

## اثر آلودگی آرسنیک بر فسفر خاک و غلظت فسفر گیاه سویا

فاطمه آجیلی<sup>۱\*</sup>، عبدالامیر بستانی<sup>۲</sup>، نجات پیرولی بیرانوند<sup>۳</sup>، داریوش طالعی<sup>۴</sup>، محمد بابا اکبری ساری<sup>۵</sup>

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد و کارشناس فعلی پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای کرج

۲. استادیار، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد تهران

۳. مربی، پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای کرج

۴. استادیار، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد تهران

۵. استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱/۲۲ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۱۰/۵)

### چکیده

در این تحقیق اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر فسفر قابل دسترس خاک و غلظت فسفر در گیاه سویا بررسی شد. در این راستا آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در گلدان‌های خاکی گلخانه پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای کرج اجرا گردید. عامل اول گیاه سویا با دو سطح (رقم L17 و لاین امید بخش)، عامل دوم آرسنیک با چهار سطح ( $0$ ،  $10$ ،  $50$  و  $100$ ) و عامل سوم تیمار فسفر با سطوح  $0$ ،  $25$ ،  $50$  و  $100$   $\text{mg.kg}^{-1}$  تیمارهای فسفر و آرسنیک خاک به ترتیب از طریق نمک‌های دی پتاسیم هیدروژن فسفات و دی سدیم هیدروژن آرسنات به خاک اضافه شد. بر اساس نتایج با افزایش آلودگی آرسنیک در خاک، فسفر قابل دسترس خاک افزایش یافت ( $P \leq 0.05$ ). اگرچه  $10$   $\text{mg.kg}^{-1}$  آرسنیک در خاک درصد جوانه‌زنی را  $6/4$  درصد نسبت به شاهد افزایش داد ( $0.05 \leq P$ )؛ اما مقادیر بالای آرسنیک ( $50$  و  $100$   $\text{mg.kg}^{-1}$ ) سبب کاهش  $16/11$  و  $76/68$  درصدی جوانه‌زنی در مقایسه با شاهد شدند ( $P \leq 0.01$ ). اثرات نامطلوب غلظت‌های  $50$  و  $100$   $\text{mg.kg}^{-1}$  آرسنیک در خاک سبب توقف رشد رویشی و در نهایت مرگ گیاهان در این سطوح آلودگی در اوایل مراحل رویشی گردید. مقدار  $10$   $\text{mg.kg}^{-1}$  آرسنیک در خاک منجر به کاهش  $25/87$  درصدی عملکرد اندام هوایی و افزایش  $18/6$  درصدی فسفر گیاه در مقایسه با شاهد شد ( $P \leq 0.01$ ). نتایج نشان داد اثر آرسنیک بر افزایش غلظت فسفر گیاه با افزایش غلظت تیمار فسفر افزایش یافت ( $P \leq 0.05$ ).

واژه‌های کلیدی: آلودگی، آرسنیک، فسفر، سویا، اثر رقابتی

### مقدمه

آرسنیک عنصری سمّی در اکوسیستم‌های طبیعی است (Magdi Selim, 2001). این عنصر با ورود به آب و خاک اراضی زراعی می‌تواند جذب گیاه شده و از طریق چرخه غذایی انسان، سلامت او را بطور مستقیم تحت تأثیر قرار دهد (Olyaie et al., 2012). شواهدی وجود دارد که مصرف آرسنیک احتمال ابتلا به بیماری‌های کبد، کلیه، مثانه، پوست و سرطان را افزایش می‌دهد (Gulz, 2002).

فعالیت‌های انسان در بسیاری از نقاط دنیا نگرانی‌های زیادی از نظر آلودگی آب، خاک و محصولات کشاورزی به آرسنیک ایجاد کرده است (Lakzian et al., 2009). استفاده از آب‌های زیرزمینی آلوده به آرسنیک برای آبیاری اراضی کشاورزی یکی از راه‌های ورود آرسنیک به محیط زیست گزارش

شده است (Magdi Selim, 2001). فرآوری و سوختن زغال سنگ‌های حاوی آرسنیک در نیروگاه‌های حرارتی و تولید برق از دیگر منابعی است که سبب انتشار آرسنیک به جو و در نهایت به محیط زیست می‌شود (Wang and Mulligan, 2006). امروزه به دلیل سمیت آرسنیک و شناسایی عوارض ناشی از آن، در بسیاری از کشورها استفاده از آفت‌کش‌هایی که حاوی آرسنیک باشند و ترکیباتی نظیر تری اکسی آرسنیک<sup>۱</sup> و تری هیدرید یا آرسنید هیدروژن<sup>۲</sup> ممنوع و محدود شده است (Mwamila, 2012).

مسمومیت با آرسنیک در کشورهایی همچون ویتنام، مغولستان، یونان، مجارستان، ایالات متحده آمریکا، تایلند، غنا، شیلی، آرژانتین، مکزیک (Magdi Selim, 2001)، شمال استرالیا، تاسمانیا (Mehmood et al., 2009) و بعضی از قسمت‌های اروپا

1.  $\text{As}_2\text{O}_3$   
2.  $\text{AsH}_3$

(*al.*, 2009). برخی پژوهشگران معتقدند فسفر در مقایسه با آرسنیک بیشتر جذب گیاه می‌شود، بنابراین افزایش غلظت فسفر در محیط کشت گیاه سبب می‌گردد حساسیت گیاهان غیرمقاوم به آرسنیک کاهش یابد (Lee *et al.*, 2003). اثر فسفر بر جذب آرسنیک توسط گیاه به دو خصوصیت گیاه از قبیل تمایل گیاه به جذب فسفر و حساسیت گیاه به آرسنیک بستگی دارد (Gulz, 2002). بنابراین، اینکه بتوان با افزودن فسفر به خاک، سمیت آرسنیک را کاهش یا افزایش داد به شرایط خاک و گیاه بستگی دارد (Gulz, 2002).

آستانه سمیت آرسنیک برای محصولات کشاورزی  $\text{mg.kg}^{-1}$  ۴۰<sup>۱</sup> است (Sheppard, 1992). البته باید به این نکته نیز توجه داشت که سمیت آرسنیک در خاک شنی ۵ برابر خاک رسی است برای مثال گیاهی که به  $\text{mg.kg}^{-1}$  ۴۰ آرسنیک در خاک شنی حساسیت نشان می‌دهد؛ می‌تواند  $\text{mg.kg}^{-1}$  ۲۰۰ آرسنیک در خاک رسی را بدون بروز علائم مسمومیت تحمل کند (Gulz, 2002). از سوی دیگر یافته‌های Woolson *et al.* (1971b) نشان داده شده است که در خاک، غلظت آرسنیک محلول نسبت به غلظت آرسنیک کل ارتباط بهتری با رشد گیاه دارد. بنابراین با توجه به خصوصیات متفاوت خاک‌ها و گیاهان، نمی‌توان غلظتی از آرسنیک کل موجود در خاک را بعنوان غلظت سمی برای گیاه پیش بینی نمود (Jacobs and Keeney, 1970).

براساس گزارش‌های موجود، وجود آرسنیک در محیط رشد، جوانه‌زنی و رشد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Salehi-Lisar, 2013). زیست‌توده یکی از عوامل کلیدی نشان دهنده وضعیت سلامت گیاه و میزان مقاومت آن در برابر تنش‌های مختلف است (Mahdiyeh *et al.*, 2012). اندازه‌گیری وزن خشک گیاه یکی از معیارهایی است که می‌تواند در مراحل مختلف رشد اثرات تنش را نشان دهد (Munns, 2005). همچنین در بحث‌های مربوط به برهم‌کنش فلزات سنگین و گیاهان، زیست‌توده نقش مهمی در بیان توانایی انباشت فلز و مقاومت گیاه در برابر این عناصر دارد (Baker *et al.*, 1976). Stoeva *et al.* (2005) بیان کردند که آرسنیک مانع از رشد و تولید زیست‌توده تر و خشک در گیاه می‌شود. در بیشتر گیاهان آرسنیک افزوده شده به محیط رشد گیاه، مانع از رشد و توسعه آن می‌شود (Lasat, 2002).

با توجه به رقابت میان فسفات و آرسنات برای اتصال به مکان‌های جاذب فاز جامد خاک و ورود به گیاه، تحقیق حاضر به منظور بررسی اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر فراهمی فسفر خاک، درصد جوانه‌زنی، عملکرد اندام‌هوایی و غلظت فسفر گیاه سوپا اجرا گردید.

(رومانی، صربستان و مجارستان) گزارش شده است (Nadiri *et al.*, 2012). آلودگی آرسنیک بیشتر متعلق به کشورهای جنوب شرقی آسیا (هندوستان، پاکستان و بنگلادش) می‌باشد (Mahdiyeh *et al.*, 2012)؛ با این وجود آب و خاک ایران نیز از مضرات آلودگی آرسنیک در امان نبوده است. باتوجه به اینکه زمین‌شناسی آرسنیک در نقاط مختلف دنیا مورد مطالعه قرار گرفته است؛ آلودگی‌های گزارش شده در ایران عمدتاً منشأ زمین‌ساختی داشته و بیشتر مربوط به محدوده‌های هم‌جوار چشمه‌های آب گرم و سنگ‌های آتشفشانی جوان می‌باشند (Majedi *et al.*, 2013).

در خاک آنیون‌هایی حاصل از فعالیت‌های انسانی، ترشحات ریشه گیاه و تجزیه بقایای گیاهی، ترکیبات غذایی و سمومی وجود دارند که به‌عنوان لیگاند‌های آلی و معدنی شناخته می‌شوند. این لیگاند‌ها قادرند با آرسنات و آرسنیت برای اتصال به مکان‌های جذب موجود در خاک رقابت کرده و بدین ترتیب روی تحرک آرسنیک اثرگذار باشند (Zhu *et al.*, 2013). محققان دریافته‌اند اکسی‌آنیون‌های آرسنات و فسفات لیگاند‌هایی هستند که از نظر شیمیایی رفتاری مشابه دارند و از طریق اختصاصی و تشکیل کمپلکس‌های درون ساختاری پایدار توسط ذرات معدنی خاک جذب می‌شوند (Renkou *et al.*, 2009). آرسنیک و فسفر توانایی شیمیایی زیادی در ترکیب شدن با آهن و آلومینیوم و تشکیل کمپلکس‌های درون ساختاری دارند و این موضوع سبب می‌گردد در صورت حضور هر دو آن‌ها در محیط، رقابت میان آن‌ها برای جذب شدن توسط خاک وجود داشته باشد (Mwamila, 2012). فسفات برای اینکه توسط مکان‌های جذب موجود بر سطوح اکسید آهن جذب شود با آرسنات و آرسنیت رقابت دارد و در نتیجه می‌تواند بر حلالیت آرسنیک در خاک اثرگذار باشد (Hossain *et al.*, 2009). همچنین یافته‌های Jahangiri *et al.* (2011) حاکی از وجود ارتباط میان مقدار آرسنات جذب شده توسط کلونیدهای خاک و میزان نیترات و فسفات موجود در محلول خاک دارد.

از آنجا که آرسنات از نظر شیمیایی شباهت زیادی به ارتوفسفات دارد، به نظر می‌رسد در انواع موجودات زنده آرسنات با همان مکانسیم جذبی که برای فسفات وجود دارد، وارد سلول‌های ریشه می‌شود (Asher and Reay, 1979; Mehrag and Macnair, 1994) در نتیجه این دو عنصر برای ورود به سلول‌های ریشه و جذب سطحی ذرات خاک با یکدیگر رقابت می‌کنند؛ این امر می‌تواند سبب شود که ریشه گیاهان غیر سازگار به آرسنیک، نتواند بین آرسنیک و فسفر تفاوتی قائل شود (Meharg *et al.*, 1990; Wang *et al.*, 2002; Karimi *et al.*, 1990).

## مواد و روش

به منظور بررسی اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر فراهمی فسفر و برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه سویا، آزمایشی به صورت فاکتوریل  $2 \times 4 \times 4$  در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در شرایط گلخانه پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای اجرا گردید. عامل اول گیاه سویا با دو سطح (رقم مادری L17 و لاین امید بخش)، عامل دوم آلودگی آرسنیک با چهار سطح ( $0, 10, 50, 100 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) و عامل سوم سطوح فسفر با ۴ چهار سطح ( $0, 25, 50, 100 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) بود. فسفر و آرسنیک به ترتیب از منابع دی پتاسیم هیدروژن فسفات<sup>۱</sup> و دی سدیم هیدروژن آرسنات<sup>۲</sup> به خاک افزوده گردید. آزمایش در واحدهای آزمایشی که حاوی  $3/5$  کیلوگرم خاک بود، انجام شد. خاک غیر آلوده مورد نیاز از سطح  $25-0$  سانتی‌متری مزارع زراعی زعفرانیه کرج به گلخانه انتقال یافت. قبل از شروع آزمایش بافت خاک به روش هیدرومتری (Bouyoucos, 1962) و غلظت فسفر قابل دسترس (Olsen and Sammers, 1982) آن اندازه‌گیری شد (جدول ۱). همچنین میزان هدایت الکتریکی و pH در عصاره اشباع خاک (Rhoades, 1982) و آب گلخانه تعیین گردید (جدول ۱). مقدار کربنات - بی‌کربنات و سولفات خاک و آب به ترتیب به روش تیتراسیون و تشکیل رسوب با استون اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

ابتدا خاک مورد استفاده الک (با قطر منفذ ۴ mm) و بخوبی با هم مخلوط شد. به منظور مشابه‌سازی خاک با مناطق آلوده به آرسنیک، آلوده نمودن خاک به آرسنیک قبل از کشت و افزودن کود فسفره انجام گرفت. از آنجا که می‌بایست آرسنیک در خاک به شرایط نسبتاً پایداری برسد، خاک آلوده شده در کیسه‌های نایلونی نگهداری و به مدت ۶ هفته تر و خشک شد. پس از این مدت خاک هر کیسه به طور جداگانه کوبیده و مخلوط گردید سپس مقادیر فسفر مورد نیاز به صورت محلول به خاک افزوده شد. یک ماه پس از مخلوط کردن کامل خاک، نمونه برداری از خاک جهت بررسی مقدار فسفر قابل دسترس خاک به روش اولسن (Olsen and Sammers, 1982) انجام

1.  $K_2HPO_4$
2.  $Na_2HAsO_4 \cdot 7H_2O$

جدول ۱. برخی از ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی آب آبیاری و خاک قبل از اجرای آزمایش

نمونه	رس	شن	سیلت	بی‌کربنات سولفات	As		P (olsen)	*EC	*pH
					(available)	(available)			
				meq.L <sup>-1</sup>	mg.kg <sup>-1</sup>				
خاک	۲۸/۳	۵۳/۷	۱۸	۱/۳۳	۲/۸۸	۰/۰	۳/۴	۰/۹۳	۸/۲
آب آبیاری	-	-	-	۱/۷۳	۳/۷۹	۰/۰	-	۰/۹۳	۸/۰

\* قابلیت هدایت الکتریکی و اسیدیته خاک در عصاره اشباع اندازه‌گیری شد.

پذیرفت. پس از افزودن نمک‌های آرسنات و فسفات به خاک، عصاره‌گیری از خاک با استفاده از بی‌کربنات سدیم  $0/5$  مولار انجام و غلظت آرسنیک قابل دسترس خاک با استفاده از سیستم هیدرید (Hydride 55A) دستگاه جذب اتمی مدل Analytic yenacontra AA 300 اندازه‌گیری شد (Zeng et al, 2012).

عملیات کشت در اردیبهشت ماه اجرا گردید. در هر گلدان ۱۰ بذر سویا کشت و آبیاری با توجه به نیاز گیاه به گونه‌ای انجام شد که علی‌رغم تأمین آب مورد نیاز گیاه، هیچ گونه آبشویی رخ نداد. جهت تعیین درصد جوانه‌زنی، دو هفته پس از کشت بذرها جوانه زده شده شمارش شدند. در مرحله پر شدن غلاف‌های سویا، عملیات برداشت اجرا شد. تمام زیتوده اندام-هوایی سویا در هر گلدان، از یک سانتی‌متری سطح خاک قطع گردید. همچنین به منظور اندازه‌گیری مجموع غلظت فسفر کل گیاه، ریشه نیز به آرامی از خاک خارج و با آب مقطر شستشوی داده شد. سپس اندام هوایی و ریشه گیاه به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۳ درجه سانتی‌گراد قرار داده و خشک گردید. پس از آون خشک شدن اندام هوایی و ریشه، غلظت فسفر گیاه به روش رنگ‌سنجی و با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۰ nm قرائت گردید.

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن با استفاده از نرم‌افزار SPSS V:22 و رسم نمودار-ها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

## نتایج و بحث

نتایج اندازه‌گیری برخی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک و آب مورد استفاده در جدول (۱) آورده شده است. نتایج نشان داد که بافت خاک مورد استفاده در کلاس لومی رسی شنی قرار داشت. خاک مورد نظر و آب آبیاری از نظر اسیدیته در محدوده قلیایی و از نظر هدایت الکتریکی در محدوده غیر شور ( $dS.m^{-1} < 2$  EC) بود (Richards, 1954). همان‌گونه که در جدول (۱) مشخص شده؛ غلظت فسفر قابل دسترس بومی خاک در محدوده کم قرار داشت.

در خاک، سبب گردید غلظت فسفر قابل دسترس خاک در مقایسه با شاهد افزایش یابد. بطوریکه در خاک آلوده به مقادیر زیاد آرسنیک، افزودن مقادیر  $25 \text{ mg.kg}^{-1}$ ،  $50$  و  $100$  فسفر به خاک حاوی  $50 \text{ mg.kg}^{-1}$  آرسنیک سبب افزایش  $3/78$ ،  $1/33$ ،  $7/26$  درصدی غلظت فسفر قابل دسترس خاک نسبت به شاهد شد. همچنین وجود  $100 \text{ mg.kg}^{-1}$  آرسنیک در خاک باعث شد در تیمارهای مختلف فسفر ( $25 \text{ mg.kg}^{-1}$ ،  $50$  و  $100$ ) غلظت فسفر قابل دسترس خاک به ترتیب  $19/52$ ،  $5/79$ ،  $9/52$  درصد در مقایسه با شاهد افزایش یابد (شکل ۱). با توجه به نتایج اثرات متقابل، این احتمال وجود دارد که در سطوح مختلف فسفر با افزایش غلظت آرسنیک در خاک، تمایل آرسنیک برای باقی ماندن در فاز جامد خاک افزایش می‌یابد؛ در نتیجه امکان اتصال فسفر به این سطوح کاهش یافته و در نتیجه دسترسی فسفر افزایش خواهد یافت. این نتایج نشان داد که فسفات و آرسنات دو گونه مشابهی هستند که از نظر ساختاری و رفتار شیمیایی بسیار به یکدیگر شباهت دارند (O'Reilly et al., 2001)، در نتیجه آرسنیک و فسفر توسط سطوح جاذب یکسانی در خاک جذب می‌شوند. براساس نتایج برخی گزارش‌ها، از لیگاندهای آنیونی که با آرسنات و آرسنیت برای اتصال به مکان‌های جذب رقابت می‌کنند می‌توان به سلنات، سولفات، سلنیت، فسفات، مولیبدات، کربنات، نیترات، هومیک اسید، اگزالات، فولیک اسید، تارتارات، ملات و سیترات اشاره نمود (Vodyanitskii, 2009). آرسنیک همانند فسفر می‌تواند به فرم‌های نامحلول رسوبات آرسنات کلسیم<sup>۱</sup>، آرسنات منگنز<sup>۲</sup>، آرسنات آلومینیوم<sup>۳</sup> و آرسنات آهن<sup>۴</sup> در خاک وجود داشته باشد (Tu and Ma, 2003). همچنین برخی پژوهشگران دیگر نشان دادند که اکسی‌آنیون-های آرسنات و فسفات که از نظر شیمیایی رفتاری مشابهی دارند از طریق اختصاصی و تشکیل کمپلکس‌های درون ساختاری پایدار توسط ذرات معدنی خاک به ویژه سطوح اکسیدهای آهن و آلومینیوم جذب می‌شوند (Renkou et al., 2009). بنابراین فسفات و آرسنات برای جذب روی محل‌های جاذب فاز جامد با یکدیگر در رقابتند (Majedi et al., 2013).

در خاک‌های مختلف با ویژگی‌های شیمیایی و مینرالوژی مختلف، آرسنات و فسفات با شدت متفاوتی به سطوح جاذب جذب می‌شوند (Violante and Pigna, 2002). Stanforth (2001) با بررسی جذب فسفات و آرسنات روی

براساس اندازه‌گیری‌های انجام شده پس از افزودن نمک‌های آرسنات و فسفات، میانگین غلظت آرسنیک در دسترس خاک در سطوح مختلف آرسنیک در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۲- میانگین غلظت آرسنیک در دسترس خاک در سطوح مختلف آرسنیک

سطوح آرسنیک	غلظت آرسنیک در دسترس خاک ( $\text{mg.kg}^{-1}$ )
$10 \text{ mg.kg}^{-1}$	۳/۲۴
$50 \text{ mg.kg}^{-1}$	۱۶/۷۱
$100 \text{ mg.kg}^{-1}$	۵۲/۱۵

### اثر آرسنیک بر فسفر قابل دسترس خاک

نتایج تجزیه واریانس اثرات آرسنیک، فسفر و اثر متقابل آن‌ها بر فسفر قابل دسترس خاک در جدول (۳) آورده شده است.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر سطوح آرسنیک، فسفر و اثر متقابل آن‌ها بر غلظت فسفر قابل دسترس خاک

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)
آرسنیک	۳	۲۶۴۴/۷ **
فسفر	۳	۹۶۹۷/۸ **
آرسنیک × فسفر	۹	۱۷/۷ *
خطا	۸۰	۶/۳۱۳
ضریب تغییرات (% CV)		۸/۱

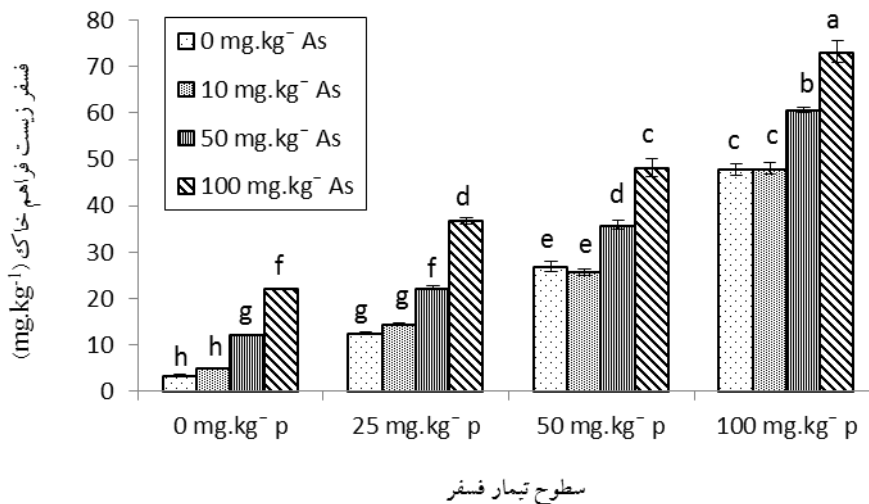
\* و \*\* به ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد دارای اختلاف معنی دار هستند.

نتایج نشان داد اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر فسفر قابل دسترس خاک در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). اغلب افزایش غلظت آرسنیک در سطوح فسفر منجر گردید غلظت فسفر قابل دسترس خاک در مقایسه با شاهد افزایش یابد. به عنوان مثال در صورت عدم افزودن فسفر به خاک، غلظت فسفر قابل دسترس در خاک آلوده  $3/36 \text{ mg.kg}^{-1}$  بود که این مقدار با افزودن  $10 \text{ mg.kg}^{-1}$ ،  $50$ ،  $100$  آرسنیک به ترتیب  $3/46$ ،  $3/261$  و  $8/557$  درصد افزایش یافت (شکل ۱). به نظر می‌رسد در شرایط کمبود فسفر قابل دسترس خاک، افزودن آرسنیک به خاک موجب شده بخش‌هایی از فسفر فاز جامد خاک از سطوح جاذب جدا و وارد فاز محلول شده است (شکل ۱). اگرچه در سطوح مختلف فسفر، آلوده بودن خاک به  $\text{mg.kg}^{-1}$   $10$  آرسنیک تأثیر معنی‌داری بر غلظت فسفر قابل دسترس خاک نداشت اما مقادیر بیشتر آرسنیک ( $50 \text{ mg.kg}^{-1}$  و  $100$ )

1.  $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2$   
 2.  $\text{Mn}_3(\text{AsO}_4)_2$   
 3.  $\text{AlAsO}_4$   
 4.  $\text{FeAsO}_4$

بیشتری را نسبت به آرسنات، نگهداری می‌کنند (Violante, and Pigna, 2002). برخی مطالعات دیگر نشان داده است که، با افزودن غلظت یکسانی از فسفات و آرسنات (مولار) به خاک، معمولاً آرسنات نسبت به فسفات به مقدار بیشتری توسط بیرنسایت، پیرولولزیت، گئوتیت، نونترونیت و فروژینوس اسمکتایت جذب می‌شود (Violante, and Pigna, 2002). در مقابل Majedi *et al.* (2013) معتقدند که افزودن فسفات و نیترات باعث واژدبی آرسنات می‌گردد. بنابراین تحرک آرسنات در حضور فسفات متأثر از عواملی مانند pH، نسبت غلظت آرسنات به فسفات، زمان پایداری آرسنات در محیط و ماهیت جذب کننده می‌باشد (Violante, and Pigna, 2002).

گئوتیت در محدوده پهاش بین ۲/۴۵ تا ۵/۱۵ در محلول زمینه ۰/۰۰۱ مولار کلرید سدیم نشان دادند در غلظت‌های کم فسفات و آرسنات، رفتار جذبی این دو مشابه اما در غلظت‌های بیشتر جذب آرسنات روی سطوح گئوتیت بیشتر از فسفات می‌باشد. گزارش‌های Violante and Pigna (2002) نشان می‌دهد که اکسیدهای آهن، منگنز، تیتانیوم و فیلوسیلیکات‌های غنی از آهن همانند نونترونیت و فروژینوس، مونت‌موریلونیت، ایلایت، ورمی‌کولایت، اسمکتایت و کائولینایت در محدوده پهاش ۴ تا ۸ تأثیر بیشتری روی جذب آرسنات نسبت به فسفات دارند؛ در مقابل کانی‌های غنی از آلومینیوم (گیبسایت، بوهمیت، رسوبات غیرکریستالی آلومینیوم‌دار، آلفان و کائولینایت) فسفات



شکل ۱. مقایسه میانگین اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر غلظت فسفر قابل دسترس خاک

حروف مشترک براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است.

به دو دلیل می‌تواند رشد گیاه را تحریک کند: (۱) سیستم گیاهی با مقادیر کمی از آرسنیک تحریک می‌شود، (۲) جایگزینی آرسنات بجای فسفات در خاک، سبب افزایش فسفر در دسترس گیاه خواهد شد. سایر محققین در مطالعات خود به اثرات مثبت آرسنیک در رشد گیاه پی بردند (Cox and Bell, 1996; Carbonell – Barrachina *et al.*, 1998). اثر آرسنیک را روی گیاه لیمو در محیط هیدروپونیک بررسی نمود و دریافت آرسنیک به صورت آرسنات یا آرسنیت ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) (۱) رشد گیاه را بهبود بخشیده است.

افزودن بیش از  $10 \text{ mg.kg}^{-1}$  آرسنیک ( $50 \text{ mg.kg}^{-1}$  و  $100$ ) به خاک، درصد جوانه‌زنی را به ترتیب  $16/11$  و  $76/68$  درصد نسبت به شاهد کاهش داد (شکل ۲). وجود آرسنیک در محیط رشد، جوانه‌زنی و رشد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Salehi-Lisar *et al.*, 2013). Chun-XIL *et al.* (2007) اظهار داشتند؛ پارامترهای جوانه‌زنی گندم در شرایط آلودگی آرسنیک

## اثر آرسنیک بر برخی ویژگی‌های سویا

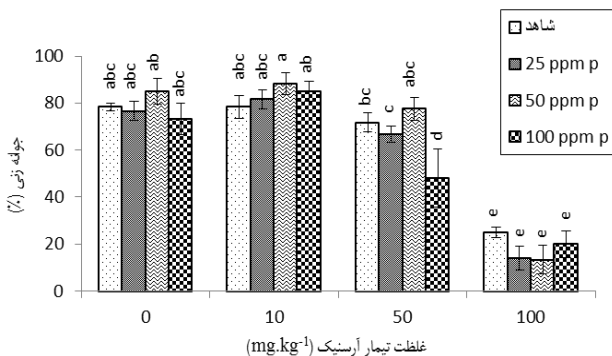
### الف- درصد جوانه‌زنی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سطوح مختلف آرسنیک و اثر متقابل آرسنیک و فسفر تأثیر معنی‌داری بر درصد جوانه‌زنی سویا داشت (جدول ۴).

اگرچه در غلظت‌های  $50$  و  $100 \text{ mg.kg}^{-1}$  آرسنیک، درصد جوانه‌زنی سویا به طور معنی‌داری کاهش یافت اما نتایج نشان داد در غلظت پایین آرسنیک ( $10 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) این صفت در مقایسه با تیمار شاهد  $6/4$  درصد افزایش یافت. شاید مشاهده چنین پدیده‌ای را بتوان به اثرات مثبت غلظت‌های پایین آرسنیک بر رشد گیاه نسبت داد. با توجه به اینکه آرسنیک جزء عناصر مغذی گیاه نیست افزایش رشد گیاه در حضور آرسنیک می‌تواند ناشی از اثرات غیر مستقیم این عنصر باشد (Tu and Ma, 2003). نتایج Woolson *et al.* (1971) نشان داد که آرسنیک

گیاهان در مرحله تشکیل اولین سه برگی خود بودند علائم پژمردگی در آنها مشاهده شد و از بین رفتند. نتایج پژوهش‌های Geng *et al.* (2006) نشان داده است که غلظت‌های بالای آرسنیک باعث ایجاد تداخل در فرایندهای متابولیسمی گیاه شده و می‌تواند مانع رشد گیاه گردد به طوری که در غلظت‌های بالای آرسنیک، گیاه می‌میرد. برخی پژوهشگران نیز گزارش کرده‌اند؛ گیاهان حساس به آرسنیک در حضور این عنصر آسیب دیده و علائمی از قبیل کاهش رشد ریشه تا مرگ گیاه در آنها مشاهده خواهد شد (Talukdar, 2010; Cozzolino *et al.*, 2011). آرسنیک جذب و انتقال برخی عناصر غذایی را در گیاه دچار اختلال می‌کند؛ اختلال در تغذیه، اصلی‌ترین علت کاهش عملکرد و نشانه مسمومیت گیاه در شرایط حضور آرسنیک است (Gulz, 2002). از علائم ظاهری مسمومیت آرسنیک در گیاه می‌توان به پژمردگی برگ‌ها اشاره نمود (Gulz, 2002). اثرات منفی ناشی از سمیت آرسنیک روی اجزای رشد در گیاه عدس نیز گزارش شده است (Ahmed *et al.*, 2006). بنابراین، بررسی پاسخ درصد جوانه‌زنی گیاهان به آرسنیک، به تنهایی نمی‌تواند نشان‌دهنده مقاومت گیاهان به شرایط تنش باشد، بلکه بررسی چگونگی رشد و بقاء گیاهان نیز ضروری است.

نتایج نشان داد درصد جوانه‌زنی با افزودن  $25 \text{ mg.kg}^{-1}$ ،  $50$  و  $100$  فسفر به خاک حاوی  $50 \text{ mg.kg}^{-1}$  آرسنیک  $13/04$ ،  $8/82$  و  $34/82$  درصد و به خاک آلوده به  $100 \text{ mg.kg}^{-1}$  آرسنیک به ترتیب  $81/7$ ،  $84/3$  و  $72/7$  درصد نسبت به شرایط مشابه در خاک فاقد آلودگی آرسنیک کاهش یافت. بدین ترتیب در سطوح مختلف فسفر با افزایش غلظت آلودگی آرسنیک درصد جوانه‌زنی با شدت بیشتری کاهش پیدا کرد (شکل ۳).



شکل ۳. مقایسه میانگین درصد جوانه‌زنی گیاه سویا در اثر کاربرد مقادیر مختلف فسفر در خاک آلوده به آرسنیک  
حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است.

نتایج حاکی از این بود که در غلظت ثابت  $100 \text{ mg.kg}^{-1}$  آرسنیک، بین سطوح مختلف فسفر از نظر درصد جوانه‌زنی

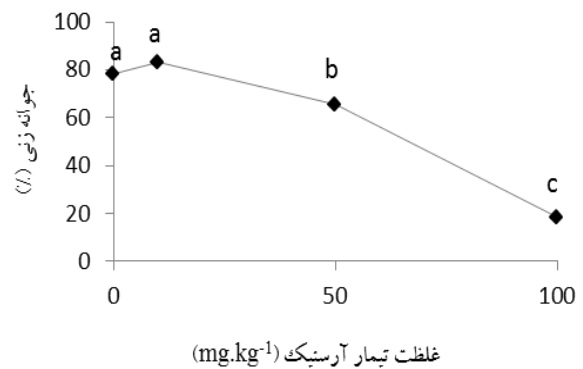
کاهش یافت. همچنین کاهش معنی‌دار درصد جوانه‌زنی گندم در شرایطی که غلظت آرسنیک در آب آبیاری بیش از  $1 \text{ mg.L}^{-1}$  بود مشاهده شد (Pigna *et al.*, 2012). برخی محققان مشاهده کردند؛ با افزایش غلظت آرسنیت ( $50$ ،  $100$ ،  $200$  و  $300 \mu\text{m}$ ) درصد جوانه‌زنی بذر به تدریج کاهش یافت (Sharma *et al.*, 2011).

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر سطوح رقم، آرسنیک و فسفر، و اثرات متقابل آنها بر درصد جوانه‌زنی سویا

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
ارقام	۱	$250/980^{ns}$
آرسنیک	۳	$20592/562^{**}$
فسفر	۳	$478/908^*$
رقم × آرسنیک	۳	$463/262^*$
رقم × فسفر	۳	$179/813^{ns}$
آرسنیک × فسفر	۹	$379/594^*$
رقم × آرسنیک × فسفر	۹	$286/872^*$
خطا	۶۰	$128/333$
ضریب تغییرات (% CV)		$18/44$

\* و \*\* به ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

<sup>ns</sup> نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار است.

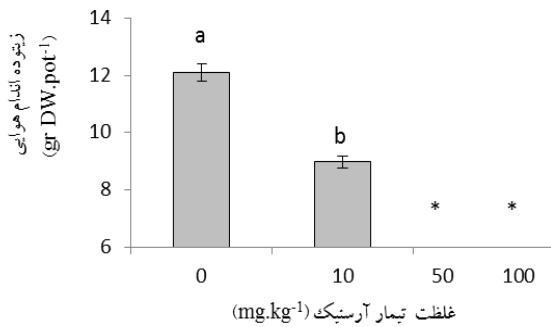


شکل ۲- مقایسه میانگین اثر مقادیر مختلف آرسنیک بر درصد جوانه‌زنی سویا

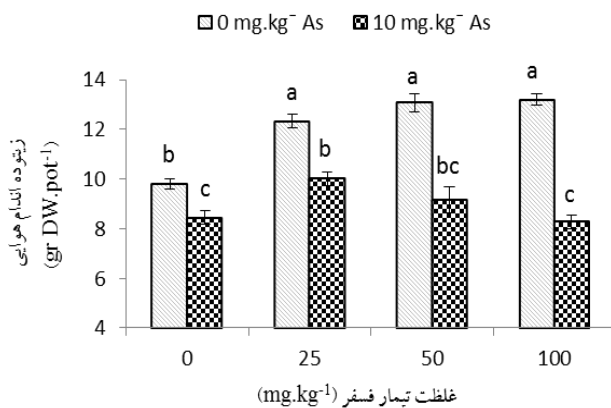
حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۰/۰۱ درصد نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است.

اگرچه درصد جوانه‌زنی گیاه سویا در سطح آلودگی  $100 \text{ mg.kg}^{-1}$  آرسنیک  $18/3$  درصد بود (شکل ۲)، اما در این سطح آلودگی، گیاه نتوانست اولین دو برگ خود را کامل نماید و چند روز پس از جوانه‌زنی از بین رفت. همچنین علی‌رغم اینکه درصد جوانه‌زنی در سطح  $50 \text{ mg.kg}^{-1}$  آلودگی آرسنیک  $65/7$  درصد بود؛ اما با گذشت یک ماه از رشد رویشی، در حالی که

(شکل ۵). براساس گزارش‌های موجود، کاربرد فسفر مخصوصاً در شرایطی که فسفر در دسترس خاک کم بود برای کاهش سمیت آرسنیک اثر حفاظتی در گیاه گندم بوجود آورد (Cozzolino *et al.*, 2010).



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر آرسنیک بر زیتوده اندام هوایی سویا  
\* در غلظت‌های بالای آرسنیک گیاهان از بین رفتند.  
حروف غیر مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۰/۰۱ نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌داری است.



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر زیتوده اندام هوایی گیاه سویا  
حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۰/۰۱ نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است.

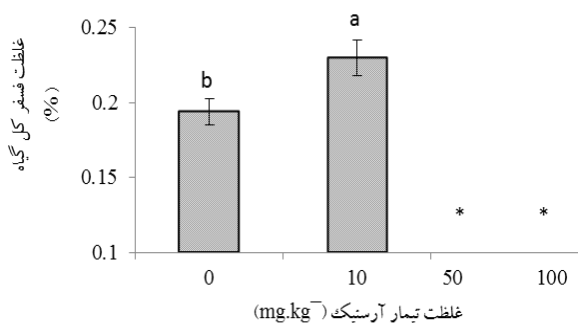
همانطور که در شکل (۵) نشان داده شده است، استفاده از مقادیر ۵۰ و ۱۰۰ mg.kg<sup>-1</sup> فسفر در خاک حاوی ۱۰ mg.kg<sup>-1</sup> آرسنیک منجر گردید زیتوده اندام‌هوایی نسبت به سطح دوم تیمار فسفر (۲۵ mg.kg<sup>-1</sup>) به ترتیب ۸/۴ و ۱۷/۳ درصد کاهش یابد؛ شدت این کاهش در بالاترین مقدار تیمار فسفر معنی‌دار بود. این احتمال وجود دارد که غلظت‌های بالای فسفر سبب جدا سازی آرسنیک از فاز جامد و در نتیجه افزایش دسترسی آرسنیک شده است؛ بدین ترتیب با افزایش غلظت فسفر بکار رفته در خاک آلوده به ۱۰ mg.kg<sup>-1</sup> آرسنیک، اثرات ناشی از آرسنیک بر زیتوده اندام‌هوایی تشدید گردید. Gulz (2002)

تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ( $P \geq 0.05$ )؛ بنابراین به احتمال زیاد فسفر در مهار یا تشدید اثرات سمی آرسنیک در غلظت‌های بالای آلودگی، نقش چندانی ندارد.

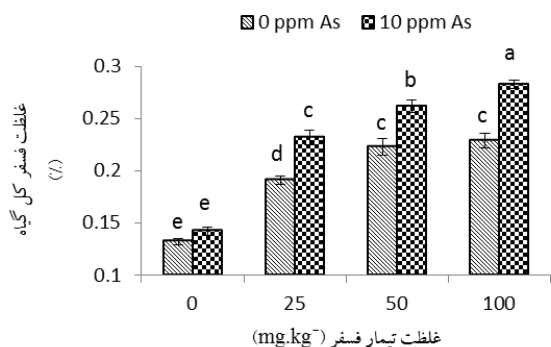
#### ب- عملکرد زیتوده اندام‌هوایی

شکل (۴) مقایسه میانگین اثر آلودگی آرسنیک بر زیتوده اندام-هوایی گیاه سویا را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که زیتوده اندام‌هوایی در خاک آلوده به ۱۰ mg.kg<sup>-1</sup> آرسنیک نسبت به خاک شاهد بطور معنی‌داری کاهش یافت ( $P \leq 0.01$ ) (شکل ۴). این نتایج با یافته‌های Pigna *et al.* (2009) و Cozzolino *et al.* (2010) در خصوص حساسیت گیاه گوجه‌فرنگی و گندم به آرسنیک، مشابهت دارد. نتایج نشان داد زیتوده اندام‌هوایی در تیمار ۱۰ mg.kg<sup>-1</sup> آرسنیک در مقایسه با شاهد ۲۵/۸۷ درصد کاهش یافت. این در حالی بود که در سطوح ۵۰ mg.kg<sup>-1</sup> و ۱۰۰ mg.kg<sup>-1</sup> آرسنیک گیاهان در مراحل اولیه رشد از بین رفتند. Geng *et al.* (2006) با افزودن غلظت‌های ۰، ۶۶۷ و ۲۰۰۰ میکرومولار آرسنیک به خاک، دریافتند با افزایش غلظت آرسنیک موجود در خاک زیتوده ریشه و اندام‌هوایی گندم کاهش یافت. بررسی رفتار گیاهان کشت شده در خاک‌های حاوی آرسنیک توسط Srivastava *et al.* (2009) نیز نشان داد؛ آرسنیک سبب کاهش زیتوده تر و خشک و عملکرد گیاهان شده است. سمیت آرسنات و آرسنیت منجر شد با افزایش غلظت آرسنات و آرسنیت خاک، تولید زیتوده ریشه گندم کاهش یابد (Liu *et al.*, 2005). بر اساس بررسی‌های انجام شده توسط Talukdar (2011) در محیط پتری دیش؛ میانگین وزن تر و خشک ریشه و اندام-هوایی؛ همچنین ارتفاع ریشه و اندام هوایی با افزایش غلظت آرسنیک (۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ mg.L<sup>-1</sup>) کاهش یافت. Sultana *et al.* (2012) بیان نمودند عملکرد ریشه سیاه دانه در غلظت ۱۰۰ mg.kg<sup>-1</sup> آرسنیک در خاک از ۰/۱۶ به ۰/۱۲ گرم کاهش یافت در حالی که وزن خشک ریشه گیاه روغنی کرچک با افزایش سطح آرسنیک خاک به طور معنی‌داری از ۱/۰۱ به ۱/۰۷ گرم افزایش یافت.

شکل (۵) مقایسه میانگین اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر زیتوده اندام‌هوایی سویا را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد در صورت کاربرد تیمارهای ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ mg.kg<sup>-1</sup> فسفر در خاک حاوی ۱۰ mg.kg<sup>-1</sup> آرسنیک، میانگین زیتوده اندام‌هوایی نسبت به عدم کاربرد فسفر به ترتیب ۱۸/۶ و ۸/۵ درصد افزایش و ۱/۹ درصد کاهش یافت (شکل ۵). بالاترین میانگین این صفت در اثر افزودن ۲۵ mg.kg<sup>-1</sup> فسفر مشاهده شد که این مقدار بطور معنی‌داری (۱۸/۶ درصد) بیشتر از تیمار شاهد فسفر بود



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر آرسنیک بر غلظت فسفر گیاه سویا حروف غیر مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۰/۰۱ نشان دهنده وجود اختلاف معنی داری است. \* در غلظت‌های بالای آرسنیک گیاه زنده نماند.



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر غلظت فسفر گیاه حروف غیر مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۰/۰۱ نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار است.

در صورت عدم کاربرد کود فسفر، غلظت فسفر گیاه در خاک آلوده به آرسنیک ( $10 \text{ mg.kg}^{-1}$ )  $7/6$  درصد بیشتر از شاهد بود ( $P \geq 0/05$ ). افزودن  $25$ ،  $50$  و  $100 \text{ mg.kg}^{-1}$  فسفر به خاک باعث شد غلظت فسفر گیاه در دو خاک آلوده و غیر آلوده به آرسنیک با یکدیگر بطور قابل ملاحظه‌ای اختلاف داشته باشند ( $P \leq 0/01$ ) (شکل ۷). در غلظت‌های ثابت  $25 \text{ mg.kg}^{-1}$ ،  $50$  و  $100 \text{ mg.kg}^{-1}$  فسفر، غلظت فسفر گیاه در خاک حاوی  $10 \text{ mg.kg}^{-1}$  آرسنیک به ترتیب  $21/47$ ،  $17/49$  و  $23/58$  درصد بیش از این ویژگی در خاک غیرآلوده به آرسنیک گردید (شکل ۷). برخی محققان مشاهده نمودند؛ در رقابت میان دو آنیون آرسنات و فسفات برای اتصال به مکان‌های جذب، آرسنات سبب کاهش تجمع فسفر در گیاه شد (Ullrich-Eberius et al., 1984; Asher and Reay, 1979). براساس گزارشات موجود، غلظت و محتوای فسفر در اندام‌هوایی گوجه‌فرنگی با افزایش غلظت آرسنیک در آب آبیاری به طور معنی‌داری کاهش یافت و این کاهش در در خاک‌هایی که از کود فسفر در آن‌ها استفاده نشده

گزارش نمودند؛ افزودن فسفر به خاک سبب افزایش غلظت فسفر و آرسنیک محلول شد. فسفات به عنوان عاملی که می‌تواند آرسنیک جذب شده در فاز جامد خاک را جدا کند؛ شناخته شده است (Woolson et al., 1973). از سوی دیگر نسبت غلظت آرسنات به فسفات از عواملی که بر غلظت آرسنیک محلول در خاک اثرگذار است (Violante and Pigna, 2002). از آنجا که فسفات و آرسنات تمایل ترکیبی نسبتاً قوی با سطوح معدنی دارند (Antelo et al., 2005)؛ برخی معتقدند کاربرد فسفر در خاک‌های حاوی آرسنیک می‌تواند باعث کاهش جذب سطحی آرسنیک توسط ذرات خاک شود و در نتیجه آرسنیک بیشتر در دسترس گیاه قرار گرفته و با اینکه فسفر در محیط کشت وجود دارد اما نمی‌تواند جلوی جذب آرسنیک توسط گیاه را بگیرد (Violante and Pigna, 2002)؛ زیرا آرسنات در انواع موجودات زنده با همان مکانسیم جذبی که برای فسفات وجود دارد وارد سلول‌های ریشه می‌شود (Gulz, 2002). همچنین این احتمال نیز وجود دارد که در غلظت‌های بالای فسفر، گیاه همراه با جذب بیشتر فسفر مقادیر بیشتری نیز آرسنیک جذب کرده است و این کاهش زیست توده اندام هوایی ناشی از جذب آرسنیک توسط گیاه باشد.

### ج- غلظت فسفر گیاه

شکل (۶) مقایسه میانگین اثر آلودگی آرسنیک بر غلظت فسفر گیاه سویا را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج بدست آمده، میانگین غلظت فسفر گیاه در خاک شاهد  $0/19$  درصد بدست آمد؛ این صفت در خاک آلوده به آرسنیک ( $10 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) با  $18/6$  درصد افزایش به  $0/23$  درصد رسید ( $P \leq 0/01$ ) (شکل ۶).

شکل (۷) مقایسه میانگین اثرات متقابل آرسنیک و فسفر بر غلظت فسفر گیاه را نشان می‌دهد. براساس نتایج بدست آمده، در صورت عدم کاربرد فسفر در خاک شاهد و آلوده به آرسنیک ( $10 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) غلظت فسفر گیاه به ترتیب  $0/132$  و  $0/142$  درصد بود (شکل ۷). یافته‌ها نشان دادند در هر دو خاک شاهد و آلوده به آرسنیک ( $10 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) با افزایش غلظت تیمار فسفر، غلظت فسفر گیاه در مقایسه با عدم کاربرد فسفر به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (شکل ۷). از آنجا که مقدار فسفر در دسترس بومی خاک مورد آزمایش در محدوده کم ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) قرار داشت، افزایش غلظت فسفر گیاه با کاربرد کود فسفر، قابل توجیه است. Liao و همکاران (2008) نشان دادند که در حالت محدودیت فسفر غلظت فسفر شاخساره ارقام گندم زیر غلظت بحرانی فسفر شاخساره بود.



از فسفر بوده و در نتیجه فسفر بیشتری به فرم قابل دسترس برای گیاه باقی مانده است. به عبارت دیگر شاید به توان گفت، در خاک غیر آلوده به آرسنیک، خالی بودن مکان‌های تثبیت از آرسنیک سبب افزایش تثبیت فسفر و کاهش غلظت فسفر کل گیاه نسبت به خاک آلوده به آرسنیک ( $10 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) شده است. اگرچه این نکته نیز را نیز باید ذکر کرد که تمایل به جذب بیشتر آرسنات یا فسفات توسط سطوح جاذب خاک به عواملی مانند pH، نسبت غلظت مولار آرسنات به فسفات، ماهیت جذب کننده و مدت زمانی باقی ماندن آرسنات در محیط بستگی دارد (Violante and Pigna, 2002).

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج این بررسی نشان داد؛ آرسنیک رشد گیاه را تحت تأثیر قرار داده و می‌تواند درصد جوانه‌زنی و بقاء گیاه را کاهش دهد. در غلظت‌های بالای آلودگی آرسنیک ( $100 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) افزودن مقادیر مختلف فسفر به خاک نتوانسته اثرات آرسنیک روی درصد جوانه‌زنی را تحت تأثیر قرار دهد. در خاک مورد مطالعه تمایل آرسنات برای اشغال مکان‌های جاذب خاک بیش از فسفات بوده و این امر سبب کاهش توان تثبیت فسفر خاک، افزایش غلظت فسفر قابل دسترس و غلظت فسفر گیاه گردیده است. کاهش زیتوده اندام‌هوایی در خاک آلوده به  $10 \text{ mg.kg}^{-1}$  آرسنیک نشان داد که افزودن مقادیر زیاد فسفر به چنین خاکی می‌تواند برخی از آرسنات‌های موجود در فاز جامد را وارد محلول خاک نموده و برای گیاه سمیت ایجاد نماید. بدین ترتیب به نظر می‌رسد کاربرد کودهای فسفوره در خاک‌های آلوده به آرسنیک نیاز به مطالعه و بررسی بیشتری خواهد داشت.

### REFERENCES

Ahmed, S.F.R., Killham, K. and Alexander, I., (2006). Influences of arbuscular fungus *Glomus mosseae* on growth and nutrition of lentil irrigated with arsenic contaminated water. *Plant Soil*, 258, 33–41.

Antelo, J., Avena, M., Fiol, S., López, R. and Arce F. (2005). Effects of pH and ionic strength on the adsorption of phosphate and arsenate at the goethite–water interface, *Journal of Colloid and Interface Science*, 285, 476–486.

Asher, C.J., and Reay, P.F. (1979). Arsenic uptake by barley seedlings. *Aust. J. Plant Physiol*, 6, 459–466.

Baker, S., Barrentine, W.L., Bowman, D.H., Hoawthorne, W.L. and Pettiet, J.V. (1976). Crop response and arsenic uptake following soil incorporation of MSMA. *Weed Sci*, 24, 322–326.

Bouyoucos, G.J., (1962). Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. *Agron. J.* 54, 464–465.

بود محسوس‌تر بود (Pigna *et al.*, 2012). جذب فسفر توسط ریشه در خاک‌های آلوده به آرسنیک در صورت کاربرد و عدم کاربرد کود فسفر کاهش یافت (Gulz, 2002). آن‌ها دریافتند با افزایش غلظت آرسنیک در خاک، غلظت فسفر در ریشه و ساقه آفتابگردان کاهش پیدا کرد (Gulz, 2002).

فسفوری که از طریق کود به خاک اضافه می‌شود در خاک‌های قلیایی بوسیله کلسیم و منیزیم و در خاک‌های اسیدی بوسیله آهن و آلومینیم تثبیت و غیرقابل جذب می‌گردد (Karimi *et al.*, 2012). تثبیت فسفر در خاک، سبب می‌گردد در حدود ۹۰ درصد فسفر بکار رفته در خاک، به فرم غیرمحلول تبدیل شود (Bhagawan More, 2008). بدین ترتیب محدودیت دسترسی گیاه به فسفر الزاماً به دلیل عدم حضور فسفر در منطقه ریزوسفر نیست بلکه در این محدودیت تثبیت فسفر در خاک نیز می‌تواند موثر باشد (Bhagawan More, 2008). از سوی دیگر در خاک‌های اکسیدی و قلیایی وجود آرسنیک و عناصری همچون Ca, Mn, Mg و می‌تواند سبب تشکیل رسوباتی همچون  $\text{Ca}_3(\text{AsO}_4)_2$  و  $\text{Mn}_3(\text{AsO}_4)_2$  شود؛ این کانی‌ها اغلب پایدارند (Magdi selm, 2001). بدین ترتیب بین آرسنیک و فسفات برای اتصال به مکان‌های جاذب روی سطوح معدنی یکسان رقابت وجود دارد (Manning and Goldberg, 2002; Smith *et al.*, 1996). برخی محققان معتقدند که آرسنات نسبت به فسفات تمایل بیشتری برای جذب به وسیله کلوئیدهای خاک دارد زیرا آرسنات قادر است پیوند محکم‌تری با کلوئیدهای رس و اکسیدهای آزاد آهن برقرار کند (Jahangiri *et al.*, 2011). این احتمال وجود دارد که در خاک آلوده به آرسنیک، تمایل آرسنات برای اتصال به مکان‌های جذب بیشتر

Bhagawan More, S., (2008), Evaluation of induced mutants for phosphorus use efficiency in soybean [*Glycine max* (L.) Merrill], Thesis submitted to department of crop physiology collage of agriculture, Dharwad University of Agricultural Sciences, Dharwad.

Chun-XI, L., Feng, S.L., Shao, Y., Jiang, L.N., Lu, X.Y. and Hou, X.L. (2007) Effect of arsenic on seed germination and physiological activities of wheat seedlings. *Environ Sci*, 19, 725–732.

Cox, M.S. and Bell, P.E. (1996). Differential tolerance of canola to arsenic when grown hydroponically or in soil. *J. Plant Nutr*, 19, 1599–1610.

Cozzolino, V., Pigna, M., Di Meo, V., Caporale, A. G., Violante, A. and Meharg, A. A., (2010). Influence of phosphate addition on the arsenic uptake by wheate (*Triticum durum*) grown in arsenic polluted soils. *Fresenius Environmental Bulletin*, 19 (5), 838–845.

- Geng, C.N., Zhu, Y.G., Williams, P. and Meharg, A.A. (2006). Arsenate causes differential acute toxicity to two P-deprived genotype of rice seedling (*Oryza sativa* L.). *Plant Soil*, 279, 297-306.
- Gulz, P. A. (2002). Arsenic Uptake of Common Crop Plants from Contaminated Soils and Interaction with Phosphate. PhD thesiss, Dipl. Geogr., University of Munich, Zurich, pp:108.
- Hongshao, Z. and Stanforth, R. (2001). Competitive adsorption of phosphate and arsenate on goethite. *Environ Sci Technol*, 35(24), 4753-4757.
- Hossain, M. B., Jahiruddin, M., Loeppert, R. H., Panauallah, G. M., Islam, M. R. and Duxbury, J. M. (2009). The effects of iron plaque and phosphorus on yield and arsenic accumulation in rice. *Plant Soil*, 317, 167-176.
- Jacobs, L.W., and Keeney, D.R., (1970). Arsenic - Phosphorus Interaction in Corn. *Soil Science and Plant Analysis*. 1, 85-93.
- Jahangiri, Sh., Suri, B., Badakhshan, H., (2011), The relationship between physical and chemical properties of calcareous soil and arsenic of soil in Ghorveh plain, *Journal of Soil Research (soil and water science)*, 25 (4), 337 -348.[in farsi]
- Karimi, N., Ghaderian, S. M., Raab, A., Feldmann, J. and Meharg, A.A. (2009). An arsenic accumulating, hyper-tolerant brassica, *Isatis capadocica*. *New Phytol*, 184, 41-47.
- Lakzian, A., Halajnia, M., Nassiri Mallati, M. and Nikbin, F. (2009). The effect of *Rhizobium leguminosarum* bv. *Phaseoli* on uptake and tolerance to arsenic in common bean. *journal of water and soil*, 23, 3, 36- 44.(In farsi)
- Lasat, M.M. (2002). Phytoextraction of toxic metals: a review of biological mechanisms. *J. Environ. Qual*, 31, 109-120.
- Lee, D.A., Chen, A. and Schroeder, J.I. (2003) *Ars1*, an Arabidopsis mutant exhibiting increased tolerance to arsenate and increased phosphate uptake. *The Plant Journal*, 35, 637- 646.
- Liao M., Hocking P.J., Dong B., Delhaize E., Richardson A.E., and Ryan P.R. (2008). Variation in early phosphorus uptake efficiency among wheat genotypes grown on two contrasting Australian soil. *Aust. J. Agr. Res.*, 59, 157-166.
- Liebig, J., Bradford, G. F., G.R. Bradford, and Vanslow, A.P. (1959). Effects of arsenic compounds on citrus plants in solution culture. *Soil Sei.* 88:342-348.
- Liu, X., Zhang, S., Shan, X. and Zhu, Y.G. (2005). Toxicity of arsenate and arsenite on germination seedling growth and amyolytic activity of wheat. *Chemosphere*, 61, 293-301.
- Magdi selm, H. (2001). heavy metals release in soil, chapter 10.
- Mahdiyeh, Sh., Ghaderian, S.M. and Karimi, N. (2012). Evaluating the effect of phosphorus on arsenic uptake and accumulation in two cultivars of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Production*. 19 (2), 105 – 121.(In farsi)
- Manning, B.A. and Goldberg, S. (1996). Modeling arsenate competitive adsorption on kaolinite, montmorillonite, and illite. *Clays and Clay Minerals*, 44 (5), 609-623.
- Meharg, A. A. and Macnair, M. R. (1990). An altered phosphate uptake system in arsenate-tolerant *Holcus Lanatus* L. *New Phytol*, 116, 29-35.
- Meharg, A.A. and Macnair, M.R. (1994). Relationship between plant phosphorus status and the kinetics of arsenate influx in clones of *Deschampsia caespitosa* (L.) Beauv. that differ in their tolerance of arsenate. *Plant and Soil*, 162, 99-106.
- Mehmood, A., Hayat, R., Wasim, M. and Akhtar, M. S. (2009). Mechanisms of Arsenic Adsorption in Calcareous Soils Published in *J. agric. biol. sci*, 1 (1), 59-65.
- Munns, R. (2005). Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytol*, 167, 645-663.
- Mwamila, L.B. (2012). Arsenic (V) and Phosphate sorption to Swedish clay soils – Freundlich sorption modeling. TRITA LWR Degree Project, 12, 02- 21.
- Nadiri, A., Asghari Moghadam, A., Sadeghi, F., Aghaei, H., (2012), Investigate anomalous arsenic in water resources Sahand Dam, *JES*, 3, 61- 74.[ in farsi]
- O'Reilly, S.E. Strawn, D.G. and Sparks, D.L. (2001). Residence Time Effects on Arsenate Adsorption/Desorption Mechanisms on Goethite. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65, 67-77.
- Olsen, S.R. and Sammers, L.E. (1982). phosphorus. In: A.L. page, R.H. Miller, and D. R. keeney (eds) *methods of soil analysis*. Part 2. *Chemical and microbiological properties*. 2nd ed. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI. P. 403 – 430
- Olyaie, E., Banejad, H., Rahmani, A.R., Afkhami, A. and Khodaveisi, J. (2012). Feasibility study of using Calcium Peroxide Nanoparticles in Arsenic Removal from Polluted Water in Agriculture and It's Effect on the Irrigation Quality Parameters. *Iran. J. Health & Environ*, 5 (4), 319- 330.(In farsi)
- Pigna, M., Caporale, A.G., Cozzolino, V., Fernández López, C., Mora, M.L., Sommella, A. and Violante, A. (2012). Influence of phosphorus on the arsenic uptake by tomato (*Solanum lycopersicum* L) irrigated with arsenic solutions at four different concentrations. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 12 (4), 775- 784.
- Pigna, M., Cozzolino, V., Violanto, A. and Meharg, A. (2009). Influence of phosphate on the arsenic uptake by wheat (*Triticum durum* L.) irrigated with arsenic solutions at three different concentrations. *Water Air Soil Pollut*, 197, 371-380.
- Renkou, XU., Yong W., Diwakar, T. and Houyan, W. (2009). Effect of ionic strength on adsorption of As(III) and As(V) on variable charge soils. *Journal of Environmental Sciences*, 21, 927-932.
- Rhoades, J. D. (1982). Soluble salts. In: A.L. page(ed.). *Method of soil analysis. part2. Chemical and*

- microbiological Properties. Agronomy monograph no. 9.* 2nd ed. SSSA and ASA, Madison, WI. P.167-179.
- Richards, L.A. (Ed.) (1954). Diagnosis and Improvement of saline and alkaline soil, USDA Handbook No. 60 Washington, DC.
- Salehi-Lisar, S.Y., Sardari, M., Movafeghi, A. and Mustafavi, S.H. (2013). Effects of Arsenic Speciation and Concentrations on Germination Behavior and Seedling Growth of four Wheat Cultivar (*Triticum aestivum* L.). *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4 (11), 2872-2876.
- Sharma, A., Gontia-Mishra, I. and Srivastava, A.K. (2011). Toxicity of Heavy Metals on Germination and Seedling Growth of *Salicornia brachiata*. *Journal of Phytology*, 3(9), 33-36.
- Sheppard, S. C. (1992). Summary of Phytotoxic Levels of Soil Arsenic. *Water Air Soil Pollution*. 64, 539-550.
- Smith, E., Naidu, R. and Alston, A.M. (2002). Chemistry of inorganic arsenic in soils: ii. effect of phosphorus, sodium and calcium on arsenic sorption. *Journal of Environmental Quality*, 31, 557-563.
- Srivastava, S., Srivastava, A.K., Suprasanna, P. and D'Souza, S.F. (2009). Comparative biochemical and transcriptional profiling of two contrasting varieties of *Brassica juncea* L. in response to arsenic exposure reveals mechanisms of stress perception and tolerance. *J Exp Bot*, 181, 1-13.
- Stoeva, N., Berova, M. and Zlatev, Z. (2005). Effect of arsenic on some physiological parameters in bean plants. *Biologia plantarum*, 49 (2), 293-296.
- Sultana, R., Rahman, A., Kibria, K.Q., Islam, S. and Haque, M. (2012). Effect of Arsenic Contaminated Irrigation Water on Growth, Yield and Nutrient Accumulation of *Vigna radiata*. *Indian J. Innovations Dev*, 1(9), 682 -686.
- Talukdar, D. (2011). Effect of Arsenic-induced Toxicity on Morphological Traits of *Trigonella foenum-graecum* L. and *Lathyrus sativus* L. During Germination and Early Seedling Growth. *Current Research Journal of Biological Sciences*, 3(2), 116-123.
- Tu, S. and Ma, L.Q. (2003). Interactive effects of pH, arsenic and phosphorus on uptake of As and P and growth of the arsenic hyperaccumulator *Pteris vittata* L. under hydroponic conditions. *Environmental and Experimental Botany*, 50, 243-251.
- Ullrich-Eberius, C.I., A. Novacky, and Van Bel, A.J.E. (1984). Phosphate uptake in *Lemna gibba* Gr: energetics and kinetics. *Planta*, 161,46-52.
- Violante, A. and Pigna, M. (2002). Competitive sorption of arsenate and phosphate on different clay minerals and soils. *Soil Sci. Soc. of Am. J.*, 66, 1788-1796.
- Vodyanitskii, Yu. N. (2009). Chromium and Arsenic in Contaminated Soils (Review of Publications). *Eurasian Soil Science*, 42 (5), 507-515.
- Wang, J.R., Zhao, F.J., Meharg, A.A., Raab, A., Feldmann, J. and McGrath, S.P. (2002). Mechanisms of arsenic hyperaccumulation in *Pteris vittata*. uptake kinetics, interactions with phosphate, and arsenic speciation. *Plant Physiol*, 130, 1552-1561.
- Wang, S. and Mulligan, C.N. (2006). Effect of natural organic matter on arsenic release from soils and sediments into groundwater. *Environmental Geochemistry and Health*, 28, 197-214.
- Woolson, E.A., Axley, J.H. and Kearney, P.C. (1973). The chemistry and phytotoxicity of arsenic in soils: Effect of time and phosphorus. *Soil Sci. Am. Proc*, 37, 254-259.
- Woolson, E.A., Axley, J.H. and Kearney, P.C. (1971a). Correlation between available soil arsenic, estimated by six methods, and response of corn (*Zea mays* L.). *Soil Sci. Soc. Amer. Proc*, 35, 101-105.
- Woolson, E.A., J.H. Axley, and Kearney. P.C. (1971b). The Chemistry and Phytotoxicity of Arsenic in Soils: I. Contaminated Field Soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc*. 35.
- Zeng, X., Wu, P., Su, S., Bai, L., Feng, Q. (2012). Phosphate has a differential influence on arsenate adsorption by soils with different properties. *Plant soil environ*, 58 (9), 405-411
- Zhu, J., Pigna, M., Cozzolino, V., Giandonato Caporale, A. and Violante, A. (2013). Higher sorption of arsenate versus arsenite on amorphous Al-oxide, effect of ligands. *Environ Chem Lett*, 11 (3), 289-302.