تاثیر مصرف خاکی و محلول‌پاشی کلات آهن بر شاخص‌های رشدی و جذب آن در گیاه لاله عباسی (*Mirabilis jalapa*)

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 علوم 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: اردیبهشت ۱۴۰۱ تاریخ پذیرش: تیر ۱۴۰۱

The effect of soil and foliar application of iron chelate on growth indices and its uptake in *Mirabilis jalapa*

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

1*- M.Sc 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: May 2022 Accepted: July 2022

چکیده

به منظور بررسی اثر مصرف خاکی و محلول‌پاشی آهن بر شاخص‌های رشدی و توانایی جذب آن توسط گیاه لاله عباسی (*Mirabilis jalapa*) آزمایشی در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار در گلخانه‌ای واقع در معدن سنگ آهن گلگهر کرمان انجام شد. سطوح مختلف کلات آهن مورد استفاده در این آزمایش، شامل مصرف خاکی (صفر، ۱۵، ۳۰ و ۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و محلول‌پاشی (۲، ٤ و ٦ میلی‌گرم در لیتر) بود که مصرف خاکی کلات آهن در ابتدا آزمایش با خاک گلدان‌ها و محلول‌پاشی در مرحله ساقه‌دهی و گلدهی اعمال شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که آهن تاثیر معنی‌داری بر صفات مورد ارزیابی داشت، بطوریکه بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، ارتفاع گیاه، طول ریشه، کلروفیل a، b و کل در تیمار مصرف خاکی آهن ۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم مشاهده شد، همچنین بیشترین جذب آهن در اندام هوایی و ریشه در مصرف خاکی ۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بدست آمد. بطورکلی نتایج نشان داد، کاربرد آهن شاخص‌های رشدی و رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاه لاله عباسی را افزایش داد، همچنین مصرف خاکی آهن (۹۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک) نسبت به محلول‌پاشی نتیجه مطلوب‌تری داشت، از سویی دیگر به دلیل توانایی جذب آهن توسط اندام هوایی و ریشه می‌توان از این گیاه به عنوان پالایش کننده زمین‌های آلوده به آهن نیز استفاده کرد.

کلمات کلیدی: آهن، شاخص‌های رشد، گیاه پالایی، لاله عباسی

Abstract

To investigate the effect of soil application and foliar application of iron on growth indices and its ability to be absorbed by *Mirabilis jalapa*, an experiment was conducted in a completely randomized design with three replications in greenhouses located in the Golgohar iron ore mine in Kerman. Different levels of iron chelate used in this experiment included soil application (zero, 15, 30 and 90 mg kg^{-1} soil) and foliar application (2, 4 and 6 mg l^{-1}). Soil application of iron chelate was initially tested with potting soil and foliar application was applied at the stage of stem and flowering. The results of this study showed that iron had a significant effect on the evaluated traits, so that the highest fresh and dry weight of shoots and roots, plant height, root length, chlorophyll a, b and total in soil iron treatment of 90 mg kg^{-1} it was observed that also the highest uptake of iron in shoots and roots was obtained in soil application of 90 mg kg^{-1} soil. In general, the results showed that the application of iron increased the growth indices and photosynthetic pigments of *Mirabilis jalapa*. Also, soil application of iron (90 mg kg^{-1} soil) had a better result than foliar application, on the other hand due to its ability to absorb iron by aerial parts and roots of this plant can also be used as a purifier of iron-contaminated soils.

Keywords: Growth Indices, Iron, *Mirabilis jalapa*, Phytoremediation.

مقدمه و کلیات

گیاهان برای رشد و نمو، علاوه بر عناصر پرمصرف، به عناصر کم مصرف هم نیازمند هستند، آهن یکی از عناصر کم مصرف ضروری است که جزء ساختار سیتوکروم‌ها، فردوکسین‌ها و لگ هموگلوبین‌هاست و در بسیاری از فعالیت‌های حیاتی گیاه نظیره تولید تنظیم کننده‌های رشد، فتوسنتز، تنفس و تثبیت مولکولی نیتروژن شرکت می‌کند، همچنین آهن در ساختمان پروتئین‌های هِم وجود دارد که پیشنیاز ساخت کلروفیل می‌باشند (Sánchez *et al*., 2005). در شرایط کمبود آهن، میزان فتوسنتز، سرعت تثبیت دی اکسید کربن، ذخیره نشاسته و قند در برگ‌ها کاهش یافته و در نهایت منجر به کاهش رشد گیاه می‌گردد (Alvarez, 2004). یکی از شایع‌ترین نشانه‌های کمبود آهن در محصولات باغبانی زردی برگ‌هاست که با شدت بیشتری در برگ‌های جوان ظاهر می‌شود، اما با این حال غلظت‌های بالای آهن نیز 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 موجب آسیب اکسیداتیو در گیاهان می‌شوند (Kao *et al*., 2001). کلات آهن از مؤثرترین کودهای آهن است که قابلیت زیادی در ایجاد آهن محلول و قابل جذب گیاه دارند و بهترین راه حل برای برطرف کردن کمبود آهن در همه خاک‌ها هستند و می‌توانند شدیدترین مشکلات تغذیه‌ای گیاهان را برطرف کنند (Razazi *et al*., 2010). تحقیقات متعددی اثر کلات آهن را بر فتوسنتز و رشد گیاهان گزارش نمودند، برای مثال، در گیاه استویا (*Stevia rebaudiana* Bertoni) آهن وزن خشک ریشه، حجم ریشه، طول ریشه، کلروفیل b و کلروفیل کل را افزایش داد (Aghighi Shahverdi *et al*., 2017)، همچنین در گیاه همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) کاربرد آهن حجم ریشه، وزن خشک ریشه، بیوماس کل، کاروتنوئید، کلروفیل a، b و کل را افزایش داد Izadi and Rezaei nejad, 2020). در حالی که در پژوهشی دیگر کاربرد آهن در غلظت‌های بالا وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه و اسانس را در مرزنجوش (*Origanum vulgare*) کاهش داد (Yeritsyan and Economakis, 2002). همچنین یکی از مسائل مهم در مصرف کودهای ریز مغذی، مقایسه روش‌ها و مقادیر مصرف آن‌ها در جهت افزایش تولید و جنبه‌های اقتصادی آن است، زیرا در بعضی از خاک‌ها محلول‌پاشی برگی به دلیل جذب سریعتر تاثیرگذاری بالاتری دارند در حالیکه در بعضی خاک‌ها، کاربرد خاکی روش موثری در اصلاح کمبود آهن است (Bybordi and Mamedov, 2010). در بررسی صورت گرفته توسط Fathi Amirkhiz و همکاران (2015)، محلول‌پاشی گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) توسط کلات آهن در شرایط کم آبیاری عملکرد دانه و روغن را افزایش داد، در حالیکه کاربرد خاکی آهن ماده خشک گیاه، شاخص برداشت و میزان روغن را افزایش داد. در مطالعه‌ای دیگر در گیاه سویا مصرف آهن در شرایط بدون تنش خشکی به روش خاکی نسبت به تیمارهای محلول‌پاشی تاثیر مثبتی بر افزایش وزن هزار دانه، عملکرد دانه، میزان پروتئین و

روغن آن داشت (Adeli and Rafiei, 2016). لاله عباسی (*Mirabilis jalapa*) گیاهی زینتی و چندساله از خانواده Nyctaginaceae است که منشا آن آمریکای جنوبی می‌باشد، گل‌های زیبای این گیاه به رنگ قرمز، زرد، صورتی و سفید است که در تابستان ظاهر می‌شود، این گیاه کاربرد زیادی در فضای سبز دارد و معمولاً در حاشیه‌ها، میادین و چمن کاری‌ها کشت می‌شود (Gasemi gahsare and Kafi, 2012) و در برخی منابع به دلیل وجود ترکیبات فلاونوئیدی، از این گیاه به عنوان داروی ضد دیابت و موثر در درمان بیماری‌های کلیه یاد شده است (Singh *et al.*, 2012). با توجه به مطالعات صورت گرفته گیاه لاله عباسی توانایی تجمع فلزات سنگین روی، مس و سرب را در ریشه خود دارد که کاربرد آن در فضای سبز می‌تواند در پاکسازی و اصلاح زمین‌های آلوده شـهرها، مناطق مسکونی و صنعتی موثر باشد (Nadouki *et al.*, 2019 ;Carucci *et al.*, 2005)، همچنین با توجه به اهمیت تعیین مقادیر مناسب آهن و انتخاب روش کاربرد آن در جهت بهبود رشد و نمو گیاهان، این مطالعه با هدف بررسی اثر مصرف خاکی و محلول‌پاشی آهن بر خصوصیات رشدی و جذب این عنصر در اندام هوایی و ریشه گیاه لاله عباسی (*Mirabilis jalapa*) انجام شد.

فرآیند پژوهش

به منظور بررسی مصرف خاکی و محلول‌پاشی آهن بر شاخص‌های رشدی و جذب آن در گیاه لاله عباسی (*Mirabilis jalapa*)، 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 ۱٦ ساعت روز و ۸ ساعت شب، رطوبت نسبی حدود ٦۰ درصد و شدت نور حدود ۱۵۰ میکرومول بر مترمربع در ثانیه انجام شد. تیمارها شامل مصرف خاکی کلات آهن صفر ،۱۵، ۳۰ و ۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک و محلول‌پاشی برگی ۲، ٤ و ٦ میلی‌گرم در لیتر بودند. ابتدا خاک مورد استفاده از عمق ۳۰ سانتی‌متری جمع‌آوری گردید و جهت تعیین برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی 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 ٦ کیلوگرم خاک بودند ترکیب شد. 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 ٦ نشا کاشته شد و بعد از رشد مناسب و استقرار بوته‌ها تعداد آنها به ۳ گیاهچه در هر گلدان کاهش یافت، محلول‌پاشی در مرحله ساقه دهی و گلدهی اعمال شد. گلدان‌ها 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	۱٤	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 ٦۰ درجه سانتی‌گراد با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت صدم گرم توزین گردید (Soroori *et al*., 2021).

ارتفاع گیاه و طول ریشه: ارتفاع گیاه و طول ریشه توسط متر فلزی اندازه گیری و بر حسب سانتی‌متر بیان شد(Soroori *et al*., 2021).

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 ٦HCl مولار 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 (Elmer, USA Analyst 700, Perkin) اندازه گیری شد و بر حسب میلی‌گرم در لیتر بیان گردید (Mahdi nezhad *et al*., 2019).

کلروفیل: محتوای کلروفیل کل برگ با استفاده از روش Danaee و Abdossi (2019)، اندازه گیری شد، جذب محلول به دست آمده با استفاده از دستگاه طیف سنج نوری (Spectro Flex مدل UV Visible) 6600 در طول موج‌های ٦٦٣ نانومتر برای کلروفیل a، ٦٤٥ نانومتر برای کلروفیلb قرائت شد و در نهایت بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ محاسبه گردید.

$$\text{Chl. a (mg/g FW)} = [12.7\ (A663) - 2.69\ (A\ 645)] \times V/W$$
$$\text{Chl. b (mg/g FW)} = [22.9\ (A645) - 4.68\ (A\ 663)] \times V/W$$
$$\text{Chl. total (mg/g FW)} = [20.2\ (A645) + 8.02\ (A\ 663)] \times V/W$$

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، کلروفیل کل و جذب آهن در اندام هوایی و ریشه در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد.

وزن تر و خشک اندام هوایی: نتایج حاصل از پژوهش نشان داد، بیشترین وزن تر و خشک اندام هوایی به ترتیب با ۱۱۵/۰٦ و ۳۵/۷۹ گرم در تیمار ۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم مشاهده شد در حالیکه

کمترین با ۶۹/۲۵ و ۲۵/۲۰ گرم مربوط به شاهد بود (جدول ۲).

وزن تر و خشک ریشه: بررسی داده‌ها نشان داد، بیشترین وزن تر و خشک ریشه به ترتیب با ۴۰/۲۵ و ۲۳/۱۲ گرم مربوط به تیمار ۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود و کمترین با ۲۷/۰۲ و ۱۷/۵۴ گرم در شاهد مشاهده شد (جدول ۲).

ارتفاع گیاه: با توجه به نتایج به دست آمده در جدول ۲، بیشترین و کمترین ارتفاع گیاه مربوط به تیمار ۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم (۹۶/۳۷ سانتی‌متر) و شاهد (۶۴/۷۵ سانتی‌متر) بود.

طول ریشه: بررسی داده‌ها نشان داد، بیشترین طول ریشه در در تیمار ۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم (۱۶/۶ سانتی‌متر) و کمترین در شاهد (۱۰/۳۲ سانتی‌متر) مشاهده شد (جدول ۲).

جدول ۲- اثر غلظت‌های مختلف آهن بر شاخص‌های رشدی گیاه لاله عباسی (*Mirabilis jalapa*)

Table 2- Effect of different concentrations of iron on the growth indices of *Mirabilis jalapa*

تیمار	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	۶۹/۲۵^{e}	۲۵/۲۰^{e}	۲۷/۰۲^{f}	۱۷/۵۴^{f}	۶۴/۷۵^{e}	۱۰/۳۳^{e}
آهن خاکی (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۱۵	۸۰/۲۲^{c}	۲۹/۷۰^{c}	۳۷/۴۵^{c}	۲۰/۲۵^{c}	۸۱/۵۰^{c}	۱۴/۷۷^{c}
	۳۰	۱۱۲/۱۸^{b}	۳۰/۲۴^{b}	۳۹/۸۲^{b}	۲۲/۴۵^{b}	۹۰/۳۷^{b}	۱۵/۴۵^{b}
	۹۰	۱۱۵/۰۶^{a}	۳۵/۷۹^{a}	۴۰/۲۵^{a}	۲۳/۱۲^{a}	۹۶/۳۷^{a}	۱۶/۶^{a}
آهن محلول‌پاشی (میلی‌گرم در لیتر)	۲	۱۱۱/۱۶^{b}	۳۰/۱۵^{b}	۳۸/۸۸^{b}	۲۲/۱۹^{b}	۸۷/۸۷^{bc}	۱۵/۸۰^{ab}
	۴	۸۰/۱۴^{c}	۲۹/۴۲^{c}	۳۵/۱۴^{d}	۱۹/۸۸^{d}	۸۲/۸۵^{c}	۱۴/۳۳^{c}
	۶	۷۰/۸۷^{d}	۲۷/۲۵^{d}	۲۸/۱۰^{e}	۱۸/۰۷^{e}	۶۲/۷۹^{d}	۱۳/۲۵^{d}

حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح $P\leq 0.05$ است.

کلروفیل a: با توجه به نتایج به دست آمده در جدول ۳، بیشترین محتوای کلروفیل a با ۲۰/۳۹ میلی‌گرم در گرم در تیمار آهن ۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و کمترین با ۱۳/۳۰ میلی‌گرم در گرم در شاهد بدست آمد.

کلروفیل b: نتایج حاصل از پژوهش نشان داد، بیشترین کلروفیل b مربوط به تیمار آهن ۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم (۱۳/۶۰ میلی‌گرم در گرم) بود در حالیکه کمترین در شاهد (۹/۷۷ میلی‌گرم در گرم) مشاهده شد (جدول ۳).

کلروفیل کل: نتایج نشان داد، بیشترین کلروفیل کل با ۳۳/۹۹ میلی‌گرم در گرم در تیمار آهن ۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و کمترین با ۲۳/۰۷ میلی‌گرم در گرم در شاهد مشاهده شد (جدول ۳).

تجمع آهن در اندام هوایی گیاه: بررسی داده‌ها در جدول ۳ نشان می‌دهد که بیشترین تجمع آهن در اندام هوایی در تیمار آهن ۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم (۱۰/۸۴میلی‌گرم در لیتر) مشاهده شد، در حالیکه کمترین میزان آهن در شاهد (۳/۳۰ میلی‌گرم در لیتر) مشاهده شد.

تجمع آهن در ریشه: نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، بیشترین تجمع آهن در ریشه با ۱۰/۹۳ میلی‌گرم در لیتر در تیمار ۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و

کمترین میزان آهن با ۲/۰۳ میلی‌گرم در لیتر در شاهد مشاهده شد (جدول ۳).

جدول ۳- اثر غلظت‌های مختلف آهن بر رنگدانه فتوسنتزی و جذب آن در اندام هوایی و ریشه گیاه لاله عباسی (*Mirabilis jalapa*)

Table 3- Effect of different concentrations of iron on photosynthetic pigment and its uptake in shoots and roots of *Mirabilis jalapa*

تیمار	غلظت	کلروفیل a (میلی‌گرم در گرم)	کلروفیل b (میلی‌گرم در گرم)	کلروفیل کل (میلی‌گرم در گرم)	جذب آهن اندام هوایی (میلی گرم در لیتر)	جذب آهن ریشه (میلی گرم در لیتر)
شاهد	۰	۱۳/۳۰^{f}	۹/۷۷^{f}	۲۳/۰۷^{f}	۳/۳۰^{g}	۲/۰۳^{g}
آهن خاکی (میلی‌گرم در کیلوگرم)	۱۵	۱۸/۴۳^{c}	۱۱/۶۷^{c}	۳۰/۱۰^{c}	۶/۴۰^{c}	۵/۹۱^{c}
	۳۰	۱۹/۴۸^{b}	۱۲/۲۶^{b}	۳۱/۷۴^{b}	۹/۳۸^{b}	۹/۳۸^{b}
	۹۰	۲۰/۳۹^{a}	۱۳/۶۰^{a}	۳۳/۹۹^{a}	۱۰/۸۴^{a}	۱۰/۹۳^{a}
آهن محلول‌پاشی (میلی‌گرم در لیتر)	۲	۱۵/۷۱^{e}	۱۲/۱۴^{b}	۲۷/۸۵^{d}	۴/۹۰^{f}	۳/۲۹^{d}
	۴	۱۶/۰۵^{d}	۱۱/۳۴^{d}	۲۷/۳۹^{d}	۵/۵۰^{e}	۴/۶۵^{e}
	۶	۱۳/۹۰^{f}	۱۰/۳۰^{e}	۲۴/۲۰^{e}	۸/۵۰^{d}	۷/۷۲^{f}

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

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد کاربرد کلات آهن موجب افزایش شاخص‌های رشدی لاله عباسی گردید، زیرا با توجه به بررسی‌های صورت گرفته آهن در ساختمان کلروفیل نقش اساسی دارد، در نتیجه کاربرد آن کلروفیل گیاه را افزایش می‌دهد و منجر به فتوسنتز و رشد رویشی بیشتر در گیاه می‌گردد که و در نهایت موجب تولید پوشش گیاهی توسعه یافته تر و شاخ و برگ بیشتری می‌گردد و همچنین با بالاتر رفتن سطح کربن گیری و سنتز پروتئین‌ها میزان ماده خشک تولیدی در گیاه نیز بیشتر می‌شود (Heidarzade *et al*., 2020). از سویی دیگر به دلیل اینکه آهن جز عناصر ضروری برای بسیاری از فرآیندهای رشدی گیاه مانند رشد مریستمی است وجود آهن موجب افزایش رشد ریشه و در نتیجه بالاتر رفتن وزن تر و خشک و طول آن می‌گردد (Mohammadi *et al*., 2019). افزایش ارتفاع به واسطه کود آهن نیز مربوط به نقش این عنصر در فتوسنتز است. زیرا مواد فتوسنتزی بیشتری به نقاط مختلف گیاه از جمله ساقه‌ها وارد می‌شود که در نهایت، ارتفاع گیاه افزایش می‌یابد (Heidarzadeh *et al*., 2016)، نتایج این آزمایش با نتایج Alidadi Khaliliha و همکاران (۲۰۱۷) در گیاه شاهی (*Lepidium sativum* L.)، Aghighi Shahverdi و همکاران (2017) در گیاه استویا (*Stevia rebaudiana* Bertoni) مطابقت دارد. کاربرد آهن میزان کلروفیل a، b و کل را افزایش داد، زیرا شکل گیری کلروفیل بدون حضور آهن امکان پذیر نیست و افزایش کلروفیل در اثر کاربرد آهن می‌تواند ناشی از نقش آهن در ساختمان سیتوکروم به عنوان ناقل الکترون در سیستم‌های فتوسنتزی برای تنفس، عملیات اکسیداسیون و احیا و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی همانند آسکوربات پراکسیداز و گلوتامین ردوکتاز باشد که از تخریب کلروفیل توسط رادیکال‌های فعال اکسیژن جلوگیری می‌کنند

(Briat *et al*., 2015). همچنین تشکیل اسید دلتا آمینولینیک اسید که در ساخت کلروفیل و هم (Hem) نقش دارد، به وسیله آهن کنترل می‌شود (Hirai *et al*., 2007)، در نتیجه کاربرد آهن میزان کلروفیل گیاه را افزایش می‌دهد. نتایج Heidarzade و همکاران (2020) در گیاه به لیمو (*Lippia citriodora*) و Izadi و Rezaei nejad (2020) در گیاه همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.)، اثر مثبت آهن بر میزان کلروفیل گیاه گزارش شده است. باتوجه به نتایج فوق، افزایش غلظت آهن در محیط ریشه، جذب و غلظت آهن را هم در بافت ریشه و هم در بخش هوایی گیاه افزایش داد، 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 تجمع آهن در اندام هوایی نیز می‌تواند مربوط به اثر مثبت آهن در افزایش زیست توده و در نتیجه جذب بیشتر آهن در اندام هوایی باشد، با توجه به اینکه جذب آهن از طریق سوخت و ساز فعال صورت می‌گیرد، عواملی نظیر فتوسنتز و تنفس بر جذب این عنصر نقش دارد (Ghorashi *et al*., 2012). مطابق با یافته‌های این پژوهش، تجمع آهن در اندام هوایی و ریشه در سه رقم گندم توسط Rahemiو همکاران (2014) گزارش شده است.

نتیجه گیری کلی

نتایج بررسی‌ها نشان داد، کاربرد کلات آهن نقش مثبتی در بهبود شاخص‌های رشدی و رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاه لاله عباسی دارد، که در این میان مصرف تیمارهای خاکی آهن در مقایسه با تیمارهای برگی، به دلیل فراهمی شرایط بهتر تغذیه‌ای، تأثیر بهتری بر صفات مورد ارزیابی داشت. همچنین با توجه به جذب آهن در اندام هوایی و ریشه این گیاه می‌توان چنین نتیجه گیری کرد که این گیاه توانایی پالایش خاک‌های آلوده به غلظت‌های بالای آهن را نیز دارا می‌باشد. بنابراین مصرف خاکی آهن ۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم جهت بهبود خصوصیات رشدی گیاه لاله عباسی توصیه می‌شود.

منابع

1) Adeli, S. and M, Rafiei. 2016. Study of qualitative and quantitative characteristics of soybean in response to soil and foliar application of iron under drought stress conditions. Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology. 3 (1): 75-88.
2) Aghighi Shahverdi, M., Omidi, H. and S, Tabatabaei. 2017. The effect of foliar application of iron, boron, and selenium on the root morphological characteristics and the photosynthetic pigment contents of Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) medicinal plant under sodium chloride salinity. Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research. 12(47): 1-18.
3) Alidadi Khaliliha, M., Dordipour, E. and M, Barani Motlagh. 2017. Interactive effect of iron and lead on growth and their uptake in Cress (*Lepidium sativum* L.), Journal of Soil Management and Sustainable Production. 5(4): 41-59.
4) Alvarez-Fernandez, A., Garcıa-Lavina, P., Fidalgo, C., Abadıa, J. and A, Abadıa. 2004. Foliar fertilization to control iron chlorosis in pear (*Pyrus communis* L.) trees. Plant and Soil. 262: 5-15.
5) Briat, J. F., Dubos, C. and F, Gaymard. 2015. Iron nutrition, biomass production, and plant product quality. Trends in Plant Science. 20(1): 33-40.
6) Bybordi, A. and G, Mamedov. 2010. Evaluation of Application Methods Efficiency of Zinc and Iron for Canola

(*Brassica napus* L.). Notulae Scientia Biologicae, 2 (1): 94-103.

7) Carucci, A., A. Cao, G. Fois. and A, Muntoni. 2005. Phytoremediation of zinc and lead contaminated soils using Mirabilis jalapa.. *In:* Calabrese, E.J., P.T. Kostecki and J. Dragun (Eds.), contaminated soils, sediments and water. Springer, Boston, MA. pp. 329-338.
8) 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.
9) Fang, WC., Wang, JW., Lin, C.C. and C.H, Kao. 2001. Iron induction of lipid peroxidation and effects on antioxidative enzyme activities in rice leaves. Plant Growth Regulation. 1: 75–80.
10) Fathi Amirkhiz, K., Amini Dehaghi, M. and S, Heshmati. 2015. Study the effect of iron chelate on Chlorophyll content, photochemical efficiency and some biochemical traits in Safflower under deficit irrigation condition, Iranian Journal of Field Crop Science. 46(1): 137-145.
11) Gasemi gahsare, M. and M, Kafi. 2012. Cientific and practical floriculture. Golben Publications.
12) Ghorashi, L., Haghnia, G.H., Lakzian, A. and R, Khorasani. 2012. Effect of phosphorus and organic matter on availability and iron uptake in mays (*Zea mays* L.). Agroecolog. 4(1): 12-19.
13) Heidarzade, A., Esmaeili, M. and R, Abbasi. 2016. Response of soybean to molybdenum and iron spray under well-watered and water deficit conditions. Journal of experimental biology and agricultural sciences. 4(1): 37-46.
14) Heidarzade, M., Zarei, G. and A, Morowati. 2020. The Effect of Different Levels of Urea and Iron Fertilizer Resources on Yield and Quality of Lemon Verbena (*Lippia citriodora* H. B. K.). Journal of Horticultural Science. 34(1): 45-59.
15) Hirai, M., Higuchi, K., Sasaki, K., Suzuki, H., Maruyama, T., Yoshiba, T. and T, Tadano. 2007. Contribution of iron associated with high molecular weight substances to the maintenance of the SPAD value of young leaves of barley under iron deficient conditions. Plant and Soil Science. 53: 612- 620.
16) Izadi, Z. and A, Rezaei nejad. 2020. Effect of Different Iron Concentrations and StaircaseIron Regime on Some Morphological, Biochemical and Flowering Characteristics of *Calendula officinalis*, Journal of Horticultural Science. 34(2): 349-360.
17) 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.
18) 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.
19) Mohammadi, R., Dordipour, E., Ghiasvand, A. and F, Ghaderifar. 2019. Evaluation of use efficiency and response of different wheat genotypes to iron and zinc, Journal of Soil Management and Sustainable Production. 9(3): 171-187.
20) 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).* Journal of Crop Production and Processing. 9 (3): 61-74.
21) Rahemi, S., Khorassani, R. and A, Halajnia. 2014. Uptake Efficiency of Iron in Different Wheat Varieties, Water and Soil, 28(3): 556-564.
22) Razazi, M., M.R. Labafi, Z. Mehrabi, M.H. Nazaran, and M. Hamid KHalaj. 2010. Effects of nano chelated iron fertilizer on the yield of saffron (*Crocus*

sativus L.). The Iranian Agronomy and Plants Breeding of Science Eleventh Congress. Institute of Environmental Sciences. Shahid Beheshti University in Tehran. 2505-2507.

23) 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 FeEDDHA. Journal of Plant Nutrition, 28 (11): 1877-1886.
24) Singh, M., Akash., Mittal, S. and A, Kalia. 2012. Mirabilis Jalapa-A Review. International Journal of Pharmaceutical. Medical and Applied Sciences. 1(3): 22-43.
25) Soroori, S., Danaee, E., Hemmati, Kh. and A, Ladan Moghadam. 2021. Effect of foliar application of proline on morphological and physiological traits of *Calendula officinalis* L. under drought stress. Journal of ornamental plants. 11 (1): 13-30.
26) 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.