

## 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. به منظور بررسی اثر سطوح مختلف اسیدیته محلول غذایی و غلظت‌های مختلف آهن بر خصوصیات رویشی و فتوسنتزی گیاه خیار رقم N3 این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه سطح اسیدیته شامل ۵،۷ و ۸ به ترتیب به عنوان 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 فتوستتوز و میزان فنول شاخساره و ریشه در شرایط اسیدی نسبت به سایر اسیدیته‌های محلول غذایی افزایش نشان داد. بیشترین هدایت روزنه‌ای و تنفس با کاربرد ۲۵ درصد آهن و فتوستتوز در تیمار ۱۰۰ درصد آهن مشاهده شد. نتایج برهمکنش آهن و اسیدیته نشان داد که شرایط قلیایی محلول غذایی باعث کاهش فنول شاخساره و فتوستتوز 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، فتوستتوز، فنول، قلیایی

### مقدمه

(Whipker, 2007). شرایط قلیایی مانند سایر تنش‌ها شاخص‌های فتوستتوزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و باعث کاهش فتوستتوز 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

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 از جمله 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

\*نویسنده مسؤول، نشانی پست الکترونیکی: mhaghghi@cc.iut.ac.ir

آبیاری گیاهان با آب اسیدی شده و قلیابیت تقلیل یافته، غلظت یون‌های کربنات و بی‌کربنات را کاهش داده و در نتیجه ریشه قادر خواهد بود آب و عناصر غذایی را جذب کند (Hannan, 1997). در اکثر مناطق خیار به‌صورت گلخانه‌ای کشت شده 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 (خنتی) و اسیدیته ۸ به‌عنوان شرایط قلیابی 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 ۰/۲۶، مولیبدن ۰/۰۰۷ و روی ۰/۰۲۴ میلی‌گرم در لیتر آماده شد. بذره‌های 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 ۴ نرمال استفاده

(Lucena, 2000). علت زردی برگ در محیط‌های قلیابی را می‌توان به دلیل کمبود آهن در اثر کمبود جذب آهن یا عدم دسترسی آهن در محیط‌های قلیابی 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، ۱۳۶۷). 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 قلیابی مناطق خشک و نیمه‌خشک علائم کمبود آهن به‌صورت زردی برگ در گیاهان باغی و غلات قابل مشاهده است (کیانی و عبدالزاده، 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 مترشح ریشه می‌باشد که حلالیت آهن، فسفر و سایر عناصر غذایی از منابع غیرقابل دسترس 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 قلیابی 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 خنتی کردن قلیابیت خاک باعث افزایش حلالیت آهن، منگنز، روی، مس و آلومینیوم و در نتیجه افزایش جذب آهن می‌شود (شریفی و گیتی، ۱۳۹۱).

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، وزن تر ساقه و ریشه و همچنین وزن خشک ریشه 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، وزن تر 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

شد. گلدان‌ها به صورت یک روز در میان با ۶۰ سی‌سی از محلول جانشون 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 ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )، ضریب هدایتی روزنه‌ها ( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) و  $\text{CO}_2$  درون روزنه‌ای ( $\mu\text{mol}$ ) با فتوستنومتر (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 ۴۸ 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 اسپکتروفوتومتر (V-530, JASCO, Japan) با طول‌موج ۷۶۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. میزان فنول مترشحه ریشه (root exudates) براساس روش Jin و همکاران (۲۰۰۶) صورت گرفت، بدین‌صورت که ریشه گیاه به مدت ۴ 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).

$$\text{DPPH}_{\text{sc}} = ((A_{\text{cont}} - A_{\text{samp}}) / A_{\text{cont}}) \times 100$$

$\text{DPPH}_{\text{sc}}$  درصد بازدارندگی،  $A_{\text{samp}}$  میزان جذب

(نمونه + DPPH) و  $A_{\text{cont}}$  میزان جذب DPPH.

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با

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

اسیدیته	وزن خشک‌ریشه (gr)	وزن خشک ساقه (gr)	قطر ساقه (mm)	وزن تر ریشه (gr)	وزن تر ساقه (gr)	حجم ریشه (mL)
اسیدی	۰/۲ <sup>a</sup>	۵/۶ <sup>a</sup>	۱/۸۸ <sup>a</sup>	۷/۵ <sup>b</sup>	۲۸/۲ <sup>a</sup>	۱/۵۰ <sup>a</sup>
خنثی	۰/۲ <sup>a</sup>	۴/۳ <sup>b</sup>	۱/۷۰ <sup>a</sup>	۹/۶ <sup>a</sup>	۲۳/۸ <sup>b</sup>	۱/۶۰ <sup>a</sup>
قلیایی	۰/۲ <sup>a</sup>	۲/۱ <sup>c</sup>	۱/۶۶ <sup>a</sup>	۸/۱ <sup>b</sup>	۲۳/۵ <sup>b</sup>	۱/۱۶ <sup>a</sup>

†در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح ۰.۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند

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

اسیدیته	هدایت روزنه (molm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	تنفس (m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ) (mmol)	فتوستنز (μmol m <sup>-2</sup> ) (s <sup>-1</sup> )	آب فتوستنزی (μmol CO <sub>2</sub> .mol H <sub>2</sub> O <sup>-1</sup> )	محتوای کلروفیل (SPAD)	فنول شاخساره (ppm)	آنتی‌اکسیدان (بازدارندگی) (ppm)	فنول مترشحه ریشه (ppm)
اسیدی	۰/۱۱ <sup>c</sup>	۴/۱۱ <sup>c</sup>	۳/۷۶ <sup>b</sup>	۴۳/۲۶ <sup>a</sup>	۱۷/۵۷ <sup>a</sup>	۶۲/۷۶ <sup>a</sup>	۱/۱۰ <sup>a</sup>	۱۳/۶۴ <sup>a</sup>
خنثی	۰/۱۵ <sup>b</sup>	۴/۳۵ <sup>b</sup>	۴/۰۷ <sup>a</sup>	۲۲/۲۶ <sup>b</sup>	۱۶/۶۴ <sup>a</sup>	۶۲/۶۵ <sup>b</sup>	۰/۸ <sup>a</sup>	۶/۱۰ <sup>b</sup>
قلیایی	۰/۱۹ <sup>a</sup>	۵/۱۷ <sup>a</sup>	۲/۶۹ <sup>c</sup>	۱۷/۴۳ <sup>c</sup>	۱۳/۸۱ <sup>b</sup>	۵۱/۰۸ <sup>c</sup>	۰/۷ <sup>a</sup>	۲/۷۰ <sup>c</sup>

†در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح ۰.۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

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

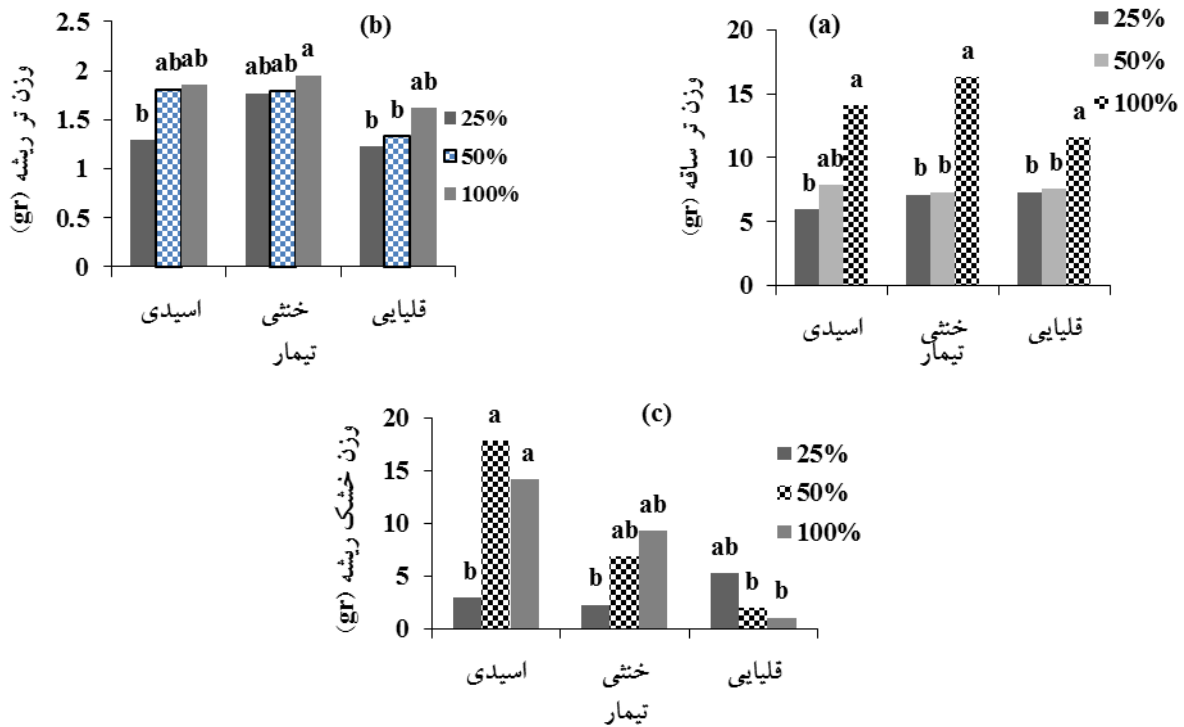
تیمار آهن	هدایت روزنه (molm <sup>-2</sup> ) (s <sup>-1</sup> )	تنفس (m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ) (mmol)	فتوستنز (μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	آب فتوستنزی (μmol CO <sub>2</sub> .mol H <sub>2</sub> O <sup>-1</sup> )	شاخص سبزی‌نگی (SPAD)	فنول شاخساره (ppm)	آنتی‌اکسیدان (بازدارندگی) (ppm)	فنول مترشحه ریشه (ppm)
۲۵ درصد	۰/۱۱ <sup>c</sup>	۳/۸۸ <sup>c</sup>	۱۳/۱۳ <sup>c</sup>	۸/۳۲ <sup>c</sup>	۱۴/۳۴ <sup>c</sup>	۶۰/۳۲ <sup>b</sup>	۰/۹۴ <sup>a</sup>	۷/۱۲ <sup>a</sup>
۵۰ درصد	۰/۱۶ <sup>b</sup>	۴/۲۰ <sup>b</sup>	۱۳/۳۰ <sup>b</sup>	۲۶/۶۴ <sup>b</sup>	۱۶/۲۹ <sup>b</sup>	۵۲/۳۰ <sup>c</sup>	۰/۹۶ <sup>a</sup>	۸/۸۱ <sup>a</sup>
۱۰۰ درصد	۰/۱۸ <sup>a</sup>	۵/۵۴ <sup>a</sup>	۱۴/۰۹ <sup>a</sup>	۲۸/۹۹ <sup>a</sup>	۱۷/۳۹ <sup>a</sup>	۶۳/۸۷ <sup>a</sup>	۰/۸۶ <sup>b</sup>	۶/۵۱ <sup>b</sup>

†در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح ۰.۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

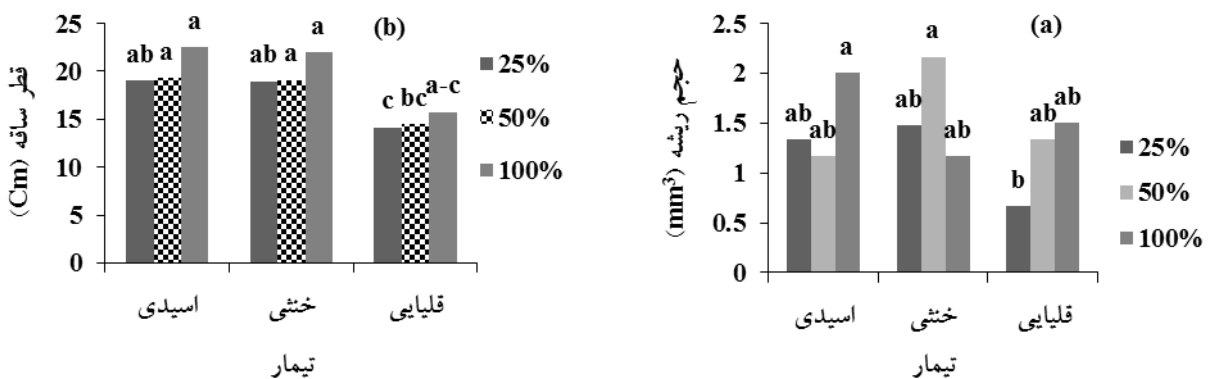
کاهش آهن محلول جانسون افزایش داشت (جدول ۳).

وزن تر 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 ۱a). وزن تر ریشه با شدت کمتری نسبت به وزن تر ساقه تحت تأثیر تیمار آهن و اسیدیته قرار گرفت به طوری که 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 ۱b). 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 ۱c). نتایج برهمکنش سطوح مختلف اسیدیته محلول غذایی و



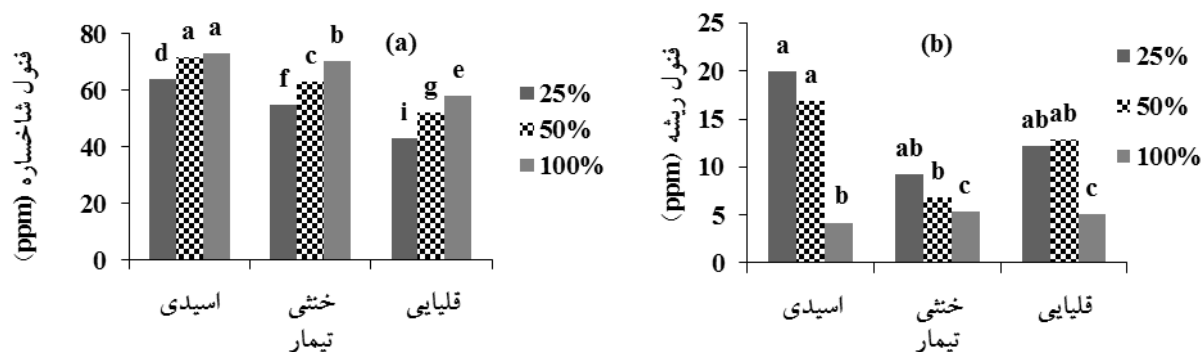
شکل ۱- اثر متقابل درصدهای مختلف آهن محلول غذایی بر وزن تر ساقه (a)، وزن تر ریشه (b)، وزن خشک ریشه (c)، در سطوح مختلف اسیدیته محلول غذایی. در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح ۵٪ اختلاف معنی دار ندارند.



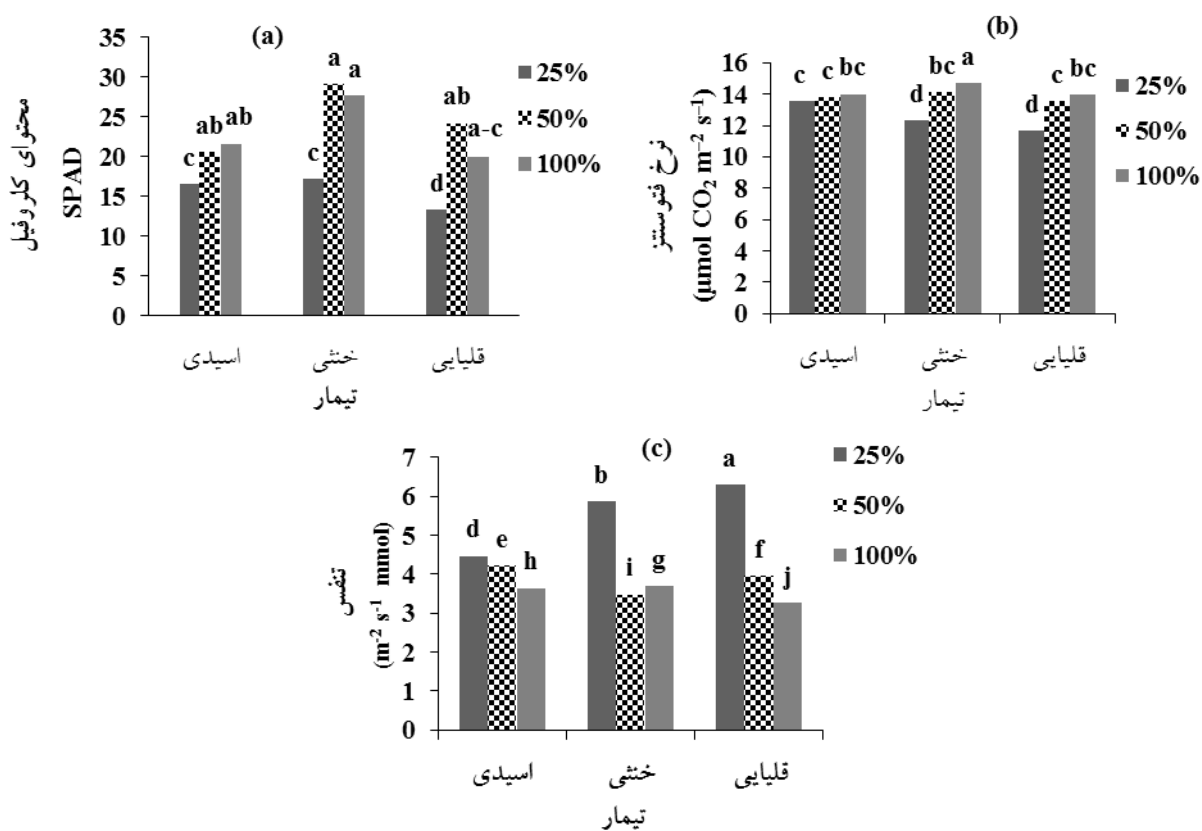
شکل ۲- اثر متقابل درصدهای مختلف آهن محلول غذایی بر حجم ریشه (a)، قطر ساقه (b) در سطوح مختلف اسیدیته محلول غذایی. در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح ۵٪ اختلاف معنی دار ندارند.

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

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 خنتی و قلیایی افزایش یافت و بیشترین میزان را در شرایط اسیدی و کمبود آهن یعنی ۲۵ و ۵۰٪ آهن داشت



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.

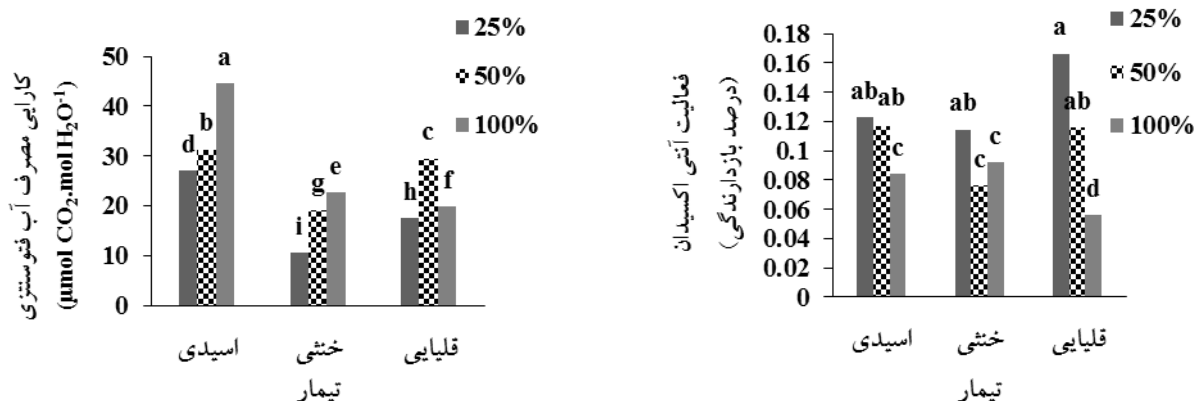


شکل ۴- اثر متقابل درصدهای مختلف آهن محلول غذایی بر کلروفیل (a)، نرخ فتوسنتز (b)، تنفس گیاه (c)، در سطوح مختلف اسیدیته محلول غذایی. در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

(داده‌ها نشان داده نشده است).

میزان فتوسنتز گیاه در شرایط اسیدی تفاوت معنی‌داری با ۵۰٪ آهن در شرایط خشکی نداشت و بیشترین میزان در آهن کامل و شرایط خشکی 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 خشکی و قلیایی بود

محتوای کلروفیل برگ در ۵۰٪ و ۱۰۰٪ آهن در شرایط خشکی، اسیدی و قلیایی تفاوت معنی‌داری با هم نداشت البته مقدار در شرایط خشکی افزایش بیشتری داشت و کمترین میزان را در ۲۵٪ آهن محلول غذایی در شرایط قلیایی و سپس اسید و خشکی داشت (شکل ۴ a). میزان هدایت روزنه‌ای تحت تأثیر درصدهای مختلف آهن و سطوح مختلف اسیدیته قرار نگرفت



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 معنی دار ندارند.

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. وزن تر و خشک گیاه، طول ساقه برنج در اثر سمیت آهن (غلظت‌های بالاتر از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (کیانی و عبدالزاده، ۱۳۹۱). افزایش وزن تر، 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 میلی‌مولار از منبع سولفات آهن تأثیر معنی‌داری بر میزان فنول سویا نداشت اما فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. Jin و همکاران (۲۰۰۶) 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.

(شکل ۵ b).

با افزایش غلظت آهن در شرایط اسیدی، خنثی و قلیایی میزان تنفس گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۵ c). 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 ۵ b).

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 ۵b).

#### 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 وزن تر و خشک ساقه افزایش می‌یابد. همچنین با خنثی‌سازی قلیایت و کاهش اسیدیته آب آبیاری تا ۵/۵ باعث افزایش جذب عناصر غذایی از جمله آهن، بهبود صفات کمی و کیفی در شمعدانی می‌شود. با افزایش اسیدیته از ۵ به ۸ کاهش وزن تر و خشک شاخساره

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 در نتیجه 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 سابت‌های جذب و کانال جذب آهن در شرایط تنش مواد غذایی مثل شرایط این آزمایش (۵۰٪ کمبود آهن) امکان‌پذیر می‌شود و لذا با انجام فتوسنتز به صورت تقریباً مشابه با شرایط بهینه رشد به صورت 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 به طور 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

نتایج مشابه با مشاهدات Jin و همکاران (۲۰۰۶) توسط Zhang و همکاران (۱۹۹۱) در گیاه برنج مشاهده شد به طوری که ترشح فیتوسایدسفرها (Phytosiderophores) در صورت کمبود آهن به طور 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 به وسیله 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 به طور کلی 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 قابل توجه است که در شرایط اسیدی به دلیل افزایش جذب آهن از یک طرف و افزایش تولید سایدسفرها و مواد مترشحه از ریشه از طرف دیگر کارایی جذب عناصر از جمله 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 به طور کارا تر 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 ایجاد شده سبب کاهش کلروفیل و در نتیجه 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



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 از نقطه نظر 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.

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 انجام نشده است.

### نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی 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 از جمله فنولها و امکان افزایش کارایی جذب عناصر غذایی از جمله انجام

### منابع

- سالاردینی، ع. ا. و مجتهدی م. (۱۳۶۷) 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 ۲۶(۲): ۲۲۳-۲۲۹.
- کیانی چالمردی، ز. و عبدالزاده، 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 internal detoxification 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.

- 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](http://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.