مستخرج از پایان نامه

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و چهارم، شماره یازده، بهمن ماه ۱۴۰۱(۹۵ -۸۳)

تعیین پراکنش مکانی برخی عناصر سنگین خاک و تأثیر آن بر عملکرد گیاه سویا در منطقه ساری

فاطمه تقوی قاسمخیلی[۱]
همت‌اله پیردشتی[۲*]
h.pirdashti@sanru.ac.ir
مصطفی عمادی[۳]
محمدعلی تاجیک قنبری[۴]

تاریخ دریافت: ۹۵/۲/۱۲ **تاریخ پذیرش: ۹۵/۷/۱۴**

چکیده

زمینه و هدف: آلودگی خاک به عناصر سنگین به‌عنوان یکی از عوارض مهم به‌هم خوردن تعادل و توازن طبیعت، در چند دهه گذشته مورد توجه پژوهشگران زیادی قرار گرفته است. لذا، این پژوهش به‌منظور بررسی احتمال آلودگی برخی عناصر سنگین در خاک محدوده کارخانه ام دی اف سازی واقع در شهرستان ساری و تأثیر آن بر عملکرد گیاه سویا انجام انجام گرفته است.

روش بررسی: این پژوهش در تابستان ۱۳۹۳ در یک مزرعه سویا با وسعت ۳۶۰۰ متر مربع در مجاورت کارخانه امدی‌اف‌سازی (آرین سینا) شهرستان ساری انجام شد. برای این منظور، در منطقه‌ای به وسعت ۳۶۰۰ متر مربع، ۳۲ نمونه خاک از ۱۶ نقطه (عمق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متر) و ۴۸ نمونه گیاهی جمع‌آوری شد. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه مقادیر قابل جذب عناصر سنگین خاک اندازه‌گیری گردید. همبستگی بین عملکرد و اجزای عملکرد با مقادیر عناصر سنگین نیز صورت گرفت.

یافته‌ها: با توجه به نقشه پراکنش عناصر و رگرسیون گام به گام، مشخص شد عنصر کادمیوم تأثیر معنی‌داری بر افزایش تعداد غلاف پوک در بوته داشت به‌گونه‌ای که با افزایش هر واحد کادمیوم، تعداد غلاف پوک در بوته به‌میزان ۰/۵ عدد در هر واحد افزایش یافت. همچنین برهمکنش معنی‌داری بین دو عنصر کادمیوم و آهن در کاهش وزن هزار دانه مشاهده شد. بر همین اساس، بیشترین وزن هزار دانه (۱۳۱ گرم) در نقاطی با کمترین غلظت کادمیوم و آهن مشاهده شد. همچنین با روی‌هم اندازی نقشه پراکنش عنصر روی و تعداد دانه پوک در بوته مشخص گردید که این صفت بیشتر تحت کنترل عنصر روی قرار دارد، به‌طوریکه با افزایش هر واحد روی در خاک، تعداد دانه پوک در بوته ۰/۵۳ واحد افزایش نشان داد.

۱- دانش آموخته دکتری رشته زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
۲- استاد، گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست‌فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری . *(مسوول مکاتبات)
۳- دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
۴- دانشیار گروه گیاهپزشکی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

بحث و نتیجه‌گیری: در مجموع، با تعیین نقشه پراکنش عناصر سنگین و تطبیق آن با عملکرد و اجزای عملکرد گیاه می‌توان به شناسایی مناطق آلوده و عوامل مؤثر در کنترل و گسترش فلزات سنگین در خاک‌ها و بررسی اثرات آن‌ها بر عملکرد گیاه پرداخت.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، پراکنش مکانی، عناصر سنگین.

J. Env. Sci. Tech., Vol 24, No. 11, February, 2023

Determining the Spatial Distribution of Some Heavy Metals and Their effects on Soybean Yield at Sari Region

Fatemeh Taghavi Ghasemkheyli [1]
Hemmatollah Pirdashti [2*]
h.pirdashti@sanru.ac.ir
Mostafa Emadi[3]
Mohammad Ali Tajick Ghanbary[4]

Admission Date:October 5, 2016 Date Received: May 1, 2016

Abstract

Background and Objective: This study aimed to investigate the possibility of heavy metals contamination in the soil next to MDF factory located in Sari, Mazandaran province, Iran and their effects on soybean yield.

Material and Methodology: Accordingly, in an area of 3600 square meters 32 soil samples from 16 points (0-15 and 15-30 cm) and 48 plant samples were collected. After transferring the samples to the laboratory, absorption of heavy metals in the soil was measured. Also, the correlation between the yield and yield components with heavy metals were determined.

Findings: Distribution map of heavy metals and stepwise regression results showed that the cadmium significantly affected the number of unfilled pods per plant. When Cd increased, the number of unfilled pod increased as the rate of 0.5 per unit. In addition, a significant interaction existed between cadmium and iron for the 1000 grain weight. Accordingly, the maximum 1000 grain weight (131 g) was observed at the areas with the lowest concentration of cadmium and iron. Also, overlapping of distribution map of Zn and the number of unfilled grain per plant indicated that this parameter mainly controlled by Zn. Hence, the number of unfilled grain per plant increased as the rate of 0.53 per unit of Zn in the soil.

Discussion and Conclusion: In conclusion, determining distribution map of heavy elements and overlapping with the yield and yield components not only help to identify contaminated areas and effective factors on spread of heavy metals into the soils but also help to evaluate their consequence effects on plant performance.

Keywords: Yield Components, Spatial Distribution, Heavy Metals.

1- Ph.D. of Agronomy, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
2- Professor, Department of Agronomy, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. * *(corresponding author)*
3-Associate of Professor, Department of Soil Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
4-Associate of Professor, Department of Plant Phytopathology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.

مقدمه

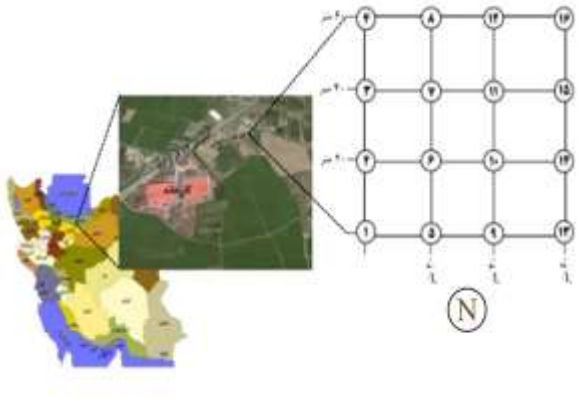
طی سال‌های اخیر و در نتیجه اجرای بعضی برنامه‌های توسعه اقتصادی، صنعتی، کشاورزی و خدماتی در مناطق مختلف جهان، تعادل و توازن طبیعت در مواردی به‌هم خورده است که این امر عوارضی را در مقیاس‌های محلی یا منطقه‌ای و حتی جهانی به‌همراه داشته است (۱ و ۲). آلودگی خاک به عناصر سنگین به‌عنوان یکی از عوارض مهم به‌هم خوردن تعادل و توازن طبیعت، در چند دهه گذشته مورد توجه پژوهشگران زیادی قرار گرفته است (۱ و ۳). در این میان فاضلاب‌های صنعتی را می‌توان از جمله عوامل آلوده‌کننده خاک با احتمال وجود عناصر سنگین در نظر گرفت (۲، ۴ و ۵). هر چند این عناصر به طور طبیعی دارای غلظت کمی در خاک هستند، اما پراکنش جغرافیایی آن‌ها چه به‌صورت طبیعی و چه از طریق فعالیت‌های انسانی مشکلات و مسائلی را در بر خواهد داشت (۱). با وجود اهمیت فلزات سنگین، در بسیاری از استان‌های کشور اطلاعات کمی از نحوه توزیع این عناصر در خاک به‌ویژه در مناطق صنعتی وجود دارد (۱). به طور مثال، جلالی و همکاران (۶) تهیه نقشه پراکنش مکانی آهن، منگنز و مس را در شرق استان مازندران، براتی و همکاران (۷) توزیع مکانی کروم، کبالت و نیکل را در خاک‌های سطحی استان همدان و جلالی و همکاران (۸) پراکنش مکانی عنصر روی و حد بحرانی آن را برای سویا در شرق استان مازندران بررسی و گزارش نمودند.

در خلال دو دهه اخیر، مطالعات زیادی در زمینه استفاده از روش‌های پردازش زمین آماری به‌منظور بررسی تغییرات مکانی آلودگی خاک صورت گرفته است (۲ و ۱۳- ۱۰). این روش‌ها، تبیین و صورت‌بندی کمی الگوی مکانی آلاینده‌ها را تسهیل بخشیده و پژوهشگران را قادر ساخته تا اقدام به درون‌یابی مکانی و پهنه‌بندی غلظت آلاینده‌های مختلف نمایند. به‌طوری که اخیراً، برخی از مطالعات زمین آماری بر آلودگی خاک توسط عناصر سنگین ناشی از فعالیت‌های صنعتی متمرکز شده است (۱۰، ۱۳ و ۱۴). روش‌های مختلفی برای تهیه نقشه و پیش‌بینی توزیع مکانی وجود دارد. روش‌های زمین آماری به دلیل در نظر گرفتن موقعیت و آرایش داده‌ها و همچنین همبستگی مکانی آن‌ها، عملکرد بهتری دارند (۱۵ و ۱۶). به‌گونه‌ای که فهم تغییرات مکانی مزرعه و ارتباط آن با عملکرد محصول، مبنایی برای بهبود استفاده از نهاده‌ها، افزایش عملکرد محصول و مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی را فراهم می‌کند (۱۷). همچنین مدیریت مزرعه بر اساس مجموعه‌ای از نقاط گسسته نمونه‌برداری، امکان‌پذیر نمی‌باشد و باید این داده‌ها در قالبی پیوسته از اطلاعات تبدیل گردند (۸). بنابراین، دست‌یابی به اطلاعات در زمینه چگونگی توزیع فلزات سنگین در خاک برای ارزیابی دقیق‌تر خطر آلودگی خاک از اهمیت بسیار زیادی برخوردار می‌باشد (۱۸). به‌گونه‌ای که اطلاعات در مورد ویژگی‌های خاک، برای مدیریت اراضی زراعی و تصمیم‌گیری جهت انتخاب راهبردهای خاص برای مطالعه تفاوت ویژگی‌های خاک در مناطق گسترده‌تر کمک می‌نماید (۶).

از طرف دیگر به‌دلیل افزایش مصرف سویا به‌ویژه در کشورهای توسعه یافته،توجه بیشتری شده است. امروزه در بسیاری از مناطق صنعتی آلوده به برخی فلزات سنگین نیز کشت می‌شود (۱۹). بنابراین، این پژوهش به‌دلیل حضور کارخانه در بافت روستایی و احتمال نشر آلودگی حاصل از فاضلاب کارخانه در کانال‌های آبیاری اراضی مجاور با هدف بررسی احتمال آلودگی عناصر مس، روی ، منگنز، آهن، سرب و کادمیوم در مزرعه سویا در منطقه شهرک صنعتی شهرستان ساری انجام شد. برای بررسی دقیق‌تر، پراکنش مکانی این عناصر در خاک تحت آبیاری در مسیر کانال و بررسی روابط آن‌ها با عملکرد و اجزای عملکرد گیاه سویا (رقم هیل) نیز مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در تابستان ۱۳۹۳ در یک مزرعه سویا با وسعت ۳۶۰۰ متر مربع (طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۶ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۴ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱- متر از سطح دریا) در مجاورت کارخانه امدی‌اف‌سازی (آرین سینا) شهرستان ساری انجام شد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و نمایی از شبکه نمونه‌برداری

Figure 1. Geographical location of the study area and a view of the sampling grid

بدین منظور با ورود مختصات جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری به دستگاه GPS و حضور در موقعیت یاد شده، جمعاً ۳۲ نمونه خاک مرکب از ۱۶ نقطه به فاصله ۲۰ متر در مسیر کانال آبیاری در دو عمق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ با استفاده از دستگاه اوگر جمع‌آوری شد. با توجه به الگوی نمونه‌برداری (شکل ۱)، نقاط ۱-۱۳ در مختصات شمالی و نقاط ۱۶- ۴ در مختصات جنوبی منطقه واقع شده است. به‌گونه‌ای که نقاط ۱ تا ۴ در مجاورت کانال آبیاری و سایر نقاط نمونه‌برداری با فاصله ۲۰ متری از این نقاط قرار گرفته‌اند. همچنین در هر نقطه، سه نمونه گیاهی (در مجموع ۴۸ نمونه) جهت بررسی تأثیر عناصر سنگین بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه سویا جمع‌آوری شد. پس از انتقال نمونه‌هابه آزمایشگاه، صفات ارتفاع بوته، تعداد کل غلاف در بوته، تعداد غلاف پر و پوک در بوته، تعداد غلاف سقط شده در بوته، تعداد دانه پوک در بوته، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و وزن هزار دانه اندازه‌گیری و محاسبه شدند. همچنین نمونه‌های خاک پس از هوا خشک شدن و عبور از الک دو میلی‌متری، غلظت قابل جذب فلزات روی، مس، منگنز، آهن، سرب و کادمیوم با روش لیندسی و نورول (۲۰) توسط دستگاه جذب اتمی (مدل Varian Spectra AA-10) قرائت و فرم قابل جذب آن محاسبه شد. همچنین برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه نیز تعین شد (جدول ۱).

جدول ۱- نتایج تجزیه نمونه خاک منطقه مورد مطالعه

Table 1. Analysis of studied region soil samples

EC ($dS.m^{-1}$)	کربن آلی (٪)	نیتروژن (٪)	pH	پتاسیم	فسفر	CEC (Cmol.kg)	بافت خاک
				($mg.kg^{-1}$)			
۱/۱۱	۱/۱۲	۰/۱۱	۷/۱۹	۲۴۰	۶/۴۴	۱۹/۱۳	لومی سیلتی

داده‌ها توسط نرم افزار SPSS (نسخه ۱۶) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای درک صحیح رابطه بین عناصر، برآورد همبستگی بین آن‌ها (۵ و ۱۱) صورت گرفت. در این پژوهش رگرسیون گام به گام با استفاده از معادله ۱ (۲۱) به‌عنوان مدلی برای تعین و برآورد میزان عناصر سنگین خاک و تأثیر آن بر عملکرد گیاه مورد بررسی قرار گرفت. همچنین نقشه پراکنش داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار GS^{+} (نسخه ۵) ترسیم شد.

$$Y= a+bx+cz \quad (1)$$

نتایج

در این پژوهش حداکثر، حداقل و میانگین غلظت عناصر در دو عمق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ خاک در جدول ۲ ارائه شده است. میانگین غلظت عنصر مس در ۱۶ نقطه نمونه‌برداری شده به‌ترتیب در دو عمق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ برابر با ۰/۷۸ و ۰/۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد. به‌گونه‌ای که حداکثر غلظت

مس در لایه سطحی و لایه دوم خاک به‌ترتیب ۱/۰۲ و ۰/۸۸ میلی‌گرم در کیلوگرم مشاهده شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده در این پژوهش مشخص شد غلظت آهن در لایه سطحی و لایه دوم تقریباً در یک سطح بوده و میانگین در حدود ۴/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم بود (جدول ۲).

جدول ۲- غلظت میانگین، بیشینه و کمینه عناصر سنگین در خاک اطراف کارخانه آرین سینا

Table 2. Mean, maximum and minimum concentration of heavy metals in the soil around of Arian Sina factory

لایه خاک (سانتی‌متر)	حدود غلظت	غلظت عناصر سنگین (میلی گرم در کیلوگرم)					
		کادمیوم	سرب	مس	روی	آهن	منگنز
۰ - ۱۵	میانگین	۰/۰۹۳	۰/۹۱۴	۰/۷۸۱	۰/۴۶۷	۴/۳۶۴	۲/۶۲
	بیشینه	۰/۱۲	۱/۱۷	۱/۰۲	۰/۶	۵/۱	۳/۴
	کمینه	۰/۰۵	۰/۶۷	۰/۶۴	۰/۳۲	۳/۴	۲/۱
	میانگین	۰/۰۹۵	۰/۸۵۹	۰/۷۵۵	۰/۴۴۴	۴/۲۱۶	۲/۵۹
	بیشینه	۰/۱۴۵	۱/۲	۰/۸۸	۰/۵۸	۵/۱	۲/۹۵
	کمینه	۰/۰۶	۰/۵۵	۰/۶۲	۰/۳	۳/۶	۲/۲

همچنین بررسی غلظت کادمیوم و سرب نیز نشان می‌دهد که تفاوت چندانی بین غلظت آن‌ها در نقاط نمونه‌گیری دیده نمی‌شود. مقایسه غلظت این دو عنصر با حدود استاندارد این عناصر در مزارع سویا بیانگر آن است که هیچ یک از نقاط به آستانه سمیت نزدیک نیستند (جدول ۲ و ۳).

جدول ۳- حد بحرانی برخی عناصر سنگین در مزارع سویا

Table 3. Critical limit of some heavy metals in soybean fields

منطقه مورد بررسی	حد بحرانی عناصر سنجیده شده (میلی‌گرم در کیلوگرم)		منبع
سویا، شرق استان مازندران	منگنز	۴/۳-۹/۸	(۲۲)
سویا، جنوب تهران	منگنز	۵	(۲۳)
سویا، شرق استان مازندران	روی	۱/۴	(۸)
سویا، شرق استان مازندران	روی	۱/۲۵	(۲۴)
اراضی مرکزی استان مازندران	مس، روی، کادمیوم و سرب	به ترتیب ۳/۲۸، ۲/۴۰، ۰/۲۳ و ۳۴/۲	(۳)

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، حداکثر غلظت کادمیوم در لایه اول خاک ۰/۱۲، حداقل آن ۰/۰۵ و میانگین آن ۰/۰۹۳ میلی‌گرم در کیلوگرم و حداکثر میزان کادمیوم در لایه دوم ۰/۱۴، حداقل آن ۰/۰۶ و میانگین آن ۰/۰۹۵ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد (جدول ۲). به‌طوری‌که بر اساس سطوح ارائه شده در جدول ۳ و نتایج به‌دست آمده در این پژوهش مشخص شد غلظت عناصر در تمامی نمونه‌های مورد بررسی، زیر حد بحرانی قرار دارند (جدول ۲).

در این پژوهش با توجه به ضرایب همبستگی بین میزان عنصر مس در لایه دوم خاک با عناصر آهن، کادمیوم و منگنز (ضریب همبستگی به‌ترتیب ۰/۶۸، ۰/۵۶ و ۰/۵۵) می‌توان نتیجه گرفت که رابطه معنی‌داری بین آن‌ها وجود دارد (جدول ۴). علاوه بر این، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین آهن با سرب و کادمیوم با منگنز نیز مشاهده شد.

جدول ۴- همبستگی پیرسون بین عناصر سنگین مورد مطالعه (n= ۱۶)

Table 4. Pearson's correlation of studied heavy metals (n= 16)

عناصر	کادمیوم	سرب	مس	روی	آهن	منگنز
کادمیوم	۱					
سرب	۰/۱۳	۱				
مس	۰/۵۶*	۰/۴۷	۱			
روی	-۰/۰۶	۰/۶۳**	۰/۳۲	۱		
آهن	۰/۲۰	۰/۷۴**	۰/۶۸**	۰/۳۷	۱	
منگنز	۰/۵۸*	-۰/۰۱	۰/۵۵*	-۰/۲۴	۰/۲۵	۱

** و * به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد

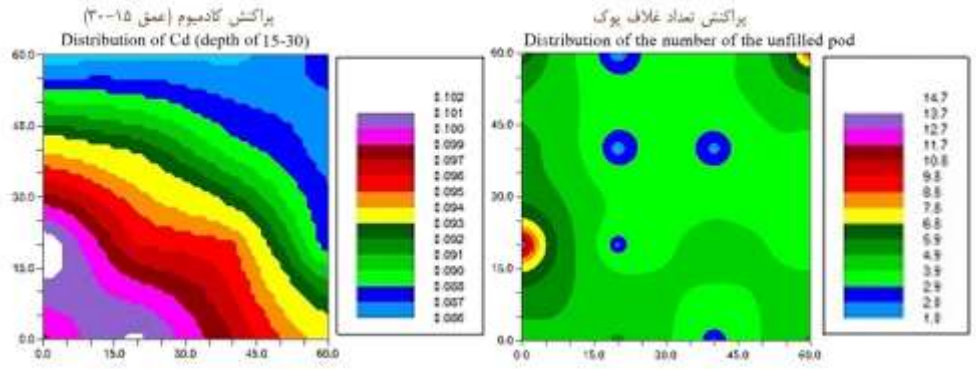
بررسی همبستگی بین غلظت کادمیوم و اجزای عملکرد سویا (معادله استخراج شده از رگرسیون به روش گام به گام) نشان داد اگرچه کادمیوم در غلظتی کمتر از حد مجاز قرار دارد اما با تعداد غلاف پوک در بوته و وزن هزار دانه (به‌ترتیب با ضریب تبیین ۰/۲۵ و ۰/۶۳) رابطه معنی‌داری نشان داد (جدول ۵). به‌گونه‌ای که به ازای هر واحد افزایش کادمیوم (در محدوده اندازه‌گیری شده) تعداد غلاف پوک در بوته با شیب ۰/۵ افزایش یافت.

جدول ۵- رابطه رگرسیونی گام به گام برخی از اجزای عملکرد سویا با غلظت عناصر سنگین در خاک (عمق ۳۰-۱۵)

Table 5. Stepwise regression in some of the soybean yield components with concentrations of heavy metals in soil (depth of 15-30)

متغیر وابسته	متغیر مستقل	معادله	ضریب تبیین (R^2)
تعداد غلاف پوک در بوته	کادمیوم	Y = -۴/۰+۰۳/۵۰۶Cd	۰/۲۵۶
وزن هزار دانه	آهن و کادمیوم	Y = ۲۷۲/۰-۵/۵۹۵Cd-۰/۴۲۲Fe	۰/۶۳۷
ارتفاع بوته	روی	Y = ۷۶/۰-۷۲/۵۵۲Zn	۰/۳۰۵
تعداد دانه پوک در بوته	روی	Y = -۶/۰+۶۸/۵۳۲Zn	۰/۲۸۳

در شکل ۲ نیز پراکنش تعداد غلاف پوک در بوته و عنصر کادمیوم در عمق ۳۰-۱۵ سانتی‌متری نشان داده شده است. با توجه به شکل ۲، در نقاطی که بیشترین میزان تجمع کادمیوم در خاک وجود داشت تعداد غلاف پوک در بوته نیز افزایش یافت. این نقاط در محدوده جنوب‌غربی منطقه نمونه‌برداری واقع شده است و غلظت کادمیوم در این نقاط بین ۰/۰۹۹ تا ۰/۱۰۲ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بوده است.

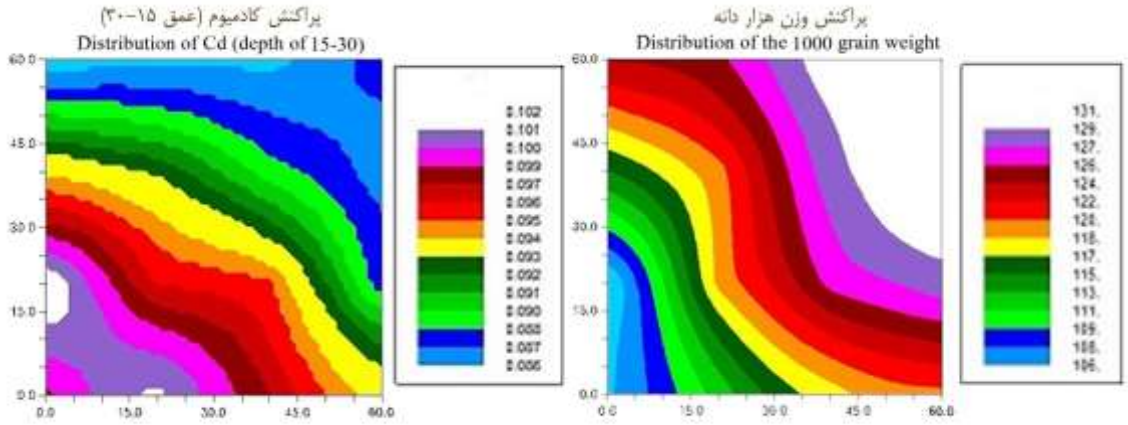


(ب) (الف)

شکل ۲- پراکنش تعداد غلاف پوک (الف) و غلظت کادمیوم (ب)

Figure 2. Distribution of the number of unfilled pod (A) and Cd concentration (B)

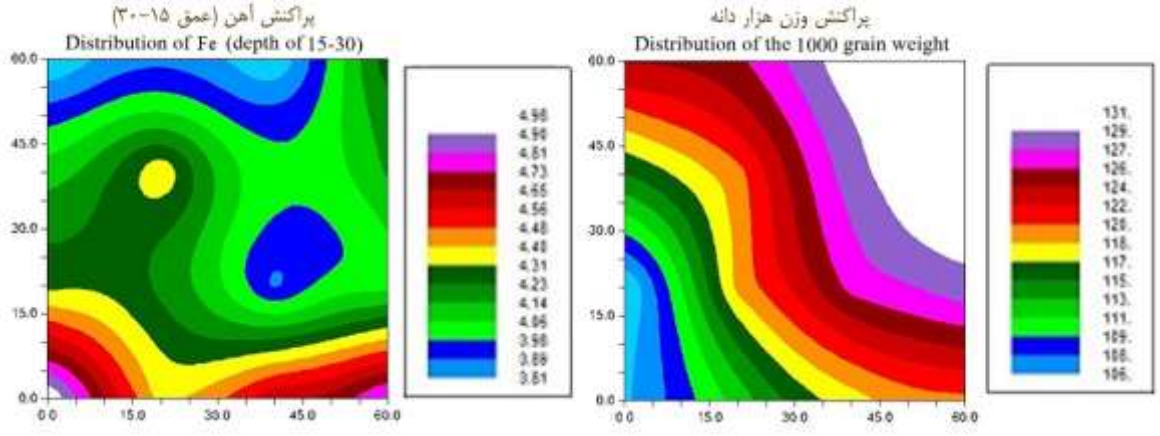
با توجه به معادله رگرسیونی (جدول ۵) و غلظت آهن و کادمیوم در محدوده اندازه‌گیری شده (جدول ۲)، رابطه خطی و معنی‌داری بین این عناصر با وزن هزار دانه وجود دارد به‌طوری که با افزایش غلظت کادمیوم و آهن، وزن هزار دانه یک روند کاهشی داشت. . تطابق پراکنش کادمیوم، آهن و وزن هزار دانه (شکل‌های ۳ و ۴) نشان داد بیشترین وزن هزار دانه (۱۳۱ گرم) در نقاطی با کمترین غلظت کادمیوم و آهن مشاهده شد که مربوط به ناحیه شمال شرقی منطقه نمونه‌برداری می‌باشد (شکل‌های ۱، ۳ و ۴).



(ب) (الف)

شکل ۳- پراکنش وزن هزار دانه (الف) و غلظت کادمیوم (ب)

Figure 3. Distribution of the 1000 grain weight (A) and Cd concentration (B)

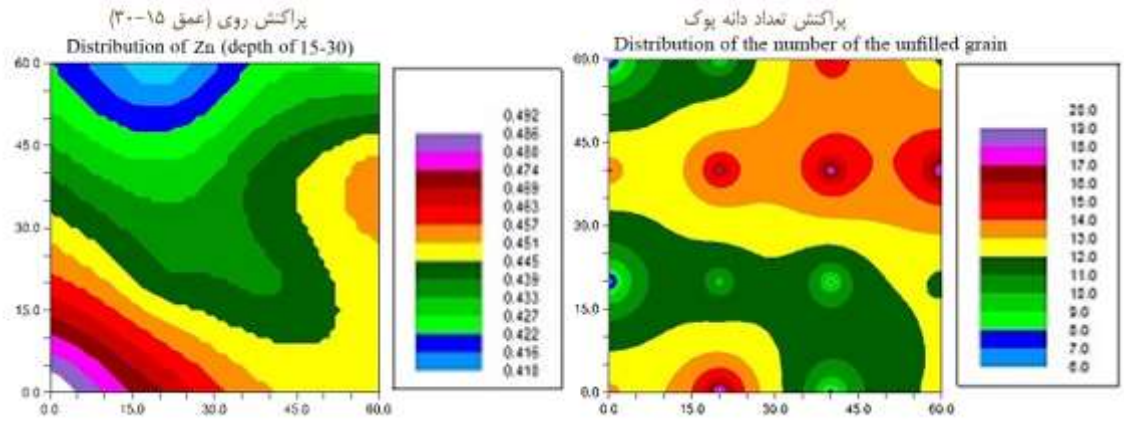


(ب) (الف)

شکل ۴- پراکنش وزن هزار دانه (الف) و غلظت آهن (ب)

Figure 4. Distribution of the 1000 grain weight (A) and Fe concentration (B)

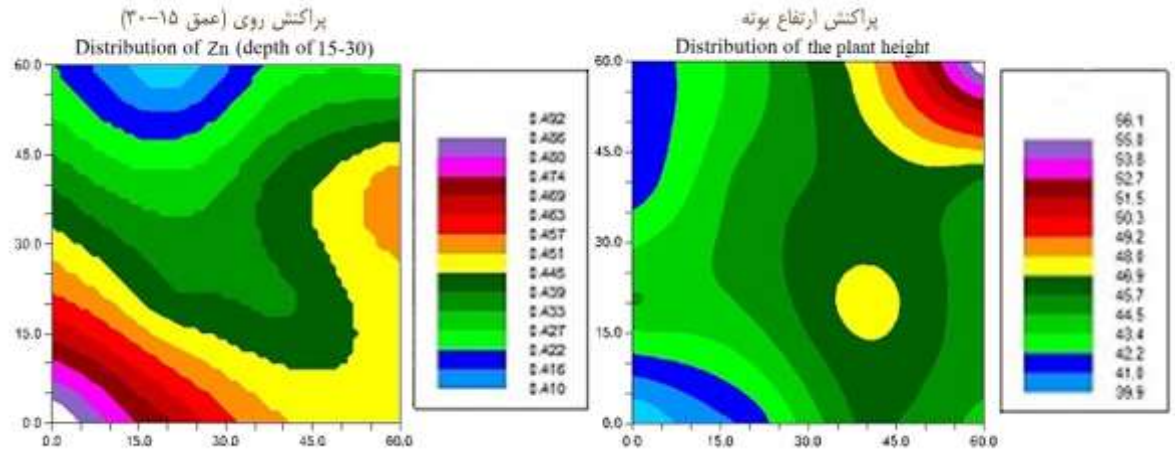
با توجه به نتایج رگرسیون گام به گام (جدول ۵)، همبستگی معنی‌داری بین عنصر روی در محدوده تعیین شده (جدول ۲) با ارتفاع و تعداد دانه پوک در بوته مشاهده شد و از یک رابطه خطی تبعیت نموده است. بدین معنی که با افزایش هر واحد روی در خاک، ارتفاع بوته ۰/۵۵ واحد کاهش، در حالی‌که تعداد دانه پوک در بوته ۰/۵۳ واحد افزایش نشان داد. با توجه به نقشه پراکنش عنصر روی (شکل‌های ۵ و ۶، ب) بیشترین غلظت این عنصر در محدوده جنوب‌غربی منطقه مشاهده شد. در این نقاط، حداقل ارتفاع بوته (شکل ۶، الف) در حدود ۴۱-۳۹ سانتی‌متر مشاهده شد.



(ب) (الف)

شکل ۵- پراکنش تعداد دانه پوک (الف) و غلظت روی (ب)

Figure 5. Distribution of the number of the unfilled grain (A) and Zn concentration (B)



(ب) (الف)

شکل ۶- پراکنش ارتفاع بوته (الف) و غلظت روی (ب)

Figure 5. Distribution of the plant height (A) and Zn concentration (B)

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده در این پژوهش بیشترین غلظت عناصر کادمیوم، آهن و روی در جنوب غربی منطقه مورد مطالعه مشاهده شد. غلظت کادمیوم در این نقاط بین ۰/۰۹۹ تا ۰/۱۰۲ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بوده است که توانسته تعداد غلاف پوک در بوته و وزن هزار دانه را تحت تأثیر قرار دهد. در این راستا مطالعات نشان داد کادمیوم به‌عنوان یکی از فلزات سنگین غیرضروری و آلاینده محیط زیست به علت تحرک بالا و غلظت کم به راحتی از خاک وارد زنجیره غذایی شده و یکی از خطرناک‌ترین فلزات سنگین در گیاهان محسوب می‌شود (۱۲، ۲۳ و ۲۵). به‌گونه‌ای که رایزک و همکاران (۲۶) بیان داشتند با افزایش غلظت کادمیوم وزن هزار دانه در گیاه برنج کاهش یافته است. همچنین موسیوند و همکاران (۲۷) نیز بیان داشتند که غلظت آهن در سطوح بالاتر از ۲/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم باعث کاهش رشد سویا شده است. علاوه بر این با توجه به نقش بسیار مهم عنصر روی در ساختار و راه‌اندازی بسیاری از فرآیندهای متابولیکی گیاه، مشابه سایر عناصر سنگین، تمرکز بالای این فلز در خاک و گیاه سبب بروز برخی علائم ناشی از تنش و عدم رشد طبیعی گیاهان می‌شود. به‌گونه‌ای که بسیاری از فعالیت‌های متابولیکی گیاه سویا در غلظت‌های بالای روی کاهش می‌یابد و در برابر تنش روی مقاومت کمی نشان می‌دهد (۲۸ و ۱۲).

مطالعات نشان داد تجمع عناصر سنگین در سطح خاک تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی قرار می‌گیرد (۲ و ۵). در این میان، عناصر سرب، روی و مس تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی بوده و عنصر کادمیوم نیز بیشتر تحت کنترل عوامل طبیعی و نیز فعالیت‌های کشاورزی قرار می‌گیرد (۳ و ۱۲). دلاور و صفری (۲۹) با تهیه نقشه پراکنش مکانی عناصر سنگین در زنجان نشان دادند که بیشترین غلظت و تجمع این عناصر در مناطق صنعتی مشاهده شده است و با نتایج ژانگا و همکاران (۳۰) مطابقت داشت.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد اگرچه میانگین کادمیوم در لایه دوم (۱۵-۳۰ سانتی‌متر) اندکی بیشتر از لایه اول(۱۵-۰ سانتی‌متر) است. اما به‌نظر می‌رسد انجام شخم سالیانه برای کشت سویا در اختلاط خاک دو لایه و کاهش تفاوت غلظت کادمیوم موجود در آن‌ها تأثیر فراوان دارد (۴). به گونه‌ای که زینکوسکا و همکاران (۲) بیان داشتند عناصر سنگین بیشتر در سطح خاک (۰-۱۵ سانتی‌متر) باقی می‌مانند و با افزایش عمق خاک، غلظت آن‌ها کاهش می‌یابد. هو و همکاران (۵) بیان داشتند تنها ۳۵ درصد از خاک‌های سطحی مناطق صنعتی

آلوده به عناصر سنگین هستند. همچنین علیازیچی و همکاران (۳۱) در پژوهشی گزارش کردند پراکنش مکانی عناصر سنگین در سطح خاک الگوی مشابهی دارد. در همین راستا، پژوهش‌های متعددی در زمینه پراکنش عناصر سنگین در خاک کشاورزی مناطق صنعتی همچون لهستان (۲)، چین (۵ و ۱۳)، بنگلادش (۱۲) استرالیا (۳۱) و نیجریه (۱۱) صورت گرفته است. در این پژوهش‌ها، جهت ارزیابی اثرات زیست‌محیطی عناصر سنگین در خاک‌های یک منطقه، میزان غلظت آن عناصر با یک استاندارد شناخته شده مورد مقایسه قرار گرفت. بر اساس نتایج، بهترین حالت مقایسه با استانداردهای موجود برای همان منطقه است چرا که شرایط زمین‌شناسی و اقلیمی گوناگون در نقاط مختلف دنیا، غلظت‌های متفاوتی از عناصر سنگین را ایجاد می‌کند (۳). لذا با توجه به اهمیت این موضوع، در این پژوهش سعی شده تا به بررسی مطالعاتی که بیشتر در استان مازندران صورت گرفته است جهت تعیین غلظت بحرانی عناصر سنگین پرداخته شود (جدول ۳). با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که میزان آلودگی خاک به کادمیوم، آهن، مس، منگنز و روی زیر حد آستانه سمیت یا حد مجاز قرار دارند و تنها در برخی از نواحی، مقادیر کادمیوم، روی و آهن در خاک توانسته عملکرد و اجزای عملکرد گیاه سویا را تحت تأثیر قرار دهد.

همچنین در میان عناصر مورد بررسی، همبستگی معنی‌داری بین آهن با سرب، کادمیوم با منگنز و عنصر مس با عناصر آهن، کادمیوم و منگنز نیز مشاهده شد. به گونه‌ای که با نتایج هو و همکاران (۵) و ناچوکوو و همکاران (۱۱) مطابقت داشت. در این زمینه زینکوسکا و همکاران (۲) و سان و چن (۳۲) در پژوهش خود مشاهده کردند همبستگی مثبتی بین عناصر مس، کادمیوم و سرب وجود دارد. همچنین در مطالعه‌ای دیگر نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عناصر مس و کادمیوم مشاهده شد (۱۲). بنابراین در مناطقی مانند منطقه مورد مطالعه که هنوز استانداردهای بهداشتی و زیست‌محیطی برآورد نگردیده است، با استفاده از نقشه پراکنش عناصر سنگین و روی‌هم اندازی آن با نقشه عملکرد و اجزای عملکرد گیاه می‌توان به شناسایی مناطق آلوده و عوامل مؤثر در کنترل و گسترش فلزات سنگین در خاک‌ها و بررسی اثرات آن‌ها بر عملکرد گیاه پرداخت.

تقدیر و تشکر

از کارشناسان محترم آزمایشگاه فیزیولوژی و خاکشناسی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، به‌ویژه جناب آقای مهندس محمد یعقوبی، جهت مساعدت و راهنمایی در اجرای این پژوهش صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

1. Mosavi, E., Safianian, A., Mirghafari, N., Khodakarami, L. 2011. Investigating the spatial distribution of some heavy metals in the soils of Hamadan province. Iranian Journal of Soil Research, Vol. 25, issue 4, pp. 323-336. (In Persian)
2. Szynkowska, M.I., Pawlaczyk, A., Leśniewska, E., Paryjczak, T. 2009. Toxic metal distribution in rural and urban soil samples affected by industry and traffic. Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 18, issue 6, pp. 1141-1150.
3. Azimzadeh, B. Khademi, H. 2013. Estimation of background concentration of selected heavy metals for pollution assessment of surface soils of Mazandaran province, Iran. Journal of Water and Soil, Vol. 27, issue 3, pp. 548-559. (In Persian)
4. Mahmood Soltani, Sh. 2013. Heavy metals (kind and amount) in Zarjoob River and their effects on rice and paddy soils under its irrigation. Journal of Water and Soil Conservation, Vol. 20, issue 3, pp. 153-171. (In Persian)
5. Hu, U., Liu, X., Bai, J., Shih, K., Zeng, E.Y., Cheng, H., 2013. Assessing

heavy metal pollution in the surface soils of a region that had undergone three decades of intense industrialization and urbanization. Environmental Science and Pollution Research, Vol. 20, pp. 6150-6159.

6. Jalali, Gh., tehrani, M.M., Boromand, N., Sanjari, S. 2013. Comparison of geostatistical methods in preparing the spatial distribution map of some food elements in the east of Mazandaran province. Iranian Journal of Soil Research, Vol. 27, issue 2, pp. 195-204. (In Persian)
7. Barati, S., Mirghaffari, N., Soffianian, A., Khodakarami, L. 2012. Spatial Distribution of Chromium, Cobalt and Nickel in the Surface Soils of Hamadan Province. Journal of Natural Environment, Iranian Journal of Natural Resources, Vol. 65, issue 3, pp. 283-295. (In Persian)
8. Jalali, Gh., Malakouti, M.J., tehrani, M.M., Ghasemi Dehkordi, V.R. 2011. Investigating the spatial distribution of zinc element and determining its critical limit for soybeans in the east of Mazandaran province. Journal of soil research (soil and water sciences). Iranian Journal of Soil Research, Vol. 25, issue 3, pp. 177-186. (In Persian)
9. Jiachun, S., Haizhen, W., Jianming, X., Jianjun, W., Xingmei, L., Haiping, Z., 2007. Spatial distribution of heavy metal in soil: A case study of changing. China: Environmental Geology, Vol. 52, pp. 1-10.
10. McGrath, D., Zhang, C., Carton, O.T., 2004. Geostatistical analysis and hazard assessment on soil lead in Silvermines area, Ireland. Environmental Pollution, Vol. 127, pp. 239–248.
11. Nwachukwu, J.I., Mgbeahuruike, L.U., Dike, M.U., Tony-Njoku, R.F., 2014. Spatial distribution of heavy metals in sediments from Imo River Owerrinta Environs Imo State Nigeria. Global Journal of Current Research, Vol. 2, issue 3, pp. 64-69.
12. Rahman, S.H., Khanam, D., Adyel, T.M., Shahidul Islam, M., Aminul Ahsan, M., Ahedul Akbor, M., 2012. Assessment of heavy metal contamination of agricultural soil around Dhaka Export Processing Zone (DEPZ), Bangladesh: Implication of seasonal variation and indices. Applied Sciences, Vol. 2, pp. 584-601.
13. Zhongping, Y., Wenxi, L., Yuqiao, L., Xinhua, B., Qingchun, Y., 2011. Assessment of heavy metals contamination in urban topsoil from Changchun City, China. Journal of Geochemical Exploration, Vol. 108, pp. 27–38.
14. Mahmoudi, Sh., Mohammadi, J., and Naderi, M. 2013. Statistical and spatial distribution of some heavy metals in surface soil particle size fractions in South of Isfahan. Journal of Water and Soil Conservation, Vol. 20 issue 2, pp. 1-22. (In Persian)
15. Nourzadeh Haddad, M., Mahdian, M., Malakouti, M.j. 2013. Efficiency comparison of some geostatistical methods for investigating spatial variability of micro nutrients in agricultural lands, case study: Hamadan Province. Vol. 23 issue 1, pp. 71-81. (In Persian)
16. Mueller, T.G., Pusuluri, N.B., Mathias, K.K., Cornelius, P.L., Barnhisel, R.I., 2004. Site-specific soil fertility management a model for map quality. Soil Science Society of America Journal, Vol. 68, pp. 2031-2041.

17. Virgilio, N.D., Monti, A., Venturi, G., 2007. Spatial variability of switchgrass (*Panicumvirgatum*L.) yield as related to soil parameters in a small field. Field Crops Reseach, Vol. 101, pp. 232–239.
18. Acosta, J.A., Faz Cano, A., Arocena, J.M., Debela, F., Martinez-Martinez, S., 2009. Distribution of metals in soil particle size fractions and its implication to risk assessment of playgrounds in Murcia City (Spain). Geoderma, Vol. 149, pp. 101-109.
19. Amooaghaie, R., Marefat, E., habani, L. 2012. Interaction of salicylic acid and cadmium on growth, photosynthetic pigments and ion distrubiution in arial parts of soybean plantlets. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology). Vol. 4, issue 14, pp. 75-88. (In Persian)
20. Lindsay, W.L., Norvell, W.A., 1978. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society of American Journal, Vol. 42, pp. 421-428.
21. Zeng, F., Shafaqat, A., Haitao, Z., Younan, o., Boyin, Q., Feibo, W., Guoping, Z., 2011. The influence of pH and organic matter content in paddy soil on heavy metal availability and their uptake by rice plants. Environmental Pollution, pp. 84-91.
22. Asadi Kangarshahi, A., Cherati, A., Malakouti, M.J. 2004. Determining the critical limit of manganese under greenhouse conditions and its effect on soybean growth and yield. Journal of Water and Soil Science, Vol. 18 issue 2, pp. 154-164. (In Persian)
23. Feyzollahzade Ardabili, M. Karimian, N., Kasraei, R., Malakouti, M.J. 2001. Determining suitable extraction methods and critical concentration of manganese for soybeans in greenhouse studies in a number of soils in the south and southwest of Tehran province. The 7th Congress of Soil Sciences of Iran, Shahrekord, Iran. (In Persian)
24. Asadi Kangarshahi, A., Malakouti, M.J. Zinc calibration in the field and its effects on soybean yield. 2003. Journal of Water and Soil Science, Vol. 17 issue 2, pp. 117-124. (In Persian)
25. Kuklova, M., Kukla, J., Hnilicka, F., 2010. Soil-to-herbs transfer of heavy metals in spruce ecosystems. Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 19, Issue 6, pp. 1263-1268.
26. Rizk, A.H., Zaazaa, E.I., Shawer, S.S., 2014. Effect of cadmium on yield, nutrient contents and toxicity tolerance of some rice varieties. Middle East Journal of Applied Sciences, Vol. 4, Issue 4, pp. 1110-1117.
27. Mosivand, M., Khorgami, A., Rafiei, M. 2009. Investigating the effect of iron concentration on growth and yield components in different soybean genotypes. Crop Physiology Journal, Vol. 1 issue 4, pp. 35-45. (In Persian)
28. Naghavi, F., Iranbakhsh, A., Majd, A. 2011. Investigation of the effect of zinc and lead toxicity on some physiological parameters of soybean (*Glycine max* L.). Journal of Plant and Ecosystem, Vol. 7. issue 28, pp. 81-97. (In Persian)
29. Delavar, M.A., Safari, Y., 2016. Spatial distribution of heavy metals in soils and plants in Zinc Town, northwest Iran. International Journal of Environment Science and Technology, Vol. 13, pp. 297–306.

30. Zhanga, C.,Yao, J., Zhuc, C., Zhua, M., Sun, J., 2016. Soil heavy metal contamination and microbial ecological risk assessment- a case study. Chemical Engineering Transactions, Vol. 51, pp. 307-312.
31. Alyazichi, Y.M., Jones, B.G., McLean, E.J., 2015. Spatial distribution of heavy metal contaminations in Yowie Bay sediments and their environmental Impacts. Faculty of Science, Medicine and Health, Vol. 196, pp. 363-374.
32. Sun, R., Chen, L., 2016. Assessment of heavy metal pollution in topsoil around Beijing Metropolis. Plos One, pp. 1-13.