"مجله علوم زراعی ایران"
جلد هفدهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹٤

اثر مصرف کودهای پتاسیم بر صفات فیزیولوژیک و تجمع کادمیم در دانه دو رقم گندم دوروم (*Triticum turgidum* ssp. *durum* (Desf.) Husn.)

Effect of application of potassium fertilizers on physiological traits and cadmium accumulation in grain of two durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. *Durum* (Desf.) Husn.) cultivars

ساره لرکی[۱]، افراسیاب راهنما[۲] و امیرآینه بند[۳]

چکیده

لرکی، س.، ا. راهنما و ا. آینه بند. ۱۳۹٤. اثر مصرف کودهای پتاسیم بر صفات فیزیولوژیک و تجمع کادمیم در دانه دو رقم گندم دوروم (*Triticum turgidum* ssp. *durum* (Desf.) Husn.). **مجله علوم زراعی ایران. ۱۷(۳): ۲۳۵-۲۲۳.**

کودهای پتاسیم، جذب و تجمع کادمیم در گیاه را در خاک‌های آلوده به کادمیم کاهش می‌دهند. به منظور بررسی نقش پتاسیم در کاهش اثر نامطلوب کادمیم در دو رقم گندم دوروم (بهرنگ و یاواروس)، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایهٔ بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سطوح تیماری مختلف شامل شاهد، ۲۰ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک (از منبع کلرید کادمیم)، ۲۰میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک به همراه دو سطح ۳۰۰ و٤٥۰ میلی‌گرم پتاسیم بر کیلوگرم خاک از منبع سولفات پتاسیم و دو سطح ۳۰ و ٤٥ میلی‌گرم پتاسیم بر کیلوگرم خاک از منبع نانوکلات پتاسیم ۲۷ درصد، در سال ۱۳۹۱ در دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اجرا گردید. نتایج نشان داد که کادمیم به تنهایی باعث کاهش عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص کلروفیل، محتوای آب نسبی، هدایت روزنه‌ای، محتوی کلروفیل کل و محتوای پتاسیم دانه هر دو رقم (به ترتیب ۷۲ ، ۵۰، ۲۲، ۲۳، ۵۷، ۳۰ و ۵۳ درصد) گردید، ولی میزان کادمیم دانه را به میزان ۱۳ برابر افزایش داد. مصرف پتاسیم همراه با کادمیم به ویژه در سطوح ۳۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم پتاسیم، به ترتیب از منابع نانوکلات پتاسیم و سولفات پتاسیم، منجر به کاهش اثرات نامطلوب ناشی از کادمیم بر صفات زراعی و فیزیولوژیک گردید و به ویژه محتوای کادمیم دانه را در مقایسه با تیمار کادمیم (به‌تنهایی) کاهش داد. براساس یافته‌های این پژوهش، پتاسیم نقش بسیار مهمی در بهبود رشد گیاه و کاهش تجمع کادمیم در دانه‌های دو رقم گندم مورد ارزیابی داشت.

واژه‌های کلیدی: کلرید کادمیم، گندم دوروم، نانو کلات پتاسیم، محتوای آب نسبی و هدایت روزنه‌ای.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۴/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۹/۰۵ این مقاله مستخرج از پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده اول می‌باشد.

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد دانشکده‌کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز
۲- استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز. عضو انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران (مکاتبه کننده) (پست الکترونیک: a.rahnama@scu.ac.ir)
۳- دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-06-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1394.17.3.4.0]

مقدمه

فلزات سنگین از مهم‌ترین آلاینده‌های زیست محیطی، به ویژه در اراضی کشاورزی محسوب می‌شوند. کادمیم یکی از مهم‌ترین فلزات سنگین غیر ضروری و سمّی در طبیعت به شمار می‌رود که از طریق زنجیرهٔ غذایی در بدن انسان انباشته می‌شود (Zhao *et al*., 2003). مصرف بی‌رویهٔ کودهای فسفات در اراضی کشاورزی به ویژه گندم می‌تواند منجر به تجمع کادمیم در خاک و به دنبال آن در اندام‌هوایی گیاه و دانه‌ها شود (Grant and Baily, 1997). قابلیت دسترسی به فلزات سنگین مختص گیاهان بوده و به همین علت ضرورت این کاهش دسترسی اجتناب ناپذیر است (Vassilev and Yordanov, 1997).

گندم دوروم یکی از مهم‌ترین گونه‌های زراعی است که در صورت رشد در خاک‌های آلوده به کادمیم، تمایل به انباشت مقادیر نسبتاً بالای این فلز سمّی در بافت‌های خود را دارد. به‌نژادی ژنوتیپ‌های جدید با قابلیت انباشت پایین کادمیم در دانه، یکی از شیوه‌های نوید بخش برای کاهش انباشت کادمیم در دانه است (Clarke *et al*., 2002). در این راستا از وجود تنوع ژنتیکی بالا در انباشت کادمیم می‌توان در برنامه‌های به‌نژادی بهره‌برداری کرد. بسیاری از واکنش‌های گیاه تحت تأثیر کادمیم قرار می گیرد. کادمیم از طریق کانال‌های کلسیمی به سلول‌های محافظ روزنه وارد شده و سبب بسته شدن روزنه‌ها می شود. پی و همکاران (Pei *et al*., 2000) اظهار داشتند که انسداد روزنه‌ای ناشی از کادمیم مستقل از پیام‌رسانی اسید آبسیزیک است و مسیر پیام رسانی اسید آبسیزیک در سلول‌های محافظ از طریق القای سنتز پراکسید هیدروژن به‌وسیلهٔ کادمیم ایجاد می شود. انتقال کادمیم به اندام هوایی و تجمع آن در سلول‌های برگ نیز باعث بروز علائم کلروزه شدن برگ می‌شود (Bergmann, 2004). جذب و تجمع کادمیم در دانهٔ گندم دوروم یکی از نگرانی‌های مهم در بخش صنایع غذایی محسوب می‌شود. حداکثر غلظت مجاز کادمیم، ۰/۲ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم دانهٔ گندم تعیین شده است (Codex Alimentarius Commission, 2005)، بنابراین شناسایی سازوکارهای کنترل‌کنندهٔ انباشت کادمیم در بخش‌های غذایی گیاهان زراعی بسیار حائز اهمیت است. تحقیق در باره ارقام گندم نان در سطح گسترده‌ای در ایران و دنیا انجام شده، ولی ارقام گندم دوروم کمتر مورد توجه محققان داخلی قرار گرفته است، بنابراین نیاز به توسعهٔ ارقام گندم دوروم دارای قابلیت انباشت پایین کادمیم و اجرای عملیات مدیریتی مناسب مزرعه‌ای به منظور کاهش انتقال کادمیم از خاک به گیاه ضرورت دارد (Harris and Taylor, 2001). عوامل متعددی مانند محتوای کادمیم خاک و دسترسی به آن، pH خاک، پتانسیل اکسیداسیون و احیا، تغییر شکل کادمیم در حضور سایر مواد آلی، میزان سایر عناصر، نوع گونهٔ گیاهی و مصرف کودهای شیمیایی، انتقال و انباشت کادمیم را در سیستم‌های خاک و گیاه تحت تأثیر قرار می‌دهند، زیرا ویژگی‌های خاک بر میزان تحرک شیمیایی این فلزات و آزادسازی آن‌ها در محلول خاک بسیار مؤثر است (Mclaughlin *et al*., 1998). در بین عناصر مورد استفاده به صورت کود، پتاسیم مهم‌ترین کاتیون یک ظرفیتی است که دارای جذب انتخابی بوده و در فیزیولوژی و متابولیسم گیاه و فعال‌کردن آنزیم‌های گیاهی نقش مهمی دارد. از فراهمی پتاسیم می‌توان به‌عنوان راهکاری برای کاهش سمیّت کادمیم در گیاهان استفاده کرد، اما این موضوع مستلزم تعیین نسبت مطلوب پتاسیم به کادمیم برای گونه‌ها و ارقام مختلف گیاهی و شرایط رشدی است. همچنین منبع و میزان و زمان مصرف پتاسیم نیز از نکات مهمی هستند که به منظور درک بهتر نقش پتاسیم در جهت کاهش انباشت کادمیم در گیاه لازم و ضروری هستند. شواهد متناقضی مبنی بر اثر پتاسیم در کاهش یا افزایش جذب کادمیم در گیاه وجود دارد. نتایج تحقیقات نشان داده

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-06-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1394.17.3.4.0]

است که مصرف کلرید پتاسیم در خاک‌های آلوده به کادمیم باعث افزایش جذب و انباشت کادمیم در گیاه می‌شود (Zhao *et al*., 2003)، در حالی‌که نتایج سایر تحقیقات نشان داده است که مصرف پتاسیم باعث کاهش جذب و انباشت کادمیم (Liu *et al*., 2012) و افزایش مادهٔ خشک در گیاهان در معرض کادمیم می‌شود (Su *et al*., 2007). به هر جهت پتاسیم انتقال و تجمع کادمیم را در سیستم‌های خاک- گیاه تحت تأثیر قرار می دهد که این تأثیر بسته به منابع مختلف و میزان مورد استفاده آن، متفاوت است. کودهای نانوپتاس نوع جدیدی از پتاسیم هستند که اخیراً در کشاورزی مورد توجه قرار گرفته‌اند. کاربرد مقادیر زیاد کود سولفات پتاسیم، افزایش هزینه‌ها را به دنبال دارد و منجر به نامتعادل شدن تغذیه و بهره‌برداری ضعیف از سایر مواد مغذی می‌شود. با این فرض که کود نانوپتاس به اندازهٔ سولفات پتاسیم در کاهش دسترسی زیستی به کادمیم مؤثر است، ولی در مقادیر کم قادر است بر مشکلات و خطرات آلودگی مقادیر زیاد کاربرد کودهای معمول غلبه کند، لزوم استفاده از کودهای نانو را توجیه می‌نماید. با توجه به موارد فوق، هدف از این آزمایش تأثیر نوع و مقادیر مصرف پتاسیم بر ویژگی‌های فیزیولوژیک و کاهش سمیّت و انباشت کادمیم در دانهٔ دو رقم گندم دوروم بوده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در پاییز سال ۱۳۹۱ به صورت گلدانی در گلخانهٔ تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز به صورت فاکتوریل با طرح پایهٔ بلوک کامل تصادفی در ۳ تکرار اجرا شد. فاکتور اول در شش سطح تیماری، شامل شاهد (بدون آلودگی کادمیم) (C)، ۲۰ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک (Cd) از منبع کلرید کادمیم، ۲۰ میلی‌گرم کادمیم برکیلوگرم خاک به همراه ۳۰۰ و ۴۵۰ میلی‌گرم پتاسیم بر کیلوگرم خاک از منبع سولفات پتاسیم (به ترتیب CdTK1 و CdTK2)، و ۳۰ و ۴۵ میلی‌گرم نانو پتاس بر کیلوگرم خاک از منبع نانوکلات پتاسیم ۲۷ درصد تولیدی شرکت خضراء (به ترتیب CdNK1 و CdNK2) و فاکتور دوم شامل دو رقم گندم دوروم بهرنگ و یاوارس در نظر گرفته شدند. نانوکلات پتاسیم ۲۷ درصد به صورت پودر جامد بوده و دارای ۲۷ درصد ماده مؤثره نانو پتاسیم کلاته شده است. بذور مورد استفاده از بانک ژن پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران تهیه شدند. به منظور ایجاد آلودگی در خاک، عنصر کادمیم به صورت نمک مورد نظر ($CdCl_2.\ H_2O$) برای آلوده کردن وزن مشخصی از خاک محاسبه شد و سپس وزن محاسبه شدهٔ نمک به خاک هر گلدان محلول‌پاشی شد و کاملاً با آن مخلوط گردید تا پیش ماده‌ای همگن به دست آید. سپس، خاک‌های آلوده تا حدود رطوبت اشباع آبیاری و به مدت یک ماه رها شدند تا برهمکنش‌های کادمیم و خاک تکوین یافته و شرایط آلودگی به کادمیم تاحد امکان طبیعی‌ترشود (Chen *et al.,* 2007). با توجه به نتایج آزمون خاک (جدول ۱) و حدود بحرانی، عناصر غذایی مورد نیاز به خاک اضافه گردید.

بر اساس محاسبات انجام شده مقدار ۱۵۰میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم خاک از منبع اوره به خاک هر

جدول۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1. Physical and chemical properties of the soil in experimental site

بافت خاک Soil texture	هدایت‌الکتریکی EC ($dS\ m^{-1}$)	اسیدیته pH	کادمیم قابل جذب Cd ($mg\ kg^{-1}$)	نیتروژن کل N (%)	فسفر قابل جذب P_2O_5 ($mg\ kg^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب K_2O ($mg\ kg^{-1}$)	کربن آلی Organic carbon (%)
شنی لومی Sandy loam	2.27	7.5	0.5	0.038	11.8	135	0.53

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-06-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1394.17.3.4.0]

گلدان اضافه گردید و با توجه به مقادیر مناسب فسفر قابل دسترس خاک، از مصرف فسفر صرف نظر گردید. جهت تأمین پتاسیم، میزان پتاسیم لازم تا رسیدن به سطح تیمار مورد نظر با توجه به وزن خاک گلدان‌ها محاسبه و به خاک گلدان‌های تیمار مورد نظراضافه شد. با توجه به میزان پتاسیم قابل تبادل خاک (۱۳۵ میلی‌گرم درکیلوگرم)، مقدار کمبود کود تیمار شاهد و تیمار کادمیم (Cd) تا سطح مورد نظر (۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) از منبع سولفات پتاسیم تأمین شد. جهت تأمین پتاسیم تیمارهای ۳۰۰ و ۴۵۰ میلی گرم سولفات پتاسیم بر کیلوگرم خاک و ۳۰ و ۴۵ میلی‌گرم نانو پتاس بر کیلوگرم خاک از منبع نانو کلات پتاس ۲۷ درصد نیز همانند روش قبلی، میزان پتاسیم لازم تا رسیدن به سطح تیمار مورد نظر محاسبه و به خاک گلدان‌های حاوی کادمیم اضافه شد. بذرهای یکنواخت پس از ضد عفونی با قارچ‌کش ویتاواکس (غلظت یک در هزار) در گلدان‌های پلاستیکی (۳۰ سانتی‌متر قطر و ارتفاع) و در عمق سه سانتی‌متری کشت شدند. برای هر واحد آزمایشی ۵ عدد گلدان در نظر گرفته شد و در هر گلدان ۱۵ عدد بذر کشت شد. پس از استقرار گیاهچه‌ها، از طریق تنک کردن، تعداد بوته‌ها به پنج عدد در هر گلدان کاهش یافت. گیاهان در ابتدا در شرایط کنترل شدهٔ گلخانه با درجه حرارت (۳ ±۲۵ درجه سانتی‌گراد در روز و ۳± ۱۵ درجه سانتی‌گراد در شب) و نور طبیعی روزانه پرورش یافتند و پس از استقرار کامل گیاهچه‌ها، گلدان‌ها به هوای آزاد منتقل شدند. آبیاری گلدان‌ها با توجه به وضعیت رطوبتی خاک در طی فصل رشد هر چهار الی پنج روز یک بار انجام شد. شاخص کلروفیل با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر دستی (SPAD-502, Minolta, Japan)، محتوای آب نسبی با استفاده از روش ریچی و همکاران (Ritchie *et al.*, 1990)، هدایت روزنه‌ای با استفاده از دستگاه پورومتر Delta-T (AP_4 Delta-T Devices Ltd, Burwell, UK) بین ساعت ۱۰ الی ۱۴ و محتوای کلروفیل کل با استفاده از روش آرنون و همکاران (Arnon, 1967) روی برگ پرچم توسعه یافته هر بوته اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری صفات مورد نظر روی سه بوته از هر واحد آزمایشی انجام شد. در پایان فصل رشد و پس از رسیدگی فیزیولوژیک دانه‌ها، ۱۵ بوته از هر واحد آزمایشی برداشت شد و به مدت ۴۸ ساعت درون آون با دمای ۷۲ درجهٔ سانتی‌گراد خشکانده شده و سپس به دمای محیط در دسیکاتور منتقل شدند و میزان وزن دانه‌ها با رطوبت یکنواخت اندازه‌گیری شد. محتوای کادمیم و پتاسیم دانه در پایان فصل رشد اندازه‌گیری شد. محتوای کادمیم دانه با استفاده از دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی (Shimadzu AA 6300, Japan) و غلظت پتاسیم دانه به‌وسیلهٔ دستگاه فلیم‌فتومتر (Jenway, England) اندازه‌گیری شد (Rowell., 1994). تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم افزارآماری SAS نسخهٔ ۹/۱ و مقایسه میانگین‌ها به روش LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. برای رسم نمودارها از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

اختلاف عملکرد دانه بین ارقام و سطوح مختلف تیماری پتاسیم در حضور کادمیم از نظر آماری معنی‌داری بود، ولی برای بر همکنش بین سطوح مختلف تیماری پتاسیم و ارقام اختلاف معنی‌داری از نظر عملکرد دانه وجود نداشت. عملکرد دانه هر دو رقم گندم در پاسخ به حضور کادمیم به تنهایی و کادمیم همراه با پتاسیم به طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۲). مصرف هردو نوع و میزان کود پتاسیمی در شرایط حضور کادمیم باعث بهبود عملکرد هر دو رقم در مقایسه با تیمار کادمیم بدون مصرف پتاسیم شد. نتایج نشان داد که در شرایط آلودگی خاک با کادمیم، میزان عملکرد دانه در تیمار مصرف ۳۰ میلی‌گرم نانو

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-06-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1394.17.3.4.0]

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیک دو رقم گندم دوروم در تیمارهای کود پتاسیم و کادمیم

Table 3. Mean comparison of physiological traits of two durum wheat cultivars in potassium fertilizer and cadmium treatments

ارقام گندم Wheat cultivars	عملکرد دانه Grain yield ($g.plant^{-1}$)	عملکرد بیولوژیک Biological yield ($g.plant^{-1}$)	محتوای کادمیم دانه Grain Cd content ($mg.kg^{-1}$)	محتوای پتاسیم دانه Grain K content ($mg.g^{-1}$)	هدایت روزنه ای Stomatal conductance ($mmol.m^{-2}.s^{-1}$)	کلروفیل کل Total chlorophyll ($mg.g^{-1}$)	شاخص کلروفیل Chlorophyll Index	محتوای آب نسبی Relative Water Content (%)
Behrang بهرنگ	0.52 b	2.35	3.08 b	4.08	219.5	2.37	47.89	81.49
Yavaros یاواروس	0.55 a	2.19	3.75 a	4.23	207.4	2.20	46.10	77.40
Treatments تیمارهای آزمایشی								
C†	0.79 a	3.4 a	0.32 e	4.03 c	277.5 a	2.55 a	51.1 a	86.3 a
Cd	0.22 d	1.71 d	4.20 a	1.92 d	121. d	1.79 c	40.1 d	66.5 b
CdTK1	0.56 bc	2.18 bc	3.48 d	4.61 b	235.5 b	2.41 ab	46.6 b	80.1 a
CdTK2	0.51 c	2.08 c	3.87 b	5.01 a	213.7 bc	2.30 bc	46.4 b	81.8 a
CdNK1	0.59 b	2.42 b	3.46 d	4.50 b	236.3 b	2.44 ab	46.1 b	81.5 a
CdNK2	0.52 c	1.84 c	3.74 c	5.28 a	196.4 c	2.25 bc	44.1 c	79.1 a

*در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

*Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using LSD test

† C: شاهد؛ Cd: ۲۰ میلی گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک؛ CdTK1: ۲۰ میلی گرم کادمیم برکیلوگرم خاک به همراه ۳۰۰ میلی گرم پتاسیم بر کیلوگرم خاک از منبع سولفات پتاسیم؛ CdTK2: ۲۰ میلی گرم کادمیم برکیلوگرم خاک به همراه ۴۵۰ میلی گرم پتاسیم بر کیلوگرم خاک از منبع سولفات پتاسیم ؛ CdNK1: ۲۰ میلی گرم کادمیم برکیلوگرم خاک به همراه ۳۰ میلی گرم پتاسیم بر کیلوگرم خاک از منبع نانو پتاس ۲۷ درصد ؛CdNK2 : ۲۰ میلی گرم کادمیم برکیلوگرم خاک به همراه ۴۵ میلی گرم پتاسیم بر کیلوگرم خاک از منبع نانو پتاس ۲۷ درصد

†C: Control; Cd; 20 mg Cd kg^{-1} soil; CdTK1: 20 mg Cd kg^{-1} soil in combination with 300 mg K kg^{-1} soil as potassium sulphate; CdTK2: 20 mg Cd kg^{-1} soil in combination with 450 mg K kg^{-1} soil as potassium sulphate; CdNK1: 20 mg Cd kg^{-1} soil in combination with 30 mg K kg^{-1} soil as nano chelate potassium 27%; CdNK2:20 mg Cd kg^{-1} soil in combination with 45 mg K kg^{-1} soil as nano chelate potassium 27%

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-06-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1394.17.3.4.0]

پتاس در مقایسه با سایر تیمارهای مصرف پتاسیم از وضعیت بهتری برخوردار بود. به نظر می‌رسد که مصرف پتاسیم در خاک آلوده به کادمیم باعث افزایش احتمال جذب پتاسیم شده و بنابراین اثرات نامطلوب کادمیم را تا حدود زیادی جبران کرده است. نتایج مربوط به محتوای پتاسیم دانه نیز مؤید این نظریه است (جدول ۲).

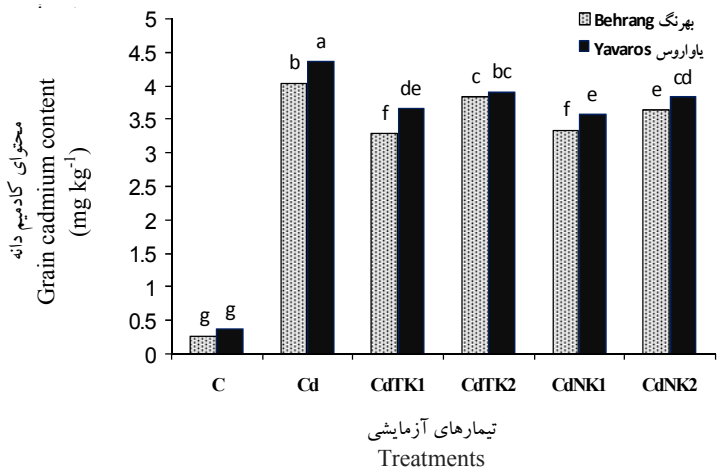
حضور کادمیم در محیط رشد ریشه باعث کاهش جذب و انتقال آب از طریق تغییر در فعالیت پروتئین‌های کانال انتقال آب می‌شود که با کاهش فتوسنتز، تنفس، تعرق و مهار رشد همراه است (Cheng and Huang, 2006). با توجه به اینکه تنش آب ناشی از حضور کادمیم باعث کاهش انتقال موادغذایی از برگ‌ها و سایر قسمت‌های گیاه به دانه می‌شود و نیز باعث تسریع رسیدگی دانه‌ها می‌شود (Harris and Taylor, 2013)، بنابراین علاوه بر کاهش فتوسنتز، منجر به نقصان عملکرد دانه نیز می‌شود. اگرچه گیاهان ممکن است کادمیم را به مقدار قابل توجهی در قسمت‌های مختلف خود حتی بدون کاهش قابل توجه عملکرد انباشته کنند (Dheri *et al*., 2007). تیمارهای مصرف پتاسیم نیز احتمالاً به دلیل نقش عمومی که پتاسیم در برقراری تعادل بار الکتریکی در بافت های گیاهی و نیز حفظ آماس سلولی دارد، باعث بهبود رشد گیاه می‌شود (Malakuoti., 2000). در واقع می‌توان گفت که با مصرف پتاسیم، عملکرد دانه از طریق افزایش طول دورهٔ پرشدن دانه بهبود می‌یابد (Rishi *et al.*, 2007). مارچیول و همکاران (Marchiol *et al*., 1996) اظهار داشتند که پتاسیم می‌تواند ازطریق افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی، میزان کلروفیل، سطح برگ، هدایت روزنه‌ای، فعالیت فتوسنتزی و انتقال مواد حاصل از فتوسنتز، باعث افزایش عملکرد ماده خشک شود.

بین سطوح مختلف تیمارهای پتاسیم از نظر عملکرد بیولوژیک اختلاف معنی‌داری وجود داشت. عملکرد بیولوژیک هر دو رقم گندم در پاسخ به تیمارهای کادمیم به طور معنی‌داری کاهش یافته و کمترین مقادیر عملکرد بیولوژیک در تیمار کادمیم به تنهایی مشاهده شد. مصرف کودهای پتاسیم در شرایط حضور کادمیم به طور قابل توجهی منجر به بهبود عملکرد بیولوژیک در مقایسه با تیمار کادمیم به تنهایی گردید (جدول ۲). مشخص شده است که کادمیم از طریق اختلال در جذب آب و کاهش فشار آماس و کوچک شدن سلول‌ها (Vassilev and Yordanov, 1997) و نیز اختلال در متابولیسم نیتروژن (Wang *et al.,* 2008) باعث کاهش رشد و در نهایت عملکرد بیولوژیک گیاه می‌گردد. به طور کلی، وزن زیست تودهٔ گیاه شاخص مناسبی برای ارزیابی رشد و عملکرد محسوب می‌شود.مصرف پتاسیم عمدتاً از طریق تأثیر بر فرآیندهای فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی و کاهش اثرات منفی کادمیم، باعث افزایش عملکرد ماده خشک می‌شود (Marchiol *et al*., 1996). قاسمی و شهابی (Ghasemi and Shahabi, 2011) نیز نشان دادند که مصرف پتاسیم و غلظت بالای آن در محیط اطراف ریشه در حضور کادمیم باعث افزایش نسبت سطح برگ و سطح ویژهٔ برگ گردید و پتاسیم با کادمیم بر همکنش منفی داشت، اگرچه مصرف بیش از حد بهینهٔ پتاسیم، بر عملکرد بیولوژیک اثر منفی داشت.

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها حاکی از افزایش قابل‌توجه محتوای کادمیم دانه در هر دو رقم در شرایط حضور کادمیم در مقایسه با شاهد (حدود ۱۳ برابر افزایش) بود. رقم بهرنگ با محتوای کادمیم دانهٔ کمتر (۳/۰۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) بر رقم یاوارس (۳/۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) تاحدودی برتری داشت (جدول ۲ و شکل ۱). تیمارهای پتاسیم، جذب کادمیم را کاهش دادند، اگرچه این کاهش در سطوح مختلف هر دو منبع پتاسیم متفاوت بود (جدول ۲). بر اساس نتایج بدست آمده در شرایط آلودگی خاک با کادمیم، دانه رقم بهرنگ در دو تیمار ۳۰ میلی‌گرم نانوپتاس (CdNK1) و ۳۰۰ میلی‌گرم پتاسیم از منبع

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-06-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1394.17.3.4.0]



شکل ۱- مقایسه میانگین محتوای کادمیم (Cd) دانه در تیمارهای نانوپتاس (CdNK) و سولفات پتاسیم (CdTK) در دو رقم گندم دوروم

Fig. 1. Mean comparison of grain cadmium (Cd) content in Nano potash (CdNK) and potassium sulphate (CdTK) treatments in two durum wheat cultivars

C: شاهد؛ Cd: ۲۰ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک؛ CdTK1: ۲۰ میلی‌گرم کادمیم برکیلوگرم خاک به همراه ۳۰۰ میلی‌گرم پتاسیم بر کیلوگرم خاک از منبع سولفات پتاسیم؛ CdTK2: ۲۰ میلی‌گرم کادمیم برکیلوگرم خاک به همراه ۴۵۰ میلی‌گرم پتاسیم بر کیلوگرم خاک از منبع سولفات پتاسیم ؛ CdNK1: ۲۰ میلی‌گرم کادمیم برکیلوگرم خاک به همراه ۳۰ میلی‌گرم پتاسیم بر کیلوگرم خاک از منبع نانو پتاس ۲۷ درصد ؛CdNK2 : ۲۰ میلی‌گرم کادمیم برکیلوگرم خاک به همراه ۴۵ میلی‌گرم پتاسیم بر کیلوگرم خاک از منبع نانو پتاس ۲۷ درصد

C: Control; Cd; 20 mg Cd kg^{-1} soil; CdTK1: 20 mg Cd kg^{-1} soil in combination with 300 mg K kg^{-1} soil as potassium sulphate; CdTK2: 20 mg Cd kg^{-1} soil in combination with 450 mg K kg^{-1} soil as potassium sulphate; CdNK1: 20 mg Cd kg^{-1} soil in combination with 30 mg K kg^{-1} soil as nano chelate potassium 27%; CdNK2:20 mg Cd kg^{-1} soil in combination with 45 mg K kg^{-1} soil as nano chelate potassium 27%

سولفات پتاسیم (CdTK1) از محتوای کادمیم کمتری برخوردار بود (شکل ۱).

در بین غلات، گندم غلظت‌های بسیار بالای کادمیم را در دانه انباشته می‌کند و ژنوتیپ‌های گندم تتراپلوییـد محتوای کادمیم بالاتری نسبت به ژنوتیپ‌های هگزاپلوییـد دارند (Kraljevic-Balalic *et al.*, 2009). هاریس و تایلور (Harris and Taylor, 2001)، تفاوت بین ژنوتیپ‌های مختلف گندم از نظر محتوای کادمیم دانه را به توانایی متفاوت این ژنوتیپ‌ها در انتقال مجدد مواد به دانه نسبت دادند. قابلیت دسترسی بالا به کادمیم در گندم دوروم، ممکن است یک دلیل مهم برای جذب بالای کادمیم در این دو رقم باشد. کلارک و همکاران (Clarke *et al.*, 2002) نیز برای گندم‌های دوروم تنوع ژنتیکی بالایی را از نظر محتوای کادمیم دانه گزارش کردند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که مدیریت کود پتاسیم می‌تواند محتوای کادمیم دانه را تحت تأثیر قرار دهد، اگرچه گرنت و همکاران (Grant *et al.*, 1999) اظهار داشتند که کلرید پتاسیم، محتوای کادمیم دانهٔ جو را افزایش می‌دهد و دلیل این موضوع را وجود یون کلر دانستند که باعث افزایش تشکیل کمپلکس کادمیم با کلر شده و منجر به قابلیت دسترسی بیشتر گیاه برای جذب آن می‌شود. برخی

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-06-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1394.17.3.4.0]

محققان نیز گزارش دادند که سولفات تأثیری بر جذب کادمیم ندارد (Mclaughlin *et al*., 1998). به هر جهت، شواهدی نیز وجود دارد که با مصرف کودهای پتاسیم، تجمع کادمیم در دانهٔ گیاه کاهش (Su *et al*., 2007) و یا افزایش (Grant *et al*., 1999) می‌یابد.

با توجه به اینکه انباشت کادمیم در قسمت‌های مورد تغذیهٔ گیاه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، به‌نژادی و انتخاب ارقام دارای محتوای کمتر کادمیم در دانه و سایر قسمت‌های خوراکی آن، از اهداف به‌نژادی کاربردی است که توجه محققان را به خود معطوف داشته است. درک سازوکارهای مولکولی دخیل در جذب کادمیم توسط ریشه، موفقیت برنامه‌های به‌نژادی را برای تولید ژنوتیپ‌های دارای انباشت و سمیّت کمتر کادمیم تضمین می‌کند. در بین این عوامل مؤثر می‌توان به خصوصیات شیمیایی خاک اشاره کرد. در این راستا،مصرف پتاسیم می‌تواند با افزایش فتوسنتز، باعث افزایش تولید زیست تودهٔ گیاه شود، در نتیجه محتوای کادمیم در دانهٔ گندم به دلیل اثر رقیق‌شدگی کاهش یافته و از صدمه به غشا در اثر غلظت بالای کادمیم جلوگیری بعمل آورده می‌شود. پتاسیم از طریق افزایش طول دورهٔ پرشدن دانه و افزایش دوام سطح برگ باعث افزایش وزن تک دانه شده و در نتیجه باعث رقیق شدن کادمیم در دانه‌ها می‌شود (Grant and Baily, 1997). البته گزارش گرنت و بیلی (Grant and Bailey, 1997) مبنی بر همبستگی مثبت بین عملکرد دانه و محتوای کادمیم نشان داد که افزایش تولید ماده خشک لزوماً منجر به رقیق‌شدن کادمیم نمی‌شود. میزان کادمیم، مدیریت کود مورد استفاده و نوع رقم از ملاحظات مهم در این زمینه هستند.

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها نیز کاهش محتوای پتاسیم دانهٔ هر دو رقم را در شرایط حضور کادمیم در مقایسه با شاهد (حدود ۵۳ درصد کاهش) نشان داد و تیمارهای پتاسیم همراه با کاهش انباشت کادمیم، منجر به افزایش محتوای پتاسیم دانه با برتری سطوح دوم تیمار پتاسیم گردید. محتوای پتاسیم دانه حتی از مقادیر شاهد نیز بیشتر بود (جدول ۲). کاهش محتوای پتاسیم دانه در شرایط حضور کادمیم ممکن است به علت فراهمی کم پتاسیم قابل جذب در حضور کادمیم باشد (Gogorcena *et al*., 2002). با مصرف کود پتاسیم، محتوای پتاسیم دانه بهبود یافت و افزایش محتوی پتاسیم دانه همراه با افزایش سطوح تیماری پتاسیم می‌تواند به دلیل قابلیت افزایش رشد و توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه در اثر مصرف پتاسیم باشد که باعث افزایش سطح جذب و افزایش جذب عناصر می‌شود (Coal and Grove., 1991). با افزایش مصرف کود پتاسیم، محتوای پتاسیم دانه نیز افزایش می‌یابد، بنابراین می‌توان گفت که تغذیهٔ مناسب گیاهان رشد یافته در خاک‌های آلوده به کادمیم، رویکرد مناسبی برای جلوگیری از ورود آلودگی‌های کادمیمی به زنجیرهٔ غذایی می‌باشد.

هدایت روزنه‌ای برگ پرچم هر دو رقم گندم در شرایط حضور کادمیم در مقایسه با شاهد (حدود ۵۷ درصد) کاهش یافت، اگرچه بین ارقام و برهمکنش ارقام و سطوح تیماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. تیمارهای پتاسیم منجر به افزایش هدایت روزنه‌ای به ویژه در سطوح اول تیمار پتاسیم در مقایسه با تیمار کادمیم گردید (جدول ۲). هدایت روزنه‌ای یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کنندهٔ فتوسنتز است که در بین سطوح مختلف پتاسیم مقادیر مختلفی را داشت. محدودیت جذب آب ناشی از تنش کادمیم باعث تشکیل اسیدآبسیزیک و پراکسید هیدروژن می‌شود. اسید آبسیزیک و سایر مولکول‌های پیام‌رسان، به برگ‌ها انتقال داده می‌شوند. پراکسید هیدروژن تولید شده نیز باعث تشدید پاسخ اسید آبسیزیک می‌شود و منجر به بسته شدن روزنه از طریق فعال‌سازی کانال‌های کلسیم می‌شود (Schutzendubel and Polle, 2002). کاهش تعداد و اندازهٔ روزنه‌ها در تیمار کادمیم ممکن

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-06-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1394.17.3.4.0]

است از دلایل دیگر کاهش هدایت روزنه‌ای در تیمار کادمیم باشد (Bergmann, 2004). همچنین این امکان وجود دارد که کادمیم باعث تغییراتی در محیط بین سلولی شود و این موضوع باعث کنترل باز و بسته شدن روزنه‌ها شود (Bergmann, 2004). پتاسیم از طریق حفظ آماس سلولی نقش مهمی در حرکات روزنه ای و باز و بسته شدن روزنه‌های گیاه دارد (Marschner, 1995). در این پژوهش، کاهش جزئی هدایت روزنه‌ای در سطوح دوم پتاسیم در مقایسه با سطوح اول آن ممکن است به دلیل تجمع یون‌های پتاسیم در محیط خارج ریشه و به دنبال آن ایجاد تنش اسمزی ضعیف در اطراف ریشه گیاه باشد (Rahnama *et al*., 2010).

محتوی کلروفیل کل و شاخص کلروفیل به عنوان برآوردی از میزان کلروفیل، در حضور کادمیم به طور معنی‌داری کاهش یافت و مصرف هر دو منبع پتاسیم در هر دو سطح باعث بهبود مقادیر این دو صفت در هر دو رقم گردید (جدول ۲). در شرایط آلودگی خاک با کادمیم، کلروفیل کل در هر دو رقم گندم مورد بررسی در دو تیمار ۳۰ میلی‌گرم نانوپتاس (CdNK1) و ۳۰۰ میلی‌گرم پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم (CdTK1) از مقادیر بالاتری برخوردار بود (جدول ۲). کادمیم در ابتدا از طریق القای تنش اسمزی باعث کاهش میزان رشد ریشه و برگ می‌شود و سپس از طریق کاهش هدایت روزنه‌ای و نیز محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی، باعث کاهش فتوسنتز و در نتیجه مقدار ماده خشک گیاه می‌شود، به عبارت دیگر کادمیم و تنش اسمزی ناشی از آن با تولید گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر در غشای تیلاکوئید باعث کاهش محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ می‌شود (Jeliazkova *et al*., 2003). بروز علائم موفولوژیک و فیزیولوژیک مانند کلروزه شدن برگ نیز در اثر تجمع کادمیم درسلول‌های برگ مشاهده شده است (Bergmann, 2004). در پژوهش حاضر، این علائم ظاهری به وضوح در تیمار کادمیم مشاهده شد. با رشد گیاه در حضور کادمیم، فعالیت فتوسنتزی گیاه کاهش یافته و در نتیجه سطح برگ و میزان رشد آن کاهش می‌یابد. این کاهش به طور عمده درارتباط با کاهش ظرفیت فتوسنتزی بوده که خود می‌تواند نتیجهٔ کاهش محتوای کلروفیل باشد. اثرات تنش ملایم کمبود پتاسیم در گیاهان بر میزان فتوسنتز تک برگ و یا پوشش گیاهی توسط سایرین نیز گزارش شده است (Zhao *et al.,* 2001). به نظر می‌رسد که با افزودن پتاسیم به محیط رشد، جذب پتاسیم در تنش کادمیم تا حدودی جبران شده و پتاسیم با بهبود هدایت روزنه‌ای و جلوگیری از ایجاد تنش اکسیداتیو و نیز با کاهش ورود کادمیم به اندام‌های هوایی و همچنین از طریق حفظ فتوسنتز و افزایش تولید زیست توده، باعث بهبود محتوای کلروفیل و در نتیجه شاخص کلروفیل در شرایط حضور کادمیم می‌شود.

محتوای آب نسبی برگ پرچم هر دو رقم در شرایط حضور کادمیم در مقایسه با شاهد (حدود ۲۳ درصد) کاهش کاهش یافت. سطوح پتاسیم به طور معنی‌داری محتوای آب نسبی برگ را در مقایسه با تیمار کادمیم افزایش دادند، به طوری که تیمارهای پتاسیم باعث افزایش معنی‌دار محتوی آب نسبی برگ در مقایسه با تیمار کادمیم به تنهایی شدند (جدول ۲). به نظر می‌رسد که در حضور کادمیم به دلیل کاهش محدودیت جذب آب ناشی از تنش کادمیم، محتوای آب نسبی برگ‌ها نیز کاهش یافته باشد. از سوی دیگر، یکپارچگی غشای سلول در شرایط تنش دچار آسیب می‌شود و با نشت الکترولیت‌ها و غلیظ شدن پروتوپلاسم، محتوای آب نسبی برگ‌ها نیز کاهش می‌یابد. همبستگی مثبت تحمل گیاه به تنش کادمیم با محتوای آب نسبی برگ قبلاً نیز گزارش شده است (Sabreen and Augiyama, 2008). کادمیم ممکن است باعث بر هم زدن جذب سایر عناصر نیز شود، به طوری که کاهش مقدار پتاسیم و جذب آن طی تنش کادمیم نیز قبلاً گزارش شده است (Zhao *et al*., 2003)، از این رو حفظ نسبت بالای

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-06-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1394.17.3.4.0]

پتاسیم به کادمیم برای پایین نگه داشتن خسارت کادمیم و کاهش اثرات منفی آن بر متابولیسم سلول، کارایی مناسبی داشته است، زیرا وجود پتاسیم در نگهداری آب بافت‌های گیاهی مهم است و وقتی‌که گیاهان در حضور پتاسیم رشد می‌کنند، تنش اسمزی ممکن است جذب پتاسیم را افزایش دهد (Shabala *et al*., 2000). مصرف مقادیر کافی از کود پتاسیم علاوه بر افزایش تولید مادهٔ خشک و توسعهٔ سطح برگ، تا حد زیادی از طریق کاهش پتانسیل اسمزی باعث نگهداری آب در بافت‌های گیاهی تحت شرایط تنش آبی می‌گردد، به طوری که منجر به پایداری فتوسنتز خالص، تعرق و هدایت روزنه‌ای در شرایط تنش خشکی و شرایط بدون تنش خواهد شد(Egilla *et al*., 2005) . درمقابل، در گیاهان دارای کمبود پتاسیم، حالت بی نظمی در حرکت روزنه‌های آن‌ها مشاهده شد و به زمان بیشتری برای بسته شدن روزنه‌ها در شرایط تنش رطوبتی نیاز داشتند.

در مجموع، از نتایج این پژوهش چنین استنباط می‌شود که تنش کادمیم عملکرد دانه و بسیاری از پارامترهای فیزیولوژیک مرتبط با عملکرد را کاهش داد، در حالی‌که محتوای کادمیم دانه را افزایش داد. با توجه به نقش پتاسیم در حفظ تعادل یونی و کاهش خسارت ناشی از تنش کادمیم، استفاده از کودهای پتاسیم، به ویژه در ابعاد نانو و با میزان کمتر (در این پژوهش در حدود ده درصد مقادیر کود پتاسیم معمولی) در خاک‌های حاوی کادمیم ضروری به نظر می‌رسد. مصرف پتاسیم در چنین شرایطی با دارا بودن اثرات کاهنده بر انباشت کادمیم توانست علائم تنش کادمیم را در گندم بهبود دهد، زیرا پتاسیم نقش مهمی در بهبود رشد و افزایش جذب آب در گیاهان دارد و نیز کاهش بیشتر انباشت کادمیم در دانه‌ها و افزایش سلامت آن را فراهم می‌آورد. جهت بهبود کارآیی مصرف پتاسیم، نیاز به شناخت کافی از عواملی که منجر به کاهش سلامت مواد غذایی به دلیل ورود نانوکودها به زنجیره‌های غذایی می‌شود، وجود دارد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از زحمات کارشناسان محترم گروه زراعت و اصلاح نباتات و خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز و مشاورت‌های ارزنده جناب آقای دکتر احمد فرخیان فیروزی در انجام این پژوهش قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

References

Arnon, A. N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agron. J. 23: 112-121.

Bergmann, D. C. 2004. Integrating signals in stomatal development. Curr. Opin. Plant. Biol. 7: 26-32.

Chen, S., L. Sun., T. Sun., L. Chao., and G. Guo. 2007. Interaction between cadmium, lead and potassium fertilizer (K_2SO_4) in a soil-plant system. Environ Geochem. Health. 29: 435-446.

Cheng, S. and C. Huang. 2006. Influence of cadmium on growth of root vegetable and accumulation of cadmium in the edible root. Int. J. App. Sci. Eng. 3: 243-252.

Clarke, J. M., W. A. Norvell, F. R. Clarke and W. T. Buckley. 2002. Concentration of cadmium and other elements in the grain of near-isogenicdurum lines. Can. J. Plant Sci. 82: 27-33.

Coal, F. J. and J. H. Grove. 1991. Potassium utilization by no-till full-season and double-crop soybean. Agron. J. 83: 190-194.

Codex Alimentarius Commission. 2005. Joint FAO/WHO Food Standards Programme. Twenty-Eighth

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-06-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1394.17.3.4.0]

Session, Rome, Italy 4–9 July 2005. Report of the 37th session of the Codex Committee on Food Additives and Contaminants, 25–29 April 2005. Para. 175, Appendix XXVI. The Hague, the Netherlands. http://www.codexalimentarius.net/web/reports.jsp] ALINORM 05/28/12

Dheri, G. S., M. S. Brar, and S. S. Malhi. 2007. Influence of phosphorus application on growth and cadmium uptake of spinach in two Cd contaminated soils. J. Plant Nutr. Soil Sci. 170: 495-499.

Egilla, N., F. T. Davies and T. W. Boutton. 2005. Drought strees influence leaf water content, photosynthesis, and water use efficiency of *Hibiscus rosa- sinensis* at three potassium concern trations. Biomed. Life. Sci. 43 (1): 135-140.

Ghasemi, Z. and A. Shahabi. 2011. Effects of potassium, and zinc on growth and physiological parameters of tomato under cadmium stress in soilless system. Ejgcst. 1 (4): 1-11.

Gogorcena, Y., J. Lucena and J. Abadia. 2002. Effects of Cd and Pb in sugar beets plants grown in nutrient solution: Induced Fe deficiency and growth inhibition. Funct. Plant Biol. 29: 1453-1464.

Grant, C. A. and L. D. Bailey. 1997. Effect of phosphorus and zinc fertilizer management on cadmium accumulation in flax seed. J. Sci. Food. Agric. 73: 307-314.

Grant, C. A., L. D. Baily and M. J. McLaughlin. 1999. Management factors which influence cadmium concentrationsin crops. *In*: McLaughlin, M.J. and B. R. Singh. (Eds). Cadmium in soils and plants (pp. 151–198). Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic Publishing.

Harris, N. S. and G. J. Taylor. 2001. Remobilization of cadmium in maturing shoots of near isogenic lines of durum wheat that differ in grain cadmium accumulation. BMC Plant Biol. 52: 1473-1481.

Harris, N. S. and G. J. Taylor. 2013. Cadmium uptake and partitioning in durum wheat during grain filling. BMC Plant Biol. 103: 1-16.

Jeliazkova, E. A., L. E. Craker and B. Xing. 2003. Seed germination of anise, caraway, and fennel in heavy metal contaminated solutions. J. Herbs Spices Med. Plants. 10 (3): 83-93.

Kraljevic-Balalic, M., N. Mladenov, I. Balalic and M. Zoric. 2009. Variability of leaf cadmium content in tetraploid and hexaploid wheat. Genet. J. 41 (1): 1-10.

Liu, C. H., W. DarHuang and C. H. Kao. 2012. The decline in potassium concentration is associated with cadmium toxicity of rice seedlings. Acta Physiol. Plant. 34(2): 495-502.

Malakuoti, M. J. 2000. General diagnosis method and essentiality of optimum fertilizers application (5nd Ed.) Tarbiat Modaress University Press. pp. 131. (In Persian).

McLaughlin, M. J., D. R. Parker and J. M. Clarke. 1998. Metals and micronutrients: food safety issues. Field Crops Res. 60: 143-163.

Marchiol, L., L. Letia, M. Marti, A. Pperssotti and G. Zerbi. 1996. Physiological responses of two soybean cultivarsto cadmium. J. Environ. Qual. 25: 562-566.

Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants (2nd Ed.) Academic Press, San Diego, California,

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-06-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1394.17.3.4.0]

USA.

Pei, Z. M., Y. Murata, G. Benning, S. Thomine, B. Klusener, G. J. Allen, E. Grill and J. M. Schroeder. 2000. Calcium channel activated by hydrogen peroxide mediate abscisic acid signaling in guard cells. Nature, 406: 731-734.

Rahnama, A., R. James, K. Poustini and R. Munns. 2010. Stomatal conductance as a screen for osmotic stress tolerance in durum wheat growing in saline soil. Funct. Plant Biol. 37: 255-263.

Rishi, M., C. Singh Lal., M. Prasad., Z. Abdin and K. Arun. 2007. Combining ability analysis for grain filling duration and yield traits in spring wheat (*Triticum aestivum* L. em. Thell.). Genet. Mol. Biol. 30(2): 411-416.

Ritchie, S. W., H. T. Nguyen and A. S. Haloday. 1990. Leaf water content andgas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. Crop Sci. 30: 105-111.

Rowell, D. L. 1994. Soil Science, Methods and Applications. Longman Scientific and Technical, Harlow.

Sabreen, S. and S. Augiyama. 2008. Trade-off between cadmium tolerance andrelative growth rate in 10 grass species. Environ. Exp. Bot. 63 (1-3): 327-332.

Schutzendubel, A. and A. Polle. 2002. Plant response to abiotic stresses: heavy metal-induced oxidative stress and protection by mycorrhization. J. Exp. Bot. 53 (372): 1351–1365.

Shabala, S., O. Babourina and L. Newman. 2000. Ion-specific mechanisms of osmo-regulation in bean mesophyll cells. J. Exp. Bot. 51: 1243-1253.

Su, C., S. Lina, S. Tieheng, C. Lei and G. Guanlin. 2007. Interaction between cadmium, lead and potassium fertilizer (K_2SO_4) in a soil- plant system. Environ. Geochem. Health. 29(5): 435-446.

Vassilev, A. and I. Yordanov. 1997. Reductive analysis of factors limiting growth of cadmium treated plants – review. Plant Physiol. 23: 114-133.

Wang, L., Q. Zhou., L. Ding and Y. Sun. 2008. Effect of cadmium toxicity on nitrogen metabolism in leaves of *Solanum nigrum* L. Haz. Mat. 154: 818-825

Zhao, D., D. M. Oosterhuis and C. W. Bednarz. 2001. Influence of potassium deficiency on photosynthesis, chlorophyll content, and chloroplast ultrastructure of cotton plants. Photosynthetica, 39: 103-109.

Zhao, Z. Q., Y. G. Zhu., H. Y. Li., S. E. Smith and A. F. Smith. 2003. Effects of forms and rates of potassium fertilizers on cadmium uptake by two cultivars of spring wheat (*Triticum aestivum* L.). Environ. Int. 29: 973-978.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-06-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1394.17.3.4.0]

Effect of application of potassium fertilizers on physiological traits and cadmium accumulation in grain of two durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. *durum* (Desf.) Husn.) cultivars

Larki, S.[1], A. Rahnama[2] and A. Aynehband[3]

ABSTRACT

Larki, S., A. Rahnama and A. Aynehband. 2015. Effect of application of potassium fertilizers on physiological traits and cadmium accumulation in grain of two durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. *durum* (Desf.) Husn.) cultivars**. Iranian Journal of Crop Sciences. 17(3):223 -235. (In Persian).**

Potassium fertilizers affect cadmium uptake and accumulation in plants under cadmium-contaminated soils. To determine the role of potassium in alleviating the adverse effect of cadmium in two durum wheat cultivars (Behrang and Yavaros), an experiment was carried out as factorial in randomized complete block design with three replications in Shahid Chamran university, Ahvaz, Iran in 2012. Experimental treatments included: control, 20 mg Cd kg^{-1} soil ($CdCl_2$), 20 mg Cd kg^{-1} soil + two levels of 300 and 450 mg K kg^{-1} soil as potassium sulphate, and two levels of 30 and 45 mg K kg^{-1} soil as nano chelate potassium 27%. Cadmium on its own reduced grain yield, biological yield, chlorophyll index, relative water content, stomatal conductance, total chlorophyll content and grain K content in both cultivars (72, 50, 22, 23, 56, 30 and 53%, respectively), but grain Cd content was increased by 13 fold. Potassium application in combination with cadmium, especially in two levels of 30 and 300 mg K as nano chelate potassium and potassium sulphate, respectively, led to mitigating the negative effects caused by cadmium stress on agronomic and physiological traits. Grain cadmium content decreased in these treatemnets when compared with cadmium treatment. In conclusion, these findings showed that potassium plays an important role to improve durum wheat crop growth and reduce grain Cd content.

Key words: Cadmium chloride, Durum wheat, Nano chelate potassium, Relative water content and Stomatal conductance.

[Downloaded from agrobreedjournal.ir on 2026-06-25]

[DOR: 20.1001.1.15625540.1394.17.3.4.0]

Received: June, 2015 **Accepted: November, 2015**

1- MSc Student, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran
2-Assistant Prof., Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran (Corresponding author) (Email: a.rahnama@scu.ac.ir)
3-Associate Prof., Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran