

## برهم‌کنش آرسنیک و فسفر بر جذب کلسیم، منیزیم و پتاسیم توسط گندم (*Triticum aestivum*) و گل جعفری (*Tagetes erecta*)

نسرین میرزایی<sup>1</sup>، عادل ریحانی تبار<sup>2</sup>، شاهین اوستان<sup>3</sup>، مهدیه حقیقت افشار<sup>4</sup>

(تاریخ دریافت: 1393/02/13 تاریخ پذیرش: 1393/08/03)

### چکیده

نگرانی‌هایی در خصوص آلودگی منابع خاک و آب به آرسنیک (As) و خطر بالقوه آن برای سلامتی انسان‌ها و محیط-زیست وجود دارد. گندم و گل جعفری به ترتیب به عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی و زینتی هستند که در گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده هم مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای مطالعه اثر برهم‌کنش آرسنیک و فسفر (P) بر غلظت و جذب کلسیم (Ca)، منیزیم (Mg) و پتاسیم (K)، در گندم و گل جعفری، دو آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک-های کامل تصادفی با سه سطح آرسنیک (0، 50 و 100 میلی‌گرم بر کیلوگرم) و سه سطح فسفر (صفر، 20 و 40 میلی‌گرم بر کیلوگرم) و در سه تکرار در گلخانه انجام شد. نتایج نشان داد که با حضور As جذب عناصر کلسیم، منیزیم و پتاسیم در اندام‌های هوایی و ریشه گندم و گل جعفری، کاهش یافت. با افزایش سطوح فسفر، جذب کلسیم در ریشه گل جعفری و جذب منیزیم و پتاسیم در اندام‌های هوایی و ریشه گندم و گل جعفری افزایش یافت. همچنین برهم‌کنش آرسنیک و فسفر در اکثر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده گیاهان معنی‌دار بود و مصرف فسفر توانست تا حدودی اثر منفی آرسنیک را تعدیل کند.

**واژه‌های کلیدی:** آرسنیک، برهم‌کنش، پتاسیم، فسفر، کلسیم، گندم، گل جعفری

1- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

2- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز (مکاتبه‌کننده)

پست الکترونیک: [arevhani@tabrizu.ac.ir](mailto:arevhani@tabrizu.ac.ir)

3- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

4- استادیار گروه باغبانی، دانشگاه آزاد تبریز

## مقدمه

کردند که کلسیم در اندام‌های بالغ در سرخس پتریس ویتاتا<sup>2</sup> با افزایش آرسنیک، افزایش یافت. آنان چنین نتیجه گرفتند که کلسیم نقش مهمی در رفع سمیت آرسنیک ایفا می‌کند. احتمالاً دلیل این اختلاف می‌تواند تفاوت در نوع گیاه، غلظت کلسیم محیط رشد، شکل شیمیایی آرسنیک، pH محیط و یا حتی شیوه انجام آزمایش باشد. شایبور و همکاران (Shaibur *et al.*, 2010) گزارش کردند که غلظت کلسیم در اندام هوایی و ریشه اسفناج با افزایش سطح آرسنیک کاهش یافت. همچنین این محققان در گیاه بارونیا<sup>3</sup> و در محیط آبکشت کاهش غلظت کلسیم در ساقه و برگ و افزایش جذب کلسیم در ریشه را نسبت به شاهد با افزایش سطوح آرسنیک مشاهده کردند (Shaibur *et al.*, 2012). همانند کلسیم، کمبود عنصر منیزیم نیز در خاک‌های اسیدی به شدت هوادیده در مقایسه با خاک‌های آهکی شایعتر است (Havlin *et al.*, 2004). مهمترین نقش منیزیم حضور در مولکول کلروفیل و فعال کردن برخی از آنزیم‌ها است. همچنین به متابولیسم فسفات کمک می‌کند (Fageria, 2009). کربونیل باراچینا و همکاران (Carbonell-Barrachina, *et al.*, 1997) افزایش غلظت کلسیم و منیزیم را در اندام هوایی گیاه لوبیا با افزایش جذب آرسنات مصرفی گزارش کردند. لیو و همکاران (Liu *et al.*, 2008) نیز بیان کردند که با قرارگیری گندم زمستانه در معرض آرسنیک، غلظت منیزیم در اندام هوایی افزایش یافت. یامان (Yamane, 1989) گزارش کرد که غلظت پتاسیم در برنج به دلیل حضور آرسنیک کاهش یافت. شایبور و همکاران (Shaibur *et al.*, 2010) نیز کاهش غلظت پتاسیم در ریشه و اندام هوایی گیاه اسفناج را در حضور آرسنیک مشاهده کردند. با توجه به آلوده بودن برخی اراضی به عنصر آرسنیک هدف از انجام این تحقیق مطالعه اثر برهمکنش فسفر و آرسنیک بر جذب عناصر پتاسیم، کلسیم، منیزیم و سدیم در دو گیاه گندم و گل جعفری در یک خاک آهکی بود.

عنصر آرسنیک از نظر شیمیایی چهار حالت اکسایشی (-3، 0، +3 و +5) دارد و در خاک به دو شکل معدنی و آلی یافت می‌شود (Matera & Hecho, 2002). دو گونه شیمیایی اصلی آرسنیک در خاک‌ها آرسنیت As(III) و آرسنات As(V) هستند (Sadig, 1997). آرسنیت گونه غالب در شرایط غیرهوازی و در مقادیر pH خنثی متداول بوده و بسیار محلول، متحرک و سمی‌تر از آرسنات است. رفتار شیمیایی آرسنیک و فسفر مشابه است (Adriano, 2001) و معمولاً آبشویی آرسنیک از خاک با افزودن فسفر افزایش می‌یابد (Peryea & Kammereck, 1995) همچنین فسفر منجر به افزایش قابلیت دسترسی آرسنیک در خاک (Peryea & Kammereck, 1995) و در نتیجه افزایش جذب توسط گیاهان می‌شود (Smith *et al.*, 2002). آلودگی بسیاری از خاک‌های زراعی به آرسنیک در استان‌های کردستان، زنجان و آذربایجان شرقی گزارش شده است (Karimi Nezhad *et al.*, 2010). گندم (*Triticum aestivum L.*) مهمترین غله دانه‌ای بوده و به منظور افزایش کیفیت این محصول مطالعه برهم‌کنش فسفر و آرسنیک ضروری می‌باشد (Bauer *et al.*, 1987). استفاده از گل جعفری<sup>1</sup> نیز برای رفع آلودگی خاک‌ها ایده تقریباً جدیدی است. گل جعفری عناصر مضر را از خاک جذب و در اندام هوایی خود نگهداری و به بیرون از خاک انتقال می‌دهد (Itziar & Carlos, 2001). واچرا و همکاران (Watchara *et al.*, 2007) گل جعفری را برای جذب آرسنیک موجود در خاک‌های اسیدی تایلد مناسب گزارش کردند. در حال حاضر از این گیاه در سطح وسیعی برای گیاه پالایی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین و از جمله آرسنیک استفاده می‌شود (Meharg & Rahman, 2003). والاس و همکاران (Wallace *et al.*, 1980) گزارش کردند که غلظت کلسیم در ریشه و اندام هوایی نخود در اثر حضور آرسنیک کاهش یافت. با این حال، ژائو و همکاران (Zhao *et al.*, 2003) گزارش

2- *Petris vittata*  
3- *Baronia*

1- *Marigold*

**مواد و روش‌ها**

این آزمایش به صورت فاکتوریل با 2 فاکتور در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار در گلخانه انجام شد. فاکتور اول آرسنیک (در سه سطح 0، 50 و 100 میلی گرم بر کیلوگرم از منبع سدیم آرسنات) و فاکتور دوم فسفر (در سه سطح 0، 20 و 40 میلی گرم بر کیلوگرم از منبع منو کلسیم فسفات) بودند. برای این منظور خاک از عمق 30 سانتی متری منطقه اسپیران واقع در اطراف تبریز به طول 28 و 16<sup>o</sup> 38 شمالی و عرض شرقی 23 و 20<sup>o</sup> 46 نمونه برداری و پس از هوا خشک و الک کردن، بافت خاک به روش هیئدرومتری (Klute, 1986)، pH در سوسپانسیون 1:1 (McLean, 1982) و قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در عصاره سوسپانسیون 1:1 (Gupta, 2000)، کربن آلی با روش والکلی و بلک اصلاح شده (Nelson & Sommers, 1982)، کربنات کلسیم معادل (CCE) خاک با خنثی سازی با اسید کلریدریک (Allison & Moodie, 1965)، فسفر قابل جذب خاک به روش اولسن (Olsen *et al.*, 1954)، پتاسیم قابل جذب خاک با استات آمونیوم (Gones, 2001)، و آهن، منگنز، مس و روی قابل جذب خاک به روش DTPA (Lindsay & Norvell, 1978) و غلظت آرسنیک کل در خاک به روش آکوارجیا (Aqua-Regia) اندازه گیری شد (Chen & Ma, 2001). رطوبت ظرفیت مزرعه (FC) با استفاده از دستگاه صفحه فشاری در مکش 33 کیلوپاسکال اندازه گیری شد (US Salinity Lab, 1954).

آلوده سازی خاک به آرسنیک و کشت گلخانه‌ای: مقادیر 0، 50 و 100 میلی گرم As(v) بر کیلوگرم خاک، از منبع سدیم آرسنات ( $\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) در رطوبت ظرفیت مزرعه (FC) به خاک (عبور کرده از الک 4/75 میلی متری) اضافه و به‌طور متناوب هم زده شد و سه چرخه مرطوب کردن (تا رطوبت FC) و خشک کردن (تا رطوبت هواخشک) به مدت سه هفته جهت اختلاط کامل آرسنیک با خاک اعمال گردید. در مرحله بعد فسفر در سه سطح 0، 20 و 40 میلی گرم بر کیلوگرم خاک از منبع منو کلسیم فسفات افزوده

شد. در نهایت نمونه خاک‌ها هوا خشک شده بلافاصله بعد از اضافه کردن فسفر در گلدان‌های سه کیلوگرمی ریخته شدند. کود آهن به میزان 5 میلی گرم آهن بر کیلوگرم خاک از منبع سکوسترین آهن (FeEDDHA) و کود روی به میزان 10 میلی گرم روی بر کیلو گرم خاک از منبع سولفات روی ( $\text{ZnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) مصرف شدند. سپس 8 عدد بذر گندم (رقم سرداری) تهیه شده از مرکز تحقیقات دیم مراغه و گل جعفری (رقم Taishan) از شرکت تهیه بذر کولگریو (Ball Colegrave) به طور جداگانه در گلدان‌ها کشت گردید و بعد از 2 هفته گندم‌ها به 6 عدد و گل جعفری به 5 عدد در هر گلدان تنک شدند. کنترل رطوبت گلدان‌ها در دامنه FC تا FC 0/8 به‌طور روزانه به وسیله توزین گلدان‌ها انجام شد. بعد از 90 روز گیاهان برداشت گردیدند. بعد از خشک شدن نمونه‌های گیاهی در آون و پودر شدن آن‌ها از روش اکسایش تر (آب اکسیژنه 30 درصد و اسید نیتریک غلیظ) برای هضم نمونه‌های گیاهی استفاده شد (Jones, 2001). غلظت آرسنیک توسط دستگاه جذب اتمی مدل واریان مجهز به کوره گرافیتی و غلظت فسفر با روش رنگ‌سنجی وانادات مولیبدات توسط اسپکتروفتومتر مدل Apcl, PD-303 اندازه گیری شد (Mahdiyeh *et al.*, 2012). غلظت کلسیم و منیزیم به روش شعله با دستگاه جذب اتمی (Shimadzu -6300) (AAS) و پتاسیم با دستگاه فلیم فتومتر اندازه گیری شد. جذب عناصر از حاصلضرب غلظت عناصر کلسیم، منیزیم و پتاسیم در عملکرد ماده خشک محاسبه شد. رسم نمودارها با Excel و آنالیز آماری با نرم افزارهای SPSS و MSTATC مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال 5% انجام شد.

**نتایج و بحث**

برخی ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش در جدول (1) ارائه شده است.

## غلظت کلسیم اندام هوایی گندم

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی آرسنیک بر غلظت کلسیم در اندام هوایی گندم معنی دار ولی اثر اصلی فسفر و اثر متقابل آرسنیک و فسفر غیرمعنی دار بود (جدول مربوطه ارائه نشده است). نتایج نشان داد که با افزایش سطوح آرسنیک، غلظت کلسیم در اندام هوایی گندم از 3/1 میلی گرم در گرم در تیمار شاهد به 5/2 و 5/5 میلی گرم در گرم به ترتیب در سطوح 50 و 100 میلی گرم در کیلوگرم رسید. دلیل این امر را می توان با کاهش وزن خشک اندام هوایی گندم که در این آزمایش مشاهده شد و در نتیجه افزایش غلظت توجیه کرد. این یافته با گزارش شایبور و همکاران (Shaibur *et al.*, 2011a) و مارین و همکاران (Marin *et al.*, 1993) در برنج مطابقت دارد.

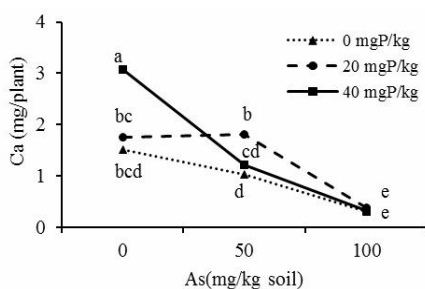
## جذب کلسیم اندام هوایی گندم

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی آرسنیک و فسفر و اثر متقابل آن‌ها بر جذب کلسیم اندام هوایی گندم معنی دار بود. نتایج نشان داد که با افزایش سطوح آرسنیک، جذب کلسیم در اندام هوایی گندم در سطوح 50 و 100 میلی گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک به ترتیب 36 و 83/9 درصد نسبت به شاهد کاهش یافت که دلیل آن کاهش رشد اندام هوایی گندم بود. با افزایش سطوح فسفر مصرفی، جذب کلسیم اندام هوایی گندم به ترتیب 38/4 و 61/1 درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت که دلیل آن افزایش وزن خشک گندم می باشد.

جدول 1- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

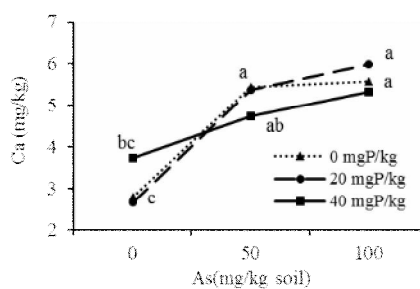
Table 1- Physical and chemical properties of the soil

| As                     | Zn  | Cu  | Mn | Fe   | P   | k                     | EC    | pH  | N    | OM   | CCE | Texture   |
|------------------------|-----|-----|----|------|-----|-----------------------|-------|-----|------|------|-----|-----------|
| (mg kg <sup>-1</sup> ) |     |     |    |      |     | (dS m <sup>-1</sup> ) | (1:1) | (%) |      |      |     |           |
| -                      | 0.5 | 2.2 | 7  | 3.98 | 8.7 | 556                   | 0.47  | 7.1 | 0.02 | 1.01 | 15  | Clay loam |



شکل 2- اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر جذب کلسیم اندام هوایی گندم

Fig. 2- Interactive effects of As and P on shoot Ca content of wheat



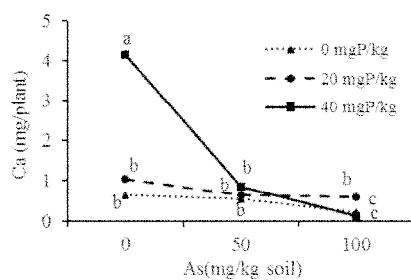
شکل 1- اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر غلظت کلسیم اندام هوایی گندم

Fig. 1- Interactive effects of As and P on shoot Ca concentration of wheat

سطوح آرسنیک، غلظت کلسیم ابتدا تقریباً ثابت و بعد کاهش یافت و در سطح 40 میلی گرم فسفر بر کیلوگرم خاک با افزایش سطح آرسنیک غلظت کلسیم کاهش یافت (شکل 2).

نتایج اثرات متقابل آرسنیک و فسفر نشان داد با افزایش سطوح آرسنیک، جذب کلسیم در اندام هوایی گندم کاهش یافت. در دو سطح شاهد و 20 میلی گرم فسفر بر کیلوگرم خاک با افزایش

گرم فسفر، غلظت کلسیم ریشه گندم افزایش یافت. در سطح دوم آرسنیک غلظت کلسیم ریشه گندم تنها در دو تیمار شاهد و 40 میلی گرم فسفر اختلاف معنی دار داشتند. در سطح سوم آرسنیک با افزایش سطوح فسفر، غلظت کلسیم در ریشه گندم بطور معنی دار بخصوص در سطح 40 میلی گرم فسفر بیشتر از سطح شاهد فسفر بود (شکل 3).



شکل 4- اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر جذب کلسیم ریشه گندم

Fig. 4- Interactive effects of As and P on root Ca content of wheat

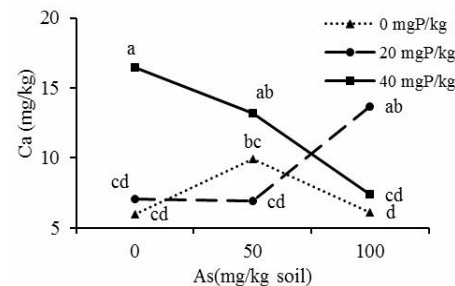
یافت که شیب کاهش در سطح 40 میلی گرم فسفر بیشتر از دو سطح دیگر است (شکل 4).

#### غلظت کلسیم در اندام هوایی گل جعفری

در شرایط این آزمایش گلخانه‌ای گیاه گل جعفری در شرایط مصرف 100 میلی گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک رشد نکرد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی آرسنیک و فسفر بر غلظت کلسیم در اندام هوایی گل جعفری و اثر متقابل آن‌ها غیرمعنی دار بود. نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان می‌دهد که با افزایش سطح آرسنیک در هر سطح فسفر، غلظت کلسیم در بخش هوایی نسبت به سطح شاهد آرسنیک بطور معنی داری افزایش یافت. در سطح شاهد آرسنیک یعنی خاک غیر آلوده با افزایش سطوح فسفر، غلظت کلسیم در بخش هوایی گل جعفری ابتدا کاهش و سپس تقریباً ثابت ماند و در سطح 50 میلی گرم آرسنیک با افزایش سطوح فسفر، غلظت کلسیم ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت (شکل 5).

#### غلظت کلسیم ریشه گندم

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر اصلی آرسنیک بر غلظت کلسیم ریشه گندم غیرمعنی دار اما اثر اصلی فسفر و اثر متقابل آن دو معنی دار بود. با افزایش سطوح فسفر مصرفی، غلظت کلسیم در سطوح 20 و 40 میلی گرم فسفر بر کیلوگرم خاک به ترتیب 25/7 و 68/2 درصد افزایش یافت. نتایج اثر متقابل آرسنیک و فسفر نشان داد در تیمار شاهد آرسنیک تنها در سطح 40 میلی



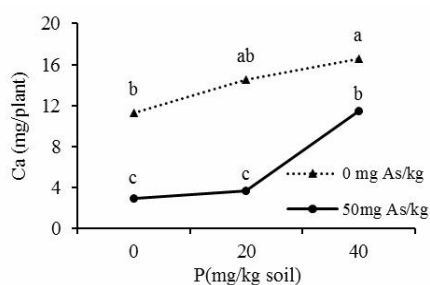
شکل 3- اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر غلظت کلسیم ریشه گندم

Fig. 3- Interactive effects of As and P on root Ca concentration of wheat

#### جذب کلسیم ریشه گندم

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی آرسنیک و فسفر و اثر متقابل آن‌ها بر جذب کلسیم توسط ریشه گندم معنی دار بود. نتایج اثر اصلی نشان داد که با افزایش سطوح آرسنیک، جذب کلسیم ریشه گندم به ترتیب 64/6 و 84/1 درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. نتایج، دلیل اصلی عدم توسعه ریشه‌ها در خاک به ویژه خاک آلوده به آرسنیک را کمبود کلسیم گزارش کردند (Bruce et al., 1988). در شرایط عدم مصرف آرسنیک، با افزایش سطوح فسفر، جذب کلسیم ریشه گندم در سطوح 20 و 40 میلی گرم فسفر بر کیلوگرم خاک به ترتیب 1/6 و 3/6 برابر نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت که دلیل این افزایش را می‌توان به افزایش ماده خشک ریشه در اثر مصرف فسفر و افزایش جذب کلسیم نسبت داد. نتایج اثر متقابل نشان داد با افزایش سطوح آرسنیک، جذب کلسیم در ریشه گندم، در این تحقیق در هر سه سطح فسفر کاهش

سطح آرسنیک، مقدار جذب کلسیم در بخش هوایی گل جعفری نسبت به سطح شاهد آرسنیک در هر سطح فسفر بطور معنی داری کاهش یافت. در سطح شاهد آرسنیک یعنی خاک غیر آلوده با افزایش سطوح فسفر، مقدار جذب کلسیم بخش هوایی گل جعفری ابتدا تقریباً ثابت و سپس افزایش یافت. همین روند در خاک آلوده شده به آرسنیک نیز مشاهده شد. با مصرف آرسنیک، جذب کلسیم در اندام هوایی گل- جعفری نسبت به تیمار شاهد در هر سطح فسفر کاهش یافت (شکل 6). با توجه به نقش مثبت کلسیم در مبارزه گیاه با سمیت عناصر مضر نقش مثبت فسفر در کمک به جذب آن شایان توجه است.



شکل 6- اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر جذب کلسیم اندام هوایی گل جعفری

Fig. 6- Interactive effects of As and P on shoot Ca content of marigold

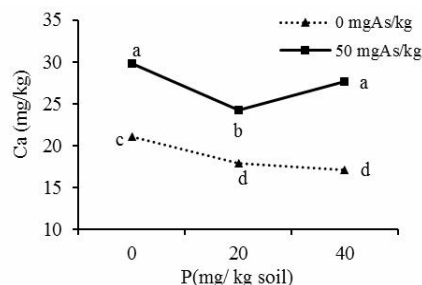
بیشتر از تیمار شاهد آرسنیک بود. همچنین در تیمار شاهد آرسنیک با افزایش سطوح فسفر، غلظت کلسیم تغییر معنی داری نکرد و در سطح 50 میلی گرم آرسنیک با افزایش سطوح فسفر، غلظت کلسیم ابتدا افزایش و سپس کاهش یافت که افزایش اولیه به دلیل اثر رقت و کاهش بعدی را اثر سمیت دانست.

#### جذب کلسیم ریشه گل جعفری

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی آرسنیک و فسفر و اثر متقابل آن‌ها بر جذب کلسیم ریشه گل جعفری معنی دار بود. مقایسه میانگین اثر اصلی

#### جذب کلسیم اندام هوایی گل جعفری

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی آرسنیک و فسفر در سطح احتمال پنج درصد بر جذب کلسیم در اندام هوایی گل جعفری معنی دار ولی اثر متقابل آن‌ها غیر معنی دار بود. نتایج نشان داد که با مصرف آرسنیک، جذب کلسیم بخش هوایی گل جعفری 57/4 درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. همچنین با افزایش سطوح فسفر، جذب کلسیم در سطوح دوم و سوم به ترتیب 27/6 و 97/2 درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. کاهش و افزایش مشاهده شده را می‌توان با کاهش و افزایش ماده خشک گیاه در اثر مصرف آرسنیک و فسفر توجیه کرد. نتایج اثرات متقابل آرسنیک و فسفر نشان می‌دهد که با افزایش



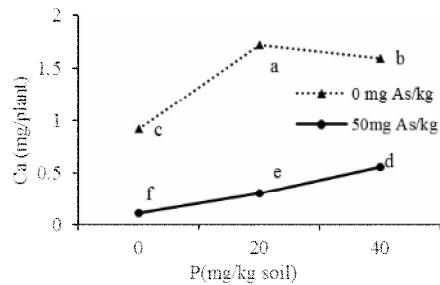
شکل 5- اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر غلظت کلسیم اندام هوایی گل جعفری

Fig. 5- Interactive effects of As and P on shoot Ca concentration of marigold

#### غلظت کلسیم ریشه گل جعفری

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی آرسنیک و فسفر بر غلظت کلسیم ریشه گل جعفری غیر معنی دار اما اثر متقابل آن‌ها معنی دار بود. با افزایش سطوح فسفر غلظت کلسیم تنها در دو سطح 20 و 40 میلی گرم فسفر بر کیلوگرم خاک اختلاف معنی دار داشت. شکل 7 نشان می‌دهد که با افزایش 50 میلی گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک، غلظت کلسیم ریشه گل- جعفری در تیمار شاهد و 40 میلی گرم فسفر کمتر از تیمار شاهد آرسنیک بود اما این کاهش غیر معنی دار بود و در سطح 20 میلی گرم فسفر بطور معنی دار

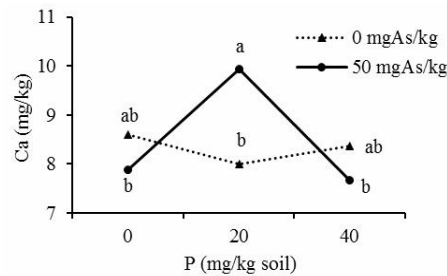
افزایش یافت. مقایسه میانگین اثر متقابل (شکل 8) نشان داد که با افزایش فسفر مصرفی جذب کلسیم در تیمار شاهد و 50 میلی گرم آرسنیک نسبت به شاهد فسفر افزایش یافت.



شکل 8- اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر جذب کلسیم ریشه گل جعفری

Fig. 8- Interactive effects of As and P on root Ca content of marigold

نشان داد که با افزایش سطح آرسنیک، جذب کلسیم ریشه گل جعفری 77 درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. همچنین با افزایش سطوح فسفر، جذب کلسیم ریشه گل جعفری در سطوح 20 و 40 میلی گرم فسفر به ترتیب 97/2 و 110 درصد نسبت به تیمار شاهد



شکل 7- اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر غلظت کلسیم ریشه گل جعفری

Fig. 7- Interactive effects of As and P on root Ca concentration of marigold

منیزیم برای گندم در مرحله رشد سنبله از 1/5 تا 5 میلی گرم بر گرم گزارش شده است (Fageria et al., 1997a). با توجه به اعداد مذکور، در این آزمایش اگرچه غلظت منیزیم به حد کمبود نرسید اما در پایین ترین حد از حد کفایت قرار داشت.

#### جذب منیزیم اندام هوایی گندم

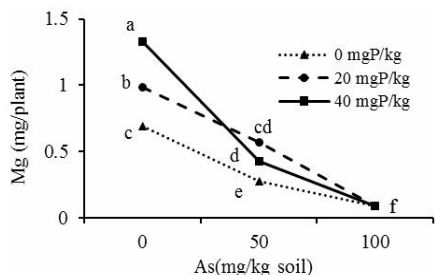
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی آرسنیک و فسفر و اثر متقابل آن‌ها بر جذب منیزیم اندام هوایی گندم معنی دار بود. مقایسه میانگین اثر اصلی نشان داد که با افزایش سطوح آرسنیک، جذب منیزیم اندام هوایی گندم در سطوح 50 و 100 میلی گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک به ترتیب 57 و 91 درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. کاهش جذب منیزیم در اثر افزایش سطح آرسنیک را می توان به کاهش وزن خشک نسبت داد. با افزایش سطوح فسفر، جذب منیزیم اندام هوایی گندم در سطوح 20 و 40 میلی گرم فسفر بر کیلوگرم خاک به ترتیب 52/7 و 69/4 درصد نسبت به تیمار شاهد فسفر افزایش یافت. در هر سه سطح فسفر با افزایش سطوح آرسنیک

#### غلظت منیزیم اندام هوایی گندم

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی و متقابل آرسنیک و فسفر بر غلظت منیزیم اندام هوایی گندم غیر معنی دار بود. تو و ما (Tu & Ma, 2005) گزارش کردند که تأثیر آرسنیک بر جذب کلسیم و منیزیم در سرخس پتریس ویتاتا که انباشتگر آرسنیک است بستگی به سطح آرسنیک در محیط کشت دارد. نتایج اثر متقابل نشان می دهد که غلظت منیزیم در بخش هوایی گندم در سطوح شاهد و 50 میلی گرم آرسنیک، با افزایش سطوح فسفر نسبت به شاهد فسفر افزایش یافت. اما در سطح 100 میلی گرم آرسنیک برعکس بود. که افزایش اولیه غلظت منیزیم را می توان به اثر رقت و کاهش بعدی را به اثر سمیت آرسنیک نسبت داد. غلظت منیزیم در بخش هوایی گندم در دو سطح شاهد و 100 میلی گرم آرسنیک، دارای اختلاف معنی دار بین سطح شاهد با دو سطح 40 میلی گرم فسفر در سطح شاهد آرسنیک و 20 میلی گرم فسفر در سطح 100 میلی گرم آرسنیک بود.

موجسلوویک (Mojislovic, 2009) نیز در تحقیق خود به نتایج مشابهی دست یافت. غلظت کفایت

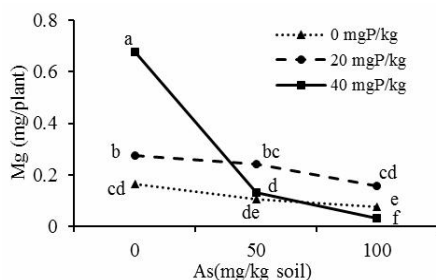
آرسنیک بر کیلوگرم خاک افزایش و در سطح 100 میلی گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک اختلاف معنی داری نداشت (شکل 10).



شکل 10- اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر جذب منیزیم اندام هوایی گندم

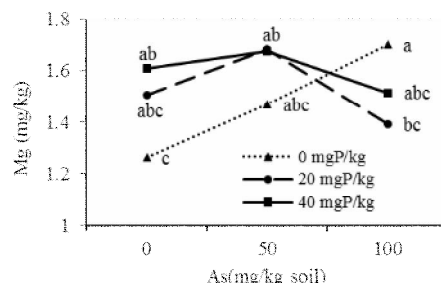
Fig. 10- Interactive effects of As and P on shoot Mg content of wheat

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی آرسنیک و فسفر و اثر متقابل آن‌ها بر جذب منیزیم ریشه گندم معنی دار بود. نتایج نشان داد که با افزایش سطوح آرسنیک جذب منیزیم در ریشه گندم در سطوح دوم و سوم آرسنیک به ترتیب 56/7 و 78/3 درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. همچنین در سطوح 20 و 40 میلی گرم فسفر بر کیلوگرم خاک جذب منیزیم ریشه گندم به ترتیب 100 و 154/5 درصد نسبت به شاهد فسفر افزایش یافت. نتایج اثر متقابل فسفر و آرسنیک (شکل 12) نشان داد که در هر سه سطح فسفر، با افزایش مصرف آرسنیک، جذب منیزیم در ریشه گندم بطور معنی دار کاهش یافت.



شکل 12- اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر جذب منیزیم ریشه گندم  
Fig. 12- Interactive effects of As and P on root Mg content of wheat

جذب منیزیم اندام هوایی گندم کاهش یافت. نتایج اثر متقابل نشان داد با افزایش سطوح فسفر جذب منیزیم اندام هوایی گندم در سطح شاهد و 50 میلی گرم



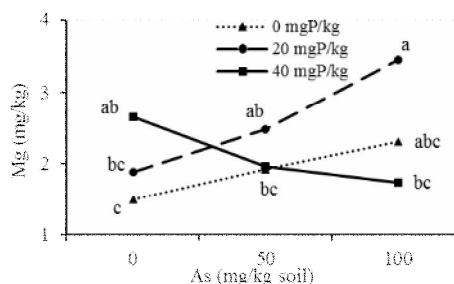
شکل 9- اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر غلظت منیزیم اندام هوایی گندم

Fig. 9- Interactive effects of As and P on shoot Mg concentration of wheat

#### غلظت منیزیم ریشه گندم

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی آرسنیک و فسفر بر غلظت منیزیم ریشه گندم غیرمعنی دار اما اثر متقابل آن‌ها معنی دار بود. مقایسه میانگین اثر متقابل (شکل 11) نشان داد که در دو سطح شاهد و 20 میلی گرم فسفر بر کیلوگرم خاک، با افزایش سطوح آرسنیک غلظت منیزیم ریشه گندم افزایش و در سطح 40 میلی گرم فسفر بر کیلوگرم خاک با افزایش سطوح آرسنیک، غلظت منیزیم تغییر معنی دار نکرد.

#### جذب منیزیم ریشه گندم



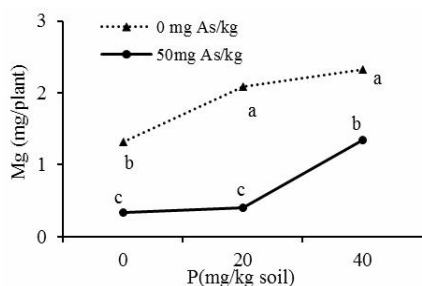
شکل 11- اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر غلظت منیزیم ریشه گندم  
Fig. 11- Interactive effects of As and P on root Mg concentration of wheat



اول و سوم فسفر بطور معنی‌دار به دلیل اثر سمیت افزایش یافت.

#### جذب منیزیم اندام هوایی گل جعفری

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی آرسنیک و فسفر بر جذب منیزیم اندام هوایی گل جعفری معنی‌دار و اثر متقابل آن‌ها غیرمعنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثر اصلی آرسنیک و فسفر نشان داد که با مصرف 50 میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک جذب منیزیم اندام هوایی گل جعفری 63/6 درصد نسبت به شاهد آرسنیک کاهش یافت. با افزایش مصرف فسفر، جذب منیزیم در سطوح 20 و 40 میلی‌گرم فسفر بر کیلوگرم خاک به ترتیب 51/2 و 123/1 درصد نسبت به شاهد فسفر افزایش یافت.



شکل 14- اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر جذب منیزیم اندام هوایی گل جعفری

Fig. 14- Interactive effects of As and P on shoot Mg content of marigold.

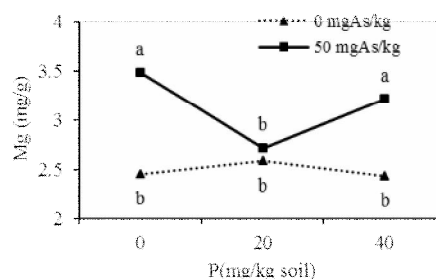
نسبت به سطح شاهد آرسنیک بطور معنی‌دار افزایش یافت. با افزایش سطوح فسفر تغییر معنی‌داری در غلظت منیزیم در ریشه گندم در دو سطح آرسنیک دیده نشد.

#### جذب منیزیم در اندام هوایی گل جعفری

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی آرسنیک و فسفر بر جذب منیزیم ریشه گل جعفری معنی‌دار اما اثر متقابل آن‌ها غیرمعنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثر متقابل (شکل 14) نشان داد که با افزایش سطح 50

#### غلظت منیزیم اندام هوایی گل جعفری

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی آرسنیک و اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر غلظت منیزیم اندام هوایی گل جعفری معنی‌دار ولی اثر اصلی فسفر غیرمعنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثر اصلی نشان داد که در سطح دوم آرسنیک، غلظت منیزیم اندام هوایی گل جعفری 26 درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. این افزایش غلظت را با توجه به کاهش رشد اندام هوایی می‌توان به اثر تغلیظ نسبت داد. همچنین با افزایش سطوح فسفر غلظت منیزیم اندام هوایی گل جعفری در سطوح دوم و سوم فسفر نسبت به تیمار شاهد به ترتیب 10 و 4 درصد کاهش یافت. نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل (شکل 13) نشان داد که با حضور 50 میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک، غلظت منیزیم در اندام هوایی گل جعفری در سطوح



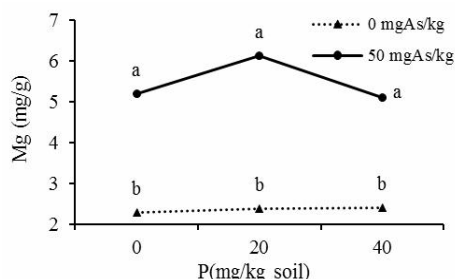
شکل 13- اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر غلظت منیزیم اندام هوایی گل جعفری

Fig. 13- Interactive effects of As and P on shoot Mg concentration of marigold.

#### غلظت منیزیم در ریشه گل جعفری

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی آرسنیک بر غلظت منیزیم ریشه گل جعفری معنی‌دار اما اثر اصلی فسفر و اثر متقابل آن‌ها غیر معنی‌دار بود. نتایج اثرات اصلی نشان داد که با افزایش سطح آرسنیک از صفر به 50 میلی‌گرم بر کیلوگرم، غلظت منیزیم در ریشه گل جعفری 133 درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. نتایج اثرات متقابل نشان می‌دهد (شکل 13) که با افزایش سطح آرسنیک، غلظت منیزیم در ریشه گل جعفری در هر سه سطح فسفر

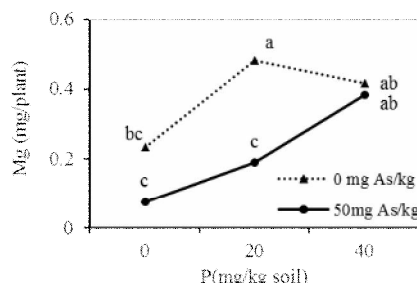
سطوح 20 و 40 میلی گرم فسفر بر کیلوگرم خاک به ترتیب 120 و 166/6 درصد نسبت به شاهد افزایش یافت.



شکل 15- اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر غلظت منیزیم ریشه گل جعفری

Fig. 15- Interactive effects of As and P on root Mg concentration of marigold

میلی گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک، جذب منیزیم در ریشه گل جعفری 43/2 درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. جذب منیزیم ریشه گل جعفری در



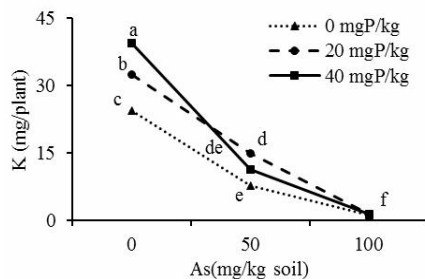
شکل 16- اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر جذب منیزیم ریشه گل جعفری

Fig. 16- Interactive effects of As and P on root Mg content of marigold

### غلظت پتاسیم اندام هوایی گندم

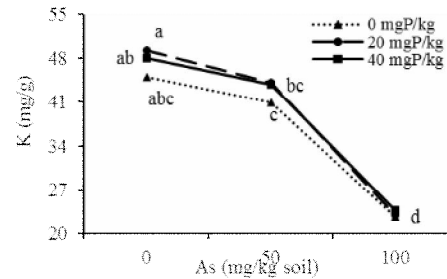
همکاران (Fageria *et al.*, 1997a) حد کفایت پتاسیم در اندام هوایی گندم در مرحله پنجه زنی را از 34 تا 42 میلی گرم بر گرم و در مرحله سنبله دهی از 15 تا 30 میلی گرم بر گرم گزارش کردند. با توجه به این اعداد در سطح شاهد و 50 میلی گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک غلظت پتاسیم اندام هوایی در دامنه کفایت قرار گرفته و این موضوع به دلیل غنی بودن خاک مورد مطالعه از نظر پتاسیم قابل جذب قابل توجه است. اما در سطح سوم آرسنیک مصرفی، غلظت پتاسیم در اندام هوایی گندم به شدت کاهش و به زیر آستانه حد کفایت افتاد. بدیهی است کمبود پتاسیم در حضور آرسنیک ممکن است منجر به خوابیدگی، افزایش تنش آبی، کاهش جذب فتوسنتز و کاهش کیفیت گندم تولیدی شود (Fageria *et al.*, 1997a).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی آرسنیک بر غلظت پتاسیم اندام هوایی معنی دار اما اثر فسفر و اثر متقابل آرسنیک و فسفر غیر معنی دار بود. نتایج نشان داد که غلظت پتاسیم اندام هوایی گندم با افزایش سطوح آرسنیک در خاک به ترتیب 9/4 و 51/2 درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. شایبور و همکاران (Shaibur *et al.*, 2011b) گزارش کردند که با افزایش سطوح آرسنیک غلظت پتاسیم اندام هوایی و ریشه برنج کاهش یافت. آنان چنین نتیجه گیری کردند که رابطه آنتاگونیستی بین پتاسیم و آرسنیک وجود دارد. پتاسیم بصورت کاتیون و آرسنیک بصورت آنیون جذب می شود. در این صورت امکان دارد رقابت مستقیمی بین جذب آرسنیک و پتاسیم وجود نداشته باشد. اما رابطه آنتاگونیستی بین آن ها دیده شده است که با اثر سمی آرسنیک بر رشد ریشه و جذب پتاسیم توجه می شود. فاجریا و



شکل 18- اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر جذب پتاسیم اندام هوایی گندم

Fig. 18- Interactive effects of As and P on shoot K content of wheat



شکل 17- اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر غلظت پتاسیم اندام هوایی گندم

Fig. 17- Interactive effects of As and P on shoot K concentration of wheat

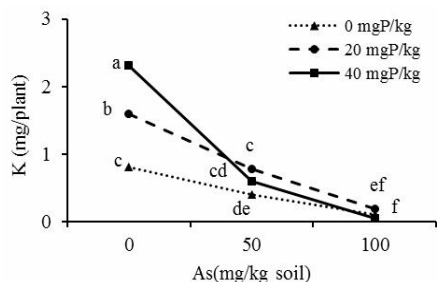
وجود داشت اما در دو سطح دیگر آرسنیک تفاوت معنی‌داری بین سه سطح فسفر وجود نداشت.

#### غلظت پتاسیم ریشه گندم

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی آرسنیک و فسفر تأثیر معنی‌داری بر غلظت پتاسیم ریشه داشت اما اثر متقابل فسفر و آرسنیک غیر معنی‌دار بود. نتایج نشان داد که با افزایش سطوح آرسنیک، غلظت پتاسیم در ریشه گندم از 9/2 میلی گرم بر گرم در تیمار شاهد آرسنیک به 8/1 و 3/4 میلی گرم بر گرم در سطوح 50 و 100 میلی گرم آرسنیک کاهش یافت. با مصرف فسفر نسبت به شاهد، غلظت پتاسیم در ریشه گندم افزایش یافت، به طوری که غلظت پتاسیم در دو سطح 20 و 40 میلی گرم فسفر بر کیلوگرم خاک به ترتیب 31 و 16/1 درصد نسبت به شاهد افزایش یافت. نتایج اثر متقابل نشان می‌دهد که با افزایش سطوح آرسنیک در هر سطح فسفر، غلظت پتاسیم در ریشه گل جعفری ابتدا تقریباً ثابت و سپس کاهش یافت. با افزایش سطوح فسفر به دلیل اثر رقت غلظت پتاسیم در ریشه گندم کاهش می‌یابد.

#### جذب پتاسیم اندام هوایی گندم

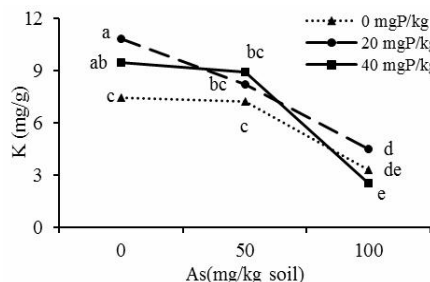
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی آرسنیک و فسفر و اثر متقابل آن‌ها بر جذب پتاسیم اندام هوایی گندم معنی‌دار بود. نتایج اثرهای اصلی نشان داد که با افزایش سطوح آرسنیک، جذب پتاسیم اندام هوایی گندم در سطوح 50 و 100 میلی گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک به ترتیب 64/7 و 95/8 درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. با افزایش مصرف فسفر، جذب پتاسیم اندام هوایی به طور معنی‌دار افزایش یافت؛ به طوری که در سطوح دوم و سوم فسفر به ترتیب 45/5 و 55/3 درصد نسبت به شاهد افزایش مشاهده شد. به دلیل اثر مثبت فسفر بر افزایش وزن خشک اندام هوایی گندم جذب جذب پتاسیم افزایش یافته است. نتایج اثر متقابل (شکل 18) نشان داد که با افزایش سطوح آرسنیک مصرفی، جذب پتاسیم اندام هوایی در هر سه سطح فسفر کاهش یافت. اما با افزایش سطوح فسفر جذب جذب پتاسیم در اندام هوایی گندم به ویژه در سطوح شاهد و 50 میلی گرم آرسنیک بیشتر از تیمار شاهد فسفر بود. همچنین در تیمار شاهد آرسنیک بین سه سطح فسفر تفاوت معنی‌داری از لحاظ جذب پتاسیم اندام هوایی گندم



شکل 20- اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر جذب پتاسیم ریشه گندم

Fig. 20- Interactive effects of As and P on root K content of wheat

ترتیب 58/6 و 115/1 درصد افزایش یافت. نتایج اثر متقابل (شکل 21) نشان داد که با افزایش سطح آرسنیک، جذب پتاسیم اندام هوایی گل جعفری در سطح 50 میلی گرم آرسنیک و در هر سه سطح فسفر کاهش یافت. همچنین در تیمار شاهد آرسنیک با افزایش سطوح فسفر، جذب پتاسیم در اندام هوایی گل جعفری افزایش و این افزایش در دو سطح دوم و سوم فسفر نسبت به شاهد فسفر معنی دار بود. همچنین در سطح 50 میلی گرم آرسنیک با افزایش سطوح فسفر، جذب پتاسیم ابتدا بدون تغییر و سپس در سطح سوم نسبت به دو سطح دیگر افزایش یافت که با اثر مثبت فسفر بر افزایش وزن خشک اندام هوایی گل جعفری قابل توجیه است. غلظت پتاسیم در ریشه گل جعفری نتایج تجزیه واریانس نشان داد که آرسنیک اثر معنی داری بر غلظت پتاسیم در ریشه گل جعفری داشت اما فسفر و اثر متقابل آن دو بر غلظت پتاسیم ریشه غیرمعنی دار بود. نتایج اثر اصلی نشان داد که با آلوده شدن خاک به آرسنیک، غلظت پتاسیم در ریشه کاهش یافت؛ به طوری که غلظت پتاسیم در ریشه گل جعفری در حضور 50 میلی گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک 17 درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. نتایج اثر متقابل (شکل 22) نشان می دهد که با افزایش سطح فسفر مصرفی بدون توجه به سطح آرسنیک، غلظت پتاسیم ریشه گل جعفری افزایش یافت، اما این افزایش فقط در سطح شاهد آرسنیک معنی دار بود. برهمکنش مثبت پتاسیم با فسفر در گیاهان مختلف گزارش شده است. البته فسفر موقعی



شکل 19- اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر غلظت پتاسیم ریشه گندم

Fig. 19- Interactive effects of As and P on root K concentration of wheat

### جذب پتاسیم ریشه گندم

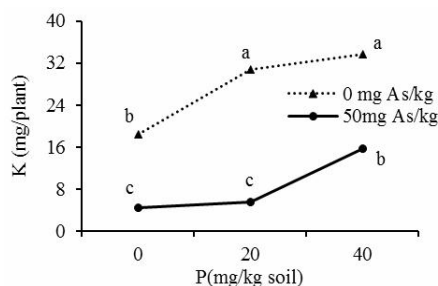
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی آرسنیک و فسفر و اثر متقابل آن ها بر جذب پتاسیم ریشه گندم معنی دار بود. نتایج اثر اصلی نشان داد که جذب پتاسیم ریشه گندم در سطوح 50 و 100 میلی گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک به ترتیب 66/2 و 93/7 درصد نسبت به تیمار شاهد آرسنیک کاهش یافت. همچنین با افزایش سطوح فسفر جذب پتاسیم ریشه گندم در سطوح دوم و سوم فسفر به ترتیب 97/2 و 127/9 درصد افزایش یافت که با اثر مثبت فسفر بر افزایش تولید ماده خشک قابل توجیه می باشد. نتایج اثر متقابل آرسنیک و فسفر (شکل 20) نشان داد که با افزایش سطوح آرسنیک جذب پتاسیم در ریشه گندم در هر سه سطح فسفر کاهش یافت. همچنین با افزایش سطوح فسفر جذب پتاسیم در ریشه گندم به ویژه در سطح شاهد 50 میلی گرم آرسنیک نسبت به تیمار شاهد فسفر افزایش یافت.

### جذب پتاسیم اندام هوایی گل جعفری

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی آرسنیک و فسفر و اثر متقابل آن ها بر جذب پتاسیم اندام هوایی گل جعفری معنی دار بود. نتایج اثرهای اصلی نشان داد که با افزایش سطح آرسنیک، جذب پتاسیم اندام هوایی گل جعفری نسبت به سطح شاهد 69 درصد کاهش یافت. همچنین با افزایش سطوح فسفر، جذب پتاسیم در اندام هوایی بطور معنی دار افزایش یافت؛ به طوری که با افزایش سطوح فسفر، جذب پتاسیم به

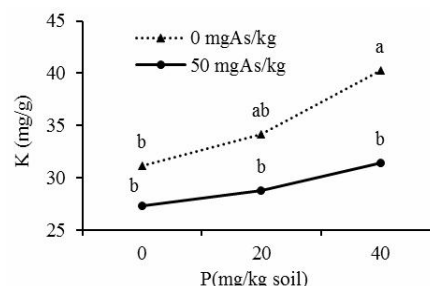
(*et al.*, 1997a)

موفق به افزایش عملکرد گیاهان زراعی می‌شود که وضعیت پتاسیم در خاک در حد بهینه باشد (Fageria)



شکل 21- اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر جذب پتاسیم بخش هوایی گل جعفری

Fig. 21- Interactive effects of As and P on shoot K content of maeigold



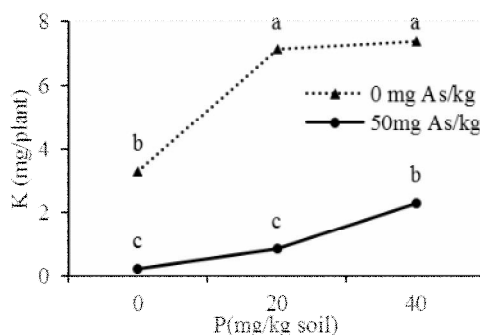
شکل 22- اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر غلظت پتاسیم ریشه گل جعفری

Fig. 22- Interactive effects of As and P on root K concentration of marigold

درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. مقایسه میانگین اثر متقابل (شکل 23) نشان داد که با افزایش سطح آرسنیک مصرفی، جذب پتاسیم ریشه گل جعفری بطور معنی‌داری نسبت به شاهد کاهش ولی در هر دو سطح آرسنیک با افزایش سطوح فسفر، جذب پتاسیم افزایش یافت.

#### جذب پتاسیم ریشه گل جعفری

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی آرسنیک و فسفر و اثر متقابل آن‌ها بر جذب پتاسیم ریشه گل-جعفری معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌های اثر اصلی نشان داد که با افزایش سطح آرسنیک، جذب پتاسیم ریشه گل جعفری 81/1 درصد نسبت به تیمار آرسنیک کاهش یافت. همچنین با افزایش سطوح فسفر، جذب پتاسیم ریشه گل جعفری در سطوح 20 و 40 میلی گرم فسفر بر کیلوگرم خاک به ترتیب 127/2 و 175



شکل 23- اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر جذب پتاسیم ریشه گل جعفری

Fig. 23- Interactive effects of As and P on root K content of marigold

## نتیجه‌گیری کلی

در شرایط این آزمایش گل جعفری که در گیاه پالایی خاک‌های آلوده به اکثر فلزات سنگین به ویژه در خاک‌های اسیدی مورد استفاده قرار می‌گیرد، نتوانست در حضور 50 میلی گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک وارد مرحله زایشی شده و در سطح 100 میلی گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک حتی نتوانست رشد رویشی کند که یکی از دلایل آن می‌تواند تاثیر منفی آرسنیک بر جذب عناصر پرمصرفی همچون پتاسیم، کلسیم و منیزیم باشد. فسفر تا حدودی توانست باعث تعدیل اثر سمی آرسنیک بر جذب عناصر شود.

## سپاس‌گزاری

بدین وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تبریز به‌دلیل تأمین هزینه‌های لازم تشکر می‌گردد. از همکاری‌های صمیمانه ریاست محترم امور آزمایشگاه-های آب استان آذربایجان شرقی، جناب آقای مهندس فتح‌اله پور و همچنین سرکار خانم مهندس کاظمیان به دلیل اندازه‌گیری آرسنیک تشکر می‌گردد. همچنین از کلیه داوران محترم این مقاله سپاس‌گزاریم.

## References

- Adriano DC. 2001. Trace Elements in the Terrestrial Environment: biogeochemistry, bioavailability and risks of metals. 2<sup>nd</sup> edition, Springer Verlag, New York, 867p.
- Bauer A, Frank AB and Black AL. 1987. Aerial parts of hard red spring wheat. II Nitrogen and phosphorus concentration and content by plant development stage. *Agronomy Journal*, 79: 852-858.
- Bruce RC, Warrell LA, Edward DG and Bell LC. 1988. Effects of aluminum and calcium in the soil solution of acid soils on root elongation of Glycine max cv. Forest. *Australian Journal of Agriculture*, 39: 319-338.
- Carbonell-Barrachina AA, Aarabi MA, Delaune RD, Gambrell RP and Patrick JW. 1998. Arsenic in wetland vegetation: availability, phytotoxicity, uptake and effects on plant growth and nutrition. *Soil Science*, 217: 189-199.
- Carbonell-Barrachina AA, Burlo-Carbonell F and Mataix-Beneyto J. 1997. Effect of sodium arsenite and sodium chloride on bean plant nutrition (macronutrients). *Journal of Plant Nutrition*, 20: 1617-1633.
- Clarkson DT, Hanson JB. 1980. The mineral nutrition of higher plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 31: 239-298.
- Fageria NK, Baligar VC and Jones CA. 1997. Growth and mineral nutrition of field crops. 2<sup>nd</sup> edition, New York, Macel Dekker, 624p.
- Fageria NK. 2009. The use of nutrients in crops plants. CRC Press, Taylor and Francis Group, 448 p.
- Gupta PK. 2000. Soil, plant, water, and fertilizer analysis. Agrobios, New Dehli, India, 366p.
- Havlin JL, Beaton JD, Tisdale SL and Nelsom WL. 2004. Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management. 6<sup>th</sup> edition, Prentice Hall, New Jersey, USA, 515p.
- Itziar A and Carlos G. 2001. Phytoremediation of organic contaminants in soils. *Bioresource Technology*, 79: 273-276.
- Jones JB. 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC Press, USA, 384p.
- Karimi Nejhadi MN, 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 top soils of northern Ghorveh, Kurdistan province, Iran. *Journal of World Applied Science*, 11:1105-1113
- Klute A. 1986. Methods of soil analysis. Part 1, Physical and mineralogical methods. 2<sup>nd</sup> edition, American Society of Agronomy-Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA, 521p.
- Liu Q, Hu C, Tan Q, Sun X, Su J and Liang Y. 2008. Effects of As on as uptake, speciation, and nutrient uptake by winter wheat (*Triticum aestivum* L.) under hydroponic conditions. *Journal of Environmental Science*, 20: 326-331.
- Malakuti MJ and Tehrani MM. 2000. The role of micronutrients in increasing the yield and quality of crops. Tarbiat Modarres University Press. (In Persian).

- Marin AR, Masschenlyn PH and Patrick WH. 1993. Soil redox/pH stability of arsenic species and its influence on arsenic uptake by rice. *Plant and Soil*, 152: 245-253.
- Marin AR, Masschenlyn PH and Patrick WH. 1993. Soil redox/pH stability of arsenic species and its influence on arsenic uptake by rice. *Plant and Soil*, 152: 245-253.
- Marschner H. 1998. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London, England.
- Matera V and Le Hecho I. 2002. Arsenic behaviour in contaminated soils: Mobility and speciation, *In: Selim HM and Sparks DL (ed.). Heavy metals release in soils*, Lewis Publishers, New York, pp: 207–235.
- Meharg AA and Rahman MM. 2003. Arsenic contamination of Bangladesh paddy field soils: Implication for rice contribution to arsenic consumption. *Environmental Science and Technology*, 37: 229–234.
- Mojislovic O. 2009. Estimating bioaccessibility, phytoavailability and phytotoxicity of contaminant arsenic in soils at former sheep dip sites. MSc Thesis at Lincoln University, Newzeland, 96p.
- Nelson DW, Sommers LE. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. *In: Page AL, Miller RH, Keeney DR. (ed.). Methods of soil analysis*. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, pp: 539–579.
- Peryea FJ and Kammereck R. 1995. Phosphate-enhanced movement of Arsenic out of lead Arsenate-contaminated topsoil and through uncontaminated subsoil. *Water, Air and Soil Pollution*, 93: 243-254.
- Peryea FJ. 1991. Phosphate-induced release of Arsenic from soils contaminated with lead Arsenate. *Soil Science Society of America Journal*, 55: 1301-1306.
- Richards LA. 1969. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. US Salinity Laboratory Staff. *Agricultural Handbook*, No. 60, United States Department of Agriculture, USA, Washington DC, 166p.
- Sadiq M. 1997. Arsenic chemistry in soils: an overview of thermodynamic predictions and field observations. *Water, Air and Soil Pollution*, 93: 117–136.
- Shaibur MR and Kawai S. 2010. Effect of arsenic on nutritional composition of Japanese mustard spinach: An ill effect of arsenic on nutritional quality of a green leafy vegetable. *Natural Science*, 8: 186-194.
- Shaibur MR and Kawai S. 2011a. Arsenic toxicity in Akitakomachi rice in presence of Fe<sup>3+</sup>-citrate. *Advances in Environmental Biology*, 5: 1411-1422.
- Shaibur MR and Kawai S. 2011b. Arsenic toxicity in Akitakomachi rice in presence of Fe - EDTA. *Bangladesh. Journal Agriculture Research*, 36: 553-562.
- Shaibur MR, Sera K and Kawai S. 2012. Compositions of xylem fluid of arsenic stressed barley seedlings: A measurement with PIXE system and HPLC. *Water, Air and Soil Pollution*, 223: 3085-3092.
- Smith E, Naidu R and Alston AM. 2002. Chemistry of inorganic Arsenic in soils II. Effect of Phosphorus, Sodium, and Calcium on Arsenic sorption. *Journal of Environmental Quality*, 31: 557-563.
- Tu C and Ma LQ. 2005. Effects of arsenic on concentration and distribution of nutrients in the fronds of the Arsenic hyperaccumulator (*Pteris vittata L.*). *Environ Pollution*, 135:333-340.
- Wallace A, Mueller RT and Wood RA. 1980. Arsenic phytotoxicity and interactions in bush bean plants grown in solution culture. *Journal of Plant Nutrition*, 2: 111–113.
- Watchara C, Pornsawan V, Somkiat KH 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.
- Woolson EA. 1975. Bioaccumulation of arsenicals. *In: Woolson EA (ed.), Arsenical pesticides*. ACS Symposium Series, American Chemistry Society, Washington, DC, pp: 97–107.
- Yamane T. 1989. The mechanisms and counter-measures of arsenic toxicity to rice plant. *Shimane Agricultural Experimental Statistics*, 24: 1–95.
- Zhao FJ, Wang JR, Barker JH, Schat H, Bleeker PM, McGrath SP. 2003. The role of phytochelatins in arsenic tolerance in the hyperaccumulator *Pteris vittata*. *New Phytology*, 159: 403–410.

## **Interactive Effects of Arsenic and Phosphorus on the Uptake of Calcium, Magnesium and Potassium by Wheat (*Triticum aestivum*) and Marigold (*Tagetes erecta*)**

**Nasrin Mirzaei<sup>1</sup>, Adel Reyhanitabar<sup>2</sup>, Shahin Oustan<sup>3</sup>, Mahdiah Haghghat-Afshar<sup>4</sup>**

(Received: May 2014      Accepted: October 2014)

### **ABSTRACT**

There are concerns regarding arsenic (As) contamination of soil and water resources and its potential risk to human health and environment safety. Wheat and marigold as one of the most important agricultural crops and ornamental plant, respectively, are used in phytoremediation of contaminated soils. For evaluating the effects of As and phosphorus (P) on concentration and uptake of calcium (Ca), magnesium (Mg) and potassium (K) in wheat and Marigold, a two factorial experiment was conducted consisting of two factors including three levels of As (0, 50 and 100 mg kg<sup>-1</sup>) and P (0, 20 and 40 mg kg<sup>-1</sup>). The experiments were carried out in a randomized complete block design with three replications in greenhouse conditions. Results indicated that content of Ca, Mg, and K in shoot and root of wheat and marigold decreased with increasing As levels. With increasing P levels, content of Ca in root of marigold, the content of Mg and K in shoot and root of wheat and marigold was increased. Also, interaction between As×P on most measured attributes of the plants was significant and P application partly offset the negative effect of As.

**Keywords:** Arsenic, Calcium, Marigold, Phosphorous, Potassium, Wheat

---

1- Former Graduate Student, Department of Soil Science, College of Agriculture, University of Tabriz.

2- Associate Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, University of Tabriz (Corresponding author)  
[areyhani@tabrizu.ac.ir](mailto:areyhani@tabrizu.ac.ir)

3- Associate Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, University of Tabriz.

4- Assistant Professor, Department of Horticulture, Islamic Azad University- Tabriz.