بررسی اثر غلظت‌های مختلف آهن در محلول غذایی بر محتوای آهن برگ و شاخص‌های کیفی برخی توده‌های اسفناج (*Spinacea oleraceae* L.) بومی ایران در کشت بدون خاک

حمیرا جمالپور بیرگانی[۱]، سیدعبدالله افتخاری[۱*] و مختار حیدری[۲]

[۱]گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، [۲]گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۱/۳۱، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۰۲/۱۸)

چکیده

این آزمایش با هدف ارزیابی اثر سطح مختلف آهن (۳، ٦، ۹، ۱۲ و ۱۵ میلی‌گرم در لیتر از منبع Fe- EDTA) بر میزان آهن پهنک و دمبرگ، شاخص سبزینگی (SPAD)، فنل کل، اسیدآمینه کل و کربوهیدرات‌های محلول در برگ‌های سه توده اسفناج بومی ایران (همدان، شیروان و ورامین ۸۸) مورد ارزیابی قرار گرفت. گیاهان اسفناج در بستر کوکوپیت+پرلایت (نسبت٤:١) رشد یافته و با محلول غذایی کوپر (Copper) تغذیه شدند. نتایج نشان داد میزان آهن در دمبرگ، پهنک و کل برگ به طور معنی‌داری توسط غلظت آهن محلول غذایی تحت تأثیر قرار گرفت. میزان آهن در دمبرگ توده شیروان (٤٨/٧ میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک) به طور معنی‌داری بیشتر از آهن دمبرگ در توده‌های ورامین ۸۸ و همدان بود (به ترتیب به ترتیب ۳۷/۳۳ و ٤٢/٢٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک). میزان کل اسیدهای آمینه، فنل کل، پنتورها، هگزوزها و کل کربوهیدرات‌های محلول در برگ به طور معنی‌داری در تیمارهای کمبود آهن کاهش یافت. با توجه به میزان آهن در دمبرگ و پهنک و خصوصیات بیوشیمیایی، مشخص شد کیفیت اسفناج به طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای آهن قرار گرفت. همچنین، نتایج نشان داد کشت بدون خاک یک روش مناسب برای تحقیق در مورد اثر غلظت‌های مختلف آهن بر خصوصیات بیوشیمیایی و کیفیت اسفناج می‌باشد.

کلمات کلیدی: اسفناج، سبزی، خصوصیات بیوشیمیایی، کمبود، یون

مقدمه

آهن یکی از عناصر کم‌مصرف مهم برای گیاهان است که در واکنش‌های فیزیولوژیکی مانند سنتز تنظیم کننده‌های رشد، DNA، تنفس، فتوسنتز مشارکت داشته و به عنوان کوفاکتور حدود ۱۰۰ آنزیم و پروتئین مشارکت کننده در تقسیم سلولی، سنتز اسیدهای نوکلئیک و پروتئین نقش دارد (Wu *et al.*, 2005). کمبود آهن منجر به بروز کلروز برگ، کاهش غلظت کلروفیل و فتوسنتز، کاهش رشد رویشی و کیفیت در گیاهان می‌شود (لادن مقدم و همکاران، ۲۰۱۲). قلیایی بودن، آهک زیاد، کمبود ماده آلی، آبیاری غرقابی، تهویه‌ی ضعیف و تراکم خاک از عوامل ایجاد محدودیت دریافت آهن می‌باشند (Fageria *et al.*, 2002). در بین عناصر کم مصرف، کمبود آهن و روی ایران بیشترین عوامل محدودکننده تولید محصولات کشاورزی هستند، حدود ٤٠ درصد خاک‌های ایران دارای آهن

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: eftekhari@scu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.1.9]

کمتر از ٤/٥ میلی گرم بر کیلوگرم می‌باشند و احتمال پاسخ گیاهی به کود آهن در آنها وجود دارد. بیش از ۸۷ درصد خاک‌های کشاورزی ایران دارای بیشتر از ۵ درصد کربنات کلسیم هستند. در حدود ۹۷ درصد خاک‌های کشور pH در دامنه‌ای بین ٦/٥ تا ۸/۵ دارند و در حدود ۸۳ درصد خاک‌های آهکی مقدار pH در دامنه‌ای بین ۷/۵ تا ۸/۵ قرار دارند (شهبازی و بشارتی، ۱۳۹۲).

با توجه به اینکه غذاهای گیاهی بخش مهمی از ویتامین‌ها و عناصر معدنی مورد نیاز مردم در کشورهای درحال توسعه را تأمین می‌نمایند، تغییر در روند تولید فرآورده‌های کشاورزی به سمت سلامت غذا و افزایش مواد مغذی غذاهای گیاهی اهمیت بیشتری یافته است (Assimakopoulou, 2006). علاوه بر نقش‌های فیزیولوژیکی آهن در گیاهان، در رابطه با سلامتی انسان، غلظت آهن در محصولات باغبانی مانند سبزی‌ها اهمیت زیادی دارد. اسفناج (*Spinacia oleracae* L.) یک سبزی برگی شناخته شده می‌باشد و مواد مغذی موجود در برگ‌های اسفناج در سلامت مصرف‌کنندگان اثرات مهمی دارد (Welch, 2002). مشابه سایر سبزی‌های رایج، بهبود مواد مغذی و کیفیت گیاه اسفناج به عنوان یک سبزی پرمصرف مورد توجه می‌باشد. همچنین مشخص گردیده است میزان آهن یکی از موارد مهم در مورد کیفیت و ارزش غذایی اسفناج می‌باشد (افتخاری و همکاران، ۱۳۹٤).

در ایران سطح زیر کشت اسفناج ٤٤۷۹ هکتار، میزان تولید۸٤٦۳۵ تن و میانگین عملکرد ۱۸۸۹۵/٤ کیلوگرم در هکتار بوده است و ایران رتبه یازدهم در میان کشورهای تولید کننده اسفناج را دارد. (فائو، ۲۰۱٤). توده‌های اسفناج متعددی در ایران وجود دارند و ایران منبع غنی از ژرم پلاسم اسفناج می‌باشد (حسندخت و اسدی، ۱۳۸٦؛ افتخاری و همکاران، ۱۳۸۹) ولی در مورد میزان آهن این توده‌ها و یا اثر نوع کود آهن و مقدار مصرف آن بر رشد و کیفیت این توده‌ها گزارش‌های محدودی وجود دارد. عرفانی و همکاران (۱۳۸۵) میزان آهن برگ در هفت توده بومی اسفناج ایران را بین ۱/٦۷ میلی گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر در توده ورامین تا ۵/۰۲ میلی گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر در توده خرم آباد گزارش دادند. افتخاری و همکاران (۱۳۹٤) غلظت آهن در برگ ۱٦ توده اسفناج بومی ایران را بین ۱۰/۷۳ میلی گرم در وزن خشک در توده شیروان تا ۷/۲۷ میلی گرم در گرم وزن خشک در توده ورامین-۱ گزارش دادند. کمالی (۱۳۹۲) گزارش داد کاربرد کود نانوکلات آهن و یا سکوسترین آهن در مقادیر صفر، ۱/۵ و ۳ کیلوگرم در هکتار بر غلظت آهن برگ توده‌های اسفناج همدان، شیروان، ورامین-۱ و ورامین-۲ اثر معنی‌داری نداشت. وطنی و همکاران (۲۰۱۲) گزارش دادند محلول‌پاشی برگی کود نانوکلات در غلظت ۲ تا ٤ در هزار باعث افزایش تجمع آهن در برگ دو رقم اسفناج ورامین ۸۸ و ویروفلای شد. لادن مقدم و همکاران (۲۰۱۲) گزارش دادند کاربرد کود نانوکلات آهن به صورت محلول پاشی برگی در غلظت‌های ۲ و ٤ قسمت در تریلیون (ppt) باعث بهبود شاخص‌های رشد در گیاه اسفناج شد. با توجه به گسترش استفاده از بسترهای بدون خاک در تولید سبزی‌ها، در مورد اثر غلظت آهن موجود در محلول غذایی بر رشد گیاهان اسفناج رشد یافته در بسترهای بدون خاک مانند محلول‌های غذایی کوپر (Cooper) و ایمای (Imai) (Hussain shah *et al*., 2009)، محلول غذایی حاوی آهن Fe-EDTA (Jin *et al*., 2013) و یا بستر شن و محلول غذایی لانگ اشتون تغییریافته (Modified Long Ashton Nutrient Solution) (Assimakopoulou, 2006)، نیز مطالعاتی انجام گردیده است ولی در مورد اثر تیمارهای آهن در توده‌های اسفناج بومی ایران در بسترهای بدون خاک گزارشی منتشر نگردیده است. استفاده از بستر پرلایت و محلول غذایی برای مطالعه اثر عوامل مختلف مانند اثر شکل نیتروژن وpH محلول غذایی بر تغییرات ریزوسفر اسفناج (نجفی و پارسازاده، ۱۳۹۰) و یا جذب عناصر کم مصرف مانند آهن، روی، مس و منگنز (نجفی وهمکاران، ۱۳۸۹) نیزمورد مطالعه قرار گرفته است. این پژوهش با هدف بررسی اثر غلظت آهن بر میزان آهن و برخی شاخص‌های بیوشیمیایی در توده‌های اسفناج بومی ایران، در کشت بدون خاک انجام شد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.1.9]

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹٤ در گلخانه گروه علوم باغبانی دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی، با تیمار توده‌های اسفناج بومی ایران (همدان به عنوان شاهد، ورامین ۸۸ و شیروان) و مقادیر مختلف آهن از منبع Fe - EDTA (حاوی ۱۳/۲٪ آهن) در محلول غذایی کوپر(Cooper's Solution) در ۵ سطح (۱۲ میلی‌گرم در لیتر به عنوان سطح پایه محلول غذایی و مقادیر ۳، ٦، ۹ و ۱۵ میلی‌گرم در لیتر محلول غذایی) در سه تکرار (هر تکرار شامل ۲ گلدان و در هر گلدان ۲ گیاه) و در مجموع ۹۰ گلدان اجرا گردید. توده ورامین ۸۸ یک رقم جدید ایرانی حاصل از گرده افشانی آزاد است که در سال ۱۳۸۸ معرفی شده و دارای بذر صاف، بافت برگ نیمه چروکیده و دمبرگ نیمه ایستاده، توده همدان دارای بذر خاردار، بافت برگ صاف و حالت دمبرگ تیمه ایستاده و توده شیروان دارای بذر صاف، برگ نیمه چروکیده و حالت برگ نیمه ایستاده می باشد (افتخاری و همکاران، ۱۳۸۹). بذور توده اسفناج ورامین ۸۸ از موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج و بذر توده‌های شیروان و همدان از توده‌های جمع آوری شده توسط افتخاری و همکاران (۱۳۸۹) تهیه شدند. بذرها پس از قرارگیری به مدت ۱۵ دقیقه در کلراکس ۵٪ و سه بار آبکشی با آب مقطر در پتریدیش روی یک لایه کاغذ صافی قرار داده شده و به منظور جوانه‌زنی به مدت ۲ روز در ژرمیناتور در دمای ۱۸ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. از بذور آماس کرده جهت کشت در گلدان‌های با حجم ۷ لیتر استفاده گردید. در هر گلدان ۱۰ عدد بذر کاشته شد که پس از سبز شدن به دو عدد در هر گلدان کاهش یافت. بستر کشت مخلوط کوکوپیت و پرلیت (نسبت۱:٤) بود. در کف گلدان از یک لایه شن به ابعاد تقریبی پنج میلی‌متر برای بهبود زهکشی استفاده شد. میانگین دمای روزانه ۱٦ درجه سلسیوس و متوسط رطوبت نسبی هوا ٥٤/٥ درصد بود. ترکیبات تشکیل‌دهنده محلول غذایی کوپر بر اساس میلی‌گرم در لیتر شامل اجزا زیر بود (hussain shah *et al*., 2009): N (236), P (60.0), K (300) Ca (185), Mg (50), S (68), Fe - EDTA (12), Mn (2.0), Zn (0.1), Cu (0.1), B (0.3), Mo (0.2). پس از جوانه‌زنی بذرها، با در نظر گرفتن تیمارهای آهن در محلول غذایی پایه، تغذیه گیاهان با محلول یک دوازدهم غلظت محلول غذایی پایه انجام شد، پس از هر سه بار تغذیه، غلظت محلول غذایی به ترتیب به یک هشتم، یک چهارم، یک دوم و محلول غذایی پایه رسید. در هفته سوم پس از کاشت بذر، محلول کامل تیمار کودی در اختیار گیاهان قرار گرفت و محلول‌دهی به طور متوسط هر روز سه مرتبه به میزان ٤۰۰ سی سی در روز برای هر گلدان انجام شد. گلدان‌ها در هوای آزاد با متوسط دمای روزانه ۱٦ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. هشت هفته پس از کاشت بذر و رسیدن به مرحله بلوغ تجاری (تولید هفت تا هشت برگ حقیقی) گیاهان برداشت شدند (Carder, 2010). قبل از برداشت، سبزینگی سه برگ از هر گیاه با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج دستی (SPAD) (مدل CL-01، ساخت کشور آلمان) اندازه‌گیری شده و میانگین آنها به عنوان شاخص سبزینگی هر بوته در نظر گرفته شد. سپس گیاهان از گلدان خارج گردیده و پس از شستشو با آب مقطر، هر گیاه به ٤ قسمت ریشه، طوقه، برگ و دمبرگ جداسازی شده و نمونه‌ها درون پاکت کاغذی در دمای ۷۲ درجه به مدت ٤۸ ساعت در آون خشک شدند. نمونه‌های خشک با آسیاب برقی پودر شده و نمونه‌های پودر شده تا زمان اندازه‌گیری شاخص‌ها در پاکت‌های کاغذی درون ظرف ضد رطوبت نگهداری گردیدند. تهیه خاکستر به روش پیشنهادی norvell Lindsay و همکاران (۱۹۷۸) با استفاده از کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. عصاره‌گیری از خاکستر با ۱۰ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک ۲ نرمال، صاف کردن عصاره با کاغذ صافی واتمن شماره یک و رساندن حجم عصاره با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر انجام شد. اندازه‌گیری آهن با دستگاه جذب اتمی مدل GBC-SAVANTAA (ساخت کشور استرالیا) انجام شد. اندازه‌گیری اسید آمینه کل (Ravindranath, 1981)، فنل کل (Waterhouse, 2002)، پنتوزها، هگزوزها و گلوکز (Dubois *et al*., 1956) در نمونه‌های برگ انجام شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با نرم افزار MSTAT-C،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.1.9]

جدول-۱ تجزیه واریانس اثر غلظت کود آهن بر میزان آهن در قسمت‌های مختلف برگ توده‌های اسفناج بومی ایران

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		آهن پهنک	آهن دمبرگ	آهن کل برگ	نسبت آهن پهنک به کل برگ	نسبت آهن دمبرگ به کل برگ
بلوک	۲	۱۰۹۱/۲۷۸^{ns}	۱/۸۹۸^{ns}	۱۱۷۱/۲۲۳^{ns}	۰/۰۰۶^{ns}	۰/۰۰۶^{ns}
توده اسفناج	۲	۱٦٤/٤۱۷^{ns}	٤۸۸/۱۱٥**	۷۳٦/۳۳۷^{ns}	۰/۰۱۲^{ns}	۰/۰۱۲^{ns}
غلظت آهن	٤	٤۸۳٥/۱۰٤**	٤٦۹/۹٤۳**	٥٥۱۷/۳۸٤**	۰/۰۳۲**	۰/۰۳۲**
توده× غلظت آهن	۸	۷۱۱/٥۳٤^{ns}	۷۸٤/٥٥۳**	۱۸۸۹/۲۲۷^{ns}	۰/۰۱٦*	۰/۰۱٦*
خطا	**۲۸**	۹۸۱/۷٦۸	۷/۹۹۰	۹۷۳/۱۱۳	۰/۰۰٦	۰/۰۰٦
ضریب تغییرات(٪)	–	۳۰/۲۰	٦/٦۱	۲۱/۲۹	۱۱/٤۰	۲٦/۳۲

****اختلاف معنی دار در سطح ۱٪، *اختلاف معنی دار در سطح ۵٪، ns عدم اختلاف معنی دار**

مقایسه میانگین با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد و رسم نمودارها با برنامه EXCEL انجام گرفت. برای تعیین ضرایب همبستگی از نرم افزار SPSS استفاده شد.

نتایج

آهن برگ: نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد تفاوت میزان آهن دمبرگ در توده‌های اسفناج در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. اثر غلظت آهن بر آهن پهنک، آهن دمبرگ، آهن کل برگ، نسبت آهن پهنک به کل برگ، نسبت آهن دمبرگ به کل برگ و آهن دمبرگ به پهنک در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. اثر متقابل تیمارهای غلظت آهن و توده بر آهن دمبرگ در سطح احتمال ۱٪ و بر نسبت آهن پهنک به کل برگ و آهن دمبرگ به کل برگ در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود.

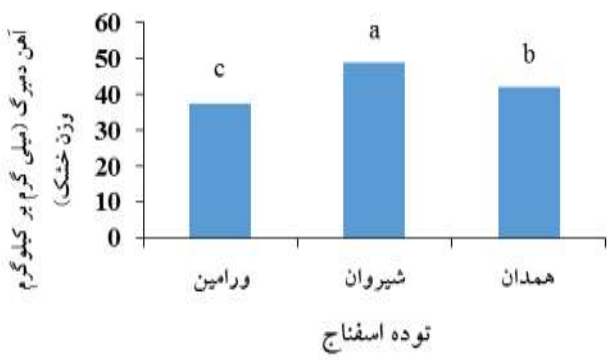
مقایسه غلظت آهن دمبرگ توده های اسفناج (شکل ۱) نشان داد غلظت آهن دمبرگ در توده شیروان (٤۸/۷۰ میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک) به طور معنی‌داری بیشتر از توده های ورامین و همدان بود (به ترتیب ۳۷/۳۳ و ٤۲/۲٤ میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک). غلظت آهن دمبرگ در توده ورامین به طور معنی‌داری کمتر از توده‌های شیروان و همدان بود.

بررسی اثر غلظت آهن در محلول غذایی بر آهن پهنک برگ (جدول ۲) نشان داد افزایش غلظت آهن در محلول غذایی اثر معنی‌داری بر غلظت آهن پهنک برگ نداشت و پس از کاربرد غلظت ۱۵ میلی گرم آهن در لیتر، غلظت آهن پهنک برگ اسفناج با تیمار شاهد (۱۲ میلی‌گرم آهن در لیتر) تفاوت معنی-داری نداشت (به ترتیب ۱۳۷/۰۸ و ۱۱٦/۱۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) ولی به طور معنی‌داری بیشتر از غلظت آهن در پهنک برگ در تیمارهای ٦ و ۹ میلی‌گرم در لیتر آهن بود. پس از کاهش غلظت آهن در محلول غذایی نیز غلظت آهن پهنک تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت و غلظت آهن پهنک در تیمارهای ۳، ٦ و ۹ میلی‌گرم در لیتر (به ترتیب ۹٦/۲۹، ۹۱/٦۱ و ۷۷/٦٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) تفاوت معنی‌داری با یکدیگر و با غلظت آهن تیمار شاهد (۱۱٦/۱۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) نداشتند.

مقایسه غلظت آهن دمبرگ اسفناج (جدول ۲) نشان داد افزایش غلظت آهن محلول غذایی موجب کاهش معنی‌دار غلظت آهن دمبرگ نسبت به تیمار شاهد شد و در تیمار ۱۵ میلی‌گرم در لیتر، غلظت آهن دمبرگ به طور معنی‌داری کمتر از تیمار شاهد بود (٤۰/٦٥ در مقایسه با ٤٤/۰۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک). غلظت آهن دمبرگ در تیمار ۳ میلی‌گرم در لیتر به طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود در حالیکه غلظت آهن در تیمارهای ٦ و ۹ (به ترتیب ۳٥/۷۷ و ۳۸/۷۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) به طور معنی‌داری کمتر از غلظت آهن دمبرگ در سایر تیمارها بود.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.1.9]



شکل ۱- مقایسه غلظت آهن دمبرگ در برخی توده‌های اسفناج ایرانی

***میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵٪ آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.**



تصویر ۱- مرحله بلوغ تجاری بوته‌های اسفناج

جدول -۲ اثر تیمار غلظت آهن بر غلظت آهن (میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک) در بخش‌های مختلف برگ گیاه اسفناج

آهن (میلی‌گرم در لیتر)	آهن پهنک	آهن دمبرگ	آهن کل برگ	آهن پهنک / کل برگ	آهن دمبرگ/کل برگ	اسپد
۳	۹۶/۲۹ ab	۵٤/۵۱ a	۱۵۰/۸ ab	۰/٦۲ b	۰/۳۸ a	۱٦/٦۵ b
٦	۹۱/٦۱ b	۳۵/۷۷ d	۱۲۷/۳۹ bc	۰/۷۱ ab	۰/۲۸ ab	۲۱/۳۲ a
۹	۷۷/٦٦ b	۳۸/۷۷ cd	۱۱٦/٤٤ c	۰/٦۵ b	۰/۳٤ a	۱٦/۵۱ b
۱۲ (شاهد)	۱۱٦/۱۷ ab	٤٤/۰۷ b	۱٦۰/۲٤ ab	۰/۷۱ ab	۰/۲۸ ab	۱۸/٤۱ ab
۱۵	۱۳۷/۰۸ a	٤۰/٦۵ bc	۱۷۷/۷٤ a	۰/۷۷ a	۰/۲۲ b	۱۷/٤۱ b

بررسی نتایج مربوط به اثر تیمار غلظت آهن در محلول غذایی بر غلظت آهن کل برگ اسفناج (جدول ۲) نشان داد پس از افزایش غلظت آهن در محلول غذایی به ۱۵ میلی‌گرم در لیتر، غلظت آهن کل برگ تفاوت معنی‌داری با غلظت آهن کل برگ در تیمار شاهد و یا تیمار ۳ میلی‌گرم در لیتر نداشت (به ترتیب ۱۷۷/۷٤ در مقایسه با ۱٦۰/۲٤ و ۱۵۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک). کمترین غلظت آهن برگ در تیمار ۹ میلی‌گرم در لیتر وجود داشت (۱۱٦/٤٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) که با غلظت آهن برگ در تیمار ٦ میلی‌گرم در لیتر (۱۲۷/۳۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) تفاوت معنی‌داری نداشت ولی به طور معنی‌داری کمتر از غلظت آهن برگ در سایر تیمارها بود.

بررسی نسبت آهن پهنک به کل برگ اسفناج (جدول ۲) نشان داد نسبت آهن پهنک به کل برگ در تیمار شاهد تفاوت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.1.9]

معنی‌داری با این نسبت در سایر تیمارها نداشت ولی پس از افزایش غلظت آهن در محلول غذایی، نسبت آهن پهنک به کل برگ در تیمار ۱۵ میلی گرم آهن (۰/۷۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) به طور معنی‌داری بیشتر از این نسبت در تیمارهای ۳ و ۹ میلی‌گرم در لیتر آهن بود (به ترتیب ۰/٦۵ و ۰/٦۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) ولی با نسبت آهن پهنک به کل برگ در سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری نداشت.

مقایسه نتایج نسبت آهن دمبرگ به کل برگ در تیمارهای مختلف غلظت آهن (جدول ۲) نشان داد با افزایش غلظت آهن در محلول غذایی به ۱۵ میلی‌گرم آهن در لیتر، نسبت آهن دمبرگ به کل برگ تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت (۰/۲۲ در مقایسه با ۰/۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) ولی به طور معنی داری کمتر از این نسبت در تیمارهای ۳ و ۹ میلی گرم آهن در لیتر بود (به ترتیب ۰/۳۸ و ۰/۳٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک). نسبت آهن دمبرگ به کل برگ در سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری نداشت.

شاخص سبزینگی: نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد اثر تیمار غلظت آهن بر سبزینگی برگ اسفناج در سطح ۵٪ معنی‌دار بود و اثر رقم یا برهمکنش رقم و توده بر سبزینگی برگ معنی دار نبود. بیشترین شاخص سبزینگی در تیمار ٦ میلی‌گرم آهن در لیتر وجود داشت (۲۱/۳۲ واحد SPAD) که با شاخص سبزینگی در تیمار شاهد (۱۲ میلی‌گرم آهن در لیتر) اختلاف معنی‌داری نداشت (۱۸/٤۱ واحد SPAD) ولی به طور معنی‌داری بیشتر از سبزینگی برگ در سایر تیمارها بود(جدول ۲). سبزینگی برگ در تیمار شاهد و تیمارهای ۳، ۹ و ۱۵ میلی‌گرم آهن در لیتر تفاوت معنی داری نداشتند (به ترتیب ۱۸/٤۱ در مقایسه با ۱٦/٦۵، ۱٦/۵۱ و ۱۷/٤۱ واحدSPAD) .

اسیدآمینه کل: نتایج جدول تجزیه واریانس اثر تیمار غلظت آهن در محلول غذایی بر اسیدآمینه کل سه توده اسفناج بومی ایران (جدول ۳) نشان داد اثر تیمارهای توده اسفناج، غلظت آهن و یا برهمکنش توده اسفناج و غلظت آهن بر اسیدآمینه کل در سطح یک درصد معنی‌دار بود. بررسی نتایج مقایسه میانگین اثر غلظت‌های مختلف آهن بر اسیدآمینه کل در برگ سه توده اسفناج (جدول ٤) نشان داد در شرایط تنش شدید کمبود آهن و کاربرد ۳ میلی‌گرم آهن در لیتر محلول غذایی، غلظت اسیدآمینه کل در برگ توده‌های ورامین و شیروان تفاوت معنی‌داری نداشت (به ترتیب ۰/۱۹۸ و ۰/۲٤۰ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) ولی به طور معنی‌داری کمتر از اسیدآمینه کل در برگ توده همدان بودند (۰/٤۱۳ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک). در تیمار ٦ میلی گرم آهن در لیتر محلول غذایی، غلظت اسیدآمینه کل در برگ توده‌های ورامین، همدان و شیروان تفاوت معنی داری نداشت. در تیمار ۹ میلی‌گرم آهن در لیتر محلول غذایی، اسیدآمینه کل در برگ توده‌های همدان (۰/۵۲۵ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) به طور معنی‌داری بیشتر از اسیدآمینه کل در برگ توده شیروان بود (۰/٤۰۸ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) ولی با اسیدآمینه کل در برگ توده‌های ورامین (۰/٤۳٦ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) تفاوت معنی داری نداشت. در تیمار شاهد (۱۲ میلی گرم آهن در محلول غذایی)، اسیدآمینه کل در برگ توده‌های ورامین و همدان تفاوت معنی داری نداشت (به ترتیب ۰/۵۷٦ و ۰/۵۳٤ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) ولی به طور معنی داری بیشتر از اسیدآمینه کل در برگ توده شیروان بودند (۰/٤۲۷ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک). با افزایش غلظت آهن در محلول غذایی و کاربرد غلظت ۱۵ میلی گرم آهن در لیتر محلول غذایی، غلظت اسیدآمینه کل در برگ هر سه توده نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی داری داشت و اسیدآمینه کل در برگ توده ورامین (۰/۸۵۷ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) به طور معنی داری بیشتر از توده‌های شیروان و همدان بود (به ترتیب۰/٦۸۹ و ۰/۷٤ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک).

فنل کل: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد اثر مقدار غلظت آهن در محلول غذایی بر میزان فنل کل برگ اسفناج در سطح یک درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین اثر غلظت آهن در محلول غذایی بر فنل کل برگ اسفناج (شکل a ۲) نشان داد میزان فنل کل برگ در تیمار کمبود شدید آهن و پس از کاربرد ۳ میلی‌گرم آهن در هر لیتر محلول غذایی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.1.9]

جدول- ۳ تجزیه واریانس اثر غلظت آهن در محلول غذایی بر برخی شاخص‌های بیوشیمیایی برگ توده‌های اسفناج بومی ایران

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		پنتوز	هگزوزها	گلوکز	اسیدآمینه کل	اسپد	فنل
بلوک	۲	۱۱۶۸۸۲۸۰/۳۹**	۱۸۷۷۸۳۷۲۴/۰۶*	۴۱۹۶/۸۷۵**	۰/۰۰۱^{ns}	۲/۸۰۱^{ns}	۴۰۴۳۰۵/۲۴**
توده اسفناج	۲	۳۲۲۴۱۲۷/۵۴^{ns}	۱۰۰۲۶۸۳۱۴/۹۲^{ns}	۲۳۲۳/۴۴۱^{ns}	۰/۰۴۶**	۱۵/۵۹۲^{ns}	۱۶۸۳۳۲/۰۵^{ns}
سطح کود	۴	۱۴۴۸۰۵۴۴/۲۶**	۱۷۳۴۹۷۳۰۶/۰۰**	۳۲۴۹/۹۶**	۰/۲۸۸**	۳۴/۹۱۰*	۷۵۱۵۸۸/۶۴**
توده × سطح کود	۸	۶۳۱۰۱۸/۳۱^{ns}	۱۳۷۷۳۳۸۳/۴۹^{ns}	۳۱۱/۶۷^{ns}	۰/۰۱۳**	۱۴/۱۵۴^{ns}	۵۲۱۸۰/۹۶^{ns}
خطا	۲۸	۲۲۸۴۴۰۹/۷۱	۴۴۴۴۱۹۳۰/۱۷	۹۱۳/۷۵	۰/۰۰۳	۱۱/۵۷۵	۶۸۳۲۱/۳۴
ضریب تغییرات (٪)	–	۱۸/۶۸	۲۴/۴۰	۲۲/۵۶	۱۱/۶۸	۱۸/۵۴	۲۱/۴۰

** اختلاف معنی دار در سطح ۱٪ *اختلاف معنی دار در سطح ۵٪ n.s عدم اختلاف معنی دار

(۰/۹۶ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) با فنل برگ در تیمارهای ۶ و ۹ میلی‌گرم آهن در هر لیتر محلول غذایی تفاوت معنی داری نداشت (به ترتیب ۱/۰۹۵و ۱/۰۹۸ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) ولی به طور معنی داری کمتر از فنل کل برگ در تیمار شاهد و یا تیمار ۱۵ میلی‌گرم آهن بود. بیشترین میزان فنل کل در برگ در تیمار ۱۵ میلی‌گرم آهن وجود داشت (۱/۷۰ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) که به طور معنی‌داری بیشتر از فنل کل در برگ در تیمار شاهد و سایر غلظت های آهن بود.

کربوهیدرات‌های محلول: نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد اثر تیمار غلظت آهن در محلول غذایی بر میزان پنتوزها، هگزوزها و گلوکز برگ اسفناج در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. بررسی اثر غلظت آهن در محلول غذایی بر میزان کربوهیدرات‌های برگ اسفناج (شکل b ۲) نشان داد در تیمار ۹ میلی گرم آهن در لیتر محلول غذایی، میزان پنتوزها تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد (۱۲ میلی گرم آهن در لیتر) نداشت (به ترتیب ۷/۹۱ و ۹/۱۱ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) ولی با کاهش بیشتر غلظت آهن در محلول غذایی، غلظت پنتورها در برگ اسفناج کاهش معنی‌داری داشت و غلظت پنتوزها در تیمارهای ۶ و ۳ میلی‌گرم آهن در لیتر (به ترتیب ۷/۴۵ و ۷/۹۱ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) کاهش معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد و یا تیمار ۱۵ میلی‌گرم در لیتر آهن داشتند. پس از افزایش غلظت آهن و کاربرد غلظت ۱۵ میلی‌گرم آهن در لیتر محلول غذایی، غلظت پنتوزها با تیمار شاهد تفاوت معنی داری نداشت (به ترتیب ۹/۵۵ و ۶/۴۱ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک).

مقایسه میزان هگزوزها در برگ اسفناج پس از کاربرد غلظت‌های مختلف آهن در محلول غذایی (شکل c ۲) نشان داد تنها پس از تیمار کمبود شدید آهن در محلول غذایی و کاربرد ۳ میلی‌گرم آهن در لیتر، میزان هگزوزها به طور معنی داری کمتر از تیمار شاهد (۱۲ میلی گرم آهن در لیتر) و یا غلظت ۱۵ میلی گرم آهن در لیتر بود (۲۰/۸۱ درمقایسه با ۳۲/۲۲ و ۳۰/۴۳ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) ولی با میزان هگزوزها در تیمارهای ۶ و ۹ میلی گرم آهن در لیتر تفاوت معنی‌داری نداشت. میزان هگزوزها در سایر تیمارهای غلظت آهن تفاوت معنی‌داری نداشت.

بررسی اثر تیمار غلظت آهن بر میزان گلوکز در برگ اسفناج (شکل d ۲) نشان داد بیشترین میزان گلوکز در تیمار ۱۵ میلی‌گرم آهن در لیتر وجود داشت (۱۴۹/۵ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) که با میزان گلوکز در تیمار ۱۲ میلی‌گرم آهن در لیتر (شاهد) و یا غلظت‌های ۹ و ۶ میلی گرم آهن در لیتر (به ترتیب ۱۵۴/۰۹، ۱۲۹/۷۴ و ۱۳۰/۱۵ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) تفاوت معنی‌داری نداشت ولی به طور معنی‌داری

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.1.9]

جدول- ٤ اثر برهمکنش غلظت آهن در محلول غذایی بر غلظت آهن، شاخص سبزینگی و اسیدآمینه کل برگ اسفناج

	توده اسفناج		
	ورامین	شیروان	همدان
مقدار آهن (میلی‌گرم بر لیتر)	آهن دمبرگ (میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک)		
۳	۵۷/۷۳ b	۵۹/۷۷ ab	٤٦/۰۳ d
٦	۲۲/۲۷ i	٦۳/٦۰ a	۲۱/٤۷ i
۹	۲۹/٦۰ h	۲۹/٤۷ h	۵۷/۲۷ b
۱۲	٤۷/۳۷ ef	٦۰/۳۰ ab	۳٤/٤۷ fg
۱۵	۳۹/٦۰ e	۳۰/٤۰ gh	۵۱/۹۷ c
	آهن پهنک به کل برگ (میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک		
۳	۰/۵۹۳ ef	۰/٦۱۳ def	۰/٦۵۳ b-f
٦	۰/۷۷۳ abc	۰/٦۱۳ def	۰/۷۷۰ abc
۹	۰/۷۵۰ a-d	۰/٦۵٦ b-f	۰/۵٦۰ f
۱۲	۰/۷۳۳ a-e	۰/٦۳۳ c-f	۰/۷۹۰ ab
۱۵	۰/۷٦۳ abc	۰/۸۱۳ a	۰/۷۳٦ a-e
	نسبت آهن دمبرگ به کل برگ (میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک)		
۳	۰/٤۰٦ ab	۰/۳۸٦ abc	۰/۳٤٦ a-e
٦	۰/۲۲٦ def	۰/۳۸٦ abc	۰/۲۳۰ def
۹	۰/۲۵۰ cdef	۰/۳٤۳ a-e	۰/٤٤۰ a
۱۲	۰/۲٦٦ b-f	۰/۳٦٦ a-d	۰/۲۱۰ ef
۱۵	۰/۲۳٦ c-f	۰/۱۸٦ f	۰/۲٦۳ b-f
	اسید آمینه کل (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)		
۳	۰/۱۹۸ g	۰/۲٤۰ g	۰/٤۱۳ f
٦	۰/۳۸۵ f	۰/۳٤۳ f	۰/٤٤۱ def
۹	۰/٤۳٦ def	۰/٤۰۸ f	۰/۵۲۵ cde
۱۲	۰/۵۷٦ c	۰/٤۲۷ ef	۰/۵۳٤ cd
۱۵	۰/۸۵۷ a	۰/٦۸۹ b	۰/۷٤۰ b

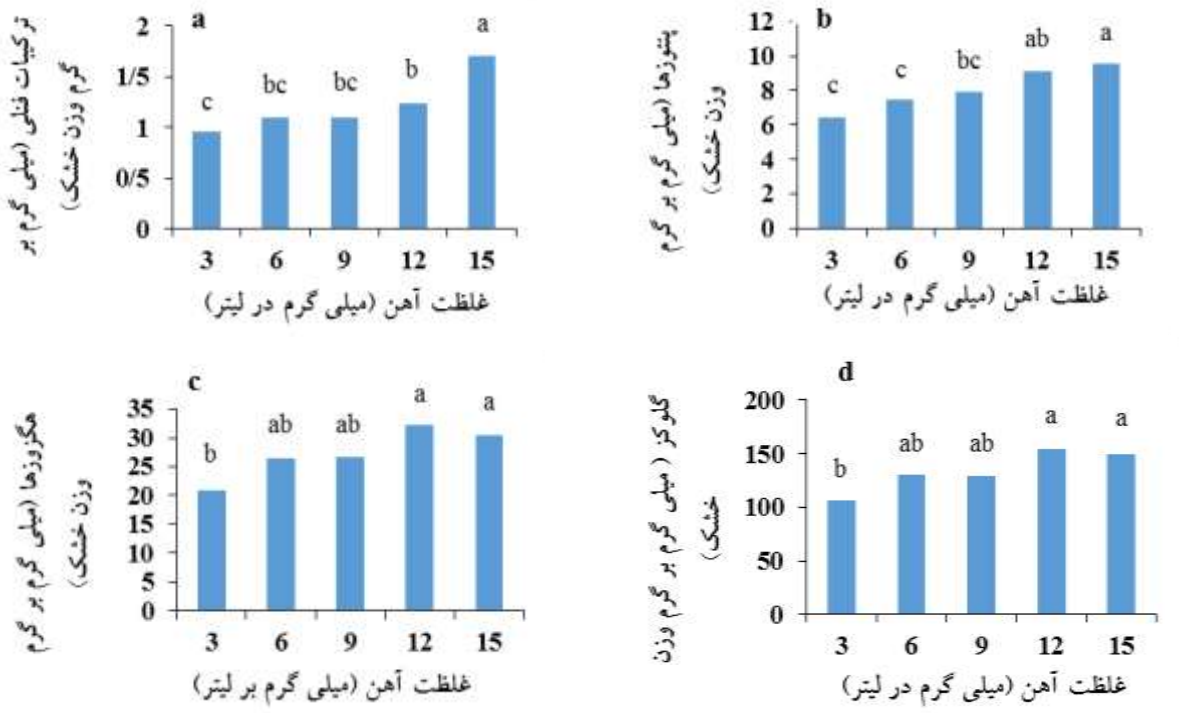
*در هر شاخص، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵٪ آزمون دانکن تفاوت معنی داری ندارند.

بیشتر از میزان گلوکز در تیمار ۳ میلی گرم در لیتر بود (۱۰٦/۳ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک). میزان گلوکز در سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نداشتند.

بررسی نتایج ضریب همبستگی صفات (جدول ۵) نشان داد غلظت آهن پهنک با غلظت آهن دمبرگ و آهن کل برگ، گلوکز، پنتوز، هگزوزها، ترکیبات فنلی و اسیدآمینه برگ همبستگی مثبت داشت. ولی غلظت آهن پهنک با نسبت آهن دمبرگ به کل برگ و همچنین نسبت آهن دمبرگ به پهنک همبستگی منفی داشت. غلظت آهن دمبرگ با گلوکز، پنتوز و هگزوزهای برگ رابطه مثبت ولی با ترکیبات فنلی و اسیدآمینه همبستگی منفی داشت. همچنین اسیدآمینه، ترکیبات فنلی، پنتوز، گلوکز و هگزوزها با آهن دمبرگ به کل برگ و آهن

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.1.9]



شکل ۲- اثر غلظت آهن محلول غذایی بر فنل کل (شکل a)، پنتوزها (شکل b)، هگزوزها (شکل c) و کربوهیدرات های محلول(شکل d) برگ اسفناج. *میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵٪ آزمون دانکن تفاوت معنی داری ندارند.

دمبرگ به کل برگ و آهن دمبرگ به پهنک همبستگی منفی نشان دادند. شاخص سبزینگی نیز با تمام صفات فوق به جزء اسیدآمینه، آهن پهنک به کل برگ و گلوکز همبستگی منفی نشان داد.

بحث

نتایج آزمایش حاضر در مورد مقایسه غلظت آهن در بخش‌های مختلف برگ برخی توده‌های اسفناج بومی ایران نشان داد تنها غلظت آهن دمبرگ در سه توده اسفناج بومی ایران تفاوت معنی‌داری داشتند و در توده شیروان غلظت آهن دمبرگ بیشتر از توده‌های همدان و ورامین بود (شکل ۱). اگرچه در مورد اثر مقدار کود آهن بر غلظت آهن در گیاهان اسفناج رشد یافته در بستر بدون خاک اطلاعات محدودی وجود دارد (Assimakopoulou, 2006) ولی در مورد مقایسه غلظت آهن در بخش‌های مختلف برگ اسفناج و یا آهن برگ ژنوتیپ‌های مختلف اسفناج در بستر بدون خاک گزارشی منتشر نگردیده است. عرفانی و همکاران (۱۳۸۵) وجود تفاوت معنی‌دار در غلظت آهن برگ هفت توده اسفناج ایرانی رشد یافته در مزرعه را گزارش داده و عنوان داشتند در توده خرم آباد، غلظت آهن برگ بیشتر از برخی توده‌های اسفناج ایرانی از جمله توده‌های شیروان و ورامین بود و در توده شیروان، غلظت آهن برگ به طور معنی‌داری بیشتر از توده ورامین بود. همچنین عدم وجود تفاوت معنی‌دار در غلظت آهن برگ ٤ توده اسفناج شامل ورامین-۱، ورامین-۲، شیروان و همدان (کمالی، ۱۳۹۲) و یا توده‌های شیروان، ورامین-۱، ورامین-۲ و ورامین-۳ در میان ۱٦ توده اسفناج یومی ایران (افتخاری و همکاران، ۱۳۹٤) گزارش گردیده است. به نظر می‌رسد بخشی از نتایج آزمایش حاضر در مورد تفاوت در غلظت آهن دمبرگ توده‌های اسفناج ناشی از تفاوت در ریخت‌شناسی دمبرگ اسفناج در توده‌های اسفناج بومی ایران باشد. افتخاری و همکاران (۱۳۸۹) وجود برخی تفاوت‌های ریخت شناسی برگ از جمله طول و قطر دمبرگ در ٤٥ توده اسفناج ایرانی را مورد تأیید قرار دادند. اگرچه در بیشتر مطالعات مربوط به اثر کودهای حاوی آهن، غلظت برگ اسفناج بررسی شده است (کمالی و همکاران،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.1.9]

جدول- ۵ همبستگی بین صفات مختلف اسفناج

	صفات	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
۱	آهن پهنک	۱										
۲	آهن دمبرگ	۰/۰۸۵	۱									
۳	آهن کل	۰/۹۲۹**	۰/٤٤۷*	۱								
٤	آهن پهنک به برگ	۰/٦۸٦**	-۰/٦۳۲**	۰/۳۸۲**	۱							
٥	آهن دمبرگ به برگ	-۰/٦۸٦**	۰/٦۳۲**	-۰/۳۸۲**	-۱/۰**	۱						
٦	اسپد	-۰/٦۹۱**	۰/٥۹۲**	-۰/٤۰۲**	-۰/۹۸۹**	۰/۹۸۹**	۱					
۷	اسیدآمینه	-۰/۱۷	-۰/۲۳٥	-۰/۲٤	۰/۰۸٦	-۰/۰۸٦	-۰/۰٦۸	۱				
۸	ترکیبات فنلی	۰/٤۰۱**	-۰/۲٤۹	۰/۲٦۸	۰/٤۲۲**	-۰/٤۲۲	-۰/۳۹۹**	۰/۰۷٤	۱			
۹	پنتوز	۰/٤۰۹**	-۰/۰۸۲	۰/۳۳۷*	۰/۳٥۲*	-۰/۳٥۲*	-۰/۳۷۱*	-۰/۰٤۸	۰/۱۷۸	۱		
۱۰	هگزوزها	۰/۲۸٦	۰/۰۰۱	۰/۲٥۷	۰/۲۲۷	-۰/۲۲۷	-۰/۲۳٤	-۰/۰۳۳	۰/۰۰۷	۰/۳٥٦	۱	
۱۱	گلوکز	۰/۱۳۲	۰/۰۷۸	۰/۱٤۸	۰/۰٤۹	-۰/۰٤۹	-۰/۰٤۹	-۰/۰۳۹	۰/۰۰٥	۰/۲٥۸	۰/۹۱٦**	۱

** و * به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

۱۳۹۰، Assimakopoulou, 2006) ولی نتایج آزمایش حاضر در مورد وجود تفاوت معنی دار در غلظت آهن دمبرگ توده‌های مورد استفاده در آزمایش حاضر و بالاتر بودن آهن در دمبرگ گیاهان توده شیروان نسبت به همدان، و ورامین (شکل ۱) و یا تفاوت در غلظت آهن در دمبرگ یا پهنک نسبت به آهن کل برگ در توده‌های شیروان، همدان و ورامین ناشی از تغییر غلظت آهن در محلول غذایی (جدول ۲) نشان دهنده ضرورت توجه به اندازه گیری آهن در دمبرگ و مقایسه آن با پهنک برگ به جای اندازه گیری آهن در کل برگ می‌باشد. در مطالعات انجام شده در مورد مصرف کود در سایر گیاهان مانند انگور، نیز آنالیز دمبرگ و پهنک به عنوان یک معیار مهم در تعیین آهن و سایر عناصر غذایی در برگ مورد استفاده قرار گرفته است (Bratasevec *et al.*, 2013; Diaz *et al.*, 2010).

همچنین نتایج آزمایش حاضر نشان داد افزایش ۲۵ درصد و یا کاهش ۲۵ تا ۷۵ درصد غلظت آهن در محلول غذایی کوپر نسبت به مقدار توصیه شده آهن در محلول غذایی (۱۲ میلی‌گرم در لیتر) بر غلظت آهن در قسمت‌های مختلف برگ اسفناج (شامل پهنک، دمبرگ و کل برگ) اثر معنی‌داری داشت (جدول ۱). واکنش گیاه اسفناج به نوع کود آهن و مقدار مصرف کود آهن در بستر خاک بررسی شده است (لادن مقدم و همکاران، ۲۰۱۲؛ وطنی و همکاران، ۲۰۱۲؛ کمالی، ۱۳۹۲) ولی در مورد واکنش گیاهان اسفناج رشد یافته در بستر بدون خاک به آهن گزارش‌های محدودی وجود دارد (Assimakopoulou, 2006). نتایج آزمایش حاضر نشان داد در شرایط تنش شدید کمبود آهن (۳ میلی‌گرم آهن در لیتر محلول غذایی)، غلظت آهن پهنک، دمبرگ و آهن کل برگ تفاوت معنی‌داری با شاهد (۱۲ میلی گرم آهن در لیتر محلول غذایی) نداشت (جدول ۲). احتمالاً یکی از دلایل این افزایش آهن در گیاهان تحت تنش کمبود آهن، تحریک فعالیت‌های فیزیولوژیکی دخالت کننده در جذب آهن می‌باشد. پیشنهاد گردیده در گیاهان دو لپه در شرایط کمبود آهن در محیط رشد، کاهش pH ریزوسفر به دلیل افزایش تولید و ترشح پروتون به خارج از ریشه و افزایش توانایی احیا آهن Fe^{3+} در سلول‌های ریشه ناشی از فعالیت آنزیم احیا کننده آهن (فریک ردوکتاز)

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.1.9]

انجام می‌شود و در نتیجه دسترسی به آهن از طریق تحرک بخشی مجدد ترکیبات حاوی آهن رسوب یافته در دیواره سلول یا آهن موجود در محیط رشد، امکان جذب آهن را افزایش می‌دهد (Hell, and Stephan, 2003). در گیاه اسفناج نیز وجود این مکانیسم احیا کننده آهن در شرایط تنش کمبود آهن در محیط رشد گزارش گردیده است (Assimakopoulou, 2006).

افزایش در فعالیت آنزیم احیاکننده آهن در ریشه‌های اسفناج در پاسخ به کمبود آهن در محلول غذایی و کاهش فعالیت آنزیم پس از افزایش غلظت آهن در محلول غذایی نیز گزارش گردیده است (Lee *et al*., 2016).

احتمالاً بخشی از این عدم تفاوت ناشی از برهمکنش غلظت زیاد آهن در محیط ریشه با سایر عناصر غذایی می‌باشد، زیرا پیشنهاد گردیده است تغذیه گیاهان با آهن می‌تواند به طور مستقیم یا غیر مستقیم توسط عناصر دیگر مانند نیتروژن در محیط رشد تحت تأثیر قرار گیرد. تغییر در غلظت عناصر غذایی در محیط ریشه و نسبت عناصر غذایی مختلف به دلیل تغییر نسبت کاتیون‌ها و آنیون‌ها، موجب تغییر در pH ریزوسفر و آپوپلاست گردیده و میزان و یا نسبت دریافت کاتیون‌ها و آنیون‌ها در ریشه نیز دچار تغییر می‌گردد (Mengel *et al*., 1994). Wallace و همکاران (۱۹۹۲) گزارش دادند تغییر نیتروژن (فرم آمونیمی) از طریق افزایش دریافت فسفر، موجب کاهش دریافت آهن گردید. به نظر می‌رسد در مطالعات بعدی مربوط به اثر ترکیبات حاوی آهن در گیاه اسفناج، اندازه‌گیری سایر عناصر نیز می‌تواند در تفسیر نتایج مربوط به اندازه‌گیری آهن مفید باشد. با توجه به اهمیت آهن در سلامتی انسان و اهمیت سبزی‌های برگی به عنوان یک منبع مهم آهن گیاهی، امکان استفاده از انواع ترکیبات آهن در بهبود وضعیت آهن در گیاه اسفناج مطالعات مختلفی انجام گردیده است (لادن مقدم و همکاران، ۲۰۱۲؛ وطنی و همکاران، ۲۰۱۲؛ کمالی، ۱۳۹۲). در آزمایش حاضر نیز امکان استفاده از روش افزایش غلظت آهن در محلول غذایی برای گیاهان اسفناج رشد یافته در محیط بدون خاک مورد بررسی قرار گرفت. با توجه نتایج آزمایش حاضر در مورد عدم افزایش معنی‌دار آهن برگ گیاهان سه توده اسفناج ایرانی در پاسخ به افزایش غلظت آهن در محیط رشد (جدول ۳)، به نظر می‌رسد برای افزایش غلظت آهن در برگ اسفناج در شرایط کشت بدون خاک امکان استفاده از روش‌هایی مانند محلول پاشی برگی و یا شناسایی ژنوتیپ‌های کارآمد در جذب آهن باید مورد مطالعه قرار گیرد. با توجه به وجود تنوع ژنتیکی قابل توجه در مورد گیاه اسفناج در ایران و شناسایی ۴۵ توده اسفناج از مناطق مختلف جغرافیایی ایران (افتخاری و همکاران، ۱۳۸۹)، یکی از روش‌های پیشنهادی در این زمینه بررسی پاسخ سایر توده‌های اسفناج بومی ایران به مقدار آهن در محلول غذایی می‌باشد. افتخاری و همکاران (۱۳۹٤) وجود تفاوت در جذب آهن برگ در ۱٦ توده اسفناج ایرانی رشد یافته در مزرعه بدون مصرف کود آهن را گزارش دادند.

نتایج آزمایش حاضر نشان داد تغییر غلظت آهن در محلول غذایی اثر معنی‌داری بر میزان اسید آمینه کل در گیاه اسفناج داشت (جدول ۳). در مورد اثر آهن بر اسیدآمینه کل گیاه اسفناج تاکنون گزارشی منتشر نگردیده است ولی در مورد اثر تیمار آهن بر میزان پروتئین گیاه اسفناج گزارش‌های محدودی منتشر گردیده است. در گیاهان اسفناج رشد یافته درمحلول غذایی حاوی آهن Fe-EDTA، افزایش پروتئین برگ در گیاهان اسفناج دارای کمبود آهن گزارش شده است (Jin *et al*., 2013). کمالی (۱۳۹۲) گزارش داد کاربرد کلات آهن و یا نانو کلات آهن اثر معنی‌داری بر میزان پروتئین برگ چهار توده اسفناج ایرانی نداشت. در آزمایش حاضر، احتمالاً یکی از دلایل اثر تیمار آهن بر غلظت اسیدآمینه کل در گیاه اسفناج، ناشی از تغییر در جذب نیتروژن پس از تغییر آهن در محیط رشد یا درون گیاه می‌باشد که به صورت غیر مستقیم موجب بروز تغییر در اسیدهای آمینه کل گردیده است. برهمکنش بین تغییر نیتروژن و آهن در محیط رشد را بر رشد رویشی و غلظت برخی عناصر غذایی مانند آهن در گیاه اسفناج مورد مطالعه قرار گرفته است (Assimakopoulou, 2006). یکی از مکانیسم‌های پیشنهادی در مورد ارتباط آهن و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.1.9]

نیتروژن، اثر غلظت آهن در محیط رشد بر فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز در ریشه گیاهان می‌باشد. اثر کمبود آهن بر فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز در توت فرنگی (نادی و حیدری، ۱۳۹۱) فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز و یا غلظت نیترات در برگ و ریشه ژنوتیپ‌های پسته (نادی، ۱۳۹۱) و ریشه دو گونه ذغال اخته آبی (گونه‌های *Vaccinium arboreum* و *V. corymbosum*) گزارش شده است (Darnell and Hiss, 2006). پیشنهاد شده فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز و یا به عبارت دیگر توانایی احیا نیترات در گیاهان تحت تأثیر میزان نیترات در سیتوپلاسم، پروتئین نیترات ردوکتاز و همچنین قابلیت دسترسی به کوفاکتورها (مانند هم و FAD) و یا یون های فلزی مانند آهن و مولیبدن قرار می‌گیرد. همچنین پیشنهاد شده آنزیم نیترات ردوکتاز می‌تواند یکی از آنزیم‌هایی است که در احیا آهن مشارکت داشته باشد زیرا فرآیند احیا NADH ferric citrate را انجام می‌دهد (Campbell, 1999).

نتایج آزمایش حاضر نشان داد مقدار آهن اثر معنی‌داری بر شاخص سبزینگی در گیاه اسفناج داشت (جدول ۳). بیشترین شاخص سبزینگی در تیمار ٦ میلی‌گرم در لیتر کود آهن وجود داشت و در غلظت‌های بالاتر و پایینتر آهن، شاخص سبزینگی کاهش یافت. به نظر می‌رسد که این افزایش میتواند ناشی از نقش عملکردی آهن در فعالسازی پروتئین سنتتازهای مسیر بیوسنتز کلروفیل و برخی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند آسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز در مسیر حفاظت از تخریب کلروفیل توسط رادیکال‌های فعال اکسیژن باشد (Taiz and Zeiger, 2006). در آزمایش حاضر با افزایش مقدار آهن میزان هگزوزها افزایش یافت. احتمالاً این افزایش مربوط به نقش آهن در فتوسنتز و تولید کربوهیدرات‌ها می‌باشد. آهن در فرآیند فتوسنتز در واکنش‌های اکسیداسیون و احیا به واسطه حضور پروتئین‌های حاوی آن از قبیل سیتوکروم‌ها و فرودکسین‌ها نقش دارد. سیتوکروم‌ها از شناخته‌ترین پروتئین‌های هم هستند که در واکنش‌های اکسیداسیون و احیا در کلروپلاست‌ها و میتوکندری‌ها نقش داشته و به عنوان گروه‌های دهنده – گیرنده الکترون در واکنش‌های فتوسنتز و تنفس شرکت می‌کنند. فرودکسین‌ها مهم‌ترین پروتئین‌های حاوی آهن – گوگرد هستند که در تولید ATP و NADPH در فتوسنتز به عنوان جابجا کننده الکترون نقش دارند. در اثر کمبود آهن، انتقال الکترون فتوسنتزی کاهش یافته که این امر موجب کاهش تثبیت دی‌اکسید کربن و کاهش غلظت نشاسته و کربوهیدرات‌های محلول در گیاهان در طی دوره رشد رویشی می‌شود. علاوه بر این آهن در متابولیسم RNA کلروپلاست نقش دارد، که منجر به افزایش در بیوسنتز مواد (تولید و انباشته) می‌شود (Taiz and Zeiger, 2006، هورست، ۱۳۸۰).

نتایج آزمایش حاضر نشان داد اثر کمبود آهن بر کاهش فنل کل در برگ اسفناج معنی‌دار بود (شکل ۲a). میزان ترکیبات فنلی در توده‌های اسفناج بومی ایران (عرفانی و همکاران، ۱۳۸۵، افتخاری و همکاران، ۱۳۹٤) و ارقام خارجی اسفناج (Howard *et al*., 2002) مورد بررسی قرار گرفته است. ولی در مورد اثر تیمار آهن بر میزان ترکیبات فنلی گیاه اسفناج گزارش‌های محدودی وجود دارد. کمالی (۱۳۹۲) نیز اثر معنی دار کودهای کلات آهن و نانوکلات آهن بر میزان فنل کل در چهار توده اسفناج ایرانی شامل ورامین-۱، ورامین-۲، شیروان و همدان را گزارش دادند. همچنین تغییرات میزان فنل کل در برگ و دمبرگ گیاهان اسفناج رشد یافته در محلول غذایی حاوی آهن Fe-EDTA گزارش گردیده است (Jin *et al*., 2013). با توجه به وجود تفاوت معنی‌دار در میزان آهن و همچنین میزان ترکیبات فنلی در گیاه اسفناج پیشنهاد می‌شود این موضوع در مطالعات بعدی مورد توجه قرار گیرد. همچنین با توجه به اینکه پیشنهاد گردیده است علاوه بر خصوصیات ژنتیکی، شرایط محیط رشد در تشکیل متابولیت‌های ثانویه از جمله ترکیبات فنولی نقش مهم دارد (Wu *et al*., 2005)، تفاوت در میزان ترکیبات فنلی اسفناج بر اثر تیمار غلظت‌های آهن، نشاندهنده دخالت آهن بر تولید ترکیبات فنلی در گیاه اسفناج می‌باشد. با توجه به افزایش اهمیت ترکیبات فنولی بر سلامتی مصرف‌کنندگان و ارتباط آن با خاصیت آنتی‌اکسیدانتی (Prior *et al*., 2005) و پیشنهاد وجود ارتباط بین میزان ترکیبات فنلی و مقاومت به بیماری‌ها و تحمل تنش‌های

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.1.9]

محیطی در اسفناج (Howard *et al*., 2002) به نظر می‌رسد بررسی تغییر ترکیبات آنتی اکسیدانتی و ترکیبات فنلی در مطالعات مربوط به اثر کودهای حاوی آهن دراسفناج نیز به عنوان یکی از معیارهای مهم در نظر گرفته شود.

نتیجه گیری

نتایج آزمایش حاضر نشان داد تغییر غلظت آهن در محلول غذایی بر میزان تجمع آهن در پهنک و دمبرگ گیاه اسفناج تأثیر می‌گذارد و میزان آهن در دمبرگ توده شیروان به طور معنی‌داری بیشتر از آهن دمبرگ در توده‌های ورامین ۸۸ و همدان بود. پیشنهاد می‌گردد قبل از تولید تجاری اسفناج در کشت بدون خاک، واکنش ارقام به غلظت آهن در محلول غذایی مورد نظر بررسی شود زیرا افزایش میزان کلروفیل، کارتنوئید، کربوهیدرات‌های محلول و اسیدهای آمینه با انتخاب تیمار آهن مناسب می‌تواند باعث بهبود کیفیت و ارزش تغذیه‌ای در گیاه اسفناج شود. نتایج آزمایش حاضر در اثر غلظت آهن در محلول غذایی بر شاخص‌های بیوشیمیایی اسفناج مورد می‌تواند در کسب اطلاعات بیشتر در مورد نحوه تجمع صفات کیفی در اسفناج و یا روشن شدن عوامل ژنتیکی کنترل کننده این صفات در توده‌های اسفناج ایران مفید باشد. همچنین می‌توان با کشت در بسترهای بدون خاک، توده‌های اسفناج ایرانی که آهن بیشتری در بخش‌های رویشی تجمع می‌دهند را شناسایی نموده و در برنامه‌های بهنژادی مربوط به معرفی ارقام اسفناج با توانایی تجمع بیشتر آهن مورد استفاده قرار داد.

منابع

افتخاری، س. ع.، حسندخت، م.، فتاحی مقدم، م. و کاشی، ع. (۱۳۸۹) تنوع ژنتیکی توده‌های اسفناج بومی ایران (*Spinacia oleracea* L.) با استفاده از صفات مورفولوژیک. مجله علوم باغبانی ایران ۴۱: ۹۳-۸۳.

افتخاری، س. ع.، حیدری، م. و عازمی، م. الف. (۱۳۹۴) ارزش غذایی توده‌های گزینش شده اسفناج بومی ایران. طرح پژوهشی دانشکده کشاورزی. دانشگاه شهید چمران اهواز.

حسندخت، م. و اسدی، ح. (۱۳۸۶) بررسی تنوع ژنتیکی توده‌های بومی اسفناج ایرانی. مجله علوم کشاورزی ایران. ۳۸: ۲۷۵-۲۶۵.

هورست، م. (۱۳۸۰) تغذیه معدنی گیاهان عالی. ترجمه خلدبرین، ب. و اسلام زاده، ط. انتشارات دانشگاه شیراز، شیراز.

شهبازی، ک. و بشارتی، ح. (۱۳۹۲) بررسی اجمالی وضعیت حاصلخیزی خاک‌های کشاورزی ایران. نشریه مدیریت اراضی. ۱: ۱۵-۱.

عرفانی، ف.، حسندخت، م.، برزگر، م. و جباری، ع. (۱۳۸۵) تعیین و مقایسه برخی از مواد مغذی هفت رقم اسفناج ایرانی. مجله علوم و صنایع غذایی ۳: ۳۴-۲۷.

کمالی، م. (۱۳۹۲) کاربرد کود آهن بر تجمع آهن در برخی توده‌های اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) بومی ایران. پایان نامه کارشناسی ارشد باغبانی. دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

نادی، ر. و حیدری، م. (۱۳۹۱) اثرکمبود آهن بر فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز در توت فرنگی رقم "کامارازو". اولین همایش ملی کشاورزی در شرایط محیطی دشوار. دانشگاه آزاد اسلامی رامهرمز، ایران.

نادی، ر. (۱۳۹۱) اثر کمبود آهن بر فعالیت آنزیم‌های فریک ردوکتاز (Iron Chelate Reductase) و نیترات ردوکتاز (Nitrate Reductase) در پایه‌های پسته (*Pistacia* sp.). پایان نامه کارشناسی ارشد باغبانی. دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان، خوزستان، ایران.

نجفی، ن. و پارسازاده، م. (۱۳۹۰) اثر شکل نیتروژن و pH محلول غذایی بر تغییرات pH وEC ریزوسفر اسفناج در کشت هیدروپونیک. مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. ۵: ۴۳-۲۹.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.1.9]

نجفی، ن.، پارسازاده، م.، طباطبایی، س. ج. و اوستان، ش. (۱۳۸۹) اثر pH و شکل نیتروژن محلول غذایی بر جذب آهن، روی، مس و منگنز بوسیله اسفناج در کشت هیدروپونیک. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۲: ۲۹۵-۲۸۳.

Assimakopoulou, A. (2006) Effect of iron supply and nitrogen form on growth, nutritional status and ferric reducing activity of spinach in nutrient solution culture. Scientia Horticulturae 110: 21-29.

Bratasevec, K., Sivilitti, P. and Vidopivec, B. M. (2010) Soil and foliar fertilization affects mineral content in *Vitis vinifera* L. cv. Rebula leaves. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 13: 650- 663.

Campbell, W. H. (1999) Nitrate reductase structure, function and regulation: Bridging the gap between biochemistry and physiology. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 50: 277–303.

Carder, P. A. (2010) Microbial communities of spinach at various stages of plant growth from seed to maturity. M. Sc. Thesis. Virginia State University. USA.

Darnell, R. L. and Hiss, S. A. (2006) Uptake and assimilation of nitrate and iron in two *Vaccinium* species as affected by external nitrate concentration. Journal of the American Society for Horticultural Science 131: 5-10.

Diaz, I., Barron, V., Del Campillo, M. C. and Torrent, J. (2010) Testing the ability of vivante to prevent iron deficiency in pot-grown grapevine. Science Horticulturae 123: 464-468.

Dubois, M., Gilles, P., Hamilton, A., Rebers, S. and Smith, F. (1956) Colorimetric metod for determination of sugars and related substances. Analytical Chemistry 28:350-356.

F.A.O. (2014) FAO statistics. http://www.fao.org.

Fageria, N. K., Baligar, V. C. and Clark, R. B. (2002) Micronutrients in crop production. Advances in Agronomy 77:185–268.

Hell, R. and Stephan, U. W. (2003) Iron uptake, trafficking and homeostasis in plants. Planta 216: 541-551.

Howard, L. R., Pandjaitan, N., Morelock, T. and Gill, M. I. (2002) Antioxidant capacity and phenolic content of spinach as affected by genetics and growing season. Journal of Agricultural and Food Chemistry 50: 5891-5896.

Hussain Shah, A., Muhammad, S., Hussain Shah, S., Shamsul, M. and Rehman, M. (2009) Comparison of two nutrient solution recipes for growing spinach crop in a non-circulating hydroponic system. Sarhad Journal Agriculture 25: 405-418.

Jin, C. W., Liu, Y., Mao, Q. Q., Wang, Q. and Du, S. T. (2013) Mild Fe-deficiency improves biomass production and quality of hydroponic-cultivated spinach plants (*Spinacia oleracea* L.). Food Chemistry 138: 2188-2194.

Ladan Moghadam, A., Vattani, H., Baghaei, N. and Keshavarz, N. (2012) Effect of different levels of fertilizer nano-iron chelates on growth and yield characteristics of two varieties of Spinach (*Spinacia oleracea* L.): varamin 88 and viroflay. Research Applied Science, Engineering, and Technology 4:4813-4818.

Lee, S., Oh, M. and Park, S. (2016) Ferric-chelate reductase activity is a limiting factor in iron uptake in spinach and kale roots. Horticulture, Environment, and Biotechnology 57: 462-469.

Lindsay, W. L. and Norvell, W. A. (1978) Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Science Society of America Journal 42: 421-428.

Mengel, K., Planker, R. and Hoffman, B. (1994) Relationship between leaf apoplast pH and Fe chlorosis of sunflowers (*Helianthus annus* L.). Journal of Plant Nutrition 17: 1053-1064.

Prior, R. L., Wu, X. and Schaich, K. (2005) Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. Journal of Agricultural and Food Chemistry 53: 4290-4302.

Ravindranath, M. H. (1981) Manual research methods for crustacean biochemistry and physiology. Special Publications 7:10-20.

Taiz, L. and Zeiger, E. (2006) Plant Physiology. Sinaur Associates Inc, Sunderland.

Vattani, H., Keshavarz, N. and Baghaei, N. (2012) Effect of sprayed soluble different levels of iron chelate nano fertilizer on nutrient uptake efficiency in two varieties of spinach (Varamin88 and Virofly). International Research Journal of Applied and Basic Sciences 3: 2651-2656.

Wallace, A., Wallace, G. A. and Cha, J. W. (1992) Some modifications in trace metal toxicities and deficiencies n plants resulting from interactions with other elements and chelating agents. The special case of Fe. Journal of Plant Nutrition 15: 1589-1598.

Waterhouse, A. L. (2002) Polyphenolics: Determination of total phenolics. In: Current Protocols in Food Analytical Chemistry (ed.Wrolstad, R. E) Pp: 1-4. John Wiley and Sons, Incorporated, New York.

Welch, R. M. (2002) The impact of mineral nutrients in food crops on global human health. Plant and Soil 247: 83- 90.

Wu, H., Li, L., Du, J., Yuan, Y., Cheng, X. and Ling, H. Q. (2005) Molecular and biochemical characterization of the Fe (III) chelate reductase gene family in *Arabidopsis thaliana*. Plant and Cell Physiology 46:1505-1514.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.1.9]

Effect of different iron concentrations on iron content of leaf and qualitative indicators of the landraces of Spinach (*Spinacia oleracea* L.) indigenous to iran grown in soilless culture

Homeyra Jamalpoor Birgani [1], Seyyed Abdullah Eftekhari [2], and Mokhtar Heidari [3]

[1]Department of Horiculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Khuzestan, Iran.
[2]Department of Horiculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Khuzestan, Iran.
[3]Department of Horiculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Khuzestan, Iran.
(Received: 19/04/2016, Accepted: 80/05/2018)

Abstract

Spinach landraces are cultivated in temprate regions to subtropicals in Iran. However, iron content in the different parts of leaf in Iranian spinach landraces have not been investigated in detail. This study has been conducted to evaluate the effect of different levels of iron (3, 6, 12 and 15 mg. L^{-1} Fe form Fe-EDTA) on iron content in blade and petiol, SPAD index, total phenolics, total amino acids and soluble carbohydrates in leaves of three spinach land races (‘Hamedan’, ‘Shirvan’, ‘Varamin-88’). Spinach plants were grown on cocopeat+ perlite (4:1) and Copper nutrient solution was used. Results showed that the content of Fe in petiol, blade and whole of leaf were significantly affected by concentration of Iron in nutrient solution. ‘Shirvan’ showed higher Fe content in petiol (48.7 mg. Kg^{-1}) than the Fe content in petiols of ‘Varamin-88’ and ‘Hamedan’ (37.33 and 42.24 mg. Kg^{-1}, respectively). The content of total amino acids, total phenolics, pentoses, hexoses and total soluble carbohydrates in leaf were reduced significantly by the lowered iron treatments. With respect to the contents of Fe in petiol and/or blade and biochemical characteristics, it was found that the quality of spinach was significantly affected by the iron treatments. Also, results showed that soil-less culture is a suitable method to investigate the effect of different iron concentrations on biochemical characteristics and quality of spinach.

Key words: Spinach, Vegetable, Biochemicla characteristics, Deficiency, Ion
.

Corresponding author, Email: eftekhari@scu.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-25]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.32.1.9]