ارزیابی توانایی گیاه پالایی ختمی زینتی (*Althaea rosea*) تحت شرایط آلودگی با آهن

الهه پورمختار (نویسنده مسئول)[1*]، وحیدرضا صفاری[2] و مهدی سرچشمه‌پور[3]

۱*- کارشناس‌ارشد، گروه علوم باغبانی، واحد جیرفت، دانشگاه آزاد اسلامی، جیرفت، ایران، elaheh.pourmokhtar@gmail.com

۲- دانشیار، گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران، vrsaffari@yahoo.com

۳- دانشیار، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران، msarcheshmeh@gmail.com

تاریخ دریافت: دی ۱۴۰۰ تاریخ پذیرش: اسفند ۱۴۰۰

Evaluation of phytoremediation ability *Althaea rosea* under iron contamination

Elaheh Pourmokhtar (Corresponding author)[1]*, Vahid Reza Saffari[2] and Mehdi Sarcheshme Pour[3]

1*- MSc graduated, Department of Horticultural Sciences, Jiroft Branch, Islamic Azad University, Jiroft, Iran, elaheh.pourmokhtar@gmail.com

2- Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, College of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran, vrsaffari@yahoo.com

3- Associate Professor, Department of soil Sciences, College of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran, msarcheshmeh@gmail.com

Received: December 2021 Accepted: February 2022

چکیده

آهن به عنوان یک عنصر ضروری در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه نقش دارد، اما در غلظت‌های بالا، آلوده کننده آب و خاک است که با استفاده از گیاهان زینتی مناسب می‌توان امکان پاکسازی محیط آلوده را فراهم نمود. به منظور بررسی اثر فلز سنگین آهن بر شاخص‌های رشدی و توانایی گیاه پالایی گیاه ختمی زینتی (***A**lthaea rosea*) آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه‌ای واقع در معدن سنگ آهن گلگهر کرمان انجام شد. سطوح مختلف کلات آهن مورد استفاده در این آزمایش، صفر، ۱۵، ۳۰ و ۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود که در ابتدا آزمایش با خاک گلدان‌ها ترکیب شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که با افزایش سطوح مختلف آهن، شاخص‌های رشدی و محتوای کلروفیل گیاه کاهش معنی‌داری نشان دادند، به طوری که بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، ارتفاع گیاه، طول ریشه، کلروفیل a، b و کل در تیمار شاهد مشاهده شد، همچنین بیشترین جذب آهن در اندام هوایی (ppm ۱/۸٤) و ریشه (ppm ۱/٥٦) در تیمار ۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک مشاهده شد. به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که، با توجه به توانایی جذب آهن در بافت‌های این گیاه، می‌توان از ختمی زینتی (*Althaea rosea*) جهت گیاه پالایی فلز سنگین آهن استفاده نمود.

کلمات کلیدی: آهن، ختمی زینتی، فلز سنگین، گیاه پالایی.

Abstract

Iron is an essential element in many physiological processes of the plant, but in high concentrations, it contaminates water and soil, which can be cleaned by using appropriate ornamental plants. In order to investigate the effect of iron heavy metal on growth indices and phytoremediation ability of *Althaea rosea* in a completely randomized design with three replications in greenhouses located in Golgohar iron ore mine in Kerman. The different levels of iron chelate used in this experiment were zero, 15, 30 and 90 mg/kg soil. Soil concentrations of iron chelate were initially mixed with potting soil. The results of this study showed that with increasing different levels of iron, growth indices and plant chlorophyll content showed a significant decrease, so that the highest fresh and dry weight of shoots and roots, plant height, root length, chlorophyll a, b and total was observed in the control treatment, also the highest iron uptake in shoots (1.84 ppm) and roots (1.56 ppm) was observed in the treatment of 90 mg/kg soil. In general, the results of this study showed that due to the ability to absorb iron in the tissues of this plant, ornamental *Althaea rosea* can be used for phytoremediation of heavy metal iron.

Keywords: *Althaea rosea*, Heavy metal, Iron, Phytoremediation.

مقدمه و کلیات

فلزات سنگین از آلاینده‌های مهم زیست محیطی هستند که به طور طبیعی در خاک به میزان کم وجود دارند و تعدادی از آن‌ها در مقادیر کم به عنوان عنصر غذایی ضروری برای گیاهان محسوب می‌شوند اما در غلظت‌های بالا برای گیاهان سمی هستند و انباشته شدن آن‌ها در زنجیره غذایی می‌تواند برای انسان‌ها خطر آفرین باشد (Nadouki *et al*., 2019). آهن از جمله فلزات سنگین است که نقش مهمی در فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه دارند (Sawidis, 2011) و جزء ساختار سیتوکروم‌ها، فردوکسین‌ها و لگ هموگلوبین‌ها ست و در بسیاری از فعالیت‌های حیاتی گیاه از قبیل فتوسنتز، تنفس و تثبیت مولکولی نیتروژن نقش دارد (Sánchez *et al*., 2005). میزان در دسترس بودن آهن در خاک و جذب آن توسط ریشه گیاه به عواملی از جمله اسیدیته، شرایط اکسید و احیایی خاک و شکل محلول آهن بستگی دارد، افزایش غلظت آهن محلول در خاک سمیت آهن را در گیاهان ایجاد می‌کند که حد بحرانی آن در برگ‌ها ۵۰۰ ppm می‌باشد (Sawidis, 2011) و از علائم سمیت آهن ظهور نقاط قهوه‌ای بسیار کوچک برروی برگ‌ها می‌باشد (Hakimi and Farzamisepehr, 2016). زمانی که گیاه تحت تنش آلودگی با فلزات سنگین قرار می‌گیرد، رادیکال‌های آزاد اکسیژن فعال شده و موجب کاهش رشد، تخریب کلروفیل، آسیب به مولکول‌های زیستی مانند لیپیدها، پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک به ویژه DNA و پراکسیداسیون غشای سلولی می‌شوند (Mishra *et al*., 2006)، پژوهش‌های انجام شده نشان داد، کاربرد آهن در غلظت‌های بالا موجب کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه و اسانس مرزنجوش (*Origanum vulgare*) گردید (Yeritsyan and Economakis, 2002)، همچنین نتایج Peyvandi و همکاران (۲۰۱۲) نیز نشان داد، کاربرد غلظت‌های بالای نانو کلات آهن در گیاه مرزه (*Satureja hortensis*)، طول ریشه، ارتفاع ساقه، محتوی کلروفیل b و کلروفیل کل را نسبت به شاهد کاهش داد. در پژوهشی دیگر سمیت آهن موجب کاهش وزن خشک، سطح برگ، نسبت ریشه به اندام هوایی در کلم بروکلی (*Brassica oleracea* var. Italica) گردید (Peña-Olmos *et al*., 2014). در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی در جهت یافتن روشی برای حذف فلزات سنگین از خاک صورت گرفته که گیاه پالایی یکی از این روش‌هاست که به صرفه، کاربردی و سریع است و در آن از گیاهان برای پالایش آلاینده‌های خاک و آب استفاده می‌شود (Rungruang *et al*., 2011). استفاده از گل‌ها و گیاهان زینتی ساده‌ترین شکل پاکسازی و اصلاح زمین‌های آلوده به ویژه در شهرها و مناطق مسکونی و صنعتی می‌باشد. گیاه ختمی (*Althaea rosea*) گیاهی چندساله از خانواده پنیرک Malvaceae است که به دلیل گل‌های زیبا و رنگارنگ آن در باغ‌ها و پارک‌ها کشت می‌شود. این گیاه بومی چین، شمال اروپا، خاورمیانه، مدیترانه و آسیای مرکزی می‌باشد و به طور گسترده‌ای در مناطق معتدل جهان یافت می‌شود (Kim *et al*., 2017)، در بررسی صورت گرفته بر این گیاه نتایج نشان داده

است که اندام هوایی و ریشه این گیاه توانایی پالایش کنندگی فلز سنگین مس را داشته است (Kamali *et al.*, 2012)، اما تاکنون پژوهشی پیرامون اثر فلز سنگین آهن بر این گیاه صورت نگرفته است، با توجه به گسترش آلاینده‌ها در محیط زیست که منجر به آلودگی خاک و آب می‌شوند، لزوم معرفی و شناسایی گونه‌های گیاهی جدید که دارای قابلیت‌های گیاه پالایی باشند ضروری است، لذا این پژوهش با هدف بررسی توانایی گیاه پالایی ختمی زینتی تحت شرایط آلوده به آهن انجام شد.

فرآیند پژوهش

به منظور بررسی اثر فلز سنگین آهن بر شاخص‌های رشدی و توانایی گیاه پالایی گیاه ختمی زینتی (*Althaea rosea*)، آزمایشی به صورت طرح کاملا تصادفی با ۳ تکرار در گلخانه‌ای واقع در معدن سنگ آهن گلگهر کرمان با میانگین دمای حدود ۱۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد، فتوپریود ۱۶ ساعت روز و ۸ ساعت شب، رطوبت نسبی حدود ۶۰ درصد و شدت نور حدود ۱۵۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه انجام شد. تیمارها شامل غلظت‌های مختلف کلات آهن صفر، ۳۰،۱۵ و ۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بودند. ابتدا خاک مورد استفاده از عمق ۳۰ سانتی‌متری جمع‌آوری گردید و جهت تعیین برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، پیش از آلودگی به غلظت‌های مورد نظر آهن مورد آزمایش قرارگرفت (جدول ۱). خاک به وسیله جریان هوا خشک گردید و برای یکنواختی از الک دو میلیمتری عبور داده شد و غلظت‌های مختلف آن با خاک گلدان‌هایی که حاوی ۶ کیلوگرم خاک بودند ترکیب و درون کیسه‌های پلاستیکی ریخته و تا حد ظرفیت مزرعه آبیاری شد و بعد از گذشت حدود یک ماه از آلوده شدن خاک‌ها (جهت تثبیت فلز) خاک هر تیمار به درون گلدان‌های مربوطه انتقال یافت. بذرهای این گیاه که از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شده بودند در سینی کاشت حاوی مخلوط کوکوپیت و پرلایت کاشته شدند و در مرحله چهار برگی به گلدان‌های اصلی انتقال یافتند. ابتدا در هر گلدان ۶ نشا کاشته شد و بعد از رشد مناسب و استقرار بوته‌ها تعداد آنها به ۳ گیاهچه در هر گلدان کاهش یافت، گلدان ها با دور آبیاری چهار روز (هر چهار روز یک لیتر) آبیاری شدند و پس از رشد کافی گیاهان طی یک دوره ۱۲۰ روزه، برداشت انجام شد و صفات مورد نظر ارزیابی گردید.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

Table 1-Some selected physicochemical properties of studied soil

آهن (ppm)	پتاس قابل جذب (ppm)	فسفر قابل جذب (ppm)	نیتروژن کل (%)	هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)	pH	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	بافت خاک
۵/۳۳	۲۰۵	۱۱	۱/۱	۱/۲۳	۷/۳۸	۱۴	۵۸	۲۸	سیلت لوم

وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه: وزن تر اندام هوایی و ریشه بلافاصله پس از برداشت و وزن خشک پس از ۷۲ ساعت قرارگیری در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت صدم گرم توزین گردید (Soroori and Bagherian lemraski *et al.*, 2021).

ارتفاع گیاه و طول ریشه: ارتفاع گیاه و طول ریشه توسط متر فلزی اندازه گیری شد (Soroori and Bagherian lemraski *et al.*, 2021).

کلروفیل: محتوای کلروفیل کل برگ با استفاده از روش Danaee و Abdossi (۲۰۱۹)، اندازه گیری شد، جذب محلول به دست آمده با استفاده از دستگاه طیف سنج نوری (UV Visible مدل Spectro Flex 6600) در طول موج‌های ٦٦٣ نانومتر برای کلروفیل a، ٦٤٥ نانومتر برای کلروفیل b قرائت شد و در نهایت بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ محاسبه گردید.

Chl. a (mg/g FW) = [12.7 (A663) – 2.69 (A 645)] × V/W
Chl. b (mg/g FW) = [22.9 (A645) – 4.68 (A 663)]×V/W
Chl. total (mg/g FW) = [20.2 (A645) + 8.02 (A 663)] × V/W

آهن موجود در اندام هوایی و ریشه: مقدار ۰/۵ گرم از اندام هوایی و ریشه الک شده را وزن کرده، در کروزه‌ها ریخته، در کوره ۵۵۰ درجه سانتی گراد به مدت ٢٤ ساعت قرار گرفتند. پس از خروج از کوره و خنک شدن چند قطره آب مقطر برای مرطوب شدن به نمونه‌ها شد. سپس ۱۰میلی لیتر از HCl ٦مولار به هر نمونه افزوده و پس از نیم ساعت، از کاغذ صافی عبور داده شدند. هر نمونه با آب مقطر به حجم ۵۰ میلی لیتر رسانده شد ودر نهایت میزان آهن اندام هوایی و ریشه توسط دستگاه جذب اتمی (Analyst 700, Perkin Elmer, USA) اندازه گیری شد و بر حسب ppm بیان گردید (Mahdi nezhad *et al*., 2019).

تجزیه و تحلیل آماری

آنالیز داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری SAS (Ver 9.1) و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۱ و ۵ درصد، انجام گردید.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اثر فلز سنگین آهن بر وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، ارتفاع گیاه، طول ریشه، کلروفیل a و b، کل و جذب آهن در اندام هوایی و ریشه در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲).

جدول۲- تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف آهن بر صفات مورد ارزیابی گیاه ختمی زینتی(*Althaea rosea*)

Table 2- Analysis of variance of the effect of different concentrations of iron on the evaluated traits of *Althaea rosea*

منبع تغییرات	درجه آزادی	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	ارتفاع گیاه	طول ریشه	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	جذب آهن اندام هوایی	جذب آهن ریشه
آهن	٦	۱۳۹/۲۹*	۱۲۳/۳۵*	٦٤٥/۰۲*	۲٦/۱۵*	۲٤/۷۹*	۱۱/۱۱*	۳۲/٤۰*	۱۸۲/۸٦*	۸۷/٦۵*	۰/۱۵*	۲/۸۸*
خطا	٤۲	۰/٤۵	۰/۲٦	۱/۲۲	۰/۱	۲/۲	۱/۳۱	۰/۳۵	۲/۰٤	۹/۹٤	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵
ضریب تغییرات	-	۹/۷۷	۱۰/۹	۱۰/۳۹	٦/۸۸	۱۳/۵٤	۱۲/٤٤	۷/٦۲	۱۳/۱۹	۱۲/۰٦	۱۳/۲۷	۱۰/۵

*** معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد**

وزن تر و خشک اندام هوایی: نتایج حاصل از پژوهش نشان داد، بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی به ترتیب با ١٤/٣۵ و ٦/٢٧ گرم در شاهد مشاهده شد که با تیمار آهن ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین با ١١/٢٤ و

٤/٢٢ گرم مربوط به تیمار آهن ۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود (جدول ۳).

وزن تر و خشک ریشه: بررسی داده‌ها نشان داد، بیشترین وزن تر و خشک ریشه به ترتیب با ١٥/١٤ و ٦/٥٦ گرم مربوط به شاهد بود که اختلاف معنی‌داری با تیمار آهن ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم نداشت و کمترین با ۱۱/۳۸ و ٤/١٨ گرم در تیمار آهن ۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم مشاهده شد (جدول ۳).

ارتفاع گیاه: با توجه به نتایج به دست آمده در جدول ۳، بیشترین و کمترین ارتفاع گیاه مربوط به شاهد (١٦/٧٦ سانتی‌متر) و تیمار ۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم (٩/٤٦ سانتی‌متر) بود.

طول ریشه: بررسی داده‌ها نشان داد، بیشترین طول ریشه در شاهد (١٩/٤٨ سانتی‌متر) و کمترین در تیمار ۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم (١٧/٤٧ سانتی‌متر) مشاهده شد (جدول ۳).

جدول ۳- اثر غلظت‌های مختلف آهن بر شاخص‌های رشدی ختمی زینتی(*Althaea rosea*)

Table 3- Effect of different concentrations of iron on the growth indices of *Althaea rosea*

تیمار (میلی‌گرم در کیلوگرم)	غلظت	وزن تر اندام هوایی (گرم)	وزن خشک اندام هوایی (گرم)	وزن تر ریشه (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	طول ریشه (سانتی‌متر)
شاهد	۰	^{a}١٤/٣٥	^{a}٦/٧٧	^{a}١٥/١٤	^{a}٦/٥٦	^{a}١٦/٧٦	^{a}١٩/٤٨
آهن	۱۵	^{a}١٤/٠٧	^{a}٦/٢٧	^{a}١٥/٠٩	^{a}٦/٥٢	^{b}١٢/١٣	^{a}١٩/٢٧
	۳۰	^{b}١٢/١٨	^{b}٥/٤٧	^{b}١٢/٠٩	^{b}٥/٣٣	^{c}١١/٠٥	^{b}١٨/٢٨
	۹۰	^{c}١١/٢٤	^{c}٤/٢٢	^{c}١١/٣٨	^{c}٤/١٨	^{d}٩/٤٦	^{c}١٧/٤٧

حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح $P\leq0.05$ است.

کلروفیل a: با توجه به نتایج به دست آمده در جدول ٤، بیشترین محتوای کلروفیل a با ۲۱/۱۸ میلی‌گرم در گرم در شاهد و کمترین با ١٤/٣٢ میلی‌گرم در گرم در تیمار آهن ۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بدست آمد.

کلروفیل b: نتایج حاصل از پژوهش نشان داد، بیشترین کلروفیل b مربوط به شاهد (۱۸/۵۷ میلی‌گرم در گرم) بود در حالیکه کمترین در تیمار آهن ۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم (۱۱/۱۸ میلی‌گرم در گرم) مشاهده شد (جدول ٤).

کلروفیل کل: نتایج نشان داد، بیشترین کلروفیل کل با ۳۹/۷۵ میلی‌گرم در گرم در شاهد و کمترین با ۲۵/۵ میلی‌گرم در گرم در تیمار آهن ۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم مشاهده شد (جدول ٤).

تجمع آهن در اندام هوایی گیاه: بررسی داده‌ها در جدول ٤ نشان می دهد که بیشترین تجمع آهن در اندام هوایی در تیمار آهن ۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم (١/٨٤ ppm) مشاهده شد، در حالیکه کمترین میزان آهن در شاهد (٠/٢٤ ppm) مشاهده شد.

تجمع آهن در ریشه: نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، بیشترین تجمع آهن در ریشه با ١/٥٦ ppm در تیمار ۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و کمترین میزان آهن با ٠/٢٠ ppm در شاهد مشاهده شد (جدول ٤).

جدول ٤- اثر غلظت‌های مختلف آهن بر رنگدانه فتوسنتزی و جذب آن در اندام هوایی و ریشه گیاه ختمی(Althaea rosea)

Table 4- Effect of different concentrations of iron on photosynthetic pigment and its uptake in shoots and roots of Althaea rosea

تیمار (میلی‌گرم در کیلوگرم)	غلظت	کلروفیل a (میلی‌گرم در گرم)	کلروفیل b (میلی‌گرم در گرم)	کلروفیل کل (میلی‌گرم در گرم)	جذب آهن اندام هوایی (ppm)	جذب آهن ریشه (ppm)
شاهد	۰	^{a}۲۱/۱۸	^{a}۱۸/۵۷	^{a}۳۹/۷۵	^{f}۰/۲٤	^{f}۰/۲۰
آهن	۱۵	^{b}۱٦/۰۸	^{b}۱۵/۰٤	^{b}۳۱/۱۲	^{c}۱/۲٤	^{c}۱/۰۹
	۳۰	^{b}۱٦/٤۷	^{c}۱۳/۱۳	^{c}۲۹/٦	^{b}۱/٦۸	^{b}۱/٤۳
	۹۰	^{c}۱٤/۳۲	^{d}۱۱/۱۸	^{d}۲۵/۵	^{a}۱/۸٤	^{a}۱/۵٦

حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح $P\leq0.05$ است.

آهن عملکردهای محوری در تنفس گیاه، تقسیم سلولی، سنتز کلروفیل و زنجیره انتقال الکترون در فتوسنتز را دارد، اما با این حال غلظت‌های بالای آن به عنوان یک کاتالیزور در واکنش‌های فنتون و هابروایس عمل می‌کند و رادیکال‌های آزاد اکسیژن را تولید می‌کند، که به طور بالقوه برای سلول مضر هستند و باعث آسیب اکسیداتیو در گیاهان می‌شوند (Kao *et al*., 2001). با توجه به نتایج بدست آمده از این پژوهش، افزایش غلظت آهن شاخص‌های رشدی گیاه را کاهش داد، کاهش شاخص‌های رشدی گیاه به این دلیل است که جذب آهن بیش از حد توسط گیاه، تعادل ردوکس سلولی را به سمت یک حالت پرواکسیدانی تغییر می‌دهد و باعث تغییرات در خصوصیات مورفولوژیکی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاه می‌شود (Onyango *et al*., 2019)، آهن به رادیکال فریل با واکنش پذیری زیاد تبدیل می‌شود که میل ترکیبی زیادی با اسیدهای چرب دارد و موجب اختلال در تعادل هورمونی، مهار فتوسنتز و کمبود مواد غذایی و روابط آب و مواد معدنی می‌شود، همچنین با آسیب بر غشا بر نفوذ پذیری غشا تاثیر می‌گذارد و با تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن به لیپیدهای غشا، پروتئین‌ها، رنگریزه‌ها و اسیدهای نوکلوئیک آسیب وارد کرده و منجر به کاهش رشد و به دنبال آن کم شدن وزن تر و خشک گیاه می‌گردد (Hosseinpour *et al*., 2017). همچنین کاهش رشد ریشه در غلظت‌های بالای آهن به این دلیل است که در سمیت آهن قدرت اکسیداسیون ریشه کاهش و پراکسیداسیون لیپیدها افزایش پیدا می‌کند که با توقف رشد همراه است، در نتیجه کاهش جذب مواد غذایی موجب کاهش وزن و طول ریشه می‌گردد (Asch and Becker, 2005). از سویی دیگر در چنین شرایطی مقدار آب سلول کاهش پیدا می‌کند و الاستیسیته دیواره سلول کم می‌شود و منجر به اختلال در شاخص‌های رشدی نظیر ارتفاع گیاه می‌گردد (Hegedus *et al*., 2002). نتایج این پژوهش با نتایج Hosseinpour و همکاران (۲۰۱۷) در گیاه *Stipa capensis*، Peña-Olmos و همکاران (۲۰۱٤)، در *Brassica oleracea* var. *Italica* و Mehraban و همکاران (۲۰۰۸) در *Oryza sativa* L. مطابقت دارد. آهن فلز ضروری برای تولید کلروفیل است اما محتوای کلروفیل زمانی که در معرض مقدار زیاد آهن قرار می‌گیرد به دلیل تنش اکسیداتیو تجزیه می‌شود (Xu *et al*., 2015)، نتایج بررسی‌ها نشان داد، افزایش غلظت آهن موجب کاهش محتوی کلروفیل a، b و کل گردید، سمیت آهن موجب عدم

خنثی شدن رادیکال‌های اکسیژن و باقیماندن پراکسید هیدروژن در گیاه می‌گردد و با تولید رادیکال هیدروکسیل موجب اکسید شدن قابل توجه کلروفیل و در نتیجه کاهش فتوسنتز می‌شود (Mahender, 2019)، همچنین انباشتگی آهن در کلروپلاست موجب اختلال در انتقال الکترون فتوسنتزی می‌شود و موجب کاهش نسبت کربوکسیلاسیون به اکسیژناسیون در واکنش‌های روبیسکو و افزایش تنفس نوری می‌شود (Mehraban and Abdolzadeh, 2012). نتایج این آزمایش با نتایج Peyvandi و همکاران (۲۰۱۲) در گیاه *Satureja hortensis* مطابقت دارد. باتوجه به نتایج فوق، افزایش غلظت آهن در محیط ریشه، موجب جذب و افزایش غلظت آهن هم در بافت ریشه و هم در بخش هوایی گردید، به طوریکه بیشترین میزان جذب آهن در اندام هوایی ppm ۱/۸٤ و در ریشه ppm ۱/٥٦ بود. جذب آهن در ریشه می‌تواند به دلیل رسوب آهن در سطح ریشه و یا انباشتگی آهن در سلول‌های ریشه باشد (Mehraban and Abdolzadeh, 2012) و وجود آهن در اندام هوایی نیز نشان دهنده این است که آهن از ریشه به اندام هوایی در حرکت است و این مزیت را دارد، تا با حذف اندام هوایی، سوزاندن و جمع آوری خاکستر، فلز سنگین بیشتری از چرخه زیستی حذف شود (Heidari *et al*., 2018). مطابق با یافته‌های این پژوهش، تجمع آهن در اندام هوایی گیاهان علفی *Zygophyllum fabago* و *A. macrostachyum* توسط Martinez-Sanchez و همکاران (۲۰۱۲) گزارش شده است.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، با توجه به شاخص‌های رشدی مورد ارزیابی، گیاه ختمی زینتی (*Althaea rosea*) توانایی جذب آهن را در اندام هوایی و ریشه خود دارد، پیشنهاد می‌شود از این گیاه زینتی در پاکسازی زمین‌های کشاورزی و یا در فضای سبز مناطق صنعتی و شهری استفاده شود.

منابع

1) Becker, M. and F, Asch. 2005. Iron toxicity in rice- conditions and management concepts. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 168: 558-573.
2) Danaee, E. and V, Abdossi. 2019. Phytochemical and Morphophysiological Responses in Basil (*Ocimum basilicum* L.) Plant to Application of Polyamines. Journal of Medicinal Plants, 18(1): 125-133.
3) Hakimi, L. and M, Farzamisepehr. 2016. Study of Fe and Cu accumulation and antioxidant activities of dominant plant species in Sorkhe Mine in Marand province. Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research, 10(40): 21-30.
4) Hegedus, A., Erdei, S. and G, Horvath. 2001. Comparative studies of H_2O_2 detoxifying enzmes in green and greening barley under heavy metal stress. Plant Science, 160:1085-1093.
5) Heidari, S., Fotouhi Ghazvini, R., Zavareh, M., Kafi, M. 2018. Investigation of Physiological Response and Phytoremediation ability of Echinacea purpurea in Cadmium Contaminated Soil. International Journal of Hydrology Science and Technology, 19(2): 127-142.
6) Hosseinpour, K., Sodaeezade, H. and M, Tajamolian. 2017. The Effect of Nickel and Iron on Soil acidity and Growth Parameters in *Stipacapensis* (Case study: Gachsaran oil-rich region). International

Journal of Environmental Science and Technology, 19(5): 451-458

7) Kamali, M., Sarcheshme Pour, M. and A, Maghsoudi Moud. 2015. Copper Effects on Growth Parameters of Hollyhock (*Althaea rosea* L.). Journal of Ornamental Plants, 2(2): 95-101.
8) Kao, CH., Fang, WC., Wang, JW. and CC, Lin. 2001. Iron induction of lipid peroxidation and effects on antioxidative enzyme activities in rice leaves. Plant Growth Regulation, 1: 75–80.
9) Kim, Y.S., Kim, E.K. and Nawarathna, W., Dong, X., Shin, W.B., Park, J.S., Moon, S.H. and P.J, Park. 2017. Immune-stimulatory effects of *Althaea rosea* flower extracts through the MAPK signaling pathway in RAW264.7 cells. Molecules, 22(5): 679-690.
10) Mahdi nezhad, N., jamalpour, H., Fakheri, B. and H, Azad. 2019. The study of the response of some physiological characteristics and grain yield of Purslane (Portulaca Oleracea L.) cultivars to drought stress and foliar application of chelated nano iron. Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research, 14(54): 74-89.
11) Mahender, A., Swamy B. P.M., Anandan, A. and J, Ali. 2019. Tolerance of Iron-Deficient and -Toxic Soil Conditions in Rice. Plants, 8(2): 31
12) Martinez-Sanchez, M., Garcia-Lorenzo, M., Perez-Sirvent, C. and J, Bench. 2012. Trace element accumulation in plants from an aridic area affected by mining activities. Journal of Geochemical Exploration, 123: 8-12.
13) Mehraban, P. and A, Abdolzadeh. 2012. Effects of iron excess on the antioxidant activity and patterns of protein electrophoresis in Oryza sativa var. Shafagh. Journal of Plant Production, 19(1): 85-106.
14) Mehraban, P., Zadeh, A.A. and H.R, Sadeghipour. 2008. Iron toxicity in rice (Oryza sativa L.), under different potassium nutrition. Asian journal of plant science, 7: 251-259.
15) Mishra, S., Srivastava, S. and P.D, Tripathi. 2006. Phytochelatin synthesis and response of antioxidants during cadmium stress in *Bacopa monnieri* L. Plant Physiology and Biochemistry, 44(1):25-37.
16) Nadouki, M., Saffari, V R. and M, Sarcheshmeh Pour. 2019. Effect of Different Concentrations of Copper and Lead on Stomata Changes, Morphological and Biochemical Characteristics of Four O'Clock (*Mirabilis jalapa*). Isfahan University of Technology Journal of Crop Production and Processing, 9 (3): 61-74.
17) Onyango, DA., Entila, F., Dida, MM., Ismail, AM. and KN, Drame. 2018. Mechanistic understanding of iron toxicity tolerance in contrasting rice varieties from Africa: 1. Morpho-physiological and biochemical responses. Functional Plant Biology, 46(1): 93-105.
18) Peña-Olmos, J., Casierra-Posada, F. and M, Olmos-Cubides. 2014. The effect of high iron doses (Fe2+) on the growth of broccoli plants (*Brassica oleracea* var. Italica). Agronomía Colombiana, 32(1): 22-28.
19) Peyvandi, M., Mirza, M. and Z, Kamali Jamakani. 2012. The Effect of Nano Fe Chelate and Fe Chelate on the Growth and Activity of some Antioxidant of *Satureja hortensis*. New Cellular and Molecular Biotechnology Journal, 2(5): 25-32.
20) Rungruang, N., S, Babel and P, Parkpian. 2011. Screening of potential hyperaccumulator for cadmium from contaminated soil. Desalination and Water Treatment, 32: 19-26.
21) Sánchez, A.S., Juarez, M., Sanchez-Andreu, J., Jorda, J., and D, Bermudez. 2005. Use of humic substances and amino acids to enhance iron availability for tomato plants from applications of the chelate Fe EDDHA. Journal of Plant Nutrition, 28(11): 1877-1886.
22) Soroori, S. and H, Bagherian lemraski. 2021. Effect of foliar application of spermidine, citric acid and proline on growth and flowering in *Calendula*

officinalis L. under drought stress. Iranian journal of plant & biotechnology, 15(4): 39-27.

23) Xu, S., Lin, D., Sun, H., Yang, X. and X, Zhang. 2015. Excess iron alters the fatty acid composition of chloroplast membrane and decreases the photosynthesis rate: a study in hydroponic pea seedlings. Acta Physiologiae Plantarum, 37 (10).
24) Yeritsyan, N. and C, Economakis. 2002. Effect of nutrient solution´s iron concentration on growth and essential oil content of oregano plants growth in solution culture. Acta Horticulture, 576: 277-283.