بررسی اثر آلاینده‌های اتمسفری بر پرولین، پروتئین و برخی از عناصر گیاهان یونجه و لوبیا (مطالعه موردی: پالایشگاه شازند اراک)

فریبا امینی*، سعید حسین آبادی و مهری عسکری
گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اراک، کد پستی ٨٣٤٩-٨-٣٨١٥٦
(تاریخ دریافت: ١٣٩٢/٠٦/٢٦ ، تاریخ پذیرش نهایی: ١٣٩٣/٠٦/١٦)

چکیده:
گیاهان در اثر آلودگی هوا تغییرات بیوشیمیایی و فیزیولوژیک برگشت‌پذیر و غیربرگشت‌پذیری را نشان می‌دهند. بنابراین پارامترهای بیوشیمیایی می‌توانند اطلاعات ارزشمندی در مورد وضعیت فیزیولوژیک گیاهان در معرض آلودگی هوا مهیا کنند. این آزمایش به بررسی اثرات آلاینده‌های هوا بر میزان پرولین، پروتئین، کلسیم و فسفر ریشه و برگ گیاهان یونجه و لوبیا با هدف بررسی مقاومت این گیاهان نسبت به آلودگی هوا در منطقه پالایشگاه شازند اراک پرداخته است. گیاهان از دو منطقه آلوده و پاک برداشت و میزان پرولین، پروتئین، کلسیم و فسفر ریشه و برگ اندازه گیری گردید. نتایج نشان داد که آلودگی هوا باعث افزایش معنی‌دار پرولین برگ و ریشه یونجه و لوبیا شد. همچنین آلودگی هوا باعث افزایش معنی‌دار غلظت پروتئین برگ و ریشه یونجه و کاهش معنی‌دار غلظت پروتئین برگ و ریشه گیاه لوبیا گردید. تجمع کلسیم در برگ و ریشه گیاه یونجه تحت تأثیر آلودگی هوا افزایش معنی‌دار نشان داد در حالی که آلودگی باعث کاهش معنی‌دار کلسیم برگ لوبیا شد و بر میزان کلسیم ریشه این گیاه تأثیر معنی‌داری نداشت. همچنین آلودگی هوا میزان فسفر ریشه یونجه را به طور معنی‌دار افزایش داد در صورتی که بر میزان فسفر برگ این گیاه تأثیر معنی‌داری نداشت و میزان فسفر برگ و ریشه گیاه لوبیا نیز تحت تأثیر آلودگی هوا به میزان معنی‌داری افزایش یافت. در این مطالعه افزایش پروتئین و کلسیم گیاه یونجه را می‌توان به مقاومت احتمالی این گیاه نسبت به آلودگی هوا نسبت داد و تغییرات بیوشیمیایی گیاه لوبیا حساسیت این گیاه به آلودگی هوا را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: آلاینده هوا، پروتئین، پرولین، عناصر، لوبیا، یونجه

مقدمه:

در طول چند دهه اخیر در نتیجه‌ی افزایش صنعتی شدن و شهرنشینی، آلودگی هوا به یک تنش محیطی جدی برای محصولات کشاورزی تبدیل شده است (Rajput and Agrawal, 2004). آلاینده‌های صنعتی از صنایعی مانند نیروگاه‌ها، پالایشگاه‌ها و پتروشیمی‌ها متصاعد می‌شوند و بیشتر آلاینده‌های خطرناک منتشر شده در مناطق صنعتی شامل: دی‌اکسیدسولفور (SO_2)، اکسیدهای نیتروژن (NO_X)، CO، اوزون (O_3) و فلزات سنگین به علاوه ذرات معلق می‌باشد (Assadi *et al.*, 2011). آلاینده‌های هوا به طور منفی فرآیندهای بیوشیمیایی گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهند و توان پاسخ آنها را نسبت به دیگر تنش‌ها نیز کاهش می‌دهند. گیاهان مختلف نسبت به آلودگی هوا حساسیت های متفاوتی را نشان می‌دهند (Breusgem *et al.*, 2001).

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: F-Amini@araku.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.11.1.9]

وقتی آلاینده‌ها به وسیله گیاهان جذب می‌شوند باعث تغییراتی در محتوای ترکیبات بیوشیمیایی از جمله پروتئین‌ها، پرولین و همچنین عناصر گیاه می‌شوند. بنابراین محتوای پروتئین و دیگر شاخص‌های بیوشیمیایی می‌توانند اطلاعات ارزشمندی در مورد وضعیت فیزیولوژیک گیاهان در معرض آلودگی هوا را مهیا کنند (Assadi *et al.*, 2011). بعضی تنش‌های محیطی مانند دمای بالا و پایین، خشکی، آلودگی خاک، آب و آلودگی هوا می‌توانند باعث افزایش انواع اکسیژن واکنشگر (ROS) در سلول‌های گیاهان شوند. که نهایتا" واکنش‌هایی را ایجاد می‌کنند که برای همه موجودات و به خصوص گیاهان، سمی هستند(Pukacka and Pukacki, 2000). گزارش شده که پرولین به‌عنوان یک جمع‌کننده رادیکال‌های آزاد برای حفاظت گیاهان از آسیب‌های تنش اکسیداتیو عمل می‌کند (Wang *et al.*, 2009). تجمع پرولین در انواع مختلفی از گیاهان در حضور تنش‌های مختلف اتفاق می‌افتد مثلا" تجمع پرولین در برگ‌های گیاهانی که در تنش‌های گاز SO_2 و فلزات سنگین بوده‌اند گزارش شده است (Tankha and Gupta, 1992). همچنین تنش‌های اکسیداتیو مختلف از قبیل آلودگی هوا ممکن است میزان ROS را در گیاهان بالا ببرند که باعث ایجاد آسیب جدی در ماکرومولکولهایی مانند پروتئین‌ها می‌شود (Mecord, 2000). در اثر آلاینده‌هایی چون O_3 و SO_2 اکسیداسیون پروتئین‌ها در گیاه ایجاد می‌شود. از زمانی‌که O_3 و SO_2 شروع به اکسیداسیون ترکیبات سلول می‌کنند یک سری تغییرات در سطح پروتئین‌ها ایجاد می‌شود که می‌تواند به طور ویژه نشان‌دهنده‌ی عملکرد پراکسیداتیو آلاینده‌های هوا باشد (Mehlhorn *et al.*, 1986). آلودگی هوا با توجه به انواع آلاینده‌ها باعث تغییر در محتوای عناصر برگ و ریشه گیاه نیز می‌شود.معمولاً در گیاهان مقاوم نسبت به آلودگی هوا میزان بعضی از عناصر از جمله کلسیم افزایش می‌یابد. مقدار کمتر عناصر مغذی در گیاهان حساس نسبت به آلودگی هوا یکی از دلایل اصلی آسیب‌های فیزیولوژیکی به گیاهان است (Guderian, 1977). بررسی میزان مقاومت گیاهان زراعی یونجه و لوبیا نسبت به آلودگی هوا در منطقه پالایشگاه شازند اراک با تکیه بر میزان پرولین، پروتئین و عناصر کلسیم و فسفر در این گیاهان هدف این تحقیق بوده است.

مواد و روش‌ها:

در این تحقیق برای مطالعه اثر آلودگی هوا بر گیاهان زراعی یونجه (*Medicago sativa*) و لوبیا(*Phaseoulus vulgaris*) ، دو منطقه یکی به‌عنوان منطقه آلوده و دیگری منطقه پاک یا کنترل انتخاب گردید. زمین‌های زراعی روستای کزاز در مجاورت منطقه صنعتی پالایشگاه نفت شازند اراک واقع در ۲۵ کیلومتری غرب اراک با موقعیت جغرافیایی ٤۹ درجه و ۲۷ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۵۹ دقیقه عرض شمالی و با ارتفاع ۱۸۹۰ متر از سطح دریا به عنوان منطقه آلوده و منطقه حفاظت شده هفتاد قله واقع در ۳۵ کیلومتری شرق شهر اراک با توجه به اطلاعات موجود در سازمان حفاظت محیط زیست استان مرکزی به عنوان منطقه پاک در نظر گرفته شدند. برگ و ریشه هر دو گیاه یونجه و لوبیا از دو منطقه پاک و آلوده به صورت همزمان در شهریور ماه سال ۱۳۹۱ نمونه‌گیری شد. بدین ترتیب که برای هر گیاه ۵-۳ تکرار از هر اندام (ریشه و برگ‌های بالغ و میانی گیاه) به صورت کاملا" تصادفی نمونه‌برداری شد و در کوتاه ترین زمان به آزمایشگاه منتقل گردیدند و پس از شستشوی برگ و ریشه نمونه‌های گیاهی اندازه گیری‌های مورد نظر انجام گرفت. اسیدآمینه پرولین به روش بیتس و همکاران (۱۹۷۳) اندازه‌گیری شد. به منظور استخراج پروتئین محلول کل، ۰/۵ گرم از برگ و ریشه گیاهان به طور جداگانه وزن و پس از افزودن ۱/۵ میلی‌لیتر بافر استخراج (Tris- HCl, 50 mM; (*Phenylmethylsulphonyl fluoride*) PMSF, 1mM; EDTA, 2mM; Mercaptoethanol, 1mM; pH 7.2) روی یخ ساییده شدند و با سانتریفیوژ با دور ۱۳۰۰۰ rpm به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید و سپس محلول رویی به اپندروف‌های جدید انتقال یافته و یکبار دیگر به مدت ۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. از این محلول به منظور اندازه‌گیری مقدار پروتئین‌های محلول کل به روش Bradford (۱۹۷٦) استفاده گردید. جهت اندازه‌گیری کلسیم از روش Bao (۱۹۸۱)استفاده گردید. ۲ میلی‌لیتر از عصاره گیاهی در ارلن با حجم ۲۵ میلی‌لیتر ریخته و ۵

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.11.1.9]

میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه شد. سپس ۲/٤ میلی‌لیتر NaoH ۲/۵ نرمال و ۰/۰٦ گرم پودر مورکسید به آن افزوده و با EDTA (اتیلن‌دی‌آمین‌تترااستیک‌اسید) ۰/۰۲ نرمال تیتر گردید تا رنگ قرمز ارغوانی ثابتی به دست آمد. در پایان میزان کلسیم براساس فرمول زیر محاسبه شد.

$$X=V_2*0.4*21/A*B$$

X میزان کلسیم موجود در برگ و ریشه گیاهان شاهد و آلوده (mg/gDw)، V_2 حجم مصرفی EDTA ۰/۰۲ نرمال، A حجم کل مواد قبل از اضافه کردن EDTA و B میزان ماده خشک مصرفی بر حسب گرم می‌باشد.

اندازه‌گیری فسفر با کمک روش Kohler و همکاران (۲۰۰۷) انجام گرفت. ۲ میلی‌لیتر از عصاره گیاهی با آمونیاک ۱ به ۱ خنثی گردید. سپس ۰/۲۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۱ به ۲ و ۰/۷۵ میلی‌لیتر معرف وانادات مولیبدات اضافه گردید و حجم نهایی با آب مقطر به ۵ میلی‌لیتر رسانده شد. جذب محلول‌ها و نمونه‌های استاندارد در طول‌موج ٤۵۰ نانومتر خوانده شد و مقدار فسفر بر حسب میلی‌گرم برگرم وزن خشک برگ و ریشه محاسبه شد. آزمایشات انجام شده برای هرگیاه در سه تا پنج تکرار براساس طرح کاملا" تصادفی انجام شد. جهت آنالیز داده‌ها از نرم‌افزار SPSS16 و برای مقایسه میانگین ها از آزمون T تست استفاده گردید. محاسبه احتمال معنی‌دار بودن تفاوت‌ها در سطح ۵ درصد انجام شد و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

نتایج:

آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که آلودگی هوا بر تمام شاخص های اندازه گیری شده برگ و ریشه یونجه به جز فسفر برگ در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. در گیاه لوبیا نیز تمام شاخص‌های اندازه گیری شده به جز کلسیم ریشه تحت تاثیر آلودگی هوا تغییر معنی‌داری داشتند (جدول ۱).

غلظت پرولین برگ و ریشه یونجه در منطقه آلوده به طور معنی دار (در سطح احتمال۵٪) نسبت به منطقه پاک افزایش یافت. پرولین برگ و ریشه گیاه لوبیا نیز تحت تأثیر آلودگی هوا به ترتیب ٤٤/۲٪ و ۳۷/۹٪ افزایش یافت که این افزایش نیز معنی دار بود(شکل ۱ a و b).

آلودگی هوا باعث افزایش معنی‌دار غلظت پروتئین برگ و ریشه یونجه به ترتیب به میزان۲۳/٤٪ و ۲٦/۷٪ ولی کاهش معنی‌دار غلظت پروتئین برگ و ریشه گیاه لوبیا به ترتیب به مقدار۳٤/۲٪ و ۲۹/۵٪ شد (شکل ۱ c وd).

تجمع کلسیم در برگ و ریشه گیاه یونجه تحت تأثیر آلودگی هوا به ترتیب ۷۰/۵ ٪ و ٦٪ افزایش معنی‌دار نشان داد در حالی که آلودگی هوا باعث کاهش معنی‌دار(در سطح ۵٪) کلسیم برگ لوبیا به میزان ۲۸/۳٪ شد و بر میزان کلسیم ریشه لوبیا تأثیر معنی‌داری نداشت (شکل ۲ a و b).

همچنین آلودگی هوا میزان فسفر ریشه یونجه را به طور معنی‌دار (در سطح احتمال ۵٪) به مقدار ٤٤/٦٪ افزایش داد در صورتی که بر میزان فسفر برگ این گیاه تأثیر معنی‌داری نداشت. میزان فسفر برگ و ریشه لوبیا نیز تحت تأثیر آلودگی هوا به ترتیب ٦/۱ ٪ و ۵۷/٤٪ افزایش معنی‌دار نشان داد (شکل ۲ c و d).

بحث:

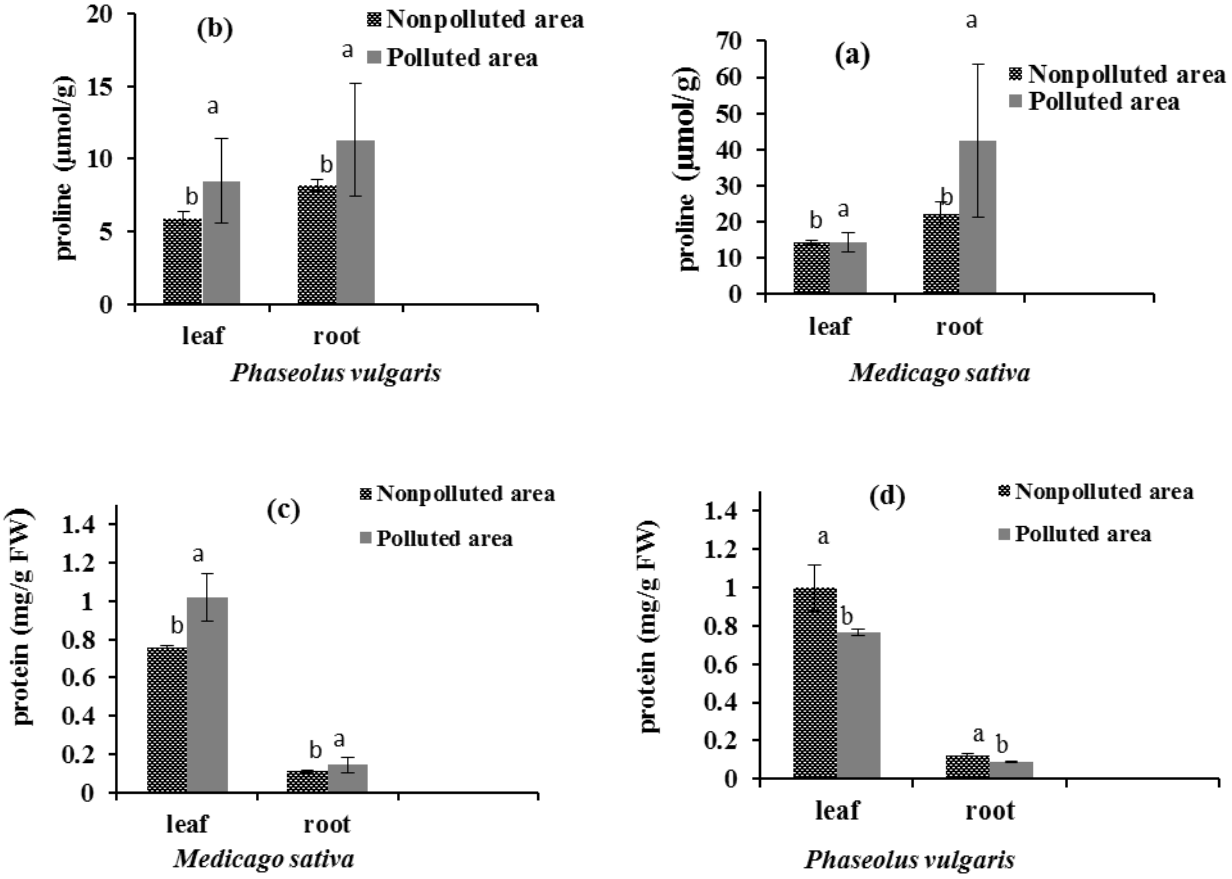
وقتی که گیاهان در معرض آلاینده‌های هوا قرار می‌گیرند قبل از نشان دادن آسیب‌های قابل رؤیت در برگ‌ها، تغییرات فیزیولوژیکی را متحمل می‌شوند که می‌توانند به عنوان شاخص‌های اولیه برای بررسی اثرات زیان‌آور آلودگی هوا بر گیاهان استفاده شود (Liu and Ding, 2008). تحقیقات زیادی افزایش اسیدآمینه پرولین را تحت تنش آلودگی هوا نشان داده است که موافق با نتایج بدست آمده در این مطالعه است. در مطالعه ای که بر روی گیاه *Eucalyptus camaldulensis* رشد یافته در منطقه آلوده صورت گرفت پرولین برگ‌های این گیاه در منطقه آلوده به‌طور معنی‌دار ($P<0.01$) افزایش یافت که این افزایش در گیاهان منطقه آلوده نسبت به منطقه پاک ۳۵۵/٦۲ درصد افزایش داشت (Seyyednejad and Koochak, 2011). افزایش میزان پرولین در دو گونه *Populus robusta* و *Populus hybrida* نیز تحت تاثیر آلاینده‌های هوا مشاهده شده است. بررسی‌ها نشان داده است که علت افزایش پرولین، آزاد شدن مقادیر زیادی از یونهای سمی از جمله آمونیوم می‌باشد و واکنش آمونیوم با آلفاکتوگلوتارات و تشکیل حدواسط گلوتامات

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.11.1.9]

جدول ۱- نتایج آنالیز واریانس تأثیر آلودگی هوا بر میزان پرولین، پروتئین و عناصر کلسیم و فسفر ریشه و برگ گیاهان یونجه و لوبیا با آنالیز T تست

واریانس	پرولین برگ	پرولین ریشه	پروتئین برگ	پروتئین ریشه	کلسیم برگ	کلسیم ریشه	فسفر برگ	فسفر ریشه
F(یونجه)	۱۰/٦۸۱*	۹/۷۳٦*	۱۳/٦۹۲*	۸/۸۱۱*	۷/۸۱۸*	۱۱/٦۳۳*	۱/۳۷٥ ns	۱۱/۰۰۹*
F(لوبیا)	۱۱/۰۰٦*	۱۲/٥۳۰*	۱۲/۰٦۹*	۱۰/۲۸٦*	۹/٥٤۲*	۰/۰۱۳ ns	۱۱/٥۰٤*	۱٤/۹۰۱*

*: معنی‌دار در سطح احتمال۵٪ و ns معنی‌دار نیست

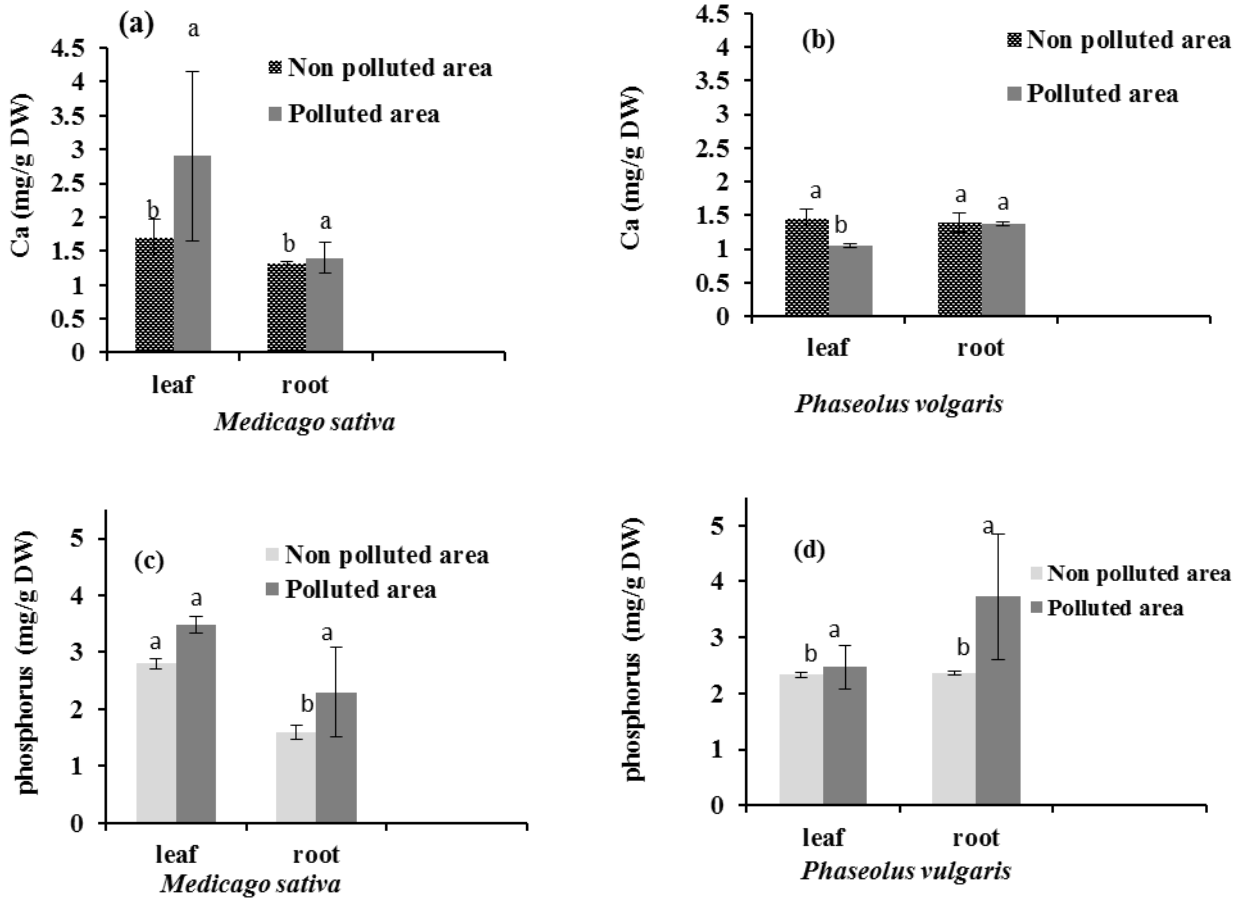


شکل۱ -تغییرات پرولین (a) یونجه و (b) لوبیا و تغییرات پروتئین(c) یونجه و(d) لوبیا در منطقه آلوده و منطقه پاک. خطوط خطا نشان دهنده خطای استاندارد (SE) و حروف غیرمشابه نشان دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵٪ براساس روش T تست می‌باشد و برای هر اندام جداگانه محاسبه شده است.

بخشی از مسیر سنتزی پرولین می‌باشد(Karolewski, 1989). همچنین گزارش شده است که پرولین به‌عنوان یک جمع کننده رادیکالهای آزاد برای حفاظت گیاهان از آسیب‌های تنش اکسیداتیوی مانند آلودگی هوا عمل می‌کند و یک اسمولیت عمومی تجمع یافته در پاسخ به تنش‌های متعدد است و ممکن است در واکنش‌های دفاعی گیاه نیز نقش داشته باشد (Khattab, 2007). تجمع پرولین در سلول‌ها ممکن است به دلیل کاهش تخریب پرولین، افزایش سنتز پرولین و یا هیدرولیز پروتئین‌ها اتفاق افتد (Assadi *et al*., 2011).

در تحقیق حاضر مقدار پروتئین کل در هر دو اندام برگ و ریشه گیاه یونجه‌ی رشد کرده در منطقه آلوده افزایش معنی داری نسبت به گیاهان مشابه منطقه پاک داشت در حالی که در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.11.1.9]



شکل۲ – تغییرات تجمع یون کلسیم (a) یونجه و (b) لوبیا و تجمع فسفر (c) یونجه و(d) لوبیا در منطقه آلوده و منطقه پاک. خطوط خطا نشان دهنده خطای استاندارد (SE) و حروف غیرمشابه نشان دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵٪ براساس روش T تست می‌باشد و برای هراندام جداگانه محاسبه شده است.

لوبیا در هر دو اندام کاهش معنی داری در مقدار پروتئین گیاهان منطقه آلوده مشاهده گردید. درگیاه *Cassia fistula* میزان پروتئین در منطقه آلوده نسبت به منطقه شاهد ۳۳/۸ درصد کاهش یافت در صورتی که میزان پروتئین گیاهان *Heliotropium baceiferum* و *Tevetia neralfoia* در مناطق آلوده نسبت به منطقه شاهد افزایش داشت (Akram and El-Yemeni, 2010). بنابراین بسته به گونه گیاهی میزان پروتئین، تحت تنش آلودگی هوا تغییرات متفاوتی دارد. تنش‌های اکسیداتیو مختلف از قبیل آلودگی هوا ممکن است میزان ROS را بالا ببرند که باعث ایجاد آسیب جدی به ماکرومولکول‌های آلی مانند پروتئین‌ها می‌شود مثلا تعدادی از آلاینده‌های هوا مانند دی‌اکسیدسولفور، دی‌اکسیدنیتروژن و ازون از طریق تولید ROS باعث کاهش پروتئین گیاه می‌شوند (Mecord, 2000). تخریب و شکستن پروتئین‌های موجود در گیاه به اسیدآمینه‌های سازنده‌شان به‌عنوان مهمترین علت کاهش میزان پروتئین در آلودگی هوا شناخته شده است (Tripathi and Gautam, 2007). همچنین گزارش شده است که افزایش میزان پروتئین در گیاهان مقاوم تحت تنش آلاینده‌ها به‌خصوص SO2 نیز می‌تواند به واسطه تحریک سنتز آمینواسیدهای حاوی گوگرد توسط این گاز باشد (Sardi, 1981).

مشخص شده است که گیاهانی که به آلودگی هوا مقاوم‌تر هستند مقادیر بیشتری از عنصر کلسیم را در بافت‌های خود انباشته می‌کنند (Akram and El-yemeni, 2010) در برگ‌های گیاهان *Tilia argentea* و *Quercus cerris* نیز تجمع یون کلسیم در مناطق آلوده گزارش شده است (Tzvetkova and Kolarov, 1996). برعکس کاهش میزان

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.11.1.9]

کلسیم در برگ‌های گیاه *Q. Cerris* که در منطقه آلوده رشد کرده بود به‌وسیله دیگر محققان گزارش شده است (Konecna *et al*., 1989). در تحقیق حاضر نیز در گیاه یونجه رشد یافته در منطقه آلوده در هر دو اندام ریشه و برگ مقدار کلسیم افزایش معنی‌داری داشت در حالی که کلسیم برگ لوبیای منطقه آلوده کاهش معنی‌داری را نشان داد و مقدار کلسیم ریشه این گیاه در همان منطقه بدون تغییر باقی ماند. ثابت شده است که سازگاری گیاهان نسبت به تنش‌های محیطی مانند آلودگی هوا نیازمند تنظیم درون سلولی سطوح کلسیم است. اسیدیته بالای خاک در مناطق صنعتی با شسته شدن شدید عناصری مانند کلسیم از برگ‌های گیاهان مرتبط است و مقدار کم این عنصر به‌عنوان یکی از دلایل صدمات فیزیولوژیک در گیاهان تحت تنش آلودگی هوا عنوان شده است (Hirschi, 2004).

اگرچه مقدار فسفر ریشه یونجه رشد یافته در منطقه آلوده مورد مطالعه در این تحقیق افزایش معنی‌داری نسبت به فسفر گیاهان منطقه پاک داشت، در برگ این گیاه تفاوت معنی‌داری بین میزان فسفر دو گیاه مناطق آلوده و پاک مشاهده نگردید. در بیشتر گونه‌های گیاهی مطالعه شده مانند *Carpinos betulus* و *Ailanthus glandulosa* برگ‌های گیاهان در منطقه با آلودگی هوا مقدار بالاتری از فسفر را در بافت‌های خود انباشته کردند. در حالی که در گیاهان *Tilia argentea* و *Quercus cerris* میزان فسفر بخش هوایی در منطقه آلوده به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (Tzvetkova and Kolarov, 1996). در گیاه لوبیا نیز در منطقه آلوده مقدار فسفر در هر دو اندام ریشه و برگ به میزان معنی‌داری بیشتر از منطقه پاک مشاهده گردید. اسیدیته بالاتر خاک در منطقه آلوده و به ویژه در مناطق صنعتی برای در دسترس بودن فسفر مناسب است و این عنصر به خوبی قابل تبادل و انتقال است و غلظت برگی آن مرتبط با فعالیت فیزیولوژیک بالا در شروع دوره رشد است. انباشتگی فسفر در برگ‌های گیاهان آلوده با مصرف انرژی بیشتر برای فرایندهای سازگاری مرتبط است (Tzvetkova and Kolarov, 1996).

از آنجا که گیاهانی که به آلودگی هوا مقاوم‌تر هستند مقادیر بیشتری از عنصر کلسیم را در بافت‌های خود انباشته می‌کنند و با توجه به اینکه در این مطالعه مقدار عنصر کلسیم در گیاه لوبیا در اثر آلودگی هوا کاهش یافته است و گیاه یونجه کلسیم بیشتری را در منطقه آلوده در برگ و ریشه انباشته نموده است می‌توان گفت که احتمالا لوبیا به آلودگی هوا حساس و یونجه نسبت به این نوع آلودگی مقاوم می‌باشد همچنین افزایش پروتئین گیاه یونجه را در منطقه آلوده می‌توان به مقاومت این گیاه نسبت به آلودگی هوا نسبت داد البته بررسی کیفی پروتئین های مقاوم نسبت به تنش آلودگی هوا و سایر بررسی های مولکولی دقیق‌تر می تواند موجب تایید این نتیجه‌گیری گردد.

تشکر و قدردانی:

نویسندگان مقاله از حوزه معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه اراک که حمایت مالی و اجرایی این تحقیق را به عهده داشتند صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع:

Akram, A. and El-yemeni, M. (2010) Atmospheric air pollution effects on some exhibited plants at aljubail industrial city, Ksa. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 4:1251-1263.

Assadi, A., Ghasemi pirpaluti, A., Malekpoor, F. and Teimori, N. (2011) Impact of air pollution on physiological and morphological characteristics on *Eucalyptus camaldulensis* Den. Journal of Food, Agriculture & Environment 9: 676-679.

Bates, L. S. (1973) Rapid determination of free proline for water-stress studies, Plant and Soil. 39: 205-207.

Bao, S. D. (1981) Determination of cation. In: Analytic methods for soil and agriculature chemistry (ed. Bao S. D.) Pp. 150-160. China Agriculature Press, Beijing.

Bradford, M. N. (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry 72: 248-254.

Guderian, R. (1977) Air pollution. Phytotoxicity of acidic gases and its significance in air pollution control. Ecol. Stu., Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 22: 150-257.

Hirschi, D. (2004) The calcium conundrum, both versatile nutrient and specific signal, Plant Physiology 136: 2438-2442.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-23]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.11.1.9]

antioxidants in conifers. Plant Physiology. 82: 336-338.
Rajput, M. and Agrawal, M. (2004) Physiological and yield responses of pea plants to ambient *air* pollution. Indian journal of plant physiology 9: 9-14.
Sardi, K. (1981) Changes in the soluble protein content of soybean (*Glycine max* L.) and pean (*Pisum sativum* L.) under continuous SO_2 and soot pollution. Environmental Pollution 25: 181-186.
Seyyednejad, S. M and Koochak, H. (2011) A studies on air pollution-induced biochemical alteration in *Eucalyptus camaldulensis.* Australian Journal of Basic and Sciences 5: 601-606.
Tankha, K. and Gupta, R. K. (1992) Effect of water deficit and SO_2 on total soluble protein, nitrate reductase activity and free proline content in sun flower leaf. Biologia Plantarum 34: 305-310.
Tripathi, A. K. and Gautam, M. (2007) Biochemical parameters of plants as indicators of air pollution. Journal of Environmental Biology 28:127-133.
Tzvetkova, N. and Kolarov, D. (1996) Effect of air pollution on carbohydrate and nutrient concentration in some deciduous tree spicies. Bulgarian Journal of Plant Physiology 22: 53-63.
Wang, F., Zeng, B., Sun, Z. and Zhu, C. (2009) Relationship between proline and Hg^{2+}-induced oxidative stress in a tolerant rice mutant. Arch. Environmental Contamination Toxicology 56: 723-731.
Karolewski, P. (1989) Free proline content and susceptibility of poplar (*Populus*) cuttings to the action of SO_2, NaCl and PEG at different temperatures. Environmental Pollution 57: 307-315.
Khattab, H. (2007) The deffence mechanism of cabbage plant against phloem- stuching aphid (*Brevicoryne brassicae* L.). Australian Journal Basic Applied Sciences 1: 56-62.
Kohler, J., Caravaca, F. and Roldan, A. (2007) Interactions between a plant growth promoting *rhizobacterium*, an AM fungus and phosphate-solublising fungus in the rhizosphere of *Lactuca sativa.* Applied Soil Ecology 35: 480-487.
Konecna, B., Fricand, F. and Masrovicova, E. (1989) Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase activity and protein content in pollution damaged leaves of three oak species. Photosynthetica 23; 566-574.
Liu, Y.J. and Ding, H. (2008) Variation in air pollution tolerance index of plants near a steel factory: Implication for landscape-plant species selection for industrial areas. Wseas Trans. Environental Development 4: 24-32.
Mecord, J.M. (2000) The evolution of free radicals and oxidative stress. American Journal of Medicine 108: 652-659.
Mehlhorn, H., Seufert, G., Schmidt, A. and Kunert, K. J. (1986) Effect of SO_2 and O_3 on production of

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-23]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.11.1.9]