Journal of Vegetables Sciences, Spring & Summer 2024, Vol 8, No 15(1), Pages 135-152

doi:10.22034/IUVS.2023.2008311.1303 Article Type: Research Online ISSN: 2676-4822

Biofortification of parsley (*Petroselinum crispum* Mill.) with iodine (potassium iodide) in soil culture

Zohre Aeini[1], Mohammad Reza Zare-Bavani[2*], Mokhtar Heidari[2]

1- Former MSc. Student of Horticultural Science, College of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Khuzestan, Iran.

2- Associate professor of Horticultural Science, College of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Khuzestan, Iran.

[*]**Corresponding author:** mzarebavani@asnrukh.ac.ir

(**Received:** 01 August 2023 **Revise:** 11 September 2023 **Accepted:** 23 September 2023)

Extended Abstract

1. **Introduction:** Iodine is an essential micronutrient for human nutrition that has a unique role in regulating metabolic processes such as the synthesis of thyroid hormones, which are involved in the synthesis of sugars, nucleic acids, and proteins. The recommended dietary allowance for iodine is 90 mg for young children (1-8 years), 120 mg for older children (9-13 years), 150 mg for adults, and 220-270 mg for pregnant and lactating women. The low amount of iodine available in the soil is one of the main reasons for their insufficient transfer to the plant and as a result, the lack of accumulation of this element in plants. Their deficiency in food occurs in most human and farm animal populations worldwide. Biofortification of products with iodine is proposed as a new strategy to further enrich the human diet with a potentially affordable and readily available source of iodine. Understanding how iodine affects and functions in plants is critical to developing appropriate biofortification approaches. Considering the importance and high consumption of parsley, this study aimed to investigate the effects of applying different levels of iodine in the soil on the enrichment, growth, and physiological characteristics of parsley.
2. **Materials and Methods:** The research was carried out in the form of a completely randomized design with three replications in the conditions of the research greenhouse of the Department of Horticultural Sciences, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, in the cropping season of 2017-2018. The experimental treatments included five levels of potassium iodate (concentrations of zero, 12, 25, 50, 100, and 150 $mgkg^{-1}$ soil), which were mixed with soil before filling the pots, and then each pot was filled with enriched soil corresponding to each treatment. At the end of the experiment, the fresh and dry weight of the shoot, amount of iodine, Ascorbic acid, soluble proteins, photosynthetic pigments, and content of soluble carbohydrates and total phenol in parsley were examined.
3. **Results and Discussion:** According to the obtained results, the highest amount of fresh and dry weight of parsley shoot was obtained in the treatments of 25 and 50 mg of iodine per kg of soil, and it showed a decreasing trend with the increase of iodine concentration of more than 50 $mgkg^{-1}$ of soil. Iodine consumption up to 50 $mgkg^{-1}$ of soil not only did not have a negative effect on the growth and development of parsley but also showed increasing effects. However, only the treatment of 150 $mgkg^{-1}$ of soil had a statistically significant difference from the other treatments. Similarly, the levels of chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, chlorophyll b ratio to total chlorophyll, chlorophyll b ratio to chlorophyll a, antioxidant capacity, ascorbic acid, and soluble proteins increased up to the treatment of 50 mg iodine per kilogram of soil. However, with further increases in iodine concentration in treatments of 100 and 150 mg iodine per kilogram of soil, these indicators showed a significant decrease. By increasing the amount of iodine consumed in the treatments, the content of soluble carbohydrates, the amount of total phenol, and iodine in shoot of parsley showed an increase. No significant difference was observed in any of the measured traits except the amount of iodine in shoot of parsley between the treatment of 50 mg and 25 mg of iodine per kg of soil. Overall, the results showed that parsley biofortification with amounts of 25 to 50 mg of iodine per kg of soil can improve the growth and biochemical indicators of the parsley plant and be used as a solution to meet human iodine needs.
4. **Conclusion:** In general, according to the results obtained in this research, the plants treated with low to medium concentrations of iodine had more soluble carbohydrates, soluble protein, ascorbic acid, antioxidant capacity, and photosynthetic pigments, which indicates a positive response to low to medium

amounts of iodine in the root environment. Quantitative data obtained showed that a large amount of iodine is stored in the vegetative tissue. Based on the results of this research, it can be concluded that parsley will be a promising target plant for biofortification with iodine. That is by consuming 50 mg of iodine per kilogram of soil, the concentration of iodine in the aerial parts of parsley can be increased by one order, and by consuming 50 to 100 grams of fresh parsley, the daily iodine requirement for an adult person will be provided.

Keywords: Ascorbic acid, Biochemical compounds, Growth, Soluble carbohydrates, Total phenol.

Citation: Aeini, Z., Zare-Bavani, M.R. & Heidari, M. (2024). Biofortification of parsley (*Petroselinum crispum* Mill.) with iodine (potassium iodide) in soil culture. *Journal of Vegetables Sciences*, 15(1), 135-152. doi:10.22034/IUVS.2023.2008311.1303

Copyrights:
Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Journal of Vegetables Sciences. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/ by/4.0).

دوفصلنامه علمی علوم سبزی‌ها، سال۸ ، دوره ۱۵، شماره ۱، بهار و تابستان۱۴۰۳، صفحات (۱۵۲-۱۳۵)

دانشگاه ایلام شاپا الکترونیکی: ۴۸۲۲-۲۶۷۶ نوع مقاله: پژوهشی doi:10.22034/IUVS.2023.2008311.1303

زیست غنی‌سازی جعفری (*Petroselinum crispum* Mill.) با ید (یدید پتاسیم) در کشت خاکی

زهره آئینی[۱]، محمدرضا زارع بوانی*[۲]، مختار حیدری[۲]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، خوزستان، ایران.

۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، خوزستان، ایران.

***نویسنده مسئول:** mzarebavani@asnrukh.ac.ir

(**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۲/۰۵/۱۰ **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۲/۰۶/۲۰ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۲/۰۷/۰۱)

چکیده

غنی‌سازی زیستی سبزی‌ها با یُد، به‌عنوان یک استراتژی جدید برای غنی‌سازی بیشتر رژیم غذایی انسان با یک منبع یُد بالقوه مقرون‌به‌صرفه و در دسترس، پیشنهاد شده است. هدف از پژوهش حاضر ارزیابی کارایی و تغییرات بیوشیمیایی ناشی از غنی‌سازی زیستی ید در گیاه جعفری به‌عنوان یک سبزی برگی پرمصرف است. آزمایش به‌صورت گلدانی در شرایط گلخانه‌ای در سال ۱۳۹۷ در گروه علوم باغبانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به‌صورت طرح کاملاً تصادفی انجام شد. اثر یدید پتاسیم (KI) در غلظت‌های صفر، ۱۲/۵، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بر روی وزن‌تر و خشک اندام هوایی، میزان ید، اسید آسکوربیک، پروتئین‌های محلول، رنگیزه‌های فتوسنتزی، کربوهیدرات‌های محلول غیرساختمانی و فنل کل در سبزی جعفری رقم محلی شوشتر بررسی شد. نتایج نشان داد وزن‌تر و خشک اندام هوایی جعفری با افزایش غلظت ید بیشتر از ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک کاهش نشان داد. میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، اسید آسکوربیک و پروتئین‌های محلول تا تیمار ۵۰ میلی‌گرم ید در کیلوگرم خاک افزایش و سپس کاهش نشان داد. با افزایش میزان ید استفاده‌شده در تیمارها محتوای کربوهیدرات‌های محلول غیر ساختمانی، میزان فنل کل و ید در اندام هوایی جعفری افزایش نشان داد. به‌طورکلی نتایج نشان داد زیست غنی‌سازی جعفری با مقادیر ۲۵ تا ۵۰ میلی‌گرم ید در کیلوگرم خاک می‌تواند موجب بهبود رشد و شاخص‌های بیوشیمیایی گیاه جعفری گردد. بنابراین پیشنهاد می‌شود استفاده از سبزی جعفری غنی‌سازی شده با این دامنه غلظت ید به‌عنوان راه‌کاری برای تأمین نیاز ید در جیره غذایی موردتوجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: اسید آسکوربیک، ترکیبات بیوشیمیایی، رشد، فنل کل، کربوهیدرات‌های محلول.

استناد: آئینی، ز.، زارع بوانی، م.ر. و حیدری، م. (۱۴۰۳). زیست غنی‌سازی جعفری (*Petroselinum crispum* Mill.) با ید (یدید پتاسیم) در کشت خاکی. *علوم سبزی‌ها*، ۱۵(۱)، ۱۵۲-۱۳۵.

حق چاپ:

حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این مجله به‌صورت آزاد در وب سایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

ید یک ریزمغذی غیرضروری برای گیاهان است، غلظت ید خاک بین ۰/۱ تا ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر است و شکل شیمیایی و تحرک آن به ترکیب خاک، بافت، pH، شرایط ردوکس و ظرفیت تبادل آنیون بستگی دارد (Duborská *et al.,* 2021; Gonzali, *et al.,* 2017). ید یک عنصر حیاتی برای بیوسنتز هورمون‌های تیروئید در انسان است (Vetesi *et al.,* 2022; Sabatino *et al.,* 2021). کمبود ید منجر به کم‌کاری و سنتز ناکافی هورمون تیروئید است که منجر به بروز اختلالاتی مانند گواتر، نارسایی تولیدمثل، کاهش شنوایی، اختلال رشد، کرتینیسم و انواع متعدد آسیب مغزی و سرطان معده می‌شود (Kapil, 2018; Augustine & Kalyanasundaram, 2020; Blikra *et al.,* 2022). در سراسر جهان ۲/۲ میلیارد نفر دچار اختلالات کمبود ید می‌باشند (Vetési et al., 2022). مقدار توصیه‌شده مصرف روزانه ید ۹۰-۱۲۰ میکروگرم برای کودکان، ۱۵۰ میکروگرم برای بزرگسالان و ۲۹۰ میکروگرم برای زنان باردار یا شیرده است (Vetési *et al.,* 2022; Augustine & Kalyanasundaram, 2020). در ابتدا توصیه شد که راهکار اولیه برای غلبه بر کمبود ید، غنی‌سازی نمک خوراکی است (Gonzali *et al.,* 2017). تحقیقات بعدی نشان داد که غنی‌سازی نمک خوراکی به‌تنهایی برای تأمین کل نیاز انسان به ید جوابگو نیست زیرا ید به فرم غیر آلی و به شکل ترکیبات معدنی فرار است و بنابراین در حین ذخیره‌سازی، حمل‌ونقل و در حین پخت‌وپز، به‌ویژه در حضور روغن‌های با دمای بالا به‌سرعت تصعید شده و از دست می‌رود (Sabatino *et al.,* 2021). علاوه بر این، استفاده از نمک خوراکی برای افراد مبتلا به فشار خون و اختلالات قلبی عروقی توصیه نمی‌شود (Fuge *et al.,* 2015).

تحقیقات نشان داده است که از طریق مصرف غذاهای دریایی و غذاهای غنی‌شده زیستی مانند میوه و سبزی‌ها می‌توان کمبود ید در جیره غذایی را جبران کرد (Gonzali *et al.,* 2017). امروزه غنی‌سازی زیستی محصولات به‌عنوان یک استراتژی عملی برای مبارزه با سوءتغذیه مواد معدنی انسان شناخته می‌شود (Sabatino *et al.,* 2021; Gonzali *et al.,* 2017; Medrano-Macías *et al.,* 2016). گیاهان می‌توانند ید را از خاک و محلول خاک جذب کنند اما در بسیاری از مناطق جهان شرایط اقلیمی مانند بارندگی زیاد، سیل، فرسایش و چرای بیش‌ازحد می‌تواند محتوای ید در خاک را به میزان قابل‌توجهی کاهش دهد و گیاهانی که در این خاک‌ها رشد می‌کنند، در قسمت‌های خوراکی خود دارای ید کمی هستند و بنابراین، ید کافی برای تأمین نیاز روزانه بدن انسان به ید را ندارند (Kiferle *et al.,* 2021; Gonzali *et al.,* 2017; Fuge *et al.,* 2015). در پژوهش‌های مختلف اثر افزودن ید به بستر کاشت یا محلول‌پاشی و افزایش غلظت ید در قسمت‌های خوراکی گیاهانی مانند لوبیا سبز (*Phaseolus vulgaris* L.) (Dobosy *et al.,* 2020a)، کلم (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*) (Dobosy *et al.,* 2020b)، گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) (Dobosy *et al.,* 2020b; Smoleń *et al.,* 2015)؛ هویج (*Daucuscarota* L.) (Dobosy *et al.,* 2020c)، سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) (Dobosy *et al.,* 2020c; Esfandiari *et al.,* 2015)؛ لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) (Ojok *et al.,* 2019) و کاهو (*Lactuca sativa* L.) (Blasco *et al.,* 2010, 2011a,b, 2012; Dobosy *et al.,* 2020a; Smoleń *et al.,* 2017) بررسی‌شده است. علائم سمیّت گیاهی در مقادیر بالای یدید پتاسیم در گیاهان مختلف گزارش‌شده است که به غلظت استفاده‌شده، نوع مصرف و کشت (خاکی، آبکشت و محلول‌پاشی) و گونه گیاهی بستگی داشته است (Sabatino *et al.,* 2021).

جعفری (*Petroselinum crispum* Mill.) یک سبزی بومی منطقه مدیترانه و متعلق به تیره چتریان است و در صنایع دارویی، آرایشی و بهداشتی و غذایی استفاده می‌شود. اسید آلفا لینولنیک (یک اسید چرب

مهم برای رشد و تولیدمثل)، فلاونوئیدها، ترپنوئیدها، کاروتنوئیدها، میریستسین، کومارین‌ها، اسید آسکوربیک و آپیول به‌عنوان ترکیبات بیوشیمیایی اصلی جعفری شناسایی شده‌اند (El-Houseiny *et al.*, 2022). نشان‌داده‌شده است که جعفری دارای طیف گسترده‌ای از فعالیت‌های دارویی، ازجمله خواص محافظت‌کننده کبد، محافظت‌کننده عصبی، ضد دیابت، ضددرد، محرک سیستم ایمنی، آنتی‌اکسیدان، ضد پلاکت، محافظ سلولی، ضدباکتری و ضدقارچ است (Farzaei *et al.*, 2013; Farag *et al.*, 2021).

مطالعات قبلی نشان داده است که کارایی افزودن ید به نمک خوراکی پایین است (Sabatino *et al.*, 2021) و استفاده از نمک زیاد نیز مشکلات متعدد و بیماری‌هایی را به همراه دارد (Fuge *et al.*, 2015). ازاین‌رو باتوجه‌به اهمیت استفاده از سبزی‌ها در سبد غذایی انسان‌ها و کارایی بالاتر زیست غنی‌سازی ید در سبزی‌ها (Duborsk *et al.*, 2021; Gonzali, *et al.*, 2017) و اهمیت و جایگاه سبزی جعفری به‌عنوان یک سبزی برگی پرمصرف و باارزش غذایی بالا (غنی از ویتامین‌های آ و ث و املاح، فیبر و ...) (El-Houseiny *et al.*, 2022) و باتوجه‌به اینکه در مورد زیست غنی‌سازی ید در جعفری اطلاعاتی یافت نشد، هدف مطالعه حاضر بررسی اثرات کاربرد سطوح مختلف ید در خاک بر غنی‌سازی و خصوصیات رشدی و فیزیولوژیکی جعفری بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش در پاییز و زمستان ۱۳۹۷ در شرایط گلخانه در گروه علوم و مهندسی باغبانی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در فصل زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ اجرا شد. بذر جعفری (*Petroselinum crispum* Mill.) رقم محلی مورداستفاده کشاورزان شهرستان شوشتر (از مراکز عمده و معتبر تولید جعفری) تهیه شد. در ابتدا، برای پیشگیری از آلودگی، بذرهای جعفری با محلول هیپوکلریت سدیم یک درصد به مدت پنج دقیقه ضدعفونی سطحی شده و سپس سه بار با آب مقطر شستشو شدند و درنهایت در دمای آزمایشگاه (۲۰-۳۰ درجه سلسیوس)، تا رسیدن به رطوبت اولیه خشک شدند.

آزمایش به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با تیمار یدید پتاسیم (KI) در غلظت‌های صفر، ۱۲/۵، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در سه تکرار (هر تکرار سه گلدان و هر گلدان ۳ گیاه) بود. خاک مورداستفاده از نوع لومی رسی، با اسیدیته ۷/۳ و هدایت الکتریکی ۲۰۰۰ میکرو زیمنس بر سانتیمتر بود (جدول ۱) که از خاک سطحی مزرعه عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری تهیه گردید. قبل از پر کردن گلدان‌های ۱۰ لیتری، یدات پتاسیم با خاک مخلوط شد و سپس هر گلدان با خاک غنی‌شده مربوط به هر تیمار پر شد.

گیاهان جعفری در ابتدای آذرماه کشت و در پایان اسفندماه در مرحله قابل‌قبول ازنظر تجاری برداشت شدند. علف‌های هرز به‌محض ظهور به‌صورت دستی حذف شدند. در طول دوره رشد با رعایت موارد بهداشتی هیچ نوع آلودگی مشاهده نشد و هیچ نوع آفت‌کشی استفاده نگردید. آبیاری با آب مقطر در هر گلدان با ریختن آهسته آب به طور مستقیم بر روی خاک بسته به مرحله رشد و نیاز گیاه بر اساس ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی خاک و با توزین گلدان‌ها محاسبه و اعمال شد. متوسط دمای گلخانه ۱۸ درجه سلسیوس بود و هنگامی‌که دما از ۲۱ درجه سلسیوس فراتر می‌رفت با تهویه و یا استفاده از کولر دمای گلخانه کاهش می‌یافت.

وزن تر و خشک اندام هوایی

پس از برداشت، وزن تر اندام هوایی گیاه جعفری با ترازوی دیجیتال بادقت ۰/۰۰۱ گرم ثبت شد و سپس نمونه‌ها درون پاکت کاغذی به مدت ۴۸ ساعت درون دستگاه آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده شد تا وزن خشک نمونه‌ها به دست آید.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورداستفاده در آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of the soil used in the experiment

بافت خاک Soil Texture	پ هاش pH	شوری EC (dS/m)	مواد آلی OC (%)	ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) (Cmol/kg)	سدیم محلول Na^+ (meq/l)	آهک $CaCO_3$ (%)	نیتروژن کل N (%)	فسفر قابل‌جذب P (mg/kg)	پتاسیم قابل‌جذب K (mg/kg)	آهن Fe (mg/kg)	روی Zn (mg/kg)	مس Cu (mg/kg)
Silty loam	7.6	6.6	0.54	15.2	10.7	41	0.1	8.3	269	8.6	0.41	0.31

اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی

برای تعیین رنگیزه‌های فتوسنتزی، ۰/۵ گرم از بافت تازه برگ با استون ۸۰درصد عصاره‌گیری شده و پس از سانتریفیوژ به مدت ۵ دقیقه در ۶۰۰۰ دور در دقیقه ،جذب نمونه‌ها در طول موج‌های ۴۸۰، ۶۶۳، ۶۴۵ و ۵۱۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر (مدل UV-2100، ساخت کشور آمریکا) اندازه‌گیری گردید. برای تعیین مقدار کلروفیل a، b، کل و همچنین کاروتنوئید از رابطه‌های ۱تا ۴ استفاده شد (Sadeghi Ghahnasir *et al.*, 2023):

رابطه ۱ $$Chl\ a\ (mg/gFW)= (12.70\times OD_{663} - 2.69\times OD_{645})\times V/(W\times 1000)$$

رابطه ۲ $$Chl\ b\ (mg/gFW)= (22.90\times OD_{645} - 4.68\times OD_{663})\times V/(W\times 1000)$$

رابطه ۳ $$Tchl\ (mg/gFW)= (20.21\times OD_{645} - 8.02\times OD_{663})\times V/(W\times 1000)$$

رابطه ۴ $$Car\ (mg/gFW)= (7.60\times OD_{480} - 1.49\times OD_{510})\times V/(W\times 1000)$$

در این معادله OD، V، W، Chl a، Chl b، Tchl و Car به ترتیب میزان جذب نوری قرائت‌شده توسط دستگاه اسپکتروفتومتر، حجم نهایی استخراج، وزن نمونه، کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل و کاروتنوئید است. از مقادیر به‌دست‌آمده نسبت کلروفیل a/b، نسبت کلروفیل a به کلروفیل کل، نسبت کلروفیل b به کلروفیل کل و نسبت کلروفیل کل به کاروتنوئیدها نیز محاسبه گردید.

اندازه‌گیری میزان کربوهیدرات‌های محلول غیرساختمانی

میزان ۰/۱ گرم نمونه خشک برگ با اتانول ۸۰ درصد داغ عصاره‌گیری شد. به مقدار ۲ میلی‌لیتر از عصاره در لوله آزمایش یک میلی‌لیتر محلول فنل ۵ درصد و ۵ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک غلیظ اضافه گردید. میزان کربوهیدرات‌های محلول غیر ساختمانی نمونه‌ها در طول موج ۴۸۸ نانومتر قرائت شده و با استفاده از منحنی استاندارد تهیه شده با گلوکز، بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن خشک نمونه محاسبه شد (Dubois *et al.*, 1956).

اندازه‌گیری پروتئین

مقدار ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره گیاهی استخراج‌شده درون لوله آزمایش ریخته شد و به آن مقدار ۵ میلی‌لیتر از معرف برادفورد اضافه شد و سپس بعد از ۲۰ دقیقه از این اختلاط میزان جذب آن در طول‌موج ۵۳۵ نانومتر اندازه‌گیری شد و میزان پروتئین نمونه‌ها بر اساس منحنی استاندارد آلبومین سرم گاوی محاسبه و برحسب میلی‌گرم در گرم وزن‌تر بیان شد برای تهیه محلول برادفورد ۰/۱ گرم کوماسی برلیانت بلو جی ۲۵۰ را در ۵۰ میلی لیتر اتانول ۹۵ درصد حل کرده و ۱۰۰ میلی لیتر اسید اورتو فسفریک ۸۵ درصد به آن اضافه شد و حجم نهایی با آب مقطر به ۲۰۰ میلی لیتر رسانده شد. در این مرحله محلول برادفورد (۵X) تهیه می گردد که برای ساختن محلول براد فورد (۱X) حجم مورد نظر را با آب مقطر رقیق می گردد. (Bradford, 1976).

اندازه‌گیری اسید آسکوربیک

میزان ۰/۱گرم از نمونه‌ها را با ۱۰ میلی‌لیتر محلول اسید متافسفریک ۳ درصد عصاره‌گیری شد. یک میلی‌لیتر از عصاره حاصل به ۹ میلی‌لیتر ۲ و ۶- دی کلرواینودوفنول

اضافه شده و سپس ورتکس گردید. نمونه‌ها در تاریکی قرار داده شد و پس از ۲۰ دقیقه میزان جذب نمونه‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۱۵ نانومتر قرائت شد (Khazaei *et al.*, 2023). از ال-اسید آسکوربیک برای تهیه نمونه استاندارد استفاده شد.

اندازه‌گیری فنل کل

میزان کل ترکیبات فنلی در نمونه‌ها با استفاده از روش رنگ‌سنجی با استفاده از فولین سیوکالتیو و کربنات سدیم اندازه‌گیری گردید. میزان فنل کل و استاندارد فنل از روی میزان جذب نمونه در طول‌موج ۷۶۵ نانومتر برحسب میلی‌گرم گالیک اسید در ۱۰۰ گرم بافت تازه بیان شد (Ghasemnezhad *et al.*, 2011).

اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی محصول به روش مهار رادیکال‌های آزاد محلول ۲ و ۲ دی فنیل ۱- پیکریل هیدرازیل (DPPH) اندازه‌گیری شد. برای تهیه محلول DPPH (۱۰$^{-5}$× ۶/۲۵ مولار) مقدار ۲۴/۶ میلی گرم DPPH در ۵۰ میلی لیتر متانول حل و سپس حجم محلول به یک لیتر رسانده شد. تمام مراحل در ظروف تیره و پوشیده شده با فویل آلومینیوم انجام شد و محلول پس از تهیه بلافاصله مورد استفاده قرار گرفت. مقدار ۵۰ میکرولیتر از عصاره گیاه داخل لوله‌های فالکن کوچک ریخته شد و به آن ۹۵۰ میکرولیتر محلول DPPH اضافه شد و ورتکس گردید. از محلول حاصل در دمای اتاق در تاریکی نگه‌داری شد. پس از ۱۵ دقیقه میزان جذب نمونه‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۱۵ نانومتر تعیین شد. فعالیت آنتی‌اکسیدانی بر اساس کاهش جذب نسبت به شاهد برحسب درصد قدرت مهارکنندگی DPPH طبق رابطه ۵ زیر بیان گردید (Ghasemnezhad *et al.*, 2011).

رابطه ۵ $DPPH_{sc}\ (\%) = (A_{cont} - A_{samp})/A_{cont} \times 100$

در این رابطه، $DPPH_{sc}$ = درصد بازدارندگی، A_{cont}= میزان جذب DPPH، A_{samp} = میزان جذب نمونه+DPPH.

روش اندازه‌گیری ید

محتوای ید اندام‌های مختلف گیاه (ریشه، ساقه، برگ و میوه) با استفاده از روش خاکستر قلیایی با رنگ‌سنجی اندازه‌گیری شد. به نمونه‌ها (۵۰۰ میلی‌گرم) در بوته‌های چینی ۲ میلی‌لیتر محلول هیدروکسید پتاسیم (۱۰ مولار) اضافه شد و به‌طور کامل با هر نمونه مخلوط شد. سپس نمونه‌ها یک شب نگهداری شدند تا خشک شدند سپس به مدت ۳ ساعت در دمای ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد سوزانده شدند. خاکستر خشک با آب یونیزه عصاره‌گیری شد و مقدار ید نمونه‌ها با روش رنگ سنجی از طریق واکنش Sandell-Kolthoff اندازه‌گیری شد (Li *et al.*, 2016).

روش‌های تجزیه‌وتحلیل آماری

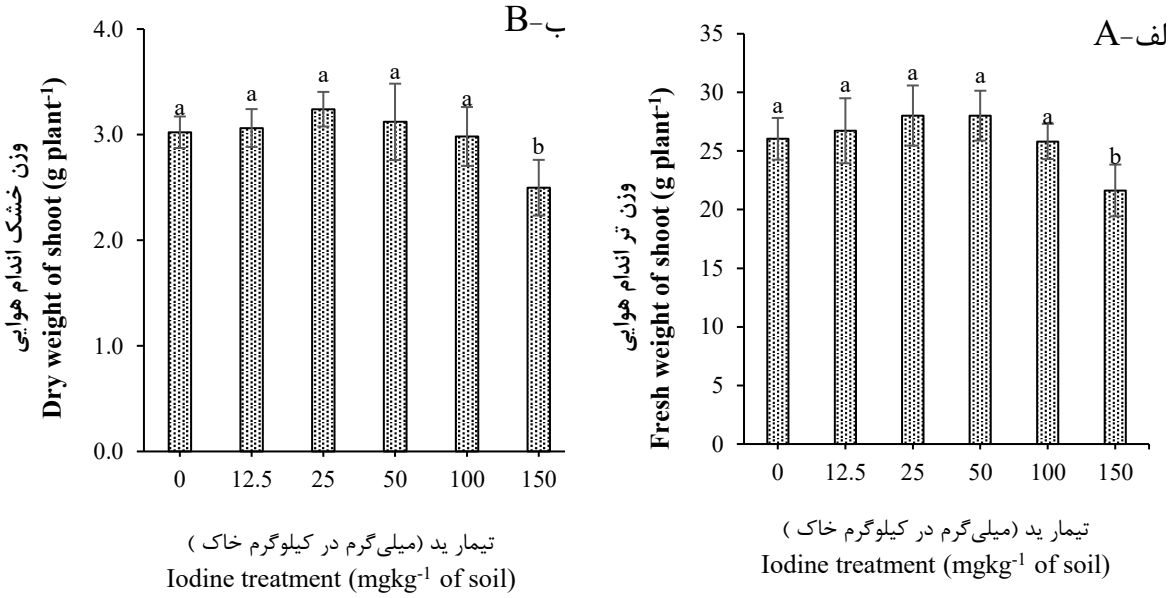
تجزیه آماری داده‌ها شامل آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین (با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد) با استفاده از نرم‌افزار سیستم پردازش آماری (SAS V: 9.1) انجام‌شده و رسم شکلها با نرم‌افزار اکسل (2013) انجام شد.

نتایج و بحث

وزن تر و خشک بخش هوایی

بررسی نتایج مقایسه میانگین (شکل ۱) نشان داد افزایش غلظت ید موجب باعث کاهش معنی‌دار وزن‌تر و خشک اندام هوایی شد. کمترین میزان وزن‌تر و خشک اندام هوایی جعفری در تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم ید در کیلوگرم خاک بود که به‌طور معنی‌داری کمتر از وزن‌تر یا وزن خشک در تیمار شاهد و سایر تیمارهای ید بودند. میزان کاهش وزن در نمونه های تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم ید در کیلوگرم خاک به ترتیب برای وزن تر و خشک به میزان۱۶/۹۴ و ۱۷/۲۲ ٪ بود. وزن‌تر و یا خشک بخش هوایی گیاه جعفری در سایر تیمارها اختلاف آماری معنی‌داری نداشتند (شکل ۱). اگرچه گیاهان تیمار شده غلظت‌های ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم ید در کیلوگرم خاک از نظر وزن تر و خشک اختلاف آماری معنی داری با شاهد نداشتند اما اثر مثبت غلظت‌های پایین ید در تحریک رشد رویشی تا حدودی قابل مشاهده بود. اثرات مثبت

غلظت‌های پایین ید در افزایش رشد رویشی و اثرات غلظت زیاد ید بر کاهش رشد در محصولات دیگر نیز گزارش شده است (Vetesi *et al.,* 2022; Sabatino *et al.,* 2021; Incrocci *et al.,* 2019; Smolen *et al.,* 2014; Blasco *et al.,* 2012). در چندین گونه گیاهی، علاوه بر کاهش رشد، اثرات غلظت زیاد ید به‌صورت تغییراتی مانند کلروز، نکروز و ریزش برگ‌ها نیز گزارش شده است (Incrocci *et al.,* 2019; Blasco *et al.,* 2012; Caffagni *et al.,* 2011; Landini *et al.,* 2011). پیشنهاد شده احتمالاً اثرات مضر یون ید روی گیاهان ممکن است ناشی از اختلالات تغذیه‌ای و فیزیولوژیکی (Blasco *et al.,* 2012) و یا اکسیداسیون درون‌سلولی آن به ید مولکولی (I_2) باشد که منجر به مهار فرآیندهای فتوسنتزی می‌شود (Mynett & Wain, 1971). علاوه بر این، گزارش شده است که غلظت زیاد یون ید ممکن است موجب کاهش فعالیت سوپر اکسید دیسموتاز شود، این آنزیم نقش مهمی در دفاع در برابر گونه‌های فعال اکسیژن و درنتیجه در جلوگیری از آسیب سلولی ایفا می‌کند (Blasco *et al.,* 2011a).گزارش گردیده است آستانه غلظت‌های مفید و سمیّت ید بین گونه‌های گیاهی متفاوت است، که می‌تواند به دلیل تنوع ژنتیکی موجود در بین گونه‌ها و برهمکنش خاص هرگونه گیاهی با متغیرهای اقلیمی و زیستی و نحوه تیمار و کاربرد ید و حتی نوع ترکیب استفاده شده باشد (Medrano-Macías *et al.,* 2016).



شکل ۱- اثر غلظت‌های مختلف ید بر وزن‌تر (الف) و وزن خشک (ب) اندام هوایی سبزی جعفری (میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون **LSD** فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند)

Figure 1- The effect of different concentrations of iodine on fresh weight (A) and dry weight (B) of parsley shoot (Means with the same letters are not significantly different at the 5% probability level of the LSD test)

میزان رنگیزه‌های برگ جعفری

بررسی نتایج اثر تیمار ید بر میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی (شکل ۲-الف) نشان داد میزان کلروفیل a در تیمار ۵۰ میلی‌گرم ید در کیلوگرم خاک (۹/۷۳ میلی‌گرم در گرم وزن‌تر) با میزان کلروفیل a در تیمارهای ۱۲/۵ و ۲۵ میلی‌گرم ید در کیلوگرم خاک اختلاف آماری معنی‌داری نداشت (به ترتیب ۸/۸۸ و ۹/۱۹ میلی‌گرم در گرم وزن‌تر) اما به‌طور معنی‌داری از کلروفیل a در تیمار شاهد (به میزان ۱۶/۸۱٪) و سایر تیمارهای ید بیشتر بود. همچنین کاربرد غلظت‌های

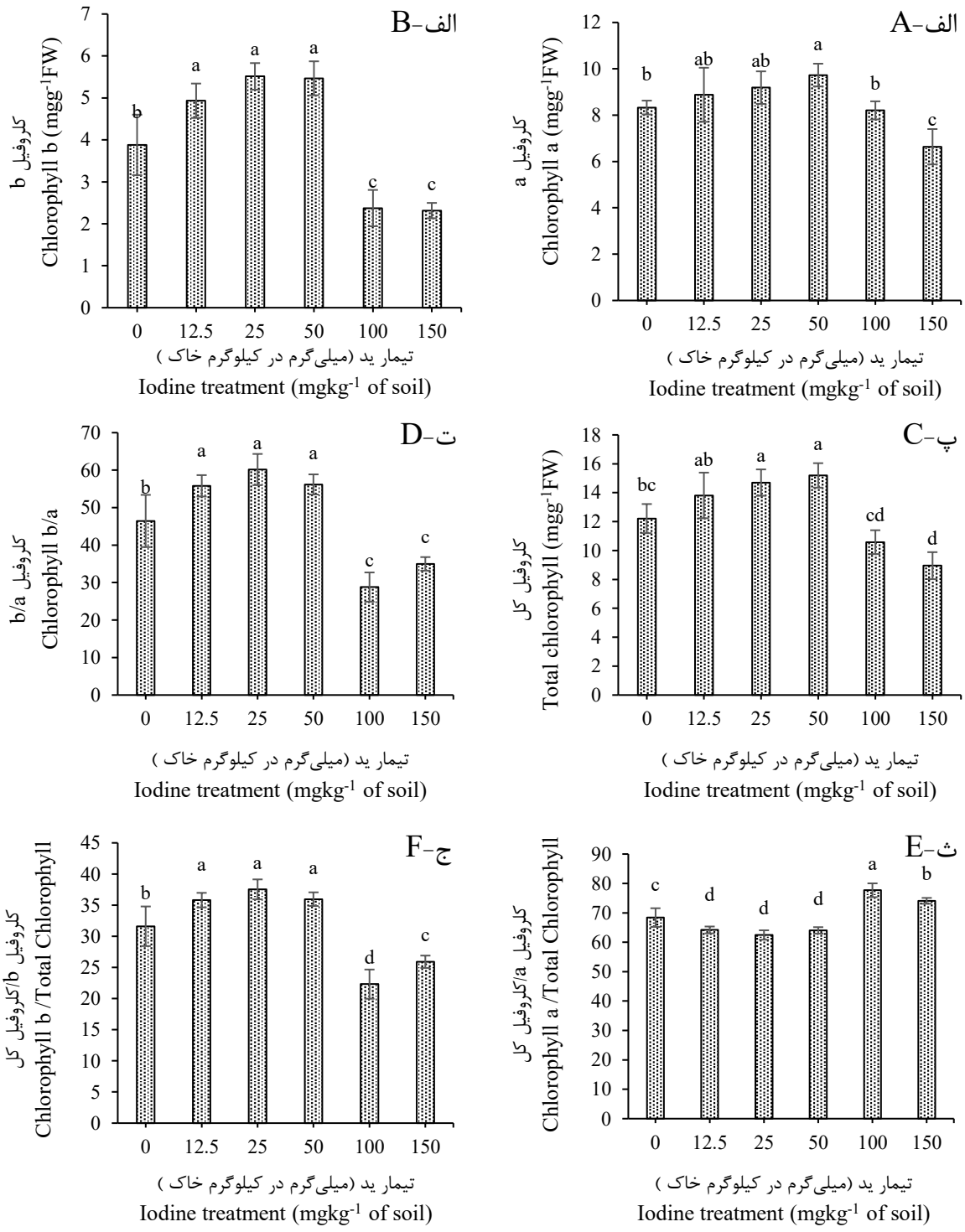
۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم ید در کیلوگرم خاک موجب کاهش معنی‌دار کلروفیل a شد و میزان کلروفیل a در تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم ید در کیلوگرم (۶/۶۴ میلی‌گرم در گرم وزن‌تر) به‌طور معنی‌داری از کلروفیل a در شاهد (به میزان ۲۰/۲۹٪) و سایر تیمارها کمتر بود (شکل ۲-الف).

میزان کلروفیل b در برگ‌های سبزی جعفری در غلظت‌های ۱۲/۵ تا ۵۰ میلی‌گرم ید در کیلوگرم خاک تفاوت معنی‌داری نداشتند (بین ۴/۹۳ تا ۵/۵۱ میلی‌گرم در گرم وزن‌تر) ولی به‌طور معنی‌داری از کلروفیل b در تیمار شاهد (به میزان ۴۰/۹۸٪) و سایر تیمارهای ید بیشتر بود (شکل ۲-ب). افزایش غلظت ید بیشتر از ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک موجب کاهش معنی‌دار کلروفیل b در برگ گیاه جعفری شد و کمترین میزان کلروفیل b در تیمارهای ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم ید در کیلوگرم خاک بود (به ترتیب ۲/۳۷ و ۲/۳۱ میلی‌گرم در گرم وزن‌تر) که به‌طور معنی‌داری از کلروفیل b (به میزان ۴۰/۴۶٪) در تیمار شاهد یا سایر تیمارهای ید کمتر بودند.

میزان کلروفیل کل در تیمار ۵۰ میلی‌گرم ید در کیلوگرم خاک اندازه‌گیری شد که با تیمارهای ۱۲/۵ و ۲۵ میلی‌گرم ید در کیلوگرم خاک اختلاف آماری معنی‌داری نداشت (به ترتیب ۱۵/۲۰، ۱۴/۷۰ و ۱۳/۸۱ میلی‌گرم در گرم وزن‌تر) اما به‌طور معنی‌داری از شاهد (به میزان ۲۴/۴۹٪) بیشتر بود. همچنین افزایش بیشتر سطوح ید در خاک در تیمارهای ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم ید در کیلوگرم خاک موجب کاهش معنی‌دار میزان کلروفیل کل گردید (شکل ۲ پ). نسبت کلروفیل b/a در تیمار ۲۵ میلی‌گرم ید در کیلوگرم خاک بیشترین بود (به میزان ۱۲۹/۵۴٪ نسبت به شاهد) که با تیمار ۵۰ و ۱۲/۵ میلی‌گرم ید در کیلوگرم خاک اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین میزان نسبت کلروفیل b/a به ترتیب در تیمار ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم ید در کیلوگرم خاک (به میزان ۳۷/۹۸ و ۲۴/۶۶٪ نسبت به شاهد) مشاهده شد (شکل ۲ ت). کمترین نسبت کلروفیل a به کلروفیل کل در تیمار ۲۵ میلی‌گرم ید در کیلوگرم خاک مشاهده شد (به میزان ۸/۶۷٪ نسبت به شاهد) که با تیمار ۵۰ و ۱۲/۵ میلی‌گرم ید در کیلوگرم خاک اختلاف معنی‌داری نداشت. همچنین بیشترین میزان نسبت کلروفیل a به کلروفیل کل به ترتیب در تیمار ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم ید در کیلوگرم خاک (به ترتیب به میزان ۱۱۳/۵۸ و ۱۰۸/۳۳٪ نسبت به شاهد) ثبت شد (شکل ۲ ث). بیشترین نسبت کلروفیل b به کلروفیل کل در تیمار ۲۵ میلی‌گرم ید در کیلوگرم خاک اندازه‌گیری شد که با تیمارهای ۱۰ و ۵۰ میلی‌گرم ید در کیلوگرم خاک اختلاف آماری معنی‌داری نداشت اما به‌طور معنی‌داری بیشتر از شاهد (به میزان ۱۱۸/۷۶٪) بود. همچنین کمترین میزان نسبت کلروفیل b به کلروفیل کل به ترتیب در تیمار ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم ید در کیلوگرم خاک (به ترتیب به میزان ۲۹/۳۹ و ۱۸/۰۳٪ نسبت به شاهد) اندازه‌گیری شد (شکل ۲ ج).

به طور کل اثر افزایش و کاهش محتوای رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی به ترتیب در غلظت‌های پایین و بالای ید مشاهده شد. به طور مشابهی افزایش غلظت کلروفیل در برگ‌های هویج و سیب‌زمینی (Dobosy *et al.*, 2020) و کاهش محتوای رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی به دلیل غلظت سمی ید در جو (Duborská *et al.*, 2018) و در کاهو (Lawson *et al.*, 2015; Medrano-Macías *et al.*, 2016) گزارش شده است که مطابق با یافته‌های تحقیق حاضر است.

کاربرد ید در غلظت‌های بالا یک تیمار تنش‌زا برای گیاهان است؛ زیرا یدید ممکن است به عنصر ید اکسید شود و در نتیجه می‌تواند به طور غیر قابل برگشتی به غشای سلول ریشه آسیب برساند و کلروفیل‌ها و کاروتنوئیدها را اکسید کند و منجر به کلروز برگ شود (Blasco *et al.*, 2010; Lawson *et al.*, 2015; Duborská *et al.*, 2018).

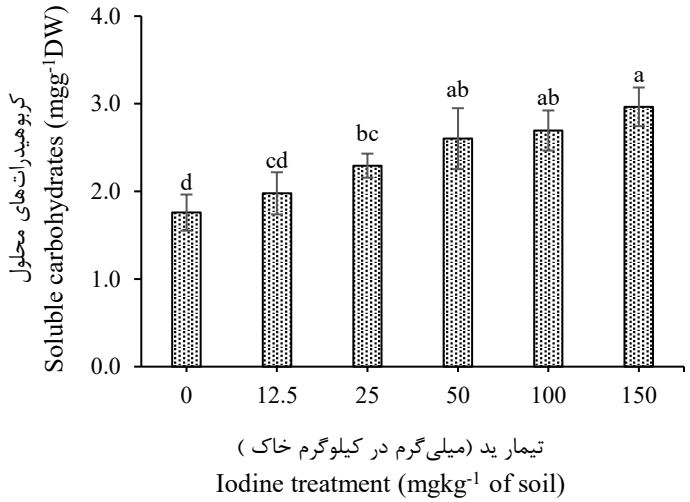


شکل ۲- اثر غلظت‌های مختلف ید بر کلروفیل a (الف)، b (ب)، کلروفیل کل (پ)، کلروفیل b/a، کلروفیل a/کلروفیل کل، کلروفیل b/کلروفیل کل برگ جعفری (میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون **LSD** فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند)

Figure 2- The effect of different concentrations of iodine on chlorophyll a (A), b (B), total chlorophyll (C), chlorophyll a/b (D), chlorophyll a/total chlorophyll (E) and chlorophyll b/total chlorophyll (F) of parsley leaves (Means with the same letters are not significantly different at the 5% probability level of the LSD test)

میزان کربوهیدرات‌های محلول

بررسی نتایج مقایسه میانگین (شکل ۳) نشان داد میزان کربوهیدرات‌های محلول بخش هوایی گیاه جعفری در تیمار شاهد و غلظت ۱۲/۵ میلی‌گرم ید در کیلوگرم تفاوت معنی‌داری نداشتند (به ترتیب ۱/۷۶ و۱/۹۸ میلی‌گرم در گرم وزن خشک) ولی افزایش غلظت ید در خاک از غلظت ۲۵ تا ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک موجب افزایش میزان کربوهیدرات‌های محلول در بخش هوایی جعفری شد (شکل ۳). میزان کربوهیدرات‌های محلول در تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم ید در کیلوگرم خاک (۲/۷۵ میلی‌گرم در گرم وزن خشک) به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار شاهد (به میزان ۱۶۸٪/۷۵) و غلظت‌های ۱۲/۵ و ۲۵ میلی‌گرم ید در کیلوگرم خاک بود اما با تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم ید در کیلوگرم خاک بود (به ترتیب ۲/۶۰ و ۲/۷۰ میلی‌گرم در گرم وزن خشک) اختلاف معنی‌داری نداشت. در مورد اثر کاربرد ید در افزایش قندها در اندام‌های گیاهی گزارش‌هایی منتشر گردیده است (Smoleń *et al.,* 2014; Leyva *et al.,* 2011; Li *et al.,* 2016). تأثیر ید بر فتوسنتز و متابولیسم قندها در گیاهان کاهو، نشان داد که افزایش عرضه ید منجر به افزایش غلظت فروکتوز وگلوکز در برگ شد (Blasco *et al.,* 2011 b). به نظر می‌رسد عنصر ید بر متابولیسم کربوهیدرات‌ها در گیاهان تأثیر می‌گذارد (Leyva *et al.,* 2011). این اثر ید در غلظت‌های پایین می تواند مربوط به اثر ید بر افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی و فتوسنتز و سنتز کربوهیدراتها باشد (Blasco *et al.,* 2011 b) و در غلظت‌های بالا به علت ایجاد تنش (Sabatino *et al.,* 2021) و تجمع قندها باشد.



شکل ۳- اثر کاربرد غلظت‌های مختلف ید بر کربوهیدرات‌های محلول غیر ساختمانی اندام هوایی جعفری

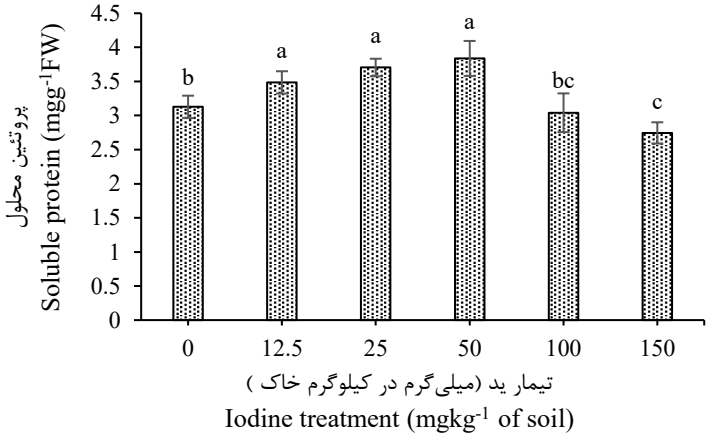
(میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون **LSD** فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند)

Figure 3- The Effect of iodine application on soluble non-stractural of parsley shoot (Means with the same letters are not significantly different at the 5% probability level of the LSD test)

میزان پروتئین‌های محلول بخش هوایی

افزایش غلظت ید در خاک بیشتر از ۱۰۰ میلی‌گرم ید در کیلوگرم خاک موجب کاهش معنی‌دار پروتئین‌های محلول بخش هوایی گیاه جعفری شد (شکل ۴). کاربرد ید تا ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک موجب افزایش معنی‌دار پروتئین‌های محلول بخش هوایی گیاه جعفری نسبت به تیمار شاهد (به میزان ۱۲۲/۶۸٪) و یا تیمارهای ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم ید در کیلوگرم خاک

شد. کاربرد ید تا غلظت ۵۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک موجب افزایش و غلظت‌های بالاتر موجب کاهش پروتئین‌های محلول در اندام‌های گیاهی گردید. به طور مشابهی در اسفناج مشاهده شده که کاربرد غلظت‌های پایین ید موجب افزایش و غلظت‌های بالای ید موجب کاهش محتوای اسیدهای آمینه در برگ شد (Smoleń *et al.*, 2014) به نظر می‌رسد که ید در جذب و متابولیسم نیتروژن و در نتیجه پروتئین‌ها در گیاه تأثیر می‌گزارد (Smoleń *et al.*, 2014).



شکل ۴- اثر کاربرد غلظت‌های مختلف ید بر میزان پروتئین اندام هوایی جعفری (میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون **LSD** فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند)

Figure 4- The Effect of iodine application on protein content of parsley shoot (Means with the same letters are not significantly different at the 5% probability level of the LSD test)

میزان اسید آسکوربیک

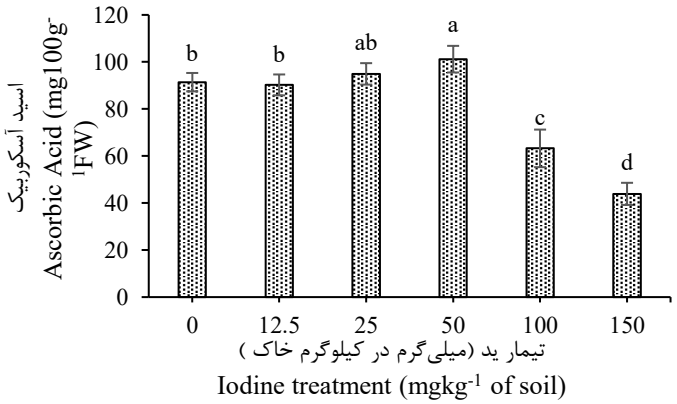
بررسی نتایج مقایسه میانگین اثرات تیمارهای ید بر میزان اسید آسکوربیک بخش هوایی سبزی جعفری (شکل ۵) نشان داد بیش‌ترین میزان اسید آسکوربیک در تیمار ۵۰ میلی‌گرم ید در کیلوگرم خاک بود که با میزان اسید آسکوربیک در تیمار ۲۵ میلی‌گرم ید در کیلوگرم خاک تفاوت معنی‌داری نداشت (به ترتیب ۱۰۱/۱۷ و ۹۴/۹۲ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم) ولی به‌طور معنی‌داری بیشتر از میزان اسید آسکوربیک در شاهد و سایر تیمارهای ید بود. افزایش غلظت ید در خاک (غلظت‌های ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) موجب کاهش معنی‌دار میزان اسید آسکوربیک بخش هوایی سبزی جعفری شد. افزایش اسید آسکوربیک در غلظت‌های پایین کاربرد ید و کاهش اسید آسکوربیک در غلظت‌های بالای ید در گیاه توت‌فرنگی گزارش شده است (Li et *al.*, 2016). هم‌چنین Blasco و همکاران (۲۰۱۲) گزارش دادند کاربرد ید موجب افزایش میزان اسید آسکوربیک در کاهو شد که احتمالاً به دلیل اثرات مفید این عنصر کمیاب باشد که مطابق با یافته‌های پژوهش حاضر است. آن‌ها هیچ نوع اثر سمی از کاربرد غلظت‌های مختلف ید مشاهده نکردند که احتمالاً مربوط به روش کاشت و میزان غلظت‌های استفاده شده باشد. اثرات کاهنده ید در غلظت‌های بالا بر میزان اسید آسکوربیک را می‌توان به اثرات سمی این عنصر و ایجاد تنش اکسیداتیو ارتباط داد (Blasco *et al.*, 2012).

میزان فنل کل بخش هوایی جعفری

افزایش غلظت ید در خاک بیشتر از ۲۵ میلی‌گرم ید در کیلوگرم خاک موجب افزایش میزان فنل کل در اندام هوایی سبزی جعفری شد (شکل ۶). بیشترین میزان فنل کل در تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود ۱/۳۱ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن‌تر) که به‌طور معنی‌داری بیشتر از میزان فنل کل در تیمار شاهد و سایر تیمارهای ید بود. هم‌چنین میزان فنل کل در بخش هوایی جعفری در تیمارهای ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰

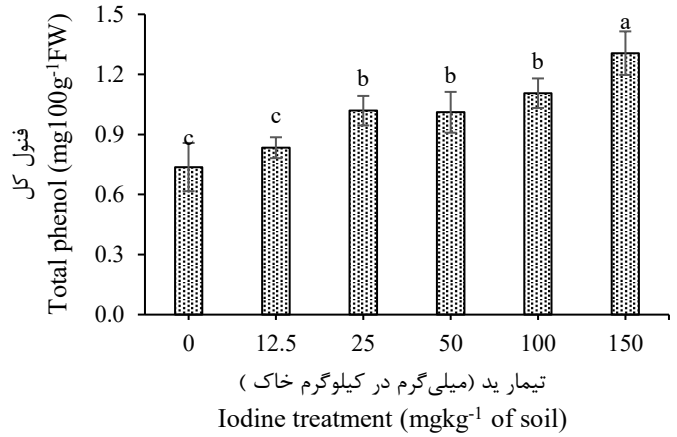
میلی‌گرم ید در کیلوگرم خاک (به ترتیب ۱/۰۲، ۱/۰۱ و ۱/۱۱ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن‌تر)، به‌طور معنی‌داری بیشتر از میزان فنل کل در تیمار شاهد و غلظت ۱۲/۵ میلی‌گرم ید در کیلوگرم خاک بود (به ترتیب ۰/۷۴ و ۰/۸۳ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن‌تر) (شکل ۶).

همان‌طور که مشاهده شد مقدار فنل کل با افزایش غلظت‌های کاربردی ید افزایش نشان داد. افزایش ترکیبات فنلی با کاربرد ید توسط دیگر محققین نیز گزارش شده است (Blasco *et al.,* 2008; Kiferle *et al.,* 2021; Sabatino *et al.,* 2021) که مطابق با یافته‌های این تحقیق است. افزایش ید در غلظت‌های بالا موجب ایجاد تنش می‌گردد و شرایط تنش‌زا سبب افزایش سنتز ترکیبات فنلی خواهد شد (Sabatino *et al.,* 2021) بدین ترتیب مقدار فنل کل افزایش در گیاه افزایش خواهد یافت.



شکل ۵- اثر غلظت‌های مختلف ید بر اسید آسکوربیک اندام هوایی جعفری (میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون **LSD** فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند)

Figure 5- The effect of different concentrations of iodine on Ascorbic acid of parsley shoot (Means with the same letters are not significantly different at the 5% probability level of the LSD test)

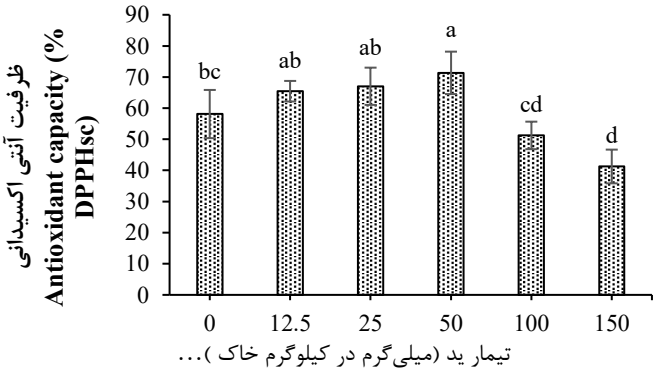


شکل ۶- اثر غلظت‌های مختلف ید بر فنل کل اندام هوایی جعفری (میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون **LSD** فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند)

Figure 6- The effect of different concentrations of iodine on total phenol of parsley shoot (Means with the same letters are not significantly different at the 5% probability level of the LSD test)

میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل بخش هوایی جعفری

بررسی نتایج اثرات غلظت‌های مختلف ید بر میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بخش هوایی سبزی جعفری (شکل ۷) نشان داد بیش‌ترین میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل مربوط به تیمار ۵۰ میلی‌گرم ید در کیلوگرم خاک بود ۷۱/۳۳ درصد) که با میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل در تیمارهای ۲۵ و ۱۲/۵ میلی‌گرم ید در کیلوگرم خاک اختلاف آماری معنی‌داری نداشت (به ترتیب ۶۷/۰۳ و ۶۵/۴۴ درصد) اما به طور معنی‌داری بیشتر از ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار شاهد (۵۸/۱۰ درصد) و سایر غلظت‌های ید بود. افزایش غلظت ید در خاک (کاربرد غلظت‌های ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم ید در کیلوگرم) موجب کاهش معنی‌دار ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل در بخش هوایی سبزی جعفری شد. کمترین میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم ید در کیلوگرم خاک بود ۴۱/۲۵ درصد). گزارش گردیده عنصر ید در غلظت پایین در گیاهان قادر به افزایش پاسخ آنتی‌اکسیدانی با اثرات محافظتی در برابر تنش اکسیداتیو است (Gonzali *et al.,* 2017). افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل با کاربرد ید در غلظت‌های غیرسمی نیز مشاهده شده است (Blasco *et al.,* 2012). ترکیبات فنلی و اسید آسکوربیک در گیاهان تیمار شده با ید (در غلظت‌های غیرسمی) افزایش می‌یابد (Kiferle *et al.,* 2021; Sabatino *et al.,* 2021) در نتیجه این می‌تواند موجب افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل گردد.



شکل ۷- اثر غلظت‌های مختلف ید ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل در اندام هوایی جعفری (میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون **LSD** فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند)

Figure 7- The effect of different concentrations of iodine on total antioxidant capacity in parsley shoot (Means with the same letters are not significantly different at the 5% probability level of the LSD test)

میزان ید جعفری

بررسی نتایج مقایسه میانگین اثرات غلظت‌های ید بر میزان ید در بخش هوایی سبزی جعفری (شکل ۸) نشان داد افزایش غلظت ید در بستر کاشت خاک موجب افزایش میزان ید در اندام هوایی گیاه جعفری گردید و در تیمار ۱۵۰ میلی‌گرم ید در کیلوگرم خاک بیشترین میزان ید در اندام هوایی جعفری تجمع یافت (۶۰/۳۴ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تر) که به‌طور معنی‌داری بیشتر از غلظت ید در شاهد و سایر تیمارها بود. بین تیمار شاهد با تیمار ۱۰ میلی‌گرم ید در کیلوگرم خاک اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۸). انتقال ید هم به غلظت و هم به شکل یونی که در آن عنصر در محیط یافت می‌شود بستگی دارد (Blasco *et al.,* 2008). افزایش غلظت ید در اندام‌های گیاه همبسته با افزایش غلظت ید در محیط ریشه (کشت خاکی یا کشت بدون) توسط دیگر محققین نیز گزارش شده است. اثر مشابهی توسط Dai و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که غلظت ید در قسمت‌های خوراکی

پاکچوی، اسفناج، پیاز، اسفناج آبی، کرفس و هویج و فاکتورهای انتقال خاک به قسمت‌های خوراکی این سبزی‌ها به طور معنی‌داری همراه با افزایش غلظت ید در خاک افزایش یافت. Hong و همکاران (۲۰۰۸) گزارش دادند که محتوای ید در کلم چینی، کاهو، گوجه‌فرنگی و هویج در کشت خاکی با افزایش سطح ید در خاک افزایش می‌یابد. گزارش‌ها نشان داده است که انتقال ید در آوند چوبی بسیار کارآمدتر از آوند آبکش است و همچنین تجمع ید در میوه‌ها، غده‌ها یا دانه‌ها کمتر از ساقه و برگ است (Gonzali *et al.,* 2017). درواقع، ظرفیت انباشتگی بسیار بالایی توسط سبزی‌های برگی (Dai *et al.,* 2006; Hong *et al.,* 2008; Blasco *et al.,* 2012) نشان‌داده‌شده است.

شکل ۸- اثر غلظت‌های مختلف ید بر میزان ید در اندام هوایی جعفری (میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد آزمون **LSD** فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند)

Figure 8- The effect of different concentrations of iodine on the amount of iodine in the parsley shoot (Means with the same letters are not significantly different at the 5% probability level of the LSD test)

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق، غنی‌سازی زیستی جعفری با ید و تأثیر ید بر حداکثر عملکرد، پروتئین و کربوهیدرات‌های محلول، اسید آسکوربیک، فنل کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، رنگ‌ریزه‌های گیاهی در کشت خاکی بررسی شد. گیاهان تیمار شده با غلظت‌های کم تا متوسط ید قندها و پروتئین محلول، اسید آسکوربیک، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و رنگ‌ریزه‌های فتوسنتزی بیشتری داشتند، که نشان‌دهنده پاسخ مثبت به مقادیر کم تا متوسط ید در محیط ریشه است. شایان‌ذکر است در چارچوب برنامه‌های غنی‌سازی زیستی ید، مصرف ید تا ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک تأثیر منفی بر رشد و نمو رویشی و زایشی جعفری نداشته است. داده‌های کمی به‌دست‌آمده نشان داد که مقدار زیادی ید در بافت رویشی ذخیره می‌شود. بر اساس نتایج این پژوهش، می‌توان نتیجه گرفت که جعفری یک گیاه هدف امیدوارکننده برای تقویت زیستی با ید خواهد بود. یعنی می‌توان با مصرف ۵۰ میلی‌گرم ید در کیلوگرم خاک غلظت ید را در اندام هوایی جعفری به یک مرتبه افزایش داد و از جعفری به‌عنوان مکملی برای تأمین بخشی از نیاز روزانه ید یک فرد بالغ استفاده کرد.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد نویسنده اول است. بدین‌وسیله از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان بابت تأمین هزینه‌های پایان‌نامه تشکر می‌گردد.

References

Augustine, R. & Kalyanasundaram, D. (2020). Agronomic biofortification of food crops with micronutrients. *Plant Archives*, 20, 1383–1387.

Blasco, B., Rios, J. J., Cervilla, L. M., Sánchez-Rodrigez, E., Ruiz, J. M. & Romero, L. (2008). Iodine

biofortification and antioxidant capacity of lettuce: potential benefits for cultivation and human health. *Annals of Applied Biology*, 152, 289-299. doi:10.1111/j.1744-7348.2008.00217.x

Blasco, B., Rios, J. J., Cervilla, L. M., Sánchez-Rodríguez, E., Rubio-Wilhelmi, M. M., Rosales, M. A., & Ruiz, J. M. (2011a). Iodine application affects nitrogen-use efficiency of lettuce plants (*Lactuca sativa* L.). *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*, 61(4), 378-383. doi: 10.1080/09064710.2010.492782

Blasco, B., Ríos, J. J., Leyva, R., Cervilla, L. M., S´anchez-Rodríguez, E., Rubio-Wilhelmi, M.M., Rosales, M. A., Ruiz, J. M., & Romero, L. (2011b). Does iodine biofortification affect oxidative metabolism in lettuce plants. *Biological Trace Element Research,* 142, 831–842. doi: 10.1007/s12011-010-8816-9

Blasco, B., Rios, J. J., Cervilla, L. M., Sánchez-Rodríguez, E., Rubio-Wilhelmi, M. M., Rosales, M. A., & Romero, L. (2010). Photorespiration process and nitrogen metabolism in lettuce plants (*Lactuca sativa* L.): induced changes in response to iodine biofortification. *Journal of Plant Growth Regulation*, 29, 477-486. doi: 10.1007/s00344-010-9159-7

Blasco, B., Ríos, J. J., Sánchez-Rodríguez, E., Rubio-Wilhelmi, M. M., Leyva, R., Romero, L., & Ruiz, J. M. (2012). Study of the interactions between iodine and mineral nutrients in lettuce plants. *Journal of plant nutrition*, 35(13), 1958-1969. doi: 10.1080/01904167.2012.716889

Blikra, M.J., Henjum, S. & Aakre, I. (2022). Iodine from brown algae in human nutrition, with an emphasis on bioaccessibility, bioavailability, chemistry, and effects of processing: A systematic review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2, 1517–1536. doi: 10.1111/1541-4337.12918

Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry,* 72, 248-254. doi: 10.1016/0003-2697(76)90527-3

Dai, J.L., Zhu, Y.G., Huang, Y.Z., Zhang, M., Song, J.L., 2006. Availability of iodide and iodate to spinach (*Spinacia oleracea* L.) in relation to total iodine in soil solution. *Plant and Soil*, 289, 301-308. doi: 10.1007/s11104-006-9139-7

Dobosy, P., Kröpfl, K., Óvári, M., Sandil, S., Németh, K., Engloner, A., & Záray, G. (2020a). Biofortification of green bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and lettuce (*Lactuca sativa* L.) with iodine in a plant-calcareous sandy soil system irrigated with water containing KI. *Journal of Food Composition and Analysis*, 88, 103434. doi: 10.1016/j.jfca.2020.103434

Dobosy, P., Vetési, V., Sandil, S., Endrédi, A., Kröpfl, K., Óvári, M., Takács, T. Rékási, M. & Záray, G. (2020b). Effect of irrigation water containing iodine on plant physiological processes and elemental concentrations of cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*) and tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivated in different soils. *Agronomy*, 10(5), 720. doi: 10.3390/agronomy10050720

Dobosy, P., Endrédi, A., Sandil, S., Vetési, V., Rékási, M., Takács, T. & Záray, G. (2020c). Biofortification of potato and carrot with iodine by applying different soils and irrigation with iodine-containing water. *Frontiers in Plant Science*, 11, 593047. doi: 10.3389/fpls.2020.593047

Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. T. & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*. 28(3), 350-356. doi: 10.1021/ac60111a017

Duborská, E., Matulová, M., Vaculovič, T., Matúš, P. & Urík, M. (2021). Iodine fractions in soil and their determination. *Forests*, 12(11), 1512. doi: 10.3390/f12111512

El-Houseiny, W., Algharib, S. A., Mohamed, E. A. A., Metwally, M. M. M., Mahmoud, Y. K., Alghamdi, Y. S., Soliman, M. M., Abd-Elhakim, Y. M. & El-Murr, A. E. (2022). Dietary parsley seed mitigates methomyl-induced impaired growth performance, hemato-immune suppression, oxidative stress, hepato-renal damage, and *Pseudomonas aeruginosa* susceptibility in *Oreochromis niloticus*. *Antioxidants*, 11(6), 1185. doi: 10.3390/antiox11061185.

Esfandiari, E., Abdoli, M. & Rahmati, M. (2015). Evaluation of iodate toxicity (KIO_3) on growth, morpho-physiological characteristics and mineral nutrients concentrations of potato (*Solanum tuberosum* L. cv. Agria). *Azarian Journal of Agriculture*, 2,99-107.

Farag, M. R., Alagawany, M., Taha, H. S. A., Ismail, T. A., Khalil, S. R. & Abou-Zeid, S. M. (2021). Immune response and susceptibility of Nile tilapia fish to *Aeromonas hydrophila* infection following the exposure to Bifenthrin and/or supplementation with *Petroselinum crispum* essential oil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 216, 112205. doi: 10.1016/j.ecoenv.2021.112205

Farzaei, M.H., Abbasabadi, Z., Ardekani, M.R.S., Rahimi, R. & Farzaei, F. (2013). Parsley: A review of ethnopharmacology, phytochemistry and biological activities. *Journal of Traditional Chinese Medicine*, 33, 815–826. doi: 10.1016/S0254-6272(14)60018-2

Fuge, R. & Johnson, C. C. (2015). Iodine and human health, the role of environmental geochemistry and diet, a review. *Applied Geochemistry*, 63, 282-302. doi: 10.1016/j.apgeochem.2015.09.013

Caffagni, A., Arru, L., Meriggi, P., Milc, J., Perata, P. & Pecchioni, N. (2011). Iodine fortification plant screening process and accumulation in tomato fruits and potato tubers. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42, 706- 718. doi:

Ghasemnezhad, M., Sherafati, M, & Payvast, G.A. (2011). Variation in phenolic compounds, ascorbic acid and antioxidant activity of five coloured bell pepper (*Capsicum annuum*) fruits at two different harvest times. *Journal of Functional Foods*, 3, 44- 49. doi: 10.1016/j.jff.2011.02.002

Gonzali, S., Kiferle, C. & Perata, P. (2017). Iodine biofortification of crops: agronomic biofortification, metabolic engineering and iodine bioavailability. *Current Opinion in Biotechnology*, 44, 16-26. doi: 10.1016/j.copbio.2016.10.004

Hong, C. L., Weng, H. X., Qin, Y. C., Yan, A. L. & Xie, L. L. (2008). Transfer of iodine from soil to vegetables by applying exogenous iodine. *Agronomy for Sustainable Development,* 28, 575- 583. doi: 10.1051/agro:2008033

Incrocci, L., Carmassi, G., Maggini, R., Poli, C., Saidov, D., Tamburini, C., Kiferle, C., Perata, P. & Pardossi, A. (2019). Iodine accumulation and tolerance in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) with green or purple leaves grown in floating system technique. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1494. doi: 10.3389/fpls.2019.01494

Kapil, U. (2018). Iodine deficiency disorders and their elimination. *Indian Journal of Medical Research*, 148,120. doi: 10.4103/ijmr.IJMR_852_17

Khazaei, Z., Behnamian, M., Dezhsetan, S. & Estaji, A. (2023). The effect of green zinc oxide nanoparticles on the physicochemical properties of *Ganoderma lucidum* mushroom. *Journal of Vegetables Sciences*, 14(2), 01-24. doi:10.22034/IUVS.2023.1972377.1247

Kiferle, C., Martinelli, M., Salzano, A. M., Gonzali, S., Beltrami, S., Salvadori, P. A. & Perata, P. (2021). Evidences for a nutritional role of iodine in plants. *Frontiers in Plant Science*, 12, 616868. doi: 10.3389/fpls.2021.616868

Landini, M., Gonzali, S. & Perata, P., (2011). Iodine biofortification in tomato. *Journal of Plant Nutrition and Soil*

Science, 174, 480- 486. doi: 10.1002/jpln.201000395

Lawson, P. G., Daum, D., Czauderna, R., Meuser, H., and Härtling, J. W. (2015). Soil versus foliar iodine fertilization as a biofortification strategy for field-grown vegetables. *Frontiers in Plant Science,* 6, 450. doi: 10.3389/fpls.2015.00450

Leyva, R., Sánchez-Rodríguez, E., Ríos, J.J., Rubio-Wilhelmi, M.M., Romero, L., Ruiz, J.M. and Blasco, B., (2011). Beneficial effects of exogenous iodine in lettuce plants subjected to salinity stress. *Plant Science*, 181(2), 195-202. doi: 10.1016/j.plantsci.2011.05.007

Li, R., Liu, H.P., Hong, C. L., Dai, Z.X., Liu, J. W., Zhou, J., Hu, C. Q. & Weng, H. X. (2016). Iodide and iodate effects on the growth and fruit quality of strawberry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(1), 230- 235. doi: 10.1002/jsfa.7719

Medrano-Macías, J., Leija-Martínez, P., González-Morales, S., Juárez-Maldonado, A. & Benavides-Mendoza, A. (2016). Use of iodine to biofortify and promote growth and stress tolerance in crops. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1146. doi: 10.3389/fpls.2016.01146

Mynett, A. & Wain, R. L. (1971). Selective herbicidal activity of iodide in relation to iodide accumulation and foliar peroxidase activity. *Journal of Pesticide Science*, 2, 238- 242. doi: 10.1002/ps.2780020603

Ojok, J., Omara, P., Opolot, E., Odongo, W., Olum, S., Gijs, D. L., Gellynck, X., De Steur, H. & Ongeng, D. (2019). Iodine agronomic biofortification of cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*) and cowpea (*Vigna unguiculata* L.) is effective under farmer field conditions. *Agronomy*, 9(12), 797. doi: 10.3390/agronomy9120797

Sabatino, L., Di Gaudio F, Consentino BB, Rouphael Y, El-Nakhel C, La Bella S, Vasto S, Mauro, R.P., D'Anna, F., Iapichino, G., Caldarella, R. & De Pasquale, C. (2021). Iodine biofortification counters micronutrient deficiency and improve functional quality of open field grown curly Endive. *Horticulturae*. 7(3), 58. doi: 10.3390/agronomy9120797

Sadeghi Ghahnasir, A., Aboutalebi Jahromi, A., Behrooznam, B., Hassanzadeh Khankahdani, H. & Ejraei, A. (2023). The influence of foliar application of humic acid, amino acid and extract of *Otostegia persica*, Artemisia abrotanum and Teucrium polium medicinal plants on yield and yield components of tomato (*Solanum lycopersicum*). *Journal of Vegetables Sciences*, 13(1), 113-130. doi: 10.22034/IUVS.2022.1971285.1241

Smoleń, S., Ledwożyw-Smoleń, I., Halka, M., Sady, W. & Kováčik, P. (2017). The absorption of iodine from 5-iodosalicylic acid by hydroponically grown lettuce. Scientia Horticulturae, 225, 716-725. doi: 10.1016/j.scienta.2017.08.009

Smoleń, S., Sady, W., Ledwożyw-Smoleń, I., Strzetelski, P., Liszka-Skoczylas, M. & Rożek, S. (2014). Quality of fresh and stored carrots depending on iodine and nitrogen fertilization. *Food Chemistry*, 159, 316–322. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.03.024

Smoleń, S., Wierzbińska, J., Sady, W., Kołton, A., Wiszniewska, A. & Liszka-Skoczylas, M. (2015). Iodine biofortification with additional application of salicylic acid affects yield and selected parameters of chemical composition of tomato fruits (*Solanum lycopersicum* L.). *Scientia Horticulturae*, 188, 89-96. doi: 10.1016/j.scienta.2015.03.023

Vetési, V., Záray, G., Endrédi, A., Sandil, S., Rékási, M., Takács, T. & Dobosy, P. (2022). Iodine biofortification of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and pea (*Pisum sativum* L.) plants cultivated in three different soils. *Plos one*, 17(10), p.e0275589. doi: 10.1371/journal.pone.0275589