



شماره ۹۰، بهار ۱۳۹۰

نشریه زراعت

(پژوهش و سازندگی)

پاسخ برخی گیاهان زراعی به کمبود آهن در محیط کشت بدون خاک

• سمیرا سادات طباطبایی

کارشناس ارشد زراعت دانشگاه صنعتی اصفهان

• عارفه رزازی (نویسنده مسئول)

کارشناس ارشد زراعت دانشگاه صنعتی اصفهان

• امیرحسین خوش گفتارمنش

دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

• ناهید خدائیان

کارشناس ارشد زراعت دانشگاه صنعتی اصفهان

• زهرا مهرابی

کارشناس ارشد زراعت دانشگاه صنعتی اصفهان

• شیما فتحیان

کارشناس ارشد زراعت دانشگاه صنعتی اصفهان

• احسان عسکری

کارشناس ارشد زراعت دانشگاه صنعتی اصفهان

• فرشته رمضان زاده

کارشناس ارشد زراعت دانشگاه صنعتی اصفهان

• حسن عربزادگان

کارشناس گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت: آبان ماه ۱۳۸۷ تاریخ پذیرش: آبان ماه ۱۳۸۸

تلفن تماس نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۲۰۶۱۱۸۹

Email: a.razzazi@gmail.com

چکیده

این آزمایش با هدف ارزیابی پاسخ تعدادی از گیاهان زراعی به تنش کمبود آهن در ارتباط با برخی صفات کمی و کیفی رشد در شرایط آبکشت اجرا شد. آزمایش در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در پاییز سال ۱۳۸۶ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. ذرت شیرین (هیبرید سینگل کراس کرج ۴۰۳)، ذرت دانه ای (هیبرید سینگل کراس ۷۰۴)، دو رقم گلرنگ (رقم کوسه و اراک ۲۸۱۱)، دو رقم گندم نان (قدس و بک کراس روشن) و تریتیکاله (رقم الینر) در دو سطح ۵ و ۵۰ میکرومولار آهن از منبع FeEDTA در محیط کشت محلول کاشته شدند. نتایج آزمایش نشان داد گیاهان مورد ارزیابی از لحاظ کارایی جذب آهن اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد داشتند. گلرنگ رقم اراک ۲۸۱۱ و هیبریدهای ذرت در مقایسه با سایر گیاهان مورد مطالعه به کمبود آهن حساستر بودند و کاهش بیشتری در وزن خشک اندام هوایی آنها در تیمار ۵ میکرومولار آهن مشاهده شد. در مقابل، گندم رقم قدس و بک کراس روشن در شرایط کمبود آهن کمترین کاهش وزن خشک ریشه و اندام هوایی را در مقایسه با شرایط کافی بودن آهن نشان دادند. از نظر حساسیت نسبی در برابر کمبود آهن، محصولات مورد مطالعه به این ترتیب بودند: گندم < تریتیکاله < گلرنگ < ذرت. ارزیابی آهن کارایی بر اساس صفات مختلف نشان می دهد که محتوای آهن بخش هوایی و ریشه ارتباط مثبت و معنی داری با میزان تحمل گیاه در برابر کمبود آهن دارد.

کلمات کلیدی: آهن کارایی، ذرت شیرین (*Zea mays L. cv. Saccharata*)، ذرت دانه ای (*Zea mays L.*)، گندم نان (*Triticum aestivum L.*)، گلرنگ (*Carthamus tinctorius L.*)، تریتیکاله (*X. tritico-secale*)

Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi) No 90 pp: 65-73

Response of different crops to iron deficiency in soilless culture

By: S. Tabatabaei, A. Razzazi, (Corresponding Author; Tel: +989122061189), A.H. Khoshgoftarmanesh, N. Khodaeian, Z. Mehrabi, S. Fathian, Ehsan Askari, Fereshteh Ramezanzadeh, H. Arabzadegan Agricultural Faculty Induotry University of Isfahan.

The hydroponics experiment was conducted to evaluate response of selected crops to Fe-deficiency stress in relation with some qualitative and quantitative growth attributes. A completely randomized block design in triplicates was conducted at Isfahan University of Technology (IUT) research greenhouse in fall 2007. Sweet corn (*Zea mays* L. cv. Saccharata), dent corn (*Zea mays* L. cv S.C704), safflower (*Carthamus tinctorius* L cvs. Arak2811 and Koose), two bread wheat genotypes (*Triticum aestivum* L. cvs. Backcross Roshan and Qods), and triticale (*X.triticosecale* cv. elinor) were grown in a nutrient solution at two Fe levels (5 and 50 μ M FeEDTA). The results indicated significant ($P < 0.01$) variation among studied crops in Fe-efficiency. Safflower genotypes were more sensitive to Fe deficiency in comparison with other studied crops and the greatest reduction was observed in their shoot dry matter at 0.5 mM FeEDTA treatment. In contrast, the lowest decrease in root and shoot dry matter weight under Fe-deficient condition was found for bread wheat genotypes Qods and Backcross Roshan. The relative sensitivity of the studied crops to Fe deficiency was wheat < triticale < safflower < corn Iron-efficiency evaluation based on different growth indices showed that Fe content in the shoot and root had significant and positive correlation with crop tolerance to Fe deficiency.

Keywords: Iron efficiency, Sweet corn (*Zea mays* L. cv. Saccharata), Dent corn (*Zea mays* L.), Bread wheat (*Triticum aestivum* L.), Safflower (*Carthamus tinctorius* L.), Triticale (*X. triticosecale*)

مقدمه

و عوامل کاهش دهنده در فرآیندهای اصلی مربوط به سوخت و ساز گیاه شامل فتوسنتز، تنفس، حفاظت سلولی، تثبیت نیتروژن و بسیاری از روابط دیگر به عنوان «عامل همراه» نقش بازی می کند (۷). شناخت تفاوت های عمده بین ژنوتیپ ها در ارتباط با مصرف عناصر معدنی ضروری می باشد. بسیاری از این اختلافات تحت کنترل ژنتیک گیاه هستند ولی بیان این ژن ها در شرایط مختلف رشد تفاوت های زیادی با یکدیگر دارند. این اختلافات ژنوتیپی می تواند به توضیح یا تفسیر سازگاری گیاهان با شرایط کمبود عناصر معدنی که در سرتاسر جهان وجود دارد، کمک کند (۲۲). همچنین این اختلافات اساس سازگاری بهتر و بقای گیاهان را در شرایط کمبود شدید عناصر معدنی فراهم می سازد. مطالعات آبکشت با استفاده از محلول های غذایی کنترل شده از لحاظ pH قدم اولیه و مهمی برای ارزیابی تفاوت های ژنتیکی بین جنس ها و ارقام گیاهی می باشد (۲۸).

در این محیط ها امکان ایجاد غلظت های کم و پایینتر از نیاز گیاه در محیط اطراف ریشه وجود دارد (۲۶). به همین دلیل مطالعات متعددی درباره عناصر کم مصرف به عنوان مثال روی و آهن و تفاوت های ژنوتیپ های گیاهی از لحاظ پاسخ به کمبود یا کوددهی این عناصر در محلول های غذایی انجام شده است (۲۵، ۲۸). در این مطالعه پاسخ هفت گیاه زراعی مهم کشور به تنش کمبود آهن در محیط آبکشت، «آهن کارایی» و رابطه آن با برخی صفات کمی و کیفی مورد ارزیابی قرار گرفت. این آزمایش به عنوان قدم اولیه در مقایسه گیاهان از لحاظ تحمل کمبود آهن بوده و با توجه به پیچیدگی شیمی آهن در خاک به ویژه ای خاک های آهنکی و واکنش های متعدد این عنصر بین فاز محلول و فاز جامد، انجام مطالعه اخیر اهمیت و جایگاه ویژه ای دارد.

کمبود آهن در خاک های آهنکی کشور باعث ایجاد کلروز در بسیاری از محصولات زراعی می شود (۲). با وجود بالای بودن مقدار کل آهن در بسیاری از خاک های آهنکی، قابلیت دسترسی آهن به دلیل اسیدیته بالا (۱۰، ۱۲) و مقدار قابل توجه کربنات های آزاد در این خاک ها کم است (۱۴). امروزه با مصرف خاکی یا تغذیه برگگی کودهای معدنی و کلات های آهن و بهبود pH خاک با استفاده از اسیدهای آلی و غیر آلی تلاش می شود تا کمبود آهن برطرف شود (۱۲، ۲۰). از سوی دیگر نتایج بسیاری از مطالعات (۲، ۱۵، ۱۶، ۲۰) نشان داده است که کارایی روشهای مختلف کوددهی در برطرف کردن کمبود آهن در گیاهان زراعی پایین میباشد. از این رو، یافتن راهکارهای اثربخش، دارای توجیه اقتصادی و سازگار با محیط زیست در مبارزه با کمبود آهن مورد توجه می باشد.

کاشت گیاهان مقاوم به کمبود آهن یکی از روش های مناسب و کارآمد برای کاهش مشکل کمبود این عنصر است (۲۲). به همین دلیل مطالعه تفاوت های ژنوتیپی جنس ها و ارقام گیاهی از لحاظ آهن-کارایی در سال های اخیر به طور جدیتر مورد توجه قرار گرفته است. البته از سال ها پیش اختلاف ژنوتیپ های گیاهی از لحاظ نیاز به آهن شناخته شده است (۹، ۱۰، ۲۴). ویژگی های ژنوتیپی که باعث بروز نشانههای متفاوت کمبود آهن در ژنوتیپ های مختلف میشود به توان این گیاهان برای محلول کردن، جذب و مصرف کاراتر و موثرتر این عنصر مربوط است (۸، ۲۴). ارتباط آهن-کارایی با فعالیت های فیزیولوژیکی، پویایی مواد ذخیره ای، واکنش های متابولیکی مربوط به انتقال انرژی، نمو کلروپلاست، سوخت و ساز نیتروژن و توزیع و ذخیره آهن مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته اما به طور کامل شناخته نشده است (۸، ۲۲). آهن در تعدادی از آنزیم ها

مواد و روش ها

این پژوهش در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در پاییز سال ۱۳۸۶ در گل خانه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان با میانگین دمای روزانه و شبانه حدود ۲۲ و ۱۸ درجه سلسیوس و شدت نور حدود ۴۰۰۰۰ لوکس در محیط آبکشت (هیدروپونیک) انجام شد. آهن-کارابی هفت گیاه زراعی شامل هیبرید ذرت دانه ای سینگل کراس ۷۰۴ (*Zea mays L.*)، هیبرید ذرت شیرین سینگل کراس کرج ۴۰۳ (*Zea mays L. cv. Saccharata*)، گلرنگ رقم اراک ۲۸۱۱ (*Carthamus tinctorius L.*)، گلرنگ رقم کوسه، گندم رقم بک کراس روشن (*Triticum aestivum L.*) و گندم رقم قدس (*Triticum aestivum L.*) و تریتیکاله رقم الینر (*X. tritico-secale*) در محلول غذایی با دو سطح آهن (۵ و ۵۰ میکرومولار آهن از منبع FeEDTA) ارزیابی شد.

ترکیب محلول غذایی مورد استفاده در جدول ۱ نشان داده شده است (۵)، بذره‌های محصولات زراعی مورد نظر ابتدا بوسیله ی محلول هیپو کلریت سدیم ۲ درصد ضدعفونی شدند و سپس در گلدان های حاوی ماسه شسته، کاشته شدند. پس از اینکه گیاهچه ها به مرحله دو برگگی رسیدند، به ظرف های الیتری سفیدرنگ پلاستیکی حاوی محلول های تهیه شده منتقل گردیده و پس از استقرار گیاهچه ها سامانه ی تهویه نیز برای ظرف های مورد نظر راه اندازی شد. و هر روز حدود یک ساعت سامانه تهویه با فشار اکسیژن رسانی می کرد.

اسیدیته محلول (pH) حدود ۵/۷ و قابلیت هدایت الکتریکی (EC) بین ۳-۱/۵ دسی زیمنس بر متر در طول دوره آزمایش متغیر بود. به منظور جلوگیری از نوسانات غلظت محلول، اسیدیته و قابلیت هدایت الکتریکی

محلول هر هفته اندازه گیری شد و برای تنظیم pH محلول غذایی از محلول KOH ۱ مولار برای افزایش و اسید نیتریک ۲ مولار برای کاهش pH استفاده شد. بعد از گذشت حدود ۳۰ روز از آزمایش گیاهان مورد نظر از محلول خارج شده و بخش هوایی و ریشه آنها از یکدیگر جدا گردید. ریشه و بخش هوایی هر گیاه به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۸۰ درجه سلسیوس خشککن قرار داده شد و وزن خشک آنها با ترازوی دقیق اندازه گیری شد. برای اندازه گیری غلظت آهن و روی در ریشه و بخش هوایی، نمونه های یک گرمی آسیاب شده از آنها درون بوتله های چینی قرار داده شدند. نمونه های گیاهی به مدت دو ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس کوره ی الکتریکی به خاکستر تبدیل شده و با استفاده از اسید کلریدریک ۲ نرمال عصارهگیری شدند (۲۲). غلظت آهن و روی در عصاره ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل Perkin Elmer) اندازهگیری شد.

علاوه بر وزن خشک بخش هوایی و ریشه، غلظت آهن بخش هوایی و ریشه و محتوای آهن بخش هوایی و ریشه (حاصل ضرب غلظت در وزن خشک)، اندازه گیری شد.

برای اندازه گیری «آهن-کارآبی» هر یک از صفات اندازه گیری شده از رابطه (۱) استفاده شد.

رابطه (۱) $100 \times$ (اندازه صفت در محلول ۵۰ میکرومولار آهن / اندازه صفت در تیمار ۵ میکرومولار آهن) = آهن-کارآبی

تجزیه آماری داده ها و مقایسه گروهی آهن-کارآبی وزن خشک کل با استفاده از نرم افزار SAS، نسخه ۹ (۲۳) صورت گرفت. نمودارها با نرم افزار اکسل، آفیس ۲۰۰۳ رسم و میانگین صفات اندازه گیری شده با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی محلول غذایی مورد استفاده

عنصر	ترکیب شیمیایی	غلظت	ترکیب شیمیایی	غلظت
N	KNO _۳	۸/۰ (mM)	KCl	۵۰ (μM)
K	KNO _۳	۳/۰ (mM)	H _۲ O . MnSO _۴	۲/۰ (μM)
Ca	Ca(NO _۳) _۲ . ۴H _۲ O	۲/۰ (mM)	۷H _۲ O . ZnSO _۴	۲/۰ (μM)
P	NH _۴ H _۲ PO _۴	۱/۰ (mM)	ΔH _۲ O . CuSO _۴	۰/۵ (μM)
S	۷H _۲ O . MgSO _۴	۰/۵ (mM)	(MoO _۳ ⁷/۸۵)H _۲ MoO _۴	۰/۵ (μM)
Mg	۷H _۲ O . MgSO _۴	۰/۵ (mM)	H _۳ BO _۳	۲۵ (μM)
			Fe- EDTA	۵۰ (μM) *۵۰

*در تیمار کمبود از غلظت ۵ میکرومولار آهن استفاده شد.

نتایج و بحث

آهن کارایی بخش هوایی

نتایج تجزیه واریانس داده های مربوط به آهن کارایی اندام هوایی محصولات زراعی مختلف در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شد (جدول ۲). این نتیجه نشان دهنده ی حساسیت متفاوت گیاهان زراعی مورد آزمایش به کمبود آهن می باشد. بیشترین آهن کارایی عملکرد وزن خشک اندام هوایی مربوط به، ارقام قدس و بککراس روشن گندم نان و کمترین آن مربوط به، ذرت دانه ای سینگل کراس ۷۰۴ و گلرنگ رقم اراک ۲۸۱۱ بود (شکل ۱). در مطالعه Mahmoudi و همکاران (۱۸) نیز واکنش دو گونه لگوم نسبت به کمبود آهن متفاوت بود بگونه ایی که شدت زردی و کاهش بیومس در نخود کمتر از عدس بود. ایشان دلیل این امر را توانایی ریشه های گیاه نخود در در اسیدی کردن محیط خاک عنوان کردند. کمبود آهن منجر به کاهش وزن خشک بخش هوایی گیاهان مورد مطالعه شد (جدول ۳). بگونه ایی که این کاهش در ذرت شیرین ۸۰ درصد، ذرت دانه ای ۸۹/۴ درصد گلرنگ رقم اراک ۹۹/۱ درصد، گلرنگ رقم کوسه ۳۲ درصد، گندم رقم بک کراس روشن ۷ درصد و تریتیکاله ۳۸ درصد بود. این نتایج با یافته های عشقی زاده و همکاران (۳) و Cakmak و همکاران (۱۰) مطابقت دارد. Cakmak و همکاران (۱۰) دلیل کاهش وزن خشک بخش هوایی غلات مورد بررسی در اثر کمبود روی را، بیشتر بودن فعالیت فیزیولوژیک روی در ژنوتیپ های روی- کارآمد غلات نسبت به ژنوتیپ های روی-ناکارآمد دانستند. آهن کارایی وزن خشک بخش هوایی همبستگی مثبت و بسیار معنی داری (**۰/۸۳) با محتوای آهن بخش هوایی داشت که این با یافته های Cakmak و همکاران (۱۰) مطابقت دارد. از آنجا که نیاز گیاه به آهن بیش از سایر عناصر کم مصرف می باشد (۴)، کمبود آن نه تنها موجب کاهش سطح برگ گیاه میشود (۴، ۱۱، ۱۴) بلکه موجب از بین رفتن همزمان کلروفیل و تخریب ساختمان کلروپلاست می شود. در نتیجه، کاهش فتوسنتز، کاهش میزان کاروتن، افزایش میزان گزانتوفیل

و زردی یا به اصطلاح کلروز از پیامدهای کمبود آهن است (۴، ۶). بدیهی است که کمبود آهن منجر به کاهش وزن خشک بخش هوایی گیاه شود. نتایج مشابهی در مورد گیاه گوجه فرنگی (۴)، آفتابگردان (۱) و ذرت (۲۴، ۲۱) گزارش شده است.

آهن کارایی ریشه

آهن کارایی ریشه در سطح احتمال ۱ درصد تحت تاثیر نوع محصول زراعی قرار گرفت (جدول ۲). کمبود آهن منجر به کاهش وزن خشک ریشه در تمام محصولات زراعی مورد آزمایش شد (جدول ۳). بگونه ایی که در ذرت شیرین ۵۶ درصد، ذرت دانه ای ۸۷ درصد، گلرنگ رقم اراک ۹۴ درصد، گلرنگ رقم کوسه ۳۴ درصد گندم رقم بک کراس روشن ۰ درصد، گندم رقم قدس ۱۱ درصد و تریتیکاله ۵۰ درصد کاهش یافت. در بین هفت محصول بررسی شده گندم نان رقم قدس و بک کراس روشن، تریتیکاله و گلرنگ رقم کوسه به ترتیب متحمل ترین (آهن کارا ترین) و گلرنگ رقم اراک ۲۸۱۱ حساس ترین (ناکارآمدترین) گیاهان به کمبود آهن بودند (شکل ۱). Dong و همکاران (۱۳) و Wheal و Rengel (۲۱) گزارش کردند ارقام روی- کارآمد گندم در مقایسه با ارقام روی-ناکارآمد سطح ریشه بیشتری دارند که بخش عمده ایی از آن مربوط به ریشه های با قطر کم (کوچکتر از ۰/۰۲ میلیمتر) می باشد. ریشه های ظریف تماس موثرتری با خاک داشته و در نتیجه در جذب روی کارا تر می باشند. بین پاسخ محصولات مورد مطالعه از لحاظ آهن-کارایی وزن خشک ریشه و وزن خشک اندام هوایی همبستگی مثبت و معنی داری (**۰/۹۲) مشاهده شد (جدول ۵). وجود این همبستگی نشان دهنده ی پاسخ مشابه این دو صفت نسبت به کمبود آهن می باشد. در واقع میزان کاهش وزن خشک ریشه در شرایط کمبود آهن می تواند معیار مناسبی برای تشخیص حساسیت یا تحمل گونه های مورد مطالعه به کمبود آهن باشد.

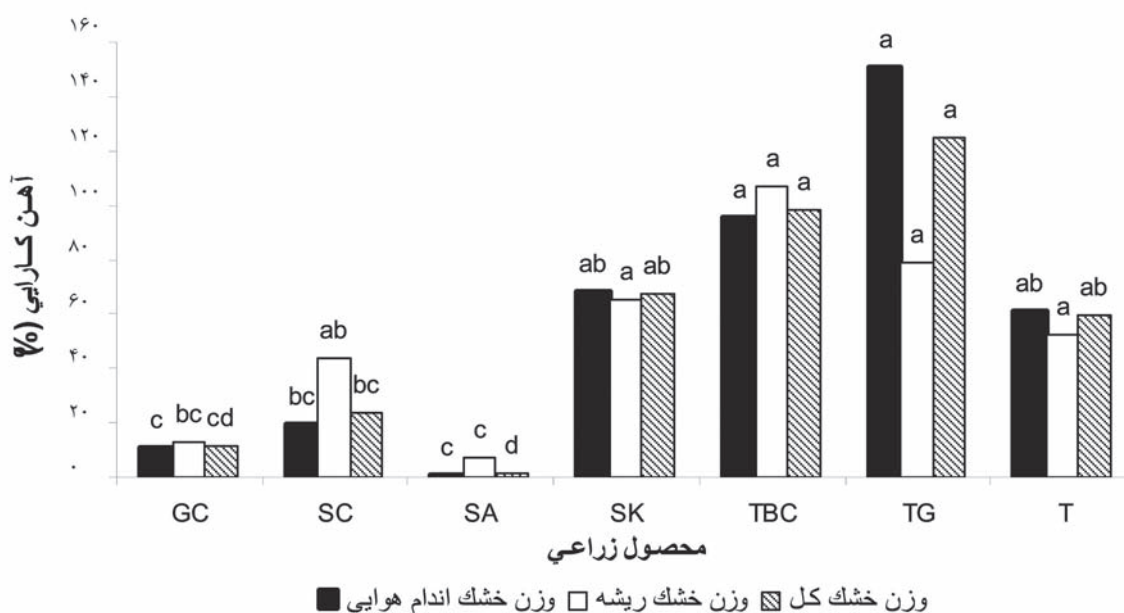
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس آهن کارایی برخی صفات محصولات زراعی مختلف

میانگین مربعات						درجه آزادی df	منابع تغییر S.O.V
محتوای آهن ریشه	محتوای آهن بخش هوایی	غلظت آهن ریشه	غلظت آهن بخش هوایی	وزن خشک کل	وزن خشک ریشه	وزن خشک بخش هوایی	
۰/۰۰۱	۰/۱۹	۰/۱۶	۰/۱۸	۰/۱	۰/۰۷	۰/۰۴	۲
۰/۰۰۱	** ۰/۷۶	۰/۲۳	۰/۱۳	۱/۰ **	۰/۶۲ **	۱/۰۰ **	۶
۰/۰۰۱	۰/۱۰	۰/۱۸	۰/۰۶	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۱۶	۱۲

* و ** به ترتیب در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ معنی دار می باشد.

جدول ۳- میانگین مقادیر صفات اندازه گیری شده در شرایط کمبود و بدون کمبود آهن در محصولات زراعی مختلف

وزن خشک کل (گرم)		وزن خشک ریشه (گرم)		وزن خشک بخش هوایی (گرم)		محصول
آهن کافی	کمبود آهن	آهن کافی	کمبود آهن	آهن کافی	کمبود آهن	
۱۵/۰	۳/۵۹	۲/۶۵	۱/۱۶	۱۲/۴	۲/۴۳	ذرت شیرین ۴۰۳
۲۳/۵	۲/۶۶	۶/۶۴	۰/۸۷	۱۶/۹	۱/۷۹	ذرت دانه ای ۷۰۴
۹/۴۲	۰/۱۱	۰/۴۹	۰/۰۳	۸/۹۶	۰/۰۸	گلرنگ رقم اراک ۲۸۱۱
۵/۳۶	۳/۶۳	۰/۹۱	۰/۶۰	۴/۴۵	۳/۰۴	گلرنگ رقم کوسه
۰/۲۰	۰/۱۹	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۱۵	۰/۱۴	گندم رقم بک کراس روشن
۰/۳۹	۰/۴۹	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۲۵	۰/۳۸	گندم رقم قدس
۰/۴۵	۰/۲۷	۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۳۷	۰/۲۲	تریپیکاله رقم الینر



شکل ۱- آهن-کارایی گیاهان زراعی مورد مطالعه بر اساس عملکرد وزن خشک کل گیاه، اندام هوایی و ریشه. SC: هیبرید ذرت شیرین کرج ۴۰۳، GC: هیبرید ذرت دانه ای ۷۰۴، SA: گلرنگ رقم اراک ۲۸۱۱، SK: گلرنگ رقم کوسه، TBC: گندم رقم بک کراس روشن، TG: گندم رقم قدس، T: تریپیکاله رقم الینر

جدول ۴- میانگین مقادیر و مقایسه میانگین «آهن کارایی» صفات اندازه گیری شده در شرایط کمبود و بدون کمبود آهن در محصولات زراعی مختلف

آهن کارایی	محتوی آهن اندام هوایی (میلی گرم در بوته)		آهن کارایی	غلظت آهن ریشه (mg kg^{-1})		آهن کارایی	غلظت آهن اندام هوایی (mg kg^{-1})		محصول
	آهن کافی	کمبود آهن		آهن کافی	کمبود آهن		آهن کافی	کمبود آهن	
۲۵/۴ ^{bc}	۰/۷۶۵	۰/۱۹۴	۲۱۱ ^a	۱۰۵۴	۲۲۳۰	۱۶۹ ^a	۶۵/۷	۱۱۱	ذرت شیرین ۴۰۳
۴/۶۴ ^d	۱/۷۵	۰/۰۸۱	۱۰۹ ^a	۳۸۸	۴۲۵	۹۴/۹ ^a	۹۹/۳	۹۴/۳	ذرت دانه ای ۷۰۴
۱۳/۴ ^{cd}	۰/۳۱۵	۰/۰۴۲	۱۷۴ ^a	۲۸۲۷	۴۹۱۶	۳۶۸ ^a	۱۴۶	۵۳۷	گلرنگ رقم اراک ۲۸۱۱
۷۷/۵ ^{ab}	۰/۶۵	۰/۵۰۴	۱۵۳ ^a	۹۵۹	۱۴۵۷	۱۷۰ ^a	۱۶۵	۲۷۹	گلرنگ رقم کوسه
۹۳/۵ ^{ab}	۰/۱۰۸	۰/۱۰۱	۱۷۲ ^a	۵۱۷۴	۸۸۸۸	۱۷۱ ^a	۷۲۱	۱۲۳۳	گندم رقم بک کراس روشن
۶۴/۴ ^{ab}	۰/۰۹۷	۰/۰۶۳	۵۴/۷ ^a	۲۳۶۷	۱۲۹۵	۷۷/۲ ^a	۲۲۴	۱۷۳	گندم رقم قدس
۱۶۸ ^a	۰/۱۱۴	۰/۱۹۲	۳۷/۹ ^a	۳۳۶۹	۱۲۷۶	۱۴۱ ^a	۳۶۳	۵۱۳	تریتیکاله رقم الینر

۱- میانگین های هر ستون که دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد تفاوت معنی دار بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد می باشد.

واکنش های آنزیمی مسیر C_4 نسبت به C_3 و نقش عنصر آهن به عنوان یک عامل همراه می تواند دلیلی بر حساسیت بیشتر گیاه ذرت نسبت به سایر محصولات باشد. کمبود آهن نه تنها موجب کاهش رشد اندام هوایی و ریشه ای شده، بلکه سطح برگ، میزان رشد نسبی، ماده سازی خالص، رشد نسبی برگ، شاخص سطح برگ، سطح ویژه برگ، تثبیت دی اکسید کربن و انتقال الکترون از طریق PSII PSI⁺، غلظت قند های محلول در برگ ها و ریشه ها به استثنای اکسیداسیون پیچیده آب را کاهش می دهد (۱۴). بین آهن کارایی و وزن خشک کل گیاه و آهن کارایی محتوای آهن بخش هوایی و ریشه همبستگی مثبت و معنی داری (جدول ۴) مشاهده شد. این در حالی است که این صفت همبستگی منفی با غلظت آهن ریشه (۰/۰۸-) و همبستگی منفی و معنی داری (**۰/۵۶-) با غلظت آهن بخش هوایی دارد. وجود همبستگی های مذکور موید این مطلب است که افزایش جذب آهن منجر به بهبود تولید مادی خشک و افزایش محتوای آهن شده و به دنبال آن غلظت آهن در بافت بدلیل اثر رقت ناشی از رشد گیاه کاهش یافت.

آهن کارایی غلظت آهن در بخش هوایی و ریشه

تأثیر کمبود آهن بر آهن کارایی غلظت آهن در بخش هوایی و ریشه گیاهان مورد مطالعه معنی دار نبود (جدول ۲). با این وجود مقدار آهن بافت های سبز گیاهی در مقایسه با عناصر پرمصرف کم و معمولاً در حدود ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم ماده خشک می باشد (۲). هر چند که ژنوتیپ های آهن- کارآمد توانایی جذب آهن بیشتری را دارند، الزاماً غلظت آهن در برگ، بخش هوایی و دانه آنها بالاتر نیست. این نتایج با اظهارات Braun و Cakmak (۹) مطابقت دارد. این پژوهش گران گزارش کردند

آهن کارایی کل گیاه

محصولات مورد مطالعه از نظر آهن کارایی کل گیاه تفاوت بسیار معنی داری ($P < ۰/۰۱$) نشان دادند (جدول ۲). به گونه ای که بیشترین آهن کارایی وزن خشک کل مربوط به گندم رقم قدس و بک کراس روشن و کمترین آن مربوط به گلرنگ رقم اراک ۲۸۱۱ می باشد (شکل ۱). تفاوت آهن کارایی کل گیاه ذرت دانه ای و ذرت شیرین و گندم قدس و بک کراس روشن معنی داری نشد. آهن کارایی وزن خشک کل بین ارقام گندم قدس و بک کراس روشن در سطح احتمال ۵ درصد متفاوت بود (جدول ۴). اختلاف بین محصول گندم و گلرنگ از نظر آهن کارایی وزن خشک کل در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شد. اختلاف بین محصول ذرت و گلرنگ با تریتیکاله در رابطه با این صفت به ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد معنی دار شد. در پژوهش Mahmoudi و همکاران (۱۷) نیز کمبود آهن منجر به کاهش کل بیومس گیاهی دو وارپته نخود مورد مطالعه شد و دو وارپته واکنش مشابهی نداشتند. ایشان تفاوت واکنش دو وارپته را مربوط به تفاوت در توانایی آنها در حفظ رشد و سنتز کلروفیل در شرایط کمبود آهن نسبت به شرایط کفایت آهن دانستند. در مطالعه Yousfi و همکاران (۲۷) هم کمبود آهن منجر به کاهش بیومس هر دو گونه زراعی و وحشی گردید. ولی شدت این کاهش در دو گونه متفاوت بود. آنها دلیل این امر را تفاوت در توانایی ترشح فیتوسیدروفور، توزیع کربوهیدراتها درون گیاه، کارایی استفاده از آهن درون گیاه و توانایی فیتوسیدروفورها برای انتقال آهن دانستند.

با توجه به جدول ۳ بنظر می آید تفاوت عمده موجود در بین محصولات زراعی مورد مطالعه تفاوت در مسیر فتوسنتزی آنها است. گیاه ذرت دارای مسیر C_4 و سایر محصولات دارای مسیر C_3 هستند. پیچیدگی

قدس ۳۵/۶ درصد بود. بنابراین بیشترین آهن کارایی محتوای آهن اندام هوایی در تربیتکاله و کمترین آهن کارایی مربوط به ذرت دانه ای ۷۰۴ بود. بر اساس نتایج بدست آمده به نظر می رسد که ارقام قدس و بک کراس روشن گندم نان آهن کارایی بیشتری نسبت به ذرت و گلرنگ داشتند، هرچند گلرنگ رقم اراک ۲۸۱۱ بیشترین حساسیت را نسبت به کمبود آهن نشان داد. هیبرید ذرت شیرین ۴۰۳ آهن کارایی کمتری نسبت به ذرت دانه ای هیبرید ۷۰۴ داشت (جدول ۴). طبق اظهارات Cakmak و همکاران (۱۰) تفاوت در کارایی روی بین و درون گونه های غلات بیشتر مربوط به محتوای روی در بخش هوایی می شود. و بیشتر بودن محتوای روی ارقام روی-کارآمد غلات مربوط به توانایی بالای آنها در جذب و انتقال روی به بخش هوایی و استفاده کارآمدتر آن در بافت ها می باشد. بعلاوه تفاوت در میزان ترشح فیتوسیدروفورها، توانایی گیاهان در جذب ترکیب فیتوسیدروفورروی و یا روی از فیتوسیدروفورهای حاوی روی می تواند عامل بالاتر بودن محتوای روی در بخش هوایی غلات روی-کارآمد باشد. همچنین آنها اظهار کردند تفاوت ژنوتیپ های روی-کارآمد و روی-ناکارآمد می تواند

ژنوتیپ های گندم روی ناکارآمد ممکن است دارای غلظت بالاتر روی در بافت های خود در مقایسه با ژنوتیپ های روی کارآمد باشند. ژنوتیپ های روی کارآمد توان بالاتری برای جذب روی از محیط فقیر از روی داشته و در این شرایط ماده خشک بیشتری تولید میکنند. افزایش تولید ماده خشک گیاه سبب کاهش غلظت روی در گیاه می شود که این پدیده با عنوان اثر رقت (Dilution effect) نامیده می شود.

آهن کارایی محتوای آهن بخش هوایی و ریشه

نتایج تجزیه واریانس داده های مربوط به آهن کارایی محتوای آهن بخش هوایی در محصولات زراعی مختلف در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شد (جدول ۲) ولی آهن کارایی محتوای آهن بخش ریشه معنی دار نشد. کمبود آهن منجر به کاهش محتوای آهن محصولات زراعی مختلف شد (جدول ۴). به گونه ای که این کاهش در ذرت شیرین ۷۴/۶ درصد، ذرت دانه ای ۹۵/۴ درصد، گلرنگ رقم اراک ۸۶/۶ درصد، گلرنگ رقم کوسه ۲۲/۵ درصد، گندم رقم بک کراس روشن ۶/۵ درصد و گندم رقم

جدول ۳- مقایسه های آهنکارایی کل گیاه و مقادیر میانگین مربعات (MS) و احتمال معنی دار بودن آنها در بین محصولات زراعی مختلف

احتمال معنی دار بودن	محصول زراعی								
	ژمقایسه	ذرت دانه ای	ذرت شیرین	گلرنگ اراک	گلرنگ کوسه	گندم بک کراس	گندم قدس	تربیتکاله	MS مقایسه
۰/۲۶	C _۱	۱	۱-	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۱۸
۰/۱۰	C _۲	۰	۰	۱	۱-	۰	۰	۰	۰/۴۳
۰/۴۹	C _۳	۰	۰	۰	۰	۱	۱-	۰	۰/۰۶۶
۰/۰۲**	C _۴	۱	۱	۱-	۱-	۰	۰	۰	۲/۰۶
۰/۰۰۲**	C _۵	۱	۱	۰	۰	۱-	۱-	۰	۳/۸۳
۰/۱۸	C _۶	۰	۰	۱	۱	۱-	۱-	۰	۰/۲۷
۰/۰۰۰۲**	C _۷	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۲-	۳/۶۳
۰/۰۷	C _۸	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۲-	۰/۵۴
۰/۱۴	C _۹	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۲-	۰/۰۹
۰/۰۱**	C _{۱۰}	۶	۱-	۱-	۱-	۱-	۱-	۱-	۱/۱۷
۰/۰۰۰۵**	C _{۱۱}	۱-	۶	۱-	۱-	۱-	۱-	۱-	۳/۰۱
۰/۰۱**	C _{۱۲}	۱-	۱-	۱-	۱-	۱-	۱-	۶	۱/۲۴
۰/۳۴	C _{۱۳}	۱-	۱-	۶	۱-	۱-	۱-	۱-	۰/۱۳
۰/۱۰	C _{۱۴}	۱-	۱-	۱-	۶	۱-	۱-	۱-	۰/۴۲

ژدر هر ردیف حرف C بیانگر مقایسه بین ستون هایی است که با اعداد مثبت نمایش داده شده اند در مقابل ستون هایی که با اعداد منفی نمایش داده شده اند.

جدول ۴- همبستگی نسبی بین آهن کارایی برخی صفات اندازه گیری شده محصولات زراعی مختلف

۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	صفت	مقایسه
							۱	وزن خشک بخش هوایی	۱
						۱	۰/۹۲**	وزن خشک ریشه	۲
					۱	۰/۹۳**	۰/۹۹**	وزن خشک کل	۳
				۱	-۰/۰۲	۰/۰۱	-۰/۲۳	نسبت ریشه به بخش هوایی	۴
			۱	۰/۰۹	-۰/۵۶**	-۰/۵۲*	-۰/۵۵**	غلظت آهن بخش هوایی	۵
		۱	-۰/۱۲	۰/۳۱	-۰/۰۸	۰/۰۵	-۰/۱۰	غلظت آهن ریشه	۶
	۱	-۰/۰۶	-۰/۳۰	-۰/۱۶	۰/۸۲**	۰/۸۰**	۰/۸۳**	محتوای آهن بخش هوایی	۷
۱	۰/۵۷**	۰/۶۰**	-۰/۳۸	۰/۲۳	۰/۶۲**	۰/۷۶**	۰/۶۱**	محتوای آهن ریشه	۸

* و ** به ترتیب در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ معنی دار می باشد.

species. *Plant and Soil*. 8:337-353.

6- Bennett, J. H., Olsen, R. A. and Clark. R. B. (1982) *Modification of soil fertility by plant roots: Iron stress-response mechanism*. *What's New in Plant Physiol*. 13(1):1-4.

7- Bernal, M., R. Cases., Picorel., R. and Yruela. I. (2007) Foliar and root Cu supply affect differently Fe- and Zn- uptake and photosynthetic activity in soybean plants. *Environmental and Experimental Botany*. 60:145-150.

8- Brown, J. C. (1956) Iron chlorosis. *Annu. Rev. Plant Physiol*. 7: 171-190.

9- Cakmak, I. and H.J.Braun. Reynolds, M.P., J.I. Ortiz-Monasterio, and A. McNab (eds.). (2001) Genotypic variation for zinc efficiency. Extracted from: *Application of Physiology in Wheat Breeding*. Mexico, D.F.: CIMMYT.

10- Cakmak, I., Torun, B. Erenoglu, B. Oztürk, L. Marschner, H. Kalayci, M. Ekiz, H. and Yilmaz. A. (1998) Morphological and physiological differences in cereals in response to zinc deficiency, *Euphytica*. 100: 349-357.

11- Cakmak, I., Gulut, K. Y. Marschner, H. and Graham. R. D. (1994) Effect of zinc and iron deficiency on phytosiderophore release in wheat genotypes differing in zinc efficiency. *J. Plant Nutr*. 1-17.

12- Chen, Y., Shi, J. Tian, G. Zheng, Sh. and Lin. Q. (2004) Fe deficiency induces Cu uptake and accumulation in *Commelina communis*. *Plant Science*. 166: 1371-1377.

13- Dong, Y.P., Rengel, Z. and Graham. R.D. (1995) Root

مربوط به هوایی و ریشه در تشخیص حساسیت نسبت به کمبود آهن نسبت به غلظت آهن بخش هوایی و ریشه شاخص بهتری بود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از همکاری آقای مهندس عشقی زاده تشکر و قدردانی می شود.

پاورقی

1- Dynamics of Storage

منابع مورد استفاده

- ۱- پاسبانی، ب. (۱۳۷۶) اثرات کمبود آهن بر روی گیاه آفتابگردان. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم. دانشگاه تربیت معلم تهران.
- ۲- خوش گفتارمنش، ا.ح. (۱۳۸۵) راهکارهای بهبود کیفیت گندم تولیدی در استان قم به منظور بهبود سلامت افراد جامعه. گزارش نهایی. سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان قم. قم، ایران.
- ۳- عشقی زاده، ح.ر.، خوش گفتارمنش، ا.ح. اشرفی، ع. معلم، ا.ح. پورسختی، ن. پورقاسمیان، ن. گرجی م. و میلادی. ا. (۱۳۸۷) «آهن کارایی» تعدادی از محصولات زراعی در محیط کشت محلول. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان (در دست انتشار).
- ۴- متوسلین، ر. (۱۳۸۲) بررسی اثر کمبود آهن بر روی رشد و فتوسنتز گیاه گوجه فرنگی (*Lycopersicon esculentum*). Mill پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم گروه زیست شناسی، دانشگاه تربیت معلم.

- 5- After Johnson, C. M., Stout, P. R. Broyer, T. C. and Carlton. A. B. (1957) Comparative chlorine requirements of different plants

- enhancement of soil fertility by plant roots. *Am. Scientist*. 69: 378-384.
- 21- Rengel, Z., and Wheal. M.S. (1997a) Herbicide chlorsulfuron decreases growth of fine roots and micronutrients uptake in wheat genotypes. *J. Exp. Bot.* 48:927-934.
- 22- Rengel, Z., and Romheld. V. (2000b) Root exudation and Fe uptake and transport in wheat genotypes differing in tolerance to Zn deficiency. *Plant Soil*, 222: 25-34.
- 23- SAS Institute (2000) *SAS/STAT user's guide*. Version 9. Cary, SAS Inst. NC.
- 24- Sharma, S. (2007) Adaptation of photosynthesis under iron deficiency in maize. *Journal of Plant Physiology*. 164:1261-1267.
- 25- Thoiron, S. Briat. J. F. (1999) Differential expression of maize sugar responsive genes in response to iron deficiency. *Plant Physiology and Biochemistry*. 27:759-766.
- 26- Wright, M. J. (Ed.). (1976) *Plant adaptation to mineral stress in problem soils*. Cornell Univ. Agric. Exp. Stn., Ithaca, NY.
- 27- Yousfi, S., Rabhi, M. Abdelly, C. and Gharsalli. M. (2009) Iron deficiency tolerance traits in wild (*Hordeum maritimum*) and cultivated barley (*Hordeum vulgare*). *Comptes Rendus Biologies*. 332(6):523-533.
- 28- Yousfi, S., Wissal, M. Mahmoudi, H. Abdelly, C. and Gharsalli. M. (2007) Effect of salt on physiological responses of barley to iron deficiency. *Plant Physiology and Biochemistry*. 45:309-314.
- morphology of wheat genotypes differing in zinc efficiency. *J. Plant Nutr.* 18: 2761-2773.
- 14- Jolley, V. D., and Brown. J. C. (1989) Iron efficient and inefficient oats. I. Differences in phytosiderophore release. *J. Plant Nutr.* 12:423-435.
- 15- Khoshgoftar, A. H., and HajiMozaffari. E. (2006b) *Approaches to enhance iron concentration in wheat grain produced in Qom province, IRAN*. 2nd Central Asian Cereals Conference. June 13-16. Cholpon-Ata, Issyk Kul Lake, Kyrgyz Republic.
- 16- Leeper, G. W. (1952) Factors affecting availability of inorganic nutrients in soils with special reference to micronutrient metals. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 3: 1-16.
- 17- Mahmoudi, H., Labidi, N. Ksouri, R. Gharsalli, M. and Abdelly. C. (2007) Differential tolerance to iron deficiency of chickpea varieties and Fe resupply effects. *Comptes Rendus Biologies*. 330 (3): 237-246.
- 18- Mahmoudi, H., Ksouri, R. Gharsalli, M. and Lachaâl. M. (2005) Differences in responses to iron deficiency between two legumes: lentil (*Lens culinaris*) and chickpea (*Cicer arietinum*). *J. Plant Physiol.* 162 (11):1237-1245.
- 19- Mariotti, M., Ercoli., L. and Masoni. A. (1996) *Spectral properties of iron-deficient corn and sunflower leaves*. *Remote Sensing of Environment*. 58:282-288.
- 20- Olsen. R. A., Clark, R. B. and Bennett. J. H. (1981) The

