مقاله پژوهشی

تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد چهارم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۱، ص ۵۵۷-۵۴۷

تأثیر کودهای فسفر و پتاسیم بر کاهش سمیت آرسنیک و رشد دو رقم ریحان (*Ocimum basilicum*)

محمد رحیمی[۱]، محمدرضا اصغری پور[۲*]، محمود رمرودی[۲] محمدعلی جواهری[۳]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران
۲- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران
۳- استادیار بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران

* مسئول مکاتبه: m_asgharipour@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۴ **DOI: 10.22034/CSRAR.2022.261532.1071**

چکیده

به منظور بررسی اثرات کودهای فسفر و پتاسیم بر کاهش سمیت آرسنیک و رشد دو رقم ریحان، آزمایشی به‌صورت طرح فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. عوامل مورد مطالعه دو رقم بذر شامل رقم اصلاح شده کشکنی لولو و توده بومی زابل به عنوان عامل اول و انواع کود شامل: سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم هر کدام در سه سطح ۵۰، ۱۵۰ و ۲۵۰ میلی‌گرم فسفر و پتاسیم بر کیلوگرم خاک به عنوان عامل دوم در نظر گرفته شدند. سولفات آرسنیک نیز در مقدار ثابت ۱۵ میلی‌گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک به تمام گلدان‌ها اضافه شد. صفات رویشی اندازه‌گیری شده شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد برگ، وزن تر اندام‌های هوایی و سطح برگ بود. همچنین غلظت فلز سنگین آرسنیک در اندام‌های هوایی گیاهان اندازه‌گیری شد. نتایج تأثیر معنی‌دار رقم را بر ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، تعداد و طول شاخه جانبی، وزن تر و سطح برگ در سطح ۱ درصد نشان داد. در تمام صفات رشدی گیاه، رقم محلی تفاوت معنی-داری با رقم اصلاح شده داشت. افزودن آرسنیک باعث کاهش خصوصیات رشدی و افزایش غلظت آرسنیک در اندام‌های گیاه شد. بررسی رابطه بین فسفر و آرسنیک نشان داد که در هر دو رقم با افزایش میزان فسفر از غلظت آرسنیک در بخش هوایی کاسته می‌شود. در برهمکنش بین آرسنیک و پتاسیم نیز بالاترین میزان آرسنیک در بخش هوایی در پایین‌ترین سطح پتاسیم به‌کار رفته مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: آزمایش گلدانی، صفات کمی، فلزات سنگین، کودهای شیمیایی

مقدمه

در سال‌های اخیر آلودگی منابع آب و خاک با آلاینده‌های حاوی آرسنیک (As) تبدیل به یک نگرانی جهانی شده است (Kishor *et al.*, 2021). آلودگی خاک با آرسنیک به علت فعالیت‌های استخراج معادن، ذوب سنگ معدن سولفید، استفاده از علف‌کش‌ها، حشره‌کش‌ها و نگهدارنده‌های چوب دارای ترکیبات آرسنیک و آبیاری با آب زیرزمینی آلوده با آرسنیک رخ داده است (Smith *et al.*, 1998). وجود آرسنیک در خاک یا آب آبیاری سبب ایجاد اختلال در رشد و نمو گیاهان شده و عملکرد محصولات را کاهش می‌دهد. کاهش عملکرد و کیفیت مواد غذایی همراه با کاهش اعتماد مصرف‌کنندگان به محصولات کشاورزی منجر به بروز خسارت‌های اقتصادی می‌شود (Loeppert, 2002). لذا اصلاح خاک و آب برای حفظ سلامتی بشر و تولیدات کشاورزی ضروری است. آرسنیک از شبه فلزات کمیاب در پوسته جامد زمین بوده و از لحاظ فراوانی دارای بیستمین رتبه در پوسته زمین و چهاردهمین در آب دریا و دوازدهمین در بدن انسان است (Akinwumi *et al.*, 2020). این عنصر در بیش از ۲۴۵ ماده معدنی یافت می‌شود. این مواد معدنی غالباً حاوی گوگرد، مس، سرب، نیکل، کبالت و سایر فلزات می‌باشد (Mehr *et al.*, 2021). مقدار آرسنیک در لیتوسفر حدود ۱/۵ تا ۲ پی‌پی‌ام برآورد شده است (Gonzalez *et al.*, 2021). هوازدگی سنگ‌ها سولفید آرسنیک را به تری اکسید آرسنیک تبدیل کرده و موجب وارد شدن آرسنیک به چرخه می‌شود. غلظت آرسنیک در خاک‌های طبیعی بسیار متفاوت بوده و از کمتر از ۰/۵ تا بیشتر از ۵۰۰۰ میکروگرم در لیتر متغیر است (Akinwumi *et al.*, 2020).

آرسنیک برای گیاهان سمی است و در قالب گونه‌ها به میزان اندکی تجمع پیدا می‌کند. به عنوان مثال گیاهان علفی آرسنیک را به

میزان ۰/۰۲ تا ۰/۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم تجمع می‌دهند (Matschullat, 2000). گونه‌های مختلف دارای حساسیت‌های مختلفی به آرسنیک می‌باشند و در این بین لگوم‌ها به عنوان گونه‌های بسیار حساس شناخته می‌شوند (Seraj *et al.*, 2020). مقدار جذب آرسنیک توسط گیاه به منبع و حلالیت آرسنیک بستگی دارد (Gonzalez *et al.*, 2021). نوع خاک، pH و کاربرد کودهای شیمیایی از جمله فسفر و پتاسیم به شدت حرکت و دسترسی آرسنیک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Creger and Peryea, 1994).

آرسنیک و فسفر دارای شباهت‌های شیمیایی می‌باشند و برای جذب توسط ناقل‌ها و حامل‌های غشایی با هم رقابت می‌کنند (Taati *et al.*, 2021). در بسیاری از گونه‌ها جذب آرسنیک به سیتوپلاسم سلول‌های ریشه از طریق حامل‌های فسفات روی غشای پلاسمالمایی انجام می‌شود (Saona *et al.*, 2020). همچنین فسفر به علت تشابهات فیزیکوشیمیایی با آرسنیک نقش برجسته‌ای در اثرات متقابل آرسنیک در منطقه ریشه دارد (Adriano, 2001). در خاک‌های آلوده به آرسنیک افزودن فسفر به خاک می‌تواند آرسنیک را از مکان‌های جذب خارج کند و آبشویی آن را از خاک سطحی افزایش دهد (Peryea and Kammereck, 1997). آرسنیک می‌تواند تا اندازه‌ای از کلوئیدهای خاک توسط فسفات حذف شود، با این‌حال حتی مقادیر زیاد فسفات نیز نمی‌تواند تمام آرسنیک جذب شده را دفع کند (Smith *et al.*, 1998).

در آزمایشات مختلف گلدانی و مزرعه‌ای کاربرد فسفر بر جذب آرسنیک از خاک عمدتاً اثرات کاهشی داشته است (گلدانی: Jiang and Singh, 1994; Heeraman *et al.*, 2001; Pigna *et al.*, 2009 و مزرعه‌ای: Small and McCants, 1962). یک مطالعه هیدروپونیک در خصوص بررسی اثرات متقابل بین آرسنیک و فسفر در یونجه نشان داد که مقدار آرسنیک به شدت توسط فسفر سرکوب می‌شود (Khattak *et al.*, 1991).

پتاسیم نیز می‌تواند سبب تثبیت آرسنیک در خاک شود و از تجمع آن در گیاه جلوگیری کند (Sisr *et al.*, 2007). مطالعات متعددی در خصوص اثرات متقابل میان کاربرد پتاسیم و سزیم توسط محققین نشان داد که پتاسیم به طور معنی‌داری جذب سزیم توسط گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Zhu *et al.*, 2008). مطالعات کمی در خصوص ارتباط بین کود پتاسیم و جذب آرسنیک توسط گیاهان انجام شده است. محققین نشان دادند که افزودن پتاسیم به شکل KCl غلظت کادمیوم در گیاه جاتروفا (*Jatropha curcas*) کاهش داد (Kumar *et al.* 2008). در رویشگاه‌های مردابی نیز مقدار پتاسیم جذب آرسنیک توسط گیاهان را تحت تأثیر قرار داد (Carbonell-Barrachina *et al.*, 1998). پتاسیم به عنوان عناصر پرمصرف بااهمیت و یکی از فاکتورهای تعیین‌کننده ظرفیت تبادلی کاتیونی (CEC) خاک می‌تواند انتقال و تجمع آرسنیک در سیستم خاک- گیاه را تحت تأثیر قرار دهد (Neppolian *et al.*, 2010).

در این مطالعه گیاه ریحان به عنوان یک گیاه نمونه برای این مطالعه انتخاب شد، زیرا این محصول رشد سریعی دارد و به آلودگی‌هایی نظیر فلزات سنگین پاسخ سریعی نشان می‌دهد. این مطالعه با هدف استفاده از کودهای فسفره و پتاسیمی برای تعدیل سمیت آرسنیک و حداکثر کردن رشد گیاه ریحان در خاک‌های آلوده با آرسنیک انجام شد. در این مطالعه اثرات سطوح مختلف آرسنیک، فسفر و پتاسیم و اثرات متقابل آن‌ها بر سمیت آرسنیک، رشد محصول (بیوماس)، جذب عنصر فسفر و پتاسیم و تجمع آرسنیک دو رقم ریحان آزموده شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در زمستان ۱۳۹۲ و بهار ۱۳۹۳ و در گلخانه دانشگاه زابل اجرا شد. گلخانه دارای پوشش پلاستیک بود و امکان کنترل شرایط اقلیمی در گلخانه وجود نداشت. اقلیم محل اجرای آزمایش گرم و خشک بود و متوسط بارندگی ۶۳ میلی‌متر و درجه حرارت متوسط سالیانه آن ۲۳ درجه سانتی‌گراد است (Asgharipour *et al.*, 2011). خاک مورد استفاده در آزمایش از ۱۰ سانتی‌متر فوقانی جمع‌آوری گردید. جدول ۱ برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش را نشان می‌دهد.

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار و به صورت گلدانی انجام شد. فاکتور اول دو رقم ریحان شامل رقم اصلاح شده کشکنی لولو و توده محلی زابل و فاکتور دوم شامل شاهد و کودهای سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم هر کدام در سه سطح ۵۰، ۱۵۰ و ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود. سولفات آرسنیک نیز در مقدار ثابت ۱۵ میلی-گرم آرسنیک بر کیلوگرم خاک به تمام گلدان‌ها اضافه شد. قادیر مختلف کود فسفره و پتاسیمی و محلول‌های حاوی نمک آرسنیک پیش از پر کردن گلدان‌ها با خاک مخلوط شدند.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Physicochemical properties of the soil

بافت خاک Soil texture	منگنز Mn	روی Zn	آهن Fe	پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن N	مواد آلی O.M.	واکنش pH	هدایت‌الکتریکی EC
	(ppm)					(%)			($dS\ m^{-1}$)
شن رسی Clay sand	3.1	4.8	2.2	185	12	0.06	0.14	7.1	1.8

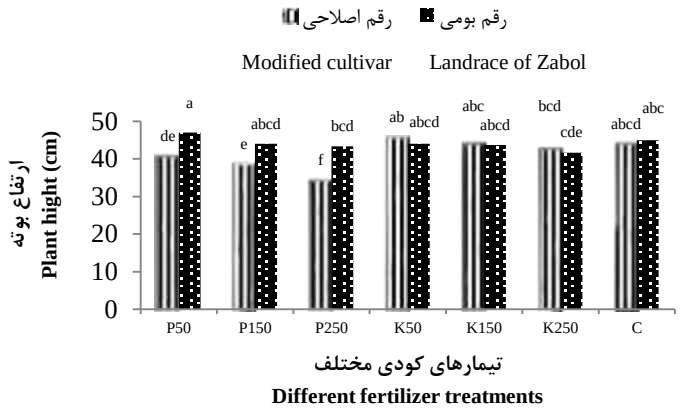
این آزمایش در ۲۰ بهمن‌ماه ۱۳۹۲ آغاز و در ۱۵ اردیبهشت ۱۳۹۳ پایان یافت. درجه حرارت حداقل و حداکثر گلخانه ۱۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد بود. گلدان‌های پلاستیکی با ۲۰ سانتی‌متر قطر و ۱۷ سانتی‌متر ارتفاع با ۲/۵ کیلوگرم از خاک پر شدند و پس از پر کردن گلدان‌ها ۵ عدد بذر سبز شده از هر نوع (کشکنی لولو و رقم محلی) در هر گلدان کاشته شد و پس از جوانه‌زنی تعداد بوته‌ها در هر گلدان به ۵ عدد رسیدند و باقی‌مانده گیاهان از خاک خارج شدند. در طول آزمایش کنترل علف‌های هرز با دست انجام شد و آفت و بیماری خاصی مشاهده نشد. در پایان دوره رشد رویشی و در آغاز دوره گل‌دهی بوته‌ها برداشت شد. دلیل انتخاب زمان آغاز گل‌دهی گیاهان برای برداشت مرسوم بودن این مرحله از رشد گیاه برای برداشت گیاه ریحان بود. خصوصیات مورفولوژیکی مانند تعداد برگ در بوته، تعداد شاخه فرعی در بوته، ارتفاع بوته، قطر ساقه اصلی، طول ریشه و وزن تر بوته اندازه‌گیری شد. سپس بوته‌های برداشت شده به اندام‌های هوایی و ریشه تقسیم شدند و در ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شده و توزین گردیدند. برای اندازه‌گیری فلز سنگین آرسنیک نمونه‌های خشک و آسیاب شده گیاهی با استفاده از روش هضم خشک عصاره‌گیری گردید (Zhao *et al.*, 2007). غلظت فلز سنگین آرسنیک در عصاره حاصل با دستگاه جذب اتمی (مدل Shimadzu AA-670) در طیف خاص آن عنصر اندازه‌گیری شد.

در پایان، تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای LSD در سطح ۵ درصد انجام شد.

نتایج

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر رقم، کود و برهمکنش آن‌ها بر ارتفاع بوته در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها برتری توده محلی را بر رقم کشکنی لولو از نظر ارتفاع بوته نشان داد (جدول ۳). بطور کلی در سطوح مختلف کودهای فسفر و پتاسیم بیشترین و کمترین ارتفاع بوته به ترتیب در سطح ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم پتاسیم و ۲۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک فسفر مشاهده شد.



شکل ۱- برهمکنش رقم و کود بر ارتفاع گیاه در شرایط تنش آرسنیک. حروف مشابه در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Figure 1- Interaction of cultivar and fertilizer on plant height under arsenic stress conditions. Similar letters was not significant at 5% probability level.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات رشدی گیاه ریحان در ارقام مختلف و کودهای فسفر و پتاسیم تحت تنش آرسنیک

Table 2- Results of analysis of variance of basil plant growth characteristics at different cultivars and phosphorus and potassium fertilizers under arsenic stress condition

منبع تغییرات S.V.	درجه‌آزادی df	میانگین مربعات Mean of Squares				
		ارتفاع بوته Plant height	تعداد برگ در بوته No. leaves per plant	تعداد شاخه جانبی No. lateral branch	وزن تر اندام‌های هوایی Fresh weight of aerial organs	غلظت آرسنیک As concentration
تکرار Replication	2	73.23	31.45	2.95	2.32	192.77
رقم Cultivar (C)	1	74.66**	1337.35**	30.85**	1.33**	11857.4**
کود Fertilizer (F)	6	27.43**	329.15*	1.96^{ns}	5.43**	1152.6**
اثر متقابل C × F	6	26.16**	92.57^{ns}	7.30**	2.43**	213.7^{ns}
خطا Error	26	4.34	120.99	1.00	0.06	202.9
ضریب تغییرات CV (%)		4.87	18.81	8.21	8.16	9.62

ns و *،**به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد.

ns, ** and * represent non-significant, and significant at 1 and 5% level of probability, respectively

مقایسه میانگین برهمکنش‌ها نشان داد که در هر دو رقم با افزایش فسفر و پتاسیم از ۵۰ تا ۲۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک ارتفاع بوته کاهش یافت. کمترین اختلاف ارتفاع بوته در بین دو رقم در تیمار شاهد (عدم مصرف کود) مشاهده شد که در آن از هیچ نوع کودی استفاده نشد، اما نسبت به اکثر تیمارهای کودی رشد بهتری داشت (شکل ۱).

تعداد برگ در بوته

نتایج تجزیه واریانس اثر معنی‌دار رقم را در سطح ۱ درصد و کودهای فسفر و پتاسیم را در سطح ۵ درصد بر تعداد برگ در بوته نشان داد، اما برهمکنش رقم و کود تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت (جدول ۲).

جدول ۳- مقایسه میانگین خصوصیات رشدی گیاه ریحان در ارقام مختلف

Table 3- Plant growth characteristics of basil plants at different cultivars

رقم Cultivar	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد برگ No. leaves per plant	تعداد شاخه جانبی No. lateral branch	وزن تر اندام‌های هوایی Fresh weight of aerial organs (g/plant)	غلظت آرسنیک As concentration (ppm)
توده محلی زابل Landrace of Zabol	41.42b	52.81b	11.33b	2.91a	164.844a
کشکنی لولو Keshkeni Luvelou	44.09a	64.09a	13.04a	3.27a	131.238b

در هر ستون اعدادی که دارای حروف مشابه نیستند با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند (P<۰/۰۵).

Similar letters in each column was not significant at 5% probability level.

مقایسه میانگین اثر رقم تفاوت معنی‌دار توده محلی زابل با رقم اصلاح‌شده کشکنی لولو را نشان داد (جدول ۳). بیشترین و کمترین تعداد برگ در بوته به ترتیب در ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم پتاسیم و ۲۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم پتاسیم و فسفر مشاهده شد (جدول ۴).

تعداد شاخه جانبی در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر رقم و برهمکنش بین رقم و کودهای فسفر و پتاسیم در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود، اما اثر کودهای فسفر و پتاسیم بر تعداد شاخه‌های جانبی در بوته معنی‌دار نشد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها تفاوت معنی‌دار بین

توده محلی و رقم اصلاح‌شده کشکنی لولو را از نظر تعداد شاخه جانبی در بوته نشان داد (جدول ۳). در بین سطوح کودی بیشترین و کمترین تعداد شاخه جانبی در بوته به ترتیب با مصرف ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک فسفر و کمترین آن در ۲۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک فسفر بدست آمد (جدول ۴). مقایسه میانگین برهمکنش‌ها نشان داد که سطوح کودی فسفر اثر متفاوتی بر دو رقم داشتند، بطوری‌که در رقم اصلاح‌شده کشکنی لولو سطح متوسط بیشترین تأثیر را بر تعداد شاخه جانبی در بوته داشت، اما در توده محلی تعداد شاخه جانبی در سطح ۱۵۰ و ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک تقریباً برابر بود. در سطوح مختلف کود پتاسیم، ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم پتاسیم در رقم کشکنی لولو بیشترین تأثیر را داشت، اما در توده محلی ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بیشترین تأثیر را بر تعداد شاخه جانبی در بوته داشت (شکل ۲).

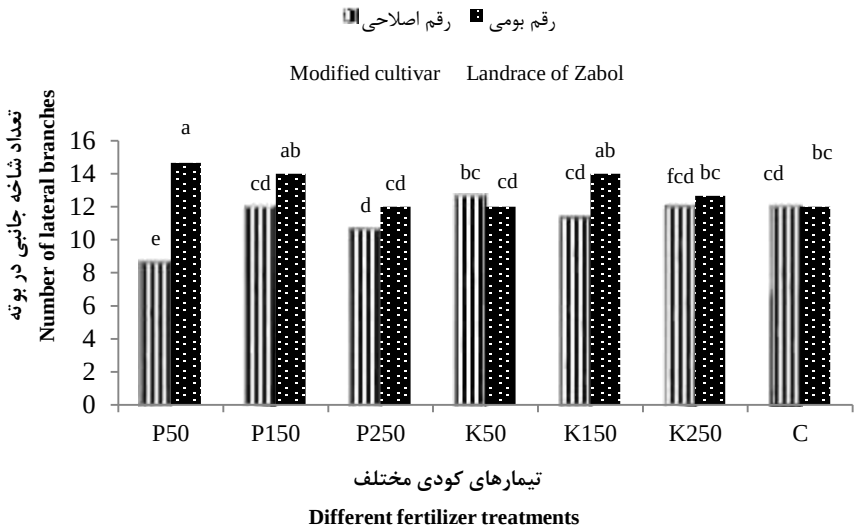
جدول ۴- مقایسه میانگین خصوصیات رشدی ریحان تحت تأثیر کودهای فسفر و پتاسیم توأم با آرسنیک

Table 4- Plant growth characteristics of basil under influence of cultivar phosphorus and potassium fertilizers with arsenic

تیمارهای کودی Fertilizer treatments	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد برگ No. leaves per plant	تعداد شاخه جانبی No. lateral branch	وزن تر اندام‌های هوایی Fresh weight of aerial parts (g/plant)	غلظت آرسنیک As concentration (ppm)
P 50	43.81ab	63.00abc	29.2a	8.35a	173.55a
P 150	41.33b	60.66abc	22.71c	8.85a	156.48b
P 250	38.83c	48.66c	20.30d	6.21b	137.15c
K 50	44.83a	67.66a	25.43b	9.45a	153.85bc
K 150	43.83ab	54.16abc	183.38de	6.18b	137.9bc
K 250	42.16ab	50.33abc	16.50e	4.38c	138.6bc
Control	44.00a	64.66ab	26.61b	8.15a	138.75bc

در هر ستون اعدادی که دارای حروف مشابه نیستند با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند (P<۰/۰۵).

Similar letters in each column was not significant at 5% probability level.



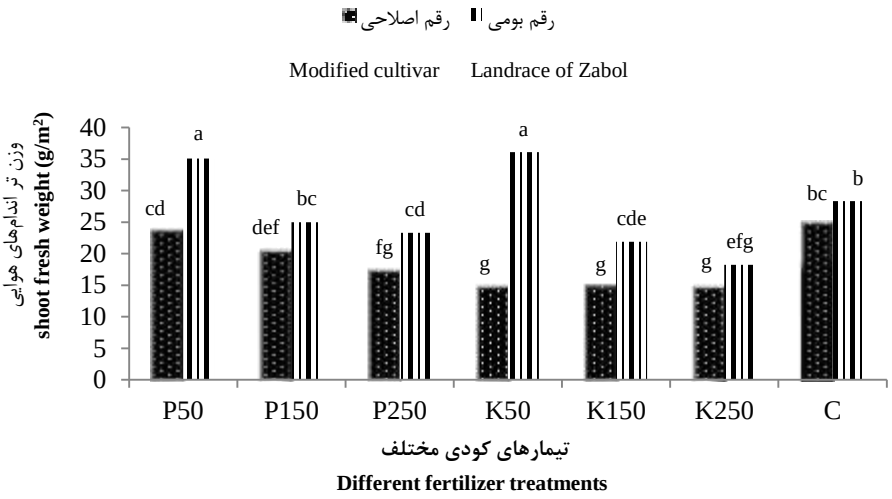
شکل ۲- برهمکنش رقم و کود بر تعداد شاخه جانبی در بوته در شرایط تنش آرسنیک. حروف مشابه در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Figure 2- Interaction of cultivars and fertilizers on the number of lateral branches per plant under arsenic stress conditions. Similar letters was not significant at 5% probability level.

وزن تر اندام‌های هوایی

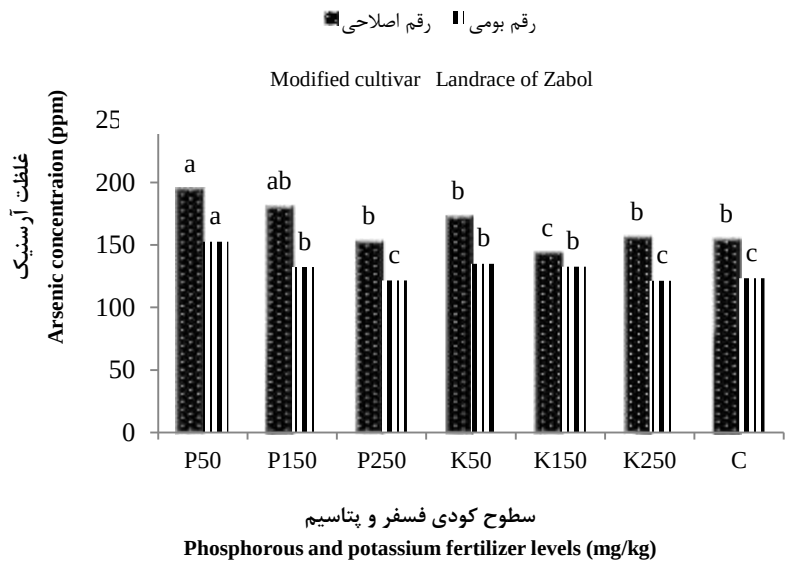
تجزیه واریانس داده‌ها تأثیر معنی‌دار رقم و سطوح کودی را بر وزن تر اندام‌های هوایی در سطح ۱ درصد نشان داد. برهمکنش کود و رقم بر وزن تر بوته‌ها معنی‌دار شد (جدول ۲). رقم اصلاح شده کشکنی لولو از نظر وزن تر در اندام‌های هوایی اختلاف معنی‌داری با توده محلی زابل داشت (جدول ۳). گیاهان در توده محلی زابل بالاترین وزن تر را در ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم فسفر و پتاسیم و شاهد نشان دادند (جدول ۴). بررسی

برهمکنش نشان داد، با افزایش سطوح فسفر و پتاسیم وزن تر در دو رقم کاهش یافت. با این‌حال در تیمار شاهد رقم اصلاح‌شده کشکنی لولو رشد بهتری نسبت به تیمارهای کودی تحت تنش آرسنیک داشت، اما در توده محلی رشد در ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم پتاسیم و فسفر بیشتر از شاهد بود (شکل ۳).



شکل ۳- برهمکنش رقم و کود بر وزن تر اندام‌های هوایی در شرایط تنش آرسنیک. حروف مشابه در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Figure 3- Interaction of cultivars and fertilizers on shoot fresh weight under arsenic stress conditions. Similar letters were not significant at 5% probability level.



شکل ۴- برهمکنش رقم و کود بر غلظت آرسنیک در بخش هوایی گیاه در شرایط تنش آرسنیک. حروف مشابه در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Figure 4- Interaction of cultivar and fertilizers on concentration of arsenic in the shoot of the plant under arsenic stress conditions. Similar letters vas not significant at 5% probability level.

غلظت آرسنیک

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار رقم و کودهای فسفر و پتاسیم توأم با آرسنیک در سطح ۱ درصد بر غلظت آرسنیک در اندام‌های هوایی گیاه بود، اما برهمکنش رقم و کاربرد کود به طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار نگرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های اثر مستقل دو رقم نشان داد که میزان تجمع آرسنیک در بخش‌های هوایی رقم کشکنی لولو تفاوت معنی‌داری با توده محلی زابل داشت که این نیز می-

تواند دلیل دیگری برای رشد بهتر توده محلی نسبت به رقم اصلاح‌شده علاوه بر سازگاری بهتر این رقم با شرایط محیطی منطقه باشد (جدول ۳). بیشترین میزان آرسنیک در بخش‌های رویشی گیاه در سطح ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک فسفر و کمترین میزان آن در ۲۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک فسفر مشاهده شد (جدول ۴ و شکل ۴).

بحث

توده محلی زابل با توجه به سازگار بودن با شرایط منطقه رشد بهتری نسبت به رقم اصلاح‌شده اروپایی داشت. نتایج تیمار شاهد روی هر دو رقم نشان داد که تنها افزودن فلز سنگین آرسنیک به میزان ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک می‌تواند سبب کاهش رشد نسبت به سایر تیمارهای کودی شود. دلیل این امر می‌تواند عدم وجود آلودگی به فلزات سنگین در منطقه باشد زیرا بر اساس مطالعات انجام‌شده آرسنیک می‌تواند سبب تنش در گیاه شده و لذا از رشد آن جلوگیری کند (Saona *et al.*, 2020).

می‌توان گفت اثر متقابل فسفر و پتاسیم با آرسنیک در تیمارهای دیگر تا حدی از تأثیر منفی آرسنیک بر رقم محلی جلوگیری می‌کند (Gunes *et al.*, 2009)، در حالی‌که در تیمار شاهد رقم اروپایی نوعی تحریک در رشد دیده شد. این اثر تحریک‌کنندگی سطوح پائین آرسنیک بر رشد با نتایج تحقیق سایر محققین روی برنج که در آن‌ها سطوح پائین آرسنیک سبب تحریک رشد شد مطابقت داشت (Jian *et al.*, 1992)، اما با نتایج آزمایش‌های گلدانی روی گندم و ذرت، خیار و کلم (Sisr *et al.*, 2007)، گل هلیانتوس (Gulz *et al.*, 2005) که در آن‌ها این اثر تحریک‌کنندگی مشاهده نشد مطابقت نداشت. در مطالعه‌ای که به صورت گلدانی روی تاج خروس انجام شد غلظت‌های بالاتر از ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک آرسنیک بر جوانه‌زنی و تعداد برگ تأثیر منفی نشان دادند (Choudhury *et al.*, 2008).

محققین تأثیر منفی آرسنیک بر گوجه‌فرنگی را از طریق محدود کردن رشد ریشه و سایر اندام‌ها گزارش کردند (Miteva, 2002)، نتایج آن‌ها نشان داد با افزایش غلظت آرسنیک ارتفاع بوته کاهش پیدا می‌کند که بیشترین کاهش رشد در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک پیدا شد، اما بین غلظت ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک آرسنیک و شاهد تفاوت زیادی وجود نداشت. در گیاه *Jatropha Curcas* از خانواده افوربیاسه نیز افزایش غلظت آرسنیک اثر منفی بر رشد داشت، اما این کاهش رشد در تیمارهای حاوی آرسنیک، نیتروژن، فسفر و پتاسیم کمتر بود (Kumar *et al.*, 2008).

دلیل کاهش وزن تر و خشک اندام‌های هوایی و ریشه با افزایش سطوح کودی را می‌توان رشد کمتر گیاهان در سطوح بالاتر کودهای فسفر و پتاسیم دانست که با نتایج پژوهش انجام گرفته روی درمنه شیرین مطابقت ندارد (Peyvandi *et al.*, 2009). با اینکه در این پژوهش توده محلی زابل از نظر صفات کمی تفاوت معنی‌داری با رقم اروپایی کشکنی لولو داشت، اما در مقایسه با مطالعه انجام گرفته روی ریحان در نواحی مختلف ایران نتایج ارائه شده برای دو رقم ریحان در این منطقه همگی از نظر صفات مورفولوژیکی تفاوت زیادی با نتایج این پژوهش دارند و این نشان‌دهنده تأثیرپذیری بیشتر این رقم از سمیت فلز سنگین آرسنیک است (Javanmardi *et al.*, 2002). سازگار شدن گیاه با جایگزینی فلزات سنگین یکی از مکانیسم‌هایی است که در رابطه با تعدیل سمیت در گیاهان وجود دارد، سمیت و مقاومت به فلزات توسط گیاه بخاطر تعامل عناصر غذایی مثل کلسیم، فسفر و پتاسیم با عناصر سنگین اتفاق می‌افتد. یکی از نقش‌های عمده این عناصر در گیاه خنثی کردن اثرات سمی فلزات سنگین می‌باشد (Tabatabaei, 2009).

نتیجه‌گیری کلی

کودهای فسفر و پتاسیم می‌توانند با اثر بر روی جذب آرسنیک سبب کاهش غلظت این ماده در بخش خوراکی گیاه شده و خطر سمیت آن را کاهش دهند. در برهمکنش فسفر و آرسنیک با افزایش میزان فسفر استفاده شده مقدار غلظت آرسنیک در اندام‌های هوایی گیاه کاسته شد که نشان‌دهنده رقابت ایجاد شده بین آن‌ها برای جذب است. در سطوح پایین فسفر و پتاسیم جذب آرسنیک از خاک افزایش یافت. توده محلی زابل در اکثر صفات رویشی وضعیت بهتری نسبت به رقم اصلاحی داشت که با توجه به سازگارتر بودن این رقم با شرایط منطقه قابل توجیه است. در تیمار شاهد رقم محلی آرسنیک کمتری از خاک جذب کرد، با این حال آرسنیک تأثیر منفی قابل توجهی بر رشد این رقم نسبت به

تیمارهای دیگر داشت. برخلاف رقم محلی، در تیمار شاهد رقم کشکنی لولو، در مقادیر اندک آرسنیک تا حدی اثر تحریک کنندگی روی رشد رویشی گیاه داشت.

سپاسگزاری

این مطالعه در قالب پایان نامه کارشناسی ارشد و با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه زابل با پژوهانه شماره IR-UOZ-GR-6673 انجام گردید.

References

Adriano, D.C. 2001. Trace Elements in Terrestrial Environments. Springer-Verlag, New York. 214 p.

Akinwumi, K.A., Gbadegesin, M.A., Aboyewa, J.A. and Odunola, O.A. 2020. Attenuation of potassium dichromate and sodium arsenite toxicities by methanol extract of Rauvolfia vomitoria in mice. *Journal of Basic and Clinical Physiology and Pharmacology*, 15: 15425.

Asgharipour, M.R., Khatamipour, M. and Razavi-Omrani, M. 2011. Phytotoxicity of cadmium on seed germination, early growth, proline and carbohydrate content in two wheat varieties. *Advances in Environmental Biology*, 5(4): 559-565.

Carbonell-Barrachina, A.A., Aarabi, M.A., DeLaune, R.D., Gambrell, R.P. and Patrick, Jr. W.H. 1998. Arsenic in wetland vegetation: availability, phytotoxicity, uptake and effects on plant growth and nutrition. *Science of the Total Environment*, 217: 189-199.

Choudhury, M.R.Q., Islam, S.T., Alam, R., Ahmad, I., Zamam, W., Sen, R. and Alam, M.N. 2008. Effects of Arsenic on Red Amaranth (*Amaranthus retroflexus* L.). *American-Eurasian Journal of Scientific Research*, 3(1): 48-53.

Creger, T.L. and Peryea, F.J. 1994. Phosphate fertilizer enhances arsenic uptake by apricot liners grown in lead-arsenate-enriched soil. *Horticultural Sciences*, 29(2): 88–92.

Gonzalez, M.E., Stahl, C., Cruz, M.T., Bañaga, P.A., Betito, G., Braun, R.A., Aghdam, M.A., Cambaliza, M.O., Lorenzo, G.R., MacDonald, A.B. and Simpas, J.B. 2021. Contrasting the size-resolved nature of particulate arsenic, cadmium, and lead among diverse regions. *Atmospheric Pollution Research*, 48: 85-95.

Gulz, P.A., Gupta, S.K. and Schulin, R. 2005. Arsenic accumulation of common plants from contaminated soils. *Plant and Soil*, 272(1-2): 337–347.

Gunes, A., Pilbeam, D. and Inal, A. 2009. Effect of arsenic-phosphorus interaction on arsenic - induced stress in chickpea plant. *Plant and Soil*, 314(1-2): 211-220.

Heeraman, D.A., Claassen, V.P. and Zasoski, R.J. 2001. Interaction of lime, organic matter, and fertilizer on growth and uptake of arsenic and mercury by Zorro fescue (*Vulpia myuros* L.). *Plant and Soil*, 234: 215–231.

Javanmardi, J., Khalighi, A., Kashi, A., Bais, H.P. and Vivanco, J.M. 2002. Chemical characterization of basil (*Ocimum basilicum* L.) found in local accessions and used in traditional medicines in Iran. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50: 5878-5883.

Jian, F.L., Qing, C.L. and Mu, S.S. 1992. Studies on the effect of the As on growing of vegetable and its critical value. *Chongqing Environmental Sciences*, 14(2): 6–9.

Jiang, Q.Q. and Singh, B.R. 1994. Effect of different forms and sources of arsenic on crop 16 yield and arsenic concentration. *Water, Air and Soil Pollution*, 74: 321–343.

Khattak, R., Page, A.L., Parker, D.R. and Bakhar, D. 1991. Accumulation and interaction of arsenic, selenium, molybdenum and phosphorus in alfalfa. *Journal of Environmental Quality*, 20: 165–168.

Kishor, R., Purchase, D., Saratale, G.D., Saratale, R.G., Ferreira, L.F.R., Bilal, M., Chandra, R. and Bharagava, R.N. 2021. Ecotoxicological and health concerns of persistent coloring pollutants of textile industry wastewater and treatment approaches for environmental safety. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 105012.

Kumar, G.P., Yadav, S.K., Thawale, P.R., Singh, S.K. and Juwarkar. A.A. 2008. Growth of Jatropha curcas on heavy metal contaminated soil amended with industrial wastes and Azotobacter – A greenhouse study. *Bioresource Technology*, 99: 2078–2082.

Loeppert, R.H. 2002. Effects of water management, arsenic and phosphorus levels on rice yield in high-arsenic soil-water system**.** *Rice Science*s, 21(2): 99-107.

Matschullat, J. 2000. Arsenic in the geosphere – A review. *Science of the Total Environment*, 249: 297–312.

Mehr, M.R., Shakeri, A., Amjadian, K., Poshtegal, M.K. and Sharifi, R. 2021. Bioavailability, distribution and health risk assessment of arsenic and heavy metals (HMs) in agricultural soils of Kermanshah Province, west of Iran. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 25: 1-14.

Miteva, E. 2002. Accumulation and effect of arsenic on tomatoes. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 33(11–12): 1917–1922.

Neppolian, B., Doronila, A. and Ashokkumar, M. 2010. Sonochemical oxidation of arsenic (III) to arsenic (V) using potassium peroxydisulfate as an oxidizing agent. *Water Research*, 44(12): 3687-3695.

Peryea, F.J. and Kammereck, R. 1997. Phosphate-enhanced movement of arsenic out of lead arsenate-contaminated topsoil and through uncontaminated subsoil. *Water, Air and Soil Pollution*, 93(1/4): 243–254.

Peyvandi, M., Rafaati, A. and Mirza, M. 2009. The effect of nitrogen and phosphorus on the growth and amount of essential oil of *Artemisia annua*. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 25(1): 75-84. (In Persian).

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.

Saona, L.A., Soria, M., Durán-Toro, V., Wörmer, L., Milucka, J., Castro-Nallar, E., Meneses, C., Contreras, M. and Farías, M.E. 2020. Phosphate-Arsenic interactions in halophilic microorganisms of the microbial mat from Laguna Tebenquiche: from the microenvironment to the genomes. *Microbial Ecology*, 17: 1-13.

Seraj, M.F., Rahman, T., Lawrie, A.C. and Reichman, S.M. 2020. Assessing the plant growth promoting and arsenic tolerance potential of *Bradyrhizobium japonicum* CB1809. *Environmental Management*, 66(5): 930-939.

Sisr, L., Mihaljevic, M., Ettler, V., Strand, L. and Sebek, O. 2007. Effect of application of phosphate and organic manure-based fertilizers on arsenic transformation in soil columns. *Environmental Monitoring and Assessments*, 135: 465–473.

Small, H.G. and McCants, C.B. 1962. Influence of arsenic applied to the growth media on the arsenic content of flue-cured tobacco. *Agronomy Journal*, 54: 129–133.

Smith, E., Naidu, R. and Alston, A.M. 1998. Arsenic in the soil environment: a review. *Advanced in Agronomy*, 64: 149–195.

Taati, A., Salehi, M.H., Mohammadi, J. and Mohajer, R. 2021. Assessment of pollution level, non-carcinogenic and carcinogenic risk of heavy metals on human health in surface soils of Arak industrial areas, Iran. *Iranian Journal of Health and Environment*, 17: 355-368.

Tabatabaei, S.J. 2009. Principles of mineral nutrition of plants. Author Publications, 388 pages. (In Persian)

Zhao, M., Zhao, Z.Y., Cai, K., Yu, Q.H. and Wang, W.J. 2007. Effects of As and Cr on the vegetable growth of characteristics and products safety. *Journal of Agro-Environment Science*, 26: 489–493.

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 4, Issue 2, Autumn and Winter 2023, P. 547-557

The effect of phosphorus and potassium fertilizers on reducing arsenic toxicity and increasing the growth of two basil (*Ocimum basilicum*) cultivars

Mohammad Rahimi[1], Mohammad Reza Asgharipour[2*], Mahmood Ramroudi[2], Mohammad Ali Javaheri[3]

[1] M.SC. graduate, Department of Horticulture, College of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran
[2] Department of Agronomy, College of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran
[3] Assistant Professor of Seed and Plant Improvement Research Department, Kerman Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Kerman, Iran

[*]Corresponding Author: m_asgharipour@yahoo.com

Received: 10 December 2020 Accepted: 12 February 2021 **DOI: 10.22034/CSRAR.2022.261532.1071**

Abstract

Introduction: Arsenic is toxic to plants and accumulates in minute quantities within the majority of species. The amount of arsenic absorbed by a plant is contingent upon its source and solubility (Gonzalez *et al*., 2021). Arsenic mobility and availability are strongly influenced by soil type, pH, and the use of chemical fertilizers such as phosphorus and potassium. Arsenic and phosphorus share chemical similarities and compete for carrier and membrane carrier absorption (Taati *et al*., 2021). Basil was chosen for this study due to its rapid growth and ability to absorb contaminants such as heavy metals.

This study's objective was to use phosphorus and potassium fertilizers to reduce the toxicity of arsenic and optimize basil growth in arsenic-contaminated soils. The effects of varying concentrations of arsenic, phosphorus, and potassium, as well as their interactions, on arsenic toxicity, crop growth, phosphorus and potassium uptake, and arsenic accumulation in two basil cultivars were investigated.

Materials and Methods: This study was conducted in the greenhouse of the University of Zabol during the winter of 2013 and the spring of 2014. Two seed cultivars, Keshkeni Luvelou and landrace of Zabol, constituted the first factor, while types of fertilizers, including 50, 150, and 250 mg of phosphorus and potassium per kg of soil for triple superphosphate and potassium sulfate, constituted the second factor. Arsenic sulfate was added to all containers at a constant rate of 15 mg per kilogram of soil. Plant height, number of lateral branches, number of leaves, fresh weight of shoots, and arsenic concentration in plant shoots were measured. The number of leaves per plant, the number of lateral branches per plant, the height of the plant, the diameter of the main stem, the length of the roots, and the fresh weight of the plant were also measured. After harvesting the plants, they were separated into shoots and roots, dried, and weighed. To measure the heavy metal arsenic, plant samples were dried and ground using the dry digestion method. The arsenic concentration in the extract was determined using atomic absorption spectrometry.

Results and Discussion: Results indicated a 1 percent level of significance for cultivar effects on plant height, number of leaves per plant, number and length of lateral branches, fresh weight, and leaf area. In all growth-related characteristics, the local cultivar differed significantly from the modified cultivar. The addition of arsenic decreased plant growth and increased arsenic concentration in plant organs. The study of the relationship between phosphorus and arsenic revealed that in both cultivars studied, the concentration of arsenic in the shoot decreased as the amount of phosphorus increased. In the interaction between arsenic and potassium, the most arsenic

was found in the aerial portion at the lowest potassium concentration. The landrace of Zabol grew better than the modified cultivar due to its adaptation to the local environment. The results of the control treatment on both cultivars revealed that only the addition of arsenic at a concentration of 15 mg/kg soil can inhibit plant growth in comparison to other fertilizer applications. This could be due to the absence of heavy metal contamination in the region, as studies have shown that arsenic can cause stress in plants and inhibit their growth. It can be said that the interaction of phosphorus and potassium with arsenic in other treatments mitigates the negative effect of arsenic on the landrace, whereas the modified cultivar exhibited a type of growth stimulation.

Conclusion: By acting on arsenic absorption, phosphorus and potassium fertilizers can reduce the concentration of this substance in plant food, thereby reducing the risk of toxicity. In the interaction between phosphorus and arsenic, as the amount of phosphorus used increased, the concentration of arsenic in the plant's shoots decreased, indicating competition for absorption. At low phosphorus and potassium levels, soil arsenic uptake increased. Landrace of Zabol was superior to breeding cultivar in the majority of vegetative traits, which can be explained by the greater compatibility of breeding cultivar with regional conditions. Landrace of Zabol absorbed less arsenic in the control treatment; however, arsenic had a significantly negative effect on the growth of this cultivar compared to other treatments. In contrast to the landrace, in the control treatment of Keshkeni Luvelou, low concentrations of arsenic stimulated plant vegetative growth.

Keywords: Chemical fertilizers, Heavy metals, Pot experiment, Quantitative traits