اثر سطوح مختلف کلات آهن بر رشد و فیزیولوژی خیار گلخانه‌ای در سطوح مختلف اسیدیته محلول غذایی

مریم حقیقی* و صابر محمدنیا

گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۷/۲۹، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۴/۱۲/۱۲)

چکیده

از عوامل کنترل‌کننده جذب آهن، اسیدیته بستر یا محلول غذایی می‌باشد که در طی رشد و مصرف محلول غذایی اسیدیته تغییر کرده و بر جذب آهن اثر می‌گذارد. به‌منظور بررسی اثر سطوح مختلف اسیدیته محلول غذایی و غلظت‌های مختلف آهن بر خصوصیات رویشی و فتوسنتزی گیاه خیار رقم N3 این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه سطح اسیدیته شامل ۵،۷ و ۸ به ترتیب به‌عنوان اسیدی، خنثی و قلیایی و غلظت‌های مختلف آهن شامل ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد آهن در محلول جانسون با سه تکرار در گلخانه دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که با اسیدی شدن محلول غذایی نسبت به شرایط خنثی و قلیایی هدایت روزنه‌ای و تنفس گیاه کاهش معنی‌داری داشت و فتوسنتز و میزان فنول شاخساره و ریشه در شرایط اسیدی نسبت به سایر اسیدیته های محلول غذایی افزایش نشان داد. بیشترین هدایت روزنه‌ای و تنفس با کاربرد ۲۵ درصد آهن و فتوسنتز در تیمار ۱۰۰ درصد آهن مشاهده شد. نتایج برهمکنش آهن و اسیدیته نشان داد که شرایط قلیایی محلول غذایی باعث کاهش فنول شاخساره و فتوسنتز گیاه شده و کاربرد درصدهای بالاتر آهن این شاخص‌ها را افزایش داد. نتایج آزمایش حاضر نشان داد که می‌توان با اسیدی کردن محلول غذایی و یا با کاربرد آهن با درصدهای بیشتر از خسارت ناشی از قلیایی شدن تدریجی محلول غذایی در خیار را کاهش داد. البته نیاز به آزمایش‌های بیشتری در گیاهان مختلف می‌باشد.

کلمات کلیدی: آهن، فتوسنتز، فنول، قلیایی

مقدمه

کیفیت آب‌وخاک یک فاکتور مهم در تولید سبزی می‌باشد به دلیل اینکه می‌تواند رشد گیاهان را محدود کند. اسیدیته خاک و آب در بین شاخص‌های مؤثر در تولید گیاهان و ازجمله سبزی‌ها از فاکتورهای مهم است که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر تولید گیاهان و کیفیت آن‌ها تأثیر می‌گذارد (Roosta, 2011). قلیایی بودن آب باعث افزایش اسیدیته خاک در حد سطوح بالا می‌شود که برای گیاه و از طرفی باعث تجمع کربنات و بی‌کربنات در محیط کشت می‌شود (Whipker, 2007). شرایط قلیایی مانند سایر تنش‌ها شاخص های فتوسنتزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و باعث کاهش فتوسنتز در کاهو می‌شود. قلیایی بودن خاک سبب شوری، تجمع املاح، جلوگیری از جذب آب کافی توسط ریشه، جلوگیری از جذب عناصر غذایی خصوصاً عناصر کم‌مصرف و در نتیجه بروز علائم کمبود آنها، کاهش رشد، عملکرد و کیفیت محصولات می‌شود (شریفی و همکاران، ۱۳۹۱). قلیایی بودن خاک و محلول غذایی سبب زردی برگ‌های جوان از طریق کاهش میزان کلروفیل و توقف رشد گیاهان می‌شود

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: mhaghighi@cc.iut.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.3.8]

(Lucena, 2000). علت زردی برگ در محیط‌های قلیایی را می‌توان به دلیل کمبود آهن در اثر کمبود جذب آهن یا عدم دسترسی آهن در محیط‌های قلیایی دانست (Roosta, 2011).

آهن یک عنصر ضروری کم‌مصرف که چهارمین عنصر فراوان در پوسته زمین می‌باشد و میزان آن در خاک ۱ تا ۲۰ درصد و در گیاه ۰/۰۰۵ درصد ماه خشک گیاه است (Barton and Abadia, 2006). آهن وظایف فیزیولوژیکی مهمی از قبیل حضور در سیستم‌های آنزیمی و ساختاری هم می‌باشد و در صورت کمبود آهن ساخت کلروفیل دچار نقص می‌شود (سالاردینی و مجتهدی، ۱۳٦۷). همه آهن موجود در خاک در دسترس گیاه قرار نمی‌گیرد و بستگی به عوامل مختلفی از قبیل اسیدیته محیط رشد دارد (Wallace *et al.*, 1980). در خاک‌های آهکی و قلیایی مناطق خشک و نیمه‌خشک علائم کمبود آهن به‌صورت زردی برگ در گیاهان باغی و غلات قابل‌مشاهده است (کیانی و عبدل‌زاده، ۱۳۹۱). کمبود آهن باعث کاهش نرخ فتوسنتز از طریق کاهش تعداد واحدهای فتوسنتزی می‌شود (Terry and Abadía, 1986). ترشحات ریشه به‌عنوان موادی که به‌وسیله ریشه سالم و دست‌نخورده از گیاه به محیط کشت خارج می‌کند تعریف می‌شود. برخی از این مواد به‌خصوص مواد فنولی بر رشد، توسعه گیاه و میکروارگانیسم‌های خاک مؤثر است (Barcelo and Poschenrieder, 2002). مواد فنولی یکی ترکیبات شیمیایی مترشحه ریشه می‌باشد که حلالیت آهن، فسفر و سایر عناصر غذایی از منابع غیرقابل‌دسترس را برای جذب به‌وسیله گیاه فراهم می‌کنند و زمانی که گیاهان در شرایط کمبود آهن هستند با ترشح مواد فنولی بر تحرک آهن و فسفر اثر می‌گذارند (Felix and Donald, 2002).

در مناطقی که آب یا خاک حالت قلیایی دارد از اسید به‌طور صحیح برای کاهش اسیدیته محلول غذایی تا میزان ۵ می‌تواند روش مناسبی باشد (Roosta, 2011). با اسیدی کردن آب آبیاری و یا محیط کشت و خنثی کردن قلیاییت خاک باعث افزایش حلالیت آهن، منگنز، روی، مس و آلومینیوم و درنتیجه افزایش جذب آهن می‌شود (شریفی و گیتی، ۱۳۹۱). آبیاری گیاهان با آب اسیدی شده و قلیایت تقلیل یافته، غلظت یون‌های کربنات و بی‌کربنات را کاهش داده و درنتیجه ریشه قادر خواهد بود آب و عناصر غذایی را جذب کند (Hannan, 1997).

در اکثر مناطق خیار به‌صورت گلخانه‌ای کشت‌شده و با آب شهری یا چاه آبیاری می‌شود که اسیدیته محلول غذایی را تحت تأثیر قرار داده و بر جذب آهن و تغییرات فیزیولوژیکی حاصله اثر می‌گذارد. از طرفی با جذب میزان عناصر غذایی در طول رشد در سیستم‌های مختلف هیدروپونیک میزان آهن و اسیدیته محلول غذایی تغییر می‌کند این تغییرات در فاز رویشی گیاه که ریشه در حال شکل‌گیری و رشد رویشی سریع است بیشتر مشاهده می‌شود لذا در این آزمایش به بررسی اثر سطوح مختلف اسیدیته و غلظت‌های مختلف آهن بر شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیکی خیار در شرایط گلخانه انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر سطوح مختلف اسیدیته بر جذب غلظت‌های مختلف آهن بر خصوصیات رویشی، فتوسنتزی و فنول گیاه خیار (*Cucumis sativus*) رقم سوپر N3، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در بهار و تابستان ۹۲ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سطوح مختلف اسیدیته ۵ (اسیدی)، ۷ (خنثی) و اسیدیته ۸ به‌عنوان شرایط قلیایی و سطوح مختلف آهن شامل ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد آهن (کلات آهن) موجود (۲/۳ میلی‌گرم در لیتر) در محلول جانسون با سه تکرار بود. محلول جانسون نیز به‌صورت نیتروژن ۱۰۵، فسفر ۳۳، پتاسیم ۱۳۸، کلسیم ۸۵، منیزیم ۲۵، گوگرد ۳۳ میلی‌گرم در لیتر و عناصر کم‌مصرف شامل بر ۰/۲۳، مس ۰/۰۱، منگنز ۰/۲٦، مولیبدن ۰/۰۰۷ و روی ۰/۰۲٤ میلی‌گرم در لیتر آماده شد. بذرهای خیار رقم سوپر N3 در گلدان‌های ۳ کیلوگرمی حاوی ماسه کشت شدند. پس از استقرار کامل گیاهان تیمارهای pH و آهن اعمال شد. برای کاهش اسیدیته محلول غذایی از اسیدکلریدریک یک میلی مولار و برای افزایش اسیدیته محلول غذایی از هیدروکسید پتاسیم ٤ نرمال استفاده

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.3.8]

شد. گلدان‌ها به‌صورت یک روز در میان با ٦٠ سی‌سی از محلول جانسون طبق تیمارهای ذکرشده تغذیه می‌شدند.

میزان سبزینگی برگ‌ها با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر (SPAD-502, Minolta Corp., Ramsey, NJ, USA) در هفته آخر آزمایش اندازه‌گیری شد. همچنین نرخ فتوسنتز ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$)، ضریب هدایتی روزنه‌ها ($mol\ m^{-2}\ s^{-1}$) و CO_2 درون روزنه‌ای (μmol) با فتوسنتزمتر (Li-Cor, Li-3000, USA) اندازه‌گیری شدند.

پس از اتمام آزمایش یعنی شروع گلدهی گیاهان از گلدان خارج‌شده و طول ساقه و ریشه با خط کش و حجم ریشه با کمک استوانه مدرج اندازه‌گیری شد. سپس شاخساره و ریشه از محل طوقه جدا و با کمک ترازوی دیجیتال وزن شد و برای اندازه‌گیری وزن خشک در آون دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ٤٨ ساعت قرار داده شد و مجدداً با کمک ترازو وزن شد. اندازه‌گیری میزان فنول کل شاخساره با استفاده از فولین کالتیو براساس روش مک‌دونالد و همکاران (۱۵) بر اساس میزان گالیک‌اسید در هر گرم وزن تازه شاخساره با استفاده از اسپکتروفتومتر (V-530, JASCO, Japan) با طول‌موج ٧٦٥ نانومتر اندازه‌گیری شد. میزان فنول مترشحه ریشه (root exudates) براساس روش Jin و همکاران (٢٠٠٦) صورت گرفت، بدین‌صورت که ریشه گیاه به مدت ٤ ساعت در آب مقطر قرار داده‌شده و هوادهی در آن صورت گرفته پس از خروج عصاره ریشه میزان فنول در آن اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگ‌های گیاه خیار، به ۰/۲ گرم از بافت تازه ده میلی‌لیتر متانول اضافه گردید و سپس سانتریفیوژ گردید و به ۵۰ میکرولیتر عصاره متانولی به ۹۵۰ میکرولیتر محلول DPPH اضافه‌شده و سپس در دمای اتاق به مدت ۱۵ دقیقه در شرایط تاریکی نگه‌داری گردید. کاهش در جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۵۱۵ نانومتر تعیین گردید (Koleva *et al.*, 2002).

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

$DPPH_{sc}$ درصد بازدارندگی، A_{samp} میزان جذب (نمونه+DPPH) و A_{cont} میزان جذب DPPH.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد و تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Statistix8 و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵ درصد انجام شد.

نتایج

نتایج نشان داد حجم ریشه، قطر ساقه، وزن‌تر ساقه و ریشه و همچنین وزن خشک‌ریشه از نظر آماری تحت تأثیر شرایط اسیدیته محلول غذایی قرار نگرفتند. طول ساقه در شرایط قلیایی محلول غذایی نسبت به شرایط خنثی و اسیدی کاهش معنی‌داری را نشان داد. وزن خشک و تر ساقه در شرایط اسیدی نسبت به شرایط خنثی افزایش و در شرایط قلیایی نسبت به شرایط خنثی کاهش داشت، وزن‌تر ریشه در شرایط خنثی بیش از شرایط اسیدی و قلیایی محلول غذایی بود (جدول ۱).

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که فعالیت فتوسنتز تحت تأثیر سطوح مختلف اسیدیته محلول غذایی قرار نگرفت اما بر کلیه فاکتورهای فتوسنتزی و فنول شاخساره و مترشحه از ریشه تغییرات معنی‌داری داشت (داده‌ها نشان داده نشده است). هدایت روزنه‌ای و تنفس گیاه در محلول غذایی اسیدی نسبت به شرایط خنثی کاهش معنی‌داری و شرایط قلیایی افزایش معنی‌دار را نشان داد. کلروفیل در محلول غذایی قلیایی کاهش یافت. فتوسنتز گیاه در شرایط اسیدی و قلیایی محلول غذایی کاهش معنی‌داری را نسبت به شرایط خنثی داشت و بیشترین فتوسنتز در شرایط خنثی مشاهده شد. فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای کلروفیل گیاه تحت تأثیر اسیدیته محلول غذایی قرار نگرفت. فنول شاخساره در شرایط اسیدی نسبت به شرایط خنثی افزایش معنی‌دار و در شرایط قلیایی محلول غذایی نسبت به شرایط خنثی کاهش داشت (جدول ۲).

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که کلیه فاکتورهای فتوسنتزی، کلروفیل، و فنول شاخساره و مترشحه از ریشه تغییرات معنی‌داری داشت. هدایت روزنه‌ای و تنفس، فتوسنتز و کلروفیل به ترتیب به ترتیب با کاهش آهن محلول غذایی به ۵۰ و ۲۵ درصد کاهش یافت. فعالیت آنتی‌اکسیدانی و فنول ریشه با

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.3.8]

جدول ۱- اثرات اصلی سطوح مختلف اسیدیته بر شاخص‌های رشدی گیاه خیار

اسیدیته	وزن خشک‌ریشه (gr)	وزن خشک ساقه (gr)	قطر ساقه (mm)	وزن‌تر ریشه (gr)	وزن‌تر ساقه (gr)	حجم ریشه (mL)
اسیدی	۰/۲ a	۵ /۶ a	۱/۸۸ a	۷/۵ b	۲۸/۲ a	۱/۵۰ a
خنثی	۰/۲ a	٤ /۳ b	۱/۷۰ a	۹/٦ a	۲۳/۸ b	۱/٦۰ a
قلیایی	۰/۲ a	۲ /۱ c	۱/٦٦ a	۸/۱ b	۲۳/۵ b	۱/۱٦ a

†در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند

جدول ۲- اثرات اصلی سطوح مختلف اسیدیته بر شاخص‌های فتوسنتزی، فنول و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه خیار

اسیدیته	هدایت روزنه ($molm^{-2}\ s^{-1}$)	تنفس ($m^{-2}s^{-1}$ mmol)	فتوسنتز $\mu mol\ m^{-2}$ (s^{-1})	کارایی مصرف آب فتوسنتزی ($\mu mol\ CO_2.mol\ H_2O^{-1}$)	محتوای کلروفیل (SPAD)	فنول شاخساره (ppm)	فعالیت آنتی‌اکسیدان (درصد بازدارندگی)	فنول مترشحه ریشه (ppm)
اسیدی	۰/۱۱ c	٤/۱۱ c	۳/۷٦ b	٤۳/۲٦ a	۱۷/۵۷ a	٦۲/۷٦ a	۱/۱۰ a	۱۳/٦٤ a
خنثی	۰/۱۵ b	٤/۳۵ b	٤/۰۷ a	۲۲/۲٦ b	۱٦/٦٤ a	٦۲/٦۵ b	۰/۸ a	٦/۱۰ b
قلیایی	۰/۱۹ a	۵/۱۷ a	۲/٦۹ c	۱۷/٤۳ c	۱۳/۸۱ b	۵۱/۰۸ c	۰/۷ a	۲/۷۰ c

†در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

جدول ۳- اثرات اصلی درصدهای مختلف آهن محلول غذایی بر شاخص‌های فتوسنتزی، فنول و فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه خیار

تیمار آهن	هدایت روزنه ($molm^{-2}$ (s^{-1})	تنفس ($m^{-2}s^{-1}$ mmol)	فتوسنتز (μmol $m^{-2}\ s^{-1}$)	کارایی مصرف آب فتوسنتزی ($\mu mol\ CO_2.mol\ H_2O^{-1}$)	شاخص سبزینگی (SPAD)	فنول شاخساره (ppm)	فعالیت آنتی‌اکسیدان (درصد بازدارندگی)	فنول مترشحه ریشه (ppm)
۲۵ درصد	۰/۱۱ c	۳/۸۸ c	۱۳/۱۳ c	۸/۳۲ c	۱٤/۳٤ c	٦۰/۳۲ b	۰/۹٤ a	۷/۱۲ a
۵۰ درصد	۰/۱٦ b	٤/۲۰ b	۱۳/۳۰ b	۲٦/٦٤ b	۱٦/۲۹ b	۵۲/۳۰ c	۰/۹٦ a	۸/۸۱ a
۱۰۰ درصد	۰/۱۸ a	۵/۵٤ a	۱٤/۰۹ a	۲۸/۹۹ a	۱۷/۳۹ a	٦۳/۸۷ a	۰/۸٦ b	٦/۵۱ b

†در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

کاهش آهن محلول جانسون افزایش داشت (جدول ۳).

وزن‌تر ساقه با افزایش میزان کلات آهن محلول غذایی به ۱۰۰ درصد در هر سه اسیدیته محلول غذایی افزایش یافت که با میزان ۵۰٪ آهن در شرایط اسیدی تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل 1a).

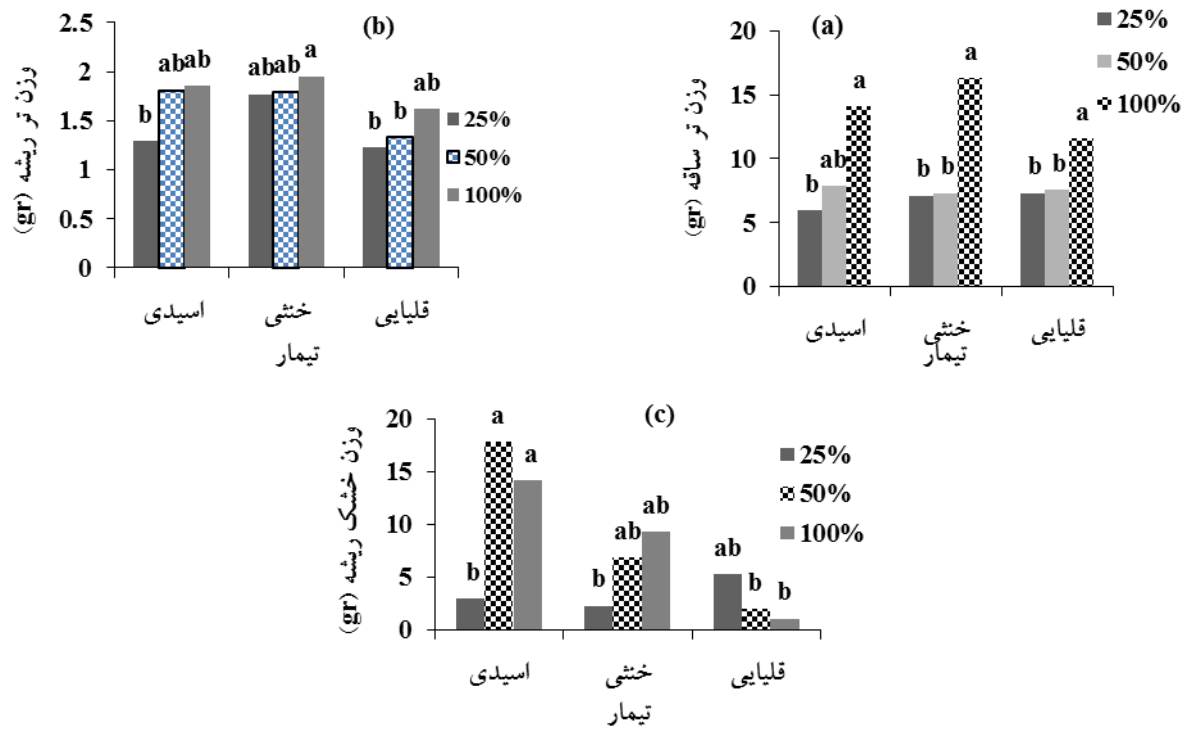
وزن‌تر ریشه با شدت کمتری نسبت به وزن‌تر ساقه تحت تأثیر تیمار آهن و اسیدیته قرار گرفت به‌طوری‌که در تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌داری دیده نشد و بیشترین وزن خشک در تیمار ۱۰۰٪ آهن در شرایط خنثی و کمترین مقدار در ۲۵ درصد آهن در شرایط اسیدی و قلیایی و ۵۰٪ آهن در شرایط قلیایی دیده شد (شکل 1 b).

وزن خشک‌ریشه در اسیدیته اسیدی با افزایش میزان آهن به ۵۰ و ۱۰۰٪ افزایش معنی‌داری یافت اما در اسیدیته خنثی و قلیایی تغییر معنی‌داری در سطوح مختلف آهن نداشت (شکل 1c).

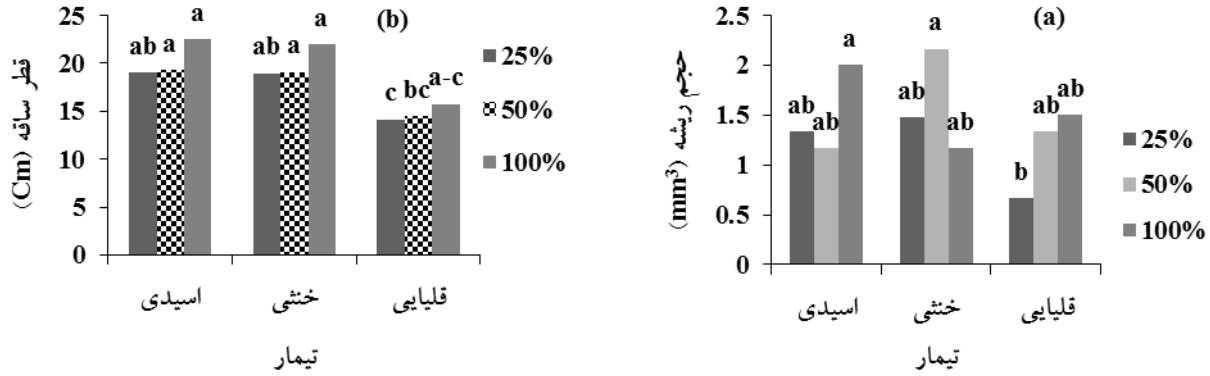
نتایج برهمکنش سطوح مختلف اسیدیته محلول غذایی و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.3.8]



شکل ۱- اثر متقابل درصدهای مختلف آهن محلول غذایی بر وزن‌تر ساقه (a)، وزن‌تر ریشه (b)، وزن خشک‌ریشه (c)، در سطوح مختلف اسیدیته محلول غذایی. در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.



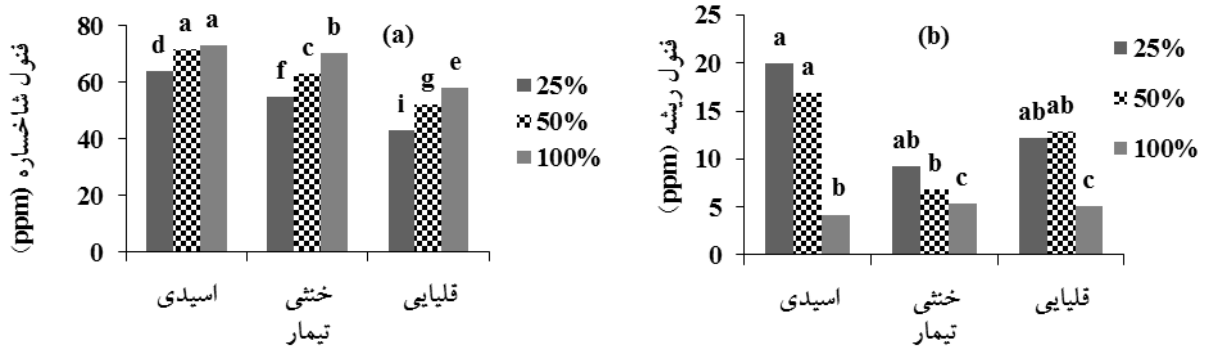
شکل ۲- اثر متقابل درصدهای مختلف آهن محلول غذایی بر حجم ریشه (a)، قطر ساقه (b)در سطوح مختلف اسیدیته محلول غذایی. در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

درصدهای مختلف آهن نشان داد که در شرایط اسیدی محلول غذایی با کاربرد آهن اثر معنی‌داری بر حجم ریشه و قطر ساقه نداشت و تنها ۲۵٪ آهن محلول غذایی در شرایط قلیایی باعث کاهش معنی‌دار حجم ریشه و قطر ساقه شد (شکل ۲).

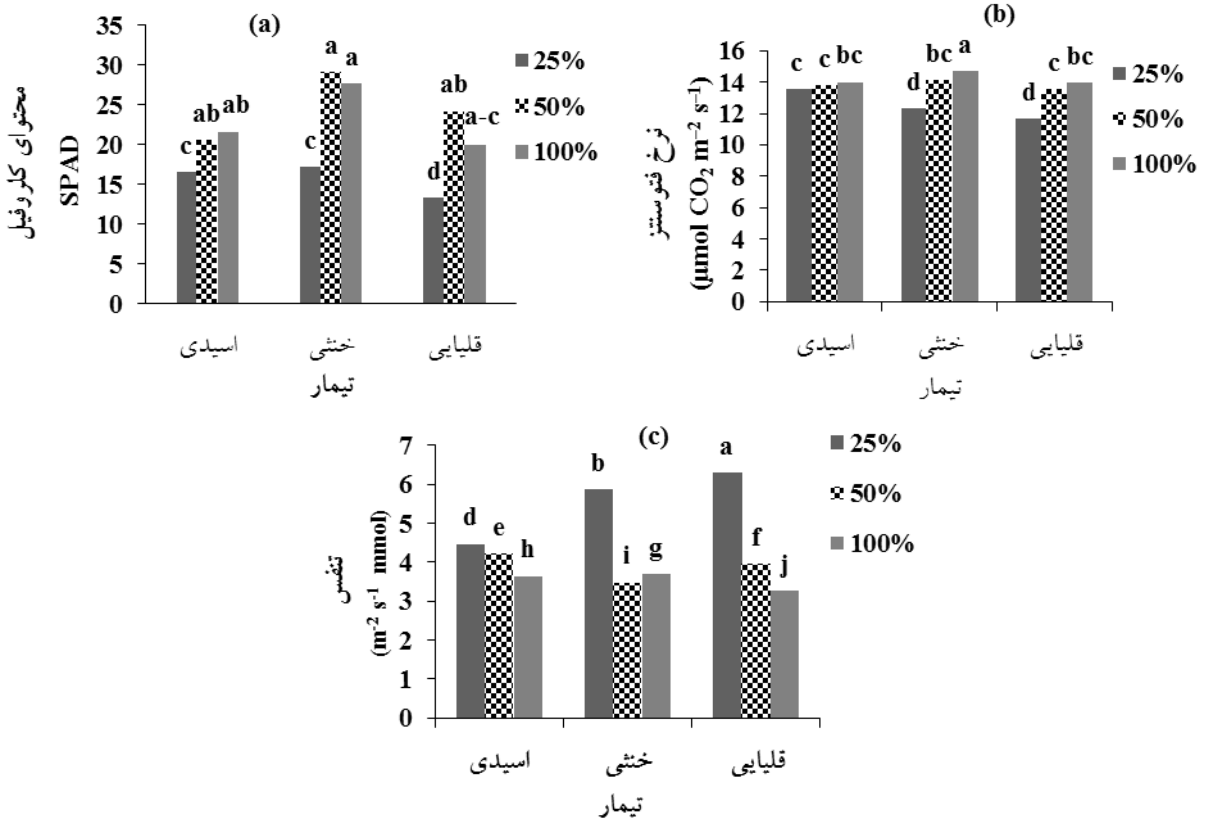
با کاهش میزان آهن محلول غذایی میزان فنول مترشحه ریشه در شرایط خنثی و قلیایی افزایش یافت و بیشترین میزان را در شرایط اسیدی و کمبود آهن یعنی ۲۵ و ۵۰٪ آهن داشت اگرچه از نظر آماری با ۲۵٪ آهن در شرایط قلیایی و خنثی و ۵۰٪ آهن در شرایط قلیایی تفاوت معنی‌داری نشان نداد کمترین میزان فنول مترشحه از ریشه در تیمار آهن ۱۰۰٪ در شرایط خنثی و قلیایی بود (شکل a ۳). میزان فنول شاخساره در شرایط قلیایی، خنثی و اسیدی و با کاربرد آهن ۵۰ و ۱۰۰ درصد افزایش معنی‌دار نسبت به تیمار آهن با غلظت ۲۵ درصد داشت (شکل b ۳).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.3.8]



شکل ۳- اثر متقابل درصدهای مختلف آهن محلول غذایی بر فنول شاخساره (a) و فنول ریشه (b) در سطوح مختلف اسیدیته محلول غذایی. در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.



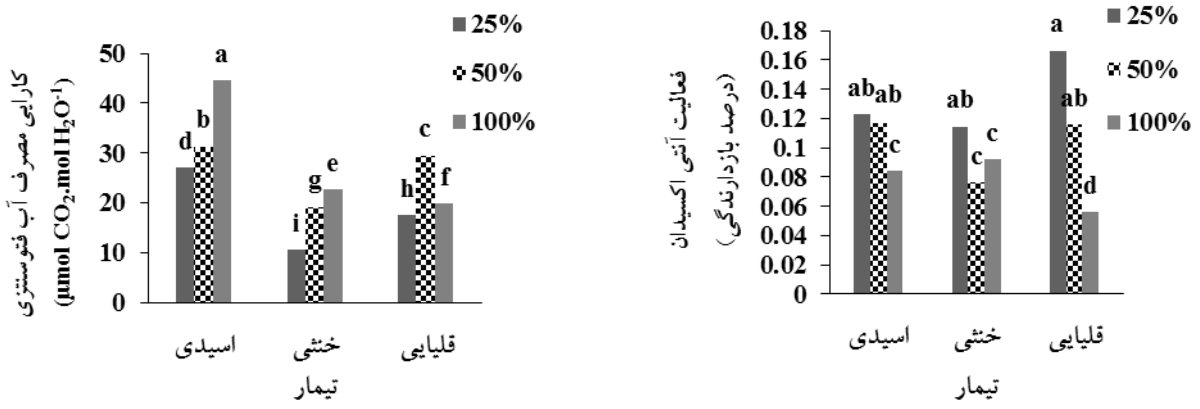
شکل ٤- اثر متقابل درصدهای مختلف آهن محلول غذایی بر کلروفیل (a)، نرخ فتوسنتز (b)، تنفس گیاه (c)، در سطوح مختلف اسیدیته محلول غذایی. در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

محتوای کلروفیل برگ در ۵۰٪ و ۱۰۰٪ آهن در شرایط خنثی، اسیدی و قلیایی تفاوت معنی‌داری با هم نداشت البته مقدار در شرایط خنثی افزایش بیشتری داشت و کمترین میزان را در ۲۵٪ آهن محلول غذایی در شرایط قلیایی و سپس اسید و خنثی داشت (شکل a ٤). میزان هدایت روزنه‌ای تحت تأثیر درصدهای مختلف آهن و سطوح مختلف اسیدیته قرار نگرفت (داده‌ها نشان داده نشده است).

میزان فتوسنتز گیاه در شرایط اسیدی تفاوت معنی‌داری با ۵۰٪ آهن در شرایط خنثی نداشت و بیشترین میزان در آهن کامل و شرایط خنثی مشاهده شد در شرایط قلیایی با میزان آهن کامل و ۵۰٪ نیز تفاوت معنی‌داری دیده نشد و کمترین میزان فتوسنتز در ۲۵ درصد آهن در شرایط خنثی و قلیایی بود

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.3.8]



شکل ۵- اثر متقابل درصدهای مختلف آهن محلول غذایی بر کارایی آب فتوسنتزی گیاه در سطوح مختلف اسیدیته محلول غذایی. **در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.**

(شکل b ٤).

با افزایش غلظت آهن در شرایط اسیدی، خنثی و قلیایی میزان تنفس گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل c ٤).

کارایی آب فتوسنتزی با افزایش درصد آهن محلول غذایی در تیمار اسیدی و خنثی به ترتیب افزایش یافت اما در تیمار قلیایی روند منظمی نداشته و در ۵۰٪ آهن افزایش و در ۲۵٪ کاهش یافت (شکل b ۵).

فعالیت آنتی‌اکسیدان خیار در شرایط کمبود آهن افزایش معنی‌داری داشت خصوصاً مقدار آن در کمبود آهن شدید (۲۵٪) بیشتر بود و بیشترین فعالیت در آهن ۲۵٪ و شرایط قلیایی مشاهده شد (شکل b۵).

بحث

روش‌های مختلفی برای کنترل کمبود آهن می‌باشد که یکی از این روش‌ها اسیدی کردن محلول غذایی یا محیط کشت با کمک اسیدهای معدنی می‌باشد (Barton and Abadia, 2006). مشابه نتایج آزمایش حاضر شریفی اصل و همکاران (۱۳۹۱) گزارش کردند که با اسیدی شدن آب آبیاری وزن‌تر و خشک ساقه افزایش می‌یابد. همچنین با خنثی‌سازی قلیایت و کاهش اسیدیته آب آبیاری تا ۵/۵ باعث افزایش جذب عناصر غذایی ازجمله آهن، بهبود صفات کمی و کیفی در شمعدانی می‌شود. با افزایش اسیدیته از ۵ به ۸ کاهش وزن‌تر و خشک شاخساره و ریشه کاهو در آزمایش Roosta (۲۰۱۱) مشاهده شد، ایشان دلیل کاهش رشد کاهو را در شرایط قلیایی کاهش نرخ فتوسنتز در اثر کلروز برگ ناشی از بی‌کربنات و همچنین سنتز ناقص کلروفیل گزارش کردند. شریفی اصل و همکاران (۱۳۹۱) گزارش کردند که تجمع املاح، کاهش جذب آب و کاهش جذب عناصر در شرایط قلیایی رخ می‌دهد که می‌تواند موجب کاهش رشد گیاهان در شرایط قلیایی شود. وزن‌تر و خشک گیاه، طول ساقه برنج در اثر سمیت آهن (غلظت‌های بالاتر از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (کیانی و عبدلزاده، ۱۳۹۱). افزایش وزن‌تر، خشک شاخساره و ریشه، طول ریشه و شاخساره نخودفرنگی با کاربرد آهن افزایش یافت (Veselina and Nenova,2009)؛ اما در آزمایش حاضر آهن تأثیر معنی‌داری بر شاخص‌های رویشی گیاه نداشت.

نتایج تحقیق Sigar and Dawidziak(2012) نشان داد که کاربرد آهن از غلظت ۵ تا ۲۵ میلی مولار از منبع سولفات آهن تأثیر معنی‌داری بر میزان فنول سویا نداشت اما فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. Jin و همکاران (۲۰۰٦) گزارش کردند که مواد فنولی به‌عنوان یکی از ترکیبات مهم از ترشحات ریشه (Root exudates) در پاسخ به کمبود آهن در گیاهان می‌باشد و نشان دادند که میزان مواد فنولی در صورت کمبود آهن افزایش می‌یابد. ترشح فنول نقش مهمی در تسهیل استفاده مجدد آهن آپوپلاست ریشه دارد.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.3.8]

نتایج مشابه با مشاهدات Jin و همکاران (۲۰۰۶) توسط Zhang و همکاران (۱۹۹۱) در گیاه برنج مشاهده شد به‌طوری‌که ترشح فیتوسایدسفورها (Phytosiderophores) در صورت کمبود آهن به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و همچنین وزن خشک شاخساره و ریشه کاهش یافت. ترشح مواد فنولی با آهن تثبیت‌شده در آپوپلاست واکنش نشان می‌دهد و آهن را برای جذب به‌وسیله سلول‌های ریشه فراهم می‌کند و به شاخساره منتقل می‌کند (Jin *et al*., 2006).

با توجه به نتایج گزارش‌شده از سایر تحقیقات و نتایج حاصله در این آزمایش به نظر می‌رسد تأثیرپذیری بیشتر وزن‌تر ساقه نسبت به ریشه به علت رشد سریع‌تر ساقه نسبت به ریشه در خیار و به‌طورکلی کوچک و سطحی بودن رشد ریشه خیار مربوط باشد که داده‌های مربوط به عدم تغییرات معنی‌دار در حجم ریشه مؤید این مطلب است؛ لذا رشد بیشتر شاخساره نیاز به عناصر غذایی بیشتر و کمبود آن اثرات بیشتری را نشان می‌دهد. عدم تغییرات چشمگیر در قطر ساقه نشان‌دهنده این است که کاهش رشد در شاخساره بیشتر متأثر از کاهش رشد برگ‌ها می‌باشد البته قابل‌توجه است که در شرایط اسیدی به دلیل افزایش جذب آهن ازیک‌طرف و افزایش تولید سایدسفورها و مواد مترشحه از ریشه از طرف دیگر کارایی جذب عناصر ازجمله آهن را افزایش داده و حتی در کمبود آهن ۵۰٪ کاهش رشد ساقه مشاهده نمی‌شود. افزایش میزان فنول در شرایط اسیدی و کمبود آهن در خیار راهکاری جهت امکان افزایش جذب مواد غذایی به‌طور کاراتر و کاهش شدت تنش کاهش مواد غذایی است که قبلاً توسط سایر محققین در سایر گیاهان به اثبات رسیده و نتایج این تحقیق در راستای نتایج حاصله توسط آن‌ها می‌باشد.

Ferenc و همکاران (۲۰۱۲) در آزمایش خود نشان دادند که در شرایط قلیایی خاک کمبود آهن ایجادشده سبب کاهش کلروفیل و درنتیجه فتوسنتز گلابی می‌شود که در آزمایش حاضر در خیار مشاهده شد و با افزودن درصدهای بیشتر آهن در شرایط قلیایی و یا اسیدی کردن محلول غذایی اثرات مضر قلیایی بودن محلول غذایی کاهش یافت. در شرایط اسیدی با اسیدیته کمتر از ۵/۵ باعث کمبود تعدادی زیادی از عناصر می‌شود و از طرف دیگر در شرایط اسیدی کمتر از ۵/۵ باعث افزایش جذب عناصری چون آهن در گیاه می‌شود (Dakora and Phillips, 2002) و آهن یک عنصر ضروری برای رشد گیاهان، توسعه و تشکیل کلروفیل، سنتز تیلاکوئیدها و توسعه کلروپلاست می‌باشد (سالاردینی و مجتهدی، ۱۳۶۷) و درنتیجه کمبود آهن باعث کاهش کلروفیل و فتوسنتز در گیاه می‌شود که در آزمایش حاضر کاهش فتوسنتز در تیمار ۲۵ و ۵۰ درصد آهن مشاهده شد. فتوسنتز و تنفس نخودفرنگی با کاربرد آهن افزایش و مقاومت روزنه‌ای کاهش معنی‌داری نسبت به غلظت‌های کم آهن داشت (Veselina and Nenova, 2009). بر اساس نتایج این آزمایش به نظر می‌رسد ریشه‌های خیار در مرحله رشد رویشی توانایی جذب مواد غذایی را در حدی که تأمین‌کننده سنتز کلروفیل و امکان فتوسنتز در مقایسه با شرایط نرمال باشد را فراهم می‌کند البته این امکان در ۵۰٪ کاهش آهن در بازه زمانی رشد رویشی مشاهده شد امکان این توانایی توسط ریشه با افزایش ترشح فنولها از ریشه و ایجاد سایت‌های جذب و کانال جذب آهن در شرایط تنش مواد غذایی مثل شرایط این آزمایش (۵۰٪ کمبود آهن) امکان‌پذیر می‌شود و لذا با انجام فتوسنتز به‌صورت تقریباً مشابه با شرایط بهینه رشد به‌صورت وزن‌تر و خشک‌ریشه که احتیاج به انرژی کمتر فتوسنتزی در خیار به دلیل کوچک بودن ژنتیکی ریشه دارد و در مرحله بعدی رشد شاخساره خصوصاً در شرایط اسیدی می‌شود و کاهش کمتری در اثر تنش حاصله از کمبود آهن را موجب می‌گردد. افزایش کارایی آب فتوسنتزی جهت امکان انجام فتوسنتز به‌طور بهینه در راستای نتایج حاصله در فتوسنتز خصوصاً در شرایط اسید و خنثی می‌باشد.

نتایج آزمایش حاضر نشان داد که فعالیت آنتی‌اکسیدان خیار در شرایط کمبود آهن افزایش معنی‌داری داشت خصوصاً مقدار آن در کمبود آهن شدید (۲۵٪) بیشتر بود و بیشترین فعالیت در آهن ۲۵٪ و شرایط قلیایی مشاهده شد. فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه نشان‌دهنده شدت تنش وارده به گیاه و توانایی گیاه جهت مقابله با این تنش است (Haghighi *et al*., 2010). در این

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.3.8]

آزمایش به نظر می‌رسد تنش حاصله از کمبود آهن در شرایط قلیایی شدیدتر از خنثی و اسیدی بوده و گیاه با تولید آنتی‌اکسیدان بیشتر تلاش جهت مقابله با این تنش داشته است. بر طبق مطالعات نویسندگان تاکنون مطالعه‌ای مبنی بر اثر غلظت‌های مختلف آهن در شرایط مختلف اسیدیته محلول غذایی بر خواص آنتی‌اکسیدانی انجام‌نشده است.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی به نظر می‌رسد در تنش ۵۰٪ کمبود آهن خصوصاً در شرایط اسیدی بودن محلول غذایی گیاه خیار توانایی ادامه رشد را به‌طور مؤثری دارد که این امکان را از طریق تغییرات بیوشیمیایی ریشه و افزایش ترشحات ریشه ازجمله فنولها و امکان افزایش کارایی جذب عناصر غذایی ازجمله انجام می‌دهد و از این طریق فعالیت فتوسنتزی قسمت هوایی را متعادل کرده و رشد را معادل شرایط بهینه حفظ می‌کند لذا استفاده از محلول غذایی نیم غلظت در مرحله رشد رویشی که در برخی از گلخانه‌های تولیدی و تحقیقاتی انجام می‌گیرد ازنقطه‌نظر کمبود آهن در این تحقیق در خیار بررسی شد و امکان کاهش غلظت آهن تا ۵۰٪ محلول غذایی جانسون در مرحله رشد رویشی خیار جهت کاهش هزینه تولید و کاهش آلودگی به این عنصر در پساب خصوصاً با کمی اسیدی کردن محلول غذایی توصیه می‌شود البته انجام تحقیقات بیشتر جهت بررسی عملکرد و جذب سایر عناصر در این شرایط در تحقیقات آینده توصیه می‌شود و در صورت بروز مشکل در جذب عنصری در این شرایط محلول‌پاشی آن جایگزین مناسبی می‌باشد.

منابع

سالاردینی، ع ا. و مجتهدی م. (۱۳٦۷) اصول تغذیه گیاه، جلد ۲، انتشارات نشر دانشگاهی، تهران

شریفی اصل، ر.، شجاعیان، ع. صیدی، م. و گیتی، ع. (۱۳۱) بررسی اثرات سطوح مختلف اسیدیته آب آبیاری بر کمیت و کیفیت دو رقم شمعدانی. نشریه علوم باغبانی ۲٦(۲): ۲۲۳-۲۲۹.

کیانی چالمردی، ز. و عبدل‌زاده، ا (۱۳۹۱) نقش سیلیکون در کاهش تنش کمبود و سمیت آهن در کشت هیدروپونیک گیاه برنج (*Oryza sativa* L). مجله علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای (۱۲):۷۹-۸۹.

Barton, L. L. and Abadia, J. (2006) Iron Nutrition in Plants and Rhizospheric Microorganisms. Springer.

Barcelo, J. and Poschenrieder, C. (2002) Fast root growth responses, root exudates, and internaldetoxification as clues to the mechanisms of aluminium toxicity and resistance. Journal of Environmental and Experimental Botany 48: 75–92.

Dakora, F. D. and Phillips, D. A. (2002) Root exudates as mediators of mineral acquisition in low-nutrient Journal of Environments Plant and Soil 245: 35–47.

Dawidziak, M. Z. and Sigar, A. (2012) Effect of elevated accumulation of iron in ferritin on the antioxidants content in soybean sprouts**.** Journal of European Food Research and Technology 6: 1005-1012.

Felix, D., Dakora, A. and Donald, A. (2002) Phillips Root exudates as mediators of mineral acquisition in low-nutrient Environments. Journal of Plant and Soil 245: 35–47.

Ferenc, F., Krisztina K. Viktoria, C. Adam, S. Brigitta, T. Laszlo, L. Karoly, B and Attila, V. (2012) Effects of short term iron citrate treatments at different pH values on roots of iron-deficient cucumber: A Mössbauer analysis. Journal of Plant Physiology 169: 1615– 1622.

Haghighi, M., Kafi, M. Fang, P. and Gui-Xiao, L. (2010) Humic acid decreased hazardous of cadmium toxicity on lettuce (*Lactuca sativa* L.). Journal of Vegetable Crops Research Bulletin 72: 49-61.

Hannan, J.J. (1997) Greenhouses Advanced Technology for Protected Horticulture. CRC press, USA.

Jin, C. W., He, Y.F. Tang, C.X. Wu, P. and Zheng, S. J. (2006) Mechanisms of microbial enhanced iron uptake in red clover. Journal of Plant, Cell & Environ 29: 888–897.

Koleva, I. I., van Beek, T.A. Linssen, J. P. H. de Groot, A. and Evstatieva, L. N. (2002) Screening of plant extracts for antioxidant activity: A comparative study on three testing methods. Journal of Phytochemistry Analysis 13: 8-17.

Lucena, J. L. (2000) Effects of bicarbonate, nitrate and other environmental factors on iron deficiency chlorosis. A review. Journal of Plant Nutrition 23: 1591–1606.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.3.8]

Roosta, H. R. (2011) Interaction between water alkalinity and nutrient solution ph on the vegetative growth, chlorophyll fluorescence and leaf magnesium, iron, manganese and zinc conditions in lettuce. Journal of Plant Nutrition 34:717–731.

Terry, N. and Abadía, J. (1986) Function of iron in chloroplasts. Journal of Plant Nutrition 9: 609–649.

Veselina, R. and Nenova, A. (2009) Growth and photosynthesis of pea plants under different iron supply. Journal of Acta Physiology Plant 31:385–391

Wallace, A., Mueller R.T. Alexander, G.V. and Soufi S.M. (1980) Effect of soil pH on iron uptake and its specific activity by two cultivars of soybeans differing in ability to accumulate iron and by oleander. Journal of plant nutrition 2(1&2): 205-211.

Whipker, B.E. 2007. Fertility Management for Geraniums. North Carolina Cooperative Extension Service, US. Available at:www.ces.ncsu.edu/depts/hort/hil/pdf/hil-504.pdf.

Zhang F.S., Romheld V. and Marschner, H. (1991) Diurnal pattern in release of phytosiderophores and uptake rate of zinc in iron deficient and iron sufficient wheat. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 37: 671- 98.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.24.3.8]