# تأثیر تلقیح قارچ میکوریزا و کود فسفر بر برخی صفات مرفولوژیک و فیزیولوژیک شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) در خاک آلوده به آرسنیک

مدینه بیژنی[۱]، محمدرضا اصغری‌پور[۲*] و علیرضا سیروس‌مهر[۲]

[۱] گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی

[۲] گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۱۱، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۰۹/۰۶)

**چکیده**

**هدف از این مطالعه، بررسی اثر گونه‌های قارچ میکوریزا و فسفر روی شنبلیله در خاک‌های آلوده به آرسنیک بود. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در گلخانه دانشگاه زابل اجرا گردید. فاکتور اول چهار گونه میکوریزا (*Glomus mosseae*، *G. intradices* و *G. versiform* و عدم‌کاربرد)، فاکتور دوم سه سطح آرسنیک (صفر، ۱۵ و ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و فاکتور سوم دو سطح فسفر (صفر و ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) بودند. در این مطالعه سمیت آرسنیک بر رشد رویشی، تجمع آرسنیک در شاخساره، آرسنیک ریشه، فسفر برگ، نیتروژن برگ، پرولین، کربوهیدرات، شاخص کلروفیل و همچنین درصد کلونیزاسیون ریشه بررسی شد. افزودن آرسنیک به‌طور معنی‌داری صفات رویشی، شاخص کلروفیل، غلظت فسفر، نیتروژن برگ و درصد کلونیزاسیون ریشه را کاهش داد. بالاترین سطح آلودگی به‌ترتیب سبب افزایش ۹۵، ۹۹، ۳۳ و ۳۲ درصدی آرسینک شاخساره، آرسنیک ریشه، پرولین و کربوهیدرات نسبت به شاهد گردید. کاربرد میکوریزا و فسفر نیز به‌جز درصد کلونیزاسیون بر سایر صفات تأثیر معنی‌داری داشتند. اثر متقابل آرسنیک و میکوریزا بر وزن تر شاخساره، درصد کلونیزاسیون و تجمع آرسنیک شاخساره و اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر وزن تر و خشک شاخساره، وزن تر و خشک ریشه و تجمع آرسنیک در شاخساره معنی‌دار بود. در واکنش به اثرات مخرب آرسنیک *G. intradices* با کاهش ۲۵ درصدی تجمع آرسنیک نسبت به سایر گونه‌ها دارای عملکرد بهتری بود. این آزمایش نشان داد میکوریزا و فسفر نقش تعدیل‌کننده بر اثر منفی سمیت آرسنیک بر صفات را دارا بودند و می‌توانند از طریق بهبود رشد رویشی در کاهش اثرات منفی تنش آرسنیک مؤثر واقع گردند.**

**کلمات کلیدی: تنظیم کننده‌های اسمزی، تنش فلزات سنگین، شاخص‌های رویشی، کود زیستی**

**مقدمه**

پیشرفت سریع تکنولوژی و توسعه روزافزون کارخانه‌های صنعتی و همچنین مصرف زیاد کودهای شیمیایی و سموم دفع آفات و دیگر مواد شیمیایی در کشاورزی در دهه‌های اخیر امکانات زیادی را برای آلوده‌شدن خاک‌ها فراهم آورده است (کردوانی، ۱۳۸۱؛ Jafari *et al*., 2018; Amiri *et al*., 2019) در میان آلاینده‌های محیط‌زیست عناصر سنگین به‌علت خواص سمی و تجمع‌پذیری و همچنین طول عمر زیاد در بدن موجودات زنده دارای اهمیت ویژه‌ای هستند. در سال‌های اخیر بسیاری از کشورها به بحران آلودگی آب و خاک با عناصر

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: m_asgharipour@uoz.ac.ir

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.19.9 ]

سنگین مبتلا شده‌اند (Smith *et al*., 1998; Padash *et al*., 2019). در این میان آرسنیک یکی از عناصر خطرناک برای سلامت انسان، حیوان و گیاه است که در بسیاری از ضایعات حاصل از فعالیت‌های انسان (استفاده مکرر از کودهای شیمیایی و آفتکش‌ها) و همچنین در برخی مناطق ژئوشیمیایی خاص وجود دارد. این عنصر به زیست‌بوم، پیکره گیاه و در نهایت زنجیره غذایی راه می‌یابد و خسارت‌های جدی به بار می‌آورد (Baroni *et al*., 2000). در این راستا کاربرد فناوری‌های جدید در زمینهٔ استفاده از کودهای شیمیایی فسفره و کودزیستی در شرایط آلودگی خاک به فلزات سنگین جهت کاهش آسیب به گیاه و جلوگیری از ورود عنصر سنگین به اندام‌های هوایی اهمیت زیادی دارد. از راهکارها جهت تخفیف سمیت آرسنیک استفاده از فسفر و همچنین کودهای زیستی است (علیزاده اسکویی و همکاران، ۱۳۸۸؛ Tu *et al*., 2003). با توجه به آنکه فسفر و آرسنیک هر دو متعلق به گروه پنجم جدول تناوبی عناصر شیمیایی هستند دارای رفتار مشابهی در خاک و گیاه می‌باشند. افزودن فسفات به خاک می‌تواند حرکت آرسنیک رو به پایین را افزایش دهد و منجر به افزایش آبشویی از سطح خاک شود (Talukder *et al*., 2010). در اثر رقابتی که بین فسفات و آرسنات در مکان‌های جذب ایجاد می‌شود، جذب آرسنیک می‌تواند با کاربرد فسفات به طرز قابل توجهی تحت تأثیر قرار گیرد (Sisr *et al*., 2007). تخفیف سمیت آرسنیک با کاربرد فسفر به شرایط کشت نیز وابسته است. براساس تحقیقات صورت گرفته بر سرخس در کشت هیدروپونیک، فسفر مانع جذب آرسنیک شد (Tu *et al*., 2003)؛ در حالیکه افزودن فسفر به خاک غلظت آرسنیک را در گیاه افزایش داد (Liao *et al*., 2004).

استفاده از کودهای زیستی از جمله قارچ‌های مایکوریزا نیز از راهکارهای کاهش سمیت آرسنیک معرفی گردیده است (Chen *et al*., 2007). قارچ‌های آربوسکولار مایکوریزا (AM) به‌علت توانایی برای بهبود وضعیت سلامتی و رشد گیاه تحت شرایط تنش به‌طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. این مطالعات نشان می‌دهند که AM علاوه بر بهبود وضعیت فسفر و جذب برخی عناصر ضروری غالباً از گیاهان در مقابل فلزات غیرضروری حفاظت می‌کند (Smith and Read, 2008). به علت تشابه زیاد رفتار شیمیایی آرسنات و فسفات، به‌نظر می‌رسد که AMF می‌تواند پویایی آرسنیک در خاک را نیز تحت تأثیر قرار دهد. در گیاهان تلقیح‌شده با مایکوریزا ناقلین فسفات مایکوریزایی فعال شده (Liu *et al*., 2005) و سبب انسداد مسیرهای جذب مستقیم در ریشه‌های گیاه می‌شود (Smith *et al*., 1998). سرکوب فعالیت ناقلین فسفات در ریشه‌های گیاه می‌تواند تحمل به افزایش آرسنیک را در گیاه افزایش دهد (Gonzalez-Chavez *et al*., 2002). افزون بر این با بهبود وضعیت فسفر در گیاه میزبان، AMF رشد گیاه را بهبود می‌دهد که سبب رقیق‌شدن غلظت آرسنیک در بافت‌های گیاه می‌شود (Chen *et al*., 2007; Gonzalez-Chavez *et al*., 2002).

گر چه مطالعات بسیاری نشان می‌دهند که AM می‌تواند غلظت آرسنیک در گیاهان را کاهش و خسارت آن را کم کند (Liu *et al*., 2005; Smith and Read, 2008) با این حال اطلاعات اندکی در خصوص نقش AM در تعاملاتAs/P در سطوح مختلف فراهمی P در خاک‌های آلوده‌شده با آرسنیک به‌طور طبیعی روابط خاک – گیاه وجود دارد. بنابراین این مطالعه با استفاده از گونه خوراکی شنبلیله در خاک‌های آلوده شده به‌طور مصنوعی با هدف مقایسه اثرات کاربرد کود فسفر و تلقیح AM بر رشد گیاه جذب As و P اجرا شد.

## مواد و روش‌ها

این مطالعه در سال ۹۳-۱۳۹۲ در گلخانه تحقیقاتی به‌صورت آزمایش فاکتوریل سه فاکتوره (تلقیح با قارچ میکوریزا، آرسنیک و فسفر) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار دانشگاه زابل اجرا شد. تلقیح با میکوریزا در چهار سطح (شامل تلقیح با گونه‌های *Glomus mosseae*، *G. intraradices*، *G. versiform* و شاهد بدون‌تلقیح)، عامل آرسنیک در سه سطح (شامل افزودن آرسنیک به مقدار صفر، ۱۵ و ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و عامل فسفر در دو سطح (شامل افزودن

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.19.9 ]

**جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک**

| EC | pH | N کل | کربن آلی | P قابل دسترس | K قابل دسترس | Fe قابل دسترس | Zn قابل دسترس | Mn قابل دسترس | بافت خاک |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| dSm-1 | | % | | ppm | | | | | |
| ۲/۲ | ۷/۸ | ۰/۰۳ | ۰/۲۹ | ۱۲ | ۲۵۰ | ۸ | ٤ | ۳ | لوم رسی |

فسفر به مقدار صفر و ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک به شکل کود سوپرفسفات تریپل) بود. قارچ میکوریزا از شرکت زیست فناور توران شاهرود و کود سوپرفسفات تریپل نیز از شرکت شکوه شیمی سهند خریداری گردید. خاک مورد استفاده در این مطالعه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه پژوهشکده کشاورزی دانشگاه زابل تهیه شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک استفاده شده در جدول ۱ ارائه شده است.

جهت تهیه غلظت‌های مختلف آرسنیک از نمک دی‌سدیم آرسنات ($AsHNa_2O_4$) استفاده شد. برای اختلاط کامل خاک با آرسنیک، خاک در گلدان‌های پلاستیکی به‌مدت حدود ۵ ماه در دوره‌های خشک - مرطوب متوالی در دمای اتاق خوابانده شدند. در هر دوره خشک – مرطوب‌شدن، خاک گلدان‌ها اشباع و بعد اجازه داده شد تا هوا خشک گردد به طوریکه رطوبت خاک به حد نسبتاً ثابتی برسد. هر دوره خشک - مرطوب ٤۰ روز طول کشید و بعد از هر دوره خاک گلدان‌ها به‌منظور ایجاد یکنواختی در غلظت آرسنیک کاملاً مخلوط می‌گردید. پس از انجام واکنش‌ها خاک‌های آلوده به آرسنیک دو بار (با یک هفته فاصله) با دستگاه اتوکلاو در دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس و فشار ۱/۵ اتمسفر به‌مدت ۲ ساعت در داخل کیسه‌های کنفی ضدعفونی شدند.

آزمایش گلدانی در ۲۰ بهمن‌ماه ۱۳۹۲ آغاز و در ۱۵ اردیبهشت ۱۳۹۳ پایان یافت. درجه حرارت حداقل و حداکثر گلخانه ۱۵ و ۳۰ درجه سانتیگراد بود. بذرهای شنبلیله (توده بومی زابل) از جهاد کشاورزی زابل خریداری گردید و جهت جلوگیری از آلودگی‌های احتمالی قارچی، بذرها به‌مدت دو دقیقه در محلول هیپوکلریت سدیم یک درصد قرار گرفتند، سپس به‌ترتیب توسط آب معمولی و آب‌مقطر شستشو داده شدند. برای انجام این آزمایش از گلدان‌هایی با قطر دهانه ۲٦ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۸ سانتی‌متر استفاده گردید که به‌منظور جلوگیری از آبشویی آرسنیک از گلدان‌های بدون زهکش استفاده گردید. در هر گلدان مقدار ۳ کیلوگرم خاک با مشخصات ذکرشده به همراه سطوح کود فسفر (صفر و ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) به‌صورت محلول مخلوط شد. قارچ‌های میکوریزا از شرکت زیست‌فناوران توران شاهرود تهیه‌شده و قبل از کاشت خاک رویی گلدان به اندازه سه تا چهار برابر عمق کاشت بذر کنارزده و مقدار ۵۰ گرم قارچ به خاک گلدان اضافه گردید. تعداد پروپاگول‌های مایه تلقیح مورد استفاده ۱۰۸ عدد در هر گرم ماده حامل بود. میزان رطوبت گلدان‌ها با آبیاری روزانه در حدود ۸۵ درصد ظرفیت زراعی نگه داشته شد تا علاوه بر آنکه از آبشویی آرسنیک پس از اشباع جلوگیری می‌شود شرایط مناسب جهت همزیستی قارچ‌های با گیاه نیز فراهم گردد. پس از انجام مراحل اولیه رشدی تعداد بوته‌های هر گلدان به ۵ عدد رسانده شد. در طول آزمایش کنترل علف‌های هرز با دست انجام شد و آفت و بیماری خاصی مشاهده نشد. در پایان دوره رشد و در آغاز دوره گلدهی بوته‌ها برداشت شد. خصوصیات مورفولوژیکی مانند تعداد شاخه فرعی در بوته، تعداد و سطح برگ در مرحله رسیدگی کامل اندازه‌گیری شد. سپس بوته‌های برداشت‌شده به اندام‌های هوایی و ریشه تقسیم شدند و پس از اندازه‌گیری طول ریشه، در ۷۰ درجه سانتیگراد خشک‌شده و توزین گردیدند.

در مرحله قبل از گلدهی با استفاده از اتانول ۹۵٪ و براساس روش سولفوریک اسید میزان کربوهیدرات برگ استخراج شد (Schlegel, 1956). اندازه‌گیری میزان پرولین نیز

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14 ]
[ DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.19.9 ]

با استفاده از روش بیتس و همکاران (Bates *et al*., 1973) انجام گرفت. تعیین درصد کلونیزاسیون پس از رنگ‌آمیزی ریشه‌ها با استفاده از روش تلاقی خطوط شبکه (Grid line intersect method) تعیین گردید (Dalpe, 1993; Armin and Asgharipour, 2011). شاخص کلروفیل برگ نمونه‌ها با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج (Hansatech - Model-cl-01)، اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری عناصر گیاه نمونه‌ها در آون در دمای ٦٥ درجه سانتیگراد تا رسیدن به وزن ثابت خشک و پس از توزین توسط آسیاب برقی پودر شدند. یک گرم ماده خشک شاخساره گیاهی را در کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سانتیگراد به صورت خاکستر درآورده و خاکستر حاصل در ۵ میلی‌لیتر کلریدریک اسید ۲ نرمال حل شد. پس از صاف‌نمودن با کاغذ صافی حجم نهایی محلول با استفاده از آب‌مقطر به ۵۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. غلظت فسفر به روش زرد وانادات (کریمی، ۱۳۹۱)، غلظت نیتروژن به روش میکروکلدال و غلظت آرسنیک با دستگاه جذب اتمی (Pu9100x-Philips) اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از طریق نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد و رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

## نتایج و بحث

**غلظت نیتروژن و فسفر برگ:** نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر قارچ مایکوریزا، فسفر و تنش آرسنیک بر غلظت نیتروژن و فسفر برگ معنی‌دار ($P \leq 0/01$) بود (جدول ۲). مشاهدات حاکی از آن است که گیاهان تیماریافته با قارچ مایکوریزا و کود فسفر موفق به افزایش جذب نیتروژن و فسفر در شاخساره گیاه گردیده‌اند به طوریکه در مؤثرترین حالت ممکن قارچ *G. versiform* سبب افزایش ۳۵ و ۱۳ درصدی نیتروژن و فسفر شده‌اند (جدول ۳). این امر را می‌توان با پخش‌شدن هیف‌های قارچی در خاک و ترشح اسیدهای آلی و آنزیم‌های فسفاتاز مرتبط دانست که سبب افزایش انحلال فسفر و دسترسی به فسفر و سایر عناصر می‌گردد (Tavasoli and Aliasgharzade, 2009). نتایج مطالعه حاضر با یافته‌های قبلی که استفاده از قارچ مایکوریزا و فسفر را روشی مؤثر در جهت افزایش جذب فسفر دانسته‌اند همخوانی دارد (Ekelof, 2007; Gaur *et al*., 2000). غلظت نیتروژن و فسفر میان تیمارهای کاربرد کود فسفر به‌طور معنی‌داری متفاوت بود و اضافه‌کردن کود فسفر نیز افزایش ۵ و ۱۳ درصدی غلظت نیتروژن و فسفر را در پی داشته است (جدول ۳). افزایش جذب فسفر و نیتروژن با کاربرد کود فسفر پیش از این نیز گزارش شده بود (Ekelof, 2007).

افزایش غلظت آرسنیک در خاک کاهش معنی‌دار محتوای نیتروژن و فسفر در شاخساره شنبلیله را به‌دنبال داشته است. به طوریکه در بالاترین سطح آلودگی (۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) این کاهش نسبت به شاهد به‌ترتیب برای نیتروژن و فسفر ۱۳ و۳۲ درصد بوده است. آرسنیک ممکن است سبب ناهنجاری‌های فیزیولوژیکی در گیاه گردد (Smith *et al*., 1998). اما مطالعات کمی به‌منظور تعیین اثر آرسنیک بر جذب عناصر گیاهی انجام شده است و نتایج مطالعاتی که تاکنون ارائه شده است کاملاً در تناقض است. در معرض قراردادن آرسنیک سبب کاهش مقدار آب شاخساره می‌شود و این احتمالاً بر جذب و انتقال عناصر غذایی تأثیرگذار است (Obata and Umebayashi, 1997). همچنین آرسنیک با کاهش توسعه ریشه از جذب عناصر غذایی جلوگیری به‌عمل می‌آورد (Pettersson, 1976).

**غلظت آرسنیک ریشه و شاخساره:** نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر میکوریزا، آرسنیک و فسفر بر غلظت آرسنیک شاخساره و ریشه گیاه معنی‌دار ($P \leq 0/01$) بود. در این بررسی اثر متقابل معنی‌داری ($P \leq 0/05$) بین آرسنیک و میکوریزا و آرسنیک و فسفر بر محتوای آرسنیک شاخساره مشاهده شد (جدول ۲). نتایج حاکی از آن است که در تیمارهای همزیست با گونه‌های مختلف میکوریزا به‌خصوص *G. versiform* (۰/٦) و کاربرد فسفر (۰/٦٥) در بالاترین سطح کاربرد آرسنیک غلظت آن در شاخساره به‌طور متوسط ۲۵

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.19.9 ]

**جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) کلروفیل، پرولین، کربوهیدرات، آرسنیک، فسفر و درصد کلونیزاسیون ریشه شنبلیله**

| منبع تغییرات | df | میانگین مربعات | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | شاخص کلروفیل | پرولین | کربوهیدرات | درصد خاکستر | آرسنیک شاخساره | آرسنیک ریشه | فسفر | نیتروژن | درصد کلونیزاسیون |
| میکوریزا (A) | ۳ | ۱۴/۰۴ ** | ۰/۱۷ ns | ۱/۹۶ ns | ۲/۷ ** | ۰/۱۳ ** | ۰/۱۹ ** | ۰/۱۰ ** | ۵/۲۰ ** | ۱۴۶۷/۶ ** |
| آرسنیک (B) | ۲ | ۱۳۲/۷۲ ** | ۱۱/۰ ** | ۱۱۹/۷ ** | ۹۷/۰ ** | ۳/۶۳ ** | ۴۵/۸۲ ** | ۲/۱۸ ** | ۲/۷۱ ** | ۱۹۳/۱ ** |
| فسفر (C) | ۱ | ۳۰/۲۱ ** | ۰/۴۱ * | ۳/۰۳ ns | ۲۸/۹ ** | ۰/۲۴ ** | ۱/۲۸ ** | ۰/۷۲ ** | ۰/۷۹ ** | ۱/۹۴ ns |
| A * B | ۶ | ۰/۳۵ ns | ۰/۰۵ ns | ۰/۵۳ ns | ۰/۹۹ ns | ۰/۰۳ * | ۰/۵۰ ns | ۰/۰۲ ns | ۰/۲۰ ns | ۲۱/۷ ** |
| A * C | ۳ | ۰/۲۸ ns | ۰/۰۱ ns | ۰/۰۹ ns | ۰/۶۸ ns | ۰/۰۰۰۵ ns | ۰/۰۰۸ ns | ۰/۰۱ ns | ۰/۰۰۳ ns | ۰/۳۳ ns |
| B * C | ۲ | ۰/۷۳ ns | ۰/۱۰ ns | ۱/۲۹ ns | ۲/۱۵ ns | ۰/۰۵ * | ۰/۰۹ ns | ۰/۰۴ ns | ۰/۰۷ ns | ۱۱/۰ ns |
| A * B * C | ۶ | ۰/۱۰ ns | ۰/۰۱ ns | ۰/۰۷ ns | ۰/۲۱ ns | ۰/۰۰۱ ns | ۰/۰۰۱ ns | ۰/۰۰۸ ns | ۰/۰۲ ns | ۱/۸۶ ns |
| E | ۴۸ | ۰/۶۴ | ۰/۰۹ | ۰/۹۹ | ۰/۷۳ | ۰/۰۱ | ۰/۲۰ | ۰/۰۱ | ۰/۰۳ | ۳/۲ |
| %CV | - | ۴/۵۶ | ۹/۰۷ | ۸/۹۱ | ۸/۴ | ۲۶/۳۲ | ۸/۴۲ | ۸/۰۵ | ۴/۷۰ | ۱۳/۶۳ |

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیرمعنی‌دار

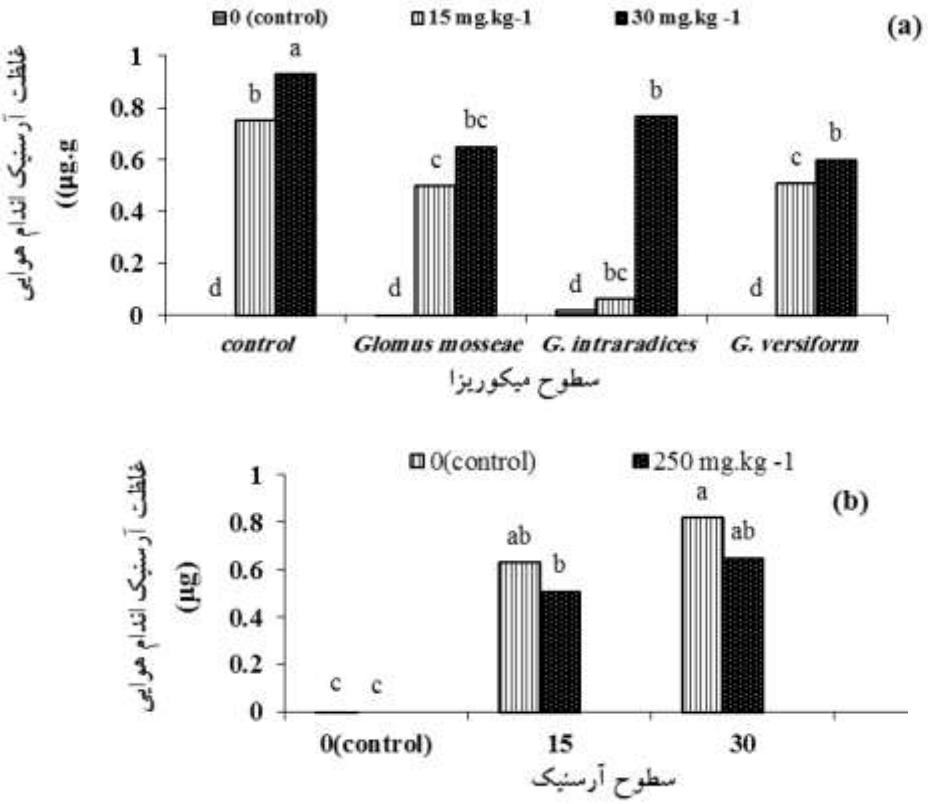
**جدول ۳- مقایسه میانگین کلروفیل، پرولین، کربوهیدرات، آرسنیک، فسفر و درصد کلونیزاسیون ریشه شنبلیله**

| تیمار | شاخص کلروفیل | پرولین ($\mu mol\ g^{-1}$) | کربوهیدرات ($\mu mol\ g^{-1}$) | درصد خاکستر | آرسنیک شاخساره($\mu g\ g^{-1}$) | آرسنیک ریشه ($\mu g\ g^{-1}$) | فسفر ($mg\ g^{-1}$) | نیتروژن % | درصد کلونیزاسیون |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| گونه‌های میکوریزا | | | | | | | | | |
| شاهد | ۱۶/۶۱ c | ۳/۳ ab | ۱۱/۲۶ ab | ۹/۶۲ b | ۰/۵۶ a | ۱/۸۶ a | ۱/۴۶ b | ۲/۹۸ d | ۰/۰ d |
| *G. mosseae* | ۱۸/۷۵ a | ۳/۲ b | ۱۰/۷۷ b | ۱۰/۱ ab | ۰/۳۸ c | ۱/۶۶ b | ۱/۵۵ a | ۴/۱۷ a | ۱۵/۲ c |
| *G. intraradices* | ۱۷/۶ b | ۳/۴ a | ۱۱/۵۷ a | ۱۰/۵ a | ۰/۴۷ b | ۱/۷۰ b | ۱/۶۰ a | ۳/۸۴ c | ۱۷/۶ b |
| *G. versiform* | ۱۷/۳ b | ۳/۳ ab | ۱۱/۱۸ ab | ۱۰/۳ a | ۰/۳۷ c | ۱/۶۲ b | ۱/۶۴ a | ۴/۰۴ b | ۲۰/۰ a |
| آرسنیک | | | | | | | | | |
| شاهد | ۱۹/۶ a | ۲/۵ c | ۸/۷۳ c | ۱۲/۱ a | ۰/۰۰۵ c | ۰/۱۲ c | ۱/۸۶ a | ۴/۱۲ a | ۱۵/۷ a |
| ۱۵ mg/kg | ۱۸/۰ b | ۳/۵ b | ۱۱/۷۸ b | ۱۰/۲ b | ۰/۶۰۰ b | ۲/۴۳ b | ۱/۵۶ b | ۳/۶۹ b | ۱۳/۷ b |
| ۳۰ mg/kg | ۱۵/۰۴ c | ۳/۹۱ a | ۱۳/۰۸ a | ۸/۱۰ c | ۰/۷۳۷ a | ۲/۵۸ a | ۱/۲۶ c | ۳/۴۶ c | ۱۰/۱ c |
| فسفر | | | | | | | | | |
| شاهد | ۱۶/۹ b | ۳/۴ a | ۱۱/۴۰ a | ۹/۵۲ b | ۰/۵۰ a | ۱/۸۴ a | ۱/۴۶ b | ۳/۶۵ b | ۱۳/۰ a |
| ۲۰۰ mg/kg | ۱۸/۲۴ a | ۳/۲ b | ۱۰/۹۹ a | ۱۰/۷ a | ۰/۳۸ b | ۱/۵۸ b | ۱/۶۶ a | ۳/۸۶ a | ۱۳/۳ a |

**تفاوت حروف در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.**

درصد نسبت به شاهد کاهش یافت (شکل‌های b و a ۱). در این مطالعه به‌طور کلی غلظت آرسنیک در ریشه بیشتر از شاخساره بود و به‌طور متوسط بیش از ۷۰٪ آرسنیک گیاه در ریشه تجمع یافته بود (جدول ۳) . تجمع بیشتر عناصر سمی در ریشه نسبت به شاخساره در لوبیا ( Obata, and Umebayashi, 1997)، گوجه‌فرنگی (Ouariti *et al.*, 1997) و سورگوم (Abo-Kassem *et al.*, 1997) نیز گزارش شده است. کمتربودن مقدار آرسنیک در شاخساره نسبت به ریشه می‌تواند به‌دلیل تثبیت آرسنیک در درون سلول‌ها به‌وسیله تشکیل کمپلکس‌هایی با اسیدهای آلی نظیر مالات و اگزالات، انسداد

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14 ]
[ DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.19.9 ]




**شکل ۱- اثر متقابل میکوریزا و آرسنیک بر غلظت آرسنیک شاخساره (a)، اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر غلظت آرسنیک (b). تفاوت حروف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.**

آرسنیک با سلول‌های اپیدرمی، تثبیت آرسنیک با ترکیبات آلی موجود در ریشه باشد (Pettersson, 1976).

غلظت آرسنیک در شاخساره و ریشه گیاهان میان تیمارهای کاربرد کود فسفر به‌طور معنی‌داری متفاوت بود به طوریکه غلظت آرسنیک در شاخساره و ریشه در تیمارهای ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم فسفر نسبت به عدم‌کاربرد فسفر به ترتیب ۲٤ و ۱٤/۱ درصد کمتر بود. غلظت آرسنیک شاخساره و ریشه در گیاهان همزیست با گونه‌های مختلف میکوریزا نسبت به شاهد تیمارنشده کاهش یافت. کمترین غلظت آرسنیک در گیاهان همزیست با گونه *G. versiform* و پس از آن تیمارهای همزیست با گونه‌های *G. mosseae*، *G. intraradices* و شاهد قرار داشت.

با افزایش مقدار آرسنیک در خاک، غلظت آرسنیک در شاخساره و ریشه گیاه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و در تیمار کاربرد ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک آرسنیک به‌ترتیب در شاخساره و ریشه به ۰/۷۰ و ۲/۵۸ میکروگرم بر گرم وزن گیاه رسید.

در این بررسی اثر متقابل معنی‌داری بین آرسنیک و میکوریزا و آرسنیک و فسفر بر آرسنیک شاخساره مشاهده شد؛ به طوریکه در تیمارهای همزیست با گونه‌های مختلف میکوریزا و کاربرد فسفر غلظت آرسنیک شاخساره کاهش یافت. علاوه بر آن اطلاعاتی مبنی بر تأثیر مثبت در خصوص نقش AMF در تعاملات As/P در سطوح مختلف فراهمی P، در خاک‌های آلوده‌شده با فلزات سنگین وجود دارد (علیزاده اسکویی و همکاران، ۱۳۸۸؛ Tu *et al.*, 2003). کاهش غلظت آرسنیک در عدس (*Lens culinaris* Medike.) تلقیح‌یافته با قارچ مایکوریزا پیش از این نیز گزارش شده است (قمری و شریعت، ۱۳۹۰).

**درصد کلونیزاسیون ریشه:** نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر قارچ مایکوریزا و آرسنیک بر درصد

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14 ]
[ DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.19.9 ]

کلونیزاسیون ریشه گیاه معنی‌دار ($P \leq 0/01$) بود. همچنین اثر متقابل مایکوریزا و آرسنیک بر صفت مذکور معنی‌دار بود (جدول ۲). میانگین اثرات متقابل عامل‌های قارچ مایکوریزا و تنش آرسنیک حاکی از آن بود که با افزایش غلظت آلودگی، درصد کلونیزاسیون ریشه‌ها کاهش یافت. گیاهان تلقیح‌یافته با قارچ *G. versiform* و *G. intraradices* نسبت به گیاهان تلقیح‌یافته با قارچ *G. mosseae* در سطح شاهد و آلودگی تا ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک کلونیزاسیون بالاتری داشتند. اما با اعمال ۳۰ میلی‌گرم آرسنیک درصد کلونیزاسیون در تمام گونه‌ها تنزل یافت که این میزان به‌مراتب در گیاهان تلقیح‌یافته با *G. versiform* نسبت به سایر گونه‌ها کمتر بود (شکل ۲). کاهش معنی‌دار درصد کلونیزاسیون با افزایش سطح تنش احتمالاً به‌علت کاهش در رشد هیف‌ها بوده است. تأثیر نامطلوب آلودگی خاک به فلز سنگین بر درصد کلونیزاسیون ریشه گیاه گوجه‌فرنگی توسط علیزاده اسکویی و همکاران (۱۳۸۸) نیز گزارش گردیده است.

**شاخص کلروفیل:** نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر مایکوریزا، فسفر و آرسنیک برشاخص کلروفیل معنی‌دار ($P \leq 0/01$) بود (جدول ۲). قارچ مایکوریزا و کاربرد کود فسفر با بهبود جذب عناصر غذایی سبب افزایش میزان کلروفیل در برگ گردید (جدول ۳). بیشترین افزایش مربوط به گیاهان تلقیح‌یافته با قارچ *G. mosseae* (۱۸/۷۵) بود. شایان ذکر است در گلدان‌های تیماریافته با ۲۰۰ میلی‌گرم فسفر نیز افزایش ۷ درصدی شاخص کلروفیل مشاهده گردیدند. Tang و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی خود روی گیاه ذرت مشاهده گردید که مایه‌زنی ذرت با *G. mosseae* سنتز کلروفیل در گیاه را بهبود بخشید و فتوسنتز گیاه را افزایش داد. آنها علت این امر را به افزایش جذب نیتروژن توسط گیاهان میکوریزایی نسبت داده‌اند. موسی‌بیگی و همکاران (۱۳۹۶) در بررسی اثر قارچ میکوریزایی *Pirformospora indican* بر روی گشنیز (*Coriandrum sativum*) دلیل افزایش میزان کلروفیل را همزیستی قارچ میکوریزی و افزایش جذب فسفر از خاک را توسط این قارچ‌ها گزارش کردند. این نتیجه در سال ۱۹۹۹ توسط Tasang و Maum نیز تأیید شده است.

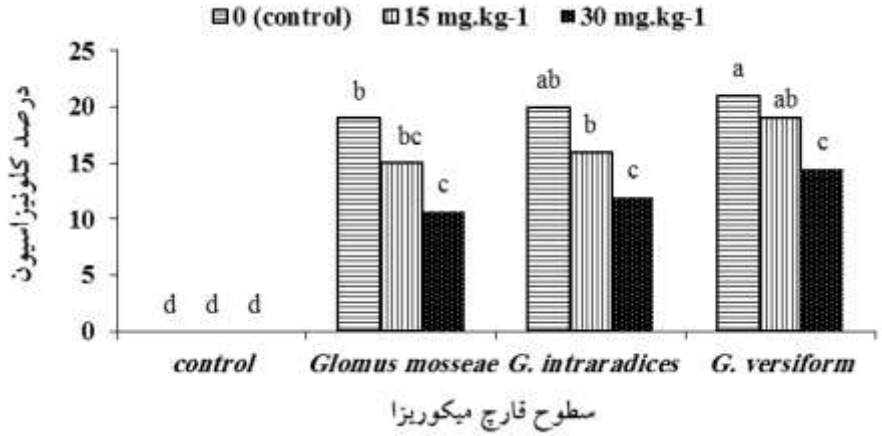
با بررسی مقایسه میانگین‌ها مشخص گردید که تخریب کلروفیل با افزایش سطوح آرسنیک افزایش می‌یابد و خاک آلوده‌شده با ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم آرسنیک حداکثر کاهش (۳۰ درصد) را به‌دنبال داشته است (جدول ۳). تخریب کلروفیل ناشی از آرسنیک امری واضح بوده و ناشی از متوقف‌شدن آنزیم‌ها سنتز رنگدانه‌ها در گیاه و همچنین جایگزین‌شدن یون منیزیم مرکزی با عنصر سنگین است (Prasad and Strazalka, 1999).

**پرولین و کربوهیدرات:** نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر آرسنیک بر پرولین و کربوهیدرات و اثر فسفر تنها بر پرولین معنی‌دار ($P \leq 01$) بود (جدول ۲). نتایج نمونه‌برداری تخریبی شنبلیله نشان می‌دهد در حالیکه کاربرد کود فسفر سبب کاهش ٤ درصدی میزان پرولین گردید در تیمارهای آلوده به آرسنیک با افزایش میزان آلودگی بر تجمع پرولین و کربوهیدرات برگ افزوده می‌شود. در گیاهان رشدیافته در گلدان‌های آلوده تا ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم افزایش پرولین و کربوهیدرات در بافت سبز به‌ترتیب معادل ۵۱ و ٤۹ درصد نسبت به تیمار شاهد بود (جدول ۳). بالارفتن تنظیم‌کننده‌های اسمزی در شرایط تنش جهت برقراری تعادل اسموتیک در گیاه است و بیانگر استراتژی گیاه در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین محسوب می‌شود (Andrade *et al.*, 2009). افزایش میزان کربوهیدرات در خاک آلوده به آرسنیک نیز پیش از این در گلرنگ گزارش شده است (Liu *et al.*, 2012).

**درصد خاکستر:** نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر میکوریزا، فسفر و آرسنیک بر درصد خاکستر گیاه معنی‌دار ($P \leq 0/01$) بود (جدول ۲). کاربرد کود فسفر و تلقیح مایکوریزا با جذب بهتر عناصر غذایی سبب افزایش خاکستر گیاه گردید (جدول ۳). در بررسی گیاهان تلقیح‌یافته مشخص گردید که قارچ مایکوریزای *G. intraradices* و کابرد فسفر، درصد خاکستر را نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی و عدم‌استفاده از فسفر به‌ترتیب ۱۱ و ۸ درصد افزایش داد (جدول ۳). افزایش خاکستر در شرایط تلقیح گیاه با کودهای بیولوژیک و

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.19.9 ]




**شکل ۲- اثر متقابل قارچ میکوریزا و تنش آرسنیک بر درصد کلونیزاسیون شنبلیله. تفاوت حروف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.**

کود فسفر توسط کریمی پاشاکی و همکاران (۱۳۹۱) و مشکانی و همکاران (۱۳۹۲) گزارش گردیده است که بیانگر افزایش مواد معدنی موجود در بافت‌های گیاهی بوده است.

با بررسی مقایسه میانگین اعداد ملاحظه می‌گردد که با افزایش میزان دی‌سدیم آرسنات در خاک درصد خاکستر گیاه کاهش می‌یابد به طوریکه بالاترین سطح آلودگی (۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) موجب کاهش ٤۹ درصدی در صفت مذکور گردید (جدول ۳). در بررسی واکنش درصد خاکستر گیاه به افزایش کارلا مشخص گردید که افزایش میزان جذب آرسنیک با کاهش توانایی گیاه برای جذب سایر عناصر کاهش می‌یابد (یداللهی و همکاران، ۱۳۹۲).

**صفات مرفولوژیکی:** پارامترهای رویشی گیاه شامل وزن تر و خشک شاخساره و ریشه، تعداد برگ در بوته، سطح برگ در بوته، تعداد شاخه جانبی در بوته و طول ریشه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر کاربرد قارچ مایکوریزا، فسفر و سمیت آرسنیک قرار گرفتند (جدول ٤). اثر متقابل دو گانه قارچ مایکوریزا و سمیت آرسنیک بر وزن تر شاخساره و اثر دو گانه فسفر و تنش آرسنیک بر وزن تر و خشک شاخساره و ریشه معنی‌دار گردید (جدول ٤). قارچ مایکوریزا *G. versiform* بوته‌های بزرگتری (وزن تر شاخساره (۱۵/۱۲)، وزن خشک شاخساره (۱/٥٤)، وزن تر ریشه (۲/۱۳)، وزن خشک ریشه (۰/۲٦)، تعداد شاخه فرعی در بوته (۷/۰۳)، سطح برگ در بوته(۳/۸۹)، طول ریشه (۱۹/۳۱)) را در مقایسه با سایر گونه‌های مایکوریزا و عدم‌تلقیح تولید نمود. در تیمارهای کاربرد کود فسفر نیز بهبود وزن تر شاخساره (۱۲ درصد)، وزن تر ریشه (۱۰ درصد)، وزن خشک شاخساره (۱۱ درصد)، وزن خشک ریشه (۱۳ درصد)، سطح برگ (٥٦ درصد)، تعداد برگ (۸ درصد)، تعداد شاخه جانبی (۵ درصد)، طول ریشه (۱۸ درصد) نسبت به تیمار شاهد مشاهده گردید (جدول ۵). مطالعات اخیر در این زمینه نشان می‌دهد نقش قارچ‌های مایکوریزا در جذب فسفر و سایر عناصر سبب بهبود رشد رویشی شنبلیله (فلاح و نظری، ۱۳۹۱)، ریحان (شریفی و همکاران، ۱۳۸۹) و شبدر (Benabdellah *et al.*, 2011) گردیده است.

همچنین آلوده‌کردن خاک با آرسنیک سبب کاهش معنی‌دار تمام پارامترهای رشدی گیاه شد، به طوریکه در میان تیمارهای آلوده کمترین رشد در گیاهان کاشته‌شده با تیمار ۳۰ میلی‌گرم آرسنیک در کیلوگرم خاک مشاهده گردید. براساس نظر محققین افزایش تنش آرسنیک ممکن است باعث تحلیل برگ و ساقه شود (Adriano, 1986). علاوه بر این کاهش ارتفاع بوته و سطح برگ در شرایط تنش آرسنیک ناشی از کاهش تقسیم و گسترش سلولی است (Chen *et al.*, 2007). بنابراین کاهش پارامترهای رشدی در اثر تیمار آرسنیک در مطالعه حاضر را می‌توان به بازدارندگی از تقسیم سلولی منطقه

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14 ]
[ DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.19.9 ]

**جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) خصوصیات رشدی شنبلیله**

| منبع تغییرات | df | میانگین مربعات | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | وزن تر شاخساره | وزن تر ریشه | وزن خشک شاخساره | وزن خشک ریشه | تعداد شاخه فرعی در بوته | سطح برگ در بوته | تعداد برگ در بوته | طول ریشه |
| میکوریزا (A) | ۳ | ۲۳/۸٤ ** | ۰/٤۸ ** | ۰/۲۸ **، | ۰/۰۰۸ ** | ۰/٦۷ ** | ۱/۲۷ * | ۹/۵۳ ** | ۱۸/٦۷** |
| آرسنیک (B) | ۲ | ۹٤/۷٦ ** | ۱/۳٦ ** | ۰/٦۰ ** | ۰/۰۲۱ ** | ۱۳/۱۵ ** | ۲/۹۵ ** | ۸۰/۸۸ ** | ۳۳۱/۵۱** |
| فسفر (C) | ۱ | ٤۷/۲۰ ** | ۰/۷۹ ** | ۰/٤۵ ** | ۰/۰۱۵ ** | ۲/۷٦ ** | ۱۳٤/۲۸ ** | ۵۰/۰۰ ** | ۱۷۷/۳٤** |
| A * B | ٦ | ۲/۰۷ ** | ۰/۰۵ ns | ۰/۰۰۷ ns | ۰/۰۰۰۸ ns | ۰/۲۰ ns | ۰/۰۹ ns | ۱/۳۷ ns | ۲/۸۷ ns |
| A * C | ۳ | ۰/۵٤ ns | ۰/۰٤ ns | ۰/۰۰۹ ns | ۰/۰۰۰۹ ns | ۰/۰٦ ns | ۰/۵۷ ns | ۰/۷٤ ns | ۰/٤۰ ns |
| B * C | ۲ | ۲/۵۲ * | ۰/۳۹ ** | ۰/۱۲ ** | ۰/۰۰۵ ** | ۰/۳۸ ns | ۰/۹۰ ns | ۳/۱٦ ns | ٤/۱۰ ns |
| A * B * C | ٦ | ۰/٤٤ ns | ۰/۰۱ ns | ۰/۰۰۵ ns | ۰/۰۰۰۲ ns | ۰/۰۹ ns | ۰/۰۸۸ ns | ۰/۳۵ ns | ۰/۳۰ ns |
| E | ٤۸ | ۰/۵۹ | ۰/۰۳۲ | ۰/۰۱۰ | ۰/۰۰۰٦ | ۰/۱٤ | ۰/۳۸ | ۱/۲۳ | ۳/۹۳ |
| % CV | - | ۵/٤۸ | ۸/۹٦ | ۷/۰۱۳ | ۹/٦۸ | ۵/۵۳ | ۱۷/۰۳ | ۵/٦٦ | ۱۰/۸٦ |

****، * و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیرمعنی‌دار**

**جدول ۵- مقایسه میانگین خصوصیات رشدی شنبلیله**

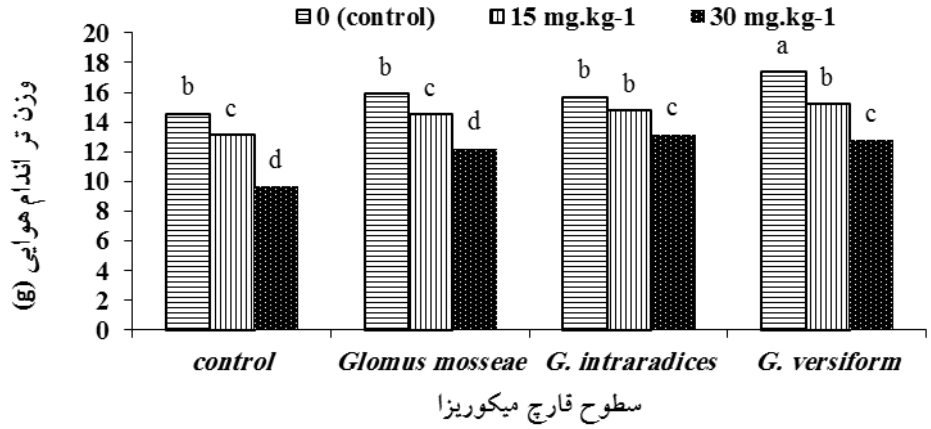
| تیمار | وزن تر شاخساره | وزن تر ریشه | وزن خشک شاخساره | وزن خشک ریشه | تعداد شاخه فرعی در بوته | سطح برگ در بوته ($cm^2$) | تعداد برگ در بوته | طول ریشه (cm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (g) | | | | | | | |
| گونه‌های میکوریزا | | | | | | | | |
| شاهد | ۱۲/٤٦ c | ۱/۷۷ b | ۱/۲۸ b | ۰/۲۲ b | ٦/٦۵ b | ۳/۲۸ b | ۱۸/۷۲ b | ۱٦/۹۵ b |
| *G. mosseae* | ۱٤/۲۱ b | ۲/۰۸a | ۱/٤۹ a | ۰/۲٦ a | ٦/۸٦ ab | ۳/٦٤ ab | ۱۹,۳۸ b | ۱۸/۷٤ a |
| *G. intraradices* | ۱٤/۵٦ b | ۲/۱۰ a | ۱/۵۳ a | ۰/۲٦ a | ۷/۰۸ a | ۳/۷۹ a | ۲۰/۲۷ a | ۱۸/۰۱ ab |
| *G. versiform* | ۱۵/۱۲ a | ۲/۱۳ a | ۱/۵٤ a | ۰/۲٦ a | ۷/۰۳ a | ۳/۸۹ a | ۲۰/۱٦ a | ۱۹/۳۱ a |
| آرسنیک | | | | | | | | |
| شاهد | ۱۵/۸۹ a | ۲/۲۸ a | ۱/٦۳ a | ۰/۲۸ a | ۷/٦۲ a | ٤/۰٤ a | ۲۱/٤۱ a | ۲۱/٤۸ a |
| ۱۵ mg/kg | ۱٤/٤۲ b | ۱/۹۵ b | ۱/٤٤ b | ۰/۲٤ b | ٦/۹۵ b | ۳/۵۵ b | ۱۹/۷۵ b | ۱۹/۰۹ b |
| ۳۰ mg/kg | ۱۱/۹٦ c | ۱/۸۲ c | ۱/۳۱ c | ۰/۲۲ c | ٦/۱۵ c | ۳/۳٦ b | ۱۷/۷۵ c | ۱٤/۱۹ c |
| فسفر | | | | | | | | |
| شاهد | ۱۳/۲۸ b | ۱/۹۱ b | ۱/۳۸ b | ۰/۲۳ b | ٦/۷۱ b | ۲/۲۹ b | ۱۸/۸۰ b | ۱٦/٦۸ b |
| ۲۰۰ mg/kg | ۱٤/۹۰ a | ۲/۱۲ a | ۱/۵٤ a | ۰/۲٦ a | ۷/۱۰ a | ۵/۰۲ a | ۲۰/٤۷ a | ۱۹/۸۲ a |

تفاوت حروف در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.

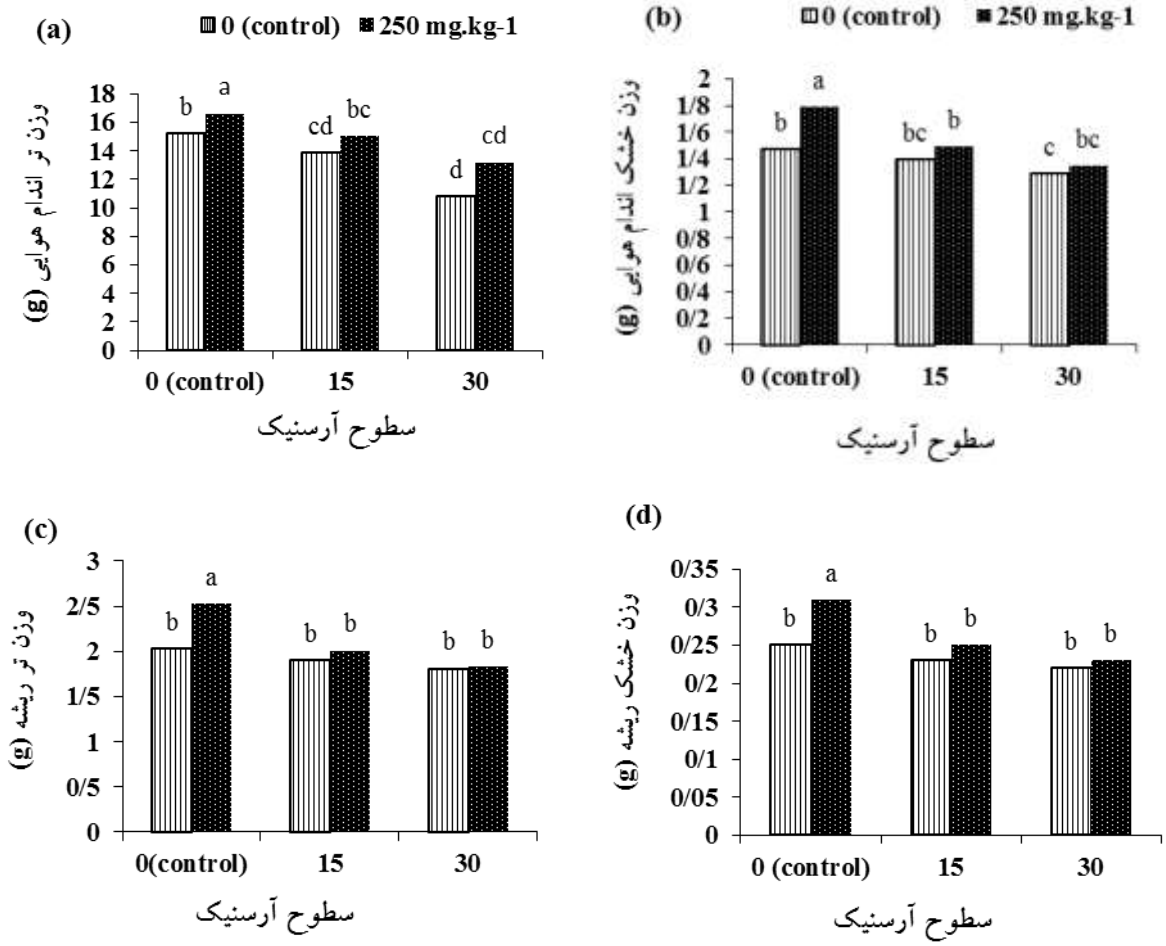
مریستمی و رشد سلول‌های منطقه رشد مرتبط دانست. گزارش‌های موجود در خصوص واکنش خصوصیات رشدی

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.19.9 ]




**شکل ۳- اثر متقابل قارچ میکوریزا و آرسنیک بر وزن تر شاخساره (g). تفاوت حروف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.**




**شکل ٤- اثر متقابل آرسنیک و فسفر بر وزن تر شاخساره (a)، وزن خشک شاخساره (b)، وزن تر ریشه (c) و وزن خشک ریشه (d). تفاوت حروف نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.**

گیاهان نسبت به تنش آرسنیک نتایج مشابهی را نشان می‌دهد (Chen *et al*., 2007; Smith *et al*., 1998).

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.19.9 ]

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که ترکیب تیمارهای تلقیح گونه *G. versiform* و عدم‌مصرف آرسنیک حداکثر وزن تر شاخساره را داشت و در سطوح بالای تنش آرسنیک اختلاف زیادی بین گونه‌ها با سطح شاهد بدون قارچ وجود نداشت این موضوع می‌تواند ناشی از کاهش احتمالی فعالیت میکوریزا در سطح بالای آرسنیک باشد (شکل ۳). در برهمکنش آرسنیک و فسفر نیز بیشترین میزان وزن تر شاخساره در تیمار عدم‌آرسنیک و مصرف ۲۰۰ میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک مشاهده شد (شکل ٤).

## نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که شنبلیله قادر به جذب آرسنیک است. با این حال تجمع آرسنیک در خاک‌های آلوده توسط کاربرد فسفر و همزیستی با گونه‌های مختلف میکوریزا کمتر بود و سبب بهبود رشد گیاه گردید. بنابراین یافته‌های این مطالعه برای ارزیابی پیامدهای سمیت فلز سنگین آرسنیک و راهکارهای تخفیف سمیت آن مفید است.

## سپاسگزاری

این مطالعه در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد و با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه زابل با پژوهانه شماره ۸-۹۵۱۷ انجام گردید.

## منابع

شریفی، م.، محتشمیان، م. ن.، ریاحی، ح.، آقایی، ا. و علوی، س. ن. (۱۳۸۹) اثر قارچ اندومیکوریزایی(*Glomus etunicatum*) بر برخی شاخص‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه ریحان. فصلنامه گیاهان دارویی ۳۸: ۹٤-۸۵.

علیزاده اسکویی، پ.، اصغرزاد، ن. ع.، شریعتمداری، ح.، اصغرزاد، ا. و باغبان سیروس، ش. (۱۳۸۸) تأثیر دو گونه از قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در کاهش سمیت کادمیوم در گیاه گوجه‌فرنگی با سطوح مختلف فسفر. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب) ۲۳: ۲۲۸-۲۱۷.

فلاح، س. و نظری، م. (۱۳۹۱) اثر کاربرد کودهای بیولوژیک و سولفات روی بر رشد و عملکرد گیاه دارویی شنبلیله تحت شرایط تنش خشکی در منطقه شهرکرد. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی ۵: ۱۵۹-۱٤۷.

قمری، ع. و شریعت، آ. (۱۳۹۰) تأثیر قارچ میکوریزا بر جذب و افزایش آرسنیک در گیاه عدس (*Lens culinaris Medike.*). نشریه آب خاک ۲۳: ٤٦-٤٤.

کردوانی، پ. (۱۳۸۱) حفاظت خاک. انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

کریمی پاشاکی، ش.، میرهادی، م. ج.، ربیعی، م. و شهدی کومله، ع. (۱۳۹۱) بررسی اثر سطوح مختلف تنش نیتروژن و فسفر بر عملکرد و صفات کیفی تریتیکاله به عنوان کشت دوم در اراضی شالیزاری گیلان. تولید گیاهان زراعی در شرایط تنش‌های محیطی ٤: ۳۷-۲۷.

مشکانی، م.، آرمین، م. و جامی معینی، م. (۱۳۹۲) بررسی واکنش‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاهان دارویی گاو زبان ( *Borago officinalis* L.) تحت شرایط مصرف کودهای بیولوژیک. فصلنامه اکوفیتوشیمی گیاهان دارویی ۳: ٦۷-۵۷.

موسی‌بیگی، ک.، توحیدی، م.، حاتم‌نیا، ا.، بابایی، آ. و قبولی، م. (۱۳۹٦) تأثیر قارچ میکوریزایی *Pirformospora indican* بر روی رشد و برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاه گشنیز (*Coriandrum sativum*). نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی ٤٦: ۱۰۱-۹.

یداللهی، پ.، اصغری‌پور، م. ح.، باقری، ا.، جباری، ب. و شیخ‌پور، س. (۱۳۹۲) اثر سطوح مختلف سدیم نیتروپروساید و آرسنیک بر خصوصیات کمی گیاه دارویی کارلا (*Momordica charantia* L.). مجله پژوهش‌های به زراعی ۳: ۲۲۵-۲۱۵.

Abo-Kassem, E. M., Sharaf, A. and Mohamed, Y. A. H. (1997) Effect of different cadmium concentration on growth, photosynthesis and ion relation of wheat. Egyptian The Journal of Physiological Sciences 21: 41-5.

Adriano, D. C. (1986) Arsenic: Trace Elements in the Terrestrial Environment. Springer-Verlag, New York.

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.19.9 ]

Amiri, Z., Asgharipour, M. R., Campbell, D. E. and Armin, M. (2019) A sustainability analysis of two rapeseed farming ecosystems in Khorramabad, Iran, based on emergy and economic analyses. Journal of Cleaner Production, 226: 1051-1066.

Andrade, S. A., Gratao, P. L., Schiavinato, M. A., Silveira, A. P., Azevedo, R. A. and Mazzafera, P. (2009) Zn uptake, physiological response and stress attenuation in mycorrhizal jack bean growing in soil with increasing Zn concentrations. Chemosphere 75: 1363-1370.

Armin, M. and Asghripour, M. (2011) Effect of plant density on wild oat competition with competitive and non-competitive wheat cultivars. Agricultural Sciences in China 10: 1554-1561.

Baroni, F., Boscagli, A., Protano, G. and Riccobono, F. (2000) Antimony accumulation in *Achillea ageratum*, *Plantago lanceolata* and *Silene vulgaris* growing in an old Sb-mining area. Environmental Pollution 109: 347-352.

Bates, L. S., Waldern, R. P. and Teave, I. D. (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil 39: 205-107.

Benabdellah, K., Abbas, Y., Abourouh, M., Aroca, R. and Azcon, R. (2011) Influence of two bacterial isolates from degraded and non-degraded soils and arbuscular mycorrhizae fungi isolated from semi-arid zone on the growth of *Trifolium repens* under drought conditions: Mechanisms related to bacterial effectiveness. European Journal of Soil Biology 47: 303-309.

Chen, B., Xiao, X., Zhu, Y. G., Smith, F. A., Xie, Z. M. and Smith, S. E. (2007) The arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* gives contradictory effects on phosphorus and arsenic acquisition by *Medicago sativa* L. Science of Total Environment 379: 226-234.

Dalpe, Y. (1993) Vesicular-Arbuscular mycorrhiza. In: Soil Sampling and Methods of Analysis (ed. Carter, M. R.) Pp. 287-301. Lewis Publishers.

Ekelof, J. (2007) Potato yield and tuber set as affected by phosphorus fertilization. Master Thesis, Saint Louis University, Madrid, Spain.

Gaur, A., Adholeya, A. and Mukergi, K. G. (2000) On farm production of VAM inoculum and vegetable crops in marginal soil amended with organic matter. Tropical Agriculture. (Trinidad) 77: 21-26.

Gonzalez-Chavez, C., Harris, P. J., Dodd, J. and Meharg, A. A. (2002) Arbuscular mycorrhizal fungi enhanced arsenate resistance on *Holcus lanatus*. New Phytolologist 155: 163-171.

Jafari, M., Asgharipour, M. R., Ramroudi, M., Galavi, M. and Hadarbadi, G. (2018) Sustainability assessment of date and pistachio agricultural systems using energy, emergy and economic approaches. Journal of Cleaner Production 193: 642-651.

Liao, X. Y., Chen, T. B., Xie, H. and Xiao, X. Y. (2004) Effect of application of P fertilizer on efficiency of As removal from As contaminated soil using phytoremediation: Field study. Acta Scientia Circumstantiae 3: 455-462.

Liu, Q. J., Zheng, C. M., Hu, C. X., Tan, Q. L., Sun, X. C. and Su, J. J. (2012) Effects of high concentrations of soil arsenic on the growth of *Lactuca sativa* L. Plant Soil Environmental 58: 22-27.

Liu, Y., Zhu, Y. G., Chen, P., Christie, P. and Li, X. L. (2005) Yield and arsenate uptake of arbuscular mycorrhizal tomato colonized by *Glomus mosseae* BEG167 in As spiked soil under glasshouse conditions. Environmental, International 31: 867-873.

Obata, H. and Umebayashi, M. (1997) Effects of arsenic on mineral nutrient concentrations in plants differing in tolerance for cadmium. Journal of Plant Nutrition 20: 97-105.

Ouariti, O., Gouia, H. and Ghorbal, M. H. (1997) Responses of bean and tomato plants to cadmium: Growth, mineral nutrition, and nitrate reduction. Plant Physiology and Biochemistry 35: 347-354.

Padash, A., Ghanbari, A., Asgharipour, M. R. and Ali, M. (2019) Changes in antioxidant enzymes activity and physiological traits by exogenous salicylic acid in basil (*Ocimum basilicum*) under Pb stress. Journal of Plant Process and Function 7: 18-24.

Pettersson, O. (1976) Heavy metal ion uptake by plants from nutrient solutions with metal ion, plant species and growth period variations. Plant and Soil 45: 445-449.

Prasad, M. and Strazalka, K. (1999) Impact of heavy metals on photosynthesis. Journal Experimental Botany 41: 314-320.

Schlegel, H. G. (1956) Die verwertung organischer sauren durch chlorella im licht. Planta 47: 510-515.

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 Assessment 135: 465-473.

Smith, E., Naidu, R. and Alston, A. M. (1998) Arsenic in the soil environment: A review. Advances in Agronomy 64: 149-195.

Smith, S. E. and Read, D. J. (2008) Mycorrhizal Symbiosis. 2nd Ed. Elsevier.

Talukder, A., Meisner, C. A., Sarkar, M. A. P. and Islam, M. S. (2010) Effect of water management, tillage options and phosphorous status on arsenic uptake in rice. Ecotoxicology and Environ Safety 40: 193-200.

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.19.9 ]

Tang, M., Chen, H., Huang, J. C. and Tian, V. (2009) Arbuscular mycorrhiza fungi effects on the growth and physiology of (*Zea mays* L.) seedlings under diesel stress. Soil Biology Biochemistry 41: 936-940.

Tasang, A. and Maum, M. A. (1999) Mycorrhizal increase salt tolerance of *Strophostyles helvola* in Coastal Foredunes, Canada. Plant Ecology 144: 159-166.

Tavasoli, A. R. and Aliasgharzade, N. (2009) Effect of arbuscular mycorrhizal on nutrient uptake and onion yield in a saline soil at field conditions. Water and Soil 35: 158-162.

Tu, C., Ma, L. Q. and Bondada, B. (2003) Arsenic accumulation in the hyper accumulator Chinese Brake and its utilization potential for phytoremediation. Environmental Quality 31: 1671-1675.

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.19.9 ]

# Effect of mycorrhizal inoculation and phosphorus fertilizer on morphological and physiological traits of fenugreek (Trigonella foenum-graecum L) in arsenic contaminated soil

**Madine Bijhani[1], Mohammad Reza Asgharipour[2*] and Alireza Sirousmehr[2]**

**[1] Department of Agronomy, College of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran**
**[2] Department of Agronomy, College of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran**
**(Received: 02/08/2018, Accepted: 27/11/2018)**

## Abstract

The aim of this study was to investigate the effect of mycorrhizal species and phosphorus on fenugreek in soils contaminated with heavy metals. The first factor was four levels of mycorrhiza (*Glomus mosseae*, *G. intradices*, *G. versiform* and non-application), the second factor was the three levels of arsenic (0, 15 and 30 mg $kg^{-1}$ soil), and the third factor was two levels of phosphorus (0 and 200 mg $kg^{-1}$ soil). In this study, arsenic toxicity was studied on vegetative growth, arsenic accumulation in shoots, leaf phosphorus, proline, carbohydrate, chlorophyll index, as well as root colonization percent. Arsenic addition significantly reduced vegetative traits, chlorophyll index and root colonization percent. The highest level of contamination resulted in an increase of 95,99, 33 and 32% of arsenic in shoots, in roots, proline and carbohydrates compared to the control. Also, application of mycorrhiza and phosphorus also had a significant effect on the other traits except the percentage of colonization. The interaction between arsenic and mycorrhiza on fresh weight of shoots, colonization percentage and shoot arsenic accumulation and interaction of arsenic and phosphorus on shoot fresh and dry weight, fresh and dry weight of roots and arsenic accumulation in shoots were significant. In response to the destructive effects of arsenic *G. intradices*, with 18% reduction in arsenic accumulation, was better than other species. This experiment showed that mycorrhiza and phosphorus had a moderating effect on the negative effects of arsenic toxicity on traits and could be effective in reducing the negative effects of arsenic stress by improving vegetative growth.

**Keywords:** Osmotic regulators, Heavy metal stress, Vegetative indices, Biofertilizer

Corresponding author, Email: m_asgharipour@uoz.ac.ir

[ Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-14 ]

[ DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.33.19.9 ]