

## تأثیر قدرت یونی زئولیت بر جذب آرسنیک و عناصر ضروری گندم در خاک‌های آلوده به جنگ‌افزارها و سلاح‌های شیمیایی

علی آزوغ<sup>۱</sup>، سید کیوان مرعشی<sup>۲\*</sup> و تیمور بابائی‌نژاد<sup>۳</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۸/۳۰)

### چکیده

نگرانی در زمینه جنگ، خطر تروریسم، به‌کارگیری جنگ‌افزارها و بمب‌های ممنوعه از یک طرف و از طرفی آلودگی خاک و گیاه، سبب افزایش شیوع بیماری‌ها در جامعه شده است. از مشکلات اصلی کشت گیاهان زراعی به‌خصوص گندم در خاک‌های آلوده مناطق جنگی، وجود غلظت‌های بالای عناصر سنگین و سمی به‌ویژه آرسنیک است. استفاده از زئولیت یکی از راه‌حل‌های مناسب برای رفع مشکل خاک‌های آلوده مناطق جنگی است. هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر قدرت یونی زئولیت بر جذب آرسنیک و خصوصیات تغذیه‌ای گندم در خاک‌های آلوده به جنگ‌افزارها است. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار برای هر گلدان انجام شد. تیمارها شامل چهار سطح زئولیت صفر ( $a_1$ )،  $0/5$ ،  $1/5$  ( $a_2$ ) و  $2/5$  ( $a_3$ ) درصد از وزن خاک و دو سطح خاک، یک سطح خاک خارج از محل جنگ (بدون آلودگی) ( $b_1$ ) و سطح دیگر مربوط به خاک آلوده به سلاح‌های جنگی ( $b_2$ )، انجام پذیرفت. نتایج نشان داد در خاک‌های آلوده به جنگ‌افزارها، غلظت آرسنیک در گندم افزایش یافت. همچنین کاربرد تیمارهای زئولیت در خاک آلوده سبب کاهش معنی‌دار این عنصر در سطح احتمال یک درصد و افزایش معنی‌دار نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کلسیم در دانه گندم در هر دو خاک شد.

واژه‌های کلیدی: آرسنیک، آلودگی، جنگ‌افزارها، زئولیت، گندم

۱. گروه زراعت، پردیس علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲. گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۳. گروه خاکشناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: marashi\_47@yahoo.com

## مقدمه

استرانسیم و باریوم (گروه II) در جدول تناوبی هستند (۴). زئولیت‌ها به دو صورت طبیعی و مصنوعی موجودند. از خصوصیات بارز زئولیت‌ها قابلیت آنها در دهیدراسیون برگشت‌پذیر و همچنین تعادل کاتیون‌ها بدون تغییر ساختمانی است (۵). انصاری مهابادی و همکاران (۳) در پژوهش خود اکثر زئولیت طبیعی ایران را از نوع کلینوپتیلولیت گزارش کرده‌اند، آنها تأثیر این نوع زئولیت بر تثبیت کادمیم در خاک‌های آلوده استان گیلان را بررسی و بیان کردند که کاربرد زئولیت در خاک، شستشوی کادمیم خاک را کاهش می‌دهد. زئولیت می‌تواند به‌طور قابل توجهی جذب سرب و کادمیم توسط گیاهان را کاهش داده و منجر به تبدیل شکل‌های قابل دسترس سرب و کادمیم به شکل‌های غیر قابل دسترس شود (۱۵). با توجه به اهمیت کاربرد زئولیت، تاکنون مطالعات زیادی در سطح کشور و جهان صورت گرفته اما مطالعات در زمینه رفع آلودگی از محصولات کشاورزی حاصل از خاک‌های آلوده به جنگ‌افزارها اندک بوده است. وجود منابع عظیم زئولیت به‌ویژه کلینوپتیلولیت در ایران سبب شد تا این نوع زئولیت برای حذف آرسنیک در خاک‌های آلوده به سلاح‌های جنگی و شیمیایی در این پژوهش مورد استفاده قرار گیرد. از این‌رو این پژوهش با هدف تأثیر قدرت یونی زئولیت بر جذب آرسنیک و عناصر مغذی توسط گندم در خاک‌های آلوده به انجام رسید.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش با کاربرد سطوح مختلف زئولیت در خاک‌های آلوده و غیر آلوده و کشت گیاه گندم به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در دانشگاه آزاد اسلامی اهواز، به‌صورت گلدانی خارج از گلخانه اجرا شد. خاک نمونه‌برداری شده از جنوب دهلران (مرز بین ایران و عراق، منطقه شراهانی تا زبیدات عراق) مربوط به هشت سال جنگ عراق با ایران است، که عراق طی آنها طیف وسیعی از بمب‌ها و سلاح‌های جنگی و شیمیایی استفاده کرده بود. بدین منظور با توجه به شواهد و ۵۰ نقطه آلوده، نمونه‌برداری شد و این

رشد روز فزون جمعیت، افزایش آلودگی محیط زیست، سلامتی و حیات موجودات زنده به‌ویژه انسان را با خطر جدی مواجه ساخته است (۷). جنگ یکی از عوامل آلوده شدن محیط زیست است (۱۱). در تهاجم عراق به ایران، ۱۶۰۰۰ کیلومترمربع از خاک ایران بیشترین آسیب را متحمل شد. براساس آمار موجود، بالغ بر ۱۶ میلیون مین انفجاری و سایر مهمات جنگی در مساحتی معادل ۴/۲ میلیون هکتار در طول ۱۱۰۰ کیلومتر از مرزهای غربی و جنوب غربی در خاک‌های ایران مدفون و در شرایط آلودگی به بقایای آنها قرار گرفته است (۸). رژیم بعث عراق در طول سال‌های جنگ تحمیلی، ۳۵۰۰ بار مناطق مرزی و مسکونی ایران را بمباران شیمیایی کرد. این در حالی است که دفعات مورد استفاده در مورد سایر سلاح‌های جنگی بالغ بر ۴۷۷۰ بار بوده است (۱). طبق تحقیقات به‌عمل آمده از خاک اطراف جنوب دهلران (شراهانی، چم‌هندی تا زبیدات عراق) آلودگی فلزات سنگین ناشی از بمب‌ها، میادین مین، خمپاره‌ها و سلاح‌های جنگی و شیمیایی ناشی از جنگ عراق علیه ایران تا حد چندین برابر غلظت مجاز دیده می‌شود (۲). فلزات سنگین، برخلاف آلاینده‌های آلی تجزیه بیولوژیکی یا شیمیایی نمی‌شوند و بنابراین مدت زمان طولانی در خاک باقی می‌مانند (۹). عنصر آرسنیک متعلق به گروه پنج جدول تناوبی در چهار حالت اکسایش در طبیعت وجود دارد ولی به‌صورت گسترده به شکل  $H_2AsO_4$  و  $HA_2O_4$  حضور دارد. حد مجاز آرسنیک در خاک ۲۰ و برای گیاهان زراعی ۰/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک است. علائم سمیت آرسنیک در گیاه شامل پژمردگی برگ‌ها و کاهش رشد ریشه و ساقه، بی‌رنگی ریشه، نکروزه شدن برگ‌ها و جلوگیری از جذب آب و مرگ گیاه است (۱۰). مواد مختلفی تاکنون برای کاهش تحرک فلزات سنگین در خاک و جلوگیری از انتقال آنها به گیاهان استفاده شده که می‌توان به کانی‌های رسی به‌خصوص زئولیت اشاره کرد (۷).

زئولیت‌ها کریستال‌های آلومینوسیلیکاته آبداری هستند که حاوی عناصر سدیم و پتاسیم (گروه I) و منیزیم، کلسیم،

استفاده از کوره در دمای ۵۵۰ درجه و محلول کردن در اسیدکلریک ۵٪ نرمال، با دستگاه فلیم فتومتر قرائت شد (۶). برای تعیین فسفر از روش رنگ سنجی با دستگاه اسپکتروفتومتر با طول موج ۴۷۰ نانومتر (۶) و نیتروژن کل خاک نیز به روش کج‌دلال (۱۴) اندازه‌گیری شد. تجزیه واریانس داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری SAS انجام و برای مقایسه میانگین‌ها از روش برش‌دهی اثر متقابل در سطح پنج درصد استفاده شد.

### نتایج و بحث

برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و زئولیت در جدول‌های (۱) و (۲) نشان داده شده است. pH خاک یکی از عوامل کنترل‌کننده قابلیت دسترسی فلزات سنگین در خاک است. pH خاک آلوده نسبت به خاک غیر آلوده اسیدی‌تر بود. مواد به‌جا مانده از بمب‌ها اسیدیته خاک را تغییر می‌دهند و بسته به نوع مواد منفجره خاک را اسیدی یا قلیایی می‌کنند (۲). هدایت الکتریکی خاک آلوده، ۴/۸ دسی‌زیمنس بر سانتی‌متر است که در مقایسه با خاک غیر آلوده کمی شورتر است. غلظت آرسنیک در خاک آلوده به سلاح‌های جنگی و شیمیایی ۲۵۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم است که در مقایسه با خاک غیر آلوده، غلظت بسیار بالایی دارد و بیانگر این است که این عنصر از طریق جنگ‌افزارها، چاشنی‌های انفجاری و بمب‌های خوشه‌ای به خاک وارد شده است.

#### تأثیر تیمارهای زئولیت و خاک بر غلظت آرسنیک دانه

نتایج تجزیه واریانس جدول (۳) نشان می‌دهد تأثیر تیمارهای زئولیت بر کاهش جذب آرسنیک گندم معنی‌دار است. نتایج مقایسه میانگین‌ها (شکل ۱) نشان می‌دهد در خاک غیر آلوده به دلیل غلظت پایین این عنصر، تفاوت معنی‌دار ناشی از تفاوت کاربرد زئولیت ۲/۵ درصد با گروه شاهد است و بین سطوح دیگر تفاوتی مشاهده نشد.

در خاک آلوده به جنگ‌افزارها، به دلیل بالا بودن غلظت آرسنیک خاک، تیمارهای زئولیت تأثیر معنی‌داری بر کاهش

نمونه‌ها برای سطح خاک آلوده در نظر گرفته شد. همچنین ۵۰ نقطه دیگر خارج از محل‌های آلوده که در تبرس دو کشور قرار نگرفته، با فاصله ۱۰۰۰ متر به عنوان سطح خاک غیر آلوده انتخاب و نمونه‌برداری شد. هریک از دو نوع ۵۰ نمونه خاک جداگانه با یکدیگر مخلوط و دو نمونه خاک مرکب تهیه شد. خاک مرکب پس از هوا خشک کردن، از الک دو میلی‌متری عبور داده و با روش متداول آزمایشگاهی برخی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی آن اندازه‌گیری شد (جدول ۱). زئولیت مورد استفاده از شرکت افردن توسکا تهیه شد و پس از شستشو با آب مقطر و هوا خشک کردن از الک یک میلی‌متری عبور داده شدند. سپس کانی‌شناسی زئولیت مورد استفاده با استفاده از روش پراش اشعه ایکس تعیین شد که نشان داد بیش از ۷۵ درصد زئولیت مورد استفاده از کلینوپتیلولیت خالص تشکیل شده است. برخی از ویژگی‌های زئولیت در جدول (۲) آمده است. پس از مشخص شدن تیمارها، چهار سطح زئولیت با توجه به پتانسیل اسمزی خاک شامل از  $2/5(a_2)$ ،  $1/5(a_3)$ ،  $0/5(a_2)$ ، صفر  $(a_1)$  درصد وزنی، آن را با خاک آلوده و غیر آلوده جداگانه مخلوط و با وزن ۱۰ کیلوگرم برای هر گلدان وارد شد (ارتفاع گلدان ۴۰ و قطر ۲۰ سانتی‌متر). تاریخ کشت ۱۵ آبان‌ماه در نظر گرفته شد. داخل هر گلدان ۱۰ عدد بذر گندم رقم چمران کشت شد. پس از استقرار گیاهان تعداد بوته به پنج عدد تنک شد. عملیات آبیاری با توجه به شرایط بارندگی اهواز (۱۳۹۴-۱۳۹۵)، فقط هفته‌ای یکبار انجام پذیرفت. میزان آب مصرفی در هر گلدان به کمک معادله آب قابل دسترس به گونه‌ای در نظر گرفته شد که در اثر آبیاری زه‌آب از گلدان خارج نشود و خاک گلدان‌ها در شرایط ظرفیت مزرعه قرار گیرند. جهت حفظ شرایط طبیعی خاک از هیچ‌گونه نهادهای کودی و سم استفاده نشد. برای تعیین میزان آرسنیک دانه با استفاده از روش هضم با  $HNO_3$  غلیظ و آب‌اکسیژنه ۳۰ درصد استفاده شد و غلظت این عنصر در عصاره گیاه به وسیله دستگاه جذب اتمی مدل unicam ۹۱۹AA در طول موج ۲۱۷/۵۸ تعیین شد (۶). میزان پتاسیم و کلسیم دانه‌ها به روش هضم خشک با

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های آلوده و غیر آلوده

یافت خاک	رس	Ca	CaCO <sub>3</sub>	CEC	OC	As	Ni	P	N	K <sub>av</sub>	EC	pH	خاک
	شماره لای	mg/kg	(%)	(cmol/kg)	(%)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(%)	(mg/kg)	(dS/m)		
Clay Loam	۳۰	۲۹	۷/۱۶	۱۳/۶۴	۰/۶۹	۲۵۸	۱۳۲/۴	۴۷/۴	۰/۱۶۳	۵۳۹/۷	۴/۸۳	۶/۶۳	آلوده به سلاخ‌های جنگلی
Clay Loam	۳۲	۲۷	۱۳/۵۲	۹/۵۲	۰/۱۷	۲/۳۳	۲۵/۷۸	۴/۸۵	۰/۰۵۸	۱۴۲/۶	۳/۱۵	۷/۵۶	غیرآلوده (شاهد)

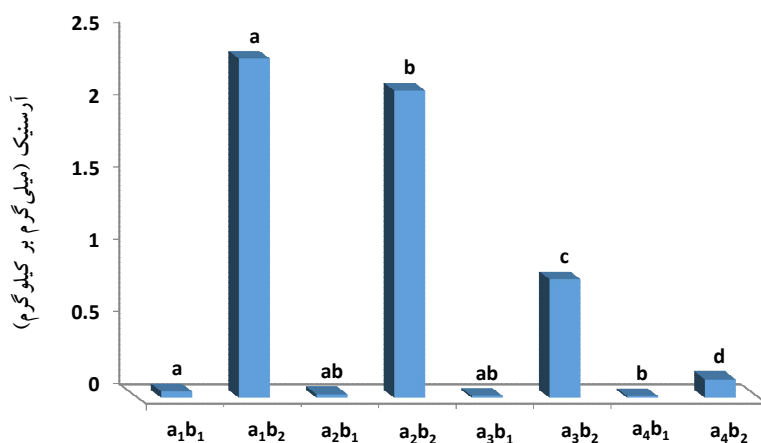
جدول ۲. برخی خصوصیات شیمیایی ژئولیت مورد استفاده

پارامتر	واحد	مقدار
PH	-	۸/۴
EC	dS/m	۰/۰۹
CEC	cmol/kg	۱۷۰
SiO <sub>۲</sub>	درصد	۶۶/۵
Al <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	درصد	۱۱/۸۱
Fe <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	درصد	۱/۳
TiO <sub>۲</sub>	درصد	۰/۲۱
CaO	درصد	۴/۸۵
MgO	درصد	۰/۷۲
Na <sub>۲</sub> O	درصد	۰/۵
K <sub>۲</sub> O	درصد	۳/۱۲

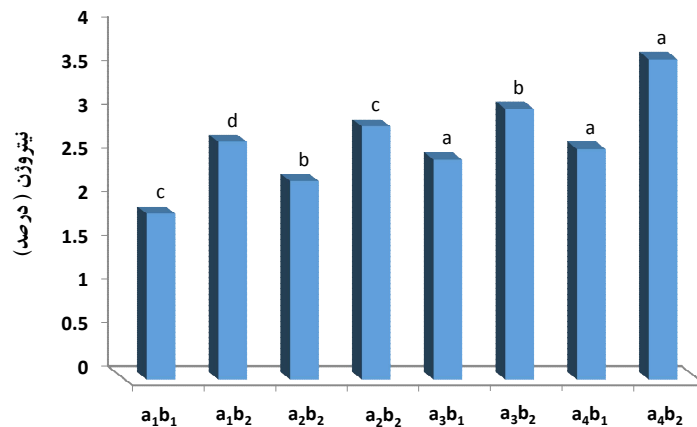
جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس حاصل از اثر خاک و ژئولیت بر آرسنیک، نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کلسیم دانه گندم

منبع تغییر	درجه آزادی	آرسنیک	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	کلسیم
ژئولیت	۳	۴/۶۵۵**	۰/۷۱۷**	۰/۰۰۵**	۰/۰۱۵**	۰/۰۱۷**
خاک	۱	۱۲/۰۳۳**	۳/۳۹۸**	۰/۲۲۲**	۰/۰۹۲**	۰/۰۰۴**
خاک × ژئولیت	۳	۱/۴۳۳**	۰/۶۰۲**	۰/۰۰۰ <sup>NS</sup>	۰/۰۰۰ <sup>NS</sup>	۰/۰۰۱*
خطا	۱۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۵	۵/۶۴۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

NS: عدم معنی داری، \* : معنی داری در سطح ۰/۰۵ و \*\* : معنی داری در سطح ۰/۰۱ است



شکل ۱. اثر تیماهای خاک (b<sub>۱</sub>: غیرآلوده و b<sub>۲</sub>: آلوده) و ژئولیت (a<sub>۱</sub>: عدم مصرف، a<sub>۲</sub>: ۰/۵ درصد، a<sub>۳</sub>: ۱/۵ درصد و a<sub>۴</sub>: ۲/۵ درصد) بر مقدار آرسنیک دانه. میانگین تیمارهایی که دارای حروف مشابهی هستند، در سطح پنج درصد از لحاظ آماری اختلاف معنی داری با همدیگر ندارند.



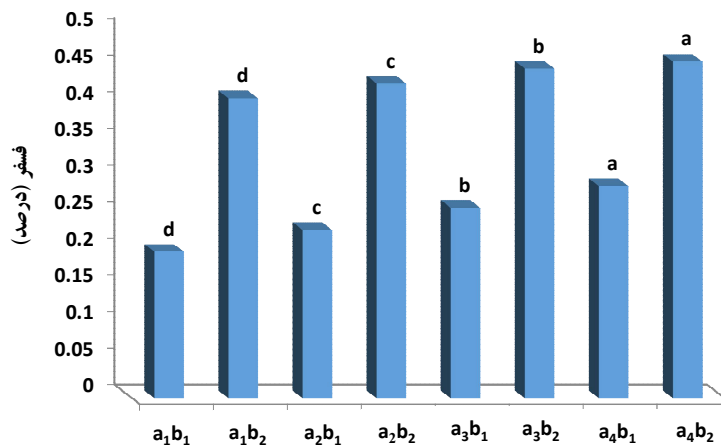
شکل ۲. اثر تیمارهای خاک (b<sub>1</sub>: غیر آلوده و b<sub>2</sub>: آلوده) و زئولیت (a<sub>1</sub>: عدم مصرف، a<sub>2</sub>: ۰/۵ درصد، a<sub>3</sub>: ۱/۵ درصد و a<sub>4</sub>: ۲/۵ درصد) بر درصد نیتروژن دانه. میانگین تیمارهایی که دارای حروف مشابهی هستند، در سطح پنج درصد از لحاظ آماری اختلاف معنی داری با همدیگر ندارند.

### تأثیر تیمارهای زئولیت و نوع خاک بر درصد نیتروژن دانه

نتایج تجزیه واریانس جدول (۳) نشان می‌دهد که در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی دار برای تأثیر زئولیت، خاک و همچنین اثر ترکیبی خاک- زئولیت وجود دارد. نتایج مقایسه میانگین شکل (۲) نشان می‌دهد که تیمارهای زئولیت در هر دو خاک تأثیر مثبت و معنی داری در افزایش جذب نیتروژن داشته است که در بیشترین سطح، کاربرد زئولیت ۲/۵ درصد در خاک آلوده میزان نیتروژن ۳/۶۷ و در خاک غیر آلوده ۲/۶۴ درصد بود.

بیشترین جذب نیتروژن در گندم مربوط به تیمار خاک آلوده جنگی با کاربرد زئولیت ۲/۵ درصد زئولیت با ۳/۶۷ درصد نیتروژن و کمترین جذب مربوط به تیمار عدم زئولیت در خاک غیر آلوده با جذب ۱/۹۶ درصد نیتروژن دانه به دست آمد. از دلایل معنی دار شدن نیتروژن گندم تحت کاربرد سطوح مختلف زئولیت این است که کاربرد زئولیت در خاک آلوده باعث می‌شود نیتروژن موجود در ترکیبات مهمات و بمب‌ها که به شکل تری‌نیترو تولوئن جذب خاک شده است، در مکان‌های تبدالی زئولیت قرارگیرد و در نتیجه گیاه می‌تواند در طول رشد از آن استفاده کند. بنابراین در تیمار ۲/۵ درصد وزنی زئولیت بیشترین رهاسازی نیتروژن از خاک صورت گرفته و جذب گندم شده است. در خاک غیر آلوده هنگامی که زئولیت بیشتری

غلظت آرسنیک در گیاه نشان داد. نتایج نشان می‌دهد با بیشترین سطح کاربردی زئولیت در خاک آلوده، میزان غلظت آرسنیک دانه در مقایسه با شاهد ۸۷/۵ درصد کاهش نشان می‌دهد. بیشترین جذب آرسنیک مربوط به خاک آلوده با عدم کاربرد زئولیت با غلظت ۲/۴۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کمترین آن در تیمار ۲/۵ درصد زئولیت مربوط به خاک غیر آلوده با غلظت ۰/۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده که بیانگر تأثیر مثبت زئولیت در رهاسازی عناصر مفید و کاهش این عنصر سمی در گیاه است. از دلایل کاهش میزان آرسنیک پس از کاربرد زئولیت می‌توان به pH قلیایی و بالا بودن ظرفیت تبادل کاتیونی زئولیت اشاره کرد. جذب فلزات سنگین بر زئولیت از طریق مکانیسم‌های مختلف تبادل یونی و جذب سطحی صورت می‌گیرد. در طی فرایند یونی، یونها مجبور به حرکت از میان توده زئولیت و کانال آن هستند (۱۳). در تیمار خاک آلوده بدون مصرف زئولیت، غلظت این عنصر ۲/۴۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در خاک غیر آلوده، ۰/۵۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که نشان می‌دهد میزان غلظت این عنصر در تیمار خاک آلوده در مقایسه با خاک غیر آلوده ۹۷ درصد بیشتر است که بیانگر اثر محدودیت و بالا بودن غلظت آرسنیک در خاک آلوده که از طریق بمب‌ها و جنگ‌افزارها به خاک وارد و سبب افزایش جذب آن در ریشه و سپس به گیاه منتقل شده است.



شکل ۳. اثر تیمارهای خاک (b<sub>1</sub>: غیر آلوده و b<sub>2</sub>: آلوده) و زئولیت (a<sub>1</sub>: عدم مصرف، a<sub>2</sub>: ۰/۵ درصد، a<sub>3</sub>: ۱/۵ درصد و a<sub>4</sub>: ۲/۵ درصد) بر درصد فسفر دانه. میانگین تیمارهایی که دارای حروف مشابهی هستند، در سطح پنج درصد از لحاظ آماری اختلاف معنی داری با همدیگر ندارند.

بیشترین فسفر دانه در تیمار خاک آلوده جنگی با کاربرد سطح ۲/۵ درصد زئولیت با غلظت ۰/۴۶۸ درصد و کمترین آن مربوط به خاک غیر آلوده مربوط به تیمار عدم کاربرد زئولیت با غلظت ۰/۲۰۷ درصد مشاهده شد. در واقع زئولیت باعث رهاسازی فسفر تثبیت شده و افزایش حلالیت فسفر محلول در خاک شد و این امر منجر به جذب فسفر بیشتر در گندم و کاهش تثبیت آن در خاک شد. خاک آلوده به دلیل افزایش فراهمی فسفر که از طریق گلوله‌ها و بمب‌های فسفوری به خاک وارد شده، میزان غلظت بیشتری از فسفر در مقایسه با خاک غیر آلوده را به خود اختصاص داده است. میزان غلظت فسفر در تیمار بدون کاربرد زئولیت خاک آلوده و غیر آلوده به ترتیب ۰/۴۱۶ و ۰/۲۳۴ درصد مشاهده شد. فتحی و چرم (۷) نیز در بررسی اثر زئولیت بر میزان فسفر ریشه گندم بیان کردند که میزان فسفر موجود در ریشه گیاه با افزایش درصد زئولیت کاربردی به خاک افزایش می‌یابد.

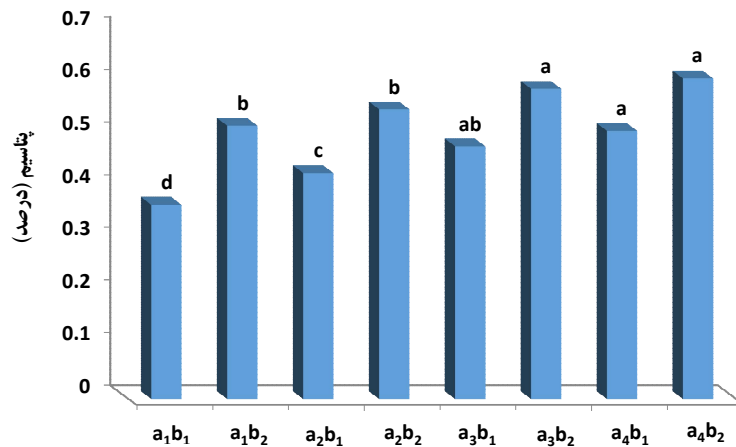
#### تأثیر تیمارهای زئولیت و نوع خاک بر درصد پتاسیم دانه

با توجه به جدول تجزیه واریانس جدول (۳)، تأثیر تیمارهای زئولیت و خاک بر جذب پتاسیم دانه گندم نشان می‌دهد که در سطح احتمال یک درصد، تفاوت ناشی از میزان کاربرد زئولیت معنی دار است. نمودار مقایسه میانگین نشان می‌دهد که در خاک

استفاده می‌شود، با افزایش جذب نیتروژن و آسمیلاسیون آمونیم، رشد برگ‌ها و در نهایت وزن خشک گیاه افزایش می‌یابد. نتایج نشان داد که در خاک غیر آلوده، کاربرد زئولیت باعث جذب عناصری نظیر نیتروژن و افزایش جذب آن توسط گیاه می‌شود که این امر در مقادیر بیشتر زئولیت، نمایان تر بود؛ بنابراین با افزایش مسیرهای مختلف متابولیکی برای مواد فتوسنتزی، نیتروژن بیشتری به دانه منتقل می‌شود. در خاک آلوده و غیر آلوده (تیمار عدم کاربرد زئولیت) به ترتیب میزان جذب نیتروژن گندم ۲/۷۲ و ۱/۹۶ درصد بود که نشان‌دهنده تفاوت نوع خاک از لحاظ ترکیب عناصر تشکیل‌دهنده خاک است که در خاک آلوده به سلاح‌های جنگی، فراهمی نیتروژن به وفور بیشتر از خاک غیر آلوده است. استفاده از زئولیت طبیعی افزون بر تأثیرهای غیر مستقیم برای به دست آوردن عملکردهای مطلوب، مانع هدرروی نیتروژن از خاک‌های زراعی می‌شود (۷).

#### تأثیر تیمارهای زئولیت و نوع خاک بر درصد فسفر دانه

نتایج تجزیه واریانس جدول (۳) نشان می‌دهد تأثیر تیمارهای زئولیت و خاک بر میزان فسفر دانه گندم در سطح احتمال یک درصد معنی دار است. نتایج مقایسه میانگین‌های شکل (۳) نشان می‌دهد که زئولیت در هر دو خاک، اثر مثبت در میزان افزایش جذب فسفر دانه در هر دو خاک داشته است.



شکل ۴. اثر تیمارهای خاک (b<sub>1</sub>: غیر آلوده و b<sub>2</sub>: آلوده) و زئولیت (a<sub>1</sub>: عدم مصرف، a<sub>2</sub>: ۰/۵ درصد، a<sub>3</sub>: ۱/۵ درصد و a<sub>4</sub>: ۲/۵ درصد) بر درصد پتاسیم دانه. میانگین تیمارهایی که دارای حروف مشابهی هستند، در سطح پنج درصد از لحاظ آماری اختلاف معنی داری با همدیگر ندارند.

۳۷۹/۰ درصد مشاهده شد که دلیل افزایش پتاسیم دانه در خاک آلوده، ناشی از فراهمی و بالا بودن غلظت پتاسیم در محلول خاک است که از طریق بمبها و جنگ افزارها به خاک وارد شده است و سبب افزایش غلظت پتاسیم خاک شده است (جدول ۱).

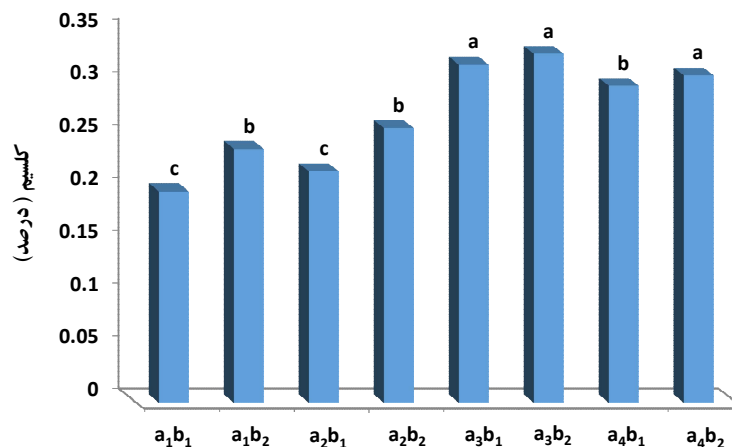
#### تأثیر تیمارهای زئولیت و نوع خاک بر کلسیم دانه

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که تأثیر تیمارهای زئولیت و خاک بر درصد کلسیم دانه معنی دار است (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگینها نشان می دهد در خاک آلوده جنگی (b<sub>2</sub>)، تفاوت معنی دار ناشی از گروه های کاربردی زئولیت با شاهد است ولی بین تیمار ۱/۵ و ۲/۵ درصد، تفاوت معنی دار مشاهده نشد (شکل ۵).

در خاک آلوده بیشترین جذب کلسیم دانه در تیمار ۱/۵ درصد زئولیت با مقدار ۳۳۶/۰ درصد و کمترین مربوط به تیمار صفر زئولیت با غلظت ۲۴۶/۰ درصد بود. نتایج مقایسه میانگین شکل (۵) نشان می دهد در خاک غیر آلوده، تفاوت معنی دار ناشی از کاربرد گروه های ۱/۵ و ۲/۵ درصد زئولیت است و بین تیمار ۰/۵ با شاهد، تفاوت معنی دار نبود. نتایج نشان دهنده این است که با افزایش سطوح زئولیت افزایش معنی داری در جذب کلسیم نسبت به شاهد رخ می دهد. از دلایل افزایش معنی دار کلسیم در دانه گندم تحت تأثیر زئولیت این است که در ساختار

آلوده به جنگ افزارها، تفاوت معنی دار ناشی از کاربرد تیمار ۲/۵ و ۱/۵ با گروه کنترل و زئولیت ۰/۵ درصد است (شکل ۴). بیشترین غلظت پتاسیم در دانه گندم مربوط به تیمار ۲/۵ درصد زئولیت با ۶۱۹/۰ درصد و کمترین مربوط به تیمار عدم کاربرد زئولیت با غلظت ۵۲۷/۰ درصد مشاهده شد. زئولیت در خاک می تواند در رهاسازی عناصر غذایی مؤثر باشد و به جذب آن توسط گیاه کمک کند. رهاسازی فسفر، پتاسیم، منیزیم، کلسیم، مس و غیره در حضور زئولیت در یک خاک زیاد می شود (۱۲). نتایج مقایسه میانگین شکل (۴) نشان می دهد در خاک غیر آلوده، تأثیر زئولیت بر میزان پتاسیم دانه گندم معنی دار است و تفاوت معنی داری بین تیمار شاهد با سایر تیمارهای زئولیت وجود دارد. در خاک غیر آلوده بیشترین جذب پتاسیم دانه گندم مربوط به تیمار ۲/۵ درصد با مقدار ۵۱/۰ درصد پتاسیم و کمترین مربوط به سطح صفر درصد زئولیت با ۳۷۹/۰ درصد است که نشان دهنده تأثیر مثبت زئولیت بر افزایش پتاسیم خاک و در نتیجه افزایش پتاسیم دانه است. زئولیت به عنوان یک کود پتاسیم استفاده می شود. در صورت انتخاب صحیح نوع زئولیت معدنی، هنگامی که این مواد به عنوان اصلاح کننده به خاک اضافه می شود از طریق افزایش فراهمی طولانی مدت عناصر غذایی، به بهبود رشد گیاه کمک می کنند (۱۶). در تیمار خاک آلوده بدون زئولیت میزان پتاسیم دانه ۵۲۷/۰ درصد و در خاک غیر آلوده میزان پتاسیم دانه





شکل ۵. اثر تیمارهای خاک (b<sub>1</sub>: غیر آلوده و b<sub>2</sub>: آلوده) و ژئولیت (a<sub>1</sub>: عدم مصرف، a<sub>2</sub>: ۰/۵ درصد، a<sub>3</sub>: ۱/۵ درصد و a<sub>4</sub>: ۲/۵ درصد) بر درصد کلسیم دانه. میانگین تیمارهایی که دارای حروف مشابهی هستند، در سطح پنج درصد از لحاظ آماری اختلاف معنی داری با همدیگر ندارند.

یافته است. در سطح کاربرد ژئولیت ۱/۵ درصد میزان کلسیم دانه به ترتیب در خاک آلوده ۰/۳۳۶ و در خاک غیر آلوده ۰/۳۲۹ درصد مشاهده شد. نتیجه اینکه اثر متقابل خاک و ژئولیت در سطح پنج درصد معنی دار است. در تیمار خاک آلوده صفر ژئولیت، میزان کلسیم دانه ۰/۲۴۶ درصد و در خاک غیر آلوده ۰/۲۰۶ درصد مشاهده شد. دلیل این امر را می توان به جذب ترجیحی بعضی از کاتیون ها توسط ژئولیت و در نتیجه آزاد شدن کلسیم از این کانی دانست. همچنین با کاربرد ژئولیت، کمپلکس های کلسیم که با عناصری مثل فسفر و عناصر میکرو در خاک وجود دارند، شکسته شده و کلسیم آنها آزاد می شود. فتحی و چرم (۷) نیز در تحقیق خود بیان کردند که با کاربرد ژئولیت در خاک، غلظت عناصر ضروری نظیر کلسیم در بافت های گیاهی افزایش یافته است.

### نتیجه گیری

نتایج نشان داد خاک های آلوده به جنگ افزارها به دلیل وجود آرسنیک در چاشنی ها، بمب ها و گلوله ها به خاک وارد و موجب افزایش غلظت آرسنیک در خاک و در نتیجه سبب جذب در گیاه گندم شد که نشان دهنده تهدید سلامت جامعه است. با کاربرد کانی ژئولیت، غلظت و سمیت این عنصر به طور معنی دار کاهش یافت که این امر به دلیل ظرفیت تبادل کاتیونی بالای آن

ژئولیت کاتیون های بازی نظیر کلسیم، وجود دارد که سبب افزایش کلسیم خاک و در نتیجه سبب افزایش کلسیم دانه شده است. شکل مولکولی کلسیم در ژئولیت به صورت CaO است که مقدار آن ۴/۸۵ درصد است (جدول ۲). در خاک غیر آلوده بیشترین جذب کلسیم دانه در تیمار ۱/۵ درصد ژئولیت با غلظت ۰/۳۲۹ درصد و کمترین جذب با عدم کاربرد ژئولیت با غلظت ۰/۲۰۶ درصد است. محمودآبادی و همکاران (۱۲) طی تحقیقی بیان کردند که افزودن ژئولیت به خاک غیر آلوده موجب افزایش عناصر غذایی مانند ازت، فسفر، پتاسیم، کلسیم، آهن، منگنز، مس و روی در بافت گیاهی می شود. ژئولیت دارای اثر حاصلخیزی کاتیونی سودمند است که می توان آن را به عنوان کود معدنی و نیاز تغذیه ای در رشد گیاه با کاربرد سطوح بیشتر مورد استفاده قرار داد (۲). همچنین نتایج نشان داد که هم در خاک آلوده و هم در خاک غیر آلوده، تأثیر ژئولیت موجب افزایش معنی دار کلسیم دانه شده است. بیشترین مقدار جذب کلسیم در خاک آلوده در تیمار ۱/۵ درصد ژئولیت با غلظت ۰/۳۳۶ درصد و کمترین آن مربوط به تیمار صفر ژئولیت در خاک غیر آلوده با غلظت ۰/۲۰۶ درصد کلسیم نشان می دهد. نتایج نشان می دهد که در وضعیت کاربردی ژئولیت ۱/۵ درصد، به شکل مطلوب میزان کلسیم دانه افزایش داشته و در سطح بالاتر به دلیل رقابت کلسیم با پتاسیم، میزان کلسیم دانه کاهش

بود. در این آزمایش زئولیت با رهاسازی نیتروژن و فسفر منجر به افزایش این دو عنصر در دانه گندم شد. همچنین وجود عناصر قابل تبادل مانند یون پتاسیم و کلسیم در ساختار زئولیت، سبب بهبود حاصلخیزی خاک و در نتیجه افزایش جذب این دو عنصر در دانه گندم در هر دو خاک شد.

### منابع مورد استفاده

۱. بوغزاله، ع. ۱۳۸۰. جنگ عراق و ایران. مرکز مطالعات و تحقیقات جنگ سپاه. تهران.
۲. آزوغ، ع.، س. ک. مرعشی و ت. بابایی نژاد. ۱۳۹۵. تأثیر زئولیت بر رشد و عملکرد گندم در خاکهای آلوده به سلاح‌های جنگی و شیمیایی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات اهواز.
۳. انصاری مهاآبادی، ث. ۱۳۸۲. بررسی اثر کانی‌های زئولیت بر جذب کادمیم در محلول‌های آبی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه کشاورزی صنعتی اصفهان.
۴. پازاکی، ع. ۱۳۸۹. اثر مقادیر زئولیت و تنش کم آبی بر عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص برداشت کلزا در منطقه شهرری. مجله زراعت و اصلاح نباتات ۱۶(۱): ۱۷-۱۶.
۵. حسینی ابری، س. ع.، م. ا. کاوه، و م. ر. صالح پرهیزکار. ۱۳۸۶. بررسی ساختار شیمی زئولیت طبیعی و مزایای استفاده از آنها به عنوان اصلاح کننده خاک‌های کشاورزی. مجله علوم پایه دانشگاه آزاد ۶۴: ۱۸-۱۱.
۶. غازان شاهی، ج. ۱۳۸۵. آنالیز خاک و گیاه. انتشارات آبیژ، تهران.
۷. فتحی، م. و م. چرم. ۱۳۹۲. تأثیر زئولیت بر عناصر سنگین در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب و رشد گیاه ذرت. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۸. قربانی، ا.، م. ح. عابدی، ع. برزگر و ف. طارمیان. ۱۳۸۸. اپیدمیولوژی ضایعات و کشته شدگان ناشی از مین و مواد منفجره به‌جای مانده از جنگ عراق علیه ایران. مجله علمی پزشکی قانونی ۱۵(۳): ۱۸۸-۱۸۲.
۹. قنبری زاده، ل. و م. چرم. ۱۳۸۱. بررسی خصوصیات شیمیایی خاک‌های مناطق اطراف خرمشهر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی شهید چمران، اهواز.
۱۰. کوهیان افضل، م. ت. و آ. احمدزاده. ۱۳۹۱. جذب آرسنیک توسط ۵ نوع سبزی در دو خاک آلوده و تیمار شده. گاهنامه پژوهشی دانشگاه پیام نور استان چهارمحال بختیاری ۵: ۸-۱.

11. Leaniny, J. 2000. Environmental and health: Impact of war. *CAMJ* 163(9): 57-61.
12. Mahmoodabadi, M. R., F. Abdi, E. Adhami and G. H. Hadarbadi. 2008. Effects of zeolite application cadmium toxicity, growth, nodulation and chemical composition of soybean. *In: Proceeding of the Iran International Zeolite Conference*. Tehran.
13. Ming, D. W. and F. A. Mumpton. 1989. Zeolites in Soils. PP. 873-909. *In: J. B. Dixon and S. B. Weed. Minerals in Soil Environments (2<sup>nd</sup> Edition)*. SSSA. Madison, Wisconsin.
14. Page A. L., R. H. Miller and D. R. Keeney. 1982. *Methods of Soil Analysis, Part 2*, 2<sup>nd</sup> ed. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
15. Shi, W. Y., H. B. Shao and M. A. DuS. 2009. Progress in the remediation of hazardous heavy metal – polluted soils by natural zeolite. *Journal Hazardousmater* 170: 1-6.
16. Polat, E., M. Karaca, H. Demir and A. Onus. 2004. Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research* 12: 183-189.

## The Effect of Ionic Strength Zeolite on the Adsorption of Arsenic and Some Essential Nutrients for Wheat in Contaminated Soils by Munitions and Chemical Weapons

A. Azogh<sup>1,2</sup>, S. K. Marashi<sup>2\*</sup> and T. Babaeinejad<sup>3</sup>

(Received: March 14-2017 ; Accepted: November 21-2017)

### Abstract

The concern about the war and the threat of terrorism and weapons application and prohibited weapons is growing; on the other hand, the contamination of soil, plant and disease outbreaks in the community is increasing. The main problem with crops, especially wheat in the contaminated soils of war zones, are associated with the high concentrations of heavy metals and toxic things, especially arsenic. Zeolite is one of the solutions to the problem of contaminated soils in war affected areas. The aim of this study was to determine the effect of the ionic strength of zeolite on the adsorption of arsenic and nutritional properties of wheat in contaminated soils including weapons. The experiment was carried out in a factorial arrangement involving a randomized complete design with three replications. Treatments included four levels of zeolite 2.5 (a<sub>4</sub>), 1.5 (a<sub>3</sub>), 0.5 (a<sub>2</sub>), 0 (a<sub>1</sub>) percent of the weight of the soil and two soil recourses, one obtained from out of the war zone (without contamination) (b<sub>1</sub>) and other one was from the contaminated soil to weapons (b<sub>2</sub>). The results showed that soils contaminated by weapons increased the concentrations of arsenic in wheat. Also, with the application of Zeolite in the contaminated soil treatments, there was a significant reduction at 1% level and a remarkable increase in nitrogen, phosphorus, potassium and calcium in the wheat grain in both soils.

**Keywords:** Arsenic, Pollution, Weapons, Wheat, Zeolite

---

1. Department of Agronomy, Khuzestan Science and Research Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

2. Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

3. Department of Soil Science, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: marashi\_47@yahoo.com