفات اندازه‌گیری شد (Nelson and Sommers, 1982)، برای تعیین مقدار کربنات‌کلسیم معادل خاک از روش تیتراسیون برگشتی (Page et al., 1987) استفاده گردید. نیتروژن به کمک دستگاه کجلدال و به روش هضم (Bremner, 1965)، فسفر به کمک رنگ‌سنجی و با اسپکتوفتومتر به روش Olsen et al. (1954) و پتاسیم نیز با عصاره‌گیری با استات آمونیم و به کمک دستگاه فلیم‌فتومتر بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم خاک برآورد شدند (Black, 1986).

تنفس پایه[1] خاک (BR) با جمع‌آوری گاز کربنیک در سود (برحسب میلی‌گرم کربن به‌صورت CO_2 در ۲۴ ساعت در یک کیلوگرم خاک) اندازه‌گیری و برای اندازه‌گیری تنفس برانگیخته با سوبسترا[2] (SIR)، دو درصد گلوکز نیم مولار به نمونه خاک اضافه شد و تنفس خاک حداکثر ظرف مدت چهار تا شش ساعت اندازه‌گیری گردید (Alef and Nannipieri,1995). برای کربن زیست‌توده میکروبی (Cmic) و نیتروژن زیست‌توده میکروبی (Nmic) از روش اسپارلینگ (Jenkinson and Powlson, 1976) در مدت سه روز و از طریق تدخین-استخراج توسط بخار کلروفرم (CH_3Cl) اندازه گیری شدند (Brookes et al., 1986). بهره میکروبی[3] (qmic) از نسبت بین کربن زیست‌توده میکروبی به کربن آلی خاک (Cmic/OC) و بهره متابولیکی[4] (qCO_2) از تقسیم تنفس پایه بر کربن زیست توده میکروبی (BR/Cmic) محاسبه گردیدند. ضریب متابولیکی بر اساس تقسیم تنفس برانگیخته بر تنفس پایه محاسبه (SIR/BR) شد (Martens, 1995). میزان زیست‌توده میکروبی فعال[5] (Ba) بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم طبق فرمول $Ba=0.283\times CO_2$ با استفاده از تنفس خاک در مدت زمان ۱۰ ساعت برآورد گردید. نسبت کربن به نیتروژن زیست‌توده میکروبی با استفاده از فرمول (Cmic/Nmic) محاسبه شد (Suman *et al*., 2006).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

طرح مورد استفاده در این پژوهش کاملاً تصادفی با سه تکرار بود. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال آماری ۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار SAS صورت گرفت و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد تأثیر غلظت‌های مختلف کلرید کادمیوم بر تنفس میکروبی، تنفس برانگیخته، کربن زیست‌توده میکروبی، نیتروژن زیست‌توده میکروبی، بهره میکروبی، نسبت کربن زیست‌توده میکروبی به نیتروژن کل، ضریب متابولیکی و زیست‌توده میکروبی فعال در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). نسبت کربن به نیتروژن زیست‌توده میکروبی (Cmic/Nmic) و بهره متابولیکی تحت تأثیر غلظت‌های مختلف کلرید کادمیوم قرار نگرفتند (جدول۲).

تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اثرات غلظت‌های مختلف کلرید کبالت بر تنفس میکروبی، تنفس برانگیخته، نیتروژن زیست‌توده میکروبی ، نسبت کربن به نیتروژن زیست‌توده میکروبی، نسبت کربن زیست‌توده میکروبی به نیتروژن کل، ضریب متابولیکی، بهره متابولیکی و زیست‌توده میکروبی فعال بود (جدول ۳). کلرید کبالت تأثیر معنی‌داری بر زیست‌توده میکروبی کربن و سهم کربن میکروبی نداشت (جدول۳).

1. Basal Respiration
2. Substrate Induced Respiration
3. Microbial quotient
4. metabolic quotient
5. Microbial Biomass Active

جدول۲- تجزیه واریانس اثرات کلرید کادمیوم بر شاخص‌های میکروبی خاک در طی دوره رشد گیاه مرزه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		BR	SIR	Cmic	Nmic	Cmic/Nmic	qmic	Nmic/Ntotal	SIR/BS	qCO_2	Ba
کلرید کادمیوم	۳	۸۷/۹**	۱۸۴۸**	۷۴۹۸**	۱۱۰**	۵/۵ns	۱/۷۷**	۲/۲۴**	۰/۴۱**	۱۳۹۱ns	۱/۲۲**
خطای آزمایشی	۸	۳/۸۷	۲۳/۳	۸۶۸	۲/۱۸	۲/۴۸	۰/۱۶۰	۰/۰۴۰	۰/۰۲۰	۵۰۲	۰/۰۵۰
ضریب تغییرات (درصد)	-	۴/۰۶	۶/۷۲	۱۰/۹	۷/۹۹	۱۱/۸	۱۰/۹	۷/۹۸	۹/۴۴	۱۰/۸	۴/۰۶

ns: غیر معنی‌دار؛ **: معنی‌داری در سطح ۱ درصد

جدول ۳- تجزیه واریانس اثرات کلرید کبالت بر شاخص‌های میکروبی خاک در طی دوره رشد گیاه مرزه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات									
		BR	SIR	Cmic	Nmic	Cmic/Nmic	qmic	Nmic/Ntotal	SIR/BS	qCO_2	Ba
کلرید کبالت	۳	۱۳۱**	۲۵۸۷**	۱۶۲۶ns	۳۵/۷**	۱۱/۲*	۰/۳۸۵ns	۰/۷۲۹**	۰/۶۱۹**	۱۴۹۸*	۱/۸۳**
خطای آزمایشی	۸	۴/۸۱	۲/۴۴	۶۴۵	۱/۲۱	۲/۰۵	۰/۱۵۳	۰/۰۲۴	۰/۰۰۹	۲۲۹	۰/۰۷۰
ضریب تغییرات (درصد)	-	۴/۶۱	۲/۴۰	۴/۵۳	۴/۸۲	۱۰/۸	۸/۵۴	۴/۸۲	۷/۱۸	۹/۳۹	۴/۶۱

ns: غیر معنی‌دار؛ * و **: به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

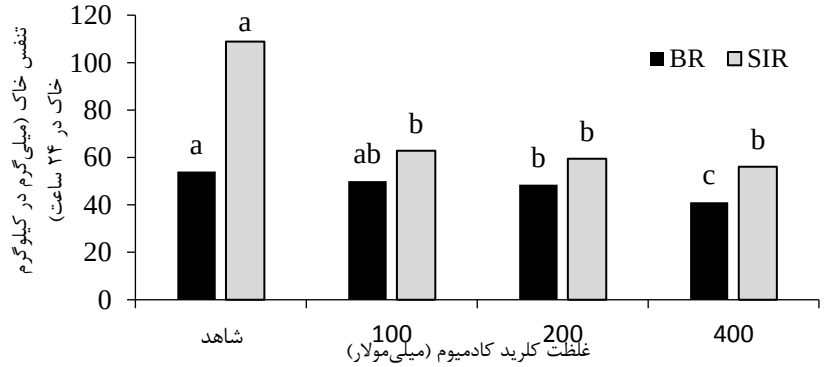
تنفس پایه و تنفس برانگیخته

غلظت‌های مختلف کلرید کادمیوم و کلرید کبالت آب آبیاری تأثیر منفی بر میزان تنفس پایه و تنفس برانگیخته خاک داشتند (شکل ۱ و ۲). بیشترین غلظت تنفس پایه و برانگیخته خاک (به ترتیب ۵۳/۹ و ۱۰۸ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در ۲۴ ساعت) در تیمار شاهد به دست آمد. آبیاری با غلظت ۴۰۰ میلی‌مولار کلرید کادمیوم تنفس پایه خاک را به میزان ۲۳/۸ درصد در مقایسه با تیمار شاهد کاهش داد، در حالی‌که غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار کلرید کادمیوم تنفس برانگیخته خاک را به میزان ۴۵/۴ درصد در مقایسه با تیمار شاهد کاهش داد (شکل‌های ۱ و ۲). میزان کاهش غلظت تنفس پایه و برانگیخته خاک تحت شرایط آبیاری با غلظت ۴۰۰ میلی‌مولار کلرید کبالت در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب به میزان ۲۸/۵ و ۵۶/۴ درصد بود (شکل ۲).

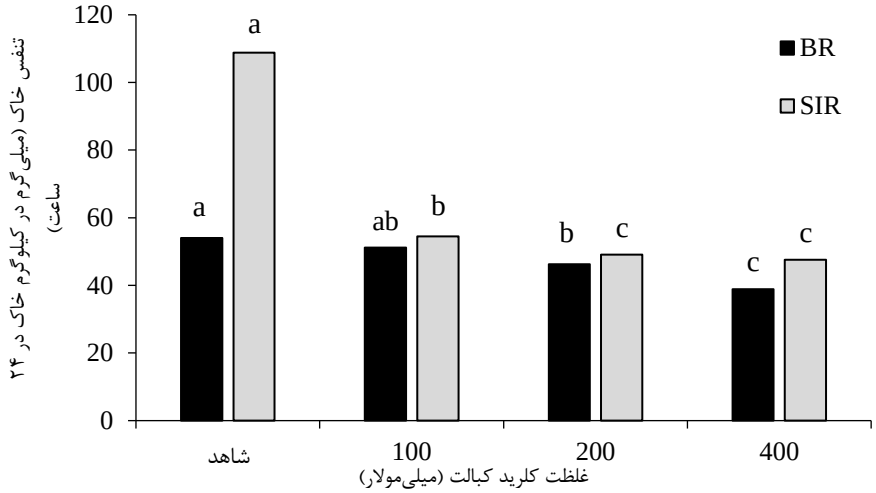
زیست‌توده کربن و نیتروژن میکروبی

آبیاری با کلرید کادمیوم میزان کربن و نیتروژن زیست‌توده میکروبی را کاهش داد، به‌طوری که بیشترین میزان کربن و نیتروژن زیست‌توده میکروبی به ترتیب برابر ۳۰۸ و ۲۷/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در تیمار شاهد مشاهده گردید. سطوح مختلف کلرید تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. آبیاری با غلظت ۴۰۰ میلی‌مولار از نمک کلرید کادمیوم میزان کربن و نیتروژن زیست‌توده میکروبی را در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب ۵۰/۰ و ۴۸/۱ درصد کاهش داد (شکل۳).

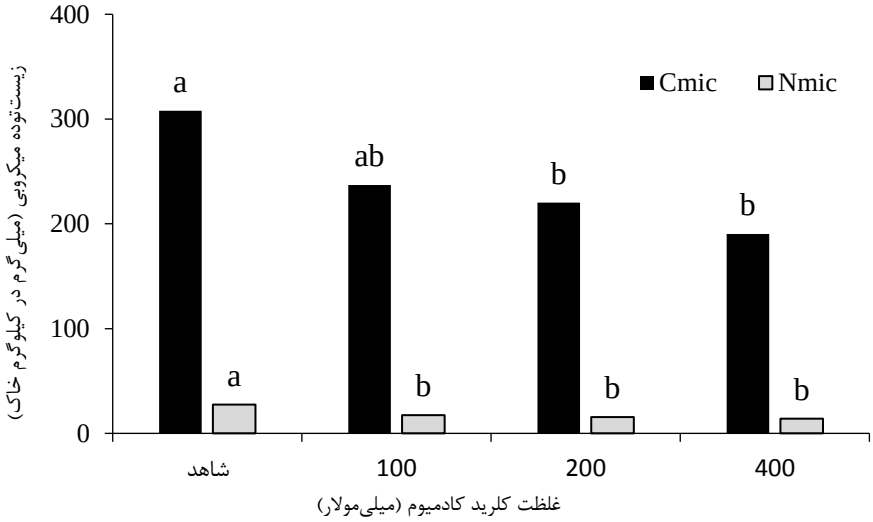
نتایج این پژوهش نشان می‌دهد (شکل ۴) آبیاری با کلرید کبالت سبب نشد که کربن زیست‌توده میکروبی تفاوت معنی‌داری را ایجاد کند اما آبیاری با این نمک، در سطح ۵ درصد تغییرات معنی‌داری را بر میزان نیتروژن زیست‌توده میکروبی به‌وجود آورد. در آبیاری با کلرید کادمیوم، بین میزان کربن زیست‌توده میکروبی با تنفس برانگیخته خاک همبستگی مثبت و معنی‌داری ($P \leq 0.01$) مشاهده گردید. به‌طوری که با افزایش تنفس برانگیخته خاک، میزان کربن زیست‌توده میکروبی افزایش یافت (شکل ۵). اما در شرایط آبیاری با کلرید کبالت چنین رابطه‌ای مشاهده نشد.



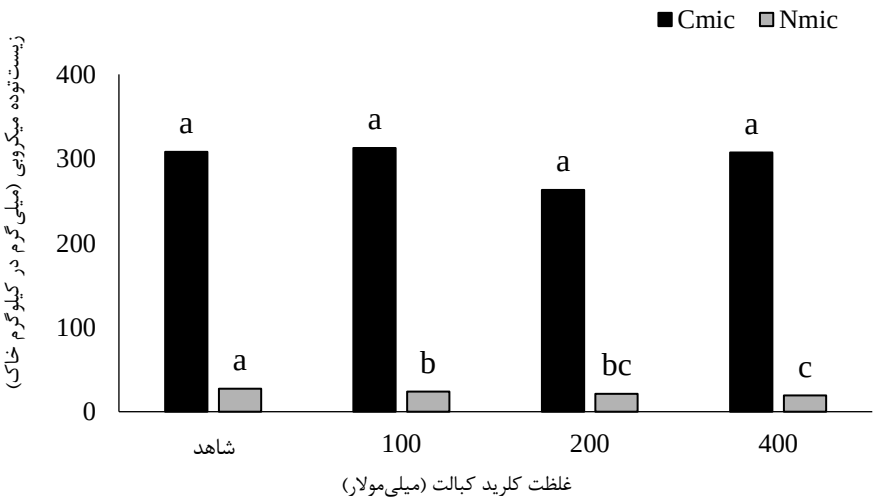
شکل ۱- تأثیر سطوح مختلف کلرید کادمیوم بر میزان تنفس پایه (BR) و برانگیخته خاک (SIR)، میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد هستند



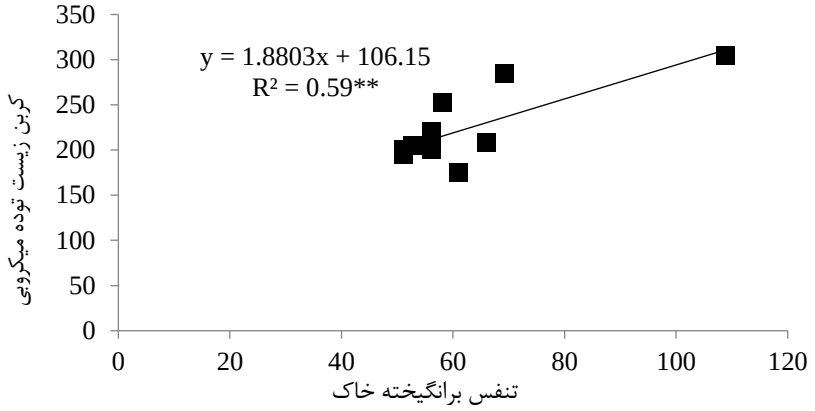
شکل ۲- تأثیر سطوح مختلف کلرید کبالت بر میزان تنفس پایه (BR) و برانگیخته خاک (SIR)، میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد هستند



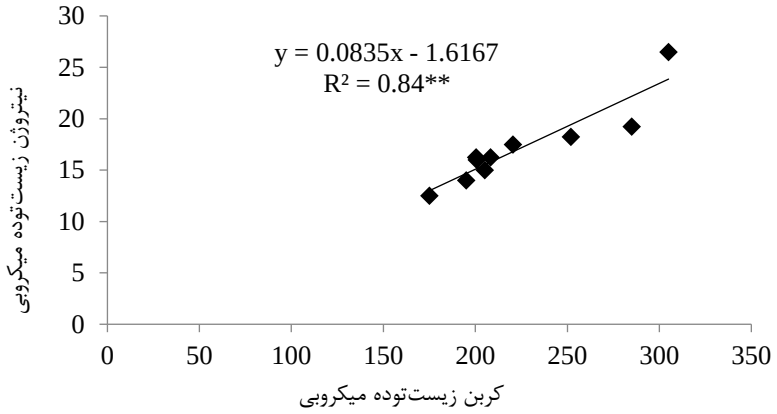
شکل ۳- تأثیر سطوح مختلف کلرید کادمیوم بر میزان کربن و نیتروژن زیست‌توده میکروبی (Cmic and Nmic)، میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد هستند



شکل ۴- تأثیر سطوح مختلف کلرید کبالت بر میزان کربن و نیتروژن زیست‌توده میکروبی (Cmic and Nmic)، میانگین‌های دارای حروف مشترک فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد هستند



شکل ۵- رابطه رگرسیونی بین تنفس برانگیخته خاک با میزان زیست‌توده میکروبی کربن تحت شرایط آبیاری با کلرید کادمیوم



شکل ۶- رابطه رگرسیونی بین نیتروژن زیست‌توده میکروبی با کربن زیست‌توده میکروبی تحت شرایط آبیاری با کلرید کادمیوم

رابطه نیتروژن زیست‌توده میکروبی با کربن زیست‌توده میکروبی تحت شرایط آبیاری با کلرید کادمیوم نیز دارای همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری ($P \leq 0.01$) بود. همان‌گونه که در شکل (۶) ملاحظه می‌شود با افزایش کربن زیست‌توده میکروبی، میزان شاخص نیتروژن زیست‌توده میکروبی روند افزایشی نشان داد (شکل ۶).

ضرایب میکروبی

در نمونه شاهد، شاخص‌های بهره میکروبی، Nmic/Ntotal، ضریب متابولیکی و زیست‌توده میکروبی فعال دارای بیشترین مقدار گردید و با افزایش غلظت کلرید کادمیوم این شاخص‌ها کاهش یافتند (جدول ۴). بیشترین زیست‌توده میکروبی فعال ۶/۳۷ میلی‌گرم در کیلوگرم و کمترین بهره متابولیکی با مقدار (µg CO_2-C mg MB-$C^{-1}h^{-1}$) ۱۷۵مربوط به نمونه شاهد بود، بیشترین میزان ضریب متابولیکی با مقدار ($\mu gCgMBC^{-1}day^{-1}$) ۲/۰۱ و سهم یا بهره میکروبی با gC_{mic}/gC_{org} ۴/۷۴ و بیشترین نیتروژن میکروبی از نیتروژن کل خاک با مقدار ۳/۹۰ در تیمار شاهد به دست آمد (جدول ۴).

جدول۴- اثرات آبیاری با کلرید کادمیوم بر شاخص‌های میکروبی خاک در طی فصل رشد گیاه مرزه

غلظت‌های کلرید کادمیوم (mmol)	Cmic/Nmic	Nmic/Ntotal	qmic ($\mu gCgCmic^{-1}day^{-1}$)	Ba ($mg.kg^{-1}$)
شاهد	۴/۷۴[a]	۳/۹۱[a]	۲/۰۱[a]	۶/۳۷[a]
۱۰۰	۳/۶۴[ab]	۲/۴۶[b]	۱/۲۵[b]	۵/۹۰[ab]
۲۰۰	۳/۳۹[b]	۲/۲۱[b]	۱/۲۲[b]	۵/۷۲[b]
۴۰۰	۲/۹۳[b]	۱/۹۹[b]	۱/۳۸[b]	۴/۸۴[c]

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ۵- اثرات آبیاری با کلرید کبالت بر شاخص‌های میکروبی خاک در طی فصل رشد گیاه مرزه

غلظت‌های کلرید کبالت (mmol)	Cmic/Nmic	Nmic/Ntotal	qmic ($\mu gCgCmic^{-1}day^{-1}$)	Ba ($mg.kg^{-1}$)
شاهد	۱۱/۲^{b}	۳/۹۱^{a}	۲/۰۲^{a}	۶/۳۷^{a}
۱۰۰	۱۳/۲^{ab}	۳/۳۸^{b}	۱/۰۶^{b}	۶/۰۳^{ab}
۲۰۰	۱۲/۵^{ab}	۳/۰۰^{bc}	۱/۰۶^{b}	۵/۴۵^{b}
۴۰۰	۱۵/۸^{a}	۲/۷۸^{c}	۱/۲۴^{b}	۴/۵۸^{c}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

بیش‌ترین مقدار Cmic/Nmic در غلظت ۴۰۰ میلی‌مولار با مقدار ۱۵/۸۶ برآورد شد. نمونه شاهد دارای بیشترین مقادیر بهره میکروبی (Nmic/Ntotal)، زیست‌توده میکروبی فعال، بهره میکروبی با مقدار gC_{mic}/gC_{org}، نیتروژن میکروبی به نیتروژن کل (۳/۹۱) شد و همچنین ضریب متابولیکی نیز با مقدار ($\mu gCgMBC^{-1}day^{-1}$) ۲/۰۲ در نمونه شاهد برآورد شد (جدول ۵).

بحث

بر اساس نتایج، افزایش غلظت کلرید کادمیوم و کلرید کبالت در آب آبیاری سبب ایجاد تغییرات منفی و معنی‌داری بر بسیاری از شاخص‌های میکروبی خاک گلدان‌ها گردید. بیشترین میزان تنفس پایه و برانگیخته خاک در نمونه خاک شاهد مشاهده شد (اشکال ۱ و ۲). کاهش تنفس میکروبی پایه نشان از کاهش جمعیت فعال میکروبی است، استفاده از آب دارای نمک‌ها و املاح مثل پساب‌های صنعتی سبب کاهش تنفس میکروبی می‌گردد (Moradinasab *et al*., 2016) که با نتایج حاضر همخوانی دارد، افزایش آلودگی خاک کاهش چشمگیری در تنفس خاک ایجاد می‌شود (Olga et al., 2002) اما در غلظت‌های پایین آلودگی با فلزات سنگین تنفس خاک کاهش قابل ملاحظه‌ای پیدا نمی‌کند (Ghorbani *et al*., 2002; Shirzadeh *et al*., 2013).

تنفس برانگیخته نشان از توان جامعه میکروبی برای استفاده و تجزیه این سوبسترا می‌دهد. تنفس برانگیخته را معیاری از تنوع جامعه میکروبی، میزان کارکرد و پتانسیل آن جامعه و کیفیت شرایط محیطی خاک می‌دانند (Raiesi, 2006). همچنین کاهش تنفس خاک با افزایش سطح شوری گزارش شد که نشان از تأثیر نوع و میزان تنش و آلودگی بر میزان تنفس خاک می‌باشد (Sardinha *et al*., 2003). اختلاف در ترکیباتی همانند پروتئین، سلولز، پکتین، همی‌سلولز و پلی‌فنل‌ها که متأثر از ترکیب گونه گیاهی یک اکوسیستم هستند، اثر قابل توجهی بر سرعت تجزیه مواد، چرخش عناصر و انجام توان باروری خاک دارد (Aliasgharzad *et al*.,2011).

ارزیابی تأثیر آبیاری با آب چاه و پساب صنعتی برخی شاخص‌های کیفیت شیمیایی و بیولوژیکی خاک اراضی فضای سبز مجتمع فولاد مبارکه نشان داد که تنفس پایه میکروبی و آمونیفیکاسیون آرژینین به دلیل استقرار پوشش گیاهی افزایش معنی‌داری را در مقایسه با تیمار شاهد داشته است (Moradinasab *et al*., 2016). با افزایش غلظت نمک‌ها در آبیاری تنفس برانگیخته روند کاهشی پیدا کرده است که این نشان از کاهش توان بالقوه خاک برای فعالیت میکروبی و کاهش کارایی و تنوع جمعیت زیست‌توده میکروبی است (Khalighi and Khara, 2006). کاهش زیست‌توده‌های میکروبی و تنفس خاک در اثر افزایش غلظت کادمیوم به اثبات رسیده است (José *et al*., 2002).

با افزایش غلظت دو نمک در آب، میزان کربن و نیتروژن زیست‌توده‌های میکروبی کاهش معنی‌داری پیدا کردند و کمترین مقدار در غلظت ۴۰۰ میلی‌مولار دو نمک تخمین زده شد (شکل-های ۳ و ۴). بین شاخص‌های کیفیت خاک و زیست‌توده میکروبی ارتباط مستقیمی وجود دارد. میزان زیست‌توده‌های میکروبی خاک از شاخص‌های بسیار حساس به مسائل مدیریت اراضی و نحوه استفاده از زمین است (Mirahmadi and Safari, 2003). گاهی زیست‌توده میکروبی به عنوان یک شاخص حساس به غلظت آلاینده‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (Fortes et al., 2012). نوع و میزان پوشش گیاهی، شرایط آب و هوایی، شرایط استفاده از زمین، آلاینده‌های انسانی، مدیریت کود، سم، عملیات خاک‌ورزی و سیستم‌های مدیریت کشاورزی از عوامل تأثیرگذار بر تغییرات زیست‌توده میکروبی خاک قلمداد می‌شوند (Ghollarata and Raiesi, 2007).

نمونه شاهد دارای بیشترین مقدار بهره میکروبی، Nmic/Ntotal، ضریب متابولیکی و زیست‌توده میکروبی فعال گردید (جدول‌های ۴ و ۵). شاخص‌های میکروبی که از روابط نسبت‌های بین کربن و نیتروژن زیست‌توده میکروبی، تنفس خاک و ماده آلی با یکدیگر به دست می‌آیند، نشان از میزان کارکرد و پویایی جامعه میکروبی هستند (Raiesi, 2007; Shirzadeh *et*

al., 2013). در مورد عوامل مؤثر بر بهره میکروبی و بهره متابولیت، اختلافاتی وجود دارد و این اختلافات از نتایج به دست آمده از تحقیقات سایر محققین است. ضریب متابولیکی در تنش‌های محیطی افزایش می‌یابد (Bunemann *et al*., 2006). همچنین نتایج (Kazemalilou and Rasouli-Sadaghiani, 2013) نشان داده است که کادمیوم سبب افزایش ضریب متابولیکی می‌شود. پژوهش حاضر با بررسی‌های سایر محققین درباره کاهش qCO_2 در اثر استفاده از آب لجن و فاضلاب در آبیاری مطابقت دارد (Carmo, 2001; Lopes, 2001).

نتیجه‌گیری

بیشترین غلظت تنفس پایه و برانگیخته در تیمار آبیاری با شاهد به دست آمد و افزایش غلظت کلرید کادمیوم و کلرید کبالت سبب کاهش تنفس پایه و تنفس برانگیخته خاک شد. فعالیت هتروتروفی خاک، تجزیه مواد آلی و انتشار دی‌اکسیدکربن، بخش قابل‌توجهی از کربن بیوسفر در خاک است و از این رو مهم است که حدود دو برابر ذخیره کربن اتمسفر را تشکیل می‌دهد.

با افزایش غلظت نمک‌ها، میزان کربن و نیتروژن زیست‌توده زنده میکروبی در غلظت ۴۰۰ میلی مولار هر دو نمک موجود در آبیاری کاهش معنی‌داری داشته‌اند. نیتروژن و کربن زیست‌توده میکروبی از شاخص‌های اصلی توان بیولوژیک خاک و معیاری از ذخیره ارزشمند کربن و نیتروژن آلی خاک هستند که می‌توانند به سهولت به‌صورت معدنی درآمده و نیاز غذایی گیاهان را تأمین و سبب افزایش کیفیت و حاصلخیزی خاک شوند.

بهره میکروبی، Nmic/Ntotal، نیتروژن میکروبی به نیتروژن کل، زیست‌توده میکروبی فعال و ضریب متابولیکی در تیمار شاهد بیشترین مقدار و افزایش غلظت هر دو نمک محلول سبب کاهش مقدار ضرایب میکروبی تحقیق حاضر گردید.

در بسیاری از مناطق ایران به کیفیت آب آبیاری توجه جدی نمی‌شود که خود سبب ورود بسیاری از نمک‌ها و فلزات سنگین به اکوسیستم خاک‌های کشاورزی می‌شود، افزایش آلودگی در خاک اراضی کشاورزی سبب کاهش بسیاری از شاخص‌های کیفیت و سلامت خاک از جمله کیفیت خصوصیات میکروبی می‌شود. کاهش کیفیت و سلامت خاک در دراز مدت بهره‌وری و رشد گیاه را تحت تأثیر قرار داده و همچنین جذب عناصر سمّی به وسیله ریشه گیاه و به تبع آن ورود به زنجیره غذائی سبب بروز خطرات جدی برای سلامت انسان‌ها و حیوانات می‌گردد. بنابراین، توجه بیشتر به مسئله کیفیت آب آبیاری امری ضروری به نظر می‌رسد تا بتوان از کاهش کیفیت زیستی و حاصلخیزی خاک جلوگیری کرد..

REFERENCES

Agha Alikhani, M., Iranpour, A. and Naghdi Badi, H. (2013). Changes in agronomical and phytochemical yield of purple coneflower (*Echinaceae purpurea* (L.) Moench) under urea and three bio-fertilizers application. *Medicinal Plants*, 2(46), 121-136. (In Farsi)

Alef, A. and Nannipieri, P. (1995). *Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry*. Academics Press. UK.

Aliasgharzad, N., Molaei, A. and Oustan, S. (2011). Pollution induced community tolerance (PICT) of microorganisms in soil incubated with different levels of lead. WASET 60: 1469-1473.

Azizi, A. and Mirblouk, A (2017).The effect of chromium and vermicompost on some microbial and ecophysiological indices of soil. *Water and Soil Science*, 27(4), 13-25. (In Farsi)

Black, C. A. (1986). Method of Soil Analysis, Part 2, chemical and microbiological properties. In: A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney (Eds.), *Methods of Soil*. (pp. 131-172). American Society of Agronomy, Inc, Publisher, Madison, Wisconsin USA.

Bouuyoucos, U. I. (1962). Hydrometer Method improved for making particle size analysis of soil. *Agronomy*, 54, 464-465.

Bremner, J. M. (1965). Total Nitrogen. In: A. L. Page., R. H. Miller and D. R. Keeney (Eds,). *Methods of Soil Analysis, part 2*. (pp. 1149-1178.). American Society of Agronomy, Inc, Publisher, Madison, Wisconsin USA.

Briggs, L. J. and Shantz, H. L. (1912). *The wilting coefficient for different plants and its indirect determination*. USDA Bureau of Plant Industry Bull 230. U.S. Gov. Printing Office, Washington, DC.

Brookes, P. C., Heijnen, C. E., McGrath, S. P. and Vance, E. D. (1986). Soil microbial biomass estimates in soils contaminated with metals. *Soil Biology and Biochemistry*, 18: 383-388.

Bunemann, E. K. Schwenke, G. D. and Van Zwieten, L. (2006). Impact of agricultural inputs on soil organisms. *A Paper Review*, 44, 379-406.

Carmo, J. B. (2001). *Impacto da aplicacao de biossólidos nas atividades microbianado solo*. M.Sc. Dissertation, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, Brasil.

Dayani, L. and Raiesi, F. (2012). The response of N mineralization, microbial biomass N and urease activity in Cd contaminated soils to compost addition. *Agricultural and Ecological*, 2(2). 1-15. (In Farsi)

Fortes, C., Trivelin, P.C.O. and Vitti, A.C. (2012) Long-term decomposition of sugarcane harvest residues in Sao Paulo state, Brazil. Biomass and Bioenergy, 42:189-198.

Fritze, H. and Perkiomaki J.U. (2000). Effects of Cd-containing wood ash on the microflora of coniferous forest humus. *FEMS Microbiology*

Ecology, 32:43-51.

Ghollarata, M. and Raiesi, F. (2007). The adverse effect of soil salinization on the growth of Trifolium alexandrinum L. and associated microbial and biological properties in a soil from Iran. *Soil Biology and Biochemistry*, 39, 1699-1702.

Ghorbani, N. R. Salehrastin, N. and Moeini, A. (2002). Heavy metals affect the microbial populations and their activities, *17th WCSS. Thailand, Symposium no.* 54, 1-11.

Hadian, J. (2008). Genetic diversity of Iranian accessions of (Satureja hortensis L.) species. Ph. D. Doctor of Science in Horticulture. Department of agricultural and natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran. (In Farsi)

Herrick, J. E. (2000). Soil quality: an indicator of sustainable land management. *Applied Soil Ecology*, 15, 75-83.

Jenkinson, D. S. and Powlson, D. S. (1976). The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. I. Fumigation with chloroform. *Soil Biology and Biochemistry*, 8: 167-177.

José, L. M. Hernandez, T. Perez, A. and Garcıa, C. (2002). Toxicity of cadmium to soil microbial activity: effect of sewage sludge addition to soil on the ecological dose. *Soil Ecology*, 21, 149-158.

Karimi, A., Khodaverdi, H., Rasuli Sedghiani, M. and Ahmadi, P. (2011). Influence of lead contamination on some biological parameters of soil quality in the presence of a tartan rangeland. In: *First National Congress of Science and Technology in Agriculture, 17-19, September*, Zanjan, Zanjan University. pp. 314-346. (In Farsi)

Kazemalilou, S. and Rasouli-Sadaghiani, M. H. (2013). An evaluation of some soil biological indices in the presence of growth-promoting rhizobacteria and when soil contamination with Cd. *Soil and Water Research*, 44(1), 57-68. (In Farsi)

Khalighi, A. and Khara, J. (2006), The effect of arbuscular mycorrhizal fungus Glomus intraradices on some growth and physiological parameters in wheat (cv. Azar 2) plants under cadmium toxicity. *Biology Department*, 2 (21), 216-230. (In Persian)

Klute, A. (1986). Water retension laboratory methods. In: A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney (Eds.), *Method of soil analysis Part 1. Physical and Mineralogical methods*. (pp. 635-662). American Society of Agronomy, Inc, Publisher, Madison, Wisconsin USA.

Lopes, E. B. M. (2001). *Diversidade metabólica em solo tratado com biossólidos*. M.Sc. Dissertation, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, Brasil.

Mandal, U. K., Warrington, D., Bhardwaj, A., Bar-Tal, A., Kautsky, L., Minz, D. and Levy, G. (2008). Evaluating impact of irrigation water quality on a calcareous clay soil using principal component analysis. *Geoderma*, 144, 189-197.

Martens, R. (1995) Current methods for measuring microbial biomass C in soil: potentials and limitations. Biology and Fertility of Soils, 19: 87-99.

Mclen, E. D. (1982). Soil pH and lime reguiremet, In: A. L. Page., R. H. Miller and D. R. Keeney (Eds,). *Methods of Soil Analysis, part 2*. (pp. 199-224). *American Society* of *Agronomy, Madison, WI*.

Mermoud, A., Yacouba, H. and Boivin, P. (2013). Impacts of irrigation with industrial treated wastewater on soil properties. *Geoderma*, 200, 31-39.

Mirahmadi, H. and Safari, A. A. (2003). The effect of lead contamination on basal and Subestrat Induced respiration soil, In: Proceedings of Congress on Soil and stable environment in Karaj, Buali-Sina University, Hamedan, Iran. (In Farsi)

Moradinasab, V., Shirvani, M., Shamsaee, M. and Babaee, M. R. (2016). Assessing some chemical and biological quality attributes of soils irrigated with groundwater and treated industrial waste water in green space of mobarake steel complex. *Journal of Water and Soil Science*, 19(74), 101-111. (In Farsi)

Nelson, D. W. and Sommers, L. E. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: A. L. Page., R. H.

Page, C., Sparks, D.L., Noll, M.R., Hendricks, G.J. (1987). Kinetics and mechanisms of potassium release from sandy Middle Atlantic Coastal Plain soils, Soil Sci, Soc. Am, J, 51: 1460-1465.

Olga, M. Jaromir, K. and Jitka, N. (2002), Some microbiological characteristics and enzymatic activities in soil polluted with heavy metals, 17 th WCSS, Thailand, Symposium no, 792, 1-7.

Ollinger, S. V., Aber J. D., Reich, P. B. and Freuder, R. (2002). Interactive effects of nitrogen deposition, tropospheric ozone, elevated CO_2 and land use history on the carbon dynamics of northern hardwood forests. *Glob Chang Biology*, 8, 545-562.

Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S. and Dean, L.A. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circ. 939. US Gov. Print. Office, Washington, DC.

Raiesi, F. (2007). The conversion of overgrazed pastures to almond orchards and alfalfa cropping systems may favor microbial indicators of soil quality in Central Iran. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 121, 309-318.

Raiesi, F. (2006). Carbon and N mineralization as affected by soil cultivation and crop residue in a calcareous wet land ecosystem in Central Iran. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 112, 3-20.

Renella,G., Mench, M., Landi, L. and Nannipieri, P. (2005). Microbial activity and hydrolase synthesis in long-term Cd-contaminated soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 37,133-139.

Sardinha, M. T., Muller, H., Schmeisky, R. and Joergensen, G. (2003). Microbial performance in soils along a salinity gradient under acidic conditions. *Applied Soil Ecology*, 23, 237-244.

Shi, Z., Lu, Y., Xu, Z. and Fu, S. (2008). Enzyme

activities of urban soils under different land use in the Shenzhen city, China. *Plant Soil Environmental*, 54, 341-346.

Shirzadeh, N., AliAsgharzad, N. and Najafi, N. (2013). Changes in microbial biomass carbon, ecophysiological indices, basal respiration and substrate-induced respiration of soil after incubation with different lead levels. *Water and soil Science*, 23(2), 111-124. (In Farsi)

Suman, A., Singh, A. K. and Gaur, A. (2006). Microbial biomass turnover in Indian subtropical soils under different sugarcane intercropping systems. *Agronomy*, 98, 698-704.

Tejada, M. (2009). Application of different organic wastes in a soil polluted by cadmium: Effects on soil biological properties. *Geoderma*, 153, 254-268.