تحقیقات آب و خاک ایران، دورهٔ ۴۵، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۳، (ص ۳۶۷-۳۵۳)

تأثیر مصرف توأم آرسنیک و فسفر بر ویژگی‌های رشد و جذب آرسنیک و فسفر توسط گندم و گل جعفری

نسرین میرزایی[۱]، عادل ریحانی‌تبار[۲]*، شاهین اوستان[۳]، مهدیه حقیقت‌افشار[۴]

۱. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه علوم خاک دانشگاه تبریز

۲. دانشیار گروه علوم خاک دانشگاه تبریز

۳. دانشیار گروه علوم خاک دانشگاه تبریز

۴. استادیار گروه باغبانی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۱۴ ـ تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۳/۱۹)

چکیده

نگرانی در زمینهٔ آلودگی خاک‌ها و گیاهان به آرسنیک در دنیا رو به افزایش است و برهم‌کنش آرسنیک با فسفر، به دلیل تشابه در ویژگی‌های شیمیایی، گزارش شده است. تحقیق حاضر به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای در یک خاک آهکی انجام گرفت. فاکتورها شامل غلظت آرسنیک در سه سطح (۰ و ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) از منبع سدیم آرسنات و فسفر نیز در سه سطح (۰ و ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) از منبع منوکلسیم فسفات و گیاهان گندم و گل جعفری بودند. بعد از ۹۰ روز وزن خشک بخش هوایی و ریشه، شاخص کلروفیل برگ، و غلظت و مقدار جذب آرسنیک و فسفر اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد با افزایش سطوح آرسنیک وزن خشک بخش هوایی و ریشه شاخص کلروفیل برگ و کارایی مصرف آب در هر دو گیاه کاهش می‌یابد. با افزایش سطوح آرسنیک در خاک غلظت و مقدار جذب آرسنیک در ریشه و اندام هوایی گندم و گل جعفری افزایش ولی غلظت و مقدار جذب فسفر کاهش یافت. همچنین فاکتور انتقال آرسنیک در گندم با افزایش سطوح آرسنیک کاهش ولی در گل جعفری افزایش یافت. فاکتور انتقال فسفر نیز با افزایش سطوح آرسنیک در هر دو گیاه کاهش یافت.

کلیدواژگان: آرسنیک، خاک آهکی، فسفر، گل جعفری، گندم

مقدمه

ترکیبات آرسنیک، بسته به منشأ، در خاک متحرک است و بر اثر بارندگی و جریان باد و آب وارد چرخهٔ آب می‌شود و سفره‌های آب زیرزمینی و در نتیجه زنجیرهٔ غذایی و چرخهٔ زندگی انسان را به طور وسیع آلوده می‌کند. از این رو یکی از چالش‌های مهم زیست‌محیطی بسیاری از کشورهاست. آرسنیک باعث نارسایی‌های تنفسی، ریوی، گوارشی، عصبی، قلبی و عروقی، جهش ژن، و ایجاد سرطان در انسان می‌شود (Duker *et al.*, 2005). در ایران وجود خاک‌های احتمالاً آلوده به آرسنیک در استان‌های کردستان و زنجان و آذربایجان شرقی (شهرستان هشترود) گزارش شده است (Kariminejad *et al.*, 2010; Hosseinpurgaizi *et al.*, 2007). این عنصر در چهار حالت اکسایشی در طبیعت وجود دارد که عبارت‌اند از ۳- و ۰ و ۳+ و ۵+. بسته به pH و شرایط اکسایش‌ـ احیایی خاک در مقایسه با سایر حالت‌های اکسایشی، آرسنات (As+5) و آرسنیت (As+3) به صورت گسترده در این محیط حضور دارند. $HAsO_4^{2-}$ (pH> ۷) و $H_2AsO_4^-$ (pH بین ۲ تا ۷) شکل‌های غالب آرسنات در محیط‌های با شرایط معمول ریداکس است و آرسنیت نیز عمدتاً به شکل H_3AsO_3 (pH ۴ تا ۹) و $HAsO_3^-$ (pH بیشتر از ۹٫۲) حضور دارد (Sadigh, 1997). مقادیر بالاتر از ۲۰ mg/kg در خاک (EPA, 2008) و mg/kg ۱۰۰ در بدن انسان (Naidu *et al.*, 2003) مقادیر مخاطره‌آمیز و حد مجاز روزانهٔ آرسنیک (MADL)[1] برای گیاهان زراعی ۰٫۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم مادهٔ خشک است. آرسنیک و فسفر متعلق به گروه ۵ جدول تناوبی عناصر شیمیایی است و به علت تشابه در ویژگی‌های شیمیایی رفتار آن‌ها در بسیاری از سیستم‌های خاک‌ـ گیاه مشابه است (Meharg *et al.*, 1994). یکی از عوامل تعیین‌کنندهٔ جذب آرسنیک در گیاهان غلظت فسفات در محلول خاک جایی است که دو عنصر ممکن است برای جذب سطحی به خاک و سطح ریشه رقابت کنند (Tsutsumi, 1983).

* نویسندهٔ مسئول: areyhani@tabrizu.ac.ir

1. Maximum Allowable Daily Limit

اثر رقابتی فسفر و میزان آرسنیک تبادل‌شده به مقدار و ماهیت رس‌ها و Hp خاک و نوع بار سطح (دائمی یا وابسته به pH) بستگی دارد (Smith *et al*., 2002). آرسنات شکل غالب آرسنیک در شرایط هوازی است که به دلیل شباهت از طریق سیستم انتقال فسفات به گیاه جذب می‌شود (Dixon, 1997). Dhar *et al*.(1997) گزارش کردند که سازوکار مشترک بیشتر عناصر سمی غیرفعال‌کردن سیستم‌های آنزیمی است که همچون کاتالیزور بیولوژیکی به‌کار می‌روند. Dixon (1997) ثابت کرد آرسنیک آنزیم‌هایی مثل پیرووات اکسیداز، S- آمینو اسید اکسیداز، کولین اکسیداز، و ترانس آمیناز را غیر فعال می‌کند. آرسناتْ فسفریلاسیون اکسیداتیو را از طریق تولید استر آرسنات ADP مختل می‌کند که باعث متوقف‌شدن انرژی متابولیسمی در سلول می‌شود. همچنین آرسنات می‌تواند جایگزین فسفات در DNA شود (Elder and Davies, 1993). Zhao *et al*. (2007) گزارش کردند در گندم دوروم فسفر باعث افزایش جذب آرسنیک توسط ریشه‌ها و کاهش فاکتور انتقال آرسنیک به بخش‌های هوایی می‌شود. Watchara *et al*. (2007) گل جعفری[1] را برای جذب آرسنیک از خاک‌های اسیدی تایلند و انتقال به بیرون از مزرعه مناسب ارزیابی کردند. هدف این تحقیق مطالعهٔ برهم‌کنش فسفر و آرسنیک در دو گیاه گندم و گل جعفری و آزمون گیاه زینتی گل جعفری در یک خاک آهکی جهت جذب آرسنیک بود. در این زمینه گزارش چاپ‌شده مشاهده نشد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری خاک

مقداری خاک از منطقهٔ اسپیران، واقع در اطراف تبریز، با این هدف که میزان آرسنیک کل و فسفر قابل جذب آن کم باشد تا بتوان تأثیر مصرف توأم این دو عنصر را بهتر مطالعه کرد، نمونه‌برداری و پس از خشک‌کردن آن در هوا و یکنواخت‌کردن کامل از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. بافت خاک به روش هیدرومتری (Klute, 1986)، pH در سوسپانسیون ۱:۱ خاک و آب مقطر (Mclean, 1982) و قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در عصارهٔ سوسپانسیون ۱:۱ خاک و آب مقطر (Gupta, 2000)، کربن آلی با روش والکلی و بلک اصلاح‌شده (Nelson and Sommers, 1982)، کربنات کلسیم معادل (CCE) خاک با خنثی‌سازی با اسید کلریدریک (Allison and Moodie, 1965)، فسفر قابل جذب خاک به روش اولسن (Olsen *et al*., 1954)، پتاسیم قابل جذب خاک با استات آمونیوم (Jones, 2001) و آهن و منگنز و مس و روی قابل جذب خاک با DTPA (Lindsay and Norvell, 1978)، و غلظت آرسنیک کل در خاک به روش Aqua-Regia اندازه‌گیری شد (Chen and Ma, 2001). رطوبت ظرفیت مزرعه با استفاده از دستگاه صفحهٔ فشاری در مکش ۳۳ کیلوپاسکال اندازه‌گیری شد (US, Salinity Lab, 1954).

آلوده‌سازی خاک و کشت گلخانه‌ای

مقادیر ۰ و ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم As(v) بر کیلوگرم خاک از منبع سدیم آرسنات ($Na_2HAsO_4.7H_2O$) در رطوبت ظرفیت مزرعه (FC) به خاک مورد نظر (عبوری از الک شمارهٔ ۴ با قطر ۴٫۷۵ میلی‌متر) اضافه و به طور متناوب هم زده شدند و سه چرخهٔ مرطوب‌کردن (تا رطوبت FC) و خشک‌کردن (تا رطوبت هواخشک) جهت اختلاط کامل آرسنیک با خاک اعمال شد. در مرحلهٔ بعدی فسفر نیز از منبع منوکلسیم فسفات خالص (German, Merc, CO) در سه سطح (۰ و ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک) افزوده شد (Yazdani motlagh, 2012). در نهایت نمونهٔ خاک‌ها هواخشک و سپس در گلدان ریخته و آماده کشت شد. کود آهن به میزان ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک از منبع سکوسترین و کود روی به میزان ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک از منبع سولفات روی مصرف شدند. سپس ۸ عدد بذر گندم (رقم سرداری) تهیه‌شده در مرکز تحقیقات مراغه و گل جعفری (رقم Taishan) تهیه‌شده در شرکت تهیهٔ بذر Ball Colegrave در امریکا در هر گلدان کشت شد. بعد از دو هفته گندم‌ها به ۶ عدد و گل جعفری به ۵ عدد در هر گلدان تنک شدند. برای تأمین رطوبت مورد نیاز گیاه، گلدان‌ها روزانه به وسیلهٔ توزین آبیاری شدند. میزان کلروفیل پس از رشد کامل برگ‌ها در اواسط دورهٔ رشد، با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج (Hansatech, CL-01)، اندازه‌گیری شد. در پایان ۹۰ روز اندام هوایی و ریشه برداشت شد و داخل پاکت‌های کاغذی به آون خشک‌کن منتقل و در دمای ۷۰ درجهٔ سلسیوس و به مدت ۷۲ ساعت نگه‌داری و در نهایت وزن خشک نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. همچنین کارایی مصرف آب از نسبت مادهٔ خشک (بر حسب گرم) به مقدار آب مصرفی (بر حسب لیتر) محاسبه شد (Kramer, 1983). روش اکسایش تر (اسید نیتریک و آب اکسیژنه ۳۰ درصد) برای هضم نمونه‌های گیاهی به‌کار رفت (Gones, 2001). غلظت آرسنیک با دستگاه جذب اتمی مجهز

1. Nugget Marigold

به کورهٔ گرافیتی (مدل Varian) و غلظت فسفر به روش رنگی‌سنجی وانادات- مولیبدات (Mahdiyeh *et al*, 2012) به وسیلهٔ اسپکتروفتومتر (Apel,PD-303) اندازه‌گیری شد. مقدار جذب عناصر از حاصل‌ضرب غلظت در مادهٔ خشک گیاهی محاسبه و بر اساس واحد (µg/plant) ارائه گردید. فاکتور انتقال نیز از تقسیم غلظت عنصر در بخش هوایی به غلظت عنصر در ریشه محاسبه شد (Das and Maiti, 2007). در این مطالعه آزمایش به صورت فاکتوریل با ۲ فاکتور در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در ۳ تکرار، فاکتور اول آرسنیک در ۳ سطح و فاکتور دوم فسفر در ۳ سطح، مجموعاً با ۵۴ گلدان، انجام شد.

رسم نمودارها با Excel و آنالیز آماری با نرم‌افزارهای SPSS و MSTATC و مقایسهٔ میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۱ درصد انجام شد.

یافته‌ها و بحث

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک استفاده‌شده در آزمایش در جدول ۱ می‌آید. خاک استفاده‌شده آهکی ولی غیر شور بود. همچنین گفتنی است در شرایط این آزمایش گلخانه‌ای گیاه گل جعفری (رقم Taishan) در سطح سوم آرسنیک مصرفی (یعنی ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) رشد نکرد.

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک استفاده‌شده در آزمایش گلخانه‌ای

کلاس بافت	شن	رس	CCE	مادهٔ آلی	N	pH	EC	K	P	Fe	Mn	Cu	Zn	As
			(٪)			(۱:۱)	(dS/m)	(mg/kg)						
لوم رسی	۳۸/۵	۳۹	۱۵/۲	۱/۰۱	۰/۰۲	۷/۱	۰/۴۷	۵۵۶/۴	۸/۷	۳/۹۸	۷/۰۱	۲/۲	۰/۵۲	ناچیز

وزن خشک بخش هوایی و ریشه

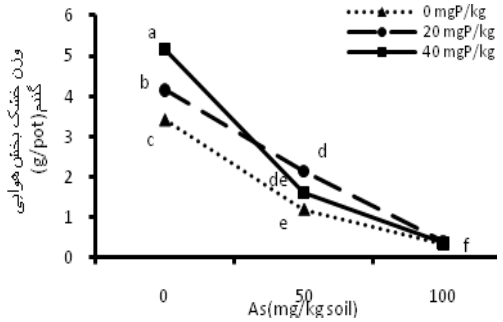
تأثیر آرسنیک و فسفر و اثر متقابل آن‌ها بر وزن خشک بخش هوایی و ریشهٔ دو گیاه (به استثنای اثر متقابل در بخش هوایی گل جعفری) معنادار بود (جدول ۲). در گیاه گندم بین میانگین وزن خشک بخش هوایی و ریشه در ۳ سطح آرسنیک اختلاف معنادار دیده شد. همچنین در مقایسه با شاهد وزن خشک بخش هوایی و ریشه با افزایش سطح آرسنیک کاهش و با افزایش سطح فسفر افزایش یافت (جدول ۲). مقایسهٔ میانگین اثر متقابل آرسنیک و فسفر (شکل ۱ و ۲) نشان داد با افزایش سطح آرسنیک در هر سه سطح فسفرْ وزن خشک بخش هوایی و ریشهٔ گندم کاهش یافت. Baker *et al*. (1976) گزارش کردند که وزن خشک نشان‌دهندهٔ وضعیت سلامت گیاه و میزان مقاومت آن در برابر تنش‌های مختلف است. همچنین، در بحث‌های برهم‌کنش فلزات سنگین و گیاهان، زیتوده نقش مهمی در بیان توانایی انباشت فلز و مقاومت گیاه در برابر آن را دارد. Marin *et al*. (1993) گزارش کردند که وزن خشک برگ و ساقه و ریشهٔ گیاه برنج با کاربرد آرسنیک کاهش می‌یابد. مشابه این نتایج را Shaibur *et al*. (2006) نیز گزارش کرده‌اند.

جدول ۲. وزن خشک بخش هوایی و ریشه، شاخص کلروفیل برگ، و کارایی مصرف آب تحت اثر اصلی As و P در دو گیاه گندم و گل جعفری

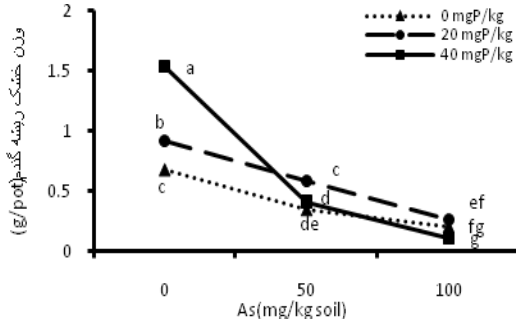
	تیمار	وزن خشک بخش هوایی (g/pot)		وزن خشک ریشه (g/pot)		شاخص کلروفیل برگ		کارایی مصرف آب (g/L)	
		گندم	گل جعفری	گندم	گل جعفری	گندم	گل جعفری	گندم	گل جعفری
As	۰	۲/۴a	۹/۳ a	۰/۱a	۸/۰a	۶/۴۷ a	۶/۵۴ a	۴۴/۹ a	۳۷/۹ a
	۵۰	۶/۱b	۰/۱ b	۴/۰b	۱/۰b	۸/۳۶b	۰/۴۵ b	۲۱/۶ b	۱۱/۵ b
	۱۰۰	۴/۰ c	-	۲/۰ c	-	۱/۲۴c	-	۵/۲ c	-
P	۰	۶/۱b	۵/۱ c	۴/۰b	۳/۰ b	۷/۳۴b	۶/۵۱ a	۷/۱۷b	۳/۱۸c
	۲۰	۲/۲a	۴/۲ b	۶/۰ a	۶۱/۰ a	۰/۳۷ a	۴۷/۵ b	۹/۲۶a	۲۲/۴ b
	۴۰	۴/۲ a	۴/۳ a	۷/۰a	۶۶/۰ a	۸/۳۶a	۴/۵۰ a	۲۷/۰ a	۳۳/۳ a

با افزایش سطح آرسنیک وزن خشک بخش هوایی و ریشهٔ گل جعفری کاهش و با افزایش سطح فسفر وزن خشک بخش هوایی و ریشهٔ گل جعفری افزایش یافت (جدول ۲) و تقریباً الگوی افزایش وزن خشک با مصرف فسفر در هر سطح آرسنیک مشابه بود (شکل‌های ۳ و ۴). این یافته با نظر Marin *et al*. (1993) و Shaibur *et al*. (2006) و Pigna *et al*. (2009) و Liu *et al*. (2005) و Abedin *et al*. (2002) در گندم و برنج مطابق است. گزارش شده است که زیتودهٔ بخش هوایی و ریشهٔ گندم با

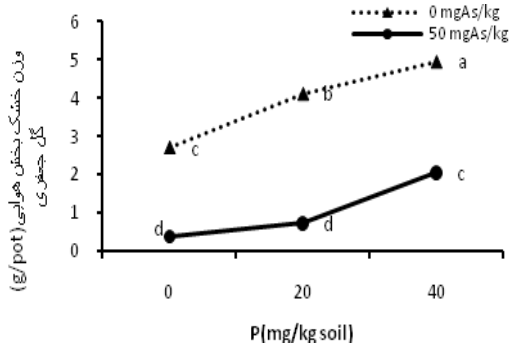
افزایش غلظت آرسنیک در آب آبیاری کاهش می‌یابد (Pigna *et al.*, 2009). گزارش شد فعالیت آنزیم‌ها و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه برنج در حضور آرسنیک کاهش می‌یابد (Shaibur *et al.*, 2006). آرسنات از نظر شیمیایی شبیه فسفات است و از عرض غشای پلاسما از طریق سیستم انتقال فسفر عبور داده می‌شود و سپس در سلول‌ها به عوض فسفر وارد واکنش‌های بیوشیمیایی و در نهایت منجر به مرگ گیاه می‌شود (Ullrich-Eberius *et al.*, 1989). درون سیتوپلاسم، آرسنات با فسفات برای جایگزین‌شدن با فسفات در ATP رقابت و ADP-As تولید می‌کند که منجر به قطع جریان انرژی در سلول‌ها و در نهایت مرگ آن‌ها می‌شود (Meharg *et al.*, 1994). Pigna *et al.* (2009) گزارش کردند که وزن خشک بخش هوایی گندم به دلیل اثر سمی آرسنیک به طور معنادار کاهش می‌یابد. همچنین Mahdiyeh *et al.* (2012) گزارش کردند که افزایش غلظت فسفر در محلول غذایی منجر به افزایش بیوماس و کاهش اثر سمی آرسنیک می‌شود و به دلیل اینکه ریشه با آرسنیک در محلول غذایی تماس دارد بیوماس ریشه بیشتر از ساقه کاهش می‌یابد. مطالعات Tu and Ma (2002) نیز تأییدکنندهٔ این مطلب است.



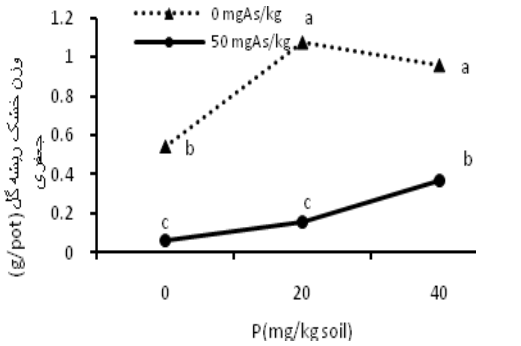
شکل ۱. اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر وزن خشک بخش هوایی گندم



شکل ۲. اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر وزن خشک ریشهٔ گندم



شکل ۳. اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر وزن خشک بخش هوایی گل جعفری

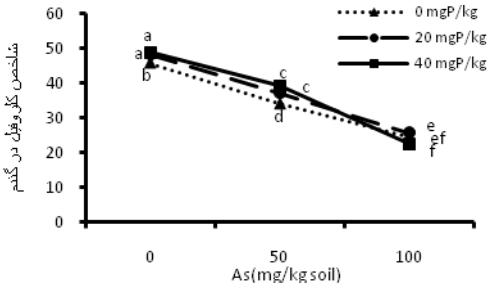


شکل ۴. اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر وزن خشک ریشهٔ گل جعفری

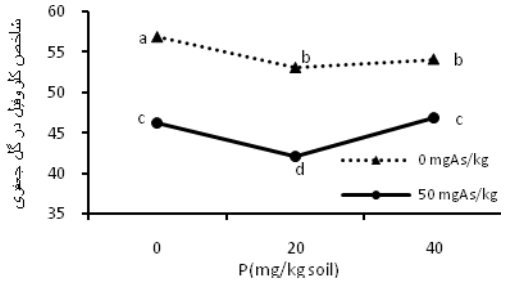
شاخص کلروفیل برگ

اثر اصلی آرسنیک و فسفر و اثر متقابل آن‌ها بر شاخص کلروفیل برگ گندم معنادار بود؛ اما اثر متقابل آن‌ها در گل جعفری معنادار نبود (جدول ۲). با افزایش سطح آرسنیک شاخص کلروفیل برگ گندم به‌ترتیب ۱۲٫۶ و ۴۹٫۲ درصد کاهش یافت. همچنین با افزایش غلظت آرسنیک میانگین شاخص کلروفیل برگ در هر سه سطح فسفر به طور معنادار کاهش یافت (شکل ۵). میانگین شاخص کلروفیل برگ گندم با مصرف فسفر نسبت به دو سطح آرسنیک تفاوت معنادار داشت و در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک تفاوتی معنادار بین سطوح ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک دیده شد. ولی بین این دو سطح با تیمار شاهد فسفر تفاوت معناداری دیده نشد.

همچنین در گل جعفری مقایسهٔ میانگین اثر اصلی نشان داد که با حضور ۵۰ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک شاخص کلروفیل برگ ۱۷٫۶ درصد کاهش می‌یابد (جدول ۲). با افزایش سطح فسفر مصرفی شاخص کلروفیل برگ در گل جعفری ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت. ولی این افزایش فقط در حضور آرسنیک معنادار بود (شکل ۶). Shaibur *et al.* (2006) گزارش کردند که مقدار کلروفیل برگ‌های جوان برنج با افزایش غلظت آرسنیک کاهش می‌یابد. آنان دلیل این موضوع را کاهش جذب آهن اعلام کردند. این نتایج با گزارش Mengel and Kirkby (2001) مطابق بود. با حضور آرسنیک، تشکیل ترکیبات کم‌محلول آرسنیک- آهن مشابه فسفات‌های آهن در خاک محتمل است (Malakuti and Tehrani, 2005).



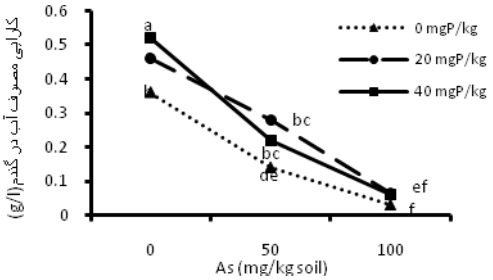
شکل۵. اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر شاخص کلروفیل برگ گندم



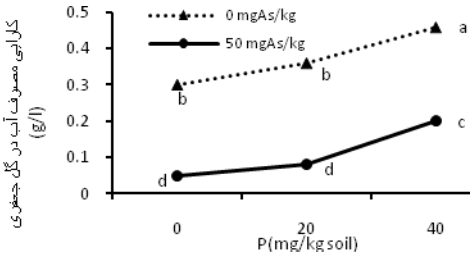
شکل ۶. اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر شاخص کلروفیل برگ گل جعفری

کارایی مصرف آب

اثر اصلی آرسنیک و فسفر بر کارایی مصرف آب در سطح احتمال ۱ درصد معنادار بود؛ اما اثر متقابل آن‌ها معنادار نبود (جدول ۲). مقایسهٔ میانگین‌های اثر اصلی نشان داد که در گندم در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک به‌ترتیب ۵۱/۸ و ۸۸/۴ درصد و در گل جعفری ۶۹/۶ درصد نسبت به تیمار شاهد کارایی مصرف آب کاهش می‌یابد. نتایج اثر متقابل نشان داد که با افزایش غلظت آرسنیک کارایی مصرف آب در هر سه سطح فسفر در گندم کاهش می‌یابد. همچنین



شکل ۷. اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر کارایی مصرف آب در گندم



شکل ۸. اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر کارایی مصرف آب گل جعفری

کارایی مصرف آب در دو سطح ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک نسبت به تیمار شاهد فسفر بیشتر شد (شکل ۷) و در گل جعفری نیز با حضور آرسنیک در خاک کارایی مصرف آب کاهش و با افزایش سطوح فسفر افزایش یافت (شکل ۸). Shaibur *et al.* (2006) گزارش کردند که غلظت‌های بالای آرسنیک در محلول غذایی قابلیت دسترسی آب برای ریشه‌ها و جذب آب را مختل می‌کند و ضمن برهم‌زدن توازن عناصر غذایی مانع رشد گیاه می‌شود.

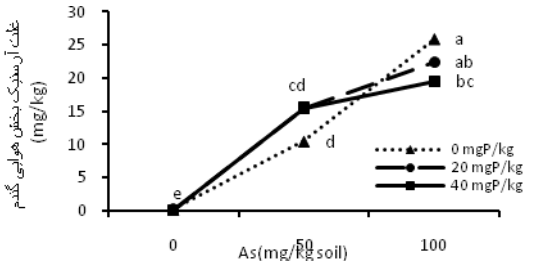
غلظت آرسنیک بخش هوایی گندم

اثر اصلی آرسنیک و اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر غلظت آرسنیک بخش هوایی گندم معنادار بود (جدول ۳). مقایسهٔ میانگین‌های اثر اصلی نشان داد که مطابق انتظار با افزایش سطح آرسنیک در خاک غلظت آرسنیک بخش هوایی گندم به‌ترتیب در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک ۹۲/۴ و ۱۵۱/۷ درصد نسبت به شاهد افزایش می‌یابد. مقایسهٔ میانگین اثر متقابل نشان داد با افزایش سطح فسفر غلظت آرسنیک بخش هوایی نسبت به تیمار شاهد فسفر افزایش می‌یابد، اما این افزایش فقط در سطح سوم آرسنیک و بین دو سطح شاهد و ۴۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک معنادار بود (شکل ۹). Shaibur and Kawai (2009) گزارش کردند که در اسفناج، با افزایش مقدار آرسنیک در محلول غذایی، غلظت آرسنیک در گیاه متناسب با آن افزایش می‌یابد. نتیجهٔ مشابهی را Pigna *et al.* (2009) نیز گزارش کرده‌اند.

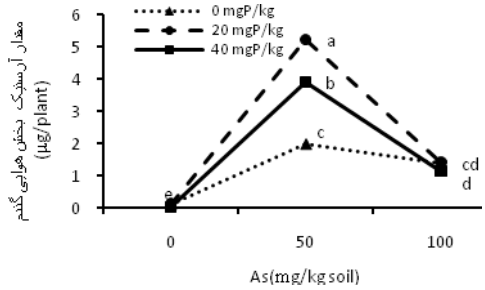
مقدار جذب آرسنیک توسط بخش هوایی گندم

اثر آرسنیک و فسفر و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۱ درصد بر مقدار جذب آرسنیک بخش هوایی گندم معنادار بود (جدول ۳). مقایسهٔ میانگین‌های اثر اصلی نشان داد با افزایش سطح آرسنیک مقدار جذب آرسنیک در بخش هوایی گندم از ۰/۲ در سطح شاهد آرسنیک به ۳/۷ در سطح ۵۰ میلی‌گرم آرسنیک و ۱/۳ میکروگرم بر بوته در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک می‌رسد؛ طوری که مقدار جذب آرسنیک در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک به‌ترتیب ۳۹/۲ و ۱۳/۱ درصد نسبت به شاهد افزایش می‌یابد. مقایسهٔ میانگین اثر متقابل (شکل ۱۰) نشان داد با

افزایش سطح آرسنیک مقدار جذب آرسنیک بخش هوایی گندم ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. افزایش شدید مقدار جذب آرسنیک بخش هوایی گندم در سطح ۵۰ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک، با توجه به کاهش وزن خشک بخش هوایی و با توجه به شکل ۹، به افزایش سریع غلظت آرسنیک در داخل گیاه منجر شد. اثر غلظت از کاهش مادهٔ خشک پیشی گرفت و میزان جذب، که حاصل‌ضرب این دو است، افزایش یافت. با افزایش سطح فسفر مصرفی مقدار جذب آرسنیک در بخش هوایی گندم کاهش یافت.



شکل ۹. اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر غلظت آرسنیک بخش هوایی گندم



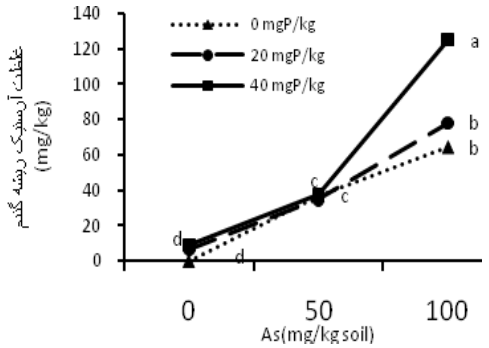
شکل ۱۰. اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر مقدار جذب آرسنیک بخش هوایی گندم

جدول ۳. غلظت و مقدار جذب آرسنیک توسط بخش هوایی و ریشهٔ گندم و گل جعفری تحت اثر اصلی آرسنیک و فسفر

تیمار		غلظت بخش هوایی (mg/ kg)		مقدار جذب بخش هوایی (µg/plant)		غلظت ریشه (mg/ kg)		مقدار جذب ریشه (µg/plant)		فاکتور انتقال	
		گندم	گل جعفری	گندم	گل جعفری	گندم	گل جعفری	گندم	گل جعفری	گندم	گل جعفری
As	۰	۱/۰c	۱/۲b	۲۱/۰c	۰/ ۴۰b	۵/۴c	۶/۴b	۱/۲ b	۰/۵ b	۰/۷ a	۱/۰b
	۵۰	۸/۱۳b	۲۵/۱a	۳/۷a	۴/۷a	۵/۳۶b	۸/۶۶a	۲/۷ a	۲/۸ a	۰/۴ b	۰/۴ a
	۱۰۰	۶/۲۲a	-	۱/۳b	-	۱/۸۹a	-	۳/۴ a	-	۰/۳ b	-
P	۰	۲/۱۲a	۲۳/۸a	۱/۱c	۲/۱b	۳۳/۸b	۳/۴۲a	۱/۴ c	۰/۴ b	۰/۹ a	۳/۰a
	۲۰	۷/۱۲a	۸/۴c	۲/۲a	۰/۶c	۹/۳۹b	۴/۴۰a	۳/۴ a	۱/۵ a	۰/۲ b	۰/۱ b
	۴۰	۷/۱۱a	۶/۱۱b	۱/۷b	۴/۳a	۵/۵۷a	۴/۲۴b	۲/۳ b	۱/۹ a	۰/۲ c	۰/۳ a

غلظت آرسنیک در ریشهٔ گندم

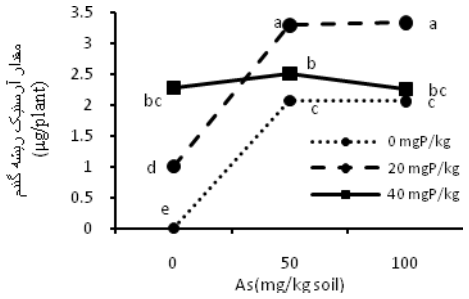
اثر اصلی آرسنیک و فسفر و اثر متقابل آن‌ها بر غلظت آرسنیک ریشهٔ گندم در سطح احتمال ۱ درصد معنادار بود (جدول ۳). مقایسهٔ میانگین‌های اثر اصلی نشان داد که با افزایش غلظت آرسنیک در خاک غلظت آرسنیک ریشه از ۵/۳۸ در تیمار شاهد به ۳۶/۵ و ۸۹/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم مادهٔ خشک در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک می‌رسد. مقایسهٔ میانگین اثر متقابل (شکل ۱۱) نشان داد با افزایش سطح فسفرْ غلظت آرسنیک ریشه فقط در سطوح ۱۰۰ و ۴۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک به طور معنادار نسبت به دو سطح دیگر افزایش می‌یابد. Shaibur *et al.* (2006) گزارش کردند غلظت آرسنیک در ریشهٔ برنج ۸ و ۱۶ و ۱۰ برابر بیشتر از غلظت آن در بخش هوایی در تیمارهای مختلف آرسنیک است. Yamane (1989) نیز گزارش کرد برنج حدود ۹۰ درصد از آرسنیک جذب‌شده را در ریشه تجمع می‌دهد. Wauchope (1983) بیان کرد عموماً آنیون‌ها به‌شدت جذب سطح ریشه می‌شوند. با این حال Mahdiyeh *et al.* (2012) اظهار کردند انباشت آرسنیک در ریشهٔ گندم ارقام زرین و سرداری مانند بخش هوایی است و با افزایش غلظت آرسنیک در محلول غذایی افزایش می‌یابد.



شکل ۱۱. اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر غلظت آرسنیک ریشهٔ گندم

مقدار جذب آرسنیک توسط ریشهٔ گندم

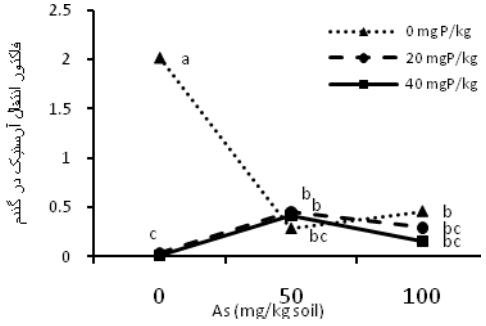
جدول ۳ نشان می‌دهد اثر اصلی آرسنیک و فسفر و اثر متقابل آن‌ها بر مقدار جذب آرسنیک به وسیلهٔ ریشه در سطح احتمال ۱ درصد معنادار است. مقایسهٔ میانگین اثر اصلی نشان داد با افزایش سطح آرسنیک مصرفی مقدار جذب آرسنیک در ریشهٔ گندم در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک به‌ترتیب ۱۲۵ و ۱۸۳ درصد نسبت به شاهد آرسنیک افزایش می‌یابد. مقایسهٔ میانگین اثر متقابل (شکل ۱۲) نشان داد در سطح شاهد و ۲۰ میلی‌گرم فسفر، با افزایش سطح آرسنیک، مقدار جذب آرسنیک به وسیلهٔ ریشه ابتدا به طور معنادار افزایش می‌یابد و سپس ثابت می‌ماند. این افزایش به دلیل افزایش غلظت آرسنیک است نه افزایش مادهٔ خشک. اما در سطح ۴۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک تغییرات غیر معنادار بود.



شکل ۱۲. اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر مقدار جذب آرسنیک ریشهٔ گندم

فاکتور انتقال آرسنیک در گندم

جدول ۳ نشان می‌دهد اثر اصلی آرسنیک و فسفر و اثر متقابل آن‌ها بر فاکتور انتقال آرسنیک در گندم معنادار است. مقایسهٔ میانگین‌های اثر اصلی نشان داد اولاً مقادیر عددی فاکتور انتقال آرسنیک در گندم کمتر از ۱ است، پس در شرایط این آزمایش رقم سرداری آرسنیک را در ریشه تجمع می‌دهد. ثانیاً، با افزایش سطح آرسنیک، فاکتور انتقال آرسنیک از عدد ۰/۷ در تیمار شاهد آرسنیک به ۰/۴ و ۰/۳ به‌ترتیب در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش سطح فسفر مصرفی فاکتور انتقال آرسنیک در سطح ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک به‌ترتیب ۷۲/۸ و ۷۹/۳ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. نتایج اثر متقابل نشان داد در تیمار شاهد فسفر با افزایش سطوح آرسنیک فاکتور انتقال آرسنیک در گندم به طور معناداری کاهش می‌یابد. در سطح ۲۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک فاکتور انتقال ابتدا افزایش یافت و سپس تقریباً ثابت شد و در سطح ۴۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک فاکتور انتقال ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت. فقط در سطح شاهد آرسنیک بین دو سطح فسفر مصرفی با سطح شاهد فسفر تفاوت معنادار دیده شد. با افزایش سطوح فسفر و برتری رشد بخش هوایی نسبت به ریشه و اثر رقت فاکتور انتقال آرسنیک کاهش می‌یابد (شکل ۱۳).



شکل ۱۳. اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر فاکتور انتقال آرسنیک گندم

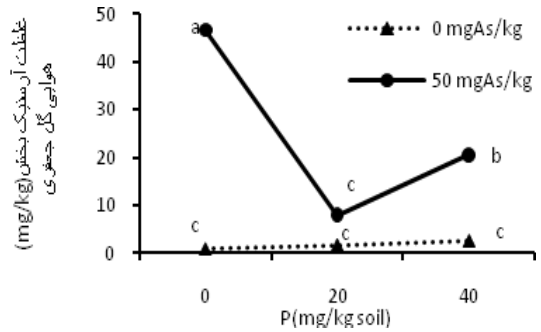
غلظت آرسنیک در بخش هوایی گل جعفری

جدول ۳ نشان می‌دهد اثر اصلی آرسنیک و فسفر و اثر متقابل آن‌ها بر غلظت آرسنیک بخش هوایی در سطح احتمال ۱ درصد معنادار است. مقایسهٔ میانگین‌های اثر اصلی نشان داد کمترین غلظت آرسنیک در سطح شاهد آرسنیک برابر ۱/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم مادهٔ خشک و بیشترین غلظت آرسنیک بخش هوایی گل جعفری مطابق انتظار در سطح ۵۰ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک و برابر ۲۵/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم مادهٔ خشک است. مقایسهٔ میانگین اثر متقابل (شکل ۱۴) نشان داد در تیمار شاهد آرسنیک، با افزایش سطح فسفر، تغییر معناداری در غلظت آرسنیک بخش هوایی دیده نمی‌شود. زیرا در خاک میزان آرسنیک ناچیز و کود فسفر مصرفی نیز منوکلسیم فسفات خالص بود. اما در سطح ۵۰ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک، با افزایش سطح فسفر مصرفی، غلظت آرسنیک در بخش هوایی گل جعفری ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت که کاهش اولیه ناشی از اثر رقت و افزایش بعدی ناشی از افزایش جذب آرسنیک دانسته می‌شود. Watchara *et al.* (2007) گزارش کردند خاک اسیدی تایلند در شرایط مزرعهٔ گل جعفری می‌تواند مقدار زیادی آرسنیک جذب کند و به بخش هوایی انتقال دهد. هنوز دقیقاً معلوم نشده است کدام نوع آرسنیک از ریشه به ساقه انتقال می‌یابد. اما انتقال آرسنات شبیه فسفات بسیار محتمل است (Watchara *et al.*, 2007).

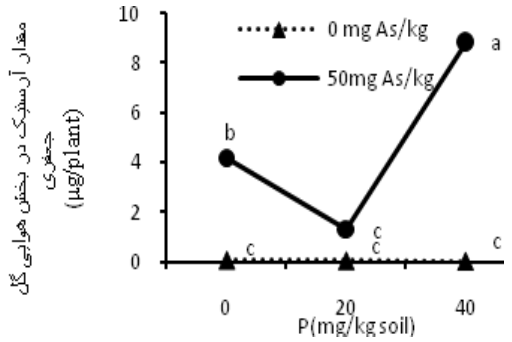
جذب آرسنیک بخش هوایی گل جعفری

اثر اصلی آرسنیک و فسفر و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۱ درصد بر مقدار جذب آرسنیک بخش هوایی گل جعفری معنادار بود (جدول ۳). مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داد مقدار جذب

آرسنیک بخش هوایی گل جعفری با آلوده‌شدن خاک به آرسنیک ۵۶۶ برابر افزایش می‌یابد. این نتایج مطابق گزارش Jiang and Singh (1994) در علف چاودار است. برای کاهش سمّیّت آرسنیک، معمولاً گیاهان به وسیلهٔ افزایش جذب فسفات واکنش نشان می‌دهند (Burlo *et al.*, 1999; Carbonell-Barrachina *et al.*, 1998). Otte *et al.* (1990) گزارش کردند مقدار جذب آرسنیک به وسیلهٔ گیاهان زراعی با توجه به گونهٔ گیاهی و نوع خاک متفاوت است. نتایج اثر متقابل نشان داد با افزایش سطح آرسنیک مقدار جذب آرسنیک بخش هوایی نسبت به سطح شاهد افزایش می‌یابد. در سطح شاهد آرسنیک، با افزایش سطح فسفر مصرفی، مقدار جذب آرسنیک بخش هوایی تغییر معناداری نکرد. اما در سطح ۵۰ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم، با افزایش سطح فسفر خاک، مقدار آرسنیک در بخش هوایی گل جعفری ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت. کاهش مقدار آرسنیک در سطح ۲۰ میلی‌گرم فسفر به دلیل رقابت آرسنیک و فسفر برای جذب است (شکل ۱۵).



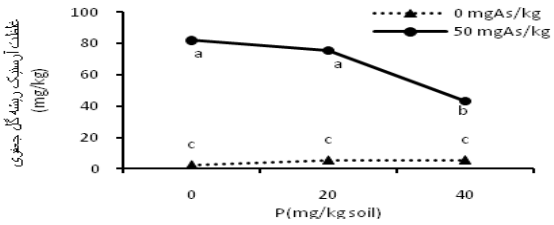
شکل ۱۴. اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر غلظت آرسنیک بخش هوایی گل جعفری



شکل ۱۵. اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر مقدار آرسنیک بخش هوایی گل جعفری

غلظت آرسنیک ریشهٔ گل جعفری

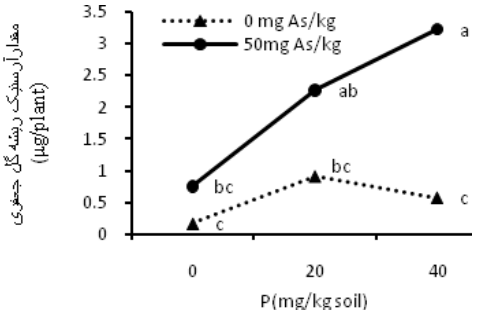
جدول ۳ نشان می‌دهد اثر اصلی آرسنیک و فسفر و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۱ درصد بر غلظت آرسنیک ریشه معنادار است. مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داد با افزایش آرسنیک به سطح ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم غلظت آرسنیک در ریشهٔ گل جعفری از ۴٫۶ به ۶۶٫۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم مادهٔ خشک می‌رسد. Marcus-Wyner and Rains (1982) گزارش کردند غلظت آرسنیک در ریشهٔ کتان بیشتر از بخش هوایی است. Pigna *et al.* (2009) گزارش کردند با افزایش غلظت آرسنیک در آب آبیاری، به‌رغم حضور فسفر، غلظت آرسنیک در ریشهٔ گندم افزایش می‌یابد. همچنین آنان گزارش کردند آرسنیک بیشتر در ریشه باقی ماند و کمتر به دانه‌ها انتقال یافت. نتایج اثر متقابل نشان داد با افزایش سطح فسفر خاکْ غلظت آرسنیک در ریشهٔ گل جعفری در خاک غیر آلوده تغییر معناداری نمی‌کند؛ اما در خاک آلوده، با افزایش سطح فسفر، غلظت آرسنیک در ریشهٔ کاهش می‌یابد که این کاهش در سطح سوم فسفر نسبت به سطح اول معنادار است (شکل ۱۶). با توجه به نتایج وزن خشک ریشهٔ گل جعفری (شکل ۲) کاهش غلظت آرسنیک ریشه با مصرف فسفر با اثر رقت قابل توجیه است.



شکل ۱۶. اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر غلظت آرسنیک ریشهٔ گل جعفری

مقدار جذب آرسنیک ریشهٔ گل جعفری

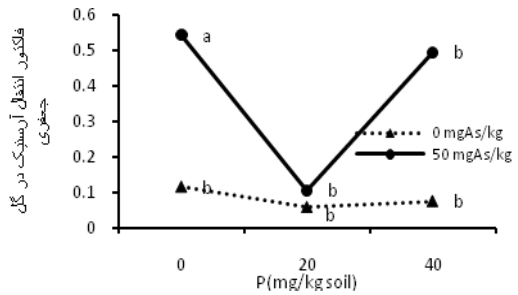
جدول ۳ نشان می‌دهد اثر اصلی آرسنیک و فسفر و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۱ درصد بر مقدار جذب آرسنیک ریشه معنادار است. مقایسهٔ میانگین‌های اثر اصلی نشان داد با افزایش غلظت آرسنیک خاکْ جذب آرسنیک در ریشه به طور معنادار از ۰٫۵ در تیمار شاهد به ۲٫۸ میکروگرم بر بوته در سطح ۵۰ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک می‌رسد. نتایج اثر متقابل نشان داد با افزایش سطح فسفر مقدار جذب آرسنیک در تیمار شاهد آرسنیک ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد؛ اما این تغییرات در هیچ‌یک از سه سطح فسفر معنادار نبود. همچنین در سطح ۵۰ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک مقدار آرسنیک ریشه با افزایش سطح فسفر به طور معنادار افزایش یافت (شکل ۱۷).



شکل ۱۷. اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر مقدار آرسنیک ریشهٔ گل جعفری

فاکتور انتقال آرسنیک در گل جعفری

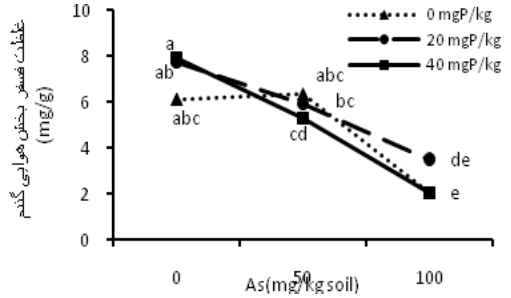
اثر اصلی آرسنیک و فسفر و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۱ درصد بر فاکتور انتقال آرسنیک معنادار بود (جدول ۳). مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داد با افزایش سطح آرسنیکْ فاکتور انتقال آرسنیک در گل جعفری از عدد ۰/۱ در تیمار شاهد به ۰/۴ در سطح ۵۰ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک می‌رسد. با افزایش سطوح فسفر فاکتور انتقال آرسنیک نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. فاکتور انتقال آرسنیک در سطوح ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک ۷۲ و ۱۳/۶ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. نتایج اثر متقابل نشان داد با افزایش سطح آرسنیک فاکتور انتقال آرسنیک نسبت به تیمار شاهد افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش سطح فسفرْ فاکتور انتقال در سطح شاهد آرسنیک تغییر معناداری نکرد؛ اما در سطح ۵۰ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک فاکتور انتقال آرسنیک ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت که کاهش اولیه به دلیل اثر رقت و افزایش بعدی به دلیل اثر سمّیّت و تغلیظ قابل توجیه است (شکل ۱۸). در شرایط این آزمایش فاکتور انتقال آرسنیک در گل جعفری کمتر از ۱ به‌دست آمد. اگرچه فاکتور انتقال یگانه معیار معرفی گیاه انباشتگر نیست، گل جعفری در این آزمایش نتوانست آرسنیک را به بخش هوایی بیشتر از ریشه منتقل کند. نظر به اینکه در خاک‌های آهکی بررسی جذب و انتقال آرسنیک در گل جعفری در این مقاله اولین بار گزارش می‌شود، امکان مقایسهٔ نتایج وجود نداشت.



شکل ۱۸. اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر فاکتور انتقال آرسنیک در گل جعفری

غلظت فسفر بخش هوایی گندم

اثر اصلی آرسنیک در سطح احتمال ۵ درصد بر غلظت فسفر بخش هوایی گیاه گندم معنادار اما اثر اصلی فسفر و اثر متقابل آرسنیک و فسفر غیر معنادار بود (جدول ۴). مقایسهٔ میانگین اثر اصلی نشان داد، با افزایش سطح آرسنیک خاک از ۰ به ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، غلظت فسفر بخش هوایی گندم به‌ترتیب ۱۹/۲ و ۶۵ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش سطح فسفر غلظت فسفر بخش هوایی نسبت به سطح شاهد افزایش یافت؛ اما این افزایش معنادار نشد. با افزایش سطح آرسنیک، غلظت فسفر بخش هوایی گندم ابتدا تغییر معنادار نکرد و سپس نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت (شکل ۱۹). عموماً غلظت کافی یا حد کفایت فسفر در بافت گندم از ۲/۵ تا ۵ میلی‌گرم بر گرم گزارش شده است (Kamkar et al. 2011). با توجه به اعداد مذکور فقط در سطح سوم آرسنیک مصرفی و سطح شاهد و ۲۰ میلی‌گرم فسفر مصرفی غلظت فسفر به زیر حد کفایت رسید.



شکل ۱۹. اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر غلظت فسفر بخش هوایی گندم

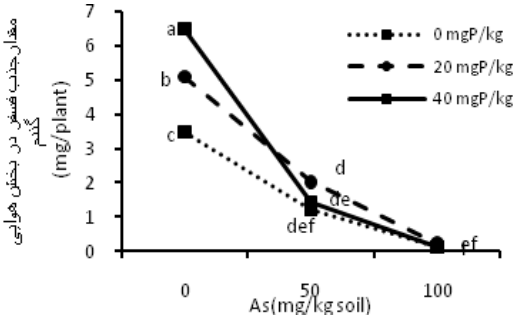
جذب فسفر توسط بخش هوایی گندم

جدول ۴ نشان می‌دهد اثر اصلی آرسنیک و فسفر و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد تأثیری معنادار بر مقدار جذب فسفر بخش هوایی گندم دارد. مقایسهٔ میانگین‌های اثر اصلی نشان داد با افزایش سطوح آرسنیک مقدار جذب فسفر بخش هوایی گندم در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک به‌ترتیب ۶۹/۱ و ۹۷ درصد نسبت به شاهد آرسنیک کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش سطح فسفر مقدار جذب فسفر بخش هوایی گندم در سطوح دوم و سوم فسفر به‌ترتیب ۵۲/۵ و ۶۸/۱ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. با توجه به عدم افزایش غلظت فسفر، این نتیجه با افزایش وزن خشک گندم در اثر مصرف فسفر قابل توجیه است. نتایج اثر متقابل نشان داد با افزایش سطوح آرسنیک مقدار فسفر بخش هوایی گندم به طور معناداری کاهش می‌یابد. همچنین در تیمار

شاهد آرسنیک با افزایش سطح فسفر مقدار جذب فسفر در بخش هوایی گندم به طور معناداری افزایش یافت و در دو سطح دوم و سوم آرسنیک مقدار جذب فسفر تغییر معناداری در سه سطح فسفر نداشت (شکل ۲۰).

جدول ۴. غلظت و مقدار جذب فسفر بخش هوایی و ریشهٔ گندم و گل جعفری تحت اثر اصلی آرسنیک و فسفر

تیمار		غلظت بخش هوایی (mg/g)		مقدار جذب بخش هوایی (mg/plant)		غلظت ریشه (mg/g)		مقدار جذب ریشه (mg/plant)		فاکتور انتقال فسفر	
		گندم	گل جعفری	گندم	گل جعفری	گندم	گل جعفری	گندم	گل جعفری	گندم	گل جعفری
As	۰	۷/۳ a	۶/۱ a	۵/۰a	۴/۷ a	۳/۵a	۳/۰ a	۰/۶a	۵/۰a	۲/۲a	۲/۲a
	۵۰	۵/۹ b	۶/۳b	۱/۵b	۹/۰ b	۲/۴b	۸/۱b	۰/۲b	۰/۱ b	۴/۲ a	۱/۹a
	۱۰۰	۲/۵ c	–	۰/۱c	–	۷/۱c	–	۰/۰۵c	–	۵/۱b	–
P	۰	۴/۸ a	۸/۳b	۱/۶b	۱/۶ c	۲/۳a	۸/۱c	۰/۲b	۱/۰b	۱/۲ a	۲/۰ a
	۲۰	۵/۷ a	۱/۵a	۲/۴a	۲/۹ b	۲/۶a	۴/۲ b	۰/۳a	۰/۴ a	۲/۲ a	۳/۲a
	۴۰	۵/۱ a	۶/۵a	۲/۷a	۴/۰ a	۲/۷a	۰/۳a	۰/۴a	۴/۰a	۸/۱ a	۱/۹ a



شکل ۲۰. اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر مقدار جذب فسفر بخش هوایی گندم

غلظت فسفر در ریشهٔ گندم

جدول ۴ نشان می‌دهد اثر اصلی آرسنیک بر غلظت فسفر ریشهٔ گندم در سطح احتمال ۵ درصد معنادار بود؛ ولی اثر اصلی فسفر و اثر متقابل آن‌ها معنادار نبود. مقایسهٔ میانگین‌های اثر اصلی نشان داد بیشترین غلظت فسفر ریشهٔ گندم در تیمار شاهد آرسنیک به میزان ۳/۵ و کمترین آن در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک به میزان ۱/۷ میلی‌گرم بر گرم بود. همچنین با افزایش سطح آرسنیک غلظت فسفر در ریشهٔ گندم در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک به‌ترتیب ۳۱/۳ و ۵۱/۱ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. با افزایش سطح آرسنیک، غلظت فسفر در ریشهٔ گندم به‌ویژه در تیمار شاهد آرسنیک افزایش یافت (شکل ۲۱).

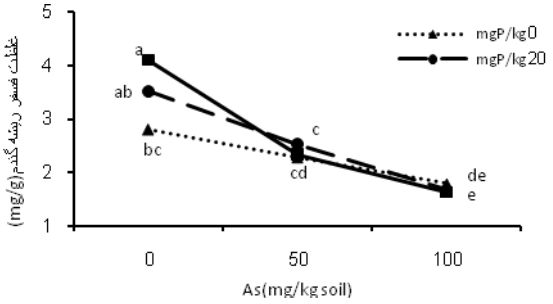
مقدار جذب فسفر ریشهٔ گندم

اثر اصلی آرسنیک و فسفر و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۱ درصد بر مقدار جذب فسفر در ریشهٔ گندم معنادار بود (جدول ۴). مقایسهٔ میانگین‌های اثر اصلی نشان داد با افزایش سطح آرسنیک مقدار جذب فسفر در ریشهٔ گندم از ۰/۶۲ در تیمار شاهد آرسنیک به ۰/۲ و ۰/۳ میلی‌گرم بر بوته به‌ترتیب در سطوح ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک می‌رسد. همچنین، با افزایش سطح فسفر، مقدار جذب فسفر در ریشهٔ گندم از ۰/۲ در تیمار شاهد به ۰/۳ و ۰/۴ میلی‌گرم بر بوته به‌ترتیب در سطوح ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک رسید. نتایج اثر متقابل نشان می‌دهد با افزایش سطح آرسنیک خاک مقدار جذب فسفر در ریشهٔ گندم کاهش می‌یابد و در تیمار شاهد آرسنیک بین سه سطح فسفر اختلاف معناداری دارد. همچنین با افزایش سطح فسفر مقدار جذب فسفر در ریشهٔ گندم افزایش یافت (شکل ۲۲).

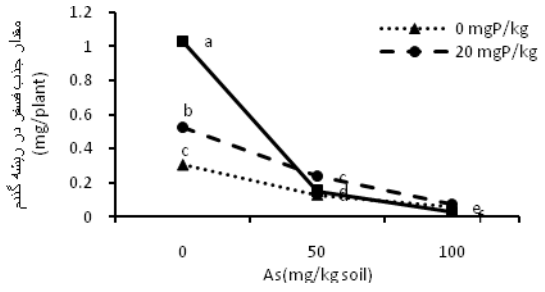
فاکتور انتقال فسفر در گندم

اثر اصلی آرسنیک در سطح احتمال ۱ درصد بر فاکتور انتقال فسفر در گندم معنادار اما اثر اصلی فسفر و اثر متقابل آن‌ها غیر معنادار بود (جدول ۴). مقایسهٔ میانگین اثر اصلی نشان داد با افزایش سطح آرسنیک مصرفی فاکتور انتقال فسفر فقط در سطح سوم آرسنیک به طور معنادار کاهش می‌یابد؛ طوری که ۳۰/۸ درصد کاهش در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک نسبت به شاهد دیده شد. مقدار عددی فاکتور انتقال فسفر بزرگ‌تر از ۱ بود که نشان می‌دهد رقم سرداری فسفر را بیشتر به بخش هوایی خود منتقل می‌کند. غلظت بالاتر فسفر در اندام هوایی و فاکتور انتقال بالا از نظر زراعی مطلوب است. چون اگر فسفر بیشتر به اندام‌های هوایی منتقل شود، با افزایش تقاضای گیاه برای این عنصر در طی رشد، می‌تواند به دانه انتقال یابد و بدین وسیله عملکرد بهبود یابد. این یافته مغایر نتایج Yazdan (2012) دربارهٔ گیاه برنج است. Valizade *et al.* (2012) نیز گزارش کردند در گیاه برنج کادمیوم فاکتور

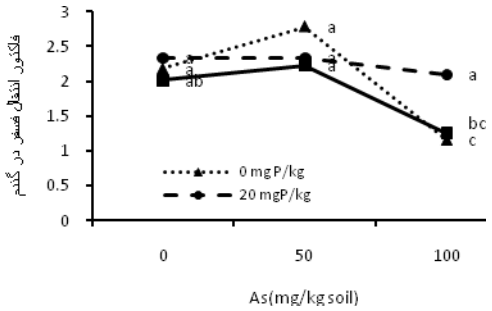
انتقال فسفر را در شرایط غرقاب کاهش داد. ولی در شرایط غیر غرقاب اثر معنادار نداشت. نتایج اثر متقابل نشان داد آلودگی خاک تا سطح ۵۰ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک تأثیر چندانی بر فاکتور انتقال فسفر در گندم ندارد و فقط در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک فاکتور انتقال فسفر را کاهش می‌دهد (شکل ۲۳).



شکل۲۱. اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر غلظت فسفر ریشهٔ گندم



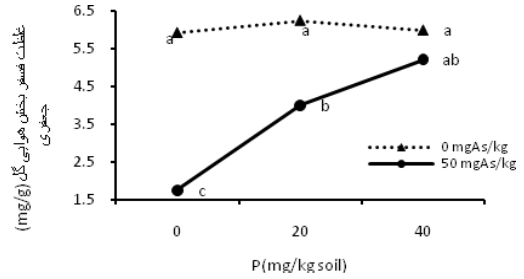
شکل ۲۲. اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر مقدار جذب فسفر در ریشهٔ گندم



شکل ۲۳. اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر فاکتور انتقال فسفر گندم

غلظت فسفر در بخش هوایی گل جعفری

اثر اصلی آرسنیک و فسفر و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد تأثیری معنادار بر غلظت فسفر بخش هوایی گل جعفری داشت (جدول ۴). مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داد با افزایش سطح آرسنیک غلظت فسفر بخش هوایی گل جعفری ۳۹٫۷ درصد کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش سطح فسفر، غلظت فسفر بخش هوایی گل جعفری در سطوح ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک به‌ترتیب ۳۳٫۴ و ۴۶ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. نتایج تجزیهٔ واریانس اثر متقابل نشان داد با حضور آرسنیک در خاک غلظتِ فسفر بخش هوایی گل جعفری نسبت به سطح شاهد آرسنیک کاهش می‌یابد. البته این کاهش در سطوح شاهد و ۲۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک معنادار و در سطح سوم فسفر غیر معنادار بود. همچنین در سطح شاهد آرسنیک با افزایش سطوح فسفر تغییر معناداری در غلظت فسفر بخش هوایی دیده نشد. اما در سطح ۵۰ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک، با افزایش سطوح فسفر، غلظت فسفر بخش هوایی افزایش یافت (شکل ۲۴). با توجه به اینکه گزارش منتشرشده‌ای از برهم‌کنش آرسنیک و فسفر در خاک‌های آهکی در مورد گل جعفری وجود ندارد، امکان مقایسهٔ نتایج وجود نداشت.

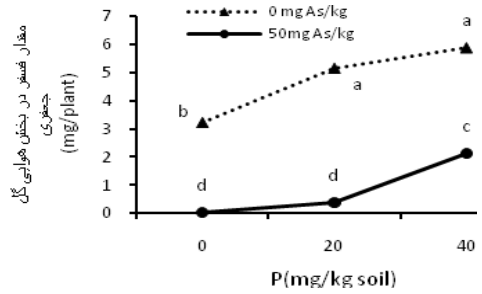


شکل ۲۴. اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر غلظت فسفر بخش هوایی گل جعفری

جذب فسفر توسط بخش هوایی گل جعفری

اثر اصلی آرسنیک و فسفر در سطح احتمال ۱ درصد بر مقدار جذب فسفر بخش هوایی گل جعفری معنادار بود. اما اثر متقابل آن‌ها غیر معنادار بود (جدول ۴). مقایسهٔ میانگین‌های اثر اصلی نشان داد با افزایش سطح آرسنیک مقدار جذب فسفر در بخش هوایی گل جعفری از ۴٫۷ در سطح شاهد به ۰٫۹ میلی‌گرم بر بوته در سطح ۵۰ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک می‌رسد. همچنین با افزایش سطوح فسفر مقدار جذب فسفر بخش هوایی

گل جعفری از ۱/۶ در تیمار شاهد به ۲/۹ و ۴/۰۱ به‌ترتیب در سطوح ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک رسید. گل جعفری در روز ۳۰ تا ۵۰ روز پس از کاشت شروع به گل‌دهی می‌کند و گیاه بعد از آن پژمرده می‌شود. ATP و در نتیجه تقاضا برای فسفر نیز برای رشد گیاه، به‌خصوص در مرحلهٔ گل‌دهی، مهم است (Watchara *et al.*, 2007). نتایج اثر متقابل نشان داد با افزایش سطح فسفر مقدار جذب فسفر در بخش هوایی گل جعفری افزایش می‌یابد. این افزایش به دلیل افزایش مادهٔ خشک و غلظت فسفر با افزایش فسفر مصرفی به‌خصوص در سطح ۴۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک است (شکل ۲۵).



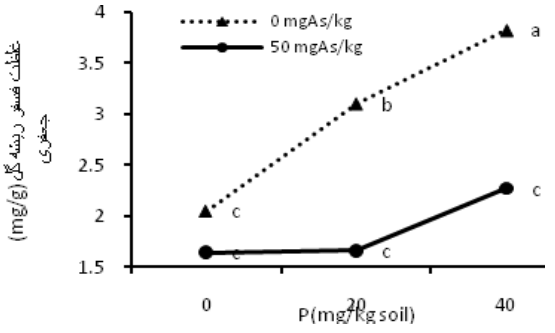
شکل ۲۵. اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر مقدار جذب فسفر بخش هوایی گل جعفری

غلظت فسفر در ریشهٔ گل جعفری

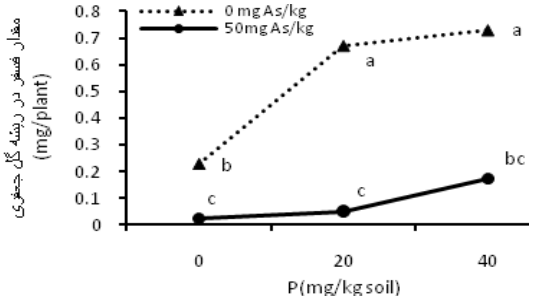
اثر اصلی آرسنیک و فسفر و اثر متقابل آن‌ها بر غلظت فسفر در ریشهٔ گل جعفری در سطح احتمال ۱ درصد معنادار بود (جدول ۴). مقایسهٔ میانگین‌های اثر اصلی نشان داد با حضور آرسنیک غلظت فسفر در ریشهٔ گل جعفری ۳۷/۹ درصد کاهش می‌یابد. با افزایش سطح فسفر غلظت فسفر ریشه در سطوح ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک به‌ترتیب ۲۸/۸ و ۶۴/۷ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. نتایج تجزیهٔ واریانس اثر متقابل نشان داد با حضور آرسنیک به میزان ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک غلظت فسفر در ریشهٔ گل جعفری به طور معنادار کاهش می‌یابد. همچنین در حضور آرسنیک، با افزایش سطح فسفر، غلظت فسفر در ریشه ابتدا ثابت و سپس در سطح سوم فسفر نسبت به دو سطح دیگر افزایش یافت؛ اما افزایش معنادار نبود (شکل ۲۶).

مقدار جذب فسفر توسط ریشهٔ گل جعفری

جدول ۴ نشان می‌دهد اثر اصلی آرسنیک و فسفر و اثر متقابل آن‌ها بر مقدار جذب فسفر در ریشهٔ گل جعفری در سطح احتمال ۱ درصد معنادار است. مقایسهٔ میانگین‌های اثر اصلی نشان داد، با حضور آرسنیک در خاک، مقدار جذب فسفر ریشهٔ گل جعفری ۸۴/۷ درصد نسبت به شاهد به طور معنادار کاهش می‌یابد. همچنین، با افزایش سطح فسفر، مقدار جذب فسفر در ریشهٔ گل جعفری در سطوح ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک به‌ترتیب ۱۹۱/۱ و ۲۶۳ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. نتایج اثر متقابل نشان داد، با حضور آرسنیک، مقدار فسفر ریشهٔ گل جعفری کاهش می‌یابد. با افزایش سطح فسفر در تیمار ۰ آرسنیک، مقدار جذب فسفر در ریشهٔ گل جعفری افزایش یافت. در سطح ۵۰ میلی‌گرم آرسنیک، با افزایش سطح فسفر، مقدار فسفر ریشهٔ گل جعفری افزایش معنادار نیافت (شکل ۲۷).



شکل ۲۶. اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر غلظت فسفر در ریشهٔ گل جعفری

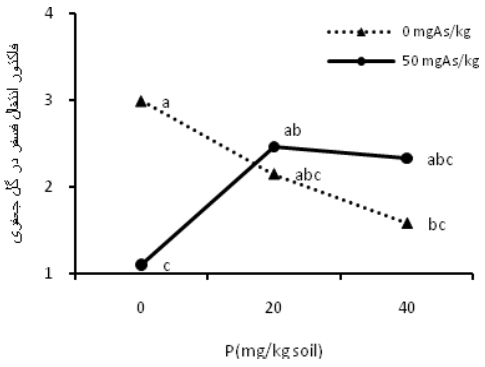


شکل ۲۷. اثر متقابل فسفر و آرسنیک بر مقدار جذب فسفر ریشهٔ گل جعفری

فاکتور انتقال فسفر در گل جعفری

جدول ۴ نشان می‌دهد در گل جعفری اثر اصلی آرسنیک و فسفر بر فاکتور انتقال فسفر غیر معنادار اما اثر متقابل آرسنیک و فسفر در سطح احتمال ۵ درصد معنادار است. مقایسهٔ میانگین‌های اثر اصلی نشان داد افزایش سطح آرسنیک و فسفر تغییر معنادار در فاکتور انتقال فسفر در گل جعفری ایجاد نمی‌کند. نتایج تجزیهٔ واریانس اثر متقابل نشان داد با افزایش سطح فسفر فاکتور انتقال فسفر در تیمار شاهد آرسنیک کاهش می‌یابد و در سطح دوم آرسنیک ابتدا افزایش می‌یابد و سپس تقریباً ثابت می‌ماند. همچنین فاکتور انتقال فسفر در تیمار شاهد فسفر با افزایش سطح آرسنیک کاهش یافت. اما مقدار عددی این فاکتور در دو سطح دیگر فسفر، در سطح ۵۰ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک، بیشتر از تیمار شاهد آرسنیک بود.

بین دو سطح آرسنیک در سطح دوم و سوم فسفر اختلاف معناداری از لحاظ فاکتور انتقال فسفر وجود نداشت (شکل ۲۸).



شکل ۲۸. اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر فاکتور انتقال فسفر گل جعفری

نتیجه‌گیری

حضور آرسنیک در خاک باعث کاهش وزن خشک بخش هوایی و ریشه، شاخص کلروفیل برگ، و کارایی مصرف آب در گندم و گل جعفری شد. برخلاف انتظار، در خاک آهکی گل جعفری نتوانست آرسنیک را در سطح ۵۰ میلی‌گرم بر خاک به میزان مطلوب جذب کند و آن را به بخش هوایی بیشتر از ریشه انتقال دهد و حتی گل جعفری نتوانست در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک رشد کند. با افزایش آرسنیک مصرفی، غلظت و مقدار جذب آرسنیک در بخش هوایی و ریشهٔ گندم و گل جعفری افزایش یافت. مصرف فسفر باعث کاهش اثر مخرب آرسنیک در هر دو گیاه مورد مطالعه شد.

سپاس‌گزاری

این مقاله مستخرج از پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد نویسندهٔ اول است که بدین وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تبریز، به دلیل تأمین هزینه‌های لازم، تشکر می‌کنیم. از همکاری‌های صمیمانهٔ ریاست محترم امور آزمایشگاه‌های آب استان شرقی، جناب آقای مهندس فتح‌اله‌پور، و همچنین سرکار خانم مهندس کاظمیان، برای اندازه‌گیری آرسنیک، تشکر می‌کنیم. همچنین از کلیهٔ داوران محترم این مقاله سپاس‌گزاریم.

REFERENCES

Abedin, M. J., Feldmann, J., and Meharg, A. A. (2002). Uptake kinetics of arsenic species in rice plants. *Plant Physiology*, 128, 1120–1128.

Allison, L. E. and Moodie, C. D. (1965). Carbonate. *In* C.A. Black *et al*., (ED), *Method of soil analysis*, Part 2- Chemical and Microbiological Properties. American Society for Agronomy, Madison, WI, 1379-1396.

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

Burlo, F., Guijarro, L., Carbonell-Barrachina, A. A., Valero, D., and Martinez-Sanchez, F. (1999). Arsenic species: effects on and accumulation by Tomato plants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 47: 1247–1253.

Carbonell-Barrachina, A. A., Aarabi, M. A., Delaune, R. D., Gambrell, R. P., and Patrick, J. W. H. (1998). Arsenic in wetland vegetation: availability, phytotoxicity, uptake and effects on plant growth and nutrition. *Soil Science*, 217, 189-199.

Chen, M and Ma, L. (2001). Comparison of three aqua Regia digestion methods for twenty Florida soil. *Soil Science Society of American*, 65, 499-510.

Das, M. and Maiti, S. K. (2007). Metal accumulation in five native plants growing on abandoned CU-tailings ponds. *Applied Ecology and Environmental Research*, 5(1), 27-35.

Davies, T. G. E., Ying, J., Xu, Q., Li, Z. S., Li, J., and Gordon-Weeks, R. (2002). Expression analysis of putative high-affinity phosphate transporters in Chinese winter wheat. *Plant Cell Environmental*, 25, 1325–1339.

Dhar, R. K., Biswas, B. K., Samanta, G., Mandal, B. K., Chakraborti, D., Roy, S., Jafar, A., Islam, A., Ara, G., Kabir, S., Khan, A. W., Ahmed, S. A., and Hadi, S. A. (1997). Groundwater arsenic calamity in Bangladesh. *Current Science*, 73, 48–59.

Dixon, H. B. F. (1997). The biochemical action of arsenic acids especially as phosphate analogues. *Advance Inorganic Chemistry*, 44, 191–227.

Duker, A. A., Carranza, E. J. M., and Hale, M. (2005). Arsenic geochemistry and health. *International Environment Journal*, 31, 631– 641.

Elder, J. and Davies, T. T. (1993). Draft drinking water criteria, Document on arsenic, U.S. EPA, Under EPA Contract No. 68-C8-0033, Washington DC, 20460, VIII-4 , 1.

Environmental Protection Agency (EPA), Ambient Water Quality Criteria for Arsenic. (1980). *U.S. Environmental Protection Agency Rep*ort., 440/5-80-021.

Fitz, W. J. and Wenzel, W. W. (2006). Sequestration of arsenic by plants. *In* Naidu, R., Smith, E., Owens, G., Bhattachrya, P. and Nadebaum, P. (Eds.) *Managing arsenic in the environment*. From soil to human health. Collingwood, CSIRO Publishing.

Glassop, D., Smith, S. E., and Smith, F. W. (2005). Cereal phosphate transporters associated with the

mycorrhiza pathway of phosphate uptake into roots. *Planta*. 222و688–98.

Gupta, P. K. (2000). Soil, Plant, Water, and Fertilizer Analysis. Agrobios, New Dehli, India.

Hosseinpur feyzi, M., Mosaferi, M., Dastgiri, S., Zolali, Sh., Poladi, N., and Azarfam, P. (2007). The prevalence of health problems in the Qopuz village of East Azerbaijan and its relation with arsenic levels in drinking water .*Iranian journal Epidemiology*,3, 21-27.

Itziar, A. and Carlos, G. (2001). Phytoremediation of organic contaminants in soils. *Bioresource Technology*. 79**,** 273–276.

Jiang, Q. Q. and Singh, B. R. (1994). Effect of different forms and sources of arsenic on crop yield and arsenic concentration. *Water Air Soil Pollution*. 74, 321-343.

Jones, J. B. Jr. (2001). *Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis*. CRC press, Boca Raton London New York and Washington D.C.

Kamkar, B., Safahani Langroody, A., and Mohammady, R. (2011), *The use of nutrients in crop plants*. University Jihad of Mashhad. Pp, 500.

Karimi Nezhad, M. N., Ghahroudi, M., Tali, M., Mahmoudi, H., and Pazira, E. (2010), Spatial variability of As and Cd concentrations in relation to land use, parent material and soil properties in topsoil's of northern Ghorveh, Kurdistan Province, Iran. *World Applied Sciences Journal*,11 , 1105-1113.

Klute, A. (1986). *Methods of soil analysis*. Part 1-Physical and mineralogical methods. 2nd edition, ASA, SSSA, Madison .WI .USA

Kramer, P. J. (1983). *Water Relations of Plants*, Academic Press, Inc, Florida, USA.

Liu, W. J., Zhu, Y. G., and Smith, F. A. (2005). Effects of iron and manganese plaques on arsenic uptake by rice seedlings (*Oryza sativa L.*) grown in solution culture supplied with arsenate and arsenite. *Plant Soil*, 277: 127–138.

Mahdiyeh, S. h., 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.*). *Journal of Plant Production*, 19, 150-120.

Mahimairaja, S., Bolan, NS., Adriano, DC., and Robinson, B. (2005). Arsenic contamination and its risk management. *Advances in agronomy*, 86, 455-465.

Malakuti, M. J. and Tehrani, M. M. (2000). *The role of micronutrients in increasing the yield and quality of crops*. University of Tarbiat modarres Press. (In Farsi).

Marcus-Wyner, L. and Rains, D. W. (1982). Uptake, accumulation and translocation of arsenical compounds by cotton. *Journal of Environment Quality*.11, 715–719.

Marin, A. R., Masschenlyn, P. H., and Patrick, W. H. (1993). Soil redox/pH stability of arsenic species and its influence on arsenic uptake by rice. *Plant Soil*, 152, 245-253.

Mclean, E. O. (1982). *Soil pH and lime requirement*. 199-224. In A. L., Page *et al*.(Eds.) Method of Soil Analysis. Part 2. 2nd ed. ASA. SSSA, Madison, WI.USA.

Meharg, A. A. and Rahman, M. M. (2003). Arsenic contamination of Bangladesh paddy field soils: implication for rice contribution to arsenic consumption. *Environment* science *and Technology*, 37:229–234.

Meharg, A. A., Naylor, J., and Macnair, M. R. (1994). Phosphorus nutrition of arsenate-tolerant and non-tolerant phenotypes of velvetgrass. *Journal of Environment Quality*, 23, 234 -238.

Mengel, K. and Kirkby, E. A. (2001). Iron. In *Principles of plant nutrition*, (5nd eds.) K. Mengel and E.A. Kirkby. Pp.553–571, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands.

Naidu, R., Bolan, N. S., and Owens, G. (2003). Risk based land management: A cost effective tool for contaminated land management. pp. 5-19. In: Currie LD, Stewart RB and Anderson CWN(eds). Environmental Management using Soil-Plant Systems, Occasional Report No.16.Fertilizer and Lime Research Center, Massey University, Palmerston North.

Nelson, D. W. and Sommers, L. E. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter. *In*: A. L. Page *et al*. (Eds). *Methods of soil analysis*. Part II. 2nd ed. ASA. P. 539-579. Nelson, K. W. 1977. Industrial contributions of arsenic to the environment. *Environment Health Prospect*, 19, 31-34.

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

Otte, M. L., Rozema, J., Beek, M. A., Kater, B. J., and Broekman, R. A. (1990). Uptake of arsenic by estuarine plants and interactions with phosphate, in the field (Rhine estuary) and under outdoor experimental conditions. *Science Total Environment*, 98, 839–854.

Pigna, M., Cozzolino, V., Violante, A., and Meharg, A. A. (2009). Influence of phosphate on the arsenic uptake by wheat (*Triticum durum* L.) irrigated with arsenic solutions at three different concentrations. *Water, Air and Soil Pollution*,197, 371–380.

Sadiq, M. (1997). Arsenic chemistry in soils: an overview of thermodynamic predictions and field observations. *Water, Air, Soil Pollution*, 93, 117–136.

Shaibur, M. R. and Kawai, S. (2009). Effect of arsenic on visible symptom and arsenic concentration in

hydroponic Japanese mustard spinach. *Environmental and Experimental Botany*, 67, 65-70.

Shaibur, M. R., Kitajima, N., Sugawara, R., Kondo, T., Imamul Huq, S. M., and Kawai, S. (2006). Physiological and mineralogical properties of arsenic-induced chlorosis in rice seedlings grown hydroponically. *Soil Science and Plant Nutrition*, 52, 691-700.

Smith, E. (1998). Arsenic in the soil environment: A Review. Advances in Agronomy, 64, 149-195.

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.

Soil Conservation Service. (1992). *Soil survey laboratory methods and procedures for collection soil sample*. USDA. SCS. Soil Survey. Washington, DC

Song, J., Zhao, F., McGrath, S., and Luo, Y. (2006). Influence of soil properties and aging on arsenic phytotoxicity. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 25,1663-1670.

Tsutsumi, M. (1983). Comparative toxicity of arsenite and arsenate to rice seedlings under various levels of phosphate supply. *Soil Science Plant Nutrition*, 29, 63–69.

Tu, C. and Ma, L. Q. (2002). Effects of arsenic concentrations and forms on arsenic uptake by the hyper accumulator ladder brake. *Journal of Environmental Quality*, 31, 641-647.

Tu, C. and Ma, L. Q. (2002). Effects of arsenic concentrations and forms on Arsenic uptake bye the hyperaccumulator ladder brake. *Journal of Environmental Quality*, 31,641-647.

U S, Salinity Laboratory Staff. (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. USDA Handbook. 60, Washington, DC. USA. 190p.

Ullrich-Eberius, C. L., Sanz, A., and Novacky, A. J. (1989). Evaluation of arsenate associated and vanadate- associated changes of electrical membrane –potential and phosphate- transport in *Lemna gibba –G*1. *Journal of Experiment Botany*, 40, 119-128.

Valizade fard. F., Reyhanitabar. A., Najafi. N., and Oustan. Sh. (2012). Effects of combined application of Cd and Zn on the growth characteristics of rice plant and zinc, cadmium, iron and manganese concentration in soil under flooded vs. nonflooded conditions. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 3, 195-207

Watchara, C., Pornsawan, V., Somkiat, K. H., and Siriporn, L. (2007). Potential of the hybrid marigolds for arsenic phytoremediation and income generation of remediators in Ron Phibum District, Thailand. *Chemosphere*,70,1532- 1537.

Yamane, T. (1989). The mechanisms and countermeasures of arsenic toxicity to rice plant. *Bull. Shimane Agric. Exp.Stat*., 24, 1–95.

Yazdani motlagh. N. (2012). *Effect of combined application of nitrogen and phosphorus on rice cultivars (Hashemi and Ali Kazemi) in saturated and unsaturated conditions* . Ms.A dissertation , University of Tabriz .

Zhao, F. J., Lopez-Bellido, F. J., Gray, C. W., Whalley, W. R., Clark, L. J., and McGrath, S. P. (2007). Effect of soil compaction and irrigation on the concentrations of selenium and arsenic in wheat grains. *Science Total Environment*, 372, 433-439.