

## تأثیر آلودگی عناصر سنگین خاک اطراف پالایشگاه بر ویژگی‌های رشد، فتوسنتز

و پرولین گیاه *Vigna radiata* L.عصمت لجم اورک رمه چری<sup>۱</sup>، نظام آرمند<sup>۲\*</sup>، شکوفه حاجی هاشمی<sup>۲</sup> و ستار سلطانیان<sup>۱</sup><sup>۱</sup> ایران، بهبهان، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیا (ص)، گروه محیط زیست<sup>۲</sup> ایران، بهبهان، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیا (ص)، گروه زیست‌شناسی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۲۵

## چکیده

به منظور بررسی تأثیر تنش فلزات سنگین موجود در خاک اطراف پالایشگاه گازی بیدبلند<sup>۱</sup> بر خصوصیات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه ماش، آزمایش گلدانی در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار انجام شد. نمونه برداری از خاک در سه ایستگاه به مرکزیت پالایشگاه و به فواصل ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ متر و یک منطقه دور از پالایشگاه (خاک شاهد و فاقد آلودگی فلزات سنگین) صورت گرفت. بذرهاى ماش در خاک شاهد و سه سطح خاک آلوده با عناصر سنگین کشت شدند. نتایج آنالیز خاک حاکی از آلوده بودن خاک اطراف پالایشگاه به عناصر کادمیم، کروم، سرب، وانادیم، جیوه و آرسنیک بود که میزان آلودگی با افزایش فاصله از پالایشگاه کاهش یافت. همچنین نتایج، تغییرات معنی داری را در میزان رشد و صفات فتوسنتزی گیاه ماش در پاسخ به آلودگی عناصر سنگین خاک نشان داد. آلودگی خاک با فلزات سنگین میزان کلروفیل های a و b، کلروفیل کل، کاروتنوئیدها، فتوسنتز خالص، عملکرد کوانتوم شیمیایی فتوسیستم ها (PI<sub>ABS</sub>)، CO<sub>2</sub> بین سلولی، تعرق و کارایی مصرف آب را در سطح معنی داری کاهش داد. بیشترین و کمترین میزان کاهش در پارامترهای فتوسنتزی به ترتیب در خاک های جمع آوری شده از فواصل ۵۰۰ و ۱۵۰۰ متر به پالایشگاه در مقایسه با خاک شاهد ملاحظه شد. میزان پرولین در پاسخ به آلودگی خاک با فلزات سنگین در سطح معنی داری افزایش یافت که در تنظیم اسمزی و حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن در پاسخ به تنش‌های محیطی نقش دارد. با توجه به نتایج این تحقیق و اثرات منفی فلزات سنگین بر رشد و فتوسنتز گیاه ماش، پیشنهاد می‌شود که از کشت گیاهان زراعی در زمین‌های کشاورزی اطراف پالایشگاه گاز خودداری شود.

واژه‌های کلیدی: آلاینده، زیست محیطی، حبوبات، رشد، فتوسنتز

\* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۶۱۵۲۲۲۲۱۱۹، پست الکترونیکی: armandnezam@yahoo.com

## مقدمه

مبدل ساخته است (۲۱). منابع مختلف شامل صنایع، فاضلاب شهری و مواد سوختی و همچنین استفاده از کودهای شیمیایی، مخصوصاً کودهای فسفاته، مقدار و غلظت این عناصر را در خاک افزایش می‌دهند (۳۲). فلزات سنگین از آلاینده‌های پایدار غیرقابل تجزیه بیولوژیکی هستند که می‌توانند در محیط زیست به آب و خاک وارد شوند و از آنجا جذب گیاه شوند و بدین ترتیب

عناصر سنگین از مهم‌ترین آلاینده‌های زیست محیطی محسوب می‌شوند که سمیت آنها به دلایل بوم‌شناختی، تکاملی، تغذیه‌ای و محیطی مشکل بزرگی به شمار می‌رود (۱۹). معضل اصلی مربوط به فلزات سنگین آن است که این آلاینده‌های غیرآلی بر خلاف آلاینده‌های آلی، تجزیه پذیر نمی‌باشند. این واقعیت، فلزات سنگین را به یکی از خطرناکترین گروه آلاینده‌های زیست محیطی

درون سلولی مانند غشاءها و نقش آنتی‌اکسیدانی افزایش می‌دهد (۴۳).

حبوبات به دلیل دارا بودن برخی ویژگی‌های غذایی و زراعی قابل ملاحظه، جایگاه ویژه‌ای در صنعت کشاورزی در کشورهای در حال توسعه دارند (۲). ماش گیاهی است که به علت دوره رشد و نمو کوتاه، قابلیت تثبیت نیتروژن هوا، تقویت زمین و جلوگیری از فرسایش خاک بر سایر گیاهان به منظور کشت دوم، برتری دارد. دانه ماش به واسطه داشتن ۲۵ درصد پروتئین و ۳۴۰ کالری انرژی که از مصرف ۱۰۰ گرم دانه خشک آن حاصل می‌شود، از منابع مهم تأمین کننده پروتئین گیاهی برای انسان به شمار می‌رود (۳). در مناطق با دوره رشد کوتاه، ماش به عنوان گیاه فی مابین گیاهان زراعی اصلی مانند کشت ماش در خوزستان بین گندم زمستانه و ذرت تابستانه، قابل استفاده است (۱).

در استان خوزستان به لحاظ وجود منابع سرشار نفت، گاز و توسعه روز افزون صنایع مختلف از جمله صنایع پالایشگاه، موجب بروز مشکلات متنوعی در اکثر جنبه‌های زیست محیطی از قبیل افزایش آلودگی هوا، آب و خاک شده است. پالایشگاه گازی بید بلند بهبهان با توجه به آلودگی‌های هوا و آلاینده‌های خروجی (بطور مثال پساب) آن، احتمال انتشار گسترده‌ی آلودگی به محیط زیست را دارد. با توجه به وجود اراضی کشاورزی (کشت محصولاتی مانند گندم، کنجد، ماش، لوبیا، ذرت و غیره)، مناطق روستایی، عشایری و شهری در اطراف پالایشگاه گاز و تأثیرات زیست محیطی، اکولوژیکی و زیست‌شناختی ناشی از آلودگی فلزات سنگین در منطقه مورد نظر، تحقیق حاضر انجام شد. با توجه به خطرات ناشی از انتقال عناصر سنگین از خاک آلوده به گیاه و سپس ورود آن به چرخه غذایی انسان و عدم وجود گزارش در این زمینه، انجام تحقیق حاضر بر روی آلودگی فلزات سنگین خاک حومه پالایشگاه بید بلند ۱ بر روی گیاه ماش مهم است. لذا هدف از این تحقیق، بررسی غلظت عناصر سنگین خاک و همچنین تأثیرات این فلزات

وارد زنجیره غذایی می‌شوند. برای هرکدام از فلزات سنگین، حد مشخصی تعیین شده است که بالاتر از آن می‌تواند سمی و خطرناک باشد. در واقع به علت پایداری زیست محیطی فلزات سنگین و نیز افزایش استفاده از این مواد، امروزه مشکل آلودگی حاصل از آن‌ها به یکی از مهمترین معضلات زیست محیطی بشر تبدیل شده است (۴۵).

در مطالعه‌ی، اثر ترکیبات فلزات سنگین مس و منگنز، مس و سرب، کادمیم و منگنز، و کادمیم و سرب بر روی رشد و جوانه زنی بادیان، زیره سیاه و رازیانه مورد بررسی قرار گرفت که نتایج حاکی از کاهش جوانه زنی بذرها و رشد اولیه ریشه‌ها تحت تأثیر عناصر سنگین بود (۲۰). همچنین کاهش رشد گیاهان تحت تأثیر تیمارهای ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر کروم و کادمیم و غلظت‌های ۲۰ میلی‌گرم بر لیتر مس و نیکل و غلظت‌های بالاتر گزارش شد (۳۰). تنش عناصر سنگین به طور عمده از طریق کاهش سنتز کلروفیل اثر مستقیمی بر فتوسنتز دارد (۴۱). کاهش رنگیزه‌ها به واسطه افزایش تولید رادیکالهای آزاد اکسیژن است که این رادیکالهای آزاد باعث پراکسیداسیون و در نتیجه تجزیه کلروفیل می‌شود (۳۴). مطالعات حاکی از کاهش فتوسنتز در گیاهان تیمار شده با سرب می‌باشد که ناشی از تخریب فرا ساختار کلروپلاست، جلوگیری از سنتز کلروفیل، پلاستوکوئینون و کارتنوئیدها، ممانعت از انتقال الکترون و جلوگیری از فعالیت آنزیمهای چرخه کالوین است. فلزات سنگین با ایجاد اختلال در جذب عناصر ضروری مثل منیزیم و آهن مانع از سنتز کلروفیل می‌شوند (۳۶). پرولین یکی از ترکیبات مهم سیستم دفاعی گیاهان در شرایط تنش می‌باشد و به مقدار زیادی در گیاهان آلی دیده می‌شود. تجمع پرولین یکی از پاسخ‌های گیاهان به تنش فلزات سنگین است که در افزایش مقاومت گیاهان به تنش نقش دارد (۱۵). پرولین تحمل گیاهان به تنش را از طریق مکانیسم‌هایی مانند تنظیم اسمزی، حفاظت از آنزیم‌ها و پروتئین‌ها، تثبیت ساختارهای

بر میزان رشد گیاه، فتوستتزی، رنگیزه های فتوستتزی و محتوی پرولین گیاه ماش بود.

## مواد و روشها

پالایشگاه گاز بیدبلند ۱ در ۳۲ کیلومتری غرب بهبهان و ۴۰ کیلومتری شمال آغاچری در استان خوزستان واقع شده است. برای سنجش میزان فلزات سنگین در خاک محدوده پالایشگاه، از خاکهای سمت غرب پالایشگاه در سه ایستگاه به فواصل ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ متر از پالایشگاه به علاوه یک ایستگاه شاهد در مزرعه ای با فاصله ی دور از پالایشگاه که فاقد آلودگی فلزات سنگین بود جمع آوری شد. نمونه های خاک تا عمق ۳۰ سانتی متری برداشت و بعد از حذف سنگهای بزرگ و سایر مواد خارجی، در کیسه های پلاستیکی قرار داده شدند. نمونه خاک ها جهت سنجش مقدار و نوع فلزات سنگین، با استفاده از دستگاه ICP (Inductively ) آنالیز (Australia- Spectra AA 220) coupled plasma شدند. نتایج در جدول ۱ آورده شد. بر اساس نتایج آنالیز عناصر، خاک جمع آوری شده از مزرعه دور از پالایشگاه فاقد فلزات سنگین بود و به عنوان خاک شاهد در نظر گرفته شد.

به منظور بررسی اثرات عناصر سنگین بر ویژگی های فتوستتزی گیاه ماش (رقم مهر)، آزمایش گلدانی در آذرماه ۱۳۹۵ در آزمایشگاه زیست شناسی دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان طراحی شد. آزمایش بصورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در ۴ تکرار انجام گرفت. از هر نوع خاک ۴ گلدان آماده شد. بذر ماش رقم مهر از مرکز تحقیقات صفی آباد دزفول تهیه و با هیپوکلریت سدیم ۲۰٪ به مدت ۲۰ دقیقه استریل شدند و سپس با آب مقطر استریل چندین بار شستشو داده شدند. سپس بذرهای استریل به تعداد ۱۵ عدد داخل هر پتری دیش حاوی کاغذ صافی قرار داده شدند و ۱۵ میلی لیتر آب مقطر به پتری دیشها اضافه شد. پتری ها به اتاقک رشد با شرایط دمایی ۱۸ درجه سانتیگراد و دوره نوری ۱۶ ساعت و دمایی ۱۶ درجه و ۸ ساعت تاریکی با شدت ۱۵۰ میکرومول فوتون بر

متر در ثانیه انتقال داده شدند. پس از جوانه زنی بذرها، تعداد ۸ عدد بذر جوانه زده تقریباً یکسان به هر گلدان منتقل شدند. گلدان ها به اتاقک رشد با دوره نوری ۱۴ ساعت روشنایی شدت ۱۵۰ میکرومول فوتون بر متر در ثانیه و ۱۰ ساعت تاریکی و میانگین دمای ۲۲ درجه در روز و ۲۰ درجه در شب منتقل شدند. در مرحله سه برگی، تعداد گیاهان هر گلدان به ۴ گیاه با ظاهر تقریباً یکسان تنک شد. آبیاری گلدانها به مدت یک ماه بصورت هر ۴ روز یک بار با آب مقطر صورت گرفت. پس از یک ماه گیاهان به منظور انجام آنالیزها برداشت شدند.

**آنالیز شاخص های رشد:** به منظور مطالعه تغییرات مورفولوژیکی گیاه ماش در پاسخ به آلودگی فلزات سنگین، طول ساقه، طول ریشه اصلی، سطح برگ، وزن تر و خشک ساقه، ریشه و برگ در ۴ گیاه از ۴ گلدان مختلف اندازه‌گیری شدند. جهت اندازه‌گیری سطح برگ گیاهان از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ Portable Leaf Area Meter (Korea Tech, Korea) استفاده شد. برای به دست آوردن نتایج این آزمایش، از ۴ گیاه و از هر گیاه سطح همه برگ‌های آن اندازه‌گیری شد. پس از برداشت گیاهان، اندازه‌های هوایی و ریشه از یکدیگر تفکیک شدند و وزن تر ساقه، ریشه و برگ ۴ گیاه اندازه‌گیری شد. سپس قطر و حجم ریشه‌ها اندازه‌گیری شدند. به منظور اندازه‌گیری وزن خشک، ساقه، برگ و ریشه به طور جداگانه در آون ۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفتند و سپس وزن آن‌ها با ترازوی AND مدل GT-300 ساخت کشور چین با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم تعیین شد.

**سنجش رنگیزه های فتوستتزی:** برای سنجش میزان کلروفیل ها و کاروتنوئیدها از روش Lichtentaler (۱۹۸۷) استفاده شد (۲۶). ابتدا ۱/ گرم برگ با ۴ میلی لیتر استن ۸۰٪ در هاون چینی ساییده شد و سپس محلول حاصل به مدت ۵ دقیقه در ۳۰۰۰ دور سانتیفرود شد و جهت تعیین میزان کلروفیل ها و کاروتنوئیدها، جذب محلول رویی توسط اسپکتروفتومتر ( Model SPEKOL 2000, Analyticjena, Germany) در طول موج های ۶۴۷، ۶۶۴ و ۴۷۰ نانومتر

ذکر شده، به منظور رعایت شریط استاندارد برای تمامی تیمارها، شرایط محیطی اتاقک رشد تنظیم و یکسان شد.

**سنجش میزان پرولین:** برای استخراج و سنجش پرولین از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) استفاده شد (۱۳). بدین منظور ۰٫۲ گرم از بافت برگ در ۴ میلی لیتر اسید سالفوسالیسیلیک آبدار ۳ درصد کاملاً سائیده شده تا همگن شود. سپس عصاره برای سنجش پرولین استفاده شد. ۲ میلی لیتر از عصاره و ۲ میلی لیتر نین هیدرین با ۲ میلی لیتر اسید استیک گلاسیال مخلوط شدند و نمونه‌ها به مدت یک ساعت در حمام آب داغ قرار گرفتند. سپس به نمونه‌ها ۴ میلی لیتر تولونن افزوده شد و به مدت ۳۰ ثانیه به شدت مخلوط شدند. پس از مدت ۲۰ دقیقه جذب نوری محلول رنگی فوقانی در طول موج ۵۲۰ نانومتر به وسیله دستگاه اسپکتروفوتومتر خوانده شد و با استفاده از منحنی استاندارد، غلظت پرولین در محلول محاسبه شد.

**تجزیه و تحلیل آماری:** آنالیزهای آماری به وسیله نرم افزار IBM SPSS STATISTICS انجام شد و ترسیم نمودارها به وسیله نرم افزار Excell انجام شد. به منظور تعیین سطح معنی داری کلیه پارامترها از در اثر تنش فلزات سنگین از آنالیز واریانس (ANOVA) استفاده شد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن با یکدیگر مقایسه شدند.

### نتایج

**آنالیز عناصر سنگین خاک:** نتایج آنالیز ICP خاک در جدول ۱ مشاهده می‌شود. بیشترین مقدار میانگین فلز، برای کروم ثبت شد و بیشترین ضریب تغییرات مربوط به آرسنیک و وانادیم می باشد. در هر صورت، میانگین غلظت فلزات سنگین در نمونه های خاک منطقه از روند کاهشی  $Cr > Hg > Pb > V > As > Cd$  تبعیت می کنند. لازم به ذکر است که خاک شاهد فاقد عناصر سنگین بود. مقایسه نتایج با محدوده استاندارد جهانی شیل و میانگین خاک

قرائت شد. میزان کلروفیل های a و b، میزان کل کلروفیل و کارتنوئیدها از طریق معادله های زیر محاسبه شد (۲۶).

$$\text{معادله (۱)} \quad \text{Chla} = 12/25(A_{664}) - 2/79(A_{647})$$

$$\text{معادله (۲)} \quad \text{Chlb} = 21/21(A_{647}) - 5/1(A_{664})$$

$$\text{معادله (۳)}$$

$$\text{Carotenoide} = (1000 A_{470} - 1/8 \text{Chl}_a - 85/02 \text{Chl}_b) / 198$$

$$\text{معادله (۴)} \quad \text{Chl}_T = \text{Chl}_a + \text{Chl}_b$$

**اندازه گیری عملکرد فتوسیستم ها:** سنجش عملکرد فتوسیستم II بوسیله دستگاه Chlorophyll Fluorimeter (Pocket PEA, Hansatech Instruments Ltd., England) تعیین شد. بدین منظور، ابتدا گلدها به مدت ۲۰ دقیقه در تاریکی انکوبه شدند. سپس برگ های دوم و سوم هر گیاه انتخاب شدند و برای سنجش عملکرد فتوسیستم II نسبت FV (تفاوت حداکثر فلئورسانس با حداقل فلئورسانس [Fm - F0]) به Fm (حداکثر فلئورسانس) توسط دستگاه اندازه گیری شد. نسبت Fv/Fm و PI<sub>ABS</sub> به ترتیب نشانگر عملکرد فتوسیستم II و هر دو فتوسیستم I و II هستند (۴۸).

$$F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$$

$$PI_{ABS} = \frac{1 - (F_0/F_m)}{M_0/V_f} \times \frac{F_m - F_0}{F_0} \times \frac{1 - V_f}{V_f}$$

اندازه گیری سایر شاخص های فتوسنتزی: تعیین میزان فتوسنتز خالص (PN) net photosynthetic rate CO<sub>2</sub> درون سلولی (intercellular CO<sub>2</sub> concentration)، رطوبت برگ (leaf moisture (LM)، تعرق (E) transpiration rate و کارایی مصرف آب (water use efficiency (WUE) بوسیله دستگاه فتوسنتز متر (KR8700 system; Korea Tech Inc., Korea) برای اندازه گیری از برگ های سالم و توسعه یافته (برگ های دوم و سوم در هر گیاه) استفاده شد. در زمان اندازه گیری صفات

به نزدیکترین فاصله نمونه برداری یعنی شعاع ۵۰۰ متری از پالایشگاه و کمترین میزان هم مربوط به منطقه ای بود که در شعاع ۱۵۰۰ متر از پالایشگاه واقع شده بود. بنابراین پالایشگاه می‌تواند عامل اصلی در الگوی پراکنش این عناصر باشد.

جهانی حاکی از بالا بودن میزان دو عنصر کادمیم و جیوه نسبت به استاندارد بود و غلظت سایر عناصر سنگین در منطقه مورد مطالعه کمتر از حد استاندارد بود. غلظت عناصر با افزایش فاصله از پالایشگاه از یک روند کاهشی پیروی می‌کردند. داده‌ها نشان داد که بالاترین میزان عناصر مربوط

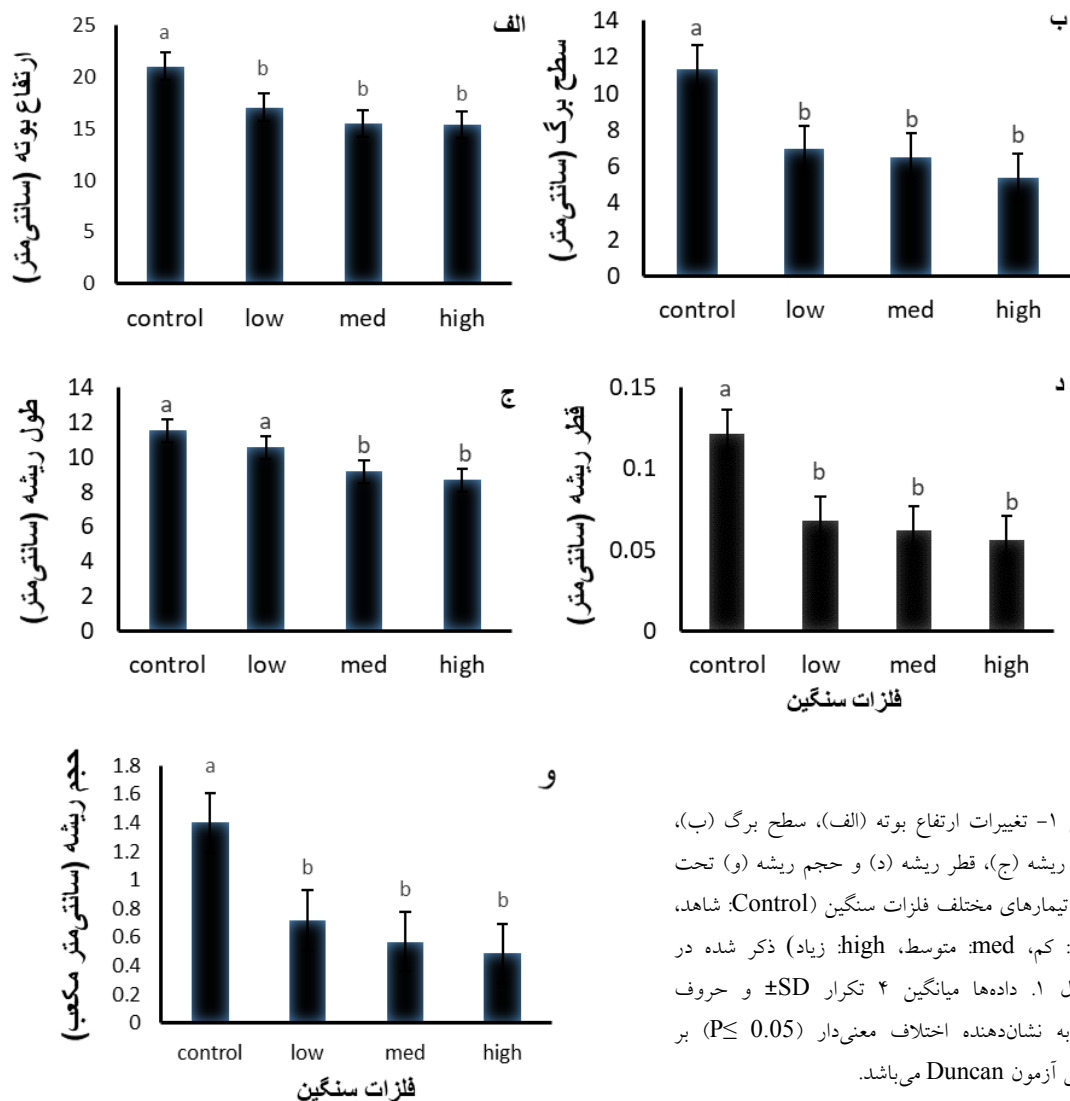
جدول ۱- عناصر سنگین خاک منطقه و مقایسه آن با استانداردها

فلزات سنگین خاک ( $mg\ Kg^{-1}$ )	مناطق نمونه برداری از خاک				استاندارد جهانی شیل	میانگین جهانی خاک
	شاهد	منطقه آلودگی شدید (۵۰۰ متر)	منطقه آلودگی متوسط (۱۰۰۰ متر)	منطقه آلودگی کم (۱۵۰۰ متر)		
Hg) جیوه	0d	1.95a	1.19b	0.82c	0.07	0.13
(V) وانادیم	0d	1.88a	0.42b	0.36c	130	60
(Cr) کروم	0d	1.85a	1.79b	1.24c	90	42
(As) آرسنیک	0d	1.91a	0.51b	0.31c	13	6.83
(Pb) سرب	0d	1.85a	1.19b	0.75c	20	27
(Cd) کادمیم	0d	0.93a	0.81b	0.61c	0.22	1.1

خاک با فلزات سنگین سبب کاهش معنی دار صفت مذکور شد (شکل ۱ ج). قطر ریشه کاهش معنی داری ( $P < 0.05$ ) در پاسخ به آلودگی خاک نشان داد و بیشترین و کمترین میزان قطر ریشه به ترتیب مربوط به گیاهان شاهد و گیاهان کشت شده در خاک با آلودگی بالا بودند (شکل ۱ د). نتایج آنالیز نشان داد که آلودگی فلزات سنگین تاثیر معنی داری ( $P < 0.05$ ) بر حجم ریشه داشت و تمام سطوح آلودگی خاک با فلزات سنگین سبب کاهش معنی دار صفت مذکور شدند (شکل ۱ و).

آلودگی فلزات سنگین در خاک سبب کاهش معنی دار ( $P < 0.05$ ) وزن تر و خشک ساقه شد (شکل ۲ الف و ب). گیاهان شاهد بیشترین میزان وزن تر و خشک ساقه را نشان دادند، درحالیکه کم‌ترین میزان صفات مذکور مربوط به سطح شدید آلودگی فلزات سنگین بود. وزن تر و خشک برگ تحت تاثیر آلودگی خاک قرار گرفت و میزان صفات مذکور کاهش معنی داری ( $P < 0.05$ ) را در آلودگی متوسط و زیاد خاک نشان دادند.

**آنالیز شاخص های رشد:** نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که آلودگی فلزات سنگین خاک تاثیر معنی داری بر ارتفاع گیاه ماش داشت و ارتفاع بوته در گیاهان کشت شده در خاک های آلوده نسبت به گیاه شاهد کاهش معنی داری ( $P < 0.05$ ) را نشان داد، ولی طول گیاه در بین سطوح مختلف آلودگی تفاوت معنی داری را نشان نداد (شکل ۱ الف). آلودگی خاک با فلزات سنگین سبب کاهش معنی دار ( $P < 0.05$ ) سطح برگ گیاهان شد و میزان این صفت در گیاهان کشت شده در خاک‌های با آلودگی کم، متوسط و زیاد تفاوت معنی داری با یکدیگر نداشتند (شکل ۱ ب). بیشترین میزان سطح برگ در گیاهان کشت شده در خاک شاهد مشاهده شد و کم‌ترین میزان سطح برگ مربوط به بالاترین سطح آلودگی فلزات سنگین بود. میزان کاهش سطح برگ در گیاهان کشت شده در خاک با آلودگی کم، متوسط و زیاد نسبت به گیاهان شاهد به ترتیب ۳۹٪، ۴۳٪ و ۵۲٪ بود. نتایج آنالیز ریشه نشان داد که آلودگی کم فلزات سنگین تاثیر معنی داری ( $P < 0.05$ ) بر میزان طول ریشه نداشت، درحالیکه سطوح آلودگی متوسط و زیاد



شکل ۱- تغییرات ارتفاع بوته (الف)، سطح برگ (ب)، طول ریشه (ج)، قطر ریشه (د) و حجم ریشه (و) تحت تاثیر تیمارهای مختلف فلزات سنگین (Control: شاهد، low: کم، med: متوسط، high: زیاد) ذکر شده در جدول ۱. داده‌ها میانگین ۴ تکرار  $\pm$ SD و حروف نامشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ( $P \leq 0.05$ ) بر اساس آزمون Duncan می‌باشد.

معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) را نشان ندادند و میزان آن در تمام سطوح تقریباً یکسان بود (شکل ۲ و ۳).

رنگی‌های فتوسنتزی: نتایج نشان داد که آلودگی فلزات سنگین در خاک، تاثیر معنی‌داری بر میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها در گیاه ماش داشت (شکل ۱ الف، ب، ج و د). مقایسه میانگین داده‌ها در اثرات سطوح مختلف آلودگی فلزات سنگین نشان داد که بیشترین میزان این صفات مربوط به گیاهان کشت شده در خاک شاهد بود که در خاک‌های با سطوح آلودگی کم،

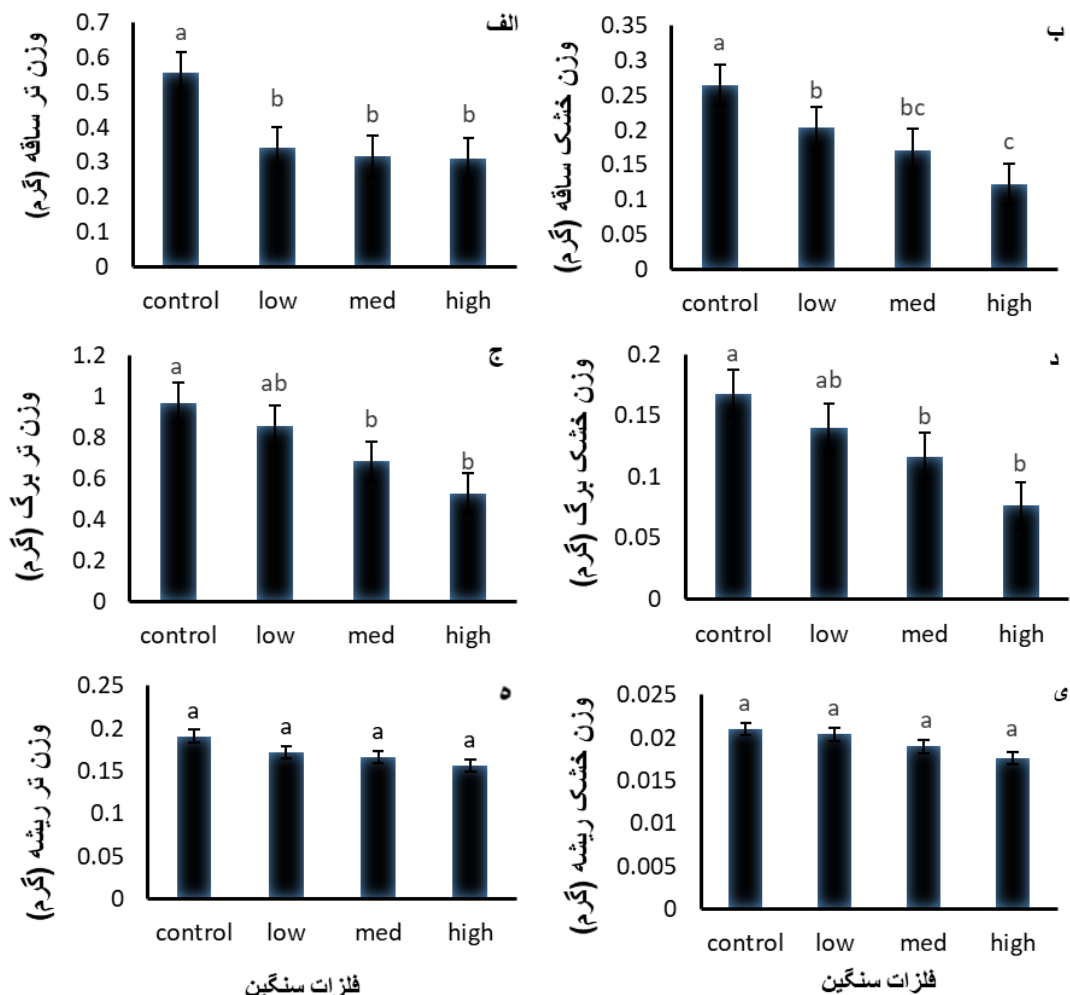
بیشترین میزان وزن تر و خشک برگ مربوط به گیاهان کشت شده در خاک شاهد بوده که به استثنای گیاهان رشد یافته در سطح آلودگی کم، با سطوح دیگر تفاوت معنی‌داری داشت و کمترین میزان صفات مذکور در آلودگی زیاد خاک مشاهده شدند (شکل ۲ ج و د). میزان کاهش وزن تر برگ در گیاهان رشد یافته در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین در سطوح کم، متوسط و زیاد به ترتیب ۱۱٪، ۲۹٪ و ۴۵٪ نسبت به گیاهان شاهد بود و مقدار کاهش وزن خشک نیز به ترتیب ۱۶٪، ۳۰٪ و ۵۴٪ بود. وزن تر و خشک ریشه در پاسخ به آلودگی خاک تغییر

و زیاد فلزات سنگین نیز کاهش ۱۸٪، ۴۵٪ و ۵۲٪ را نسبت به گیاهان شاهد نشان داد.

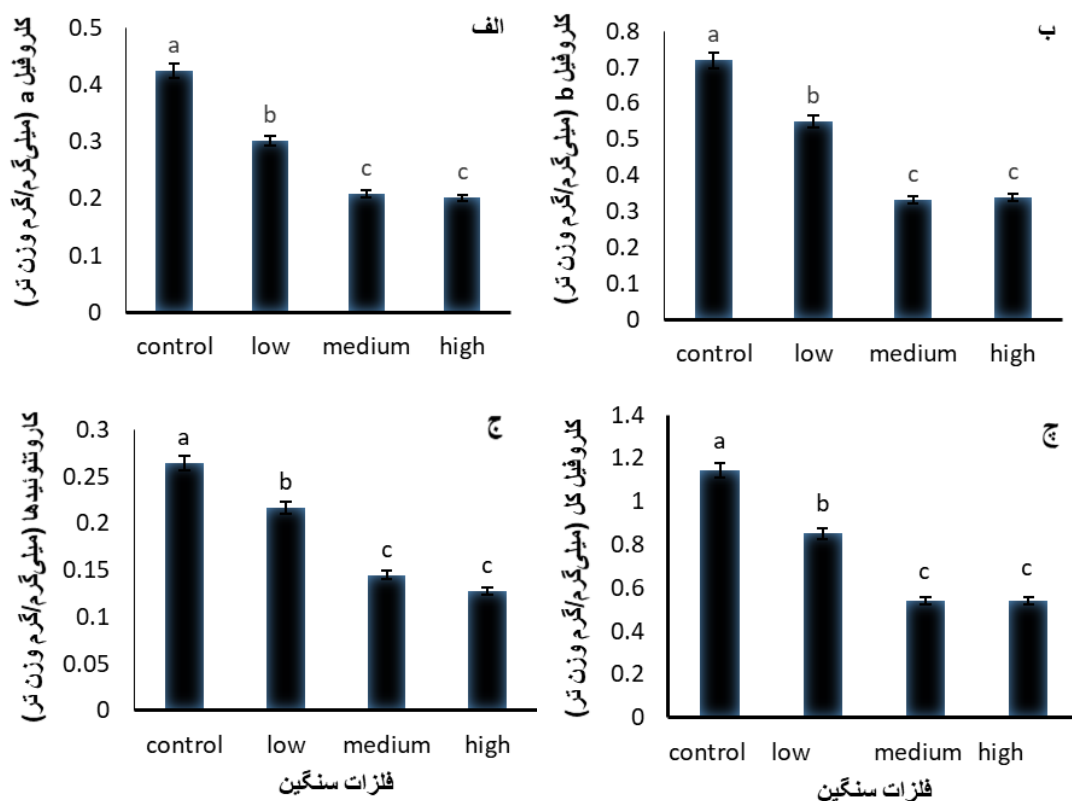
اندازه‌گیری عملکرد فتوسنتزها: نتایج مطالعه نشان داد، عملکرد فتوشیمیایی فتوسیستم II (Fv/Fm) تحت تاثیر فلزات سنگین قرار نگرفته و تغییر معنی‌داری را در سطوح مختلف آلودگی خاک نشان نداد (شکل ۴ الف). برخلاف Fv/Fm، میزان PI<sub>ABS</sub> شاخص عملکرد فتوشیمیایی هر دو فتوسیستم I و II، کاهش معنی‌داری را نشان داد.

متوسط و شدید کاهش معنی‌داری داشتند.

میزان کلروفیل a در گیاهان کشت شده در سطوح کم، متوسط و شدید فلزات سنگین به ترتیب کاهش ۲۹٪، ۵۱٪ و ۵۳٪ را نسبت به گیاه شاهد نشان داد. در کلروفیل b نیز شاهد روند کاهشی ۲۴٪، ۵۳٪ و ۵۴٪ نسبت به گیاهان شاهد بودیم. در کلروفیل کل گیاهان کشت شده در سه سطح آلودگی کم، متوسط و شدید به ترتیب کاهش ۲۶٪، ۵۳٪ و ۵۳٪ نسبت به گیاه شاهد مشاهده شد. میزان کاروتنوئیدها در گیاهان کشت شده در سطوح کم، متوسط



شکل ۲- تغییرات وزن تر ساقه (الف)، وزن خشک ساقه (ب)، وزن تر برگ (ج)، وزن خشک برگ (د)، وزن تر ریشه (ه) و وزن خشک ریشه (و) تحت تاثیر تیمارهای مختلف فلزات سنگین (Control: شاهد، low: کم، med: متوسط، high: زیاد) ذکر شده در جدول ۱. داده‌ها میانگین ۴ تکرار  $\pm$  SD و حروف نامشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ( $P \leq 0.05$ ) بر اساس آزمون Duncan می‌باشد.



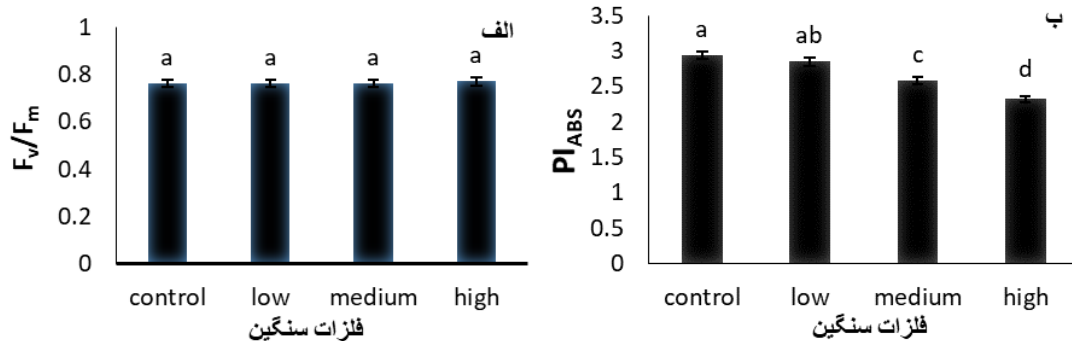
شکل ۳- تغییرات کلروفیل a (الف)، کلروفیل b (ب)، کاروتنوئید (ج) و کلروفیل کل (د) تحت تاثیر تیمارهای مختلف فلزات سنگین (Control: شاهد، low: کم، med: متوسط، high: زیاد) ذکر شده در جدول ۱. داده‌ها میانگین ۴ تکرار  $\pm$ SD و حروف نامشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ( $P \leq 0.05$ ) بر اساس آزمون Duncan می‌باشد.

نسبت به گیاهان شاهد بود (شکل ۵ الف). نتایج مقایسه اثرات سطوح مختلف آلودگی فلزات سنگین نشان داد که میزان CO<sub>2</sub> درون سلولی تحت تاثیر آلودگی خاک کاهش معنی‌داری ( $P \leq 0.05$ ) نشان داد که این کاهش در آلودگی های کم، متوسط و زیاد به ترتیب میزان ۱۸٪، ۲۹٪ و ۴۶٪ در مقایسه با گیاهان خاک شاهد بود (شکل ۵ ب). نتایج نشان داد که تیمار فلزات سنگین در آلودگی متوسط و زیاد سبب کاهش معنی‌دار ( $P \leq 0.05$ ) کارایی مصرف آب در گیاهان شد و بیشترین و کمترین میزان کارایی مصرف آب به ترتیب در گیاهان شاهد و آلودگی زیاد فلزات سنگین مشاهده شد (شکل ۵ ج). میزان کاهش کارایی مصرف آب در تیمارهای با آلودگی متوسط و زیاد نسبت به گیاهان خاک شاهد به ترتیب ۶٪ و ۴۹٪ بود.

طبق شکل ۴ (ب) میزان PI<sub>ABS</sub> در گیاهان کشت شده در خاکهای حاوی آلودگی متوسط و شدید نسبت به گیاهان خاک کاهش معنی‌داری ( $P \leq 0.05$ ) نشان داد و میزان کاهش در غلظت‌های متوسط و زیاد نسبت به گیاه شاهد به ترتیب ۱۲٪ و ۲۱٪ بود.

**شاخص‌های فتوسنتزی:** نتایج اثرات سطوح مختلف آلودگی فلزات سنگین نشان داد که بیشترین میزان فتوسنتز خالص مربوط به گیاهان کشت شده در خاک شاهد بود و کم‌ترین میزان این پارامتر مربوط به شدیدترین سطح آلودگی با فلزات سنگین بود که نسبت به گیاه شاهد کاهش معنی‌داری ( $P \leq 0.05$ ) نشان داد. این کاهش در سه سطح آلودگی کم، متوسط و زیاد به ترتیب ۱۶٪، ۲۳٪ و ۵۱٪





شکل ۴- تغییرات  $F_v/F_m$  (الف) و  $PI_{ABS}$  تحت تاثیر تیمارهای مختلف فلزات سنگین (Control: شاهد، low: کم، med: متوسط، high: زیاد) ذکر شده در جدول ۱. داده‌ها میانگین ۴ تکرار  $\pm SD$  و حروف نامشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ( $P \leq 0.05$ ) بر اساس آزمون Duncan می‌باشد.

و می‌تواند موجب کاهش توان رشد گیاه و در حالت شدیدتر باعث از بین رفتن گیاه شود (۱۱ و ۴۲). فعالیت پالایشگاه‌های فرآورده‌های نفت و گاز یکی از منابع ورود فلزات سنگین به محیط زیست است و خاک‌های آلوده دارای ترکیبات سمی فلزات سنگین از جمله Pb، Cd، Cr و Hg هستند (۲۹ و ۳۶). پالایشگاه گاز طبیعی می‌تواند باعث آلودگی محیط زیست شود و متعاقباً بر کشاورزی و سلامت انسانها تأثیر منفی می‌گذارد. سیستم‌های گاز طبیعی آلاینده‌هایی از جمله دی‌اکسید گوگرد، دی‌اکسید نیتروژن، بنزن و سایر مواد شیمیایی خطرناک را در هوا آزاد می‌کنند (۲۳). این مطالعه به منظور بررسی اثرات فلزات سنگین ناشی از فراوری گاز طبیعی در زمینهای کشاورزی اطراف بیدبلند طراحی شده بود. نتایج این مطالعه نشان دهنده آلودگی خاک اطراف پالایشگاه با فلزات Hg، Cr، Pb، V، As و Cd بود که سطح آن با افزایش فاصله از پالایشگاه کاهش یافت. برای شناسایی اثر آلودگی خاک ناشی از سایت پالایشگاه بیدبلند، گیاه ماش به منظور بررسی تأثیر آلودگی فلزات سنگین بر کشاورزی، انتخاب شد.

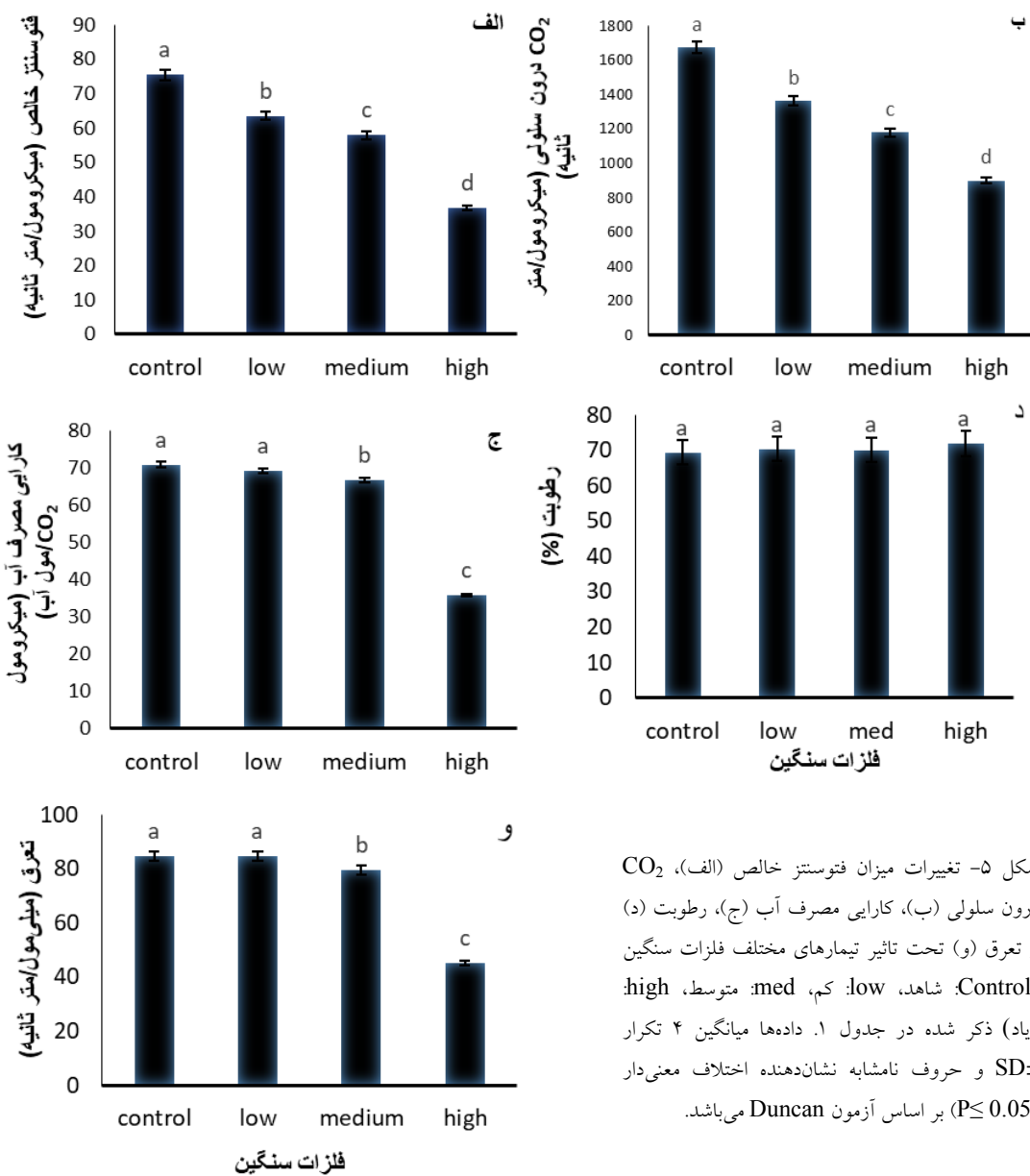
فلزات سنگین از طریق آسیب‌های فیزیولوژیکی سبب مهار رشد و کاهش تولید محصول گیاهان می‌شوند (۹ و ۲۸).

نتایج نشان داد که اثر تیمارهای با آلودگی کم بر میزان تعرق با شاهد اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در پاسخ به آلودگی خاک میزان رطوبت برگ تفاوت معنی‌داری نشان نداد (شکل ۵ د). آلودگی خاک سبب کاهش معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) میزان تعرق در غلظت‌های متوسط و زیاد فلزات سنگین شد و بیشترین و کمترین میزان تعرق به ترتیب در خاک‌های شاهد و آلودگی شدید ملاحظه شد که روند کاهشی نسبت به گیاهان خاک شاهد در آلودگی متوسط و زیاد به ترتیب به میزان ۶٪ و ۴۶٪ بود (شکل ۵ و).

**پرویلین:** نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان دهنده تأثیر معنی‌داری آلودگی فلزات سنگین خاک در سطح ۵ درصد بر میزان پرویلین در گیاه ماش است. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها در اثرات سطوح مختلف آلودگی فلزات سنگین نشان داد که کمترین میزان پرویلین مربوط به گیاهان کشت شده در خاک شاهد بوده که با خاک‌های با سطوح آلودگی‌های کم، متوسط و شدید تفاوت معنی‌داری ( $P \leq 0.05$ ) داشت. بیشترین میزان این صفت هم مربوط به شدیدترین سطح آلودگی فلزات سنگین است که با همه سطوح تفاوت معنی‌داری ( $P \leq 0.05$ ) داشت (شکل ۶).

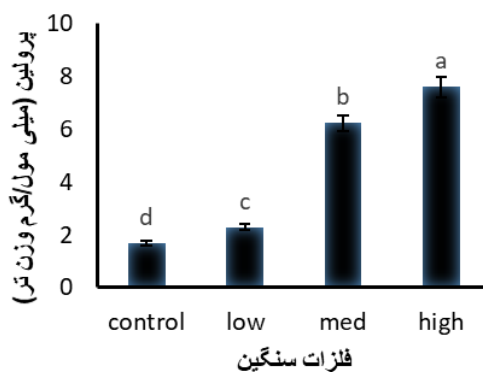
## بحث

وجود فلزات سنگین در محیط زیست گیاهان نوعی عامل تنش‌زا می‌باشد که باعث ایجاد تغییرات فیزیولوژیک شده



شکل ۵- تغییرات میزان فوتوسنتز خالص (الف)، CO<sub>2</sub> درون سلولی (ب)، کارایی مصرف آب (ج)، رطوبت (د) و تعرق (و) تحت تاثیر تیمارهای مختلف فلزات سنگین (Control: شاهد، low: کم، med: متوسط، high: زیاد) ذکر شده در جدول ۱. داده‌ها میانگین ۴ تکرار  $\pm$ SD و حروف نامشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ( $P \leq 0.05$ ) بر اساس آزمون Duncan می‌باشد.

شکل ۶- تغییرات میزان پرولین تحت تاثیر تیمارهای مختلف فلزات سنگین (Control: شاهد، low: کم، med: متوسط، high: زیاد) ذکر شده در جدول ۱. داده‌ها میانگین ۴ تکرار  $\pm$ SD و حروف نامشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ( $P \leq 0.05$ ) بر اساس آزمون Duncan می‌باشد.



ساختار غشا سلولی و کاهش جذب و محتوی آب می‌شود که این امر بر فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند تعرق، تنفس و فتوسنتز اثر گذاشته و در نهایت موجب کاهش رشد در سایر قسمت‌های گیاه و از جمله کاهش زیست توده و سطح برگ گیاه می‌شود (۳۶). در تحقیق حاضر نیز کاهش سیستم ریشه ای و متعاقباً میزان رشد گیاه ملاحظه شد تحت تاثیر تجمع فلزات سنگین در خاک اطراف پالایشگاه مشاهده شد و همچنین سیستم فتوسنتزی را تحت تاثیر قرار داده است که در ادامه بحث شده است.

در سال‌های اخیر توجه زیادی به ویژگی‌های فتوسنتزی در پاسخ به استرس‌های محیطی داده شده است (۱۷). اندازه‌گیری خسارت ناشی از استرس می‌تواند بر اساس کاهش میزان  $F_v/F_m$ ،  $PI_{ABS}$ ، فتوسنتز خالص، غلظت  $CO_2$  درون سلولی و کارایی مصرف آب برآورد شود. مقدار  $F_v/F_m$  نشان دهنده کارایی کوانتومی فتوسیستم II است، در حالی که شاخص عملکرد ( $PI_{ABS}$ ) کارایی فتوسیستم‌های I و II را نشان می‌دهد (۳۷). در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین، شاخص‌های فتوسنتزی (از قبیل  $PI_{ABS}$ ، فتوسنتز خالص، غلظت  $CO_2$  درون سلولی و کارایی مصرف آب) و رنگدانه‌های فتوسنتزی (کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها) در گیاه ماش به طور قابل توجهی کاهش یافتند. عنصر کروم سبب ناهنجاری ساختاری در ساختار کلروپلاست و اختلال در فرایند انتقال الکترون از فتوسیستم I به کروم می‌شود (۳۵) که می‌تواند دلیل کاهش میزان  $PI_{ABS}$  در گیاه ماش رشد یافته در خاک‌های آلوده اطراف پالایشگاه باشد. یکی از مکانیسم‌هایی که منجر به مهار فتوسنتز می‌شود، جایگزینی مولکول‌های  $Mg^{2+}$  در مولکول‌های کلروفیل توسط فلزات سنگین است (۲۲). کمبود آهن ناشی از فلزات سنگین باعث تضعیف تجمع رنگدانه‌های فتوسنتزی در گیاهان می‌شود (۱۳)، که به طور مشابهی کاهش کلروفیل‌ها در گیاه ماش در پاسخ به آلودگی فلزات سنگین مشاهده شد. کاهش محتوای کلروفیل در اثر استرس ناشی از فلزات سنگین

آلودگی خاک با فلزات سنگین بیشترین اثر منفی بر رشد گیاه ماش را در نزدیکترین منطقه مورد مطالعه (۵۰۰ متر) به پالایشگاه بید بلند نشان داد. اثرات منفی فلزات سنگین بر رشد و عملکرد بسیاری از گیاهان از جمله گندم، نخود، ذرت و آلفا، مشابه با تحقیق حاضر گزارش شده است (۳۸). میزان مهار فلزات سنگین بر رشد گیاه بستگی به غلظت آن داشت و در آلودگی کم خاک در دورترین منطقه به پالایشگاه (۱۵۰۰ متر) کمترین میزان کاهش در طول بوته، سطح برگ، طول ریشه، قطر ریشه، حجم ریشه، وزن تر و خشک ساقه، ریشه و برگ مشاهده شد، درحالی‌که بیشترین کاهش پارامترهای مذکور در نزدیکترین فاصله به پالایشگاه (۵۰۰ متر) مشاهده شد. طبق گزارش Sharma and Agrawal (۲۰۰۵) اثرات سمی  $Ag$ ،  $Hg$ ،  $Vg$ ،  $Pb$ ،  $Cr$  و  $Cd$ ، کاهش طول گیاه، تولید وزن تر تازه و خشک، و عملکرد گیاه است که با نتایج مشاهده شده در گیاه ماش مطابقت دارد (۳۸). فلزات سنگین با مهار فعالیت آنزیم‌های حساس به فلزات سنگین منجر به کلروز، مهار رشد و مرگ ناگهانی گیاه می‌شوند (۳۳ و ۳۸). در خاک اطراف پالایشگاه آلودگی سرب مشاهده شد و طبق نظر Nagajyoti و همکاران (۲۰۱۰) تأثیرات مهار کننده  $Pb$  بر رشد و تولید زیست توده مربوط به اثر منفی آن بر روند فرایندهای متابولیک و مهار اکسیداسیون اسید استیک است (۲۹). سمیت کروم و وانادیوم باعث کاهش عملکرد گیاهان از طریق مهار فعالیت‌های آنزیمی و کاهش رشد برگ و ریشه می‌شود (۱۸ و ۳۵) که در خاک اطراف پالایشگاه یافت شده‌اند. ریشه‌ها به عنوان سطوح جذب کننده آب و مواد غذایی تأثیر بسیار زیادی در جذب آب و املاح گوناگون دارند و عوامل مختلف محیطی از طریق تأثیر بر ریشه بر رشد گیاه اثر می‌گذارند. تنش فلزات سنگین از جمله عوامل محدود کننده رشد ریشه است و کاهش رشد ریشه فعالیت‌های رشدی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. عدم توسعه و گسترش مناسب سیستم ریشه ای باعث کاهش سطوح جذب کننده مواد غذایی، تغییر در

به تنش فلزات سنگین، میزان پرولین به‌عنوان یکی از شاخص‌ترین مواد محلول سازگار در پاسخ به تنش‌های محیطی در گیاهان مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در برگ‌های گیاه ماش رشد یافته در خاک آلوده به فلزات سنگین، افزایش معنی‌داری در میزان پرولین نسبت به گیاهان شاهد مشاهده شد. گزارشاتی مبنی بر افزایش پرولین در پاسخ به فلزات سنگین در گیاهان نخود (۲۸)، اسفناج (۲۷) و ذرت خوشه‌ای (۲۵) وجود دارد که تاکید کننده نتایج تحقیق حاضر است. از آنجایی‌که تنش‌های محیطی سبب القای تنش اکسیداتیو در گیاهان می‌شوند، پرولین می‌تواند به‌عنوان تصفیه‌کننده رادیکال‌های آزاد اکسیژن حاصل از تنش عمل کند (۳۹). نتایج این مطالعه نشان داد که علیرغم افزایش پرولین به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان و حفاظت‌کننده سیستم فتوسنتزی گیاهان در برابر تنش (۱۰)، آلودگی خاک با فلزات سنگین سبب کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی و فتوسنتز گیاه ماش شد.

#### نتیجه‌گیری کلی

آلودگی خاک به علت تکنولوژی فراوری گاز طبیعی ممکن است اثرات منفی جدی بر سلامت و اقتصاد را ایجاد کند. تجزیه و تحلیل مقایسه‌های عملکرد گیاه در مطالعه حاضر نشان دهنده تأثیر منفی تکنولوژی پالایشگاه گاز طبیعی بر روی خاک و در نتیجه کشاورزی به علت آلودگی فلزات سنگین در محیط زیست است. بر اساس یافته‌های این پژوهش، میزان آلودگی‌های فلزات سنگین موجود در نمونه‌های مورد مطالعه، با کاهش فاصله از پالایشگاه بید بلند رابطه مستقیم دارد. یعنی هر چه زمینهای کشاورزی به پالایشگاه نزدیکتر باشد، تمرکز فلزات سنگین در آن بیشتر است و در نهایت اثرات منفی فراوانی بر کشاورزان حومه پالایشگاه وارد می‌کند. کاهش میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی نشان دهنده سمیت فلزات سنگین در گیاهان است که کاهش رشد گیاه ماش را به دنبال داشت. به طور کلی، تنش فلزات سنگین، کاهش صفات رشد و فتوسنتز را

ممکن است نتیجه ممانعت آنزیم‌های مسئول در بیوسنتز کلروفیل باشد (۴۷). علاوه بر مهار بیوسنتز کلروفیل به وسیله فلزات سنگین، این فلزات باعث تجزیه زیستی کلروفیل نیز می‌شوند. برخی از فلزات سنگین مانند کادمیم از تشکیل کلروفیل از طریق تداخل با تولید پروتوکلروفیلید جلوگیری می‌کنند (۳۱). به علاوه غلظت بالای فلزات سنتز کلروفیل را از طریق مختل کردن جذب دیگر یون‌های اساسی مانند منیزیم و آهن به وسیله گیاهان (۱۴) و یا افزایش فعالیت کلروفیلاز کاهش می‌دهد (۱۶). کاهش میزان فتوسنتز گیاه ماش در خاک آلوده به فلزات سنگین می‌تواند به سمیت عناصر کادمیم آرسنیک مربوط باشد زیرا کادمیم از طریق مهار انتقال الکترون در سیستم‌های فتوسنتزی کلروپلاست میزان فرایند فتوسنتز را کاهش می‌دهد (۴۶) و آرسنیک از طریق آسیب به غشای کلروپلاست و تخریب کلروپلاست بر روی میزان فتوسنتز تأثیر منفی دارد (۴۰). همچنین بر اساس گزارش Lefevre و همکاران (۲۰۱۴) کادمیم با تأثیر بر روی سیستم روزنه‌ای، تنفس و آنزیم ردوکتاز سبب کاهش فتوسنتز در *Zygophyllum fabago* شد (۲۴). اثرات زیان‌آور کروم بر فتوسنتز،  $CO_2$  درون سلولی، انتقال الکترون، فتوفسفریلاسیون، فعالیت‌های آنزیم دخیل در بیوسنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی گزارش شده است (۲۹) که در خاک آلوده اطراف پالایشگاه مشاهده شده است. از آنجایی‌که کاهش میزان فتوسنتز در پاسخ به آلودگی خاک با فلزات سنگین می‌تواند به دلیل کاهش محتوای کلروفیل و بسته شدن روزنه‌ها و آنزیم‌ها باشد (۴۱)، آلودگی خاک اطراف پالایشگاه با فلزات سنگین  $Hg$ ،  $Ag$ ،  $Pb$ ،  $As$ ،  $Cd$  و  $V$  باعث کاهش عملکرد فتوسنتز گیاه ماش شد.

اولین پاسخ همه گیاهان به تنش تنظیم اسمزی است که گیاهان با انباشته کردن محلول‌های سازگار از تنش اسمزی پیشگیری می‌کنند. این عمل برای فعالیت‌های فیزیولوژیک مثل فتوسنتز، فعالیت آنزیم‌ها و گسترش سلول لازم می‌باشد (۴۴). به‌منظور بررسی چگونگی پاسخ گیاه ماش

ماش در پاسخ به تنش فلزات سنگین ضروری می‌باشد.

بدنبال داشت. البته تحقیقات بیشتری بر روی متابولیت‌های مختلف گیاهان مناطق آلوده و سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه

## منابع

- ۱- حبیب‌زاده، ی.، مامقانی، ر.، کاشانی، ع.، ۱۳۸۷، بررسی تاثیر تراکم‌های مختلف کاشت روی مراحل نمو و شاخص رشد سه ژنوتیپ ماش در شرایط آب و هوایی اهواز، چکیده مقالات هفتمین کنگره زراعت و اصلاح نباتات، ص ۱۰۷
- ۲- سهرابی، م.، ۱۳۸۵، نتایج آزمایشات ماش سال ۷۰، موسسه تحقیقات، اصلاح و تهیه نهال و بذر، بخش تحقیقات حبوبات، شماره طرح ۱۰۰-۱۲-۶۹۲۴۲
- ۳- قوامی، ف.، رضایی، ع.، ۱۳۸۵، بررسی تنوع خصوصیات مورفولوژیک، فنولوژیک و الگوهای الکتروفوریتیک پروتئین دانه ماش، اطلاعات و مدارک علمی ایران (بخش پایان‌نامه)
- ۴- کاظم‌علیلو، س.، رسولی‌صدقیانی، ح.، ۱۳۹۲، اثر آلودگی کادمیمی خاک بر برخی شاخصهای فیزیولوژیک گیاه بنگدانه (*Hyoscyamus niger L*) در حضور و عدم حضور ریزجانداران محرک رشد گیاه، تحقیقات کاربردی خاک شماره یک
- ۵- کریمی، ن.، خان‌احمدی، م.، مرادی، ب.، ۱۳۹۲، اثر غلظت‌های مختلف سرب بر برخی پارامترهای فیزیولوژیکی گیاه کنگر فرنگی، مجله پژوهش‌های تولید گیاهی جلد بیستم شماره اول.
- ۶- کشته‌گر، م.، صفی‌پور افشار، ا.، سعید نعمت‌پور. ف.، ۱۳۹۳، اثر فلزات سنگین مس و سرب بر برخی صفات رشدی، میزان پرولین و پراکسیداسیون لیپیدی در دو رقم ماش، نشریه علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد هشتم، شماره ۳ (۳۱) صفحه ۳۶۳-۳۷۴
- ۷- لاری‌یزدی، ح.، قربانعلی، م.، میرزایی، م.، هاشمی، ا.، ۱۳۹۰، بررسی اثر غلظتهای مختلف سرب بر پرولین، قندهای محلول، نشاسته و فعالیت آنزیمهای آنتیاکسیدانی کاتالاز و پراکسیداز در گیاه گندم *Triticum aestivum L.* رقم پیشناز، اولین همایش ملی مباحث نوین در کشاورزی، ساوه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه
- ۸- نورانی‌آزاد، ح.، کفیل‌زاده، ف.، ۱۳۹۰، تاثیر سمیت کادمیم بر رشد، قندهای محلول، رنگیزه‌های فتوسنتزی و برخی آنزیمها در گلرنگ (*Carthamus tinctorius L*). مجله زیست‌شناسی ایران، جلد ۲۴، شماره ۶.
- ۹- رضائزاد، ف.، علومی، ح.، قلی‌پور، ز.، منوچهری کلانتری، خ.، ۱۳۹۶، پاسخ دو گونه کاج (*Pinus nigra* و *P. elderica*) اطراف کارخانه مس سرچشمه در جذب فلزات سنگین و برخی ویژگی‌های ساختاری برگ. مجله زیست‌شناسی ایران، جلد ۱۶۳، شماره ۲، ۳۷۶-۳۹۰.
- 10- Anjum, S. A., Xie, X., Wang, L., Saleem, M. F., Man, C. and Lei, W. 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *Afric. J. Agric. Res.* 6(9): 2026-2032.
- 11- Baker, A. J. M., McGrath S. P., Reeves, R. D. and Smith, J. A. C. 2000. Metal hyperaccumulator plants: a review of the ecology and physiology of a biological resource for phytoremediation of metal-polluted soils. In: *phytoremediation of contaminated soil and water* (eds. Terry, N. and Banuelos, G.). CRC Press, Boca Raton, Florida, USA; 85-107.
- 12- Bates, L., Waldren, R. P. and Tear, I. P. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil.* 39: 205-207.
- 13- Bertrand, M. and Poirier I. 2005. Photosynthetic organisms and excess of metals. *Photosynthetica* 43: 345-353.
- 14- Bruzynski, M. 1987. The influence of lead and cadmium on the absorption and distribution of potassium, calcium, magnesium and iron in cucumber seedlings. *Acta Physiol. Plant.* 9: 229-238.
- 15- Costa, G. and Morel, J. L. 1994. Efficiency of H<sup>+</sup>-ATPase activity on cadmium uptake by four cultivars of lettuce. *J. Plant Nut.* 17: 627-637.
- 16- Drazkiewicz, M. 1994. Chlorophyll-occurrence, functions, mechanism of action, effects of internal and external factors. *Photosynthetica* 30: 321-331.
- 17- Guo, Y. and Tan, J. 2015. Recent advances in the application of chlorophyll a fluorescence from photosystem II. - *Photochem. Photobiol.* 91: 1-14.
- 18- Imtiaz, M., Rizwan, M. S., Xiong, S., Li, H., Ashraf, M., Shahzad, S. M., Shahzad, M.,

- Rizwan, M. and Tu, S. 2015. Vanadium, recent advancements and research prospects: a review. *Environ. Int.* 80: 79-88.
- 19- Ingle, R. A., Smith, J. A. C. and Sweetlove, L. J. 2005. Responses to nickel in the proteome of the hyperaccumulator plant *Alyssum lesbiacum*. *BioMetals*. 18: 627-641.
- 20- Jeliaskova, E. A., Craker, L. E., and Xing, B. 2003. Seed germination of anise, caraway, and fennel in heavy metal contaminated solutions. *J. Herbs Spices Med. Plants*. 10(3): 83-93.
- 21- Kabata-Pendias, A., 2001. Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Boca Raton, FL. pp. 413
- 22- Küpper, H., Šetlík I., Spiller M., Küpper F. C., Prášil O. 2002. Heavy metal-induced inhibition of photosynthesis: targets of in vivo heavy metal chlorophyll formation. *J. Phycol.* 38: 429-441.
- 23- Lattanzio, R. K. 2013. Air quality issues in natural gas systems. Congressional Research Service 42833: 1-72.
- 24- Lefevre, I., Vogel-Mikus, K., Jeromel, L., Vavpetič, P., Planchon, S., Arcon, I., Elteren, J. T. V., Lepoint, G., Gobert, S., Renaut, J., Plicon, P. and Lutts, S. 2014. Differential cadmium and zinc distribution in relation to their physiological impact in the leaves of the accumulating *Zygophyllum fabago* L. *Plant Cell Environ.* 37: 1299-1320.
- 25- Li, J., Xu, X. and Feng, R. 2018. Soil fertility and heavy metal pollution (Pb and Cd) alter kin interaction of *Sorghum vulgare*. *Environ. Exp. Bot.* 155: 368-377.
- 26- Lichtenthaler, H. K. 1994. Chlorophyll and carotenoids pigments of photosynthetic biomembranes. *Method Enzymol.* 148: 352-382.
- 27- Menon, G., Kamthe, S. and Gharge, S. 2018. effect of metal on germination and proline accumulation in *Spinacea oleracea*. *Int. J. Curr. Res. Life Sci.* 7: 1376-1380.
- 28- Metwally, A., Safronova, V. I., Belimov, A. A. and Dietz, K.J. 2008. Genotypic variation of the response to cadmium toxicity in *Pisum sativum*. *J. Exp. Bot.* 56: 167.
- 29- Nagajyoti, P., Lee, K. and Sreekanth, T. 2010. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. - *Environ. Chem. Lett.* 8: 199-216.
- 30- Peralta, J. R., Gardea-Torresdey, J. L. and Tiemann, K. J. 2000. Study of the effects of heavy metals on seed germination and plant growth on alfalfa plant (*Medicago sativa*) grown in solid media. *Roceedings of the 2000 Conference on Hazardous Wast Research*, pp:135-140.
- 31- Prasad, S., Dwivedi, R., Zeeshan, M. and Singh, R. 2004. UV-B and cadmium induced changes in pigments, photosynthetic electron transport activity, antioxidant levels and antioxidative enzyme activities of *Riccia* sp. *Acta Physiol. Plant.* 26: 423-430.
- 32- Sanita di Toppi, L. and Gabbriellini, R. 1999. Response to cadmium in higher plants- review. *Environ. Exp. Bot.* 41: 105-130.
- 33- Sankar Ganesh, K., Baskaran, L., Rajasekaran, S., Sumathi, K., Chidambaram, A. L. A. and Sundaramoorthy, P. 2008. Chromium stress induced alternations in biochemical and enzyme metabolism in aquatic and terrestrial plants. *Coll. Surf. B: Biointerfaces* 63: 159-163.
- 34- Schutz, H. and Fangmier, E. 2001. Growth and yield responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) to elevated CO<sub>2</sub> and water limitation. *Environ. Pol.* 114: 187-194
- 35- Shanker, A. K., Cervantes, C., Loza-Tavera, H. and Avudainayagam, S. 2005. Chromium toxicity in plants. *Environ. Int.* 31(5): 739-753.
- 36- Sharma, P. and Dubey, R. S. 2005. Lead toxicity in plants. *J Plant Physiol.* 17(1): 35-52.
- 37- Sharma, D. K., Andersen S. B., Ottosen C. O. and Rosenqvist, E. 2012. Phenotyping of wheat cultivars for heat tolerance using chlorophyll a fluorescence. *Func. Plant Biol.* 39: 936-947.
- 38- Sharma, R. K., Agrawal M. 2005. Biological effects of heavy metals: an overview. *J. Environ. Biol.* 26: 301-313.
- 39- Sivakumar, P., Sharmila, P. and Saradhi, P. P. 2000. Proline alleviates salt-stress induced enhancement in ribulose-1,5-bisphosphate oxygenase activity. *Biochem. Biophys. Res. Comm.* 279: 512-515.
- 40- Stoeva, N., Bineva T. 2003. Oxidative changes and photosynthesis in oat plants grown in As-contaminated soil. *Bulg. J. Plant Physiol.* 29: 87-95.
- 41- Stoeva, N., Berova, M. and Zlatev, Z. 2005. Effect of arsenic on some physiological parameters in bean plants. *Biol. Plant.* 49: 293-296.
- 42- Toth, G., Hermann, T., DaSilva, M. and Montanarella, L. 2016. Heavy metals in agricultural soils of the European Union with

- implications for food safety. *Environ. Int.* 88: 299-309.
- 43- Trotel-Aziz, P., Niogret, M. F. and Larher, F. 2000. Proline level is partly under the control of abscisic acid in canola leaf discs during recovery from hyperosmotic stress. *Physiol. Plant.* 110: 376-383.
- 44- Tyree, M. T. and Jarvis, P. G. 1982. Water in tissue and cells. In: encyclopedia of plant physiology (eds. Lange, O. L., Nobel, P. S., Osmond, O. B. and M. Ziegler.). Springer, Berlin. 36-77.
- 45- Wang, J. and Chen. C. 2006. Biosorption of metals by *Saccharomyces cerevisia*: A review. *Biotechnol. Adv.* 24: 427-451.
- 46- Xue, Z., Gao H. 2017. The difference of photosynthetic responses to the cadmium stress between a wild soybean (*Glycine soja* Sieb. et Zucc.) and a cultivated soybean. *Bull. Environ. Cont. Toxicol.* 99: 405-410.
- 47- Zengin, F. K. and Munzuroglu, O. 2005. Effects of some heavy metals on chlorophyll, proline and some antioxidant and chemicals in Bean (*Phaseolus vulgaris* L) seedlings. *Acta Biol. Cracoviensia Series Botanica.* 47(2): 157-164
- 48- Zivčák, M., Brestič, M., Olšovská, K., and Slamka, P. 2008. Performance index as a sensitive indicator of water stress in *Triticum aestivum* L. *Plant Soil Environ.* 54: 133-139.

## Effect of heavy metal pollution of soil around the BidBoland 1 gas refinery site on growth, photosynthesis and proline of *Vigna radiata* L.

Lajm orak rameh chariy E.<sup>1</sup>, Armand N.<sup>2</sup>, Hajhashemi Sh.<sup>2</sup> and soltanian S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dept. of Environment, Behbahan Khatam Al-Anbia University of Technology, Behbahan, I.R. of Iran.

<sup>2</sup> Dept. of Biology, Behbahan Khatam Al-Anbia University of Technology, Behbahan, I.R. of Iran.

### Abstract

This investigation was designed to study the effect of heavy metal pollution of soil around the BidBoland 1 gas refinery site on morphological and biochemical characteristics of mung bean. A pot experiment was conducted in a completely randomized design with four replications. The soil sampling was carried out at three stations in about 500, 1000 and 1500 m away from Bidboland gas refinery site. The control soil without any heavy metal pollution was collected from a farm away from refinery site. Soil analysis indicated that the soil around the refinery site was contaminated with cadmium, chromium, lead, vanadium, mercury and arsenic, which their contents reduced by increasing the distance from the refinery site. The mung bean seeds were cultured in control soil and three levels of contaminated soil with heavy elements. The results showed significant changes in plant growth and photosynthetic traits of mung bean plants in response to heavy metal pollution of soil. Soil contamination with heavy metals significantly reduced the amount of chlorophylls a and b, total chlorophyll, carotenoids, photosynthesis, chemical quantum function of photosystems (PI<sub>ABS</sub>), intercellular CO<sub>2</sub>, transpiration, and water use efficiency. The highest and lowest reduction in photosynthetic parameters was observed in the soil collected from distances of 500 and 1500 meters to the refinery, respectively, as compared to the control soil. Heavy metal pollution of soil significantly increased the proline content which has an important role in osmotic regulation and scavenging reactive oxygen species. Based on the results of present study and the danger of heavy metals pollution on mung bean growth and photosynthesis, it is suggested to avoid cultivation of crops around the gas refinery site.

**Key words:** pollution, environmental, bean, growth, photosynthesis