مقایسه تأثیر کاربرد کلرید کادمیوم و محلول پاشی آهن و روی بر خصوصیات بیوشیمیایی گندم در شرایط کشت هیدروپونیک

شیما بورنگ[۱]، سودابه جهانبخش گده کهریز[۲*]، علی عبادی[۳]

[۱] گروه بیوتکنولوژی در کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی،اردبیل،ایران،[۲و۳] گروه زراعت و اصلاح، نباتات دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی،اردبیل، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۲۷، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۶/۰۷/۲۲)

چکیده

امروزه آلودگی خاک به انواع فلزات سنگین از جمله کادمیوم یکی از مشکلات زیست محیطی است که با اثرات زیان‌آور بر پوشش جانوری و گیاهی خاک ، علاوه بر کاهش عملکرد گیاه با ورود به زنجیره غذایی، سلامت انسان و دیگر موجودات زنده را به مخاطره می‌اندازد. بدین منظور آزمایشی بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار به‌صورت نمونه برداری اول و دوم در گلخانه دانشگاه محقق اردبیل در سال ۹۵ انجام گرفت. تیمارهای آزمایش شامل گندم با دو ژنوتیپ مقاوم کریم و حساس گنبد، کادمیوم در سه سطح (صفر، ۷۵، ۱۵۰ میکرومولار) (نمونه برداری اول) و محلول‌پاشی در مرحله ساقه‌دهی در چهار سطح (آهن، روی، آهن+ روی و شاهد) هرکدام با غلظت ۳ در هزار در (نمونه برداری دوم) بود. نتایج حاصل از این آزمایش شان داد که در نمونه برداری اول، کادمیوم موجب کاهش میزان کلروفیل a و b، آنتوسیانین، کاروتنوئید، فلاونوئید و افزایش محتوای رطوبت نسبی، میزان پرولین و مقدار قند محلول در ارقام گنبد و کریم شده است. به طوریکه بیشترین میانگین رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط بدون تنش کادمیوم (تنش صفر) در بذور ارقام کریم به دست آمد همچنین در غلظت ۱۵۰ میکرومولار کادمیوم، افزایش پرولین، محتوای رطوبت نسبی و قند در رقم کریم مشاهده شد. به‌طوریکه با افزایش غلظت کادمیوم، میزان قند محلول در رقم کریم ۱/۲ درصد نسبت به بذور شاهد افزایش یافت. همچنین در نمونه-برداری دوم محلول‌پاشی توام آهن + روی موجب افزایش معنی‌دار میانگین صفات کلروفیل a و b، آنتوسیانین، کاروتنوئید، فلاونوئید و محتوای رطوبت نسبی، میزان پرولین و مقدار قند محلول در ارقام گنبد و کریم نسبت به بذور شاهد شد اما میزان افزایش در رقم کریم نسبت به رقم گنبد بیشتر بود. افزایش ۱/۹ درصدی میزان پرولین دررقم کریم شد. بنابراین با توجه به نتایج آزمایش چنین به‌نظر می‌رسد که افزایش میزان پرولین در رقم کریم می‌تواند به افزایش مقاومت به تنش این رقم کمک کند.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین، پرولین، رطوبت نسبی آب، ژنوتیپ، فلزات سنگین، کلروفیل

مقدمه

گندم مهم‌ترین (*Triticum aestivum L.*) گیاه زراعی جهان بوده، بالاترین سطح کشت و تولید را در بین دیگر غلات داشته و به عنوان سلطان غلات شناخته می‌شود (Costa *et al.*, 2013; Suleiman *et al.*, 2014). بر پایهٔ گزارش وزارت جهاد کشاورزی در سال ۹۳-۱۳۹۲، سطح زیر کشت گندم در ایران

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: jahanbakhsh@uma.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.12.4]

در حدود ٦/١ میلیون هکتار بوده که ٦٣ درصد آن دیم و ٣٧ درصد آن آبی بوده و میزان گندم تولیدی ٦/١ میلیون تن برآورد شده است (بی نام، ١٣٩٦). کادمیوم به عنوان یکی از مهم‌ترین فلزات سنگین سمی در طبیعت به شمار می‌رود که از طریق زنجیره غذایی در بدن انسان انباشت می‌شود (Zhao *et al*., 2003). وجود این عنصر به طور سریع به وسیله گیاه حس می‌شود و جذب آن از طریق ناقلین آهن و روی رخ می‌دهد که دارای میل ترکیبی پایینی با کادمیوم هستند (Li and Kaplan, 1998). غلظت بالای در خاک منجر به کاهش فرایند متابولیکی، فتوسنتز و در نهایت کاهش رشد و عملکرد گیاه را به دنبال دارد (Khan *et al*., 2006). از علائم عمومی سمیت در گیاه کلروزه شدن برگ‌ها، اختلال در تنفس و متابولیسم نیتروژن، کاهش جذب آب و عناصر معدنی است (Nikolic *et al*., 2008). جذب و توزیع کادمیوم در گیاه حتی می‌تواند باعث برهم خوردن تعادل عناصر غذایی ضروری کاهش باروری گیاهان گردد (Dudka *et al*., 1996). کادمیوم به صورت طبیعی توسط آتشفشان و پس از آن از طریق فعالیت‌های شهری، فعالیت‌های صنعتی همانند معدن‌ها و پالایش فلزات وارد محیط زیست شده است (John *et al*., 2007). استفاده از کمپوست‌ها، کودهای فسفاتی غنی از کادمیوم و آبیاری توسط فاضلاب، میزان آن در محیط زیست افزایش پیدا کرده است (Chandra *et al*., 2009). گیاهان نقش مهمی در ورود کادمیم به چرخه غذایی انسان دارند. توانایی گیاهان مختلف در جذب کادمیم متفاوت است. به‌طوریکه منشا ٧٥ درصد از کادمیم موجود در زنجیره غذایی غلات و سبزی‌ها می‌باشد (Wangstrand *et al*., 2007). گندم (*Triticum aestivum*. L) در بین غلات، به عنوان یک گیاه مهم در سبد غذایی، نقش مهمی در سلامت جامعه دارد. مطالعات نشان داده است، گندم (به ویژه رقم دوروم) بیشتر از چاودار، جو و یولاف قادر به جذب کادمیم است (Jansson, 2002). همچنین نوع رقم گندم بر مقدار جذب کادمیم تأثیر دارد (Ingwersen and Sterck, 2005). در اروپا حد مجاز کادمیم در دانه گندم ٠/٢میلی‌گرم در کیلوگرم بذر تعیین شده است (European Commission, 2001). از طرفی براساس براوردها غلات تقریباً نصف کالری و قسمت زیادی از احتیاجات غذایی انسان را تأمین می‌نمایند، بنابراین نقش ویژه و مهمی را در الگوی مصرف هر کشور دارند (ایرانپور و شهبازیان، ١٣٨٤). در برخی از مطالعات نقش کادمیوم در جذب آهن از طریق ریشه‌ها بررسی شده است که نشان دهنده‌ی این است که تیمار توسط کادمیوم موجب کاهش میزان جذب آهن از طریق ریشه ها می‌شود (Vassilev *et al*., 2002). همچنین غلظت‌های مس و آهن در ساقه ی گندم با تیمار کادمیوم کاهش یافته است (Koleli *et al*., 2004). عناصر غذایی کم‌مصرف مانند روی، برای رشد گیاهان ضروری می‌باشد و در فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز، تولید هورمون‌های رشد و تشکیل کلروفیل گیاهی دخالت دارد و کمبود آن می‌تواند باعث عدم توازن عناصر غذایی در گیاه شده و کاهش راندمان مصرف آب و در نهایت، کاهش کیفیت و کمیت محصول را درپی داشته باشد (گوهری و همکاران، ١٣٨٩). در این میان دو عنصر آهن و روی از عناصر کم‌مصرف ولی ضروری بر رشد گیاه‌اند که اهمیت اساسی و حیاتی در متابولیسم سلولی و فعالیت آنزیم در گیاهان دارند (Ruiz *et al*., 2000). روی در ساخته شدن برخی اسیدهای آمینه، فرایند فتوسنتز و همانند سازی و بیان ژن شرکت دارند (Bagci, 2007). آهن در ساختار دو گروه عمده پروتئین‌ها به عنوان گروه دهنده–گیرنده الکترون در واکنش تنفس، در ساختمان پروتین های نظیر الگ‌هموگلوبین و آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز و همچنین در فرایندهای وابسته به نور در فتوسنتز تأثیری اساسی دارد (Ruiz *et al*., 2000).

باتوجه به افزایش روز افزون استفاده از کودهای شیمیایی آلوده به فلزات سنگین، به‌نظر می‌رسد مطالعات گسترده در مورد اثرات این عنصر بر صفات بیوشیمیایی گیاهانی مهم و استراتژیک مانند گندم ضروری باشد. محلول‌پاشی با عناصر ریزمغذی به‌عنوان یک راهکار جهت افزایش عملکرد در شرایط تنش به‌کار می‌رود. در این راستا هدف از این بررسی، مطالعه‌ی میزان کلروفیل، پرولین و سایر خصوصیات

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.12.4]

بیوشیمیایی ارقام گندم با دو ژنوتیپ مقاوم کریم و حساس گنبد در شرایط تنش کادمیوم و همچنین محلول پاشی عناصر آهن و روی، در این ارقام می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تأثیر تنش کادمیوم و محلول پاشی عناصر آهن و روی بر مؤلفه‌های بیوشیمیایی حاصل از بذور گندم با دو ژنوتیپ مقاوم کریم و حساس گنبد در محیط رشد هیدروپونیک آزمایشی، به صورت فاکتوریل بر پایه‌ی طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۵ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل گندم با دو ژنوتیپ مقاوم کریم و حساس گنبد، کادمیوم در سه سطح (صفر، ۷۵، ۱۵۰ میکرومولار) و محلول‌پاشی در مرحله ساقه‌دهی در چهار سطح (آهن، روی، آهن+ روی و شاهد) هرکدام با غلظت سه در هزار در بود. بذور گندم بعد از تهیه در داخل گلدان پنج کیلوگرمی کاشته شدند. کشت از نوع هیدروپونیک بوده که از محلول غذایی هوگلند و ارنون ۱۹۵۰ استفاده شد(Hoagland and Arnon, 1950). در مرحله ی سه برگچه‌ای با استفاده از نمک کلرید کادمیوم در غلظت‌های شاهد، ۷۵ و ۱۵۰ میکرومولار به صورت آب آبیاری همراه با محلول هوگلند اعمال شد. دو روز پس از اعمال تنش کادمیوم به‌جهت بررسی اثرات کادمیوم بر خصوصیات فیزولوژیکی و بیوشیمیایی گندم، کلروفیل و فلورسانس اندازه‌گیری شد و سپس نمونه‌برداری اول انجام شده و نمونه‌ها در داخل یخ به آزمایشگاه منتقل شد. سپس در مرحله ساقه‌دهی محلول پاشی بصورت شاهد (صفر)، آهن، روی و آهن + روی هر به صورت نمک‌های سولفاته، کدام با غلظت سه در هزارانجام شد و نمونه برداری دوم دو روز پس از محلول‌پاشی برداشت شد.

برای سنجش کلروفیل از بافت تازه برگی استفاده شد. ۰/۱گرم از بافت برگ را با استن ۸۰ درصد به تدریج له کرده تا کلروفیل وارد محلول استنی شود و در نهایت حجم محلول با استن ۸۰ درصد به ۲۰ میلی لیتر رسانده شد. محلول حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در ٤۰۰ دور سانتریفوژ شد و سپس جذب نوری محلول رویی (روشناور) در طول موج‌های ٦٤٦/۸، ٤۷۰ و ٦٦۳/۲ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر قرائت شد. مقدار کلروفیل و کارتنوئیدها طبق معادله‌های زیر محاسبه شد (آرنون، ۱۹٦۷).

$$\text{Chlorophyll a} = (19.3 \times A663 - 0.86 \times A645)\ V/100W$$
$$\text{Chlorophyll b} = (19.3 \times A645 - 3.6 \times A663)\ V/100W$$
$$\text{Carotenoides} = 100(A470) + 3.27(\text{mg chl. a}) - 104(\text{mg chl. b})/22$$

برای اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل از انتهایی‌ترین برگ توسعه یافته استفاده شد. این کار با استفاده از دستگاه فلورومتر(chlorophyll fluorometer) مدل Optic Science-OS-30 USA اندازه گیری شد. در شرایط گلخانه‌ای با استفاده از گیره‌های مخصوص برگ گیاهان به مدت ۲۰ دقیقه با تاریکی سازگار شده و سپس میزان فلورسانس تیمارها در شدت نور ۱۰۰۰ میکرومول (فوتون) بر مترمربع در ثانیه مورد ارزیابی قرار گرفت F_m (میزان فلورسانس حداکثر، بعد از تابیدن یک پالس نور اشباع بر روی گیاه سازگار شده به تاریکی)، F_O (میزان فلورسانس بعد از آنکه روی گیاه سازگار شده به تاریکی یک پرتو تعدیل شده و ضعیف تابیده شد)، مقدار F_v (فلورسانس متغیر که برابر تفاوت بیشترین و کمترین حد فلورسانس می‌باشد). F_v/F_m میزان عملکرد کوانتومی فتوسیستم II مطابق فرمول ذیل محاسبه شد:

$$\text{ØII} = (F_m - F_O)/F_m = F_v/F_m$$

استخراج پرولین از جوانترین برگ‌ها با استفاده از روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) صورت گرفت. مقدار g ۰/۱ بافت برگی در ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳/۳٪ سائیده و محلول حاصل از کاغذ صافی عبور داده شد و با سرعت ٤۰۰۰ دور بر دقیقه در دمای ٤°C به‌مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید و در لوله جداگانه دیگری، به ۲ میلی‌لیتر از عصاره حاصل، ۲ میلی‌لیتر معرف نین هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید اسیتیک گلاسیال خالص اضافه گردید. لوله‌ها به مدت ۱ ساعت در بن‌ماری قرار گرفته و پس از اضافه کردن ٤ میلی‌لیتر تولوئن به هر کدام از لوله‌ها، به مدت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه ورتکس گردیدند. پس از تشکیل دو فاز جداگانه، فاز بالایی رنگی، با دقت جدا و مقدار جذب آنها در دستگاه اسپکتروفتومتری در طول موج nm

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.12.4]

۵۲۰ اندازه گیری شد. برای اندازه گیری میزان آب نسبی بافت گیاهی با استفاده از روش ودرلی (۱۹۹۵) مقدار ۰/۵ گرم از نمونه‌های برگی ترجیحاً برگ‌های سوم از انتهای هر گیاه جدا شدند. بلافاصله برگ‌های جدا شده جهت تعیین وزن تر با استفاده از ترازوی دقیق یک‌هزارم گرم توزین شدند. سپس نمونه‌های برگی در داخل لوله‌های آزمایش دربدار محتوی ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر غوطه‌ور شدند و به مدت ٦ ساعت در محیط نسبتاً خنک و بدون نور نگهداری شدند. پس از گذشت این مدت برگ‌ها را از داخل لوله‌های آزمایش خارج و سریعاً با کاغذ خشک کن، آب روی برگ‌ها زدوده شد و با ترازوی یک-هزارم گرم وزن تورگر آنها تعیین شد. سپس نمونه‌های برگی بداخل آون الکتریکی با دمای ۷۰ درجه سانتیگراد منتقل شدند و بعد از ٤٨ ساعت وزن خشک برگ‌ها تعیین گردید، بدین ترتیب مقدار آب نسبی بافت برگ‌ها با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

RWC= [(وزن خشک-وزن آماس) / (وزن خشک-وزن تر)] × 100

استخراج کل کربوهیدارت‌ها از جوانترین برگ‌ها با استفاده از روش فنول سولفوریک (دوبیوس و همکاران، ۱۹۵٦) به نقل از (بوردلوف و همکاران، ۲۰۰۱) صورت گرفت. مقدار g ۰/۲ از جوانترین برگ‌ها پودر شده با ml ۲ بافر سدیم فسفات (pH = ۷) ساییده و با سرعت rpm ۱۰۰۰۰ به مدت min ۲۰ در دمای °C ٤ سانتریفیوژ شدند. از محلول رویی µl ۱۰ برداشته و به آن µl ۹۹۰ آب مقطر افزوده شد. به ml ۰/۵ از محلول حاصل، ml ۰/۵ فنول ۵٪ (محلول آبی) و ml ۲/۵ اسید سولفوریک (۹۸٪) اضافه گردید. پس از تثبیت رنگ به مدت min ۱۵–۱۰ در دمای °C ۳۰–۲۷ قرار گرفت و جذب نمونه‌ها با استفاده از اسپکتروفتومتری در طول موج nm ٤۹۰ اندازه گیری شد.

در پایان کلیه تجزیه و تحلیل‌های آماری داده‌های حاصل از این آزمایش، با استفاده از نرم افزارSAS و SPSS صورت گرفت و مقایسه میانگین‌ها به روش LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. نمودارها توسط نرم‌افزار Excle رسم گردید.

نتایج و بحث

نمونه‌برداری اول: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که میزان کلروفیل a و کلروفیل b متآثر از ژنوتیپ و غلظت‌های کلرید کادمیوم و نیز اثر متقابل آنها بود. بیشترین غلظت‌های کلروفیل a و کلروفیل b در رقم کریم و در شرایط بدون تنش کادمیوم مشاهده شد. حداقل غلظت کلروفیل a و کلروفیل b مربوط به تیمار ۱۵۰ میکرومولار کلرید کادمیوم در ارقام گنبد و کریم بود که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری بین آنها مشاهده نشد (شکل ۱). از مهمترین دلایل کاهش غلظت کلروفیل تخریب آن‌ها به وسیله گونه‌های اکسیژن فعال (Osareh Shariat, 2009 and) و ممانعت از بیوسنتز کلروفیل تحت تأثیر فلزات سنگین از طریق بازدارندگی دو آنزیم گاماآمینولوولینیک اسید دهیدروژناز و پروتوکلروفیلی دردوکتاز (Ghorbanli et al., 2007) می‌باشد.

تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش نشان داد که میزان کاروتنوئید و آنتوسیانین تحت تأثیر ژنوتیپ و غلظت‌های کادمیوم و نیز اثرات متقابل ژنوتیپ و غلظت‌های کادمیوم قرار گرفت (جدول ۱). بیشترین میزان کاروتنوئید مربوط به رقم کریم و در شرایط عدم کاربرد کادمیوم مشاهده شد. با افزایش غلظت کلرید کادمیوم میزان کاروتنوئید در رقم مقاوم کریم کاهش کمتری نسبت به رقم حساس گنبد نشان داد. همچنین در غلظت ۱۵۰ میکرو مولار کادمیوم بین رقم کریم و گنبد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. کادمیوم موجب کاهش آنتوسیانین شد. به‌طوریکه کمترین غلظت آنتوسیانین در رقم گنبد و در شرایط ۱۵۰ میکرو مولار کادمیوم مشاهده شد (شکل ۲). رقم کریم در شرایط ۱۵۰ میکرومولار کادمیوم اختلاف معنی‌داری با رقم گنبد در شرایط ۷۵ میکرومولار کادمیوم نداشت که این موضوع نشان می‌دهد رقم کریم مقاومت بیشتری نسبت به شرایط تنش دارد. نتایج حاصل از آزمایشی مبنی بر تأثیر ترکیبی کادمیم و شوری بر روی دو گیاه *Potamogeton* و *Myriophyllum heterophyllum Michx.* *crispus* L نشان داد که میزان کاروتنوئیدهای هر دو گیاه با افزایش غلظت کادمیم و NaCl کاهش یافت (Sivaci and Elmas, 2012).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

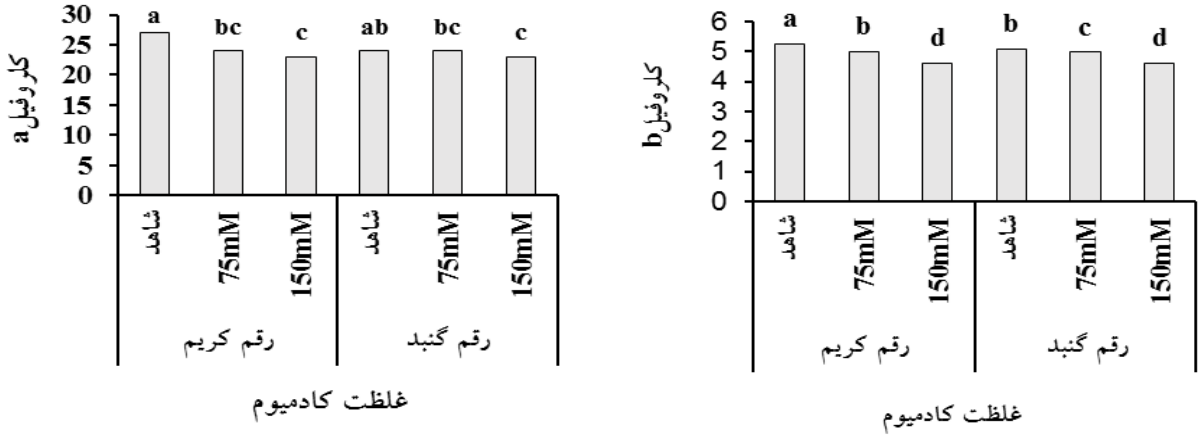
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.12.4]

جدول ۱- تجزیه واریانس اثرات تنش کادمیوم بر خصوصیات بیوشیمیایی بذور دو رقم گندم (مقاوم کریم و رقم حساس گنبد)

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید	آنتوسیانین	فلانویید	RWC	قند	پرولین
تنش کادمیوم	۲	۶۲/۸**	۰/۹۴۰**	۲۶۹۵**	۲۳/۱**	۳۲/۹**	۳۸۲**	۱۴۷**	۰/۰۱۷**
ژنوتیپ گندم	۱	۵/۳۷**	۰/۶۴۰**	۴۱۱۱**	۱۱/۹**	۰/۱۶۰**	۳۸۲**	۵/۱۸**	۰/۰۱۲**
تنش کادمیوم×ژنوتیپ گندم	۲	۳/۱۳**	۰/۶۰۰**	۲۶۳۴**	۳/۲۱**	۸/۰۷**	۳۸۲**	۳۳/۱**	۰/۰۰۶**
خطا	۶۶	۶/۲۵	۰/۹۸۰	۵۰۸	۱/۲۰	۷/۵۳	۱/۹۸	۱۳/۶	۰/۰۰۸
ضریب تغییرات(٪)		۷/۴۱	۸/۲۵	۷/۳۵	۹/۹۳	۴/۱۸	۱/۷۱	۴/۲۵	۷/۱۲

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

RWC: میزان آب نسبی بافت‌های گیاهی



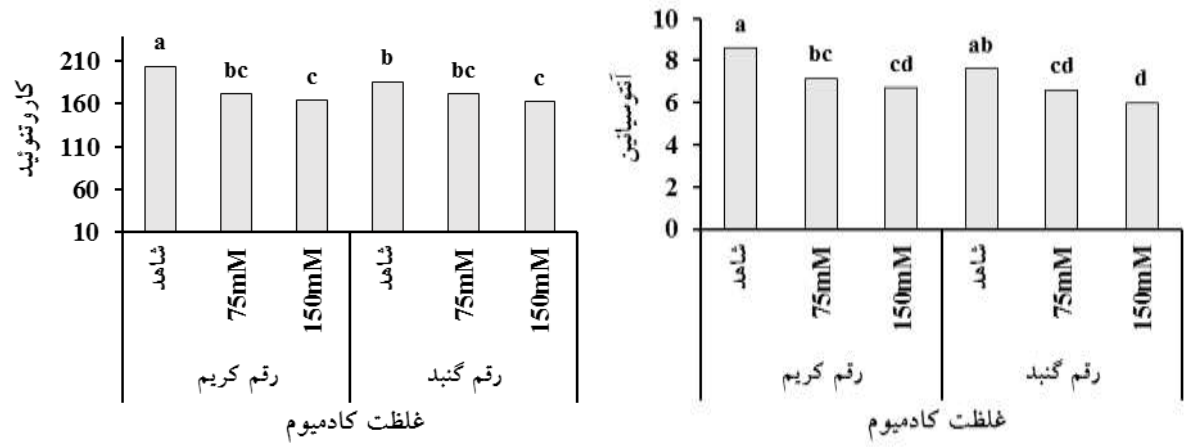
شکل۱- تأثیر تنش کادمیوم بر میزان کلروفیل a و b بذور دو رقم گندم در نمونه‌برداری اول

فلاونویید تحت تأثیر غلظت کادمیوم و ژنوتیپ گندم و نیز اثرات متقابل آنها قرار گرفت (جدول ۱). بیشترین و کمترین غلظت فلاونویید به ترتیب مربوط به بذور رقم کریم و گنبد و در شرایط بدون تنش کادمیوم و تنش ۱۵۰ میکرومولار کادمیوم مشاهده شد که در رقم گنبد در شرایط ۷۵ و ۱۵۰ میکرومولار کادمیوم اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. کاهش فلاونوییدها در شرایط تنش کادمیوم در بذور ذرت توسط خورشیدی و همکاران (۱۳۹۰) گزارش شده است (شکل ۳). در اثر سمیت این عنصر علائمی شبیه به کمبود عناصر ضروری در گیاه ظاهر می‌گردد، زیرا کادمیوم با کاهش میزان عناصر ضروری یا اختلال در عملکرد آنها در ساختار گیاه، باعث مهار سنتز کلروفیل و یا به هم ریختگی ساختار کلروپلاست می‌شود. در بررسی Vassilev و Yordanov (۱۹۹۷) نشان داده شد که کادمیوم باعث کاهش و کاروتینوئیدها در گیاه میزان کلروفیل کل، کلروفیل b، a گردید.

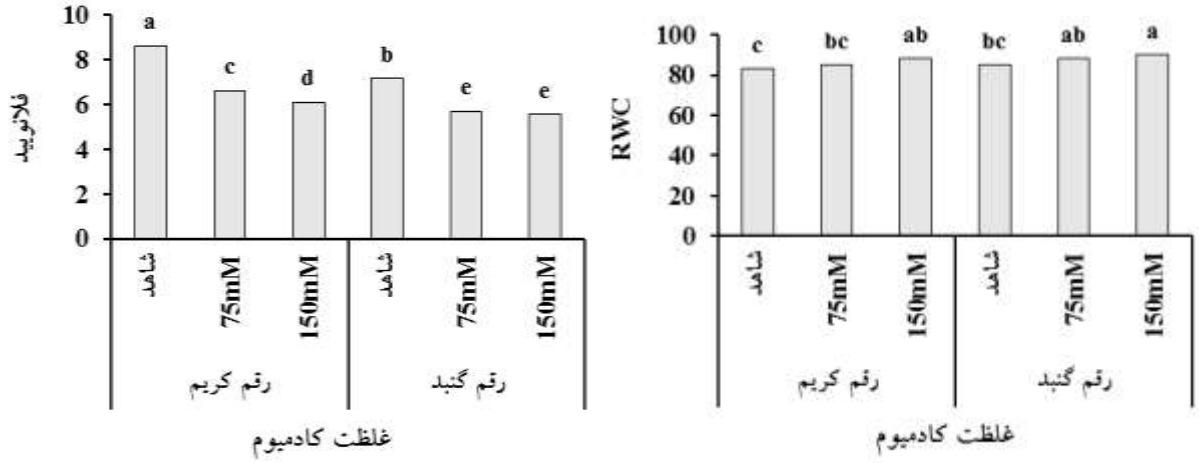
نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که با افزایش کادمیوم

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.12.4]



شکل۲- تأثیر تنش کادمیوم بر میزان کاروتنوئید و آنتوسیانین بذور دو رقم گندم در نمونه‌برداری اول

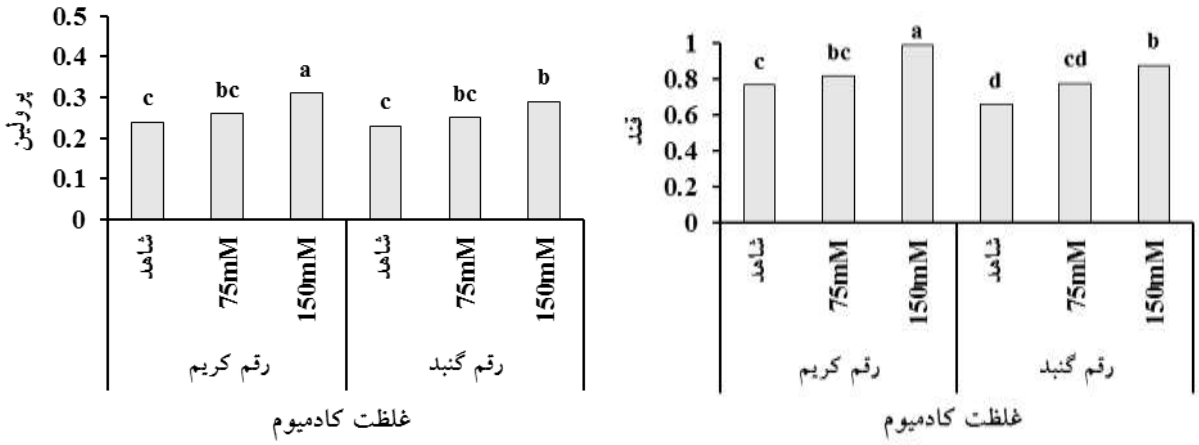


شکل۳- تأثیر تنش کادمیوم بر میزان فلانوئید و RWC بذور دو رقم گندم در نمونه‌برداری اول

به محیط کشت میزان محتوای نسبی آب بافت در سلول‌های برگ ارقام کریم و گنبد به طور معنی‌داری کاهش یافت به طوریکه بیشترین کاهش محتوای آب نسبی برگ در رقم گنبد و در شرایط تنش ۱۵۰ میکرومولار کادمیوم مشاهده شد (شکل ۳). کاهش در میزان نسبی آب بافت در شرایط تنش کادمیوم در گیاه تربچه و کاهو (Costa and Moral, 1994 ; Farokh *et al*, 2011) نیز گزارش شده است. Farokh و همکاران، (۲۰۱۱) کاهش محتوای آب نسبی بافت برگ گیاه ذرت را تحت سمیت کادمیوم به علت از بین رفتن تعادل آب سلول دانستند که به وسیله شاخص RWC مشخص می‌گردد. کادمیوم با کاهش طول ریشه، کاهش میزان انتقال مواد از ریشه به شاخساره، کاهش قابلیت تراوایی ریشه، کاهش اندازه و تعداد آوندهای چوبی، افزایش چوب پنبه‌ای شدن و لیگنینی شدن ریشه، جلوگیری از تولید ریشه‌های موئین، آسیب به نوک ریشه‌های اصلی موجب ایجاد اختلال در جذب آب و به هم ریختن تعادل آبی درگیاه می‌گردد (Poschenriedr and Barcelo, 1990). تجمع پرولین و آمینو اسیدهای آزاد، در پاسخ به تنش کادمیوم، دلیل مناسبی برای کاهش در میزان نسبی آب بافت و بوجود آوردن خشکی فیزیولوژیکی در گیاه است (Barket *et al*., 2007 ; Hassan. Iqbal *et al*., 2012).

نتایج حاصل از پژوهش نشان داد (جدول ۱) که با افزایش غلظت کادمیوم میزان قند محلول افزایش یافت. همانطور که در شکل ٤ مشاهده می‌کنید بیشترین میزان قند محلول در رقم کریم و در شرایط تنش ۱۵۰ میکرومولار کلرید کادمیوم به

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.12.4]



شکل٤- تاثیر تنش کادمیوم بر میزان کربوهیدرات و اسیدآمینه پرولین بذور دو رقم گندم در نمونه‌برداری اول

دست آمد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از بذور شاهد و سایر تیمارها بود. کمترین میزان قند محلول مربوط به بدور شاهد در رقم گنبد بود. با کاهش انتقال آب به برگ‌ها و به دنبال تجمع کادمیوم در سلول‌ها، میزان قندهای محلول در گیاه افزایش می‌یابد. این ویژگی یک روش سازگاری گیاه برای حفظ شرایط اسمزی است (verma *et al.*,2001). علاوه بر این افزایش قندهای محلول به گیاه کمک می‌کند تا بتواند ذخیره کربوهیدراتی خود را برای حفظ متابولیسم پایه در شرایط تنش در حد مطلوب نگه دارد. این نتایج با نتایج verma و همکاران (۲۰۰۱) بر روی برنج همخوانی دارد به نظر می‌رسد کادمیوم انتقال آب را در گیاه مورد مطالعه کاهش داده در نتیجه غلظت این عنصر در سلول‌ها افزایش یافته است و کاهش آب در سلول‌ها سبب افزایش غلظت قندهای محلول در اندام‌های هوایی و ریشه شده است تا از این طریق گیاه بتواند با حفظ شرایط اسمزی حداکثر توان خود را جهت حفظ مقادیر آبی گیاه انجام دهد. از طرف دیگر افزایش میزان قند در گیاه نشان دهنده کاهش میزان آب در سلول‌هاست که عاملی مهم در کاهش رشد گیاه می‌باشد. تجمع بیشتر قندها در ریشه‌ها نیز می‌تواند نشان دهنده اهمیت تنظیم اسمزی در مکان‌های جذب باشد(Haghighi *et al.*, 2010). نتایج این مطالعه نیز نشان داد که مقادیر زیادی از کادمیوم در ریشه‌ها تجمع می‌یابد. تجمع این عنصر در سلول‌های ریشه، سبب افزایش بیشتر قندهای محلول می‌گردد تا بتواند با تنظیم اسمزی، اختلال در جذب و انتقال آب را برطرف کند.

تأثیر تنش کادمیوم، ژنوتیپ و اثر متقابل تنش کادمیوم × ژنوتیپ بر محتوای پرولین گیاهچه‌های گندم معنی‌دار بود (جدول ۱). با کاربرد کادمیوم، مقدار پرولین گیاهچه‌های گندم به طور معنی‌داری افزایش یافت. به‌طوریکه بیشترین میانگین مقدار پرولین مربوط به گیاهچه‌های حاصل از بذور رقم کویر تحت تنش ۱۵۰ میکرومولارکادمیوم مشاهده شد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از شرایط بدون تنش بود و سایر تیمارها بود (شکل ٤). در تیمار کاربرد کادمیوم و عدم کاربرد، محتوای پرولین گیاهچه‌های حاصل از بذور شاهد به‌طور معنی‌داری کمتر از بذور پیش‌تیمار شده به‌دست آمد. در شرایط بدون تنش کادمیوم، در بین پیش‌تیمارها، مقدار پرولین گیاهچه‌های حاصل از بذور رقم گنبد و کریم اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. تجمع پرولین به عنوان یک تنظیم کننده اسمزی بسیار فعال به طور معمول در سیتوسل رخ می‌دهد و به طور قابل ملاحظه‌ای به تنظیم اسمزی سیتوپلاسمی، ثبات غشاء و فرآیندهای غشایی کمک می‌کند (Abraham *et al.*, 2003). افزایش میزان پرولین با افزایش غلظت کادمیم در کاهو(Haghighi *et al.*, 2010) سویا (Balestrasse *et al.*, 2005) و لوبیا (Zengin and Munzuroglu, 2005) نیز گزارش شده است. به عنوان یک نتیجه کلی، همزمان با افزایش غلظت عناصر سنگین، ترکیبات نیتروژن‌دار مانند پرولین افزایش یافته و افزایش پروتئین را نیز در پی خواهد داشت (Singh and.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.12.4]

Malik., 2011). از سوی دیگر پرولین به واسطه تنظیم اسمزی غشای سلولی را در برابر اکسیداسیون حفاظت می‌نماید (Tatar and Gevrek., 2008) و از طریق رفع کمبود آب، کلات کردن عناصر و مهار رادیکال‌های آزاد از خسارت فلزات سنگین جلوگیری می‌کند (Balestrasse *et al*., 2005)

نمونه‌برداری دوم:نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که میزان کلروفیل a و کلروفیل b، به طور معنی‌داری تحت تأثیر محلول پاشی آهن و روی، ژنوتیپ و نیز اثر متقابل این دو قرار گرفت. محلول پاشی با آهن + روی باعث افزایش غلظت کلروفیل a و کلروفیل b شد بنابراین باعث افزایش مقاومت گندم در شرایط تنش شد، به‌طوریکه بیشترین و کمترین میزان کلروفیل a و کلروفیل b به ترتیب مربوط به رقم مقاوم کریم در محلول پاشی آهن + روی و رقم حساس گنبد در بذور شاهد به دست آمد. در شرایط محلول پاشی آهن و روی به تنهایی بین رقم مقاوم کریم و حساس گنبد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۵). روی در ساخته شدن برخی اسیدهای آمینه، فرایند فتوسنتز و همانند سازی و بیان ژن شرکت دارند (Bagci, 2007). آهن در فرایندهای وابسته به نور در فتوسنتز تأثیری اساسی دارد (Ruiz *et al*., 2000). Chatterjee و همکاران (۲۰۰۶) بیان کردند که کاهش میزان آهن، با کاهش میزان کلروفیل، عملکرد لوبیا سبز را به طور معنی‌داری کاهش داد. مطالعه قربانلی و همکاران بر روی آفتابگردان نیز نشان داد با محلول‌پاشی آهن و روی میزان کلروفیل کل در برگ به طور قابل توجهی افزایش یافت‌به‌نظر می‌رسد که این افزایش می‌تواند ناشی از نقش عملکردی آهن در فعال‌سازی پروتئین سنتتازهای مسیر بیوسنتز کلروفیل و برخی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند آسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز در مسیر حفاظت از تخریب کلروفیل توسط رادیکال‌های فعال اکسیژن باشد (Ghorbanli, 2005). ماده مشترک برای ساخت کلروفیل، اسید دلتا-آمینولوولینیک است که میزان تشکیل آن به وسیله آهن کنترل می‌شود. به کار رفتن آهن و یا منیزیم، به عنوان اتم مرکزی در درون تتراپیرول، به ترتیب به تشکیل کوآنزیم‌های هیم و منیزیم پروتوپورفیرین منجر می‌شود. ثابت شده است که وجود آهن برای تشکیل پروتوکلروفیلید از منیزیم پروتوپورفیرین لازم است. همچنین آنزیم کپروپورفیرینوژن اکسیداز که یک پروتئین آهن‌دار است اکسید شدن منیزیم پروتوپورفیرین را به پروتوکلروفیلید کاتالیز می‌کند (Hirai *et al*., 2007). عنصر روی هم در راه اندازی برخی از آنزیم‌های مسیر بیوسنتز کلروفیل و نیز برخی از آنزیم‌های آنتی اکسیدان مانند آسکوربات پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز در مسیر حفاظت از تخریب کلروفیل توسط رادیکال‌های عابدی فعال اکسیژن نقش اساسی دارد(ملکوتی، ۱۳۷۹).

اثر متقابل محلول پاشی نانو اکسید روی + آهن و ژنوتیپ گندم بر میزان کاروتنوئید و آنتوسیانین در سطح یک درصد معنی‌دار بود(جدول ۲). به‌طوریکه کاربرد توأم روی + آهن موجب افزایش میزان کاروتنوئید و آنتوسیانین شد، اما با کاربرد نانو اکسید روی و آهن با افزایش به تنهایی کاهش در میزان کاروتنوئید و آنتوسیانین مشاهده می‌شود. به طوریکه بیشترین میزان کاروتنوئید و آنتوسیانین در رقم مقاوم کریم در محلول پاشی توأم روی + آهن به‌دست آمد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از بذور شاهد و سایر تیمارها بود. کمترین میزان کاروتنوئید در رقم حساس گنبد و در شرایط عدم محلول پاشی در بذور شاهد به‌دست آمد اما اختلاف معنی‌داری در همین رقم در شرایط محلول پاشی با نانواکسید روی و بذور شاهد رقم مقاوم کریم نداشت (شکل ٦). محلول‌پاشی با عناصر ریزمغذی به‌عنوان یک راهکار جهت افزایش عملکرد در شرایط تنش کادمیوم به کار می‌رود. عناصر غذایی کم مصرف مانند روی در فرایندهای فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز، تولید هورمون‌های رشد و تشکیل کلروفیل نقش بسیار مهم دارد و کمبود آن باعث کاهش راندمان مصرف آب و در نتیجه کاهش کمیت و کیفیت محصول در شرایط تنش کادمیوم می‌شود (گوهری و همکاران، ۱۳۸۹). با مصرف عناصر ریزمغذی آهن و روی فعالیت فتوسنتزی گیاه افزایش می‌یابد و در نتیجه باعث افزایش مقاومت گیاه در برابر شرایط تنش کادمیوم می‌شود (Koocheki and Banayan, 1994).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

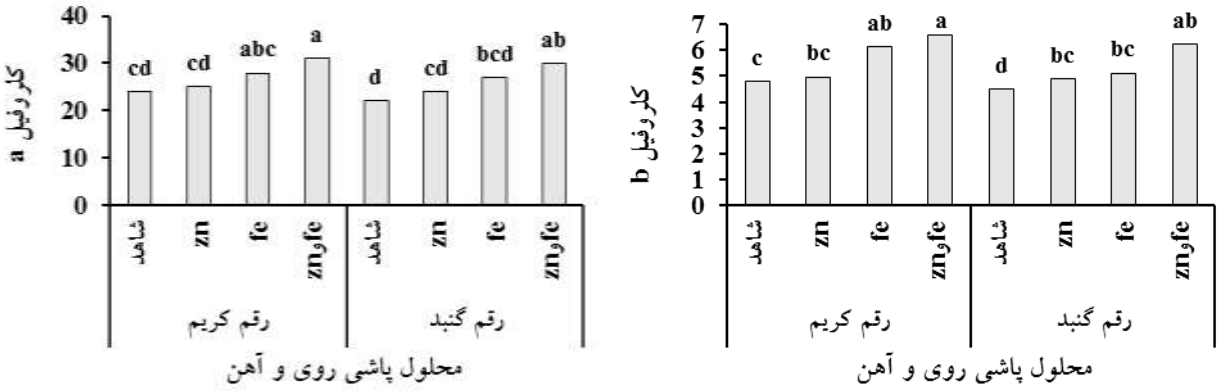
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.12.4]

جدول ۲- تجزیه واریانس اثرات محلول پاشی آهن و روی بر خصوصیات بیوشیمیایی بذور دو رقم گندم (مقاوم کریم و رقم حساس گنبد)

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید	آنتوسیانین	فلانویید	RWC	قند	پرولین
محلول پاشی	۲	۱۰۷**	۹/۱۱**	۲۶۹۵**	۰/۰۰۱**	۲۶۷**	۱۰۲**	۰/۱۱۹**	۰/۰۹۶**
ژنوتیپ گندم	۱	۳۸/۲**	۶/۶۳**	۴۱۱۱**	۰/۰۰۱۴**	۴۱/۷**	۵/۱۸**	۰/۰۲۵**	۰/۰۹۲**
محلول پاشی×ژنوتیپ گندم	۳	۵/۳۳**	۱/۶۸**	۲۶۳۴**	۰/۰۰۳**	۳۶/۴**	۵۱/۵**	۰/۰۱۳**	۰/۰۰۷**
خطا	۶۶	۱۴/۵	۰/۹۳۰	۵۰۸	۰/۰۰۱	۲۸/۹	۲/۲۶	۰/۰۲۵	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات(٪)		۱۴/۲۲	۷/۸۱	۷/۳۵	۱۳/۸۶	۴/۵۸	۲/۸۸	۲/۱۰	۲/۱۸

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

RWC: میزان آب نسبی بافت‌های گیاهی

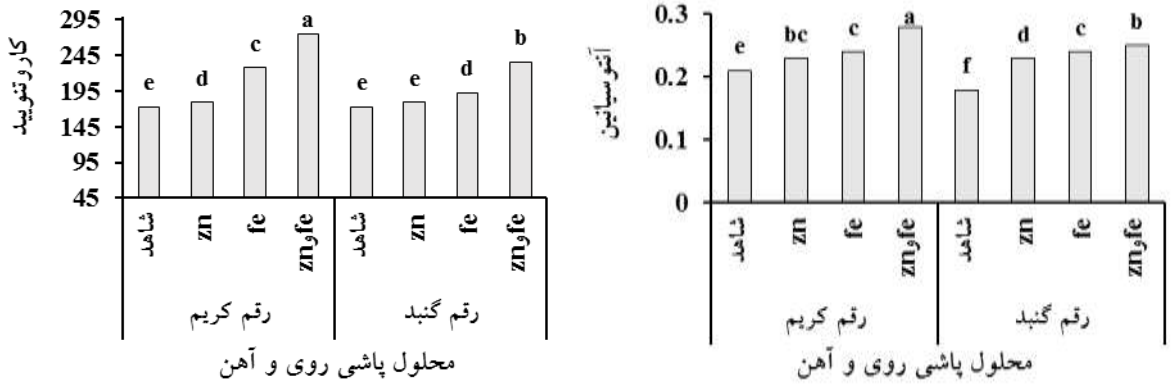


شکل۵- تأثیر محلول پاشی آهن و روی بر میزان کلروفیل a و b بذور دو رقم گندم در نمونه‌برداری دوم

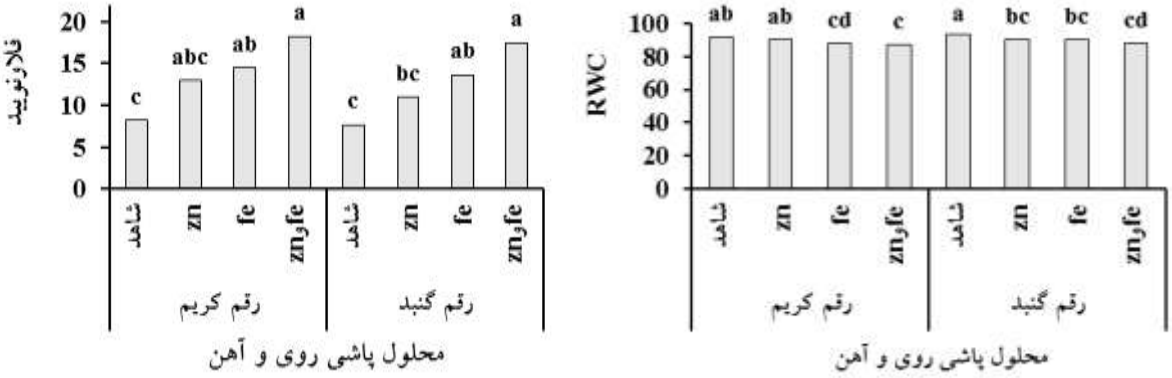
همانطور که در شکل ۷ مشاهده می‌کنید غلظت رنگیزه‌های فلانویید با اعمال محلول پاشی افزایش یافت. به‌طوریکه کمترین میزان فلانویید در بذور رقم حساس گنبد در بذور شاهد به‌دست آمد اما اختلاف معنی‌داری با بذور شاهد رقم کریم نداشت. محلول پاشی توام آهن + روی موجب افزایش میزان رنگیزه‌های فلانویید شد. بیشترین میزان رنگیزه‌های فلانویید در شرایط اعمال توأم محلول پاشی آهن + روی در رقم مقاوم کریم به‌دست آمد که به‌طور معنی‌داری بیشتر از بذور شاهد و سایر تیمارها بود. . تدین و رئیسی (Tadayyon and Raiesi 2008) و خلیلی محله و رشدی (Mahaleh and Khalili Rashdi., 2008) نیز اظهار داشتند این عناصر می‌توانند برای تغذیه برگی مورد استفاده قرار گرفته و در شرایط تنش به دلیل بهبود پدیده‌های فتوشیمیایی و افزایش غلظت کلروفیل وکاروتن برای گیاه مثمر ثمر باشند.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که محتوای آب نسبی برگ تحت تأثیر محلول پاشی و ژنوتیپ گندم در سطح احتمال ۱ درصد قرار گرفت (جدول ۲).نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که در بین تیمارها محلول پاشی توام با آهن + روی موجب افزایش محتوای آب نسبی برگ شد. به-طوریکه کمترین کاهش محتوای آب نسبی برگ در رقم گنبد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.12.4]



شکل٦- تأثیر محلول پاشی آهن و روی بر میزان کاروتنوئید و آنتوسیانین بذور دو رقم گندم در نمونه‌برداری دوم

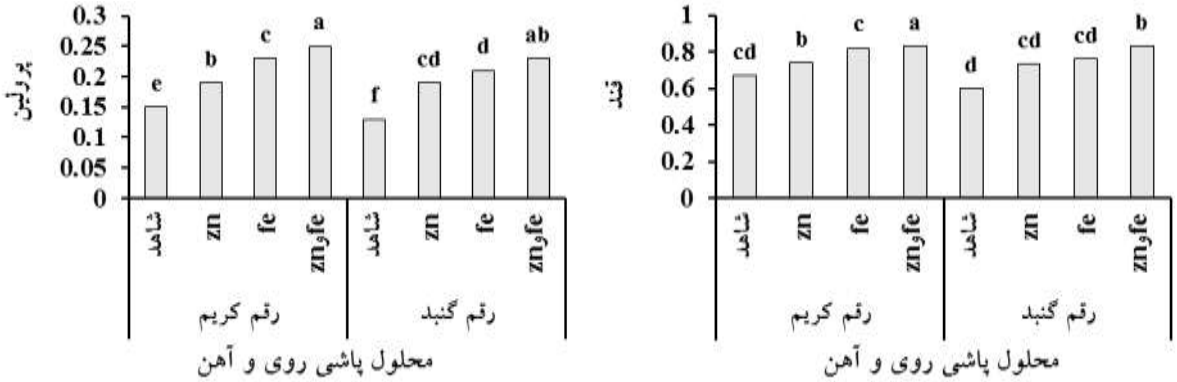


شکل۷- تأثیر محلول پاشی آهن و روی بر میزان فلانوئید و RWC بذور دو رقم گندم در نمونه‌برداری دوم

مشاهده شد که به‌طور معنی‌داری کمتر از سایر تیمارها بود (شکل ۷). در بین تیمارهای محلول‌پاشی نیز محلول‌پاشی توأم با آهن + روی توانست محتوای آب نسبی برگ را افزایش دهد (شکل ۷). به عقیده Weisany و همکاران (۲۰۱۱) میزان باز بودن روزنه‌ها دارد، به این دلیل که این عنصر در نگهداری عنصر پتاسیم در سلول‌های محافظ روزنه نقش دارد و از طریق کاهش تلفات آب برگ باعث افزایش محتوای آب نسبی برگ می‌شود. ایشان کاهش محتوای پتاسیم در سلول‌های محافظ روزنه را در گیاهانی که با روی تیمار نشده بودند مشاهده نمودند، که ممکن است به افزایش خروج پتاسیم نسبت به جریان آن به داخل سلول‌های محافظ از طریق نشت از غشای سلولی، مرتبط باشد که در صورت عدم مصرف روی یکپارچگی غشا کاهش یافته و محتوای آب برگ کاهش می‌یابد. در آزمایش Baniabbass و همکاران (۲۰۱۲) گیاهان آفتابگردانی که سولفات روی بیشتری دریافت کرده بودند از محتوای آب نسبی برگ بالاتری برخوردار بودند. عنصر روی نقش مهمی در تنظیم به نظر می‌رسد محلول پاشی از طریق تکمیل عناصر غذایی کم مصرف توان وضعیت رشد گیاه را افزایش داده موجب افزایش مقاومت گیاه به خصوص در رقم کریم شده است. به نظر می‌رسد محلول پاشی از طریق تکمیل عناصر غذایی کم مصرف توان وضعیت رشد گیاه را افزایش داده موجب افزایش مقاومت گیاه به خصوص در رقم کریم شده است.

اثر متقابل محلول پاشی و ژنوتیپ بر میزان اسید آمینه پرولین و قند گیاه‌چه‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقدار پرولین و گیاه‌چه‌ها با محلول پاشی آهن و روی به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت. همچنین کاربرد نانو اکسید روی سبب افزایش قند گیاه‌چه‌ها گردید (شکل ۸). همانطور که در شکل مشاهده می‌کنید کمترین میزان قند و پرولین در رقم حساس کریم و در شرایط عدم محلول پاشی در بذور شاهد به

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.12.4]



شکل۸- تأثیر محلول پاشی آهن و روی بر میزان کربوهیدرات و اسیدآمینه پرولین بذور دو رقم گندم در نمونه‌برداری دوم

دست آمد که به‌طور معنی‌داری کمتر از سایر تیمارها بود. Ali Mohammadi و همکاران (۲۰۰۹) مشاهده نمودند که تجمع پرولین در بین ژنوتیپ‌های مختلف گندم متفاوت است. کم بودن میزات قند در بذور شاهد به دلیل رقابت دانه‌ها در بدست آوردن مواد غذایی و کاهش کربوهیدرات ذخیرهای گیاه می‌باشد که تعداد سلول‌های مولّد کاهش یافته و وزن هزار دانه کاهش می‌یابد (Sharafi *et al*.,2000). عابدی باباعربی و همکاران (۱۳۹۰) گزارش کردند عنصر روی در سنتز پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها، متابولیسم سلول، محافظت غشاء از رادیکال‌های آزاد اکسیژن و سایر فرآیندهای مرتبط با امر سازگاری گیاهان به تنش‌ها نقش مهمی ایفا می‌کند، لذا محلول‌پاشی روی توانست با افزایش غلظت پرولین برگ مقاومت به تنش کادمیوم را در گیاه افزایش دهد. افزایش در غلظت قندهای محلول می‌تواند یک پاسخ مثبت به تغییرات میزان محتوای نسبی آب و پتانسیل آب برگ‌ها ارزیابی شود، زیرا افزایش در غلظت ساکاروز و سطح قندهای محلول سبب افزایش مقاومت گیاهان می‌شود (Mohsenzade *et al*.,2006).

نتیجه گیری کلی

به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش شدت تنش کادمیوم، صفات مورد مطالعه کاهش یافت. به‌نظر می‌رسد که تنش کادمیوم از طریق ایجاد تنش اکسیداتیو و تولید رادیکال‌های آزاد موجب کاهش غلظت کلروفیل گیاهچه‌های حاصل از بذور ارقام گندم شده است. با توجه به اثرات منفی این تنش بر خصوصیات بیوشیمیایی گیاهچه‌های حاصل، محلول‌پاشی از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی موجب اخته شدن رنگیزه‌های فتوسنتزی و افزایش کلروپلاست و در نتیجه باعث افزایش فتوسنتز و افزایش میزان قند شده و با افزایش تولید پرولین میزان مقاومت در رقم کریم را افزایش داده است.

منابع

ایرانپور، ح. و شهبازیان، ن. (۱۳۸٤) زراعت غلات. انتشارات کارنو.

بی نام (۱۳۹٦) آمارنامه کشاورزی جلد ۱، وزارت جهادکشاورزی، معاونت برنامه ریزی و اقتصادی، مرکزفناوری اطلاعات و ارتباطات

خورشیدی، م.، باقری، م.، خوشنویسان، م.، عالمی، م. و بیچرانلو، م. (۱۳۹۰) اثر پیش‌تیمار سالسیلیک اسید بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاهچه‌های ذرت تحت تنش کادمیوم. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی ٤: ١٦٤-١٥١.

عابدی باباعربی، س.، موحدیدهنوی، م.، یدوی، ع. و ادهمی، ا. (۱۳۹۰). تأثیر محلول‌پاشی روی و پتاسیم بر صفات فیزیولوژیک و عملکرد گلرنگ در شرایط تنش خشکی. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی ٤:۹۵- ۷۵.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.12.4]

گوهری، ف.، بحرانی، ع. و باقری، ع. (۱۳۸۹) تأثیر کودهای ماکرو و میکرو بر راندمان مصرف آب در کلزا. همایش ملی مدیریت کمبود آب و تنش خشکی در زراعت، دانشگاه آزاد واحد ارسنجان، ارسنجان، ایران.

ملکوتی، م. (۱۳۷۹) نقش ریزمغذی‌ها در افزایش تولیدات کشاورزی در ایران. نشریه فنی ۷۰: ۱٤٤– ۱۲۳.

Abraham, E., Rigo, G., Szekely, G., Nagy, R., Koncz, C. and Szabados, L. (2003) Lightdependent induction of proline biosynthesis by abscisic acid and salt stress is inhibited by brassinosteroid in Arabidopsis. Plant Molecular Biology 51: 363 372.

Ali Mohammadi, M., Rezai, A. M., and Mirmohammadi Maibodi, S. A. M. (2009) Investigation some of physiological characteristics and yield in ten cultivars of bread wheat in two irrigation regimes. Journal of Agricultural Science and Technology and Natural Resources journal 48: 107-120.

Arnon, A. N. (1967) Method of extraction of chlorophyll in the plants. Journal of agronomy 23:112-121.

Bagci, S. A., Ekiz, H., Yilmaz, A. and Cakmak, I. (2007) Effects of zinc deficiency and water stress on grain yield of field-grown Wheat cultivars in central Anatolia. Agronomy and Crop Science 193: 198-206.

Balestrasse, K. B., Gallego, S. M., Benavides, M. P., Tomaro, M. L. (2005) Polyamines and proline are affected by cadmium stress in nodules and roots of soybean plants. Plant and Soil. 270, 343-353.

Baniabbass, Z., Zamani, G. and Sayyari, M. (2012) Effect of drought stress and zinc sulfate on the yield and some physiological characteristics of sunflower (*Helianthus Annuus* L.). Environmental Biology 6: 518-525.

Barcelo, L., and C. Poschenriedr. (1990) Plant water relations as affected by heavy metal stress: A reaview. Jornal of plant Nutrition. 13:1-37.

Barket, A., Rani, I. Hayat, S. and Ahmad, A. (2007) Effect of 4-cl-indul-3-aceticacid on seed germination of cicer arientium exposed to cadmium. Acta Botanica Croatica 66:57-65.

Bates, L., Waldren, R. P. and Teare, I. D. (1973) Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil 39: 205-207

Chandra, R, Bhargava, R. N., Yadav, S. and Mohan, D. (2009). Accumulation and distribution of toxic metals in Wheat (*Triticum aestivum* L.) and Indian mustard (*Brassica compestries* L.) irrigated with distillery and tannery effluent. Journal of Hazardous Materials 116:1514–1521.

Chatterjee, C., Gopal, R. and Dub, B. K. (2006). Physiological and biochemical responses of French bean to excess cobalt. Jornal of plant Nutrition. 29: 127-136.

Costa, G., and Moral, J. L. (1994) Water relation, gas exchenge and amino acide content in Cd-treated lecttuce. Plant Physiology and Biochemistry 32:561-570.

Costa, R., Pinheiro, N., Ameida, A. S., Gomes, C., Coutinho, J., Coco, J., Costa, A. and Nacas, B. (2013) Effect of sowing date and seeding rate on bread wheat yield and test weight under mediterranean conditions. Emirates Journal of Food and Agriculture 25:951-961.

Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A. and Smith, F. (1956) Colorimetric method of determination of sugars and related substances. Analytical Chemistry 28: 350-356.

Dudka, S., Piotrowska, M., and Terelak, H. (1996) Transfer of cadmium, lead and zinc from industrially contaminated soil to crop plants: A field study. Environmental Pollution 94: 181-188.

European Commission. (2001). Commission Regulation (EC) no. 466/ 2001 of 8 March 2001 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. Official Journal of the European Union 77: 1-13.

Farokh, S., Mosa, A. A. Taha, A. A. Ibrahim, H. M. and Gahmary, A. M. E. (2011) Protective effect of humic acid and on Radish (*Raphanuse satvius*, L. Var. Sativing) plant subjected to cadmium strees. Jornal of stress Phsiology and Biochemistry 7: 99-116.

Ghorbanli, M. (2005). Mineral nutritionof plants. Tarbiat Modarres University Press

Ghorbanli, M., Meighani, F., Asadollahy, B., (2007) Effect of copper chloride stress on chlorophyll, carbohydrate accumulation, and some growth parameters in two canola (*Brassica napus* L.) cultivars. Pajouhesh and Sazandegi 76: 134-141.

Haghighi, M., Kafi, M., Taghavi, T. S., Kashi, A. K. and Savabeghi, G. H. R. (2010) Effect of humic acid on N, P and stress indicators of Lettuce polluted by cadmium. Journal of Water and Soil Science. 1: 87-98.

Hassan, I., Iqbal, M. S., Qurat-ul-Ain, R., Rasheed, S., Mahmood, A. and Perveen, A. (2012) Cadmium dose and exposure-time dependuct alteration in growth and physiology of maize (*zea mays*). International Jornal of agriculture and Biology 14: 959-964.

Hirai, M., Higuchi, K., Sasaki, K., Suzuki, H., Maruyama, T., Yoshiba, T. and Tadano, T. (2007) Contribution of iron associated with high molecular weight substances to the maintenance of the SPAD value of young leaves of barley under iron deficient conditions. Plant and Soil Science 53: 612-620..

Hoagland, D. R. (1938). The water-culture method for growing plants without soil. University of California, College of Agriculture, Agricultural Experiment Station.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.12.4]

Ingwersen, J., and Sterck, T. (2005) A regional-scale study on the crop uptake of cadmium from sandy soils; measurement and modeling. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society. ASA, CSSA, SSSA 34:1026-1035.

Irigoyen, J. J., Emerich, D. W. and Sanchez-Diaz, M. (1992) Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in alfalfa (*Medicago sativa* L.) plants. Plant Physiology 84: 55-60.

Jansson, G. (2002) Cadmium in arable crops, the influence of soil factors and liming. Ph.D. Thesis, Department of Soil Sciences, the Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.

John, R., Ahmad, P., Gadgil, K., and Sharma, S. (2007) Antioxidative response of *Lemna polyrrhiza* L. to cadmium stress. Journal of Environmental Biology 28: 583-589.

Keshavarz, H., Modarres sani, A. M., Zarin Kamar, F., Dolat abadiyan, A., Panahi, M. and Sadat Asilan, K. (2012) Study of foliar application of salicylic acid on some biochemical properties of two canola cultivars (*Brassica napus* L.) under cold stress condition. Iranian Journal of Field Crop Science. 42: 723-734.

Khalili Mahaleh, J., Rashdi, M. (2008) Effect of foliar application of micro nutrient on quantitative and qualitative characteristics of 704 silage corn in Koy.Seed and plant 24: 281-292.

Khan, N. A., Ahmad, I., Singh, S. and Nazar, R. (2006) Variation in growth, hotosynthesis and yield of five wheat cultivars exposed to cadmium stress. World of Agriculture Science. 2: 223-226.

Koleli, N., Eker, S. and Cakmak, I. (2004) Effect of zinc fertilization on cadmium toxicity in durum and bread wheat grown in zinc-deficient soil. Environmental Pollution 131:.453-459.

Koocheki, A. and Banayan, M. (1994) Physiology of crop yield. Jahad Daneshgahi Mashhad Press.

Li, L., and Kaplan, J. (1998) Defects in the yeast high affinity iron transport system result in increased metal sensitivity because of the incressed expression of transporters with a broad transition metal specificity. Biological Chemistry 273: 22181-22187

Mohsenzade, S., Malboobi, M. A., Razavi, K. and Farrahi Aschtiani, S. (2006) Physiological and molecular responses of (*Aeluropus lagopoides*) to water deficit. Environmental and Experimental Botany 56: 374-322

Munzuroglu, O., Zengin, F. K. (2006) Effect of cadmium on germination, coleoptile and root growth of barley seeds in the presence of gibberellic acid and kinetin. Journal of Environmental Biology.27: 671-677.

Nikolic, N., Kogic, D., Pilipovic, A., Pajivic, S., Krstic, B., Borisev, M. and Orlovic, S. (2008) Responses of hybrid poplar to cadmium stress photosynthetic characteristics, cadmium and proline accumulation and antioxidant enzyme activity. Acta Biological Cracoviensla Series Botanical 50: 95–103.

Osareh, M. H. and Shariat, A. (2009) Salinity resistance in germination stage and growth stage in some Eucalyptus species. Journal of Agricultural Science and Technology. 15: 145-157.

Ruiz, J. M., Baghour, M., and Romers, L. (2000) Efficiency of the different genotypes of tomato in relation to foliar content of fe and the response of some bioindicators. Plant Nutrition 23: 1777-1786.

Sharafi, S., Taj Bakhsh., M., Majidi, M. and Poor Mirza, A. A. (2000) Effects ofiron and zinconyield, protein and nutritional balance in two varieties of maize seed. water soil journal 12: 85-94.

Sivaci, A. and Elmas, E. (2012) The combined effects of cadmium and salinity on some pigments and total phenolic compounds of *Myriophyllum heterophyllum Michx*. and *Potamogeton crispus* L. African Journal of Agricultural Research. 7: 3813-3818.

Suleiman, A. A., Nganya, J. F. and Ashraf, M. A. (2014) Effect of cultivar and sowing date on growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) in Khartoum, Sudan. Journal of Forest Products and Industries 3: 198-203.

Tadayyon, A. and Raiesi, F. (2008) The response of various ecotypes of common sainfoin (*Onobrychis viciifolia* L.) to the foliar application of nitrogen, iron and zinc in a cold climate of chaharmahal va bakhtyari province. Iranian Journal Agric 6: 41-48.

Tatar, O. and Gevrek, I. (2008) Lipid peroxidation and water content of wheat. Asian Journal of Plant Sciences 7:409-412.

Vassilev, A. and Yordanov, I. (1997). Reductive analysis of factors limiting growth of cadmium treated plant review. Plantphysiology.23:114-133.

Verma, S. and Dubey, R. S. (2001) Effect of Cd on soluble sugars and enzymes of their metabolism in rice. Biologia plantarum 44: 117 – 123.

Wangstrand, H., Eriksson, J., and Oborn, I. (2007) Cadmium concentration in winter wheat as affected by nitrogen fertilization. European journal of agronomy 26: 209-214.

Weisany, W., Sohrabi, Y., Heidari, G., Siosemardeh, A. and Ghasemi-Golezani, K. (2011) Physiological response of soybean (*Glycine max* L.) to zinc application under salinity stress. Australian Journal of Crop Science 5: 1441-1447.

Zhao, Z. Q., Zhu, Y. G., Li, H. Y., Smith, S. E., and Smith, F. A. (2004) Effects of forms and rates of potassium fertilizers on cadmium uptake by two cultivars of spring wheat (*Triticum aestivum* L.). Environment international 29: 973-978.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1398.8.29.12.4]