

## مقایسه تعدادی از مهم‌ترین ارقام برنج نسبت به تحمل کمبود عنصر روی در شرایط مزرعه‌ای و آبکشت

رقیه حاجی بلند<sup>۱</sup>، سید یحیی صالحی<sup>۱</sup>، طاهره السادات آقاجانزاده<sup>۲</sup>، معصومه ابهری<sup>۳</sup> و احسان نظیفی<sup>۴</sup>

### چکیده

کمبود روی یکی از مهم‌ترین نارسائی‌های تغذیه‌ای پس از عناصر پر مصرف در گیاه برنج است. تفاوت‌های ژنوتیپی قابل توجهی بین ارقام مختلف برنج از نظر تحمل کمبود روی وجود دارد. شناخت این تفاوت‌ها و معرفی ارقام متحمل به کمبود می‌تواند مصرف کودها را کاهش دهد. در پژوهش حاضر، تحمل تعدادی از مهم‌ترین ارقام رایج برنج شمال کشور نسبت به کمبود روی در طی یک آزمایش مزرعه‌ای (۱۱ رقم) و آبکشت (۱۶ رقم) مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمایش‌ها در طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از طرح دو عاملی شامل سطح روی و رقم انجام شد. چهار سطح کود روی در آزمایش مزرعه‌ای (شاهد، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود روی) و سه سطح در آزمایش آبکشت با استفاده از تکنیک کلاتور-بافر (شامل ۱۳۰ پیکومول فعالیت روی آزاد به‌عنوان شاهد، ۲۳ و ۵ پیکومول به‌عنوان تیمار کمبود) اعمال گردید. علاوه بر سنجش اجزای عملکرد در شرایط مزرعه‌ای و شاخص‌های رشد در شرایط آبکشت، غلظت و مقدار عنصر روی در بخش‌های مختلف گیاهان سنجش شد. در آزمایش مزرعه‌ای، با توجه به همه اجزای عملکرد، ارقام اوندا و کادوس به‌عنوان ناکارترین نسبت به روی (حساس‌ترین در برابر کمبود) و ارقام دشت و خزر به‌عنوان کارآترین نسبت به روی (متحمل‌ترین در برابر کمبود) ارزیابی شد. در آبکشت، سه رقم فجر، طارم هاشمی و اوندا به‌عنوان حساس‌ترین و ارقام شفق، آمل و میانه به‌عنوان متحمل‌ترین ارقام معرفی شدند. بیشترین غلظت روی در دانه در ارقام فجر و ندا و بیشترین پاسخ به کود روی از نظر انباشتگی این عنصر در دانه‌ها در دو رقم نعمت و طارم دیلمانی مشاهده شد در حالی که در کادوس، این عنصر عمدتاً در کاه انباشته شد. این بررسی علاوه بر معرفی نمودن ارقامی که بدون نیاز به کود روی عملکرد مناسبی را نشان می‌دهند، مناسب‌ترین ارقام را از نظر انباشتن این عنصر در دانه‌ها که ارزش غذایی برنج را افزایش می‌دهد، مشخص کرده است.

واژه‌های کلیدی: برنج، ارقام برنج، کمبود روی، کارائی نسبت عنصر روی

۱. به ترتیب استادیار و کارشناس ارشد فیزیولوژی گیاهی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

۲. مربی فیزیولوژی گیاهی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مازندران

۳. دانشجوی سابق کارشناسی علوم گیاهی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

۴. دانشجوی سابق کارشناسی زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مازندران

## مقدمه

عنصر روی دارای نقش‌های فیزیولوژیکی گوناگونی در گیاهان است. روی جزء فلزی کامل کننده نزدیک به ۳۰۰ آنزیم می‌باشد. عنصر روی در برخی آنزیم‌ها (کربونیک آنهیدراز، کربوکسیلاز، آلکالین فسفاتاز و فسفولپاز) نقش کاتالیتیک و در برخی دیگر (الکل دهیدروژناز، سوپر اکسید دیسموتاز و RNA پلی مرز) نقش ساختاری دارد. در کنار آنزیم‌های دارای روی، این عنصر برای فعالیت تعدادی دیگر از آنزیم‌ها (دهیدروژنازها، آلدولازها، ایزومرازها، ترانس فسفریلازها و پیروفسفاتاز ناآلی وابسته به روی) ضروری بوده و یا فعالیت آنها را تنظیم می‌نماید (۱۵). آنزیم سوپراکسید دیسموتاز رادیکال‌های آزاد سوپراکسید که عامل آسیب به سلول‌ها می‌باشند را بی اثر می‌کند (۲۳) و به همین دلیل این عنصر برای جذب عناصر و جلوگیری از نشت آنها از ریشه ضروری است (۱۲). در گیاهان دچار کمبود روی به ویژه در شرایط بی‌هوایی یا کم‌هوایی مانند خاک‌های غرقابی، ممکن است فعالیت الکل دهیدروژناز کاهش یافته و سبب انباشتگی ترکیب سمی آستالدئید در ریشه‌ها شود (۲۲).

کمبود روی یکی از مهم‌ترین نارسائی‌های تغذیه‌ای گیاه برنج غرقابی در کشورهای مختلف از جمله هند، پاکستان، چین، ژاپن، فیلیپین، تایوان، شمال استرالیا و آمریکا است. شرایط غرقابی و احیا، pH بالای خاک و درصد بالای کربنات کلسیم در بسیاری از خاک‌های زیر کشت برنج دنیا مهم‌ترین عوامل ایجاد کمبود روی است (۸ و ۲۸). در شرایط احیائی موجود در خاک‌های غرقاب، به دو دلیل، فراهمی روی کاهش می‌یابد، اول تشکیل رسوب سولفید روی و دوم، جذب روی بر سطح کربنات کلسیم و هم‌رسوبی با سایر ذرات خاک (۱۴ و ۱۷). افزایش غلظت بی‌کربنات محلول خاک شرایط غرقاب به عنوان یکی از عوامل ایجاد کمبود روی در شالیزارهای برنج گزارش شده است (۷ و ۲۰).

در ایران، کمبود روی در کشت برنج غرقابی در شمال کشور مهم‌ترین نارسائی تغذیه‌ای این گیاه پس از عناصر

پرمصرف گزارش شده است (۳). ولی نژاد و همکاران حد بحرانی روی را ۱/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین کرده و پاسخ برنج به سولفات روی را در ۴۵ درصد از اراضی شالیزاری مازندران گزارش کردند (۳). از آن زمان، کاربرد کود روی به زارعین توصیه شده و هر ساله مقادیر قابل توجهی کود روی توسط برنج کاران مصرف می‌شود.

استفاده از کود روی هزینه‌های تولید را بالا می‌برد. از سوی دیگر با توجه به این‌که بیشتر شالیکاران هر ساله بدون توجه به مقدار واقعی فراهمی روی در خاک و براساس نتایج سال‌های گذشته و یا توصیه برنج کاران دیگر کود روی مصرف می‌کنند، پدیده انباشتگی عناصر نادر همراه این کودها در خاک و آلودگی آب‌های زهکشی می‌تواند در بلند مدت به یک معضل در اکوسیستم‌های کشاورزی تبدیل شود (۲۱). بدیهی است که شناخت ژنوتیپ‌های متحمل به کمبود روی و ترویج استفاده از این ژنوتیپ‌ها می‌تواند کاربرد کودها را کاهش دهد.

تفاوت‌های ژنوتیپی قابل توجهی در تحمل کمبود روی وجود دارد. در مورد ژنوتیپ‌های اصلاح شده در مؤسسه بین‌المللی تحقیقات برنج (IRRI)، بررسی‌های زیادی انجام گرفته و ارقام معینی به‌عنوان ارقام متحمل به کمبود معرفی شده و مشخص گردیده است که این ژنوتیپ‌ها دارای کارایی (efficiency) بالاتری نسبت به عنصر روی می‌باشند (۱۱). کارایی نسبت به یک عنصر به عنوان توانایی یک ژنوتیپ برای تولید بیشترین عملکرد در خاک‌هایی با کمبود آن عنصر برای یک ژنوتیپ استاندارد تعریف می‌گردد (۱۵). تفاوت‌های ژنوتیپی در تحمل کمبود یا کارایی مربوط به عوامل متعددی از جمله تفاوت در کارایی جذب عنصر از خاک یا محیط غذایی، تفاوت در انتقال به اندام هوایی و یا تفاوت در بهره‌وری نسبت به عنصر مورد نظر در سطح بافتی است (۱۵).

از سوی دیگر، کمبود روی در رژیم غذایی ایرانیان بخصوص زنان باردار، گزارش شده (۱) و با توجه به این‌که برنج دومین غذای ملی در ایران است، مرتفع کردن کمبود روی در رژیم غذایی با استفاده از غنی‌سازی دانه‌های این گیاه

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه قبل از آزمایش

بافت خاک (%)			%OC	EC	%TNV	pH
سیلت	رس	ماسه		(dS m <sup>-1</sup> )		
۳۷	۳۶	۲۷	۱/۷۸	۰/۲۲	۵/۹	۶/۵

انتخاب و کاشته شدند. کلیه ارقام مورد مطالعه به‌جز گرده میانه در شمال کشور کاشته می‌شوند. سایر بذرها به‌جز بذر گرده میانه که از زارعین تهیه شد، از مؤسسه تحقیقات برنج در گیلان (رشت) یا مازندران (آمل) تهیه گردید.

### کشت مزرعه‌ای

این آزمایش در طی بهار و تابستان ۸۳ در یکی از شالیزارهای روستای سروکلا، کیلومتر پنج جاده قائم شهر- جویبار انجام شد. قبل از کاشت، نمونه‌ای از خاک مزرعه آزمایشی (تا عمق ۲۵ سانتی‌متری) برداشت و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن تعیین شد (جدول ۱). در پنج سال گذشته هیچ کودی شامل عناصر پر مصرف و یا کود روی در خاک مورد آزمایش مصرف نشده بود. مقدار عنصر روی قابل استخراج با DTPA در این خاک ۰/۶۸ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک و مقدار روی کل ۱۲/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک تعیین شد.

آماده سازی زمین بر اساس عرف شالیکاران انجام و پس از مرز بندی بین کرت‌ها نسبت به اعمال تیمارهای کودی اقدام شد. آزمایش در یک طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو عامل شامل رقم و کود روی انجام شد. هر تیمار با ۴ تکرار و در هر تکرار ۵ پایه گیاه کاشته شد. ابعاد کرت‌های مورد آزمایش به ازای هر تکرار ۴۰×۴۰ سانتی‌متر و فاصله کاشت نشاها ۲۵×۲۵ سانتی‌متر بود. کودهای سوپرفسفات تریپل، اوره و کلرور پتاسیم با توجه به توصیه‌های کودی برای خاک‌های منطقه مورد استفاده قرار گرفت (۳).

خزانه کاری و انتقال به مزرعه: در اواخر فروردین، بذرها به‌مدت ۴ روز در مکانی مرطوب و نسبتاً گرم جوانه زدند، سپس به خزانه منتقل و به‌مدت ۳۰ روز در آن رشد داده شدند.

مناسب‌ترین راه‌کار در مقایسه با استفاده از مکمل‌های دارویی محسوب می‌شود.

در استان‌های مازندران و گیلان، ارقام متعدد برنج اعم از محلی و خارجی که برخی مراحل اصلاح را در ایران پشت سر گذاشته، کشت می‌شود که اطلاعات در مورد مقاومت به آفات، دوره رسیدگی یا تحمل غرقابی (۲) آنها نسبتاً کافی است ولی در مورد تحمل کمبود عناصر در آنها خصوصاً عناصر کم مصرف مانند روی هیچ اطلاعی موجود نمی‌باشد.

پژوهش حاضر با هدف مقایسه ژنوتیپ‌های ایرانی برنج از لحاظ تحمل کمبود روی و بررسی تأثیر افزودن این عنصر به محیط رشد بر غلظت آن در اندام هوایی و دانه انجام شد.

### مواد و روش‌ها

این بررسی شامل سه آزمایش جداگانه بود. آزمایش مزرعه‌ای با استفاده از ۱۱ رقم و آزمایش در محیط آبکشت با استفاده از تکنیک کلاتور - بافر بر روی ۱۶ رقم انجام شد. برای مقایسه نتایج حاصل از محیط کلاتور - بافر با محیط آبکشت غیر کلاتور - بافر، آزمایش سوم با استفاده از ۴ رقم انجام شد. شانزده رقم مورد استفاده در آبکشت کلاتور - بافر شامل فجر، طارم هاشمی، اوندا، طارم رمضانعلی، ساحل، دشت، طارم محلی، طارم دیلمانی، ندا، کادوس، نعمت، خزر، طارم، شفق، آمل و میانه بود. تهیه بذر همه ۱۶ رقم برای آزمایش مزرعه‌ای مقدور نشد و ۱۱ رقم در این آزمایش (همه ارقام بجز طارم هاشمی، طارم رمضانعلی، طارم، آمل و میانه) بررسی شدند. در آزمایش سوم چهار رقم با حساسیت متفاوت به کمبود روی در آزمایش کلاتور - بافر شامل (طارم هاشمی، اوندا، آمل و میانه)

جدول ۲. محیط آبهکشت با استفاده از تکنیک کلاتور- بافر برای گیاه برنج (pH=6.8)

عناصر کم مصرف	عناصر پر مصرف
2.0 $\mu\text{M}$ $\text{H}_3\text{BO}_3$	1.5 mM $\text{NH}_4\text{NO}_3$
5.0 $\mu\text{M}$ $\text{MnSO}_4$	1 mM $\text{CaCl}_2$
2.0 $\mu\text{M}$ $\text{CuSO}_4$	1.6 mM $\text{MgSO}_4$
0.05 $\mu\text{M}$ $(\text{NH}_4)\text{Mo}_7\text{O}_{24}$	2 mM $\text{K}_2\text{SO}_4$
40 $\mu\text{M}$ $\text{FeCl}_3$	0.1 mM $\text{KH}_2\text{PO}_4$
20 $\mu\text{M}$ $\text{ZnSO}_4$ (در تیمارهای شاهد)	
100 $\mu\text{M}$ HEDTA (N-2-hydroxyethyl-ethylenediamine-N,N',N'-triacetate)	
5 mM MES (2-[N-morpholino]-ethanesulfonate)	

جدول ۳. محیط آبهکشت غیر کلاتور- بافر برای گیاه برنج (pH=6.8)

عناصر کم مصرف	عناصر پر مصرف
2.0 $\mu\text{M}$ $\text{H}_3\text{BO}_3$	1.5 mM $\text{NH}_4\text{NO}_3$
5.0 $\mu\text{M}$ $\text{MnSO}_4$	1 mM $\text{CaCl}_2$
0.2 $\mu\text{M}$ $\text{CuSO}_4$	1.6 mM $\text{MgSO}_4$
0.05 $\mu\text{M}$ $(\text{NH}_4)\text{Mo}_7\text{O}_{24}$	1 mM $\text{K}_2\text{SO}_4$
100 $\mu\text{M}$ Fe(II)EDTA	0.3 mM $\text{KH}_2\text{PO}_4$
0.5 $\mu\text{M}$ $\text{ZnSO}_4$ (در تیمارهای شاهد)	

آزمایشی به طور یکنواخت انجام شد.

#### برداشت

برداشت در هفته اول شهریور ماه زمانی که خوشه‌ها کاملاً رسیده بودند، انجام شد. پس از جدا کردن بذرها از کاه بادست، وزن تر کاه و پس از خشک کردن به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در خشک کن، وزن خشک تعیین شد. هم‌چنین وزن هزاردانه و نیز تعداد دانه‌های خالی در هزار دانه تعیین شد.

#### آزمایش در محیط آبهکشت

این آزمایش در دو محیط متفاوت انجام شد که شامل محیط کشت کلاتور - بافر (با استفاده از HEDTA) ارائه شده برای این گیاه (۲۶) و محیط کشت غیر کلاتور - بافر موسوم به محیط پوشیدا (۲۹) بوده است. ترکیب محیط کشت در این دو محیط در جداول ۲ و ۳ آمده است.

در مرحله خزانه، ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره مصرف شد. پس از ۳۰ روز نشاها به مزرعه منتقل شدند. قبل از انتقال نشاها به زمین، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کود کلرور پتاسیم به کرت‌ها اضافه شد. کود به کار رفته اکسی سولفات روی تجارتهی با خلوص ۳۰٪ بود که به صورت چهار سطح تیماری شامل شاهد (بدون افزودن کود روی)، سطح ۱ (۲۵ کیلوگرم کود معادل ۷/۵ کیلوگرم روی در هکتار)، سطح ۲ (۵۰ کیلوگرم معادل ۱۵ کیلوگرم روی در هکتار) و سطح ۳ (۱۰۰ کیلوگرم معادل ۳۰ کیلوگرم روی در هکتار) اعمال گردید. نوع کود روی و مقادیر به کار رفته منطبق بر نوع و مقدار توصیه شده این کود در اراضی مازندران بوده است (۳). سی روز پس از نشاکاری، مقدار ۵۰ کیلوگرم در هکتار کلرید پتاسیم و در سه نوبت شامل ۱۰، ۲۵ و ۴۰ روز پس از نشاکاری جمعاً به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به کرت‌ها اضافه شد. عملیات داشت شامل آبیاری، مصرف سم و علف کش، وجین و مبارزه با آفت‌ها در تمامی کرت‌های

### آزمایش در محیط آبکشت کلاتور - بافر

تصادفی (شامل عامل رقم و عامل کود روی) با چهار تکرار اجرا شد.

در این آزمایش ۳ سطح روی اعمال شد که بر اساس کارهای قبلی در مورد ژنوتیپ‌های مختلف از مؤسسه IRRI بوده است (۱۰). سطوح مختلف روی به ترتیب برای تیمارهای کمبود تا کفایت ۱/۲۵، ۵/۰ و ۲۰ میکرومول بود. فعالیت روی آزاد در این محیط‌ها که توسط نرم افزار GEOCHEM محاسبه شد (۱۸) به ترتیب ۵، ۲۳ و ۱۳۰ پیکومول بوده است.

### برداشت

پس از سه هفته رشد در محیط تیمار، گیاهان برداشت شدند. بلافاصله قبل از برداشت، مقدار کلروفیل با استفاده از کلروفیل متر (Minolta, SPAD, 502) در برگ سوم هر گیاه که شاخص‌ترین پاسخ را به تیمارها می‌دادند، اندازه‌گیری شد. ریشه و اندام هوایی با آب دو بار تقطیر شستشو شده و در روی کاغذ صافی خشک شدند. پس از جدا کردن ریشه و اندام هوایی از هم و تعیین وزن تر، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در خشک کن در دمای ۷۰ درجه قرار گرفته و وزن خشک آنها تعیین شد. در گروه دیگری از نمونه‌ها طول ریشه با استفاده از روش شمارش شبکه‌ای اندازه‌گیری شد (۲۴). روی-کارایی (Zn Efficiency) به صورت کسری از جزء عملکرد مورد نظر در شرایط کمبود (-Zn) به شرایط غیر کمبود (+Zn) و به صورت درصد (۱۵) محاسبه گردید.

### آزمایش در محیط آبکشت غیر کلاتور - بافر

در این آزمایش ۵ سطح روی اعمال شد که شامل محیط غذایی تهیه شده در آب دو بار تقطیر بدون افزودن روی (سطح صفر اول)، محیط غذایی تهیه شده با آب یکبار تقطیر بدون افزودن روی (سطح صفر دوم)، و محیط غذایی با ۰/۱ و ۰/۵ و ۱/۰ میکرومولار روی بوده است. استفاده از آب دو بار و یکبار تقطیر در دو تیمار اول برای مشاهده تأثیر ناخالصی موجود در آب دو بار و یکبار تقطیر و مقایسه نتایج رشد در این دو محیط با سایر تیمارهای روی بوده است.

در آزمایش‌های آبکشت، ابتدا بذرهای ارقام مختلف، پس از ضد عفونی سطحی با سدیم هیپوکلریت ۰/۰۵ به مدت ۱۰ دقیقه، در تاریکی جهت جوانه زنی قرار گرفتند. پس از جوانه زنی (حدود ۵ روز پس از خیساندن) دانه رست‌های جوان بر روی شبکه نایلونی که در تشتکی پر از آب (و سولفات کلسیم ۰/۰۵ میلی مول) غوطه ور بود، قرار گرفتند. پس از ۲ روز محلول غذایی ۰/۲۵٪ و پس از ۳ روز دیگر محلول غذایی ۰/۵٪ به دانه رست‌ها اعمال شد و گیاهان تا ۱۵ روزگی در این محیط پیش کشت شدند. پس از آن انتقال دانه رست‌ها به گلدان‌ها (با حجم ۳ لیتر) انجام شد. در هر گلدان سه تا ۵ دسته گیاه بسته به نوع آزمایش و در هر دسته ۳ گیاه کاشته شد. تعویض محیط غذایی هر ۷ روز یکبار انجام شد و روزانه تبخیر آب با افزودن آب مقطر جبران شد و pH محلول‌های غذایی تنظیم گردید. آزمایش در محیط آبکشت نیز به صورت فاکتوریل و در قالب بلوک‌های کامل

### تجزیه عنصری نمونه‌ها

برای تعیین غلظت عناصر در نمونه‌های گیاهی آزمایش مزرعه‌ای، پس از خرد کردن زیر نمونه‌هایی به وزن تقریبی ۵۰۰ میلی گرم برداشت و برای سنجش آماده شدند. اندازه‌گیری غلظت روی در نمونه‌های بذر نیز با برداشت تصادفی تعدادی بذر با وزن تقریبی ۵۰۰ میلی گرم انجام شد. در آزمایش آبکشت تمام نمونه‌ها پس از تعیین وزن خشک تجزیه شدند. ابتدا نمونه‌ها به مدت ۸ ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس در کوره خاکستر شدند. پس از انحلال در اسید کلریدریک ۱۰٪، در صورت سفید نبودن نمونه‌ها، با استفاده از اسید نیتریک غلیظ، نمونه‌ها مجدداً در روی صفحه حرارتی تا خشک شدن، هضم شده و مجدداً ۴ ساعت دیگر در کوره قرار گرفتند. نمونه‌های خاکستر شده ابتدا در اسید کلریدریک ۱۰٪ حل شده و با آب دو بار تقطیر به حجم رسانده شدند. غلظت دو عنصر

روی و آهن با دستگاه جذب اتمی (Shimadzu, AA 6500) انجام شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار Sigma stat (2.03) و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از تست توکی ( $P < 0/05$ ) انجام شد.

## نتایج

### مقایسه پاسخ ژنوتیپ‌ها به روی در آزمایش مزرعه‌ای

در تعدادی از ژنوتیپ‌ها مصرف کود روی تأثیر معنی‌داری بر وزن تر و خشک اندام هوایی و به‌ویژه ارتفاع گیاه نداشت، ولی تأثیر کود روی بر این شاخص‌ها در برخی ژنوتیپ‌ها در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۴). تأثیر مصرف کود روی بر وزن تر اندام هوایی در ارقام اوندا، دشت و شفق، بر وزن خشک اندام هوایی در ارقام اوندا، طارم دیلمانی، کادوس و شفق و بر ارتفاع گیاه در ارقام طارم محلی، طارم دیلمانی، کادوس و شفق معنی‌دار بود (جدول ۴). تأثیر کود روی بر تعداد دانه‌های خالی و وزن هزار دانه نیز منحصراً در برخی ژنوتیپ‌ها معنی‌دار بود (جدول ۵). پاسخ به کود روی در ارقام دشت، طارم دیلمانی، نعمت و شفق از نظر کاهش تعداد دانه‌های خالی و ارقام اوندا، طارم دیلمانی، ندا و کادوس از نظر افزایش وزن هزار دانه معنی‌دار بود (جدول ۵). تأثیر کود روی بر اجزای عملکرد متفاوت بود و تعداد دانه‌های خالی در هزار دانه بیشتر از سایر اجزای عملکرد تحت تأثیر کود دهی قرار گرفت (جدول ۵). به طوری‌که به‌عنوان مثال در رقم طارم دیلمانی اثر مثبت کوددهی بر وزن خشک اندام هوایی ۲۰٪، بر ارتفاع گیاه ۴٪ و بر وزن هزار دانه ۱۵٪ بود ولی اثر آن در کاهش تعداد دانه‌های خالی تا ۴۰٪ بالغ شد (جدول ۵).

افزایش اجزای عملکرد عمدتاً تا سطح دوم کود (۵۰ کیلوگرم در هکتار) قابل مشاهده بود و سطح سوم کود (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار)، موجب کاهش عمومی اجزای مختلف عملکرد شد و نشان داد که این سطح بیشتر از نیاز گیاهان بوده

است. تأثیر منفی مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود روی بر وزن تر اندام هوایی در ارقام اوندا و شفق، بر وزن خشک اندام هوایی در ارقام اوندا، دشت، طارم محلی و کادوس و بر ارتفاع گیاه در ارقام طارم محلی، کادوس، نعمت و شفق معنی‌دار بود (جدول ۴). در رقم کادوس افزایش تعداد دانه‌های خالی و کاهش وزن هزار دانه با مصرف ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود روی معنی‌دار بود (جدول ۵). به همین دلیل محاسبه شاخص کارایی بر اساس مقایسه بین داده‌های شاهد و سطح کود ۲ (۵۰ کیلوگرم در هکتار) انجام شد (جدول ۵).

از نظر وزن خشک اندام هوایی، به‌ترتیب ژنوتیپ‌های کادوس، اوندا و شفق بیشترین پاسخ را به کود روی نشان دادند و بنابراین از نظر این جزء عملکرد، ناکارترین ژنوتیپ‌ها بودند، در حالی‌که از نظر وزن هزار دانه، بیشترین پاسخ به ترتیب در کادوس، اوندا و طارم دیلمانی مشاهده شد. تعداد دانه‌های خالی در اثر کاربرد ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود روی در رقم اوندا تا نصف کاهش یافت (جدول ۵). در مجموع و با توجه به مقادیر محاسبه شده کارایی نسبت به هر دو جزء عملکرد (جدول ۵)، می‌توان اوندا و کادوس را ناکارترین و دشت و خزر را کارترین ارقام در آزمایش مزرعه‌ای معرفی کرد.

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر ژنوتیپ و کود روی بر همه اجزای عملکرد در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است. از طرف دیگر اثر متقابل معنی‌داری بین ژنوتیپ و کود روی مشاهده نشد. بنابراین پاسخ ژنوتیپ‌ها به کود روی در سطوح مختلف کود روی متفاوت نبود (جدول ۶).

### مقایسه پاسخ ژنوتیپ‌ها به روی در محیط آبکشت

#### آزمایش در محیط آبکشت کلاتور- بافر

کاهش رشد ریشه اولین علامتی بود که قبل از حتی ظهور تفاوت بین تیمارها از نظر ارتفاع گیاه قابل مشاهده بود. علائم ظاهری کمبود روی به‌صورت کاهش ارتفاع گیاهان، برنزه شدن برگ‌ها و کاهش مقدار کلروفیل برگ‌ها مشاهده شد. با توجه به

جدول ۴. وزن تر و خشک اندام هوایی و ارتفاع گیاه در ژنوتیپ های مختلف گیاه برنج که در شرایط شاهد (بدون کود دهی) و یا سطوح مختلف کود روی (کیلوگرم در هکتار) در شرایط مزرعه ای کاشته شدند.

ژنوتیپ	وزن تر اندام هوایی (گرم/بج گیاه)				وزن خشک اندام هوایی (گرم/بج گیاه)				ارتفاع گیاه (سانتی متر)					
	۲۵		۵۰		۱۰۰		۱۰۰		۲۵		۵۰		شاهد	
	شاهد	۲۵	۵۰	۱۰۰	شاهد	۲۵	۵۰	۱۰۰	شاهد	۲۵	۵۰	۱۰۰	شاهد	۲۵
فجر	۲۶۸±۶۱ <sup>a</sup>	۳۱۹±۱۱۲ <sup>a</sup>	۵۱۲±۱۴۷ <sup>a</sup>	۳۶۵±۸۵ <sup>a</sup>	۱۴۲/۸±۲۴/۹ <sup>a</sup>	۱۴۵/۴±۴۰/۵ <sup>a</sup>	۱۷۸/۱±۳۵/۸ <sup>a</sup>	۱۳۵/۳±۱۵۹/۹ <sup>a</sup>	۱۰۳±۰/۸۵ <sup>a</sup>	۱۰۴±۵/۱ <sup>a</sup>	۱۰۶±۳/۴ <sup>a</sup>	۱۰۲±۲/۲ <sup>a</sup>	۱۰۶±۳/۴ <sup>a</sup>	۱۰۴±۵/۱ <sup>a</sup>
اوندآ	۳۰۹±۲۱ <sup>b</sup>	۳۰۵±۶۶ <sup>b</sup>	۴۱۹±۳۲ <sup>a</sup>	۲۹۷±۲۶ <sup>b</sup>	۱۲۴/۱±۱۱/۷ <sup>b</sup>	۱۳۲/۵±۲۲/۱ <sup>ab</sup>	۱۶۱/۶±۲۲/۸ <sup>a</sup>	۱۱۴/۲±۲/۴ <sup>b</sup>	۱۱۸±۲/۴ <sup>a</sup>	۱۱۷±۹/۲ <sup>a</sup>	۱۲۰±۵/۳ <sup>a</sup>	۱۱۶±۶/۳ <sup>a</sup>	۱۲۰±۵/۳ <sup>a</sup>	۱۱۷±۹/۲ <sup>a</sup>
ساحل	۳۳۶±۶۸ <sup>ab</sup>	۲۹۲±۱۱۶ <sup>a</sup>	۳۳۱±۱۲۳ <sup>a</sup>	۲۸۸±۶۶ <sup>a</sup>	۱۱۹/۳±۱۹/۴ <sup>ab</sup>	۱۱۲/۹±۲۹/۸ <sup>a</sup>	۱۳۹/۶±۲۳/۸ <sup>a</sup>	۱۰۳/۵±۵۹/۹ <sup>a</sup>	۹۸±۲/۸ <sup>a</sup>	۹۷±۳/۶ <sup>a</sup>	۹۵±۴/۷ <sup>a</sup>	۹۴±۴/۴ <sup>a</sup>	۹۵±۴/۷ <sup>a</sup>	۹۷±۳/۶ <sup>a</sup>
دشت	۲۸۸±۱۵ <sup>ab</sup>	۲۳۶±۲۱ <sup>b</sup>	۳۰۰±۴۰ <sup>a</sup>	۲۴۹±۱۵ <sup>ab</sup>	۱۲۹/۷±۱۶/۳ <sup>ab</sup>	۱۲۴/۴±۱۱/۶ <sup>ab</sup>	۱۴۷/۴±۱۱/۳ <sup>a</sup>	۱۱۰/۴±۴/۶ <sup>b</sup>	۱۰۴±۳/۱ <sup>a</sup>	۱۱۰±۸/۳ <sup>a</sup>	۱۱۲±۲/۰ <sup>a</sup>	۱۱۲±۲/۰ <sup>a</sup>	۱۱۰±۸/۳ <sup>a</sup>	۱۱۲±۲/۰ <sup>a</sup>
طارم محلی	۲۸۱±۶۷ <sup>a</sup>	۲۶۱±۶۶ <sup>a</sup>	۲۷۲±۵۰ <sup>a</sup>	۲۶۸±۵۱ <sup>a</sup>	۱۱۷/۵±۱۳/۲ <sup>ab</sup>	۱۲۶/۳±۱۲/۳ <sup>ab</sup>	۱۴۲/۹±۲۱/۸ <sup>a</sup>	۱۱۲/۲±۶/۷ <sup>b</sup>	۱۳۸±۴/۵ <sup>b</sup>	۱۴۹±۶/۲ <sup>a</sup>	۱۴۶±۶/۱ <sup>a</sup>	۱۴۶±۵/۷ <sup>b</sup>	۱۴۶±۶/۱ <sup>a</sup>	۱۴۹±۶/۲ <sup>a</sup>
طارم دیلمانی	۲۸۶±۵۲ <sup>a</sup>	۲۵۱±۱۲ <sup>a</sup>	۲۸۸±۷۰ <sup>a</sup>	۲۸۵±۱۰۱ <sup>a</sup>	۱۱۵/۸±۵/۵ <sup>b</sup>	۱۳۱/۴±۱۲/۳ <sup>ab</sup>	۱۴۳/۰±۲۰/۳ <sup>ab</sup>	۱۲۲/۴±۴/۷ <sup>ab</sup>	۱۳۸±۴/۱ <sup>b</sup>	۱۴۲±۲/۴ <sup>ab</sup>	۱۴۴±۱/۸ <sup>ab</sup>	۱۴۴±۱/۸ <sup>ab</sup>	۱۴۲±۲/۴ <sup>ab</sup>	۱۴۴±۱/۸ <sup>ab</sup>
ندا	۲۲۳±۱۳ <sup>a</sup>	۱۷۹±۳۹ <sup>a</sup>	۲۲۹±۴۱ <sup>a</sup>	۲۱۴±۲۱ <sup>a</sup>	۱۱۰/۳±۴/۸ <sup>a</sup>	۱۱۳/۷±۲۰/۶ <sup>a</sup>	۱۳۰/۸±۱۶/۴ <sup>a</sup>	۱۱۱/۹±۵/۳ <sup>a</sup>	۱۰۵±۲/۵ <sup>a</sup>	۱۰۶±۳/۸ <sup>a</sup>	۱۰۹±۳/۰ <sup>a</sup>	۱۰۳±۳/۰ <sup>a</sup>	۱۰۶±۳/۰ <sup>a</sup>	۱۰۹±۳/۰ <sup>a</sup>
کادوس	۲۰۶±۴۹ <sup>a</sup>	۱۵۴±۳۵ <sup>a</sup>	۱۹۶±۳۲ <sup>a</sup>	۱۶۰±۳۶ <sup>a</sup>	۸۸/۳±۱۳/۳ <sup>b</sup>	۸۶/۲±۱۵/۰ <sup>b</sup>	۱۱۶/۹±۵/۳ <sup>ab</sup>	۷۸/۴±۱۰/۹ <sup>b</sup>	۱۰۳±۱/۵ <sup>ab</sup>	۱۰۶±۳/۴ <sup>a</sup>	۱۰۷±۱/۹ <sup>a</sup>	۱۰۶±۳/۴ <sup>a</sup>	۱۰۶±۳/۴ <sup>a</sup>	۱۰۷±۱/۹ <sup>a</sup>
نعمت	۲۰۱±۵۱ <sup>a</sup>	۱۵۴±۴۲ <sup>a</sup>	۲۰۲±۳۹ <sup>a</sup>	۱۶۸±۲۲ <sup>a</sup>	۸۷/۹±۲۱/۸ <sup>a</sup>	۸۶/۳±۱۸/۲ <sup>a</sup>	۱۱۰/۴±۲۵/۳ <sup>a</sup>	۹۰/۱±۹/۶ <sup>a</sup>	۱۰۲±۰/۸۳ <sup>ab</sup>	۱۰۴±۲/۰ <sup>ab</sup>	۱۰۶±۴/۴ <sup>a</sup>	۱۰۶±۴/۴ <sup>a</sup>	۱۰۴±۲/۰ <sup>ab</sup>	۱۰۶±۴/۴ <sup>a</sup>
خزر	۲۸۰±۱۳ <sup>ab</sup>	۲۹۸±۶۷ <sup>a</sup>	۳۱۲±۱۷ <sup>a</sup>	۲۷۷±۴۰ <sup>a</sup>	۸۴/۰±۲۱/۶ <sup>a</sup>	۸۵/۱±۲۷/۶ <sup>a</sup>	۱۰۵/۵±۴۰/۳ <sup>ab</sup>	۸۳/۵±۱۵/۹ <sup>a</sup>	۱۰۶±۱/۵ <sup>a</sup>	۱۱۲±۳/۴ <sup>a</sup>	۱۱۴±۵/۶ <sup>a</sup>	۱۱۴±۵/۶ <sup>a</sup>	۱۱۲±۳/۴ <sup>a</sup>	۱۱۴±۵/۶ <sup>a</sup>
شفق	۱۹۷±۲۶ <sup>b</sup>	۱۷۲±۲۹ <sup>b</sup>	۲۶۹±۳۵ <sup>a</sup>	۲۰۸±۲۵ <sup>b</sup>	۹۴/۹±۱۰/۸ <sup>b</sup>	۹۴/۹±۱۰/۷ <sup>b</sup>	۱۲۲/۳±۱۶/۸ <sup>a</sup>	۱۰۰/۶±۵/۲ <sup>ab</sup>	۹۲±۱/۳ <sup>b</sup>	۹۷±۱/۸ <sup>a</sup>	۹۷±۲/۱ <sup>a</sup>	۹۱±۲/۳ <sup>b</sup>	۹۷±۲/۱ <sup>a</sup>	۹۷±۱/۸ <sup>a</sup>

تفاوت ما بین اعداد یک ردیف مربوط به هر کدام از اجزای عملکرد که با حروف یکسانی مشخص شده اند، معنی دار نبوده است ( $P < 0.05$ ).

جدول ۵. تعداد دانه‌های خالی در هزار دانه و وزن هزار دانه در ژنوتیپ‌های مختلف گیاه برنج که در شرایط شاهد (بدون کود دهی) و یا سطوح مختلف کود روی (کیلوگرم در هکتار) در شرایط مزرعه‌ای کاشته شدند. کارآئی ژنوتیپ‌ها با فرمول زیر محاسبه شد: وزن خشک اندام هوایی یا وزن هزاردانه در تیمار شاهد / وزن خشک اندام هوایی یا وزن هزاردانه در تیمار ۵۰ کیلوگرم کود روی  $\times 100$ .

ژنوتیپ	تعداد دانه‌های خالی در هزار دانه				وزن هزاردانه (گرم)			
	شاهد	۲۵	۵۰	۱۰۰	شاهد	۲۵	۵۰	۱۰۰
فجر	۱۸۶±۴۱ <sup>a</sup>	۱۸۴±۴۰ <sup>a</sup>	۱۴۲±۲۶ <sup>a</sup>	۱۴۷±۲۸ <sup>a</sup>	۲۰/۵±۱/۶ <sup>a</sup>	۲۱/۱±۱/۲ <sup>a</sup>	۲۲/۵±۰/۵۸ <sup>a</sup>	۲۳/۵±۲/۰ <sup>a</sup>
اوندا	۱۹۴±۹۵ <sup>a</sup>	۱۳۱±۲۵ <sup>a</sup>	۹۴±۱۷ <sup>a</sup>	۱۱۴±۲۸ <sup>a</sup>	۲۲/۴±۴/۶ <sup>a</sup>	۲۴/۷±۲/۱ <sup>a</sup>	۲۶/۸±۵/۸ <sup>a</sup>	۲۷/۹±۱/۲ <sup>a</sup>
ساحل	۱۶۰±۱۱۸ <sup>a</sup>	۱۸۱±۴۹ <sup>a</sup>	۲۳۰±۴۶ <sup>a</sup>	۱۰۸±۲۱ <sup>a</sup>	۲۰/۴±۱/۰ <sup>c</sup>	۲۱/۷±۱/۲ <sup>bc</sup>	۲۳/۲±۱/۷ <sup>ab</sup>	۲۵/۰±۰/۷۲ <sup>a</sup>
دشت	۱۹۲±۴۱ <sup>a</sup>	۱۵۱±۲۵ <sup>ab</sup>	۱۰۹±۱۲ <sup>b</sup>	۱۵۶±۵۲ <sup>ab</sup>	۲۰/۰±۱/۷ <sup>a</sup>	۱۹/۴±۱/۱ <sup>a</sup>	۲۰/۶±۰/۴۹ <sup>a</sup>	۱۹/۲±۱/۲ <sup>a</sup>
طارم محلی	۲۲۸±۴۳ <sup>a</sup>	۲۱۳±۳۹ <sup>a</sup>	۱۸۵±۶۲ <sup>a</sup>	۲۲۴±۵۸ <sup>a</sup>	۱۷/۲±۱/۵ <sup>a</sup>	۱۹/۰±۱/۳ <sup>a</sup>	۱۹/۲±۰/۸۴ <sup>a</sup>	۱۹/۴±۰/۹۲ <sup>a</sup>
طارم دیلمانی	۲۱۸±۱۷ <sup>a</sup>	۲۰۳±۱۷ <sup>a</sup>	۱۴۴±۳۴ <sup>b</sup>	۱۲۴±۱۵ <sup>b</sup>	۱۶/۶±۱/۱ <sup>c</sup>	۱۸/۷±۰/۸ <sup>b</sup>	۱۹/۶±۰/۴ <sup>ab</sup>	۲۰/۵±۰/۷ <sup>a</sup>
ندا	۱۹۹±۱۹۲ <sup>a</sup>	۲۸۹±۵۱ <sup>a</sup>	۱۷۲±۴۹ <sup>a</sup>	۱۷۲±۵۹ <sup>a</sup>	۲۱/۲±۰/۹ <sup>b</sup>	۲۲/۶±۲/۰ <sup>ab</sup>	۲۳/۶±۰/۸ <sup>ab</sup>	۲۵/۲±۲/۰ <sup>a</sup>
کادوس	۲۵۷±۴۸ <sup>ab</sup>	۲۲۰±۱۷ <sup>ab</sup>	۱۸۱±۵۸ <sup>b</sup>	۳۲۲±۶۵ <sup>a</sup>	۱۸/۵±۰/۸ <sup>c</sup>	۲۱/۲±۱/۱ <sup>ab</sup>	۲۲/۷±۱/۳ <sup>a</sup>	۱۷/۲±۱/۰ <sup>c</sup>
نعمت	۳۰۸±۴۹ <sup>a</sup>	۲۷۰±۶۵ <sup>ab</sup>	۱۸۰±۷۵ <sup>b</sup>	۱۷۲±۴۰ <sup>b</sup>	۱۹/۵±۰/۸ <sup>a</sup>	۲۱/۲±۰/۹ <sup>a</sup>	۲۲/۰±۲/۰ <sup>a</sup>	۱۹/۵±۰/۶ <sup>a</sup>
خزر	۱۶۲±۳۶ <sup>a</sup>	۱۸۴±۴۳ <sup>a</sup>	۲۰۰±۴۰ <sup>a</sup>	۱۴۲±۳۴ <sup>a</sup>	۲۱/۷±۱/۳ <sup>a</sup>	۲۳/۰±۱/۰ <sup>a</sup>	۲۳/۷±۱/۰ <sup>a</sup>	۲۳/۶±۰/۵ <sup>a</sup>
شفق	۲۶۴±۴۷ <sup>a</sup>	۳۴۹±۲۷ <sup>a</sup>	۲۲۸±۲۵ <sup>b</sup>	۲۲۶±۲۵ <sup>b</sup>	۱۸/۹±۱/۹ <sup>a</sup>	۲۰/۰±۱/۷ <sup>a</sup>	۱۹/۳±۱/۰ <sup>a</sup>	۱۹/۴±۰/۲ <sup>a</sup>

تفاوت ما بین اعداد یک ردیف مربوط به هر کدام از اجزاء عملکرد که با حروف یکسانی مشخص شده اند، معنی دار نبوده است ( $P < 0.05$ ).



جدول ۶. تجزیه واریانس برای صفات رشدی اندازه‌گیری شده در آزمایش مزرعه‌ای

میانگین مربعات						
منابع	درجه آزادی	وزن تر	وزن خشک	ارتفاع	تعداد دانه‌های	وزن هزار
		اندام هوایی	اندام هوایی	گیاه	خالی در هزار دانه	دانه
ژنوتیپ	۱۰	۸۷۶۷۵/۹**	۷۳۹۵/۷**	۵۴۸۷/۸**	۴۳۲۸۸/۸**	۹۱/۶**
کود روی	۳	۴۲۷۰۵/۷**	۱۰۰۹۰/۸**	۳۵۲/۹**	۴۲۵۲۹/۶**	۶۲/۳**
ژنوتیپ × کود روی	۳۰	۳۷۵۲/۲ <sup>ns</sup>	۱۴۵/۹ <sup>ns</sup>	۲۶/۷ <sup>ns</sup>	۸۴۴۷/۲ <sup>ns</sup>	۷/۳۵ <sup>ns</sup>
باقی‌مانده	۱۷۶	۳۸۱۹/۶	۲۹۶/۱	۱۳/۴۹	۲۵۴۰/۴	۲/۴۲
کل	۲۱۹	۸۲۱۹/۹	۷۳۹/۶	۲۷۴/۷	۵۸۱۰/۱	۸/۱

\*\* اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۱؛ ns: فاقد اختلاف معنی‌دار

هوایی کمتر بود (به‌عنوان مثال ۳۲٪ در مقایسه با ۵۹٪ در رقم فجر)، نسبت ریشه به اندام هوایی از نظر وزن خشک در همه ژنوتیپ‌ها و تیمارها افزایش یافت. طول ریشه مانند وزن خشک ریشه در همه تیمارها و ژنوتیپ‌ها در پاسخ به کاهش عرضه روی کاهش یافت، مگر در مورد طارم محلی و طارم دیلمانی که افزایش معنی‌دار طول ریشه در تیمار ۲۳ پیکومول روی مشاهده شد. تفاوت‌های ژنوتیپی در کاهش مقدار کلروفیل در شرایط کمبود روی نیز تا حد زیادی با تفاوت‌های موجود در پاسخ وزن خشک اندام هوایی انطباق داشت (جدول ۷).

نتایج تجزیه واریانس داده‌های این آزمایش نیز نشان داد که اثر ژنوتیپ و تیمار روی بر همه شاخص‌های رشدی مورد بررسی معنی‌دار بوده است. از سوی دیگر برخلاف آزمایش مزرعه‌ای، اثر متقابل بین ژنوتیپ و تیمار روی معنی‌دار شد که نشان می‌دهد پاسخ ژنوتیپ‌ها به تیمار روی در سطوح مختلف تیمار روی متفاوت بود (جدول ۸).

#### آزمایش در محیط آبکشت غیر کلاتور- بافر

این آزمایش بر روی چهار ژنوتیپ انجام شد. علائم ظاهری کمبود روی به‌صورت برنزه شدن برگ‌ها فقط در طارم هاشمی مشاهده شد. تأثیر حذف روی از محلول غذایی بر رشد گیاهان معنی‌دار بود. بررسی اثر سطوح مختلف روی در محلول غذایی

کاهش آلودگی محیط غذایی در این روش، و تفاوت زیاد بین سه سطح تیماری از نظر فعالیت روی آزاد در محلول، تفاوت‌های ژنوتیپی از نظر رشد به وضوح قابل مشاهده بود (جدول ۷).

در سطح تیماری ۵ پیکومول روی آزاد، به‌دلیل شرایط فقر کامل این عنصر و با توجه به طولانی بودن دوره رشد (۲۱ روز)، تفاوت‌هایی که بین ژنوتیپ‌های مختلف در طی دوره آزمایش از نظر رشد دیده شده بود، بتدریج به سمت پایان دوره آزمایش کاهش یافت. لذا با توجه به این‌که تفاوت بین ژنوتیپ‌ها در سطح ۲۳ پیکومول به‌صورت واقعی‌تر منعکس می‌شد، در این گزارش بین دو سطح ۱۳۰ و ۲۳ پیکومول روی آزاد مقایسه‌های مربوطه انجام گرفته است.

اسامی ژنوتیپ‌ها بر اساس مقادیر عددی به‌دست آمده برای کارایی، از ناکاراترین ارقام به کاراترین ارقام نوشته شد و در سایر جداول نیز این ترتیب رعایت گردید. کاهش رشد اندام هوایی در ژنوتیپ‌های فجر، طارم هاشمی و اوندا به‌ترتیب ۵۹، ۵۸ و ۴۱ درصد بود در حالی که کمبود روی تأثیر معنی‌داری روی ژنوتیپ‌های شفق، آمل، میانه، طارم و خزر نداشت (جدول ۷).

وزن خشک ریشه نیز هرچند در پاسخ به عرضه بسیار کم روی کاهش یافت، ولی چون این کاهش در مقایسه با اندام

جدول ۷. وزن خشک اندام هوایی و ریشه، نسبت وزن ریشه به اندام هوایی، طول ریشه و مقدار کلروفیل در چندین ژنوتیپ برنج که در مقادیر متفاوت فعالیت روی در محلول غذایی کلاتور- بافر رشد داده شدند. کارایی ژنوتیپ ها با فرمول زیر محاسبه شد:  
 وزن خشک اندام هوایی در تیمار ۲۳ پیکومول/ وزن خشک اندام هوایی در تیمار ۱۳۰ پیکومول  $\times ۰.۱۰۰$ .

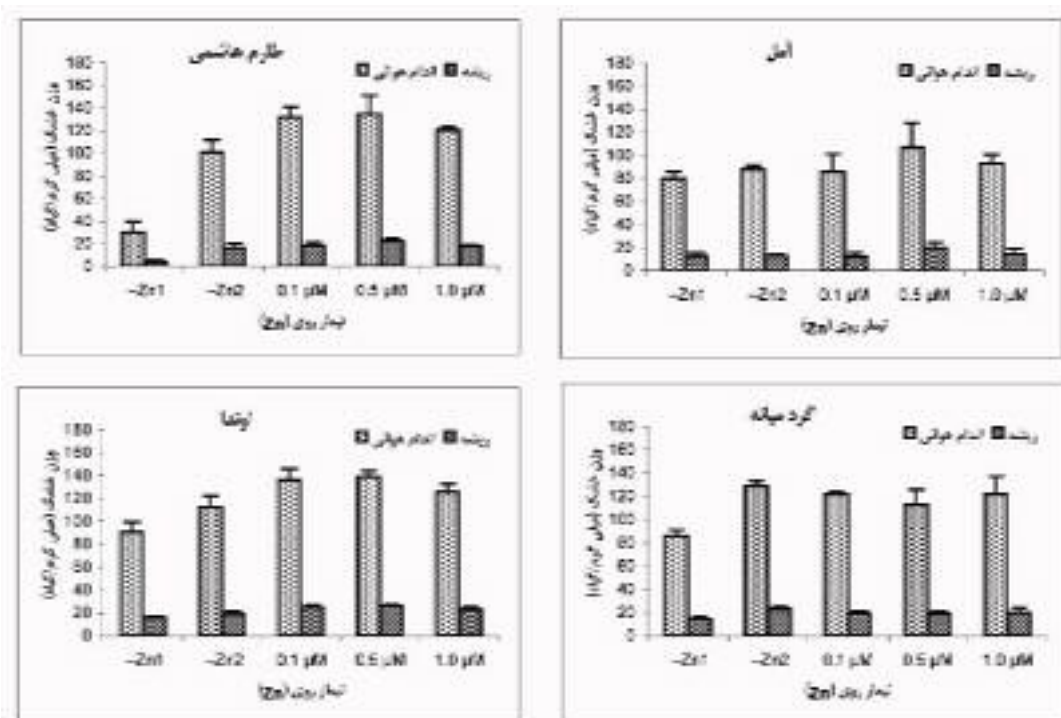
کارایی	کلروفیل (واحد نسبی)			طول ریشه (سانتیمتر گیاه)			نسبت ریشه/اندام هوایی			وزن خشک ریشه (میلی گرم/گیاه)			وزن خشک اندام هوایی (میلی گرم/گیاه)			تیمار روی
	۱۳۰	۲۳	۵	۱۳۰	۲۳	۵	۱۳۰	۲۳	۵	۱۳۰	۲۳	۵	۱۳۰	۲۳	۵	
۴۱	۱۰۰±۱/۹ <sup>a</sup>	۸۵۳±۱۳/۳ <sup>a</sup>	۵۸۹±۱۳/۳ <sup>b</sup>	۷۷±۱۸ <sup>a</sup>	۵۱۸±۱۵ <sup>b</sup>	۳۵±۳۳ <sup>b</sup>	۰/۳۴	۰/۵۵	۰/۶۴	۱۰۴±۶ <sup>a</sup>	۷۱±۸ <sup>b</sup>	۵۸±۱ <sup>c</sup>	۳۰±۲۷ <sup>a</sup>	۱۳۳±۱۳ <sup>b</sup>	۹۲±۷ <sup>c</sup>	فجر
۴۲	۱۰۰±۱/۶ <sup>a</sup>	۸۱/۱±۷/۲ <sup>b</sup>	۶۲/۹±۵/۸ <sup>c</sup>	۴۵±۳۳ <sup>a</sup>	۴۰±۶۲ <sup>ab</sup>	۳۰±۳۳ <sup>b</sup>	۰/۳۰	۰/۴۵	۰/۴۹	۱۱۰±۶ <sup>a</sup>	۶۷±۶ <sup>b</sup>	۶۱±۵ <sup>b</sup>	۳۵±۱۸ <sup>a</sup>	۱۴۹±۱۲ <sup>b</sup>	۱۲۰±۵ <sup>c</sup>	طارم هاشمی
۵۸	۱۰۰±۱/۸ <sup>b</sup>	۹۳/۴±۵/۱ <sup>a</sup>	۸۱/۴±۴/۳ <sup>b</sup>	۳۹۷±۶۶ <sup>a</sup>	۳۷۵±۱۲ <sup>a</sup>	۱۳۸±۱۳ <sup>b</sup>	۰/۳۲	۰/۳۴	۰/۵۶	۱۱۹±۱۳ <sup>a</sup>	۷۴±۱۶ <sup>b</sup>	۴۴±۶ <sup>c</sup>	۳۶۳±۲۰ <sup>a</sup>	۲۱۲±۲۰ <sup>b</sup>	۷۷±۶ <sup>c</sup>	اوندا
۶۳	۱۰۰±۱/۵ <sup>a</sup>	۸۷/۳±۲/۸ <sup>b</sup>	۶۷/۶±۲/۸ <sup>c</sup>	۵۱۶±۱۵ <sup>a</sup>	۶۰±۴۷ <sup>a</sup>	۱۸۲±۴۱ <sup>b</sup>	۰/۳۶	۰/۳۹	۰/۵۴	۲۰۸±۱۳ <sup>a</sup>	۱۴۴±۴ <sup>b</sup>	۵۰±۴ <sup>c</sup>	۵۷۶±۳۰ <sup>a</sup>	۳۶۳±۱۰ <sup>b</sup>	۹۹±۴ <sup>c</sup>	طارم رضاعلی
۶۵	۱۰۰±۲/۵ <sup>b</sup>	۹۱/۴±۷/۴ <sup>b</sup>	۷۱/۶±۱/۷ <sup>c</sup>	۱۲۷±۳۸ <sup>b</sup>	۱۰۰±۵۴ <sup>b</sup>	۲۶±۲۴ <sup>c</sup>	۰/۳۳	۰/۴۵	۰/۸۱	۲۰±۲۴ <sup>a</sup>	۱۳۸±۱۰ <sup>b</sup>	۵۲±۶ <sup>c</sup>	۴۶۳±۵۰ <sup>a</sup>	۳۰±۲۱ <sup>b</sup>	۶۳±۶ <sup>c</sup>	ساحل
۶۶	۱۰۰±۱/۵ <sup>a</sup>	۹۲/۸±۷/۵ <sup>b</sup>	۶۰/۶±۲/۵ <sup>c</sup>	۷۷±۱۵ <sup>b</sup>	۶۵±۱۳ <sup>a</sup>	۱۲±۴۴ <sup>b</sup>	۰/۳۳	۰/۴۶	۰/۵۰	۱۸±۵ <sup>a</sup>	۱۲۷±۱۷ <sup>b</sup>	۳۳±۵ <sup>c</sup>	۵۷/۳±۳۰ <sup>a</sup>	۲۶۹±۳۰ <sup>b</sup>	۶۴±۳ <sup>c</sup>	دشت
۷۰	۱۰۰±۱/۱ <sup>a</sup>	۸۵/۸±۳/۳ <sup>b</sup>	۷۰/۰±۳/۴ <sup>c</sup>	۵۰۹±۴۴ <sup>b</sup>	۷۹۹±۷۳ <sup>a</sup>	۲۱۳±۸ <sup>c</sup>	۰/۳۵	۰/۴۳	۰/۵۰	۲۰±۴۱ <sup>a</sup>	۱۱۷±۸ <sup>b</sup>	۵۱±۴ <sup>c</sup>	۵۷/۳±۳۰ <sup>a</sup>	۴۰۶±۲۰ <sup>b</sup>	۹۹±۴ <sup>c</sup>	طارم محلی
۷۶	۱۰۰±۱/۹ <sup>a</sup>	۸۴/۶±۲/۶ <sup>b</sup>	۵۸/۶±۳/۷ <sup>c</sup>	۵۵±۳۶ <sup>b</sup>	۷۱۵±۹۳ <sup>a</sup>	۲۷±۲۹ <sup>c</sup>	۰/۲۷	۰/۳۹	۰/۵۲	۱۱۹±۱۵ <sup>a</sup>	۱۳۱±۵ <sup>b</sup>	۷۷±۵ <sup>b</sup>	۳۳۱±۶۱ <sup>a</sup>	۳۲۶±۸ <sup>b</sup>	۱۳۷±۱۷ <sup>c</sup>	طارم دیلمانی
۷۹	۱۰۰±۱/۵ <sup>a</sup>	۹۴/۴±۲/۵ <sup>b</sup>	۵۵/۰±۳/۸ <sup>c</sup>	۶۵±۳۸ <sup>a</sup>	۶۲±۹۶ <sup>a</sup>	۲۷۷±۴۰ <sup>b</sup>	۰/۴۲	۰/۵۰	۰/۶۶	۱۲۶±۴ <sup>a</sup>	۱۱۲±۷ <sup>b</sup>	۶۸±۳ <sup>c</sup>	۲۹۴±۶ <sup>a</sup>	۲۳۱±۱۹ <sup>b</sup>	۱۰۱±۴ <sup>c</sup>	ندا
۷۹	۱۰۰±۱/۶ <sup>a</sup>	۸۸/۸±۰/۶ <sup>b</sup>	۵۴/۷±۵/۱ <sup>c</sup>	۴۷۸±۱۰ <sup>ab</sup>	۴۳۳±۵۱ <sup>a</sup>	۱۶۸±۱۴ <sup>b</sup>	۰/۲۹	۰/۳۹	۰/۵۹	۱۰±۲۱ <sup>a</sup>	۱۰۴±۸ <sup>a</sup>	۳۷±۵ <sup>b</sup>	۳۳۴±۲۴ <sup>a</sup>	۲۶۵±۱۱ <sup>b</sup>	۷۹±۱۰ <sup>c</sup>	کادوس
۸۳	۱۰۰±۱/۶ <sup>a</sup>	۹۰/۴±۱/۵ <sup>b</sup>	۵۸/۹±۲/۱ <sup>c</sup>	۷۵±۵۲ <sup>a</sup>	۸۲۹±۵۲ <sup>a</sup>	۱۷۸±۲۵ <sup>b</sup>	۰/۴۴	۰/۴۴	۰/۶۶	۲۰±۱۷ <sup>a</sup>	۱۶۷±۱۴ <sup>b</sup>	۵۱±۷ <sup>c</sup>	۴۵±۲۰ <sup>a</sup>	۳۷۴±۴۰ <sup>b</sup>	۷۶±۱۰ <sup>c</sup>	نعمت
۸۶	۱۰۰±۱/۷ <sup>a</sup>	۹۰/۶±۱/۶ <sup>b</sup>	۶۲/۹±۱۲/۳ <sup>b</sup>	۳۸۳±۱۱ <sup>ab</sup>	۴۱۵±۱۰ <sup>a</sup>	۲۲۹±۳۳ <sup>b</sup>	۰/۳۰	۰/۳۹	۰/۳۹	۱۶۷±۳ <sup>a</sup>	۱۴۲±۱۲ <sup>b</sup>	۶۱±۳ <sup>c</sup>	۵۳±۴۰ <sup>a</sup>	۴۵۵±۳۰ <sup>b</sup>	۱۵۶±۲۰ <sup>c</sup>	خزر
۹۱	۱۰۰±۱/۸ <sup>a</sup>	۸۸/۷±۳/۳ <sup>b</sup>	۶۸/۸±۲/۹ <sup>c</sup>	۴۹۶±۷۱ <sup>a</sup>	۶۰۵±۱۰ <sup>a</sup>	۲۹۱±۹ <sup>b</sup>	۰/۲۸	۰/۳۲	۰/۴۹	۱۵۵±۲۹ <sup>a</sup>	۱۵۸±۱۷ <sup>a</sup>	۷۴±۱ <sup>b</sup>	۵۳۲±۶۰ <sup>a</sup>	۴۸۱±۵۰ <sup>a</sup>	۱۴۹±۳ <sup>b</sup>	طارم
۹۳	۱۰۰±۱/۶ <sup>a</sup>	۹۷/۳±۰/۷ <sup>b</sup>	۸۶/۶±۴/۵ <sup>b</sup>	۶۰۰±۸۸ <sup>a</sup>	۶۶۶±۱۷ <sup>ab</sup>	۴۲۴±۴۰ <sup>a</sup>	۰/۳۵	۰/۳۸	۰/۴۱	۱۳۳±۶ <sup>a</sup>	۱۳۱±۲۵ <sup>a</sup>	۷۰±۳ <sup>b</sup>	۳۶۹±۱۰ <sup>a</sup>	۳۴۲±۵۰ <sup>a</sup>	۱۶۶±۷ <sup>b</sup>	شفق
۹۹	۱۰۰±۱/۴ <sup>a</sup>	۹۰/۷±۰/۳ <sup>b</sup>	۵۷/۲±۵/۴ <sup>c</sup>	۱۰۴۹±۸۵ <sup>b</sup>	۸۲۹±۴۴ <sup>b</sup>	۴۹۴±۳۸ <sup>c</sup>	۰/۴۹	۰/۵۳	۰/۸۲	۱۵±۸ <sup>a</sup>	۱۷۸±۱۳ <sup>a</sup>	۱۰۴±۱ <sup>b</sup>	۳۳۴±۳ <sup>a</sup>	۳۲۹±۱۲ <sup>a</sup>	۱۲۵±۷ <sup>b</sup>	آمل
۱۰۸	۱۰۰±۰/۳ <sup>ab</sup>	۹۴/۴±۵/۵ <sup>b</sup>	۹۵/۴±۵/۵ <sup>b</sup>	۱۰۶۱±۲۱ <sup>a</sup>	۶۸۹±۸۰ <sup>a</sup>	۳۹۴±۳۴ <sup>b</sup>	۰/۲۸	۰/۴۷	۰/۵۹	۲۴±۲۴ <sup>a</sup>	۲۲۶±۱۵ <sup>a</sup>	۱۶۲±۸ <sup>b</sup>	۳۳۳±۱۷ <sup>a</sup>	۴۶۸±۳۳ <sup>a</sup>	۲۷۳±۸ <sup>b</sup>	میانه

تفاوت ما بین اعداد یک ردیف مربوط به هر کدام از شاخص ها که با حروف یکسانی مشخص شده اند، معنی دار نبوده است ( $P < ۰/۰۵$ )

جدول ۸. تجزیه واریانس برای صفات رشدی اندازه‌گیری شده در آزمایش کلاتور - بافر

منابع	میانگین مربعات			
	درجه آزادی	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	طول ریشه
ژنوتیپ	۱۵	۵۸۹۲۰/۹**	۱۳۳۰۹/۱**	۲۸۵۰۸۹/۵**
تیمار روی	۲	۱۶۱۶۳۶۵/۹**	۱۴۱۲۹۴/۹**	۳۱۴۰۶۵۳/۴**
ژنوتیپ × تیمار روی	۳۰	۱۹۳۳۲/۹**	۲۵۴۱/۲**	۷۹۷۴۲/۵**
باقی مانده	۱۴۴	۶۱۳/۲	۸۱/۲	۳۷۲۲/۳
کل	۱۹۱	۲۵۳۱۷/۶	۳۰۲۷/۲	۷۱۸۷۵/۶

\*\* : اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۱



شکل ۱. وزن خشک اندام هوایی و ریشه در چهار رقم مختلف برنج که در مقادیر متفاوت عرضه روی در محلول غذایی غیر کلاتور - بافر رشد داده شدند. سطح صفر اول مربوط به محیط آبکشت واجد تمام عناصر به استثنای روی می‌باشد که با آب دو بار تقطیر جهت کاهش ناخالصی تهیه شده است. سطح صفر دوم مربوط به محیط آبکشت واجد تمام عناصر به استثنای روی می‌باشد که با آب یکبار تقطیر تهیه شده است.

برنج (۲۵) است. کمبود روی سبب کاهش وزن خشک اندام هوایی در تمام ارقام شد، بیشترین کاهش مربوط به دو رقم طارم هاشمی (۰/۷۸) و اوندا (۰/۳۴) و کمترین کاهش مربوط به آمل (۰/۲۵) و میانه (۰/۲۷) بود (شکل ۱).

نشان داد که ۰/۵ میکرومول روی در محلول غذایی سبب افزایش رشد تمام ارقام شد، در حالی که به کار بردن ۱/۰ میکرومول روی سبب کاهش وزن خشک اندام هوایی گردید که در تطابق با مقدار توصیه شده برای محیط کشت پوشیدا برای

**تغییرات غلظت و مقدار عنصر روی**

در آزمایش مزرعه‌ای، کاربرد کود روی سبب افزایش غلظت روی در اندام هوایی شد. با این حال در مورد برخی از ارقام شامل فجر، دشت، نعمت و شفق غلظت روی اندام هوایی در پاسخ به کود روی به صورت معنی دار افزایش نیافت. غلظت روی در برخی موارد کاهش مجددی در سطح کود روی ۲ (مثلاً در طارم دیلمانی) یا سطح ۳ (مثلاً در کادوس) نشان داد (جدول ۹). با توجه به این که این کاهش غلظت همراه با افزایش معنی دار در وزن نبوده است، نمی توان آن را به اثر رقت نسبت داد.

نتایج تجزیه واریانس داده‌های غلظت روی نشان داد که اثر ژنوتیپ و کود روی بر غلظت روی اندام هوایی و دانه معنی دار بوده است. از سوی دیگر اثر متقابل بین ژنوتیپ و کود روی معنی دار شد که نشان می‌دهد پاسخ ژنوتیپ‌های مختلف به کود روی از نظر تغییر در غلظت روی اندام هوایی و دانه بین سطوح مختلف کود روی تفاوت داشته است (جدول ۱۰).

در آزمایش کلاتور- بافر، با افزایش فعالیت روی آزاد در محیط کشت، افزایش در غلظت و مقدار این عنصر در اندام هوایی و ریشه مشاهده گردید (جدول ۱۱). سه ژنوتیپ شامل اوندا، دشت و شفق، بیشترین غلظت روی را در اندام هوایی و ریشه در تیمارهای کمبود نشان دادند.

نتایج تجزیه واریانس داده‌های غلظت روی نشان داد که اثر ژنوتیپ و تیمار روی بر غلظت و مقدار روی اندام هوایی و ریشه معنی دار بوده است. از سوی دیگر اثر متقابل معنی دار بین ژنوتیپ و تیمار روی مشاهده شد که نشان می‌دهد در ژنوتیپ‌های مختلف تغییر غلظت و مقدار روی در پاسخ به تیمار این عنصر در سطوح مختلف فعالیت روی آزاد در محیط یکسان نبوده است (جدول ۱۲).

در نمونه‌های گیاهی مربوط به آزمایش کلاتور- بافر و در همه ارقام بررسی شده، غلظت آهن در اندام هوایی با افزایش عرضه روی کاهش یافت مگر در مورد آمل که حتی افزایش نیز در غلظت آهن نشان داد (شکل ۲). با توجه به وزن خشک اندام

هوایی مشخص گردید که کاهش غلظت آهن در اندام هوایی در مورد برخی از ارقام به دلیل کاهش ورود آن به اندام هوایی (فجر) و در مورد برخی دیگر نتیجه رقیق شدن این عنصر به دلیل تحریک رشد با عرضه روی (طارم هاشمی) بوده است. در ریشه تمایلی به کاهش در غلظت آهن در ارقام ناکارا و افزایش در غلظت آهن در ارقام کارآ که در مورد آمل معنی دار بود، مشاهده گردید (شکل ۲). با توجه به وزن خشک ریشه مشخص گردید که تغییر در غلظت آهن مربوط به تغییر مقدار این عنصر در ریشه است و نتیجه تغییرات وزن خشک نمی‌باشد.

فسفر مربوط به نمونه‌های آزمایش کلاتور- بافر نیز به دلیل اثر متقابل شناخته شده‌ای که این عنصر با روی دارد، در برخی از ارقام سنجش شد. مطابق انتظار، غلظت فسفر ریشه به مراتب کمتر از اندام هوایی بود. کمبود روی تغییر معنی داری در غلظت فسفر ریشه موجب نشد، در حالی که غلظت این عنصر را در اندام هوایی به صورت معنی دار در همه ارقام افزایش داد (شکل ۳).

**بحث****مقایسه نتایج آزمایش مزرعه‌ای با محیط آبکشت**

نتایج آزمایش مزرعه‌ای در مورد برخی ژنوتیپ‌ها با نتایج آزمایش در محیط آبکشت تفاوت داشت. از جمله در مورد شفق که در محیط آبکشت نسبت به کاهش عرضه روی حساسیت کمی داشت و از این نظر تفاوت چشمگیری با رقم فجر نشان داد در حالی که در کشت مزرعه‌ای در همه اجزای عملکرد حساسیت به کمبود روی نشان داد و از این نظر حتی اندکی حساس تر از رقم فجر ارزیابی شد. گروه بندی ژنوتیپ‌ها منحصراً بر اساس آزمایش‌های محیط هیدروپونیک و یا مزرعه‌ای معتبر نیست. به عنوان مثال، در محیط آبکشت برخی فرآیندهای ریزوسفری مانند پارامترهای جذبی چون  $C_{min}$  و نیز اثر قدرت اکسید کنندگی ریشه که بر روی جذب عناصر تأثیر زیادی دارند (۴)، قابل بررسی نیست. گزارش شده است که

جدول ۹. غلظت عنصر روی در اندام هوایی و دانه‌های زئوتیپ‌های مختلف گیاه برنج که در شرایط شاهد (بدون کود دهی) و یا سطوح مختلف کود روی (کیلوگرم در هکتار) در شرایط مزرعه‌ای کاشته شدند.

زئوتیپ	غلظت روی در دانه (میکروگرم/گرم)				غلظت روی در اندام هوایی (میکروگرم/گرم وزن خشک)			
	۱۰۰	۲۵	شاهد	۱۰۰	۵۰	۲۵	شاهد	
فجر	۳۹/۴±۳/۹ <sup>ab</sup>	۲۴/۴±۷/۴ <sup>b</sup>	۴۲/۴±۷/۱ <sup>a</sup>	۲۷/۵±۰/۲ <sup>a</sup>	۵۲/۸±۱۲/۳ <sup>a</sup>	۸۸/۴±۱۳/۹ <sup>a</sup>	۹۱/۹±۲۷/۱ <sup>a</sup>	
اوندا	۲۶/۱±۲/۱ <sup>a</sup>	۲۵/۹±۳/۳ <sup>a</sup>	۲۶/۴±۳/۵ <sup>a</sup>	۷۲/۴±۱۸/۲ <sup>a</sup>	۴۳/۳±۰/۶ <sup>b</sup>	۳۲/۶±۱/۹ <sup>b</sup>	۲۵/۶±۳/۹ <sup>b</sup>	
ساحل	۲۱/۹±۰/۷ <sup>a</sup>	۲۰/۹±۰/۶ <sup>ab</sup>	۱۵/۰±۴/۸ <sup>b</sup>	۹۲/۷±۱۰/۴ <sup>a</sup>	۳۰/۱±۷/۱ <sup>b</sup>	۳۳/۶±۱۹/۱ <sup>b</sup>	۴۱/۶±۱۷/۵ <sup>b</sup>	
دشت	۳۱/۸±۳/۹ <sup>a</sup>	۲۹/۴±۰/۹ <sup>a</sup>	۲۷/۴±۳/۵ <sup>a</sup>	۴۱/۱±۱۰/۵ <sup>a</sup>	۶۳/۹±۳۶/۴ <sup>a</sup>	۱۱۱/۶±۷۴/۸ <sup>a</sup>	۸۷/۷±۲۲/۳ <sup>a</sup>	
طارم محلی	۲۳/۲±۲/۳ <sup>a</sup>	۲۱/۳±۲/۷ <sup>a</sup>	۲۴/۵±۲/۶ <sup>a</sup>	۱۶۶/۵±۱/۵ <sup>a</sup>	۱۶/۵±۳/۲ <sup>b</sup>	۲۶/۴±۸/۱ <sup>b</sup>	۲۸۸/۷±۹/۱ <sup>b</sup>	
طارم دیلمانی	۳۲/۵±۱/۳ <sup>a</sup>	۳۳/۷±۴/۲ <sup>a</sup>	۲۵/۹±۱/۱ <sup>b</sup>	۸۶/۳±۱۹/۹ <sup>ab</sup>	۷۸/۱±۵/۲ <sup>b</sup>	۲۵۱/۳±۱۲۷/۹ <sup>a</sup>	۷۴۳/۳±۲۵/۶ <sup>b</sup>	
ندا	۳۲/۹±۳/۱ <sup>ab</sup>	۲۲/۶±۱/۵ <sup>b</sup>	۳۵/۶±۷/۲ <sup>a</sup>	۷۵/۴±۲۸/۴ <sup>ab</sup>	۱۳۳/۲±۴۱/۴ <sup>a</sup>	۷۹/۳±۱۵/۲ <sup>ab</sup>	۴۸/۵±۴/۸ <sup>b</sup>	
کادوس	۱۶/۹±۱/۷ <sup>a</sup>	۱۷/۸±۳/۱ <sup>a</sup>	۱۹/۶±۱/۵ <sup>a</sup>	۱۶۵/۳±۴۴/۸ <sup>b</sup>	۳۰/۶/۲±۷۱/۶ <sup>a</sup>	۸۱/۱±۴۱/۷ <sup>bc</sup>	۲۳/۴±۳/۸ <sup>c</sup>	
نعمت	۲۵/۷±۲/۹ <sup>a</sup>	۳۲/۷±۲/۸ <sup>a</sup>	۲۶/۱±۱/۵ <sup>a</sup>	۳۷/۴±۲۰/۹ <sup>a</sup>	۴۲/۳±۱/۳ <sup>a</sup>	۲۸۷/۷±۸/۹ <sup>a</sup>	۷۴۷/۷±۲۹/۲ <sup>a</sup>	
خزر	۲۹/۶±۱/۳ <sup>a</sup>	۲۵/۰±۱/۳ <sup>b</sup>	۲۲/۸±۱/۳ <sup>b</sup>	۵۲/۹±۲۸/۳ <sup>a</sup>	۱۲۴/۷±۸۴/۳ <sup>a</sup>	۳۳/۳±۵/۱ <sup>a</sup>	۸۲/۳±۴۸/۳ <sup>a</sup>	
شفق	۱۸/۵±۲/۳ <sup>a</sup>	۱۴/۱±۸/۳ <sup>a</sup>	۱۶/۷±۰/۹ <sup>a</sup>	۴۱/۹±۲۵/۸ <sup>b</sup>	۶۳/۱±۰/۹ <sup>b</sup>	۲۲۷/۱±۲۴/۳ <sup>a</sup>	۲۵۱/۳±۱۹/۹ <sup>a</sup>	

تفاوت ما بین اعداد یک ردیف مربوط به هر کدام از شاخص‌ها که با حروف یکسانی مشخص شده اند، معنی دار نبوده است (P < ۰/۰۵).

جدول ۱۰. تجزیه واریانس برای غلظت روی اندازه گیری شده در آزمایش مزرعه‌ای.

میانگین مربعات		غلظت روی در دانه	درجه آزادی	منابع
غلظت روی انجام هوایی	غلظت روی اندام هوایی			
۲۸۴۹۳/۷**	۶۵۵/۳**	۱۰	ژنوتیپ	
۲۶۵۷/۵**	۸۲/۹**	۳	کود روی	
۲۲۵۲۷/۱**	۷۴/۵**	۳۰	ژنوتیپ × کود روی	
۱۰۱۱/۰	۱۰/۲	۱۷۶	باقی مانده	
۵۲۵۳/۷	۴۹/۷	۲۱۹	کل	

\*\* : اختلاف معنی دار در سطح ۰/۰۱

جدول ۱.۱. غلظت و مقدار عنصر روی در اندام هوایی و ریشه ژنوتیپ‌های مختلف برنج که در در مقادیر متفاوت فعالیت روی در محیط کشت کلانور - بافر رشد داده شدند.

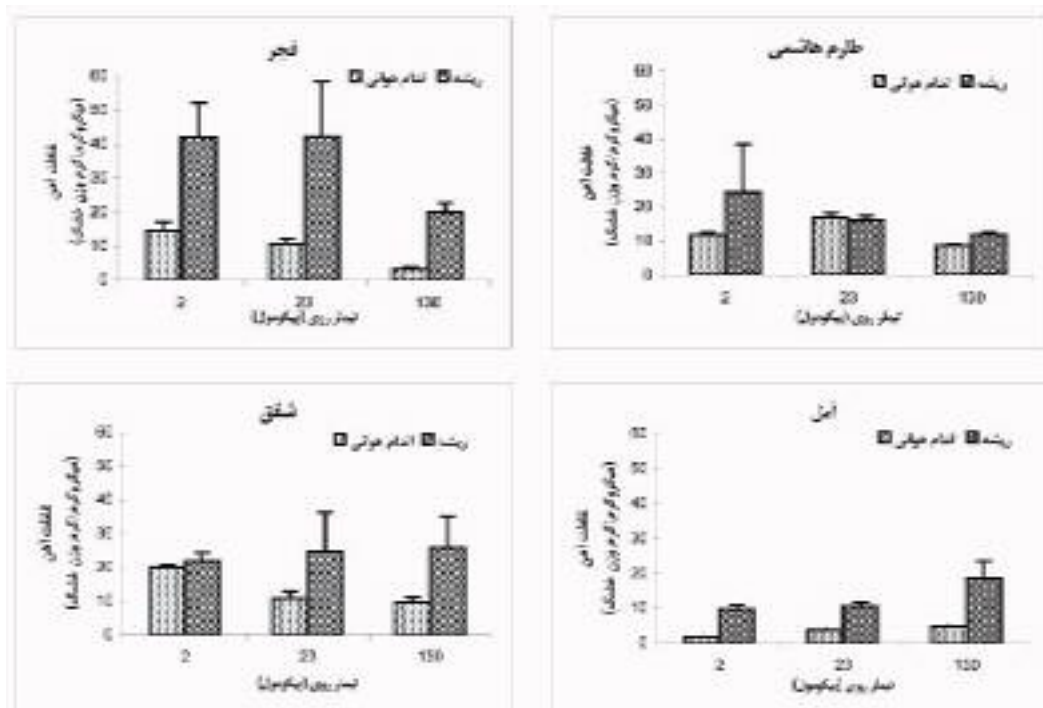
نوع بافت	مقدار روی در ریشه			مقدار روی در اندام هوایی			غلظت روی در ریشه			غلظت روی در اندام هوایی			نوع بافت
	فعالیت روی آزاد در محلول (پیکومول)			فعالیت روی آزاد در محلول (پیکومول)			فعالیت روی آزاد در محلول (پیکومول)			فعالیت روی آزاد در محلول (پیکومول)			
	۱۳۰	۲۳	۵	۱۳۰	۲۳	۵	۱۳۰	۲۳	۵	۱۳۰	۲۳	۵	
فجر	۱۴۱±۲۷۵	۱۴۱±۲۷۵	۱۴۱±۲۷۵	۱۴۱±۲۷۵	۱۴۱±۲۷۵	۱۴۱±۲۷۵	۱۴۱±۲۷۵	۱۴۱±۲۷۵	۱۴۱±۲۷۵	۱۴۱±۲۷۵	۱۴۱±۲۷۵	۱۴۱±۲۷۵	۱۴۱±۲۷۵
طارم هاشمی	۷۳۵±۲۶۵	۷۳۵±۲۶۵	۷۳۵±۲۶۵	۷۳۵±۲۶۵	۷۳۵±۲۶۵	۷۳۵±۲۶۵	۷۳۵±۲۶۵	۷۳۵±۲۶۵	۷۳۵±۲۶۵	۷۳۵±۲۶۵	۷۳۵±۲۶۵	۷۳۵±۲۶۵	۷۳۵±۲۶۵
اوندا	۲۷۶±۱۳۶۶	۲۷۶±۱۳۶۶	۲۷۶±۱۳۶۶	۲۷۶±۱۳۶۶	۲۷۶±۱۳۶۶	۲۷۶±۱۳۶۶	۲۷۶±۱۳۶۶	۲۷۶±۱۳۶۶	۲۷۶±۱۳۶۶	۲۷۶±۱۳۶۶	۲۷۶±۱۳۶۶	۲۷۶±۱۳۶۶	۲۷۶±۱۳۶۶
طارم رضائیلی	۲۱۸±۱۳۹	۲۱۸±۱۳۹	۲۱۸±۱۳۹	۲۱۸±۱۳۹	۲۱۸±۱۳۹	۲۱۸±۱۳۹	۲۱۸±۱۳۹	۲۱۸±۱۳۹	۲۱۸±۱۳۹	۲۱۸±۱۳۹	۲۱۸±۱۳۹	۲۱۸±۱۳۹	۲۱۸±۱۳۹
ساحل	۵۷۸±۹۸۷	۵۷۸±۹۸۷	۵۷۸±۹۸۷	۵۷۸±۹۸۷	۵۷۸±۹۸۷	۵۷۸±۹۸۷	۵۷۸±۹۸۷	۵۷۸±۹۸۷	۵۷۸±۹۸۷	۵۷۸±۹۸۷	۵۷۸±۹۸۷	۵۷۸±۹۸۷	۵۷۸±۹۸۷
دشت	۴۹۲±۲۳۳۷	۴۹۲±۲۳۳۷	۴۹۲±۲۳۳۷	۴۹۲±۲۳۳۷	۴۹۲±۲۳۳۷	۴۹۲±۲۳۳۷	۴۹۲±۲۳۳۷	۴۹۲±۲۳۳۷	۴۹۲±۲۳۳۷	۴۹۲±۲۳۳۷	۴۹۲±۲۳۳۷	۴۹۲±۲۳۳۷	۴۹۲±۲۳۳۷
طارم محلی	۲۲۰±۲۵۹۳	۲۲۰±۲۵۹۳	۲۲۰±۲۵۹۳	۲۲۰±۲۵۹۳	۲۲۰±۲۵۹۳	۲۲۰±۲۵۹۳	۲۲۰±۲۵۹۳	۲۲۰±۲۵۹۳	۲۲۰±۲۵۹۳	۲۲۰±۲۵۹۳	۲۲۰±۲۵۹۳	۲۲۰±۲۵۹۳	۲۲۰±۲۵۹۳
طارم دیلمانی	۲۰۸±۲۴۸	۲۰۸±۲۴۸	۲۰۸±۲۴۸	۲۰۸±۲۴۸	۲۰۸±۲۴۸	۲۰۸±۲۴۸	۲۰۸±۲۴۸	۲۰۸±۲۴۸	۲۰۸±۲۴۸	۲۰۸±۲۴۸	۲۰۸±۲۴۸	۲۰۸±۲۴۸	۲۰۸±۲۴۸
ندا	۱۳۲±۱۰۸	۱۳۲±۱۰۸	۱۳۲±۱۰۸	۱۳۲±۱۰۸	۱۳۲±۱۰۸	۱۳۲±۱۰۸	۱۳۲±۱۰۸	۱۳۲±۱۰۸	۱۳۲±۱۰۸	۱۳۲±۱۰۸	۱۳۲±۱۰۸	۱۳۲±۱۰۸	۱۳۲±۱۰۸
کادوس	۱۴۱±۱۵۷	۱۴۱±۱۵۷	۱۴۱±۱۵۷	۱۴۱±۱۵۷	۱۴۱±۱۵۷	۱۴۱±۱۵۷	۱۴۱±۱۵۷	۱۴۱±۱۵۷	۱۴۱±۱۵۷	۱۴۱±۱۵۷	۱۴۱±۱۵۷	۱۴۱±۱۵۷	۱۴۱±۱۵۷
نصبت	۱۸۳±۸۸۲	۱۸۳±۸۸۲	۱۸۳±۸۸۲	۱۸۳±۸۸۲	۱۸۳±۸۸۲	۱۸۳±۸۸۲	۱۸۳±۸۸۲	۱۸۳±۸۸۲	۱۸۳±۸۸۲	۱۸۳±۸۸۲	۱۸۳±۸۸۲	۱۸۳±۸۸۲	۱۸۳±۸۸۲
خزر	۲۱۷±۱۲۴۱	۲۱۷±۱۲۴۱	۲۱۷±۱۲۴۱	۲۱۷±۱۲۴۱	۲۱۷±۱۲۴۱	۲۱۷±۱۲۴۱	۲۱۷±۱۲۴۱	۲۱۷±۱۲۴۱	۲۱۷±۱۲۴۱	۲۱۷±۱۲۴۱	۲۱۷±۱۲۴۱	۲۱۷±۱۲۴۱	۲۱۷±۱۲۴۱
طارم	۲۱۷±۱۲۴۱	۲۱۷±۱۲۴۱	۲۱۷±۱۲۴۱	۲۱۷±۱۲۴۱	۲۱۷±۱۲۴۱	۲۱۷±۱۲۴۱	۲۱۷±۱۲۴۱	۲۱۷±۱۲۴۱	۲۱۷±۱۲۴۱	۲۱۷±۱۲۴۱	۲۱۷±۱۲۴۱	۲۱۷±۱۲۴۱	۲۱۷±۱۲۴۱
شفق	۱۴۴±۱۳۶۲	۱۴۴±۱۳۶۲	۱۴۴±۱۳۶۲	۱۴۴±۱۳۶۲	۱۴۴±۱۳۶۲	۱۴۴±۱۳۶۲	۱۴۴±۱۳۶۲	۱۴۴±۱۳۶۲	۱۴۴±۱۳۶۲	۱۴۴±۱۳۶۲	۱۴۴±۱۳۶۲	۱۴۴±۱۳۶۲	۱۴۴±۱۳۶۲
آمل	۱۱۰±۱۰۳	۱۱۰±۱۰۳	۱۱۰±۱۰۳	۱۱۰±۱۰۳	۱۱۰±۱۰۳	۱۱۰±۱۰۳	۱۱۰±۱۰۳	۱۱۰±۱۰۳	۱۱۰±۱۰۳	۱۱۰±۱۰۳	۱۱۰±۱۰۳	۱۱۰±۱۰۳	۱۱۰±۱۰۳
میانه	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd

تفاوت ما بین اعداد یک ردیف مربوط به هر کدام از شاخص‌ها که با حروف یکسانی مشخص شده‌اند، معنی دار نبوده است ( $P < 0.05$ ).

جدول ۱۲. تجزیه واریانس برای غلظت و مقدار روی اندازه گیری شده در آزمایش کلاتور- بافر

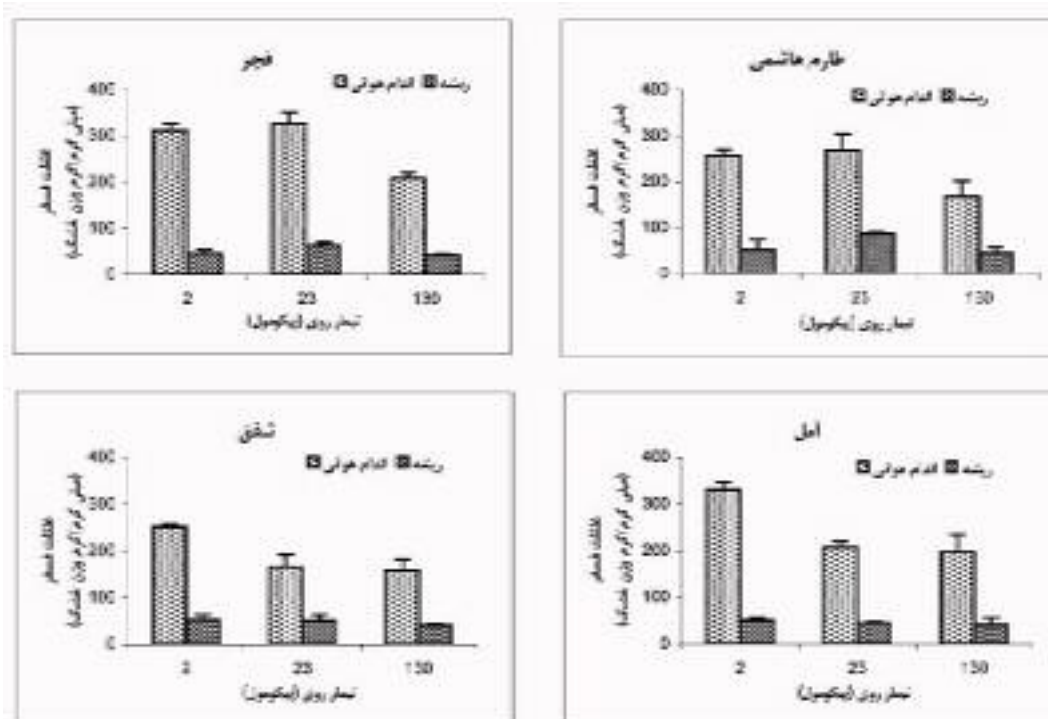
منابع		میانگین مربعات			
درجه آزادی	غلظت روی اندام هوایی	غلظت روی ریشه	مقدار روی اندام هوایی	مقدار روی ریشه	
ژنوتیپ	۱۳	۴۷۵۰۹۶۴/۰**	۲۷۹۹/۳**	۲۱۴۸/۸**	
تیمار روی	۲	۱۵۷۳۴۷۳/۱**	۴۷۳۳۷/۱**	۶۷۶۷/۱**	
ژنوتیپ × تیمار روی	۲۶	۱۲۸۱۳۳۷/۴**	۷۴۱/۹**	۲۴۷/۹**	
باقی مانده	۱۲۶	۳۱۴۴۱/۳	۲۲/۱	۱۲/۲	
کل	۱۶۷	۶۲۲۸۳۵/۵	۹۲۶/۹	۳۰۰/۶	

\*\* : اختلاف معنی دار در سطح ۰/۰۱



شکل ۲. اثر سه سطح تیماری مختلف از فعالیت روی آزاد (پیکومول) بر غلظت آهن اندام هوایی و ریشه چهار رقم برنج با حساسیت متفاوت به کمبود روی در محیط کشت کلاتور - بافر





شکل ۳. اثر سه سطح تیماری مختلف از فعالیت روی آزاد (پیکومول) بر غلظت فسفر اندام هوایی و ریشه چهار رقم برنج با حساسیت متفاوت به کمبود روی در محیط کشت کلاتور - بافر

البته تفاوت در مقدار روی دانه‌ها که برای دو آزمایش به‌کار رفته است، می‌تواند یکی از دلایل محتمل تفاوت در نتایج این دو آزمایش قلمداد گردد. با این‌که بذور هر دو آزمایش، از مراکز تحقیقات برنج تهیه شده بود، ولی تفاوت‌هایی بین این دو گروه بذور از نظر مقدار روی وجود داشت. مقایسه بین غلظت روی بذور به‌کار رفته برای آزمایش آبکشت کلاتور - بافر و بذور حاصل از کشت مزرعه‌ای (در تیمار شاهد) مشخص می‌کند که هر چند در مورد برخی ارقام، محدوده غلظت روی در این دو گروه مشابه است، ولی در مورد فجر، ندا و نعمت کمتر از مقدار مربوط به آزمایش مزرعه‌ای و در مورد ساحل، دشت و طارم محلی بیشتر از آزمایش مزرعه‌ای بوده است. احتمالاً یکی از دلایل تفاوت نتایج این دو آزمایش در مورد رقم فجر، غلظت روی در دانه است. بدیهی است که کافی بودن منبع روی برای رشد نشاها، باعث پاسخ رشدی کمتر در نشاها پس از انتقال به مزرعه می‌شود.

ریشه ژنوتیپ‌های مختلف برنج قدرت اکسیدکنندگی متفاوتی دارند (۲۵) و ژنوتیپ‌های کارا نسبت به عنصر روی دارای منطقه وسیع‌تری از اکسیداسیون در ریشه نسبت به ژنوتیپ‌های ناکارا می‌باشند (۲۷). از سوی دیگر، گیاه برنج دارای توانایی زیادی برای آزاد سازی پروتون به محیط ریشه است که می‌تواند در انحلال عناصری با فراهمی کم در خاک مانند روی نقش زیادی داشته باشد (۱۰). بنابراین از دلایل تفاوت عملکرد گیاهان در کمبود روی بین شرایط مزرعه‌ای و محیط آبکشت می‌توان تفاوت‌های احتمالی در قدرت اکسیدکنندگی ریشه‌ها، قدرت جذب از خاک و نیز توانایی انحلال انواع غیر محلول روی را بر شمرد. در آزمایش با ارقام IR نیز چنین تضادی مشاهده شده است، به طوری که رقم IR54 در شرایط مزرعه‌ای یک رقم کارا و در شرایط کشت هیدروپونیک رقمی بشدت ناکاراست (۱۰). این ارقام نمونه‌های مناسبی برای بررسی فرآیندهای ریزوسفری می‌باشند که مستلزم استفاده از شرایط کشت در خاک بجای آبکشت است.

## مقایسه پاسخ عملکرد رویشی و زایشی به کود روی

در آزمایش مزرعه‌ای، افزایش عملکرد رویشی (وزن خشک و ارتفاع) در گیاهان کود دهی شده قابل توجه نبود و علامت‌های کمبود در گیاهان شاهد (بدون کود دهی) مشاهده نشد. این موضوع را می‌توان به شدید نبودن کمبود روی در این خاک نسبت داد. البته کاهش تعداد دانه‌های خالی در هزار دانه و افزایش وزن هزار دانه از مهم‌ترین اجزای عملکرد بودند که تحت تأثیر کود روی افزایش یافتند. در پژوهش ولی نژاد و همکاران (۳) اثر افزودن کود روی منحصراً بر افزایش عملکرد دانه گزارش شده است و اثر آن روی عملکرد کاه بررسی نشده است. در بررسی فوق، در ۴۵ درصد مناطق مورد مطالعه در اراضی شرق استان مازندران افزایش معنی داری در عملکرد دانه با کاربرد کود روی دیده شد (۳). می‌توان نتیجه گرفت که با توجه به سطح بحرانی کمبود (۳) در اراضی شالیزاری شمال کشور و مقدار عملی روی قابل استخراج در این خاک‌ها، کمبود شدیدی در این خاک‌ها حاکم نمی‌باشد، لذا کود دهی منحصراً عامل افزایش عملکرد دانه می‌شود. کمبود شدید روی در خاک عامل پاسخ معنی‌دار هر دو عملکرد رویشی و زایشی به کود روی است (۵).

## تغییرات غلظت و مقدار عناصر

تأثیر کوددهی بر غلظت روی در اندام هوایی و دانه‌ها یکنواخت نبود. در رقم نعمت (که در عین حال یک رقم کارآست)، کوددهی هر چند باعث افزایش غلظت روی در کاه نشد، ولی موجب افزایش روی در دانه گردید که اگر افزایش تعداد دانه‌های پر و نیز وزن هزار دانه که در این رقم در پاسخ به کوددهی مشاهده می‌شود را نیز در نظر بگیریم، می‌توان نتیجه گرفت که رقم نعمت در مقایسه با سایر ارقام، مناسب‌ترین پاسخ به کاربرد کود روی از نظر عملکرد دانه و مقدار روی دانه از خود نشان می‌دهد. به بیان دیگر بخش مهم کود روی مصرف شده در خاک برای این رقم، به دانه‌ها انتقال می‌یابد. با توجه به این‌که، کاربرد کود روی قبل از انتقال نشاها بوده و در طی گل‌دهی و پر شدن دانه، کود روی محتملاً به‌طور کامل از خاک

برداشت شده است، می‌توان نتیجه گرفت که قطعاً بخش مهم آن نتیجه بازانتقالی از برگ‌های بالغ است. عکس این حالت در رقم اوندا (که در عین حال یک رقم ناکاراست)، مشاهده شد. کاربرد کود روی باعث افزایش غلظت روی در اندام هوایی این رقم شد در حالی‌که باعث کاهش غلظت روی دانه گردید، که به دلیل اختصاص یافتن روی جذب شده به بخش‌های رویشی و ناچیز بودن بازانتقالی به دانه‌های در حال نمو بوده است. تا کنون بررسی‌های زیادی بر روی تفاوت‌های ژنوتیپی در بازانتقالی عناصر از بخش‌های رویشی به دانه‌های در حال نمو انجام گرفته و نشان داده شده است که بازانتقالی فوق، نقش زیادی در تامین نیاز عنصری دانه‌ها دارد (۱۹). باید توجه داشت که مقدار بالای روی در دانه‌ها، می‌تواند نیاز به روی را در مرحله آغاز نشاکاری و انتقال به مزرعه کاسته و زمانی که ریشه‌ها رشد کافی نکرده‌اند، نیاز گیاه را تامین نماید.

با توجه به این‌که غلظت عناصر، تحت تأثیر وزن خشک گیاهان قرار می‌گیرد، عرضه عنصری که در وضعیت کمبود می‌باشد می‌تواند باعث جهشی در رشد شود که غلظت همان عنصر را به شدت کاهش می‌دهد. لذا بررسی پاسخ به افزودن یک عنصر از نظر افزایش ماده زنده که در گیاهان کارآ کمتر از گیاهان ناکارا می‌باشد، در تضاد با تغییرات غلظت عنصر مورد نظر خواهد بود. لذا توصیه شده است که به هنگام گروه بندی ژنوتیپ‌های مختلف از نظر پاسخ به افزودن یک عنصر به محیط، بهتر است بجای توجه به غلظت (Concentration) یک عنصر، به مقدار (Content) آن توجه کرد (۵). بررسی‌ها در مورد ژنوتیپ‌های مختلف گندم (۶ و ۹) و برنج (۱۰) از نظر کارآئی نسبت به عنصر روی نیز نشان داده است که بین مقدار عنصر روی و نه غلظت آن و صفت کارآئی نسبت به عنصر روی هم‌بستگی مثبتی وجود دارد و ژنوتیپ‌هایی با مقدار بالاتر عنصر روی، ارقامی کارآ و برعکس ژنوتیپ‌هایی با مقدار کم تر روی ارقامی ناکارا می‌باشند. در بررسی حاضر نیز در آزمایش کلاتور - بافر نشان داده شد که این نتیجه‌گیری در مورد برخی ژنوتیپ‌ها صحیح می‌باشد. به‌طوری‌که

شاهد مزرعه‌ای) نشان می‌دهد که ارقام فجر و ندا بیشترین و ارقام ساحل، شفق و کادوس کمترین غلظت روی دانه را داشته‌اند. مقدار روی در دانه‌های برنج، باتوجه به این‌که دانه گندم و برنج منبع مهمی برای تأمین نیاز به این عنصر در رژیم غذایی ایرانیان است، اهمیت زیادی دارد. کمبود روی در زنان باردار در کشور چند سال است که مستند شده و استفاده از مکمل‌های دارویی برای مرتفع کردن آن پیشنهاد شده است (۱). امروزه مرتفع کردن کمبودهای تغذیه‌ای از طریق غنی‌سازی فرآورده‌های غذایی پر مصرف مانند گندم و برنج نسبت به مکمل‌های دارویی اولویت بیشتری دارد. بنابراین با توجه به نتایج این بررسی و با این‌که دانه‌های برنج در طی پوست‌گیری بخشی از عناصر خود را ازدست می‌دهند، می‌توان در مورد ترویج کشت ارقامی مانند فجر با مقدار بالای روی در دانه و یا ارقامی چون نعمت و طارم دیلمانی که به کود روی با افزایش قابل توجه این عنصر در دانه‌ها پاسخ می‌دهند، اقدام نمود.

### سپاسگزاری

این تحقیق از محل اعتبار طرح پژوهشی مصوب دانشگاه تبریز انجام شده است. از مسئولین مؤسسه تحقیقات برنج در آمل به‌خاطر همکاری‌های آنها خصوصاً در بخش آزمایش مزرعه‌ای و تأمین بذر قدردانی می‌شود.

ژنوتیپ‌های میانه و آمل در اندام هوایی و ریشه نسبت به دو ژنوتیپ فجر و طارم هاشمی در عرضه کم روی دارای مقدار بمراتب بیشتر روی می‌باشند. با اینحال، مقدار (و نیز غلظت) روی در سه رقم اوندا (ناکارآ)، دشت (حد واسط) و شفق (کارآ) نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها بیشتر بود. با استناد به این داده‌ها، مشخص می‌گردد که ارتباط بین مقدار و صفت کارآئی همیشه صادق نیست. از سوی دیگر، دو رقم اوندا و شفق به‌عنوان ارقامی با کارآئی بهره‌وری متفاوت که علیرغم داشتن غلظت مشابه روی در اندام هوایی و ریشه، پاسخ رشدی بسیار متفاوتی نشان می‌دهند، معرفی شده و می‌توانند موضوع مطالعات بعدی قرار گیرند.

در رقم آمل بر خلاف سایر ژنوتیپ‌ها کاهش غلظت آهن در شرایط کمبود کمبود روی مشاهده شد. کاهش جذب آهن در شرایط کمبود خفیف روی گزارش شده است (۱۵). برعکس، تأثیر کمبود روی بر افزایش غلظت آهن در رقم فجر را می‌توان به‌عنوان یکی از عوارض جانبی کمبود شدید روی قلمداد کرد. در برخی شرایط، کمبود روی در برنج غرقابی با سمیت آهن توأم است (۱۵). کمبود روی در برخی گیاهان با ایجاد سمیت فسفر همراه است (۱۳). نشان داده شده است که در کمبود روی انتقال فسفر به اندام هوایی افزایش می‌یابد و باعث ظهور علائم مسمومیت می‌شود (۱۵ و ۱۶). در این بررسی نیز افزایش فسفر اندام هوایی می‌تواند یکی از دلایل کاهش رشد در کمبود روی باشد. مقایسه غلظت روی دانه در ارقام مختلف (در تیمار

### منابع مورد استفاده

۱. بی‌نام. ۱۳۸۰ چکیده مقالات سمینار یک روزه اثر روی در سلامت انسان. دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید بهشتی، تهران.
۲. میرلوحی، آ. ف.، م. ح. اهتمام و م. ر. سبزی‌علیان. ۱۳۸۳. بررسی عوامل نمود بهتر برنج در شرایط غرقابی با استفاده از رقم‌های زراعی ایران. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی (۲۸): ۱۲۱-۱۳۴.
۳. ولی‌نژاد، م.، م. ج. ملکوتی، م. ح. داودی، ن. سعادت، م. ر. رمضانپور، م. محمودی و م. محمدیان. ۱۳۸۰. تعیین حد بحرانی روی و بررسی پاسخ به سولفات روی در اراضی شالیزاری مازندران. ویژه‌نامه مصرف بهینه کود، مؤسسه تحقیقات برنج (آمل)، (۱۴۰)۱۲.

4. Ando, T., S. Yoshida and I. Nishiyama. 1983. Nature of oxidizing power of rice roots. *Plant Soil* 72: 57-71.
5. Cakmak, I., N. Sari, H. Marschner, M. Kalayci, A. Yilmaz, S. Eker and K. Y. Gülüt. 1996. Dry matter production and distribution of zinc in bread and durum wheat genotypes differing in zinc efficiency. *Plant Soil* 180: 173-181.
6. Cakmak, I., L. Öztürk, S. Eker, B. Torun, H. I. Kalfa and A. Yilmaz. 1997. Concentration of zinc and activity of copper/zinc superoxide dismutase in leaves of rye and wheat cultivars differing in sensitivity to zinc deficiency. *J. Plant Physiol.* 151: 91-95.
7. Castro, R. U. 1977. Zinc deficiency in rice: a review of research at the International Rice Research Institute. IRRI. Res. Pap. 9:18-20.
8. Chaudhry, F. M., S. M. Alam, A. Rashid and A. Latif. 1977. Mechanism of differential susceptibility of two rice varieties to zinc deficiency. *Plant Soil* 46: 637-642.
9. Graham, R. D. 1984. Breeding for nutritional characteristics in cereals. PP. 57-102. *In: P. B. Tinker and A. Läuchli (Eds.), Advances in Plant Nutrition Vol. 1, Praeger, New York.*
10. Hajiboland, R. 2000. Zn Efficiency in Rice (*Oryza sativa* L.) Plants. PhD Thesis, University of Hohenheim, Stuttgart, Germany.
11. International Rice Research Institute (IRRI). 1970. Annual Report for (1969, PP 134-137, 155-157. IRRI), Los Baños, Philippines.
12. Johnson, A. D. and J. G. Simons. 1979. Diagnostic indices of zinc deficiency in tropical legumes. *J. Plant Nutr.* 1:123-149.
13. Loneragan, J. F., D. L. Grunes, R. M. Welch, E. A. Aduayi, A. Tengah, V. A. Lazar and E. E. Cary. 1982. Phosphorus accumulation and toxicity in leaves in relation to zinc supply. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 46: 345-352.
14. Marschner, H. 1993. Zn uptake from soils Zinc in Soils and Plants. PP. 59-77. *In: A. D. Robson (Ed.), Kluwer Academic Pub., The Netherlands.*
15. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2<sup>nd</sup> ed., Academic Press Inc., London, UK.
16. Parker, D. R., J. J. Aguilera and D. N. Thomson. 1992. Zinc-phosphorus interactions in two cultivars of tomato (*Lycopersicon esculantum* L.) grown in chelator-buffered nutrient solutions. *Plant Soil* 143: 163-177.
17. Parker, D. R., R. L. Chaney and W. A. Norvell 1995a. Chemical equilibrium models: Applications to plant nutrition research. PP 163-200. *In: R. H. Leppert et al. (Eds.), Soil Chemical Equilibrium and Reaction Models. SSSA Spec. Publ. 42. Soil Sci. Soc. Am. and ASA, Madison, WI.*
18. Parker, D. R., W. A. Norvell and R. L. Chaney. 1995b. GEOCHEM-PC: A chemical speciation program for IBM and compatible computers. *Soil Chemical Equilibrium and Reaction Models. In: R. H. Leppert et al. (Eds.), SSSA Spec. Pub. No. XX. Soil Science Society of America, Madison, WI.*
19. Pearson, J. N. and Z. Rengel. 1994. Distribution and remobilization of Zn and Mn during grain development in wheat. *J. Exp. Bot.* 45: 1829-1835.
20. Rahmatullah, F. M. Chaudhry and A. Rashid. 1976. Micronutrient availability to cereals from calcareous soils. *Plant Soil* 45: 411-420.
21. Raven, K.P. and R.H. Leppert. 1997. Trace element composition of fertilizers and soil amendments *J. Environ. Qual.* 26: 551-557.
22. Roberts, J. K. M., J. Callis, O. Jardetzky, V. Walbot and M. Freeling. 1984. Cytoplasmic acidosis as a determinant of flooding intolerance in plants. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 81: 6029-6033.
23. Scandalios, J. G. 1993. Oxygen stress and superoxide dismutase. *Plant Physiol.* 101: 7-12.
24. Tennant, D. 1975 A test of modified line intersect method of estimating root length. *J. Ecol.* 63: 995-1001.
25. Yang, X. and X. Sun. 1992. Varietal difference of rice plants in response to N and its mechanisms. *Acta Pedologica Sinica* 29: 73-79.
26. Yang, X., V. Römheld, H. Marschner and R.L. Chaney. 1994a. Application of chelator-buffered nutrient solution technique in studies on zinc nutrition in rice (*Oryza sativa* L.) plant. *Plant Soil* 163: 85-94.
27. Yang, X., V. Römheld and H. Marschner. 1994b. Uptake of iron, zinc, manganese and copper by seedlings of hybrid and traditional rice cultivars from different soil types. *J. Plant Nutr.* 17: 319-331.
28. Yoshida, S., D. A. Forno and A. Bhadrachalam. 1971. Zinc deficiency of the rice plant on calcareous and neutral soils in the Philippines. *Soil Sci. Plant Nutr.* 17: 83-87.
29. Yoshida, S., D. A. Forno, J. H. Cock and K. Gomez. 1972. Routine methods of solution culture for rice. PP. 53-57. *In: Laboratory Manual for Physiological Studies of Rice. 2<sup>nd</sup> ed., The International Rice Research Institute, Philippines.*