«آهن کارایی» تعدادی از محصولات زراعی در محیط کشت محلول

حمیدرضا عشقی‌زاده[۱*]، امیرحسین خوشگفتارمنش[۲]، علی اشرفی[۱]، امیر حسین معلم[۱]، نازنین پورسخی[۱]، نسیبه پورقاسمیان[۱]، اسماء میلادی[۱] و مرضیه گرجی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۲/۲۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۶/۱۲/۲۰)

چکیده

کمبود آهن در بسیاری از اراضی کشاورزی دنیا به ویژه در خاک‌های آهکی گسترش دارد. یکی از راه‌کارهای مقابله با کمبود آهن، کاشت گیاهان مقاوم به کمبود این عنصر می‌باشد. این پژوهش با هدف ارزیابی «آهن کارایی» تعدادی از محصولات زراعی مهم و رابطه آن با برخی صفات کمّی و کیفی در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در پاییز سال ۱۳۸۵ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. ذرت شیرین (هیبرید سینگل کراس کرج ۴۰۴)، ذرت دانه‌ای (هیبرید سینگل کراس۵۰۰)، دو رقم گلرنگ شامل S-۳۱۱۰ و S-۴۱۱، آفتابگردان رقم هایسون و گندم دوروم رقم شوگا 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 آهن کارایی اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد داشتند. هیبریدهای ذرت در مقایسه با سایر گیاهان مورد مطالعه به کمبود آهن حساس‌تر بوده (آهن-کارایی برابر با ۲۶ درصد) و کاهش بیشتری در وزن خشک اندام هوایی آنها در تیمار ۵ میکرو مولار آهن مشاهده شد. در مقابل، گندم دوروم رقم شوگا در شرایط کمبود آهن کمترین کاهش وزن خشک ریشه و اندام هوایی را در مقایسه با شرایط کافی بودن آهن نشان داد (آهن-کارایی برابر با ۹۴ درصد). ارزیابی آهن کارایی بر اساس صفات مختلف نشان داد که غلظت و محتوای آهن در کل گیاه، بخش هوایی و یا ریشه ارتباطی با میزان تحمل گیاه در برابر کمبود آهن نداشت.

واژه‌های کلیدی: آهن کارایی، ذرت شیرین، ذرت دانه‌ای، گندم دوروم، گلرنگ، آفتابگردان

مقدمه

کمبود آهن در بسیاری از گیاهانی که در خاک‌هایی با پ- هاش خنثی تا قلیایی رشد می‌کنند در ایران و سراسر جهان مشاهده می‌شود (۲). نتایج بسیاری از مطالعات (۲، ۱۱، ۱۴ و ۱۸) نشان داده که کارایی روش‌های مختلف کوددهی در برطرف کردن کمبود آهن در گیاهان زراعی پایین است. از این رو، یافتن راه‌کارهای اثربخش، دارای توجیه اقتصادی و سازگار با محیط زیست در مبارزه با کمبود آهن مورد توجه می‌باشد.

کاشت گیاهان مقاوم به کمبود آهن یکی از روش‌های مناسب و کارآمد برای پیشگیری از کمبود این عنصر است (۱۸). به همین دلیل مطالعه تفاوت‌های ژنوتیپی جنس‌ها و ارقام گیاهی از لحاظ آهن- کارایی در سال‌های اخیر به طور جدی‌تر

۱. به ترتیب دانشجویان سابق کارشناسی ارشد زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. استادیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: hamideshghizadeh@gmail.com

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.49.8]

مورد توجه قرار گرفته است. البته از سال‌ها پیش اختلاف ژنوتیپ‌های گیاهی از لحاظ نیاز به آهن شناخته شده است (۶، ۷ و ۱۹). ویژگی‌های ژنوتیپی که باعث بروز نشانه‌های متفاوت کمبود آهن در ژنوتیپ‌های مختلف می‌شود به توان این گیاهان برای محلول کردن جذب و مصرف کاراتر و مؤثرتر این عنصر مربوط است (۵ و ۱۹). به طور کلی، به ژنوتیپ‌هایی که ریزوسفر کاراتری برای جذب آهن داشته و یا توان بالاتری در مصرف آهن جذب شده به وسیله ریشه دارند، ژنوتیپ‌های «آهن- کارآ» (Fe efficient) گفته می‌شود. ویژگی‌هایی که سبب کارایی برخی ژنوتیپ‌ها در مصرف آهن می‌شود، عبارت‌اند از:

(۱) توان بیشتر ریشه‌ها در کاهش Fe^{3+} به Fe^{2+} از طریق تولید H^+ و یا آنزیم‌های کاهش دهنده آهن سه ظرفیتی (Fe3+- Reductase).

(۲) برهمکنش کمتر با سایر عناصر (مثل P، Ca، Cu، Zn، Mo و Al)

(۳) تولید کلات‌ها یا ترکیبات ذخیره‌ای و یا فرآیندهای شیمیایی- فتوشیمیایی داخلی که دسترسی به آهن و مصرف آن را تنظیم می‌کنند (۵).

ارتباط آهن-کارایی با فعالیت‌های فیزیولوژیکی، پویایی مواد ذخیره‌ای (Dynamics of storage)، واکنش‌های 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 (۵ و ۱۸). آهن در تعدادی از آنزیم‌ها و عوامل کاهش دهنده در فرایندهای 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 می‌کند (۴).

در مطالعات متعدد (۲، ۱۱، ۱۴ و ۱۸) ارتباطی بین غلظت آهن کل در بافت‌های گیاه و شدت کمبود آهن مشاهده نشده است. غلظت آهن کل در بافت‌هایی که کمبود آهن دارند، گاهی اوقات بالاتر از بافت‌های سبز گزارش شده است (۶ و ۱۵).

بخش قابل ملاحظه‌ای از آهن که در برگ یا ریشه گیاه اندازه‌گیری می‌شود ممکن است به صورت فیتوفریتین‌ها (Phytoferritin) (پروتئین‌هایی که عنصر آهن را در خود جهت مصارف متابولیکی ذخیره می‌کنند) ذخیره شده و یا در سطح ریشه رسوب کرده باشد. بنابراین مقدار آهن فعال در بافت گیاهی بهتر از غلظت آهن در تشخیص وضعیت آهن گیاه نقش دارد.

شناخت تفاوت‌های عمده بین ژنوتیپ‌ها در ارتباط با مصرف عناصر معدنی ضروری می‌باشد. بسیاری از این اختلافات تحت کنترل ژنتیک گیاه هستند ولی بیان این ژن‌ها در شرایط مختلف رشد تفاوت‌های زیادی با یکدیگر دارند (۱۸). این اختلافات ژنوتیپی می‌تواند به توضیح یا تفسیر سازگاری گیاهان با شرایط کمبود عناصر معدنی که در سرتاسر جهان وجود دارد، کمک کند (۲۶). هم‌چنین این اختلافات اساس سازگاری بهتر و بقای گیاهان را در شرایط کمبود شدید عناصر معدنی فراهم می‌سازد.

آزمایش حاضر با هدف ارزیابی «آهن کارایی» تعدادی از محصولات زراعی مهم کشور و رابطه آن با برخی صفات کمی و کیفی در محیط کشت محلول انجام شد که با تکمیل و توسعه نتایج آن در آزمایش‌های مزرعه‌ای و در محیط خاک می‌تواند از طریق انتخاب محصول مناسب‌تر در کاهش مشکلات ناشی از کمبود آهن در سطح مزارع کشور راهگشا باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در پاییز سال ۱۳۸۵ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان با میانگین دمای روزانه و شبانه به ترتیب حدود ۲۲ و ۱۸ درجه سلسیوس و شدت نور حدود ۴۰۰۰۰ لوکس در محیط هیدروپونیک انجام شد. آهن-کارایی شش گیاه زراعی شامل هیبرید ذرت شیرین سینگل کراس کرج ۴۰۴ (*Zea mays* L. cv. Saccharata) (C ۱)، هیبرید ذرت دانه‌ای سینگل کراس ۵۰۰ (*Zea mays* L.) (C ۲)، گلرنگ رقم

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.49.8]

S-۳۱۱۰ (*Carthamus tinctorius* L.) (C ۳)، گلرنگ رقم ۴۱۱ (C۴) S-، آفتابگردان رقم هایسون (*Helianthus annuus* L.) (C ۵) و گندم دوروم رقم شوگا (*Triticum durum* L.) (C ۶) 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. بذرهای محصولات زراعی مورد نظر ابتدا به وسیله محلول هیپو کلریت سدیم ۲ درصد ضدعفونی شده و سپس در گلدان‌های حاوی ماسه شسته، کاشته شدند. پس از این‌که گیاهچه‌ها به مرحله دو برگی رسیدند، به ظرف‌های حاوی محلول‌های تهیه شده منتقل گردیده و پس از استقرار گیاهچه‌ها سامانه تهویه نیز برای ظرف‌های مورد نظر راه‌اندازی شد.

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. بعد از گذشت حدود ۳۰ روز از آزمایش، گیاهان مورد نظر از هر محلول خارج شده و بخش هوایی و ریشه آنها از یکدیگر جدا گردید. شاخص سطح برگ به وسیله دستگاه شاخص سطح برگ سنج رایانه‌ای (Model GA-5, Japan) اندازه گیری شد. ریشه و بخش هوایی هر گیاه به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۸۰ درجه سلسیوس خشک‌کن قرار داده شده و وزن خشک آنها با ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری غلظت آهن و روی در ریشه و بخش هوایی، نمونه‌های ۱ گرمی آسیاب شده از آنها درون بوته‌های چینی قرار داده شدند. نمونه‌های گیاهی به مدت دو ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس کوره‌ی الکتریکی به خاکستر تبدیل شده و با استفاده از اسید کلریدریک ۲ نرمال عصاره‌گیری شدند (۲۰). غلظت آهن و روی در عصاره‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل Perkin Elmer) اندازه‌گیری شد.

علاوه بر وزن خشک بخش هوایی، ریشه و سطح برگ، غلظت آهن بخش هوایی و ریشه، غلظت روی بخش هوایی، محتوای آهن بخش هوایی (حاصل‌ضرب غلظت در وزن خشک)، محتوای روی ریشه و محتوای آهن کل اندازه‌گیری شد. میزان انتقال نسبی آهن از ریشه به اندام هوایی برای محصولات مختلف از رابطه ۱ اندازه‌گیری شد.

= انتقال نسبی آهن

[۱] ۱۰۰× (محتوای آهن کل/ محتوای عنصر آهن بخش هوایی)

برای اندازه‌گیری «آهن کارایی» هر یک از صفات اندازه‌گیری شده از رابطه ۲ استفاده گردید.

= آهن کارایی

/ اندازه صفت در تیمار ۵ میکرومولار آهن)

۱۰۰× (اندازه صفت در محلول ۵۰ میکرومولار آهن

[۲]

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS صورت گرفت. نمودارها با نرم افزار اکسل رسم و میانگین صفات اندازه‌گیری شده با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن مقایسه شدند.

نتایج و بحث

علایم ظاهری کمبود

در تیمار ۵ میکرومولار آهن، علایم رنگ‌پریدگی، زردی و خشک شدن برگ‌ها و اندام‌های هوایی با شدت‌های مختلف در گیاهان مورد مطالعه مشاهده شد. از نظر شدت علایم کمبود آهن به ترتیب هیبرید ذرت شیرین کرج ۴۰۴، هیبرید ذرت دانه‌ای۷۰۰ بیشترین حساسیت را داشتند و پس از آنها محصولات آفتابگردان، گلرنگ و گندم قرار گرفتند (جدول ۲).

سطح برگ

نتایج تجزیه واریانس داده های مربوط به سطح برگ محصولات زراعی مختلف در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد (جدول۲). هم در شرایط کمبود و هم کفایت آهن، بیشترین و کمترین سطح برگ به ترتیب مربوط به گلرنگ رقم S-۴۱۱ و ذرت شیرین کرج ۴۰۴ بود.

تحمل گیاهان مورد مطالعه به کمبود آهن (آهن کارایی) از لحاظ صفت سطح برگ در جدول ۳ مقایسه شده است. کمبود

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.49.8]

جدول۱. ترکیب شیمیایی محلول غذایی مورد استفاده

عنصر	غلظت	عنصر	غلظت
N	۸/۰(mM)	Cl	۵۰ (µM)
K	۳/۰ (mM)	Mn	۲/۰ (µM)
Ca	۲/۰ (mM)	Zn	۲/۰ (µM)
P	۱/۰ (mM)	Cu	۰/۵ (µM)
S	۰/۵ (mM)	Mo	۰/۵ (µM)
Mg	۰/۵ (mM)	B	۲۵ (µM)
		Fe	۵۰* (µM)

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

جدول۲. میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس «آهن کارایی» صفات اندازه‌گیری شده در محصولات زراعی مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	۱۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
بلوک	۲	۱۰۳	۱۶۸	۳۶۶	۹/۵۶	۳۰۸۲	۴۶/۸۲	۸۲/۱۹	۲۱۸۹	۵۸۹
محصول	۵ (۴)[۲]	۴۴۰۴ **	۶۲۹ ns	۲۱۸۰ *	۸۹۱۲ **	۱۰۳۵۶ ns	۱۳۹۷ *	۶۳۸۰ *	۱۴۰۴ **	۱۲۰۵ **
خطا	۱۰	۱۱۲	۲۴۰	۶۵۶	۹۳۴	۳۸۷۲	۳۵۴	۱۷۳۸	۲۷۶	۲۴۳

اعداد ۱ تا ۹ به ترتیب معرف: (۱) سطح برگ، (۲) وزن خشک ریشه، (۳) وزن خشک بخش هوایی، (۴) غلظت عنصر آهن در بخش هوایی، (۵) غلظت عنصر روی در بخش هوایی، (۶) محتوای آهن بخش هوایی، (۷) محتوای آهن ریشه، (۸) کل محتوای آهن، (۹) انتقال نسبی عنصر آهن.

– در مورد صفت سطح برگ درجه آزادی ۴ است.

*، ** و ns: به ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ ، ۰/۰۱ و عدم اختلاف معنی‌دار هستند.

جدول۳. میانگین مقادیر صفات اندازه‌گیری شده در شرایط کمبود و بدون کمبود آهن در محصولات زراعی مختلف

محصول	سطح برگ (سانتی‌متر مربع)		آهن کارایی سطح برگ	شدت نسبی علائم ظاهری	وزن خشک ریشه (گرم)		وزن خشک بخش هوایی (گرم)	
	کمبود آهن	آهن کافی		کمبود[۱]	کمبود آهن	آهن کافی	کمبود آهن	آهن کافی
ذرت شیرین ۴۰۴	۰/۰۰	۱۹۲	۰/۰۰ b[۲]	۴	۰/۰۷	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۴۹
ذرت دانه ای۵۰۰	۲۸/۳	۳۲۵	۹/۰۰ b	۳	۰/۱۶	۰/۲۸	۰/۳۲	۰/۸۲
گلرنگ رقم S-۳۱۱۰	۱۵۳	۲۴۰	۷۲/۰۰ a	۲	۰/۱۱	۰/۲۰	۰/۷۴	۱/۰۴
گلرنگ رقم S-۴۱۱	۵۶۶	۶۷۹	۸۴/۰۰ a	۲	۰/۲۴	۰/۴۹	۲/۴۲	۳/۴۴
آفتابگردان	۱۲۸	۲۱۴	۶۳/۰۰ a	۳	۰/۱۶	۰/۱۸	۰/۶۹	۱/۴۵
گندم دوروم	–	–	–	۱	۰/۲۴	۰/۲۵	۱/۴۱	۱/۵۶

۱. علائم ظاهری کمبود آهن: ۱: کم، ۲: ملایم، ۳: شدید، ۴: خیلی شدید

۲. مقادیری که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون جند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.49.8]

آهن سبب کاهش سطح برگ هر شش گیاه زراعی مورد مطالعه شد. بیشترین کاهش سطح برگ مربوط به هیبرید ۴۰۴ ذرت شیرین بود. در مقابل، رقم گلرنگ S-۴۱۱ بیشترین آهن کارایی را در بین این محصولات به خود اختصاص داد. در پایان آزمایش، برگ‌های هیبرید ۴۰۴ ذرت شیرین در شرایط کمبود آهن به طور کامل زرد یا خشک شده و سطح برگ سبزی برای اندازه‌گیری وجود نداشت در حالی که سطح برگ این گیاه در تیمار ۵۰ میکرومولار آهن برابر با ۱۹۲ سانتی‌متر مربع بود (جدول۳). بنابراین در بین این محصولات و در مورد صفت سطح برگ به ترتیب حساسیت، هیبرید ۴۰۴ ذرت شیرین، هیبرید ذرت دانه‌ای ۵۰۰، آفتابگردان رقم هایسون، گلرنگ رقم S-۳۱۱۰ و گلرنگ رقم S-۴۱۱ قرار دارند.

وزن خشک بخش هوایی

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به وزن خشک اندام هوایی محصولات زراعی مختلف در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد (جدول۲). هم در شرایط کمبود و هم کافی بودن آهن، گلرنگ رقم S-۴۱۱ بیشترین و ذرت شیرین رقم ۴۰۴ کمترین وزن خشک اندام هوایی را به خود اختصاص دادند. کمبود آهن سبب کاهش وزن خشک اندام هوایی در کلیه گیاهان مورد مطالعه شد. اگر چه این کاهش در گیاهان مختلف یکسان نبود (جدول ۳). آهن-کارایی گیاهان مورد مطالعه، بر اساس وزن خشک اندام هوایی، اختلاف معنی‌داری (در سطح ۱ درصد) داشت (شکل ۱). در واقع حساسیت گیاهان به کمبود آهن متفاوت بود. کمترین و بیشترین کاهش عملکرد وزن خشک اندام هوایی در شرایط کمبود آهن به ترتیب در گندم دوروم رقم شوگا و هیبرید ۴۰۴ ذرت شیرین مشاهده شد.

وزن خشک ریشه

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به وزن خشک ریشه محصولات زراعی مختلف از نظر آماری معنی‌دار نشد (جدول ۲ و شکل۱). با این وجود هم در شرایط کمبود و هم کافی بودن آهن، گلرنگ رقم S-۴۱۱ بیشترین و ذرت شیرین ۴۰۴ کمترین وزن خشک ریشه را به خود اختصاص دادند.

کمبود آهن سبب کاهش وزن خشک ریشه در کلیه گیاهان مورد مطالعه شد اگرچه این کاهش در گیاهان مختلف یکسان نبود (جدول ۳). از لحاظ وزن خشک ریشه، رقم شوگا گندم دوروم متحمل‌ترین (آهن کارایی ۹۵ درصد) و هیبرید ذرت شیرین ۴۰۴ حساس‌ترین (آهن کارایی۴۲ درصد) گیاهان به کمبود آهن بودند. بین پاسخ ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از لحاظ آهن- کارایی وزن خشک ریشه و وزن خشک اندام هوایی هم‌بستگی معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۶). در واقع کاهش و یا افزایش وزن خشک ریشه در شرایط کمبود آهن نمی‌تواند معیار مناسبی برای تشخیص حساسیت یا تحمل ژنوتیپ‌های مورد مطالعه به کمبود آهن به حساب آید.

غلظت آهن در بخش هوایی

تأثیر کمبود آهن بر غلظت آهن در بخش هوایی گیاهان مورد مطالعه بسیار متفاوت بود. کمبود آهن سبب کاهش غلظت آهن در اندام هوایی ذرت شیرین ۴۰۴، ذرت دانه‌ای۵۰۰ و گلرنگ رقم S-۳۱۱۰ شد در حالی که غلظت آهن در سایر گیاهان مورد مطالعه در شرایط کمبود آهن به مراتب بیش از شرایط آهن کافی بود (جدول ۴).

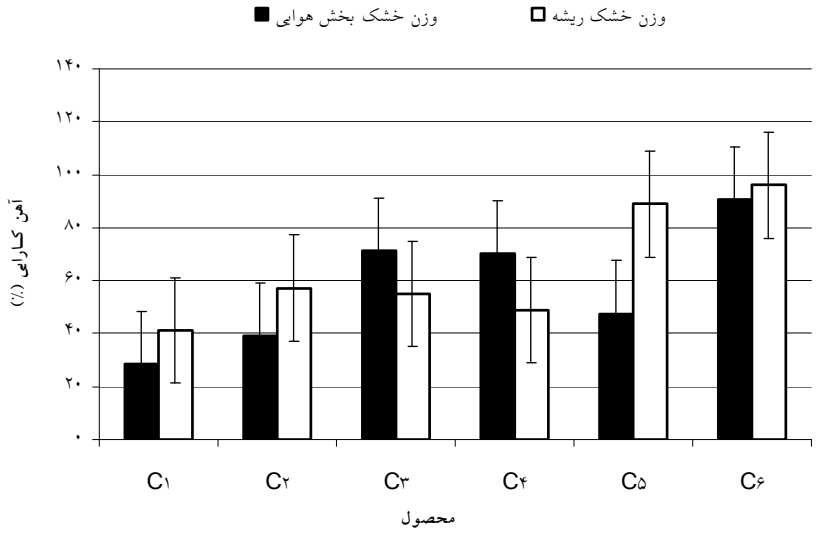
غلظت آهن بخش هوایی در بین گیاهان زراعی مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد داشت (جدول۲). گلرنگ رقم S-۴۱۱ و ذرت دانه‌ای۵۰۰ به ترتیب کمترین و بیشترین غلظت آهن اندام هوایی را به خود اختصاص دادند. با توجه به رابطه منفی بین غلظت آهن و وزن خشک بخش هوایی ($P<0/01$ ،$r=-0/56$) روند معکوس بین آهن- کارایی بر اساس وزن خشک اندام هوایی و غلظت آهن مشاهده شد (جدول ۶).

محتوای آهن بخش هوایی و ریشه

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به محتوای آهن بخش

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.49.8]



شکل۱. مقادیر «آهن کارایی» وزن خشک بخش هوایی و وزن خشک ریشه در محصولات زراعی مختلف (C_1: هیبرید ذرت شیرین کرج ۴۰۴، C_2: هیبرید ذرت دانه‌ای سینگل کراس۵۰۰ ، C_3: گلرنگ رقم S-۳۱۱۰، C_4 گلرنگ رقم S- ۴۱۱، C_5: آفتابگردان رقم هایسون و C_6: گندم دوروم رقم شوگا)

جدول۴. میانگین مقادیر و مقایسه میانگین «آهن کارایی» صفات اندازه‌گیری شده در شرایط کمبود و بدون کمبود آهن در محصولات زراعی مختلف

محصول	غلظت آهن اندام هوایی (mg kg^{-1})		آهن کارایی	غلظت روی اندام هوایی (mg kg^{-1})		آهن کارایی	محتوی آهن اندام هوایی (میلی گرم در بوته)		آهن کارایی
	کمبود آهن	آهن کافی		کمبود آهن	آهن کافی		کمبود آهن	آهن کافی	
ذرت شیرین ۴۰۴	۲۶۴	۱۸۳	۱۴۵[1] a	۴۴۶	۴۲۳	۱۱۶ a	۳۶/۳	۸۹/۲	۴۰/۸ ab
ذرت دانه‌ای۵۰۰	۱۵۶	۷۸	۱۶۰ a	۶۹۶	۴۲۶	۱۶۷ a	۴۹/۲	۶۴/۱	۷۷/۴ a
گلرنگ رقم S-۳۱۱۰	۱۲۶	۱۲۰	۱۰۶ ab	۱۵۳	۱۹۳	۹۴ a	۷۹/۸	۱۲۵	۶۶/۳ ab
گلرنگ رقم S-۴۱۱	۱۵۶	۶۷۵	۲۳ b	۱۸۳	۹۰	۲۰۵ a	۲۸۴	۲۳۲۸	۱۷/۵ b
آفتابگردان	۹۰	۱۱۸	۷۶ ab	۳۱۴	۱۸۱	۲۰۰ a	۶۱/۵	۱۷۱	۳۵/۸ ab
گندم دوروم	۸۳	۲۱۰	۴۵ b	۳۰۸	۱۸۲	۱۶۹ a	۱۵۳	۳۳۴	۴۶/۴ ab

۱. مقادیری که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

هوایی و ریشه در محصولات زراعی مختلف در سطح احتمال ۵٪ معنی دار شد (جدول ۲). بیشترین کاهش در محتوای آهن اندام هوایی در گلرنگ رقم S-۳۱۱۰ (آهن- کارایی ۱۷/۵ درصد) مشاهده شد در حالی که همین رقم از نظر محتوای آهن ریشه با ۱۵۸ درصد بیشترین آهن کارایی را در بین این محصولات به خود اختصاص داد (جدول ۴ و ۵). در شرایط کمبود آهن، گلرنگ رقم S-۴۱۱ و ذرت شیرین ۴۰۴ به ترتیب بیشترین و کمترین محتوای آهن اندام هوایی و ریشه را به خود اختصاص دادند.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.49.8]

جدول۵. میانگین مقادیر و مقایسه میانگین «آهن کارایی» صفات اندازه‌گیری شده در شرایط کمبود و بدون کمبود آهن در محصولات زراعی مختلف

محصول	محتوی آهن ریشه (میلی‌گرم در بوته)		آهن کارایی	محتوای آهن کل (میلی‌گرم در بوته)		آهن کارایی	میزان انتقال نسبی (درصد)		آهن کارایی
	کمبود آهن	آهن کافی		کمبود آهن	آهن کافی		کمبود آهن	آهن کافی	
ذرت شیرین ۴۰۴	۲۶/۸	۳۳/۹	۷۸/۶ [۱ ab]	۶۳/۱	۱۲۳	۵۳/۴ [ab]	۵۷/۷	۷۲/۵	۷۹/۷ [a]
ذرت دانه‌ای ۵۰۰	۲۷/۸	۲۷/۶	۱۰۳ [ab]	۷۷/۰	۹۱/۷	۸۳/۹ [a]	۶۵/۳	۷۰/۰	۹۳/۹ [a]
گلرنگ رقم S-۳۱۱۰	۵۴/۸	۴۶/۶	۱۲۸ [ab]	۱۳۴	۱۷۲	۸۲/۲ [a]	۵۸/۶	۷۳/۷	۷۹/۲ [a]
گلرنگ رقم S- ۴۱۱	۲۲۳	۱۶۹	۱۵۸ [a]	۵۰۸	۲۴۹۸	۲۶/۹ [b]	۵۵/۵	۹۲/۸	۶۳/۷ [ab]
آفتابگردان	۸۱/۹	۱۲۸	۸۱/۷ [ab]	۱۴۳	۲۹۹	۴۹/۲ [ab]	۴۳/۹	۵۷/۵	۷۶/۰ [ab]
گندم دوروم	۶۰/۳	۲۱۲	۲۷/۷ [b]	۲۸۹	۵۴۶	۵۳/۷ [ab]	۲۰/۰	۵۵/۹	۳۵/۵ [b]

۱. مقادیری که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول۶. هم‌بستگی نسبی بین آهن کارایی برخی از صفات اندازه‌گیری شده

صفت	وزن خشک ریشه	وزن خشک بخش هوایی	غلظت آهن بخش هوایی	غلظت روی بخش هوایی	محتوای آهن بخش هوایی	محتوای کل آهن	میزان انتقال نسبی آهن
وزن خشک ریشه	۱/۰۰						
وزن خشک بخش هوایی	۰/۰۶ [ns]	۱/۰۰					
غلظت آهن بخش هوایی	-۰/۲۶ [ns]	-۰/۵۶ [**]	۱/۰۰				
غلظت روی بخش هوایی	۰/۴۶ [*]	-۰/۴۰ [ns]	-۰/۰۷ [ns]	۱/۰۰			
محتوای آهن بخش هوایی	-۰/۰۵ [ns]	-۰/۳۳ [ns]	۰/۵۴ [*]	-۰/۰۵ [ns]	۱/۰۰		
محتوای کل آهن	۰/۰۸ [ns]	-۰/۰۸ [ns]	۰/۶۵ [**]	۰/۰۱ [ns]	۰/۷۹ [**]	۱/۰۰	
میزان انتقال نسبی آهن	-۰/۱۵ [ns]	-۰/۶۳ [**]	۰/۴۶ [*]	۰/۲۴ [ns]	۰/۵۰ [*]	۰/۲۲ [ns]	۱/۰۰

محتوای آهن کل

گیاهان زراعی مورد مطالعه از لحاظ محتوای آهن کل گیاه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ داشتند (جدول ۲). در شرایط کمبود آهن، گلرنگ رقم S-۴۱۱ و ذرت شیرین ۴۰۴ به ترتیب بیشترین و کمترین محتوای آهن کل را به خود اختصاص دادند (جدول۵).

کمبود آهن سبب کاهش محتوای آهن کل در کلیه گیاهان مورد مطالعه شد اگرچه پاسخ گیاهان مختلف به کمبود آهن از لحاظ محتوای آهن کل (آهن کارایی) متفاوت بود. کمترین و بیشترین کاهش محتوای آهن کل در شرایط کمبود آهن به ترتیب در هیبرید ذرت دانه‌ای ۵۰۰ و گلرنگ رقم S-۴۱۱ مشاهده شد (جدول ۵). بین پاسخ ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از لحاظ محتوای آهن اندام هوایی و آهن-کارایی آنها از لحاظ وزن خشک اندام هوایی هم‌بستگی معنی‌داری مشاهده

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.49.8]

نشد(جدول ۶). در واقع کاهش و یا افزایش محتوای آهن کل در شرایط کمبود آهن نمی‌تواند معیار مناسبی برای تشخیص حساسیت یا تحمل ژنوتیپ‌های مورد مطالعه به کمبود آهن به حساب آید.

انتقال نسبی آهن از ریشه به اندام هوایی

از لحاظ انتقال نسبی آهن از ریشه به اندام هوایی نیز در بین محصولات زراعی اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ مشاهده شد (جدول ۲). در شرایط کمبود آهن، گندم دوروم و ذرت دانه‌ای ۵۰۰ به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار آهن را از ریشه به اندام هوایی انتقال دادند.

کمبود آهن سبب کاهش معنی‌دار انتقال آهن به اندام هوایی در کلیه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه شد اگرچه این کاهش بسته به نوع گیاه بسیار متفاوت بود (جدول ۲). کمترین (آهن کارایی۳۵/۵ درصد) و بیشترین (آهن کارایی ۹۳ درصد) کاهش انتقال آهن به اندام هوایی در شرایط کمبود، به ترتیب در هیبرید ۵۰۰ ذرت دانه‌ای و گندم دوروم رقم شوگا مشاهده شد. بین مقدار نسبی انتقال آهن از زیشه به اندام هوایی و آهن- کارایی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه از لحاظ وزن خشک اندام هوایی هم‌بستگی منفی و معنی‌داری (در سطح ۱ درصد) مشاهده شد (جدول ۶). در واقع ارقام متحمل‌تر به کمبود آهن نسبت کمتری از آهن جذب شده توسط ریشه را به اندام هوایی خود انتقال دادند.

غلظت روی در بخش هوایی

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده های مربوط به غلظت روی، بین محصولات زراعی مورد مطالعه از نظر آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول۲). هم در شرایط کمبود و هم در حضور مقدار کافی آهن در محیط، بیشترین غلظت روی در اندام هوایی مربوط به ذرت دانه ای۵۰۰ بود (جدول ۴). پاسخ گیاهان مختلف به کمبود آهن از لحاظ غلظت روی اندام هوایی متفاوت بود اگرچه بین آهن- کارایی بر اساس وزن خشک اندام هوایی و میزان کاهش غلظت روی در شرایط کمبود آهن ارتباط معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۶). در واقع، غلظت روی در اندام هوایی ارتباطی با میزان تحمل گیاهان به کمبود آهن نداشت.

بحث

مطالعات آبکشت با استفاده از محلول‌های غذایی کنترل شده از لحاظ پ-هاش قدم اولیه و مهمی برای ارزیابی تفاوت‌های ژنتیکی بین جنس‌ها و ارقام گیاهی می‌باشد (۲۲ و ۲۳). در این محیط‌ها امکان ایجاد غلظت‌های کم و پایین‌تر از نیاز گیاه در محیط اطراف ریشه وجود دارد (۲۱). به همین دلیل مطالعات متعددی درباره عناصر کم‌مصرف به عنوان مثال روی و آهن و تفاوت‌های ژنوتیپ‌های گیاهی از لحاظ پاسخ به کمبود یا کوددهی این عناصر در محلول‌های غذایی انجام شده است (۲۰ و ۲۲). در این آزمایش پاسخ شش گیاه زراعی مهم کشور به تنش کمبود آهن در محیط آبکشت 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 خاک‌های آهکی و واکنش‌های متعدد این عنصر بین فار محلول و فاز جامد، انجام مطالعه اخیر اهمیت و جایگاه ویژه‌ای دارد.

نظر به اهمیت وزن خشک اندام هوایی در ایجاد قابلیت لازم برای تولید عملکرد اقتصادی و زراعی یک محصول، میزان کاهش این صفت به عنوان شاخص اصلی ارزیابی تعیین حساسیت ژنوتیپ‌های مورد مطالعه به کمبود آهن در نظر گرفته شد. در واقع، آهن- کارایی بر اساس وزن خشک اندام هوایی به عنوان معیار تحمل گیاهان به کمبود آهن مورد نظر بوده و پاسخ گیاه از لحاظ سایر صفات به کمبود آهن (تبیین شده به شکل آهن- کارایی هر یک از صفات) با آن مورد ارزیابی قرار گرفت.

بر اساس نتایج این آزمایش اختلاف معنی‌داری بین گیاهان مورد مطالعه از لحاظ پاسخ به تنش کمبود آهن مشاهده شد.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.49.8]

اختلاف ژنوتیپی بین برخی جنس‌ها و ارقام گیاهان زراعی نظیر گندم دوروم و نان، جو دوسر و ذرت از لحاظ تحمل به کمبود آهن و روی توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (۸، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۷ و ۲۲). البته باید توجه داشت که نتایج این آزمایش در یک محیط کشت مصنوعی و بدون حضور خاک (آبکشت) و در یک دوره زمانی کوتاه مدت حاصل شده است. روی و آهن- کارایی ژنوتیپ‌های گیاهی در محیط‌های آبکشت به فعالیت این عناصر در محلول غذایی تیمار کمبود و مرحله رشد گیاه در زمان برداشت بستگی دارد (۱۶). مدت زمان مناسب برای انجام این آزمایش‌ها دوره رشد حدود سه تا چهار هفته بوده و اغلب مطالعات آهن و روی-کارایی در محیط‌های آبکشت در چنین دوره زمانی انجام شده است (۱۶، ۲۱ و ۲۲). در مطالعه اخیر نیز طولانی‌کردن دوره رشد گیاه به سبب خسارت شدید ناشی از کمبود آهن، توقف رشد و از بین رفتن برخی گیاهان، مناسب نبوده و قادر به ارایه داده‌های مفید نبود.

به طور کلی می‌توان بیان داشت که با توجه به شرایط این آزمایش و در محصولات زراعی مورد مطالعه، غلظت و محتوای آهن در کل گیاه، بخش هوایی و یا ریشه ارتباطی با متحمل بودن گیاه نسبت به کمبود آهن ندارد (جدول ۶). از نظر وزن خشک ریشه و وزن خشک بخش هوایی هیبریدهای ذرت نسبت به کمبود آهن در بین این محصولات حساس‌تر بودند و در پایان آزمایش گیاهان باقی‌مانده در تیمار کمبود آهن (به خصوص هیبرید ۴۰۴ ذرت شیرین) زرد یا خشک بودند. از نظر فیزیولوژیکی تفاوت اصلی بین ذرت با سایر محصولات مورد مطالعه در این آزمایش C_4 بودن این گیاه است. درگیری دو چرخه در دو مکان مختلف (سلول‌های مزوفیلی و غلاف آوندی) در روند تثبیت (Assimilation) کربن و مقادیر کلروفیل بیشتر در سیستم فتوسنتزی C_4 نسبت به سیستم فتوسنتزی ۳ C وجود آنزیم‌های بیشتر را اجتناب‌ناپذیر ساخته است که با توجه به نقش آهن به عنوان یک «فاکتور همراه» در واکنش‌های آنزیمی حساسیت بیشتر این گیاه قابل پیش‌بینی است (۱ و ۱۸). گندم دوروم رقم شوگا و دو رقم گلرنگ نسبت به کمبود آهن تحمل خوبی داشتند و آفتابگردان نیز پس از آنها قرار گرفت. از نظر سیر تکاملی، گندم دوروم جزو گندم‌های تتراپلوئید است و ارقام گلرنگ نیز به گیاهان وحشی این محصولات نزدیک‌تر هستند و اقدامات اصلاحی قابل توجهی روی آنها صورت نگرفته است. در حالی که هیبریدهای ذرت از محصولات زراعی پرمحصول و نیازمند به نهاده‌های زیاد بوده و اقدامات اصلاحی زیادی بر روی آنها صورت گرفته است.

به نظر می‌رسد غربال محصولات زراعی از نظر حساس بودن و متحمل بودن نسبت به کمبود آهن با استفاده از سیستم‌های آبکشت برای گیاهانی که حساسیت بالایی به کمبود آهن دارند مناسب است. ولی در مورد محصولاتی مثل آفتابگردان و یا حتی رقم‌های گلرنگ در این آزمایش که ظهور علایم کمبود دیرتر آغاز شد و چه بسا با ادامه رشد خسارات مهمی بر عملکرد اقتصادی ایجاد می‌شد، باید طول دوران رشد زیادتر بوده و اجازه تولید عملکرد اقتصادی به گیاهان داده شود. بنابر این انجام مطالعات تکمیلی در خاک پیشنهاد می‌شود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از زحمات سرکار خانم مهندس قلمی به سبب فراهم نمودن وسایل مورد نیاز آزمایش و نیز از آقای مهندس عرب‌زادگان به دلیل همکاری در استفاده از دستگاه جذب اتمی تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

۱. احمدی، ع. و ع. سی و سه مرده. ۱۳۸۰. *فیزیولوژی گیاهان زراعی* (ترجمه). انتشارات دانشگاه تهران.

۲. خوشگفتارمنش، ا.ح. ۱۳۸۵. راه‌کارهای بهبود کیفیت گندم تولیدی در استان قم به منظور بهبود سلامت افراد جامعه. گزارش نهایی

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.49.8]

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان قم.

۳. ملکوتی، م. ج. و م. م. طهرانی. ۱۳۸۴. نقش ریز مغذی‌ها در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی «عناصر خرد با تاثیر کلان». انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

4. Bennett, J. H., E. H. Lee, D. T. Kirzek, R. A. Olsen and J. C. Brown. 1982. Photochemical reduction of iron. II. Plant related factors. J. Plant Nutr. 5: 335-344.
5. Bennett, J. H., R. A. Olsen and R. B. Clark. 1982. Modification of soil fertility by plant roots: Iron stress-response mechanism. What's New in Plant Physiol. 13(1):1- 4.
6. Brown, J. C. 1956. Iron chlorosis. Annu. Rev. Plant Physiol. 7: 171-190.
7. Brown, J. C. 1961. Iron chlorosis in plants. Adv. Agron. 13:329-369.
8. Cakmak, I., K. Y. Gulut, H. Marschner and R. D. Graham. 1994. Effect of zinc and iron deficiency on phytosiderophore release in wheat genotypes differing in zinc efficiency. J. Plant Nutr. 1-17.
9. Clark, R. B. 1983. Plant genotype differences in the uptake, translocation, accumulation, and use of mineral elements required for plant growth. Plant Soil 72: 175-196.
10. DeMoor J. M. and D. J. Koropatnick. 1995. Characters of root geometry of wheat genotypes differing in Zn efficiency. J. Plant Nutr. 18:2761-2773.
11. Jolley, V. D. and J. C. Brown. 1989. Iron efficient and inefficient oats. I. Differences in phytosiderophore release. J. Plant Nutr. 12:423-435.
12. Khoshgoftarmanesh, A. H., H. Shariatmadari, M. Kalbasi and N. Karimian. 2004. Zinc efficiency of wheat cultivars grown on a saline calcareous soil. J. Plant Nutr. 27(11):1953-1962.
13. Khoshgoftar, A. H. and E. HajiMozaffari. 2006a. Approaches to enhance iron concentration in wheat grain produced in Qom province, IRAN. 2nd Central Asian Cereals Conference. June 13-16, 2006. Cholpon-Ata, Issyk Kul Lake, Kyrgyz Republic.
14. Khoshgoftar, A. H., H. Shariatmadari and N. Karimian. 2006b. Responses of wheat genotypes to zinc fertilization under saline soil conditions. J. Plant Nutr. 27(9):1-14.
15. 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.
16. Lombnaes, P. and B. R. Singh. 2003. Varietal tolerance to zinc deficiency in wheat and barley grown in chelator-buffered nutrient solution and its effect on uptake of Cu, Fe and Mn. J. Plant Nutr. Soil Sci. 166: 76-83.
17. Ma, J. F. and K. Nomoto. 1996. Effective regulation of iron acquisition in grminaceous plants. The role of mugineic acids as phytosiderophores. Physiol. Plant 97:609-617.
18. Mashner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press. 2nd ed., Harcourt Brace and Company Pub., New York.
19. Olsen. R. A., R. B. Clark and J. H. Bennett. 1981. The enhancement of soil fertility by plant roots. Am. Sci. 69: 378-384.
20. Pansu, M. and J. Gautheyrou. 2006. Handbook of soil analysis. Springer Publication, The Netherlands.
21. Parker, D.R. 1997. Responses of six crop species to solution zinc2+ activities buffered with HEDTA. Soil Sci. Soc. Am. J. 61:167-176.
22. Rengel, Z. and R.D. Graham. 1995a. Wheat genotypes differ in zinc efficiency when grown in the chelate-buffered nutrient solution. I. Growth. Plant Soil 176:307-316.
23. Rengel, Z. and R. D. Graham. 1995b. Wheat genotypes differ in zinc efficiency when grown in the chelate-buffered nutrient solution. II. Plant and soil. Plant Soil 176:307-316.
24. Rengel, Z. and V. Romheld. 2000a. Differential tolerance to Fe and Zn deficiencies in wheat germplasm. Euphytica 113: 219-225.
25. Rengel, Z. and V. Romheld. 2000b. Root exudation and Fe uptake and transport in wheat genotypes differing in tolerance to Zn deficiency. Plant Soil 222: 25-34.
26. Wallace, A. and O. R. Lunt. 1960. Iron chlorosis in horticultural plants, a review. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 75: 819-841.
27. Wright, M. J. (Ed.). 1976. Plant Adaptation to Mineral Stress in Problem Soils. Cornell Univ., Agric. Exp. Stn., Ithaca, NY.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1387.12.46.49.8]