**Nova Biologica Reperta** 6(4): 464-477 (2020)
Print ISSN: 2423-6330/Online ISSN: 2476-7115
https://nbr.khu.ac.ir; Kharazmi University Press; DOI: 10.29252/nbr.6.4.464

**یافته‌های نوین در علوم زیستی**
جلد ۶، شماره ۴، صفحات ۴۶۴ الی ۴۷۷ (۱۳۹۸)
انتشارات دانشگاه خوارزمی

# اثرات فعالیت کارخانه سیمان بهبهان بر جذب برخی عناصر غذایی و شاخص‌های بیوشیمیایی در گونه‌های علفی خردل وحشی، پنیرک و جارو علفی

**مریم مسعودی زاده[۱]، پرژک ذوفن[۱] و سعادت رستگار زاده[۲]**

[۱]گرو ه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران؛ [۲]گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
مسئول مکاتبات: پرژک ذوفن، p.zoufan@scu.ac.ir

**چکیده.** با توجه به این‌که فعالیت کارخانه‌های تولید سیمان منجر به آزاد سازی انواع آلاینده‌ها به محیط می‌شود، این پژوهش به منظور بررسی آثار ناشی از غبار کارخانه سیمان بهبهان بر جذب برخی از عناصر غذایی و شاخص‌های بیوشیمیایی در گونه‌های گیاهی علفی غالب رشد یافته در منطقه شامل خردل وحشی، پنیرک و جارو علفی انجام شد. بدین منظور پس از نمونه برداری و انتقال نمونه‌های گیاهی به آزمایشگاه، غلظت برخی عناصر غذایی همچون آهن، مس، روی، پتاسیم، منگنز، فسفر و نیتروژن برای نمونه‌های گیاهی و خاکی مورد سنجش قرار گرفت. همچنین، سنجش برخی شاخص‌های بیوشیمیایی نظیر محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی، پروتئین کل، کربوهیدرات محلول، پرولین، رطوبت نسبی، pH برگی، آسکوربات کل و نهایتا شاخص تحمل به آلودگی هوا ارزیابی شدند. بر اساس این نتایج تصور می‌شود هر سه گونه با شاخص تحمل به آلودگی بیش‌تر از ۱۶ جزو گونه‌های متحمل به آلودگی هوا محسوب شوند. بر اساس این نتایج، تصور می‌شود که غبار ناشی از فعالیت کارخانه سیمان منجر به تجمع سمی عناصر ذکر شده در گیاهان تحت مطالعه نشده است، با این وجود کمبود منگنز و فسفر برای هر سه گونه مشخص شد. علاوه بر این، به نظر می‌رسد که سه گونه گیاهی احتمالاً از راهکارهای متفاوتی برای تحمل آلاینده‌های موجود در غبار منطقه بهره می‌گیرند.

**واژه‌های کلیدی.** آلودگی هوا، تحمل، تجمع عناصر، شاخص بیوشیمیایی، گیاهان علفی

# The effects of Behbahan cement factory activity on the absorption of some nutrients and biochemical responses in herbaceous plants *Sinapis arvensis*, *Malva neglecta* and *Bromus tectorum*

**Maryam Masoudizadeh[1], Parzhak Zoufan[1] & Saadat Rastegarzadeh[2]**

[1]Department of Biology, Faculty of Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran; [2]Department of Chemistry, Faculty of Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
Correspondent author: Parzhak Zoufan, p.zoufan@scu.ac.ir

**Abstract.** The cement production activities leads to the release of different pollutants into the environment. This research was conducted to study the effects of dust particles released by Behbahan cement factory on the absorption of some nutrient elements and biochemical parameters in dominant herbaceous species grown in this area, including *Bromus tectorum*, *Malva neglecta* and *Sinapis arvensis*. Plant samples were transferred to the laboratory. Then, the concentrations of some nutrient elements, such as Fe, Cu, Zn, K, Mn, P and N, were assayed in plant and soil samples. Moreover, some biochemical parameters, such as photosynthetic pigments, total protein, soluble carbohydrates, proline, relative water content, leaf pH total ascorbate and air pollution tolerance indexes (APTI), were evaluated. Based on these results, it is supposed that three plant species are tolerant to air pollution with an APTI higher than 16. In addition, it seems that the dust released by the cement factory has not led to a toxic accumulation of the elements in the studied plants. The deficiency of Mn and P was determined for three plant species. On the basis of biochemical analysis, it is supposed that these plant species possibly use different strategies to tolerate the pollutants in this area.

**Keywords.** air pollution, biochemical parameters, herbaceous plants, nutrients accumulation, tolerance

Received 06.01.2018/ Revised 13.10.2018/ Accepted 23.02.2019/ Published 10.01.2020

دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۱۵/ اصلاح: ۱۳۹۷/۰۷/۲۱/ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۰۴/ انتشار: ۱۳۹۸/۱۰/۲۰



[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09 ]
[ DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.4.8.9 ]
[ DOI: 10.29252/nbr.6.4.464 ]

## مقدمه

گسترش روز افزون شهرها، رشد سریع شهرنشینی و فعالیت-های صنعتی موجب آزاد سازی انواع آلاینده‌ها نظیر فلزات سنگین، آلاینده‌های آلی و گرد و غبار از منابع مختلف آلوده کننده و در نتیجه باعث آلودگی محیط‌های شهری شده است. این آلودگی‌ها می‌توانند به طور مستقیم از طریق باد وارد هوا شده و یا غیرمستقیم، از طریق انحلال در آب، خاک‌ها را آلوده کنند. ورود این آلودگی‌ها به چرخه طبیعت اثرات کوتاه و بلند مدت خطرناکی بر طبیعت و موجودات زنده دارد. هرچند موجودات زنده به مقادیر کمی از برخی از فلزات سنگین نظیر مس، روی و آهن نیاز دارند، اما مقادیر زیاد آن‌ها می‌تواند برای آن‌ها مخرب باشد (Buszewski *et al*., 2000). کارخانه سیمان یکی از منابع آلوده کننده محیط زیست است که با تولید مقادیر زیادی گرد و غبار منجر به رسوب آلاینده‌ها در خاک، گیاهان و محصولات کشاورزی و مناطق مسکونی اطراف می‌شود. گرد و غبار ناشی از آسیاب کردن مواد اولیه و همچنین عناصر سنگین موجود در مواد آهکی، رسی و گازهای کربن دار، اکسیدهای گوگرد و اکسیدهای نیتروژن در نتیجه فعالیت کوره‌های تولید سیمان به محیط رها می‌شوند. علاوه بر این یکسری مواد آلی و فلزات سمی ناشی از سوختن ضایعات نفتی و آلی موجود در مواد خام اولیه که جهت سوخت مورد نیاز کوره‌های سیمان هستند، نیز به محیط افزوده می‌گردند (Ambibola *et al*., 2007). به دلیل انباشت زیاد آلاینده‌های فوق در بخش‌های سطحی خاک این ترکیبات به راحتی در دسترس گیاهان قرار می‌گیرند و با جذب از طریق ریشه‌ها موجب تغییر در برخی از فرایندهای متابولیکی گیاه شده و از رشد و نمو مطلوب آن ممانعت می‌کنند. رسوب غبار سیمان بر روی فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، باروری گیاه و در کل بر شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاه اثر گذار است (Pollard *et al*., 2014) ذرات گرد و غبار سیمان قطری کم‌تر از ۱۰ میکرومتر دارند و با توجه به این‌که قطر متوسط روزنه‌های گیاهی حدود ۳۰ میکرون است، این ذرات به راحتی به بافت‌های میانی نفوذ می‌کنند و با آب میان بافتی واکنش نشان داده و اسید کربنیک ایجاد می‌کنند. اسید تولید شده بر اجزای درون سلولی، خصوصا کلروپلاست و کوتیکول اثرات منفی داشته، باعث اختلال در عملکرد ژنتیکی، جذب مواد غذایی و آب و سلب مقاومت گیاه در مقابل عوامل بیماری‌زا می‌شود (Mandre & Klos Eiko, 1997). در این میان تولید فلزات سنگین ناشی از آسیاب کردن مواد اولیه در کارخانه سیمان همچون سرب بر گیاهان در حال رشد در این مناطق اثر گذاشته و سبب تولید انواع اکسیژن واکنش‌گر مانند آنیون سوپر اکسید($O_2^-$)، پراکسید هیدروژن ($H_2O_2$) و رادیکال هیدروکسیل (OH•) می‌شود که ترکیبات فوق معمولاً با ایجاد آسیب‌های غشایی فرایندهای مختلف سلولی را دچار اختلال می‌کنند (Allen, 2008). البته گیاهان در مقابل برای مقابله با این آثار، مکانیسم‌هایی از خود نشان می‌دهند. تفاوت در مکانیسم‌های تحمل عمدتاً به توانایی گیاهان در محدود کردن جذب آلاینده‌ها و یا در صورت جذب آن، به سم‌زدایی، کنترل سوخت و ساز و دفع سموم مربوط می‌شود. گاهی آلاینده می‌تواند بر فعالیت و رشد گیاهان به صورت رقابتی اثر بگذارد و شرایط را به نفع گونه‌های علفی و مقاوم‌تر تغییر دهد (Fischerová *et al*., 2006). برخی مطالعات نشان دادند که آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های صنعتی نظیر صنعت سیمان می‌تواند بر رشد و شاخص‌های بیوشیمیایی گیاهان منطقه تأثیر گذار باشد. به عنوان مثال تأثیر غبار ناشی از کارخانه سیمان بر برخی سوزنی برگان نشان داد که غبار سیمان با تغییر pH خاک منجر به تغییر فعالیت آنزیم‌ها، محتوای کربوهیدراتی و پروتئینی و در نهایت موجب کاهش رشد گیاهان در مناطق تحت تأثیر می‌شود (Mandre & Klos Eiko, 1997). با بررسی اثر آلاینده‌های کارخانه سیمان بر روی گیاهان اطراف مشخص شد که گیاهان تحت تأثیر گرد و غبار کاهش معنی داری را در رشد خود نشان می‌دهند (Igbal & Shafig, 2001). بررسی اثر غبار سیمان بر خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه زیتون نشان داد افزایش غلظت غبار سیمان در هوا، سبب کاهش شدید توانایی فتوسنتز، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش رشد و باروری می‌شود (Nelson & Ilias, 2007). در یک بررسی روی خاک اطراف کارخانه سیمان در ناحیه عمان نتایج نشان داد که غبار ناشی از کارخانه سیمان حاوی آلاینده‌های گازی و فلز سنگین است و منجر به کاهش رشد گیاهان منطقه می‌شود (Semhi *et al*., 2010). با بررسی اثر آلودگی‌های ناشی از فعالیت کارخانه سیمان در گیاه داتوره گزارش شد که فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان در معرض آلودگی به طور معنی داری افزایش می‌یابد. از طرفی با افزایش فاصله از کارخانه سیمان گیاه کم‌تر تحت تأثیرات منفی آلاینده‌ها قرار می-گیرد (Hediat *et al*., 2011). با سنجش میزان فلزاتی نظیر آهن، منگنز و آرسنیک در ۵ گونه گیاهی رشد یافته در نزدیکی محل فعالیت‌های معدن کاری مشخص شد که این گونه‌ها از توانایی متفاوتی در تجمع فلزات فوق برخوردار هستند (Garcia-Lorenzo *et al*., 2012). رسوب ذرات معلق کارخانه سیمان بهبهان بر درختان کنار رشد یافته در این منطقه باعث کاهش سطح برگ، رشد طولی، محتوای کلروفیل و کاروتنوئید و همچنین کاهش فتوسنتز و فعالیت مریستم انتهایی می‌شود (Sajadinia *et al*., 2016). با بررسی نتایج حاصل از اثرات آلودگی کارخانه سیمان بر روی انبه مشخص شد که ویژگی‌های رشدی نظیر سطح



[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09 ]
[ DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.4.8.9 ]
[ DOI: 10.29252/nbr.6.4.464 ]

برگ و محتوای رنگدانه‌ای کاهش معنی داری را نشان می‌دهند (Dwivedi & Dubey, 2017). در یک مطالعه بر روی گیاهان رشد یافته در مناطق آلوده شهری مشخص شده که این گیاهان با افزایش محتوای پرولین و آسکوربات، شاخص APTI مناسبی را جهت تحمل آلودگی هوا از خود نشان می‌دهند (Nadgórska-Socha *et al*., 2017). غبار ناشی از فعالیت کارخانه سیمان منجر به کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی و کاهش عنصر آهن در برگ گیاهان تحت مطالعه شد اما تأثیری بر جذب سایر عناصر نداشت (Siqueira-Silva *et al*., 2017).

با توجه به مشکلات زیست محیطی حضور آلاینده‌ها در محیط‌های طبیعی به خصوص خاک و نهایتاً اثر سوئی که برگیاهان و موجودات زنده دارند، در سال‌های اخیر روش‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و زیستی برای پاکسازی خاک‌های آلوده پیشنهاد شده است. یکی از روش‌های نسبتاً جدید برای حذف آلاینده‌ها از محیط، انتخاب و کاشت گونه‌های گیاهی مناسب در مناطق دارای آلودگی است که اصطلاحاً گیاه پالایی نامیده می‌شود و نقش بسیار مهمی در پیشبرد روش‌های اصلاح و پاکسازی خاک‌ها داشته است. در این میان، گونه‌های علفی اگرچه از بیوماس کم‌تری در مقایسه با گونه‌های درختی برخوردار هستند، اما برخی مطالعات حاکی از قابلیت بالای این گونه‌ها در حذف آلاینده‌ها از محیط است (Fischerová *et al*., 2006). صنعت سیمان یکی از صنایع بزرگ کشور است که با توجه به کاربرد و نقش کلیدی سیمان در بخش‌های مختلف از اهمیت زیادی برخوردار است. اما با توجه به این‌که فعالیت کارخانه‌های تولید سیمان منجر به آزاد سازی آلاینده‌های گازی و فلزی مختلفی به محیط می‌شود، از طرف دیگر سنجش پارامترهای بیوشیمیایی گیاهان در معرض آلودگی می‌تواند اطلاعات نسبتا مفیدی را در رابطه با وضعیت فیزیولوژیک و میزان تحمل گیاهان رشد یافته در این شرایط برای اهداف طولانی مدت پالایش محیط زیست در مناطق صنعتی فراهم کند، بنابراین، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر غبار ناشی از فعالیت کارخانه سیمان بهبهان بر جذب عناصر غذایی و برخی پاسخ‌های بیوشیمیایی در گیاهان خردل وحشی، پنیرک و جارو علفی به عنوان پوشش علفی غالب در منطقه انجام شد. نتایج حاصل از این پژوهش احتمالاً می‌تواند در معرفی گیاهان علفی متحمل به آلودگی ناشی از کارخانه سیمان بهبهان مفید باشد.

## مواد و روش‌ها

### مشخصات جغرافیایی منطقه تحت مطالعه

پژوهش حاضر در جنوب شرقی استان خوزستان، شهر بهبهان در منطقه اطراف کارخانه سیمان بهبهان انجام شد. شرکت سیمان بهبهان در ده کیلومتری شمال شرق شهرستان بهبهان و در مسیر جاده دسترسی به سد مخزنی مارون با مختصات ۴۳ درجه شرقی و ۳۳ درجه شمالی قرار دارد. ارتفاع آن از سطح دریا در حدود ۳۵۴ متر است. این شرکت از طرف شمال به رودخانه مارون از طرف غرب به اراضی کشاورزی و روستای امام رضا (ع) و از طرف شرق به راه دسترسی سد مخزنی مارون و معدن گچ و از طرف جنوب به جاده آسفالته و اراضی کشاورزی منطقه محدود می‌شود. حداکثر دمای آن به ۵۰ درجه سانتی‌گراد در ماه‌های تیر و مرداد و حداقل آن به صفر درجه در آذر و دی ماه می‌رسد (http://www.behcco.ir/HomePage.aspx?TabID=4784&Site=DouranPortal&Lang=fa-IR).

### نمونه برداری و عصاره گیری از گیاه جهت سنجش عناصر

پس از بازدید از منطقه در بهمن ۱۳۹۴ و انتخاب گونه‌های علفی غالب شامل خردل وحشی، پنیرک و جارو علفی به ترتیب با اسامی علمی *Sinapis arvensis* L.، *Malva neglecta* Wallr. و *Bromus tectorum* L. حدود ۵۵ تا ۶۰ گیاه از هر گونه (که در اکثر اوقات سال وجود دارند) به طور کامل دارای ریشه و توده هوایی به صورت تصادفی از خاک خارج شد (Lindsay & Norvell, 1978). پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه در شرایط سرد و شناسایی گونه‌های تحت بررسی با همکاری هرباریوم گروه زیست شناسی، جهت زدودن گرد و غبار از سطح گیاه شست و شوی نمونه‌ها با آب مقطر انجام شد. بعد از جدا کردن بخش ریشه‌ای از هوایی برای هر گونه، بخشی از آن‌ها به آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت منتقل شدند تا برای تهیه پودر خشک گیاهی جهت سنجش میزان جذب عناصر و همین طور میزان کربوهیدرات کل استفاده شوند. بخشی دیگر از نمونه‌های ریشه و برگ هم جهت بررسی برخی شاخص بیوشیمیایی بلافاصله به فریزر ۲۰- درجه سانتی‌گراد انتقال یافتند. خردل وحشی از تیره کلمیان (Brassicaceae)، پنیرک از تیره پنیرکیان (Malvaceae) و گیاه جارو علفی از تیره گندمیان (Poaceae) است.

عصاره گیری نمونه‌های گیاهی به منظور سنجش میزان فلزات و عناصر مطابق با روش Kovacs و همکاران (Kavacs *et al*., 1996) انجام شد. به یک گرم از نمونه پودر شده ۱۰ میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ اضافه و به مدت یک شب به حال خود رها شد. پس از آن نمونه‌ها بر روی هیتر با دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد تا تبخیر کامل اسید قرار داده شدند. پس از خنک شدن نسبی، یک میلی لیتر آب اکسیژنه ۳۰ درصد به آن افزوده و



[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09 ]
[ DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.4.8.9 ]
[ DOI: 10.29252/nbr.6.4.464 ]

مجددا تا تشکیل رسوب ژله‌ای حرارت داده شد. رسوب حاصل با مقداری آب دوبار تقطیر شستشو و به کمک کاغذ واتمن شماره ۴۲، صاف و درنهایت به حجم ۵۰ میلی‌لیتر با آب دوبار تقطیر رسانده شد. از عصاره‌های حاصل برای تعیین میزان عناصری مانند آهن، سرب، مس، روی و منگنز (با دستگاه جذب اتمی GBC مدل Avanta) و فسفر و پتاسیم به کمک منحنی استاندارد مربوط به هر عنصر استفاده و میزان هر عنصر به صورت میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک گیاهی نشان داده شد. برای سنجش میزان فسفر در نمونه‌های گیاهی ۵ میلی‌لیتر محلول وانادومولیبدات و ۱۵ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر به ۵ میلی‌لیتر عصاره شفاف افزوده و سپس جذب عصاره‌ها با روش اسپکتروفتومتری در طول موج ۴۷۰ نانومتر قرائت و مقدار فسفر در بخش هوایی یا ریشه‌ای با کمک منحنی استاندارد $KH_2PO_4$ بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک گزارش شد. برای سنجش میزان عنصر پتاسیم در عصاره‌های گیاهی از دستگاه فلیم فتومتر (مدل JENWAY) و منحنی استاندارد $KNO_3$ استفاده شد. اندازه‌گیری درصد نیتروژن گیاه، مطابق روش Kjeldahl (Kjeldahl, 1883) به یک گرم پودر خشک گیاهی، ۳/۹ گرم کاتالیزور (به صورت سولفات مس آب‌دار و سولفات پتاسیم) و ۱۲ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۹۸ درصد افزوده شد. پس از ۳۰ دقیقه حرارت ۴۱۰ درجه سانتی‌گراد جهت تسریع هضم اسیدی، به هر نمونه ۵۰ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر اضافه شد و سپس نمونه‌ها به دستگاه کجلدال (مدل KJELTEC 1030 Analayzer) جهت تیتراسیون انتقال یافتند.

**نمونه برداری و عصاره گیری از خاک جهت سنجش عناصر**

همزمان از اطراف ریشه هر گونه گیاهی مقداری خاک از عمق ۱۰ تا ۱۵ سانتی متری برداشته و جهت انجام آنالیزهای مربوطه به آزمایشگاه منتقل شد (Yanqun *et al*., 2004). نمونه‌های خاکی مربوط به هر گونه با هم مخلوط و به مدت یک هفته در آزمایشگاه هوا خشک و سپس با الک با مش ۸ غربال شدند. برای عصاره‌گیری خاک میزان ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ به یک گرم خاک هوا خشک افزوده و سپس بر روی هیتر با درجه حرارت ۸۵ درجه سانتی‌گراد قرارداده شد. پس از تبخیر اسید، ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک غلیظ به آن اضافه و مجددا در معرض حرارت قرار داده شد. بعد از سرد شدن و افزودن حدود ۳۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک یک نرمال، نمونه‌ها با کاغذ واتمن شماره ۴۲ صاف و با آب دوبار تقطیر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شدند (Soon & Abboud, 1993). سپس به کمک دستگاه جذب اتمی و با در نظر گرفتن منحنی استاندارد مربوطه میزان عناصری چون آهن، مس، روی، سرب و منگنز به فرم کل در نمونه‌های خاک برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک تعیین و گزارش شد. سنجش میزان فسفر خاک به روش اسپکتروفتومتری (Latrou *et al*., 2014) انجام شد. به ۵ میلی-لیتر عصاره شفاف خاکی، چهار قطره معرف دی نیتروفنول، ۲/۵ میلی‌لیتر معرف مولیبدات اضافه و با آب مقطر به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس، با کمک دستگاه اسپکتروفتومتر (WPA (Biowave) biochrom) میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۸۸۲ نانومتر قرائت و غلظت فسفر در مقایسه با محلول‌های استاندارد $KH_2PO_4$ بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک خاک تعیین شد. برای سنجش میزان نیتروژن و پتاسیم خاک از روش‌های ذکر شده برای نمونه‌های گیاهی استفاده شد.

**تعیین فاکتور انتقال (Translocation factor) و فاکتور تغلیظ زیستی (Bioconcentration factor)**

فاکتور انتقال (TF) میزان انتقال فلز سنگین را از ریشه به اندام هوایی نشان می‌دهد. این شاخص با تقسیم غلظت فلزات در بخش هوایی گونه‌های گیاهی نسبت به غلظت آن‌ها در ریشه محاسبه شد. فاکتور تغلیظ زیستی (BF) با محاسبه نسبت غلظت فلز سنگین در اندام هوایی یا ریشه به میزان آن در محیط خاک محاسبه شد (Branquinho *et al*., 2007).

**سنجش pH عصاره برگی**

ابتدا ۰/۲۵ گرم از نمونه تازه برگی با آب دیونیزه در هاون ساییده شد تا عصاره یکدستی به دست آید. سپس عصاره‌ها به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد و بعد از سانتریفیوژ به مدت ۲۰ دقیقه با دور g × ۳۰۰۰، pH محلول بالایی توسط دستگاه pH متر اندازه‌گیری شد (Pathak *et al*., 2011).

**سنجش محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی**

برای این منظور میزان ۰/۲۵ گرم برگ تازه در هاون چینی با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد در شرایط تاریکی روی یخ ساییده شد. پس از آن به کمک کاغذ واتمن شماره ۱ صاف و میزان جذب عصاره با کمک دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ۶۶۳/۲، ۶۴۶/۸ و ۴۷۰ نانومتر قرائت و میزان رنگدانه‌های کلروفیل *a, b* و کل و کاروتنوئیدها برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر بیان شد (Lichtenthaler, 1987).

**اندازه گیری درصد محتوای آب نسبی برگ ( Relative water content; RWC)**

ابتدا ۱۰ گرم نمونه برگ تازه توزین شد. پس از آن نمونه‌ها در پتری دیش‌های حاوی آب دیونیزه در دمای یخچال و در تاریکی مطلق به حالت سکون قرار داده شدند. بعد از گذشت ۲۴ ساعت با خشک کردن آب سطحی اضافی، نمونه‌ها مجددا توزین و وزن فوق به عنوان وزن تورژسانس در نظر گرفته شد. سپس با قرار



[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09 ]
[ DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.4.8.9 ]
[ DOI: 10.29252/nbr.6.4.464 ]

دادن نمونه‌ها در آون، به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد وزن خشک آن‌ها اندازه‌گیری شد. در نهایت از طریق رابطه زیردرصد RWC محاسبه شد (Pathak *et al*., 2011).

رابطه (۱) $\% RWC = (W f - Wd) 100 / (Wt - Wd)$

که در این رابطه $W_d$: وزن خشک نمونه گیاهی، $W_f$: وزن‌تر نمونه گیاهی و $W_t$: وزن تورژسانس نمونه گیاهی است.

**اندازه گیری میزان آسکوربیک اسید**

سنجش غلظت اسید آسکوربیک مطابق با روش Mukherjee و Choudhuri (Mukherjee & Choudhuri, 1983) انجام شد. میزان ۰/۵ گرم وزن تر برگی به همراه ۱۰ میلی‌لیتر محلول اسید متافسفریک ۵ درصد در هاون چینی روی یخ ساییده و سپس نمونه حاصل به مدت۲۰ دقیقه با دور g × ۸۰۰۰۰ در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ و محلول شفاف بالایی برای سنجش آسکوربات کل به‌کار برده شد. سپس به ۲ میلی‌لیتر از محلول بالایی مقدار ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول سدیم ۲ و ۶ دی کلرو ایندو فنل (DCIP) ۳ میلی‌مولار و ۱ میلی‌لیتر تیواوره ۱ درصد اضافه شد. پس از ۲۰ دقیقه سکون، به نمونه‌ها ۱ میلی-لیتر از محلول ۱۰ میلی مولار ۴،۲ دی نیترو فنیل هیدرازین (DNPH) اضافه شد. پس از یک ساعت انکوبه شدن در حمام آب ۵۰ درجه سانتی‌گراد، نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در حمام یخ ساکن ماندند. به‌تدریج ۲/۵ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک ۸۵ درصد به نمونه‌ها، اضافه شد. مجددا همه لوله‌ها در حمام یخ برای ۳۰ دقیقه دیگر قرار گرفتند. مقدار جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر و در مقایسه با محلول‌های استاندارد آسکوربیک اسید اندازه‌گیری و میزان آسکوربیک اسید گیاهی نهایتا به صورت میلی‌گرم در گرم وزن تر بیان شد.

**محاسبه شاخص تحمل به آلودگی هوا ( Air pollution tolerence index)**

این شاخص در رابطه با گیاهان منطقه آلوده به‌منظور تعیین میزان تحمل گیاهان در برابر آلودگی هوا مطابق با روش Pathak و همکاران (Pathak *et al*., 2011) و از طریق رابطه زیر محاسبه شد.

رابطه (۲) $APTI = [ A (T+P) + R ] /10$

که در این رابطه، APTI : شاخص تحمل گیاه به آلودگی هوا، A: غلظت اسید آسکوربیک برگ برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ، T: مقدار کلروفیل کل برگ برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ، P: pH عصاره برگ و R: درصد نسبی آب برگ است.

**استخراج و سنجش پروتئین‌های محلول گیاهی**

جداسازی پروتئین‌های محلول مطابق با روش Qiu و همکاران (Qiu *et al*., 2008) صورت گرفت. بر این اساس مقدار ۱ گرم از بافت تازه گیاهی شامل ریشه یا برگ در هاون با ۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم با pH معادل ۷ و غلظت ۰/۱ مولار (حاوی Polyvinylpyrrolidone یک درصد و $EDTA\text{-}Na_2$ ۰/۱ میلی‌مولار) بر روی یخ ساییده شد. پس از اتمام سانتریفیوژ به مدت ۱۵دقیقه با دور g ×۸۰۰۰ در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد، از فاز بالایی عصاره جهت سنجش میزان پروتئین‌های بافت گیاهی استفاده شد. اندازه‌گیری محتوای پروتئینی بر اساس روش Bradford (Bradford, 1976) انجام و میزان پروتئین بافت گیاهی بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن‌تر ارائه شد. به مقدار ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره پروتئینی ۱ میلی‌لیتر معرف برادفورد اضافه شد. سپس کلیه نمونه‌ها کمی ورتکس و به مدت ۲ دقیقه در دمای آزمایشگاه رها شدند. در پایان جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۹۵ نانومتر با روش اسپکتروفتومتری قرائت و محتوای پروتئین گیاهی در مقایسه با محلول‌های استاندارد سرم آلبومین گاوی بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر محاسبه شد.

**اندازه‌گیری میزان پرولین گیاهی**

به منظور سنجش میزان پرولین آزاد از روش Bates ( Bates, 1973) استفاده و در نهایت میزان پرولین در بافت گیاهی بر حسب میکرومول بر گرم وزن‌تر محاسبه و گزارش شد. مقدار ۰/۲۵گرم از بافت تازه برگی در هاون و بر روی یخ با افزودن ۵ میلی لیتراسید سولفو سالیسیلیک ۳ درصد ساییده شد. مخلوط حاصل به مدت ۱۰ دقیقه با دور g × ۱۰۰۰۰ در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. به ۲ میلی لیتر از محلول روشناور، ۲ میلی‌لیتر معرف ناین هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال اضافه و خوب مخلوط شد. پس از یک ساعت حمام آب گرم ۹۵ درجه سانتی‌گراد، نمونه‌ها در یک ظرف حاوی یخ به مدت ۱۵ دقیقه قرار داده شدند. با افزودن ۴ میلی‌لیتر تولوئن به هر نمونه و کمی ورتکس، از فاز صورتی بالایی (حاوی پرولین محلول در تولوئن) برای قرائت جذب نمونه‌ها و محلول‌های استاندارد پرولین در طول موج ۵۲۰ نانومتر با روش اسپکتروفتومتری استفاده شد.

**سنجش کربوهیدرات محلول برگ**

میزان کربوهیدرات محلول بر اساس روش فنل-اسیدسولفوریک (Dubois *et al*., 1956) محاسبه شد. مقدار ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد به ۰/۱ گرم پودر خشک برگی اضافه شد. بعد از کمی ورتکس، نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت g × ۳۰۰۰ سانتریفیوژ شدند. فاز رویی جمع آوری و عمل شستشو با اتانل ۳ تا ۴ بار دیگر انجام شد و هر بار پس از



[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09 ]
[ DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.4.8.9 ]
[ DOI: 10.29252/nbr.6.4.464 ]

سانتریفیوژ محلول روشناور جمع آوری و حجم نهایی با اتانل ۸۰ درصد به ۴۰ میلی‌لیتر رسانده شد. پس از تبخیر الکل در آون، رسوب حاصل با ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر شستشو داده و به لوله منتقل و به منظور حذف رسوبات اضافی و ترکیبات دیگر، مقدار ۵ میلی‌لیتر از محلول سولفات روی ۵ درصد و ۴/۷ میلی‌لیتر از محلول هیدروکسید باریم ۰/۳ نرمال به نمونه‌ها اضافه شد. به دنبال سانتریفیوژ، مقدار ۲ میلی‌لیتر از فاز بالایی هر نمونه به لوله‌های جدید انتقال یافتند. به هر لوله آزمایش ۱ میلی‌لیتر محلول فنل ۵ درصد و ۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ اضافه و سپس تا ظهور کف به شدت با دست تکان داده شد. پس از ۴۵ دقیقه میزان جذب نمونه‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۸۵ نانومتر قرائت شدند. در نهایت میزان قندهای محلول در نمونه در مقایسه با محلول‌های استاندارد گلوکز بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن خشک بیان شد.

**تجزیه و تحلیل آماری**

نتایج به دست آمده با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۲ مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. جهت مقایسه میانگین‌ها بین گونه‌های گیاهی برای هر شاخص از آزمون چند دامنه‌ای Duncan در سطح اطمینان P <۰/۰۵ استفاده شد. هر شاخص تحت بررسی در این تحقیق به صورت میانگینی از سه تکرار در نظر گرفته شد.

## نتایج

**بررسی میزان برخی عناصر در نمونه‌های گیاهی و خاکی**

لازم به ذکر است که بر اساس نتایج به دست آمده از این تحقیق هیچ مقداری از فلز سنگین سرب در نمونه‌های گیاهی و خاکی تعیین نشد. نتایج مربوط به تعیین غلظت عناصر در نمونه-های گیاهی و خاکی در جدول ۱ ارائه شده‌اند. در سنجش میزان عنصرآهن اندام هوایی تفاوت معنی‌داری (P<۰/۰۵) بین سه گیاه مشاهده شد. به این صورت که جارو علفی بیش‌ترین میزان آهن را به اندازه ۳۹۰/۱۲ و کم‌ترین مقدار را خردل وحشی به میزان ۵۹/۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک نشان داد. در ریشه‌ها بیشینه غلظت آهن مربوط به خردل وحشی به میزان ۴۳۲/۹۸ و کمینه آن مربوط به جارو علفی به میزان ۱۸۸/۸۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک سنجش شد. سنجش میزان عنصرآهن در خاک، مشخص کرد که خاک مربوط به جارو علفی با ۱۷۳/۷۲ بیش‌ترین و پنیرک با ۹۸/۰۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک کم‌ترین محتوای آهن را دارند. مقادیر مربوط فاکتور انتقال و همچنین فاکتور تغلیظ زیستی اندام هوایی و ریشه برای جذب آهن در جدول ۲ ارائه شده است. فاکتور انتقال برای گونه‌های جارو علفی و پنیرک بیش‌تر از یک و برای خردل وحشی کم‌تر از یک محاسبه شد. اندام‌های هوایی پنیرک و جارو علفی میزان فاکتور تغلیظ زیستی بیش‌تر از یک و در گونه خردل وحشی کم-تر از یک و ریشه‌های هر سه گونه فاکتور تغلیظ زیستی بالاتر از یک برای آهن نشان دادند.

همان طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود بیش‌ترین مقدار مس در اندام هوایی را گونه خردل وحشی به میزان ۵۵/۲۷ و کم-ترین مقدار را گونه جارو علفی به میزان ۱۱/۶۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک به خود اختصاص دادند. حداکثر میزان مس در ریشه پنیرک به میزان ۱۲۵/۲۵ و کم‌ترین مقدار مربوط به گونه جارو علفی و به میزان ۳۸/۷۵ میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک محاسبه شد. در خاک اطراف ریشه‌ها حداکثر مقدار در گونه خردل وحشی به میزان ۲۴/۳۵ و حداقل مقدار مربوط به پنیرک به میزان ۱۳/۷۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک سنجش شد. هر سه گونه فاکتور انتقال کم‌تر از یک را برای مس نشان دادند (جدول۲). برای دو گونه خردل وحشی و پنیرک میزان فاکتور تغلیظ زیستی در اندام هوایی بیش‌تر از یک و برای گونه جارو علفی کم‌تر از یک بود. همچنین نتایج نشان داد که میزان فاکتور تغلیظ زیستی مس در ریشه هر سه گونه گیاهی بالاتر از یک است. بر اساس این نتایج، بیش‌ترین مقدار روی در بخش‌های هوایی، ریشه‌ای و نمونه خاکی برای پنیرک و کم‌ترین مقدار برای جارو علفی اندازه گیری شد (جدول ۱). مطابق با جدول۲، میزان فاکتور انتقال برای پنیرک بیش از یک و برای دو گونه دیگر کم‌تر از یک و میزان فاکتور تغلیظ زیستی عنصر روی در بخش هوایی و ریشه‌ای برای هر سه گونه کم‌تر از یک محاسبه شد.

مطابق با جدول ۱، در سنجش میزان منگنز اندام هوایی و ریشه‌ای تفاوت معنی داری (P < ۰/۰۵) بین دو گونه خردل وحشی و پنیرک مشاهده نشد. بیش‌ترین مقدار منگنز برای بخش هوایی و ریشه‌ای جارو علفی سنجش شد. با بررسی میزان منگنز در خاک اطراف سه گونه، مشخص شد که تفاوت معنی داری (P<۰/۰۵) بین دو گونه جارو علفی و خردل وحشی وجود ندارد. بر این اساس حداکثر مقدار منگنز مربوط به خاک گونه پنیرک به میزان ۰/۲۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک اندازه گیری شد. مطابق با جدول۲، مقادیر فاکتور انتقال و فاکتور تغلیظ زیستی منگنز در اندام هوایی برای سه گونه بیش‌تر از یک گزارش شد. همچنین نتایج نشان داد که میزان فاکتور تغلیظ زیستی منگنز در ریشه‌های سه گونه کم‌تر از یک است. با توجه به جدول ۱، بین میزان فسفر در اندام هوایی، ریشه‌ای و خاک سه‌گیاه تفاوت معنی-داری (P<۰/۰۵) مشاهده شد. بر این‌اساس، حداکثر و حداقل مقدار فسفر را در بخش هوایی به ترتیب گونه پنیرک با مقدار ۵۹۰ و خردل وحشی با میزان ۱۷۰/۱۹ میلی‌گرم در کیلوگرم نشان



[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09 ]
[ DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.4.8.9 ]
[ DOI: 10.29252/nbr.6.4.464 ]

دادند. در ریشه‌ها و خاک گونه جارو علفی بیش‌ترین مقدار و خردل وحشی کم‌ترین محتوای فسفر سنجش شد. مطابق با جدول ۱، با مقایسه میزان عنصر پتاسیم در اندام هوایی سه گونه تحت مطالعه، مشخص شد که تفاوت مهمی بین دو گونه پنیرک و خردل وحشی وجود ندارد. در این میان حداکثر مقدار را گونه خردل وحشی و حداقل مقدار را گونه جارو علفی به خود اختصاص دادند. در نمونه خاکی گونه پنیرک حداکثر محتوای پتاسیم به میزان ۴۴۰۷۶/۶۲ و در نمونه خاکی گونه جارو علفی حداقل مقدار معادل ۲۹۸۳۰/۶۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک سنجش شد. جدول ۱ نشان می‌دهد به لحاظ درصد نیتروژن در اندام هوایی، ریشه‌ای و خاک مربوط به سه گونه تفاوت معنی داری ($P <$ ۰/۰۵) وجود دارد، به طوری که بیش‌ترین درصد نیتروژن در گونه پنیرک و کم‌ترین درصد آن در گونه جارو علفی اندازه‌گیری شد.

**بررسی برخی شاخص‌های بیوشیمیایی سه گونه گیاهی**

نتایج مربوط به اندازه‌گیری برخی شاخص‌های بیوشیمیایی در جدول ۳ نشان داده شده است. در بررسی میزان pH عصاره برگی، مشخص شد که تفاوت معنی داری($P<$۰/۰۵) بین سه گونه از این لحاظ وجود دارد. محدوده pH برای این سه گونه بین ۷/۵ تا ۷/۹ تغییر کرد. به طوری که میزان pH برای پنیرک ۷/۹۰ و برای جارو علفی برابر با ۷/۵۵ سنجش شد. بر اساس جدول ۳ مشخص شد که در سنجش میزان کلروفیل *a* و کل، تفاوت معنی داری بین سه گیاه وجود دارد ($P <$ ۰/۰۵)، به طوری که بالاترین مقدار مربوط به گونه خردل وحشی و پایین ترین مقدار مربوط به گونه جارو علفی است. از نظر میزان کلروفیل *b*، بین گونه‌های خردل وحشی و پنیرک تفاوت معنی‌داری ($P <$ ۰/۰۵) مشاهده نشد و گونه جارو علفی حداقل مقدار این شاخص را به میزان ۰/۲۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر به خود اختصاص داد. به لحاظ میزان کارتنوئیدها بین دو گونه جارو علفی و خردل وحشی تفاوت معنی‌داری ($P <$ ۰/۰۵) وجود نداشت. مقدار بیشینه کاروتنوئیدها برای گونه پنیرک میزان ۱۵۴/۴۳ و مقدار کمینه مربوط به گونه خردل وحشی و به میزان ۸۸/۲۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر اندازه گیری شد. بر اساس جدول ۳، درصد رطوبت نسبی بین سه گونه تفاوت معنی داری ($P<$۰/۰۵) را نشان داد. گونه جارو علفی حداکثر میزان این شاخص (۸۷/۹۶ درصد) و پنیرک حداقل میزان را به اندازه ۷۷/۵۶ درصد نشان دادند. بین میزان آسکوربات کل بخش هوایی و ریشه‌ای دو گیاه جارو علفی و خردل وحشی تفاوت معنی داری ($P <$ ۰/۰۵) وجود نداشت (جدول ۳).

**جدول ۱**- میزان عناصر در اندام هوایی، ریشه و خاک سه گونه گیاهی بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک.

**Table 1.** Concentration of elements in shoot, root and soil of three plant species (mg. $kg^{-1}$ DW).

| عناصر تحت مطالعه | *Malva neglecta* پنیرک | *Sinapis arvensis* خردل وحشی | *Bromus tectorum* جارو علفی |
|---|---|---|---|
| آهن اندام هوایی | ۲۶۲/۸۶$^{b}$ | ۵۹/۶۱$^{c}$ | ۳۹۰/۱۳$^{a}$ |
| آهن ریشه‌ای | ۲۰۰/۰۸$^{b}$ | ۴۳۲/۹۸$^{a}$ | ۱۸۸/۸۳$^{b}$ |
| آهن خاک | ۹۸/۰۲$^{c}$ | ۱۴۲/۶۹$^{b}$ | ۱۷۳/۷۲$^{a}$ |
| مس اندام هوایی | ۴۲/۷۷$^{b}$ | ۵۵/۲۷$^{a}$ | ۱۱/۶۱$^{c}$ |
| مس ریشه‌ای | ۱۲۵/۲۵$^{a}$ | ۱۰۶/۱۳$^{b}$ | ۳۸/۷۵$^{c}$ |
| مس خاک | ۱۳/۷۲$^{c}$ | ۲۴/۳۵$^{a}$ | ۱۷/۸۳$^{b}$ |
| روی اندام هوایی | ۷۱/۴۰$^{a}$ | ۵۲/۸۴$^{b}$ | ۲۹/۱۶$^{c}$ |
| روی ریشه‌ای | ۷۰/۷۱$^{a}$ | ۶۱/۷۰$^{b}$ | ۳۶/۰۷$^{c}$ |
| روی خاک | ۱۲۶/۱۰$^{a}$ | ۱۱۲/۴۲$^{b}$ | ۹۴/۵۷$^{c}$ |
| منگنز اندام هوایی | ۳/۳۵$^{b}$ | ۳/۴۱$^{b}$ | ۳/۶۵$^{a}$ |
| منگنز ریشه‌ای | ۰/۱۶$^{b}$ | ۰/۱۵$^{b}$ | ۰/۲۰$^{a}$ |
| منگنز خاک | ۰/۲۴$^{a}$ | ۰/۲۱$^{b}$ | ۰/۲۱$^{b}$ |
| فسفر اندام هوایی | ۵۹۰/۰۱$^{a}$ | ۱۷۰/۱۹۶$^{c}$ | ۳۶۴/۳۴$^{b}$ |
| فسفر ریشه‌ای | ۱۶۰/۱۱$^{b}$ | ۱۶/۳۸$^{c}$ | ۱۸۹$^{a}$ |
| فسفر خاک | ۲۱۹۹/۹۴$^{b}$ | ۱۴۱۷/۷۱$^{c}$ | ۲۶۷۰/۳۳$^{a}$ |
| پتاسیم اندام هوایی | ۴۴۴۷۰/۵۶$^{a}$ | ۴۴۹۹۱/۷۵$^{a}$ | ۱۸۴۱۰/۸۰$^{b}$ |
| پتاسیم ریشه‌ای | ۳۰۸۷۳$^{b}$ | ۳۵۵۶۳/۷۶$^{a}$ | ۱۴۳۶۸/۴۸$^{c}$ |
| پتاسیم خاک | ۴۴۰۷۶/۶۲$^{a}$ | ۳۲۴۳۶/۵۸$^{b}$ | ۲۹۸۳۰/۶۱$^{c}$ |
| ٪ نیتروژن اندام هوایی | ۵/۰۸$^{a}$ | ۴/۵۲$^{b}$ | ۱/۵۲$^{c}$ |
| ٪ نیتروژن ریشه‌ای | ۱/۳۲$^{a}$ | ۱/۰۶$^{b}$ | ۰/۳۷$^{c}$ |
| ٪ نیتروژن خاک | ۰/ ۱۵۷$^{a}$ | ۰/۰۹۶$^{b}$ | ۰/۰۴۹$^{c}$ |

مقادیر میانگین سه تکرار و حروف غیر مشترک بیان کننده وجود تفاوت معنی دار ($P <$ ۰/۰۵) با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

Data represent means of three replicates; different letters indicate significant differences at $P < 0.05$ using Duncan's test.



[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09 ]
[ DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.4.8.9 ]
[ DOI: 10.29252/nbr.6.4.464 ]

**جدول۲**- مقایسه فاکتورهای انتقال و تغلیظ زیستی گونه‌های تحت مطالعه برای عناصر آهن، مس، روی و منگنز.

**Table 2.** Comparison of translocation and bioconcentration factors of studied species for Fe, Cu, Zn and Mn.

| فاکتورهای انتقال و تغلیظ زیستی | *Malva neglecta* پنیرک | *Sinapis arvensis* خردل وحشی | *Bromus tectorum* جارو علفی |
|---|---|---|---|
| فاکتور انتقال آهن | ۱/۳۱$^{b}$ | ۰/۱۳$^{c}$ | ۲/۰۶$^{a}$ |
| فاکتور تغلیظ زیستی آهن در اندام هوایی | ۲/۶۷$^{a}$ | ۰/۴۱$^{c}$ | ۲/۲۴$^{b}$ |
| فاکتور تغلیظ زیستی آهن در بخش ریشه‌ای | ۲/۰۳$^{b}$ | ۳/۰۳ $^{a}$ | ۱/۰۸$^{c}$ |
| فاکتور انتقال مس | ۰/۲۸$^{a}$ | ۰/۱۸$^{b}$ | ۰/۰۷$^{c}$ |
| فاکتور تغلیظ زیستی مس در اندام هوایی | ۳/۱۱$^{a}$ | ۲/۲۶$^{b}$ | ۰/۶۵$^{c}$ |
| فاکتور تغلیظ زیستی مس در بخش ریشه‌ای | ۹/۱۲ $^{a}$ | ۴/۳۷$^{b}$ | ۲/۱۷ $^{c}$ |
| فاکتور انتقال روی | ۱/۰۶$^{a}$ | ۰/۸۴$^{b}$ | ۰/۸۱$^{b}$ |
| فاکتور تغلیظ زیستی روی در اندام هوایی | ۰/۵۶$^{a}$ | ۰/۴۳$^{b}$ | ۰/۳۰$^{c}$ |
| فاکتور تغلیظ زیستی روی در بخش ریشه‌ای | ۰/۵۶ $^{a}$ | /۵۴$^{a}$ | ۰/۳۸ $^{b}$ |
| فاکتور انتقال منگنز | ۲۰/۲۵$^{a}$ | ۲۱/۹۹$^{a}$ | ۱۸/۸۷$^{a}$ |
| فاکتور تغلیظ زیستی منگنز در اندام هوایی | ۱۱/۹۳$^{b}$ | ۱۶/۴۴$^{a}$ | ۱۶/۹۰$^{a}$ |
| فاکتور تغلیظ زیستی منگنز در بخش ریشه‌ای | ۰/۵۸$^{c}$ | ۰/۷۴$^{b}$ | ۰/۹۵$^{a}$ |

مقادیر میانگین سه تکرار و حروف غیر مشترک بیان کننده وجود تفاوت معنی دار (P < ۰/۰۵) با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

Data represent means of three replicates; different letters indicate significant differences at P < 0.05 using Duncan's test.

**جدول ۳**- میزان pH عصاره برگی، محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، درصد رطوبت نسبی، محتوای آسکوربات (میلی‌گرم در گرم وزن تر)، شاخص APTI ، محتوای پروتئین محلول (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، پرولین (میکرومول بر گرم وزن تر) و کربوهیدرات محلول (میلی‌گرم در گرم وزن خشک) در سه گونه گیاهی.

**Table 3.** The leaf extract pH, photosynthetic pigments content (mg.g-1 FW), relative humidity content (RWC), ascorbate content (mg.g-1 FW), APTI index, total soluble protein (mg.g-1 FW), proline (µmol. g-1 FW) and soluble carbohydrates contents (mg.g-1 DW) in the three plant species.

| شاخص‌ها | *Malva neglecta* پنیرک | *Sinapis arvensis* خردل وحشی | *Bromus tectorum* جارو علفی |
|---|---|---|---|
| کلروفیل *a* | ۰/ ۵۸$^{b}$ | ۱/۱۷$^{a}$ | ۰/۲۶$^{c}$ |
| کلروفیل *b* | ۰/۳۷$^{a}$ | ۰/۳۷$^{a}$ | ۰/۲۹$^{b}$ |
| کلروفیل کل | ۰/۹۶$^{b}$ | ۱/۵۵$^{a}$ | ۰/۵۵$^{c}$ |
| کاروتنوئیدها | ۱۵۴/۴۳$^{a}$ | ۸۸/۳۶$^{b}$ | ۹۱/۹۵$^{b}$ |
| آسکوربات اندام هوایی | ۷۵/۸۷$^{a}$ | ۷۴/۶۲$^{b}$ | ۷۴/۳۶$^{b}$ |
| آسکوربات ریشه‌ای | ۷۶/۳۵$^{a}$ | ۷۴/۹۵$^{b}$ | ۷۴/۹۴$^{b}$ |
| درصد رطوبت نسبی | ۷۷/۵۷$^{c}$ | ۷۹/۷۳$^{b}$ | ۸۸$^{a}$ |
| pH | ۷/۹۰$^{a}$ | ۷/۶۷$^{b}$ | ۷/۵۵$^{c}$ |
| APTI | ۷۵/۰۷$^{b}$ | ۷۶/۸۰$^{a}$ | ۶۸/۷۷$^{c}$ |
| پروتئین اندام هوایی | ۱/۷۵$^{a}$ | ۱/۲۲$^{b}$ | ۰/۷۲$^{c}$ |
| پروتئین ریشه‌ای | ۰/۰۸$^{a}$ | ۰/۰۶$^{b}$ | ۰/۰۴$^{c}$ |
| پرولین اندام هوایی | ۰/۹۷$^{c}$ | ۳/۵۳$^{b}$ | ۵/۴۰$^{a}$ |
| پرولین ریشه‌ای | ۱/۹۰$^{c}$ | ۴/۴۶$^{b}$ | ۵/۵۸$^{a}$ |
| کربوهیدرات | ۰/۱۶$^{c}$ | ۰/۵۷$^{b}$ | ۱/۰۴$^{a}$ |

مقادیر میانگین سه تکرار و حروف غیر مشترک بیان کننده وجود تفاوت معنی دار (P < ۰/۰۵) با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن است.

Data represent means of three replicates; different letters indicate significant differences at P<0.05 using Duncan's test.

بین میزان آسکوربات کل بخش هوایی و ریشه‌ای دو گیاه جارو علفی و خردل وحشی تفاوت معنی داری (P <۰/۰۵) وجود نداشت (جدول ۳). حداکثر میزان این شاخص در پنیرک سنجش شد. شاخص APTI بین سه گونه تفاوت معنی‌دار (P<۰/۰۵) نشان داد، به این صورت که بیش‌ترین میزان این شاخص درگونه خردل وحشی به میزان ۷۶/۸۰ و کم‌ترین مقدار این شاخص در جارو علفی به میزان ۶۸/۷۷ محاسبه شد (جدول ۳). بر اساس نتایج این پژوهش مشاهده شد که بین سه گیاه در بخش هوایی و ریشه‌ای تفاوت معنی داری از نظر میزان پروتئین وجود دارد که در این میان پنیرک با بیش‌ترین میزان و جارو علفی با کم-ترین میزان پروتئین گزارش شدند (جدول ۳). مطابق با جدول ۳، بخش‌های هوایی و ریشه‌ها به لحاظ محتوای پرولین سلولی



[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09 ]
[ DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.4.8.9 ]
[ DOI: 10.29252/nbr.6.4.464 ]

تفاوت معنی داری ($P < ۰/۰۵$) را بین سه گیاه ارائه و حداکثر و حداقل مقدار را به ترتیب جارو علفی و پنیرک به خود اختصاص دادند. نتایج این پژوهش نشان داد حداکثر میزان کربوهیدرات بخش هوایی مربوط به جارو علفی به میزان ۱/۰۴ و حداقل آن مربوط به پنیرک به مقدار ۰/۱۶ میلی‌گرم در گرم وزن خشک است (جدول ۳).

## بحث

بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، سنجش عناصر کم مصرف آهن، مس، روی و منگنز و عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم نشان داد که سه گونه تحت بررسی با غلظت‌های سمی این عناصر در خاک و در بافت‌های خود مواجه نیستند. آهن، مس، روی و منگنز از جمله فلزات سنگینی هستند که به عنوان ریز مغذی در رشد و نمو و متابولیسم گیاه نقش مهمی ایفاء می‌کنند. با این وجود، غلظت‌های بالای این عناصر می‌تواند منجر به بروز آثار سمیت در گیاهان شود (Lin *et al*., 2012). نتایج این بررسی مشخص کرد که کمبود آهن، مس و روی در خاک و سه گونه گیاهی وجود ندارد. در یک مطالعه بر روی سه گونه درختی مشخص شد که غبار ناشی از فعالیت کارخانه سیمان منجر به کاهش جذب آهن در بخش‌های هوایی می‌شود، اما بر جذب سایر عناصر تأثیری ندارد (Siqueira-Silva *et al*., 2017). محدوده طبیعی آهن در خاک بین ۱۰۰ تا حدود ۳۸۰۰ و غلظت مطلوب آهن در گیاه بین ۵۰ تا ۳۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک است (Malakooti & Tehrani, 2006). در رابطه با مس غلظت مناسب در خاک ۲۰ تا ۱۳۵ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک گزارش شده است (Gerrard, 2000). همچنین، وجود ۵ تا ۵۰ میلی‌گرم مس در هر کیلوگرم وزن خشک باعث رشد نرمال گیاه می‌شود (Malakooti & Tehrani, 2006). براساس نتایج کنونی، گونه خردل وحشی برای آهن و مس و گونه پنیرک برای عنصر مس مقادیر فاکتور انتقال کم‌تر از یک و فاکتور تغلیظ زیستی ریشه‌ای بیش‌تر از یک نشان دادند. این بدان معنی است که این گیاهان با تجمع بیش‌تر آهن و مس در ریشه‌ها از انتقال آن‌ها به بخش‌های هوایی ممانعت کرده‌اند. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که توانایی آن‌ها، به عنوان گونه‌های اجتناب کننده (excluder) در تجمع آهن و مس در ریشه‌ها تحت شرایط کنترل شده آزمایشگاهی تحت بررسی دقیق تر قرار گیرد. بر اساس این نتایج کمبود منگنز هم در ریزوسفر و هم در بافت‌های سه گونه تحت مطالعه تعیین شد. بین افزایش غلظت عناصر در گیاه با افزایش آن‌ها در خاک ارتباط مستقیم وجود دارد (Ghosh & Singh, 2005). در خاک‌های نرمال مقدار منگنز ۲۰ تا ۶۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (Baker *et al*., 2000). حد مطلوب آن برای رشد گیاهان ۲۰ تا ۳۰۰ و حد بحرانی کمبود آن در گیاه حدود $۰/۰۵۵ \times ۱۰^{-۳}$ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (Malakooti & Tehrani, 2006). بنابراین، به نظر می‌رسد که فقیر بودن خاک از منگنز عامل اصلی کمبود این عنصر در گیاهان مطالعه شده در منطقه سیمان بهبهان باشد. برای فلز منگنز، براساس مقادیر فاکتور انتقال و فاکتور تغلیظ زیستی بخش هوایی برای هر سه گونه (بالاتر از یک)، تصور می‌شود که این گیاهان احتمالاً از توانایی بالایی در جذب، انتقال و تجمع منگنز در بخش‌های هوایی برخوردار هستند اما به دلیل ناکافی بودن منگنز در خاک قادر به جذب و انتقال بیش‌تر آن به اندام‌های هوایی نبوده‌اند. حد متوسط فسفر در خاک‌های نرمال حدود ۱۰ تا۲۰ و در گیاه حدود۱۴۰۰ تا۱۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک است و غلظت بحرانی آن در خاک حدود ۷ و در گیاه حدود ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک است (Malakooti & Tehrani, 2006) در این مطالعه علیرغم غلظت بالای فسفر در خاک اطراف ریشه‌ها، به نظر می‌رسد که محتوای فسفر سه گیاه کم‌تر از حد آستانه برای رشد و نمو طبیعی باشد. کمبود فسفر در گیاه وابستگی زیادی به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نظیر افزایش pH، کاهش نسبت فسفر قابل تبادل به فسفر کل در خاک و ایجاد کمپلکس‌های فسفر دارد (Reyes *et al*., 2006). با توجه به اینکه در طی فرایند تولید سیمان از سنگ‌های آهکی و رسوبی استفاده می‌شود، این می‌تواند ضمن آزاد سازی مقادیر متنابهی از فسفر به محیط، در ایجاد ساختارهای رسوبی از فسفر در خاک نقش مهمی داشته باشد و گیاهان را با کمبود این عنصر مواجه سازد (Jafari *et al*., 2007). بر مبنای این توضیحات، تصور می‌شود که کاهش فرم محلول فسفر در خاک منجر به محدودیت در دسترسی ریشه‌ها برای جذب فسفر و در نتیجه کمبود آن برای گیاهان تحت بررسی شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که مقدار پتاسیم خاک بسیار بالاتر از محدوده نرمال آن است، با این حال، تجمع سمی در بخش‌های هوایی یا ریشه‌ای سه گونه گیاهی نداشته و تصور می‌شود که مقدار آن در حد مطلوب برای فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاهان تحت بررسی بوده است. مقادیر مطلوب این عنصر در گیاه بین ۳۵۰۰۰ تا ۴۵۰۰۰ و در خاک۲۵۰ تا ۳۰۰ و حد بحرانی آن در گیاه ۴۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (Malakooti & Tehrani, 2006). نتایج این تحقیق حاکی از آن است که میزان تجمع پتاسیم در جارو علفی و در ریزوسفر آن کم‌تر از دو گونه دیگر است. به نظر می‌رسد که یکی از دلایل تجمع بالاتر این عنصر در پنیرک و خردل وحشی



[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09 ]
[ DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.4.8.9 ]
[ DOI: 10.29252/nbr.6.4.464 ]

کاهش محتوای رطوبت نسبی (جدول ۳) در مقایسه با جارو علفی باشد که در این صورت احتمالا این گیاهان را با جذب بیش‌تر پتاسیم برای حفظ پتانسیل اسمزی مواجه ساخته است. همچنین این مطالعه مشخص کرد که کمبود نیتروژن در خاک اطراف ریشه‌های سه گیاه علفی مذکور وجود ندارد و مقدار آن بالاتر از محدوده طبیعی است. با این وجود، درصد نیتروژن در جارو علفی کم‌تر از محدوده طبیعی برای رشد و نمو است. میزان مطلوب عنصر نیتروژن در خاک و گیاه به ترتیب ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۲ و ۳/۵ تا ۵ درصد است (Malakooti & Tehrani, 2006). با توجه به نقش کلیدی نیتروژن در ساختار پروتئین‌ها و کلروفیل، همچنین محتوای بالاتر این ترکیبات در گونه‌های پنیرک و خردل وحشی در مقایسه با جارو علفی در این مطالعه، به نظر می‌رسد که افزایش درصد نیتروژن در گونه‌های پنیرک و خردل وحشی مرتبط با افزایش سطح کلروفیل و پروتئین در این گیاهان باشد (جدول ۳). محتوای کلروفیل برای فعالیت‌های فتوسنتزی بسیار ضروری است، بنابراین کاهش مقدار کلروفیل یک نشانه‌ای از شرایط تنش‌زا است. کاهش محتوای کلروفیل برگ گیاهان در حال رشد در مناطق صنعتی اتفاق می‌افتد (Olumi *et al*., 2016). در این بررسی نتایج حاکی از آن است که جارو علفی ظاهرا بیش‌تر تحت تأثیر تنش آلودگی هوا در محتوای کلروفیل کاهش نشان داده است، در حالی که خردل وحشی با محتوای بیش‌تر در کلروفیل *a*، *b* و کلروفیل کل به مراتب کم‌تر تحت تأثیر آلودگی هوا بوده است. برخی مطالعات نشان داده‌اند که فلزات سنگین موجود در هوا در مناطق آلوده یا غبار کارخانه سیمان با جلوگیری از جذب عناصر ضروری مانند آهن و منیزیم و با افزایش کلروفیلاز از سنتز کلروفیل در این شرایط جلوگیری می‌کنند (Rady & Osman, 2012; Siqueira-Silva *et al*., 2017). با بررسی محتوای کارتنوئیدها بین سه گیاه مشخص شد کم‌ترین میزان متعلق به خردل وحشی است. آلودگی هوا با تخریب رنگیزه‌های کلروفیل منجر به رنگی شدن گیاه در اثر افزایش سنتز رنگیزه‌های محافظ مانند کاروتنوئیدها و آنتوسیانین‌ها می‌شود (Posmyk *et al*., 2009). کاروتنوئیدها هم به عنوان رنگدانه‌های محافظ و هم به عنوان آنتی اکسیدان‌های غیر آنزیمی، نقش مهمی را در حفاظت از کلروفیل‌ها در برابر تنش اکسیداتیو ناشی از تنش‌های غیر زیستی نظیر آلودگی ایفا می‌کنند (Shafi Tantrey & Agnihotri, 2010). بنابراین به نظر می‌رسد که در این مطالعه، خردل وحشی با داشتن محتوای کلروفیلی بالاتر و همچنین مقادیر کم‌تر آنتی اکسیدان‌های غیر آنزیمی مانند آسکوربات، پرولین و کاروتنوئیدها به مراتب حساسیت کم‌تری را نسبت به شرایط محیطی از خود نشان داده است.

اسید آسکوربیک یک مولکول کوچک قابل حل در آب است که دارای خاصیت آنتی اکسیدان بالایی بوده و در خنثی کردن پراکسید هیدروژن و دیگر ترکیبات از جنس اکسیژن واکنش‌گر نقش دارد و آسیب‌های ناشی از تنش اکسیداتیو را در گیاه کاهش می‌دهد (Chao *et al*., 2010). مطالعات نشان داده‌اند که با افزایش آلودگی و غلظت فلزات سنگین، میزان این ماده در گیاهان افزایش می‌یابد (Foyer *et al*., 2017). نتایج این مطالعه حاکی از افزایش محتوای آسکوربات و میزان pH برگی در پنیرک در مقایسه با دو گونه دیگر بود. ورود گازهای اکسیدهای کربن و اکسیدهای گوگرد از طریق روزنه‌ها به بافت مزوفیل باعث ایجاد حالت اسیدی در برگ شده که با تغییر pH، بر فرایندهای متابولیکی گیاه، جذب آب و عناصر غذایی و فراساختار سلولی اثر منفی دارد (Bamniya *et al*., 2012). اسیدیته برگ از دیگر فاکتورهای دخیل در تعیین شاخص تحمل به آلودگی هوا است که تعیین‌کننده تشکیل اسید آسکوربیک از کربن فتوسنتزی است. گیاهان حساس به آلودگی، pH سلولی کم‌تری نسبت به گیاهان متحمل داشتند (Escobedoa *et al*., 2008). این تحقیقات پیشنهاد دادند که pH بالا ممکن است به طور مؤثر باعث افزایش هدایت جریان کربن فتوسنتزی به سمت سنتز آسکوربات شود، در حالی که pH پایین حساسیت گیاه را نسبت به شرایط آلوده نشان می‌دهد. بنابراین تصور می‌شود که افزایش آسکوربات در گونه پنیرک به علت بالا بودن pH شیره سلولی این گونه نسبت به دو گونه دیگر و امکان بیش‌تر تبدیل تولیدات فتوسنتزی به آسکوربات برای تحمل شرایط آلوده باشد. تجمع کم‌تر قندهای محلول در این گونه هم می‌تواند به عنوان تأیید کننده این موضوع در نظر گرفته شود، در حالی که گونه جارو علفی با کم‌ترین محتوای آسکوربات بالاترین میزان کربوهیدرات‌های محلول را از خود نشان داد (جدول ۳).

حفظ رطوبت نسبی در بافت‌های گیاهی خود یکی از ساز و کارهای مقابله با آثار منفی تنش‌ها از جمله آلودگی هوا است که گیاه به روش‌های مختلف نظیر افزایش تولید اسمولیت‌ها مانند پرولین و قندها، کمک به حفظ یا افزایش پتانسیل اسمزی شیره سلولی در شرایط تنش می‌کند (Agbaire & Esiefarienrhe, 2009). در این تحقیق جارو علفی حداکثر میزان این شاخص و پنیرک حداقل میزان آن را نشان دادند. به نظر می‌رسد که جارو علفی نسبت به دو گونه دیگر به علت کاهش کلروفیل، آسکوربات و کارتنوئیدها و افزایش سطح پرولین و کربوهیدرات-های محلول بیش‌تر تحت تأثیر تنش بوده است. حال آن‌که تصور



[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09 ]
[ DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.4.8.9 ]
[ DOI: 10.29252/nbr.6.4.464 ]

می‌شود شرایط موجود برای گونه پنیرک در مقایسه با جارو علفی با توجه به افزایش تولید آسکوربات و رنگدانه‌های محافظ کارتنوئیدی به طور طبیعی قابل تحمل‌تر بوده، از این رو گیاه نیاز چندانی به افزایش محتوای آب درونی از طریق افزایش پرولین یا کربوهیدرات‌ها نداشته است.

شاخص تحمل به آلودگی هوا (APTI) توانایی یک گیاه را برای مقابله با آلودگی هوا تعیین می‌کند. اکثر گیاهان رشد یافته در مناطق آلوده، شاخص تحمل بالاتری نسبت به گیاهان رشد یافته در نقاط با آلودگی کم‌تر دارند (Agbaire & Esiefarienrhe, 2009). اگر شاخص تحمل به آلودگی هوا بین ۱تا ۱۶باشد، گیاه حساس به آلودگی است (Joshi *et al*., 2009). Skelly در سال2003 با بررسی این شاخص در گیاهان رشد یافته در نقاط در معرض آلودگی هوا نشان داد که گونه *Cassia angustifolia* با میزان APTI بیش‌تر از ۱۶ از تحمل بالایی برخوردار است. گونه *Mangifera indica* با شاخص APTI بیش‌تر از ۱۶ به عنوان گونه متحمل به آلودگی هوا گزارش شد (Mohammed *et al*., 2015). در برخی گونه‌های گیاهی رشد یافته در مناطق آلوده شهری مقادیر بالایی از این شاخص مشاهده شده است (Nadgórska-Socha *et al*., 2017). با توجه به این‌که شاخص‌های به‌دست‌آمده در این مطالعه برای هر سه گونه بیش از ۱۶ است، لذا هر سه گونه متحمل به آلودگی محسوب می‌شوند، اگر چه خردل وحشی و پنیرک تا حدودی تحمل بیش‌تری را نسبت به جارو علفی نشان دادند.

بر اساس نتایج این پژوهش مشاهده شد که پنیرک بیش‌ترین محتوای پروتئین و جارو علفی کم‌ترین میزان را دارا است. بسته به گونه گیاهی، میزان پروتئین تحت تنش آلودگی هوا تغییرات متفاوتی دارد. از طرفی آلودگی هوا می‌تواند با القای تنش اکسیداتیو و افزایش تولید انواع اکسیژن واکنش‌گر باعث آسیب جدی به پروتئین‌ها شود (Karmakar *et al*., 2016). مثلاً گزارش شده است که برخی از آلاینده‌های هوا از طریق تولید انواع اکسیژن واکنش‌گر باعث کاهش محتوای پروتئین گیاه می‌شوند (Mc Cord, 2000). تجزیه پروتئین‌ها و همچنین اتصال فلزات سنگین به آن‌ها به جای لیگاندهای ضروری به‌عنوان مهم‌ترین علت کاهش میزان پروتئین در آلودگی هوا شناخته شده است (Tripathi & Gautam, 2007; Alamgir & Akhter, 2010). بر مبنای نتایج این پژوهش جارو علفی بیش‌ترین و پنیرک کم‌ترین محتوای پرولین و قندهای محلول را در ریشه و اندام هوایی نشان دادند. تولید و تجمع پرولین از سازگاری‌های مهم در گیاهان در شرایط تنش اکسیداتیو است. پرولین می‌تواند به عنوان منبع ذخیره کربن و نیتروژن برای بافت‌های در حال ترمیم، یک اسمولیت مؤثر در تنظیم فشار اسمزی، یک بافر برای تثبیت pH، یک حذف‌کننده گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن، یک کلاته کننده فلز و پیام‌رسان سلولی طی تنش در گیاهان عمل کند و سبب افزایش تحمل در برابر تنش‌ها شود (Hayat *et al*., 2012). آلودگی هوا سبب افزایش میزان پرولین در برخی گونه‌های گیاهی بیوتوپ‌های شهری می‌شود (Nadgórska-Socha *et al*., 2017). با توجه به حساسیت بیش‌تر جارو علفی به آلودگی هوا و با درنظرگرفتن نقش اسمزی و حفاظتی پرولین، به نظر می‌رسد که افزایش اسیدآمینه پرولین در این گونه یک راهکار برای حفظ پتانسیل اسمزی شیره سلولی و تحمل شرایط محیطی باشد. قندهای محلول از اسمولیت‌های سازگار هستند که در شرایط تنش تجمع می‌یابند و ممکن است به عنوان محافظ اسمزی برای حفظ فشار تورگر و پایدار کردن غشاها و پروتئین‌ها عمل کنند (Zouari *et al*., 2016). مقدار کربوهیدرات‌ها، می‌تواند به عنوان یک شاخص بیانگر میزان حساسیت گیاه به آلودگی هوا باشد. غلظت کربوهیدرات کل به‌طور قابل‌توجهی در بافت‌های برگی گیاهان مناطق آلوده کاهش می‌یابد که می‌تواند ناشی از کاهش فتوسنتز و افزایش نرخ تنفس باشد (Thambavani & Maheswari, 2014). در گیاهان رشد یافته در مناطق آلوده، میزان کربوهیدرات کل افزایش نشان می‌دهد (Karmakar *et al*., 2016). بنابراین، افزایش میزان کربوهیدرات‌های محلول در گونه جارو علفی تصور می‌شود که به عنوان یک مکانیسم سازگاری جهت حفظ آب درون بافتی و حتی حفاظت از ساختمان ماکرومولکول‌های مهم زیستی در این شرایط باشد.

## نتیجه‌گیری

به‌طورکلی با ارزیابی برخی عناصر در سه گونه علفی و خاک منطقه مشخص شد که فعالیت کارخانه سیمان بهبهان به آزادسازی و تجمع غلظت‌های سمی از این عناصر در گیاهان تحت بررسی و خاک منجر نشده است. این نتایج نشان داد که برای هر سه گونه علفی کمبود منگنز به علت کمبود آن در خاک و کمبود فسفر احتمالاً به علت افزایش اشکال نامحلول در خاک وجود دارد و همچنین با وجود مقادیر کافی نیتروژن در خاک، کمبود این عنصر برای گونه جارو علفی مشاهده شد. علیرغم غلظت‌های بسیار بالای پتاسیم در خاک، مقدار آن در گیاهان تحت مطالعه در محدوده طبیعی رشد سنجش شد. با سنجش مقادیر آهن، روی و مس کمبودی در گیاهان برای این عناصر مشاهده نشد. اندازه‌گیری مقادیر آهن و مس در خردل وحشی



[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09 ]
[ DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.4.8.9 ]
[ DOI: 10.29252/nbr.6.4.464 ]

نشان داد که ریشه‌ها در مقایسه با بخش‌های هوایی از توان بالاتری برای تجمع این عناصر برخوردار هستند. چنین نتیجه‌ای برای عنصر مس در پنیرک یافت شد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که توانایی و ظرفیت احتمالی این گونه‌ها به‌عنوان گونه‌های اجتناب‌کننده در جذب این عناصر تحت شرایط آزمایشگاهی تحت بررسی دقیق‌تر قرار گیرد. همچنین با بررسی شاخص APTI و سایر شاخص‌های بیوشیمیایی در گونه‌های انتخابی به نظر می‌رسد که هر سه گونه با شاخص APTI بیش‌تر از ۱۶ تحمل نسبتاً بالایی به آلودگی‌های احتمالی ناشی از کارخانه سیمان بهبهان دارند. با بررسی برخی شاخص‌های بیوشیمیایی ذکر شده به نظر می‌رسد که سه گونه علفی تحت مطالعه از مکانیسم‌های بیوشیمیایی متفاوتی برای تحمل شرایط محیط بهره می‌گیرند. با این وجود، انجام آزمایشات تکمیلی در محیط کنترل شده رشدی می‌تواند نتایج دقیق‌تری را در رابطه با میزان تحمل سه گونه علفی مذکور نسبت به آلودگی ارائه دهد.

## سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز با شماره پژوهانه ۹۶/۳/۰۲/۱۶۶۷۰ انجام شد. نویسندگان این مقاله از دکتر محمد رضا پریشانی عضو هیات علمی گروه زیست شناسی دانشگاه شهید چمران اهواز (مسئول هرباریوم) جهت شناسایی و تأیید گونه‌های گیاهی قدردانی می‌کنند.

## REFERENCES

**Agbaire, P.O. and Esiefarienrhe, E.** 2009. Air pollution tolerance indices (apti) of some plants around Otorogun Gas Plant in Delta State, Nigeria. – J. App. Sci. Environ. Manag. 13: 11-14.

**Alamgir, A.N.M. and Akhter, S.** 2010. Effects of aluminium on some biochemical characteristics of wheat (*Triticum aestivum* L.). – Bangl. J. Bot. 39: 9-14.

**Allen, R.D.** 2008. Dissection of oxidative stress tolerance using transgenic plants. – Plant Physiol. 107: 1049-1054.

**Ambibola, A.F., Kehinde-Philips, F. and Olatunji, A.S.** 2007. The sagamu cement factory. SW Nigeria: Is the dust generated a potential health hazard? – Environ. Geochem. Health 29: 163-167.

**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: Terry N and Banuelos G (eds.), Phytoremediation of contaminated soil and water, 85-107. – Lewis Publishers CRC, Boca Raton.

**Bamniya, B.R., Kapoor, C.S. and Kapoor, K.** 2012. Searching for efficient sink for air pollutants: Studies on *Mangifera indica* L. – Clean Technol. Envir.14: 107-114.

**Bates, S.** 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. – Plant Soil 39: 205-207.

**Bradford, M.M.** 1976. A rapid and sensitive method for quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. – Anal. Biochem. 72: 248-254.

**Branquinho, C., Serrano, H.C., Pinto, M.J. and Martins-Loucao, M.A.** 2007. Revisiting the plant hyperaccumulation criteria to rare plants and earth abundant elements. – Environ. Pollut. 146: 437-443.

**Buszewski, B., Jastrzebska, A. Kowalkowski, K. and Gorna-Binkul, A.** 2000. Monitoring of selected heavy metals uptake by plants and soil in the area of Torub Poland. – Pol. J. Environ. Stud. 9: 511-515.

**Chao, Y.Y., Hong, C.Y. and Kao, C.H.** 2010. The decline in ascorbic acid content is associated with cadmium toxicity of rice seedlings. – Plant Physiol. Biochem. 48: 374-381.

**Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.A. and Smith, F.** 1956. Colorimetric method of determination of sugars and related substances. – Anal. Chem. 28: 350-356.

**Dwivedi, R. and Dubey, S.** 2017. Impact of cement industry pollution on physiomorphological attributes of mango tree (*Mangifera indica*) around industrial belt Sarla Nagar, Maihar, Satna (M.P.). – J. Med. Plants Stud. 5: 274-276.

**Escobedoa, F.J., Wagnerb, J.E., Nowakc, D.J., De la Mazad, C.L., Rodriguezd, M. and Cranec, D.E.** 2008. Analyzing the cost effectiveness of Santiago, Chile's policy of using urban forests to improve air quality. – J. Environ. Manag. 86: 148-157.

**Fischerová, Z., Tlustos, P., Száková, J. and Sichorová, K.** 2006. A comparison of phytoremediation capability of selected plant species for given trace elements. – Environ. Pollut. 144: 93-100.

[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09 ]
[ DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.4.8.9 ]
[ DOI: 10.29252/nbr.6.4.464 ]

**Foyer, C.H., Ruban, A.V. and Noctor, G.** 2017. Viewing oxidative stress through the lens of oxidative signalling rather than damage. – Biochem. J. 474: 877-883.

**Garcia-Lorenzo, M.L., Perez-Sirvent, C. Martinez-Sanchez, M.J. and Molina-Ruiz, J.** 2012. Trace elements contamination in an abandoned mining site in a semiarid zone. – J. Geochem. Explor. 113: 23-35.

**Gerrard, J.** 2000. Fundamentals of soils (Routledge fundamentals of physical geography). – Routledge, New York. pp: 225.

**Ghosh, M. and Singh, S.P.** 2005. Comparative uptake and phytoextraction study of soil induced choromium by accumulator and high biomass weed species. App. Ecol. Environ. Res. 3: 67-79.

**Hayat, S., Hayat, Q., Alyemeni, M.N., Shafi Wani, A., Pichtel, J. and Ahmad, A.** 2012. Role of proline under changing environments. Plant Behav. 7: 1456-1466.

**Hediat, M.H., Salama, M. Al-Rumaih, M. and Al-Dosary, M.A.** 2011. Effect of Riyadh cement industry pollution on some physiological and morphological factors of *Datura innoxia* Mill. plant. Saudi J. Biol. Sci. 18: 227-237.

**Igbal, M.Z. and Shafig, M.** 2001. Periodical effect of cement dust pollution on the growth of some plants species. Turk. J. Bot. 25: 19-24.

**Jafari, M., Zare Chahouki, M.A., Tavili, A. and Kohandel, A.** 2007. Soil-vegetation relationships in rangelands of Qom province. Pajouhesh Sazandegi 19: 110-116.

**Joshi, N., Chauhan, A. and Joshi, P.C.** 2009. Impact of industrial air pollutants on some biochemical parameters and yield in wheat and mustard plants. Environmentalist 29: 398-404.

**Karmakar D, Malik N, and Padhy, P.K.** 2016. Effects of industrial air pollution on biochemical parameters of *Shorea robusta* and *Acacia auriculiformis.* Res. J. Recent Sci. 5: 29-33.

**Kjeldahl, J.Z.** 1883. A new method for the determination of nitrogen in organic bodies. Anal. Chem. 22: 366.

**Kovacs, B., Gyori, Z., Prokisch, J., Loch, J. and Daniel, P.** 1996. A study of plant sample preparation and inductively coupled plasma emission spectrometry parameters. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 27: 1177-1198.

**Latrou, M., Papadopoulos, F., Papadopoulos, O., Dichala, P., Psoma, P. and Bountla, A.** 2014. Determination of soil available phosphorus using the Olsen and Mehlich 3 method for Greek soils having variable amounts of calcium carbonate. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 45: 2207-2214.

**Lichtenthaler, H.K.** 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. Methods Enzymol. 148: 350-382.

**Lin, W., Xiao, T., Wu, Y., Ao, Z. and Ning, Z.** 2012. Hyperaccumulation of zinc by *Corydalis davidii* in Zn-polluted soils. Chemosphere 86: 837-84.

**Lindsay, W.L. and Norvell, W.A.** 1978. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421-428.

**Malakooti, M.J. and Tehrani, M.M.** 2006.The role of micronutrients in increasing yield and improving the quality of agricultural products (microelements with enormous impact). Tarbiat Modares University Press, Tehran.

**Mandre, M. and Klos Eiko, J.** 1997. Changes carbohydrate partitioning in 6- year- old coniferous trees after proloneged exposure of cement dust. Z. Naturforsch B. J. Chem. Sci. 52:1-9.

**Mc Cord, J.M.** 2000. The evolution of free radicals and oxidative stress. Am.J. Med. 108: 652-659.

**Mohammed, M.A., Adamu, A.M. and Borkoma, M.B.** 2015. Determination of air pollution tolerance index of selected trees in selected location in Maiduguri. App. Res. J. 1: 378-383.

**Mukherjee, S.P. and Choudhuri, M.A.** 1983. Implications of water stress-induced changes in the levels of endogenous ascorbic acid and hydrogen peroxide in *Vigna* seedlings. Physiol. Plant. 58: 166-170.

**Nadgórska-Socha, A., Kandziora-Ciupa, M., Trzęsicki, M. and Barczyk, G.** 2017. Air pollution tolerance index and heavy metal bioaccumulation in selected plant species from urban biotopes. Chemosphere 183: 471-482.

**Nelson, G.D. and Ilias, I.F.** 2007. Effect of inert dust on olive (*Olea europaea* L.) leaf physiological parameters. Environ. Sci. Pollut. Res. Int. 14: 212-214.

**Olumi, H., Rezanejad, F. and Keramat, B**. 2016. Comparative study of biochemical parameters of *Pinus nigra* and *P. elderica* cultivated in the area around Sarcheshmeh Copper Complex and Kantuyeh. J. Iran. Plant Ecophysiol. Res.10: 1-12.

**Pathak, V., Tripathi, B.D. and Mishra, V.K.** 2011. Evaluation of Anticipated Performance Index of some tree species for green belt development to mitigate traffic generated noise. Urban Forest. Urban Green. 10: 61-66.

**Pollard, J., Reeves, R.D. Baker, A.J.M.** 2014. Facultative hyper accumulation of heavy metals and metalloids. Plants Sci. 217-218: 8-17.

**Posmyk, M.M., Kontek, R. and Janas, K.M.** 2009. Antioxidant enzymes activity and phenolic compounds content in red cabbage seedlings exposed to copper stress. Ecotoxicol. Environ. Saf. 72:596-602.

**Qiu, R.L., Zhao, X., Tang, X.Z., Yu, F.M. and Hu, P.J.** 2008. Antioxidative response to Cd in a newly discovered cadmium hyperaccumulator, *Arabis paniculata* F. Chemosphere 74: 6-12.

**Rady, M.M. and Osman, A.S.** 2012. Response of growth and antioxidant system of heavy metal-contaminated tomato plants to 24-epibrassinolide. Afr. J. Agric. Res. 7: 3249-3254.

**Reyes, I., Valery, A. and Valduz, Z.** 2006. Phosphate-solubilizing microorganisms isolated from rhizospheric and bulk soils of colonizer plants at an abandoned rock phosphate mine. Plant Soil 287: 69-75.

**Sajadinia, S.A., Basiri, R., Fayyaz, P. and Moradi, M.** 2016. Morphological and physiological impacts of

[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09 ]
[ DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.4.8.9 ]
[ DOI: 10.29252/nbr.6.4.464 ]

cement kiln particle on *Ziziphus spina-christi* L. Iran. J. Forest 8: 79-89.

**Semhi, K., Al-Khirbash, S., Abdalla, O., Khan, T., Duplay, J., Chaudhuri, S. and Al-Saidi, S.** 2010. Dry atmospheric contribution to the plant–soil system around a cement factory: spatial variations and sources, a case study from Oman. Water Air Soil Pollut. 205: 343-357.

**Shafi Tantrey, M. and Agnihotri, R.K.** 2010. Chlorophyll and proline content of gram (*Cicer arietinum* L.) under cadmium and mercury treatments. Res. J. Agric. Sci. 1: 119-122.

**Siqueira-Silva, A.I., Pereira, E.G., de Lemos-Filho, J.P., Modolo, L.V. and Paiva, E.A.S.** 2017. Physiological traits and antioxidant metabolism of leaves of tropical woody species challenged with cement dust. Ecotoxicol. Environ. Saf. 144: 307-314.

**Skelly, J.M.** 2003. Native plants as bioindicators of air pollutants: contributed papers to a symposium held in conjunction with the 34th air pollution workshop. Environ. Pollut. 125:1-2.

**Soon, Y.K. and Abboud, S.** 1993 Cadmium, chromium, lead and nickel. In: Carter MR (ed.), Soil sampling and methods of analysis, 101-109. Lewis Publishers CRC, Boca Raton.

**Thambavani, D.S. and Maheswari, J.** 2014. Response of native tree species to ambient air quality. Chem. Sci. Trans. 3: 438-444.

**Tripathi, A.K. and Gautam, M.** 2007. Biochemical parameters of plants as indicators of air pollution. J. Environ. Biol. 28: 127-132.

**Yanqun, Z., Yuan, L., Schvartz, C., Langlade, L. and Fan, L.** 2004. Accumulation of Pb, Cd, Cu and Zn in plants and hyperaccumulator choice in Lanping lead–zinc mine area, China. Environ. Int. 30: 567-576.

**Zouari, M., Ahmed, C.B., Elloumi, N., Bellassoued, K., Delmail, D., Labrousse, P., Abdallah, F.B. and Rouina, B.B.** 2016. Impact of proline application on cadmium accumulation, mineral nutrition and enzymatic antioxidant defense system of *Olea europaea* L. cv Chemlali exposed to cadmium stress. Ecotoxicol. Environ. Saf. 128: 195-205.

*****

**How to cite this article:**

**Masoudizadeh, M., Zoufan, P. and Rastegarzadeh. S.** 2020. The effects of Behbahan cement factory activity on the absorption of some nutrients and biochemical responses in herbaceous plants *Sinapis arvensis*, *Malva neglecta* and *Bromus tectorum.* – Nova Biol. Reperta 6: 464-477. (In Persian)

**مسعودی‌زاده، م.، ذوفن، پ. و رستگار زاده، س.** ۱۳۹۸. اثرات فعالیت کارخانه سیمان بهبهان بر جذب برخی عناصر غذایی و شاخص‌های بیوشیمیایی در گونه-های علفی خردل وحشی، پنیرک و جارو علفی یافته‌های نوین در علوم زیستی ۶: ۴۶۴-۴۷۷.

[ Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09 ]

[ DOR: 20.1001.1.24236330.1398.6.4.8.9 ]

[ DOI: 10.29252/nbr.6.4.464 ]