اثر محلول‌پاشی و خاک کاربرد نانوذرات کیتوزان بر کلروفیل، فتوسنتز، عملکرد و اجزای عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) تحت تنش خشکی پس از گرده افشانی

فریده بهبودی[۱]، زین العابدین طهماسبی سروستانی[۱*]، محمد زمان کسایی[۲]، سید علی محمد مدرس ثانوی[۱] و علی سروش زاده[۱]

[۱] گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، [۲] گروه شیمی، دانشکده علوم پایه دانشگاه تربیت مدرس

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۱۱، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۶/۱۰/۲۳)

چکیده

به منظور بررسی اثر نانو ذرات کیتوزان بر گیاه گندم تحت تنش خشکی آخر فصل، پژوهشی به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در شرایط گلدانی در سال ۱۳۹٤ در دانشگاه تربیت مدرس مورد بررسی قرار گرفت. فاکتورهای آزمایش شامل غلظت نانو ذرات (صفر، ۳۰، ٦۰ و ۹۰ میلی‌گرم در لیتر)، روش مصرف (محلول‌پاشی و خاک مصرف) و رژیم آبیاری (آبیاری کافی و قطع آبیاری ۱۵ روز بعد از گرده‌افشانی) بودند. برای انجام آزمایش، پس از کاشت بذور، سوسپانسیون نانو ذرات کیتوزان آماده شده در سه مرحله‌ی رشدی گیاه (پنجه‌دهی، ساقه دهی و سنبله‌دهی) به صورت خاک مصرف و محلول‌پاشی مصرف گردیدند. نتایج نشان داد که تنش خشکی به طور معنی‌داری میزان کارتنوئید، کلروفیل a، b، کلروفیل کل، فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، تعرق، عملکرد دانه، وزن ۱۰۰۰ دانه و زیست توده را کاهش و غلظت CO_2 زیر روزنه (C_i) را افزایش داد. در اکثر صفات اندازه‌گیری شده، تفاوت معنی‌داری بین دو روش مصرف نانوذرات بر میانگین صفات وجود نداشت. در هر دو رژیم آبیاری، مصرف نانوذرات به‌ویژه غلظت ٦۰ و ۹۰ میلی‌گرم در لیتر، موجب بهبود معنی‌دار اکثر صفات مورد مطالعه شد. در مجموع، کاربرد نانوذرات کیتوزان موجب کاهش اثرات مضر تنش خشکی در گیاه گندم و بهبود رشد این گیاه گردید.

کلمات کلیدی: تعرق، خاک مصرف، عملکرد، کارتنوئید، کیتوزان، محلول‌پاشی

مقدمه

ایران با میانگین نزولات آسمانی ۲٤۰ میلی‌متر در سال بر طبق تعریف آمبرژه جزء مناطق خشک و نیمه خشک به حساب می‌آید و بر طبق الگوی فصلی بارندگی مدیترانه‌ای که شامل بسیاری از مناطق ایران (به‌ویژه مناطق جنوبی) نیز می‌شود، بیشترین بارندگی در زمستان اتفاق می‌افتد و گیاهان زراعی پاییزه (از قبیل گندم و جو) معمولاً از زمان گلدهی تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک با خشکی مواجه می‌شوند (کردوانی، ۱۳۷۸). مرحله گلدهی و پرشدن دانه از حساس‌ترین مراحل رشدی گندم به تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی است. تنش خشکی در این مرحله از طریق ایجاد تنش اکسیداسیونی و در نتیجه تجزیه پروتئین و آسیب به ساختار و عملکرد پروتئین‌ها و کلروپلاست (Munne-Bosh *et al.*, 2001)، کاهش غلظت کلروفیل برگ (Brevedan and Egli, 2003)،

[*] نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: tahmaseb@modares.ac.ir

بسته شدن روزنه‌ها، کاهش هدایت روزنه‌ای و در نهایت سرعت فتوسنتز (Liang *et al*., 2002) و تسریع پیری برگ (Martinez *et al*., 2003)، میزان زیست توده و عملکرد دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این خصوص، نتایج برخی تحقیقات نشان داد که کمبود آب به طور معنی‌داری منجر به کاهش عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه‌های ارقام مختلف گندم گردید (Guttieri *et al*., 2001). نتایج آزمایشات دیگر نیز نشان داد که تنش رطوبتی موجب کاهش معنی‌دار تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه، وزن هزار دانه، زیست توده و شاخص برداشت گندم گردید (Yan Jun *et al*., 2006). بنابراین، درک و فهم پاسخ گیاهان به تنش‌های مختلف به‌ویژه تنش خشکی و ارائه راهکارهای مقابله با این عوامل محدود کننده کاملاً ضروری است. استفاده از محرک‌های زیستی از جمله کیتوزان که مکانیسم‌های دفاعی گیاه در برابر تنش‌ها را القا می‌کند، یکی از راهکارهای کاهش اثرات تنش‌های زیستی و غیر زیستی و افزایش عملکرد و کیفیت محصول است(Gornik *et al*., 2008).

کیتوزان پلی ساکارید گلوکوزامین مشتق شده از کیتین (در اسکلت خارجی بند پایان مانند حشرات، خرچنگ ردیایی، میگوها، خرچنگ‌ها و دیواره سلولی نوع خاصی از جلبک‌ها وجود دارد) است (Dutta *et al*., 2004). که فعالیت زیستی از قبیل تحریک رشد، افزایش عملکرد و فعالیت‌های ضد قارچی آن بسته به درجه استیله (DD %)، وزن مولکولی، غلظت کیتوزان و نوع گیاه متفاوت است (Dzung, 2011).

کیتوزان و بعضی از مشتقاتش به آسانی در آب و اسیدهای آلی مانند اسید لاکتیک و اسید استیک قابل حل‌اند، بنابراین می‌توانند به روش‌های مختلف مانند مخلوط کردن با خاک (Hirano, 1996)، محلول‌پاشی برگی (Ramos-Garcia *et al*., 2009)، و آغشته کردن به بذر (Chmielewski *et al*., 2007) در کشاورزی استفاده شوند. در پژوهشی، نتایج محلول‌پاشی کیتوزان با غلظت ۲۰ تا ۵۰ میلی‌گرم در لیتر روی رشد و عملکرد بادام زمینی نشان داد که مصرف کیتوزان موجب افزایش زیست توده و عملکرد گیاه گردید (Dzung and Thang, 2004). همچنین، برخی محققین بیان نمودند که کیتوزان با افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی و حفظ آنها تحت شرایط تنش شوری و فعال نمودن تعدادی از آنزیم‌ها نظیر فیتواکسین‌ها و کیتینازها، مقاومت گیاه را شرایط تنش افزایش داد (Mahdavi and Rahimi, 2013).

هدف این پژوهش بررسی تعیین اثرات نانو ذرات کیتوزان با دو روش مصرف (محلول‌پاشی و خاک مصرف) بر گیاه گندم بعنوان یک محصول استراتژیک تحت تنش خشکی آخر فصل بود.

مواد و روش‌ها

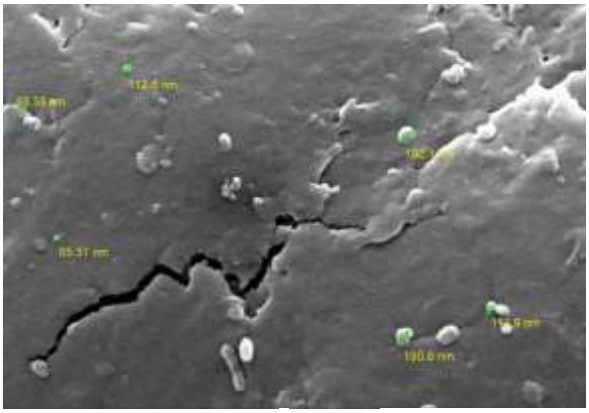
این پژوهش در سال ۱۳۹٤ به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه فاکتور غلظت نانوذرات (صفر، ۳۰، ٦۰ و ۹۰ میلی‌گرم در لیتر)، روش مصرف (محلول‌پاشی و خاک مصرف) و رژیم آبیاری (آبیاری کافی و قطع آبیاری ۱۵ روز بعد از گرده افشانی) در۳ تکرار در دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس انجام شد. نانو ذرات و خاک از این دانشگاه و بذر گندم رقم پیشتاز از مؤسسه‌ی اصلاح نهال و بذر کرج تهیه گردیدند. ویژگی‌های خاک مصرفی برای انجام آزمایش در جدول ۱ بیان شده است.

نانوذرات کیتوزان طوسی رنگ با خلوص ۹۸/۵ ٪، متوسط اندازه ذرات کمتر از ۷۰ نانومتر و سطح ویژه بیشتر از ۸۰ متر مربع بر گرم بودند. تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (Field Emission-Scanning Electron Microscope) (FE-SEM) این نانوذرات در زیر آمده است (شکل ۱).

جهت انجام آزمایش، از گلدان‌هایی به قطر ۲٦ و ارتفاع ۲۷ سانتی متر با زهکش مناسب و گنجایش ۱۰ کیلوگرم خاک خشک استفاده شد. بذور مورد نظر توسط قارچ‌کش مانکوزب به نسبت ۳ در هزار ضدعفونی شدند. کلیه گلدان‌ها با مخلوطی از خاک مزرعه و کود به مقدار مورد نیاز با توجه به نتایج تجزیه‌ی خاک و توصیه کودی موسسه‌ی تحقیقات خاک و آب با وزن یکسان پر شدند. کود نیتروژن از منبع اوره به مقدار

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مصرفی

آهن	پتاسیم قابل دسترس	فسفر قابل دسترس	نیتروژن کل	کربن آلی	هدایت الکتریکی	pH	بافت خاک (لومی شنی)		
							شن	سیلت	رس
	$mg.L^{-1}$		%		$dS.m^{-1}$		%		
۷/۷٦	٦١٦/۰۸	٦۹/٤٦	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/٦۳	۷/۳	۷۲/۲	۱۷/۲۵	۱۲/۵



شکل۱- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FE-SEM) نانوذرات کیتوزان

۱/۳ گرم در هر گلدان در دو مرحله (همزمان با کاشت و ساقه‌دهی) مصرف گردید. بذور ضدعفونی شده داخل گلدان‌های مورد نظر به تعداد ۱۰ عدد در هر گلدان به صورت خشکه‌کاری کشت که پس از استقرار گیاهچه‌ها به ٤ گیاهچه در هر گلدان تنک گردیدند. برای تهیه‌ی سوسپانسیون نانو ذرات کیتوزان، این نانو ذرات در اسید استیک یک درصد حل و سپس با آب مقطر رقیق و در روی هیتر به مدت ۲ ساعت در دمای ۹۰ درجه سانتی گراد با ۱٤۰۰ دور قرار داده شدند و اسیدیته‌ی محلول با سدیم هیدروکسید ۱٪ تنظیم گردید (Li *et al.*, 2008). پس از کشت بذور، سوسپانسیون نانوذرات آماده شده در غلظت‌های مورد نظر در سه مرحله‌ی رشدی (پنجه‌دهی، ساقه‌هی و سنبله‌دهی) به صورت خاک مصرف و محلول‌پاشی (پیش از اعمال تنش خشکی) مصرف گردیدند. محلول‌پاشی با افشانه دستی پس از پشت سر گذاشتن گرمای روزانه و در هنگام غروب آفتاب، در هوای ملایم و صاف انجام شد. محلول‌پاشی به نحوی صورت گرفت که تمام سطح برگ با محلول مورد نظر کاملاً خیس شد. گیاهان شاهد با آب مقطر محلول‌پاشی شدند. زمان اعمال تنش خشکی ۱۵ روز بعد از گرده‌افشانی گیاهان بود و تا قبل از آن تمامی گیاهان به صورت مطلوب آبیاری شدند. به منظور جلوگیری از ایجاد اختلال توسط بارندگی از یک سایبان متحرک استفاده شد. در طول دوره رشد سه بار عملیات وجین دستی انجام شد و هیچگونه سم شیمیایی استفاده نگردید. هفت روز بعد از اعمال تنش خشکی، کلیه صفات مورد نظر اندازه‌گیری شدند.

برای اندازه‌گیری کلروفیل نمونه‌های برگ پرچم به طور تصادفی برداشت و به سرعت در نیتروژن مایع منجمد گردیدند. سپس نمونه‌ها در دمای ۸۰- درجه سانتیگراد تا زمان انجام آزمایش‌های لازم نگهداری شدند. اندازه‌گیری فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، تعرق و غلظت CO_2 اتاقک زیر روزنه (C_i) با استفاده از دستگاه فتوسنتزمتر ایرگا مدل (LI-COR 6400, LI-COR Inc., Lincoln, NB, USA). و در ساعات ۱۰ الی ۱۲ صبح انجام گردید. عدد مربوطه برای ۳ برگ پرچم، در هر بوته انتخاب شده به‌طور تصادفی در هر گلدان، ثبت و میانگین آنها محاسبه گردید.

برای سنجش کلروفیل و کارتنوئید، ۰/۲ گرم از بافت تازه برگ با استون ۸۰٪ به‌تدریج در هاون چینی ساییده شد. سپس

حجم محلول با استون ۸۰ ٪ به ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد. محلول حاصل به‌مدت ۱۰ دقیقه در ٤۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ و بعد جذب نوری محلول رویی در طول موج‌های ٦٦۳، ٦٤٥ و ٤۷۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید. مقدار کلروفیل و کارتنوئید طبق معادله‌های زیر بدست آمد (Arnon, 1967).

کلروفیل a= [۱۲/۷ (D٦٦۳) - ۲/٦۹ (D٦٤٥)]×V/(۱۰۰۰W)

کلروفیل b= [۲۲/۹ (D٦٤٥) - ٤/٦۸ (D٦٦۳)]×V/(۱۰۰۰W)

کلروفیل کل= [۲۰/۲ (D٦٤٥) - ۸/۰۲ (D٦٦۳)]×V/(۱۰۰۰W)

کاروتنوئید= [۱۰۰۰ (D٤۷۰) - ۱/۸۲ (کلروفیلa) - ۸۵/۰۲ (کلروفیلb)]/(۱۰۰۰W)×V/۱۹۸

D: طول موج، V: حجم نهایی فالکون و W: وزن نمونه برگی می‌باشد.

در زمان رسیدگی محصول، برای اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد، بوته‌های هر گلدان برداشت و سپس وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه و زیست توده اندازه‌گیری گردیدند. عملکرد دانه بر حسب گرم در گلدان بر اساس ده درصد رطوبت، توسط ترازوی دیجیتالی تعیین گردید. شاخص برداشت نیز از تقسیم عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیکی (زیست توده) بدست آمد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین صفات با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام گردید.

نتایج و بحث

ارتفاع ساقه: نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهمکنش غلظت نانو ذرات و رژیم آبیاری بر ارتفاع ساقه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در سطوح یکسان نانو ذرات (جز سطح صفر میلی‌گرم در لیتر) تنش خشکی اثر معنی‌داری بر ارتفاع ساقه نداشت (شکل ۲). مصرف نانو ذرات در گیاهان تحت تنش خشکی و مصرف غلظت بالای نانو ذرات (٦۰ و ۹۰ میلی‌گرم در لیتر) در شرایط آبیاری معمولی موجب افزایش معنی‌دار ارتفاع ساقه نسبت به عدم مصرف نانوذرات کیتوزان گردید.

به نظر می‌رسد کاهش در ارتفاع ساقه در شرایط تنش خشکی به علت پیری بیشتر برگ، جلوگیری از توسعه و رشد سلول و در واکنش به فشار تورگر پایین باشد (Ogbonnaya *et al.*, 2003). در موضعی مشابه، کافی و رستمی (۱۳۸۸) در مطالعه خود گزارش کردند که تنش خشکی در گلرنگ موجب تغییر رنگ برگ‌ها، ارتفاع ساقه، کاهش وزن خشک اندام‌ها، عملکرد و شاخص برداشت گردید. از طرفی مصرف نانو ذرات کیتوزان در هر دو رژیم آبیاری، موجب افزایش ارتفاع ساقه گردید. احتمالاً این ترکیب ممکن است سیگنالی را برای سنتز هورمون‌های گیاهی مانند جیبرلین القا کند و رشد و نمو گیاه را توسط بعضی مسیرهای سیگنالینگ مربوط به بیوسنتز اکسین، از طریق مسیر وابسته به تریپتوفان، افزایش دهد (Uthairatanakij *et al.*, 2007). نتایج برخی تحقیقات نشان داد که محلول‌پاشی پنبه با کیتوزان موجب افزایش ارتفاع ساقه و زیست توده این گیاه گردید (Dzung, 2007).

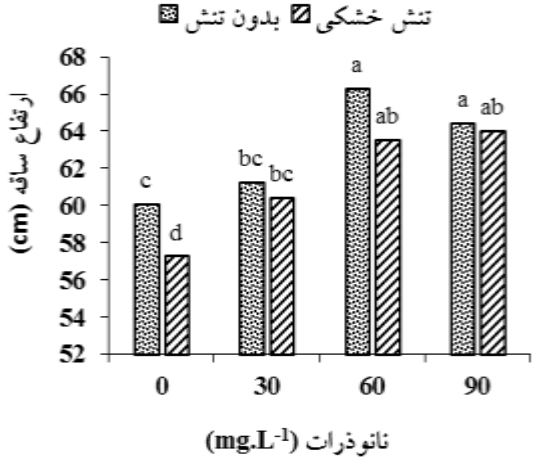
رنگیزه‌های فتوسنتزی: نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهمکنش غلظت نانو ذرات و رژیم آبیاری بر میزان کلروفیل a، کلروفیل کل و کارتنوئید معنی‌دار بود (جدول ۲). اثرات ساده غلظت نانو ذرات و رژیم آبیاری بر میزان کلروفیل b در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر رژیم آبیاری در سطح احتمال ۵ درصد بر نسبت کلروفیل a/b معنی‌دار گردید.

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار میزان کلروفیل a، نسبت کلروفیل a/b، کلروفیل کل و کارتنوئید گردید (به ترتیب شکل‌های ۳a، ۳e و ۳e). مصرف نانو ذرات کیتوزان در هر دو رژیم آبیاری به طور معنی‌داری موجب بهبود میزان کلروفیل a و کل نسبت به شرایط عدم مصرف نانو ذرات گردید. بیشترین میزان کارتنوئید، کلروفیل a و کل با مصرف ۹۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات کیتوزان در شرایط بدون تنش بدست آمد. در گیاهان تحت تنش خشکی، مصرف نانوذرات اثر معنی‌داری بر میزان کارتنوئید نداشت (شکل ۳f). تنش خشکی به طور معنی‌داری

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر نانوذرات کیتوزان برای برخی صفات اندازه‌گیری شده در گندم

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		ارتفاع ساقه	کلروفیل a	کلروفیل b	نسبت کلروفیل a/b	کلروفیل کل	کارتنوئید	فتوسنتز	هدایت روزنه‌ای
تکرار	۲	۸/۵۱	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۶	۰/۰۶	۰/۰۰۰٤	۰/۰۰۰۰۱	۰/۳۷	۰/۰۰۱۸
A (غلظت نانوذرات)	۳	۲٦/٦٦ **	۰/۰۵۷٤ **	۰/۰۰۲۲۸ **	۰/٤۳ ns	۰/۰۸۲۲ **	۰/۰۰۰۱۷**	٤/۱۸ ns	۰/۰۰۲٤ ns
B (روش مصرف)	۱	۰/۲۸ ns	۰/۰۱۵۰ *	۰/۰۰۰٤۰ ns	۰/۱۳ ns	۰/۰۲۱۲ **	۰/۰۰۰۱۰ns	۱/۰۵ ns	۰/۰۰۰۲ ns
C(رژیم آبیاری)	۱	۱۲۰/۷۱ **	۰/٤۵٤۳ **	۰/۰۲۹۰۰ **	۰/۸۵ *	۰/۷۱۷۸ **	۰/۰۰۰٤٦**	۱٤٦۸/۹۸ **	۰/۲۱۳۳ **
A×B	۳	۸/۹٤ ns	۰/۰۰۲۹ ns	۰/۰۰۰۰۵ ns	۰/۰۷ ns	۰/۰۰۳٤ ns	۰/۰۰۰۳ns	۱٤/۵۷ **	۰/۰۰۵٤ *
A×C	۳	٤۷/۵۲ **	۰/۰۰۹۱ *	۰/۰۰۰۱٤ ns	۰/۱۳ ns	۰/۰۱۲٤ **	۰/۰۰۰۱۷**	۲۵/۷٦ *	۰/۰۰۲۳ ns
B×C	۱	۱/٤٤ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۰۳ ns	۰/۰٤ ns	۰/۰۰۰۱ ns	۰/۰۰۰۳۵ns	۰/۰٦ ns	۰/۰۰۲۱ ns
A×B×C	۳	۷/۹۱ ns	۰/۰۰۱۸ ns	۰/۰۰۰۱۵ ns	۰/۰۲ ns	۰/۰۰۲٦ ns	۰/۰۰۰۰۹ns	۲۲/۱۵ **	۰/۰۰۷۰ *
اشتباه آزمایشی	۳۰	٤/۹۷	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۰۲۹	۰/۱۸	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۰۰۱	۲/۹۸	۰/۰۰۱۷
ضریب تغییرات (٪)	-	۵/۵۸	۸/۳۹	۸/۰۷	۱٤/۸۵	۵/٦۲	۷/۹۰	۱۵/۱۹	۸/۹۷

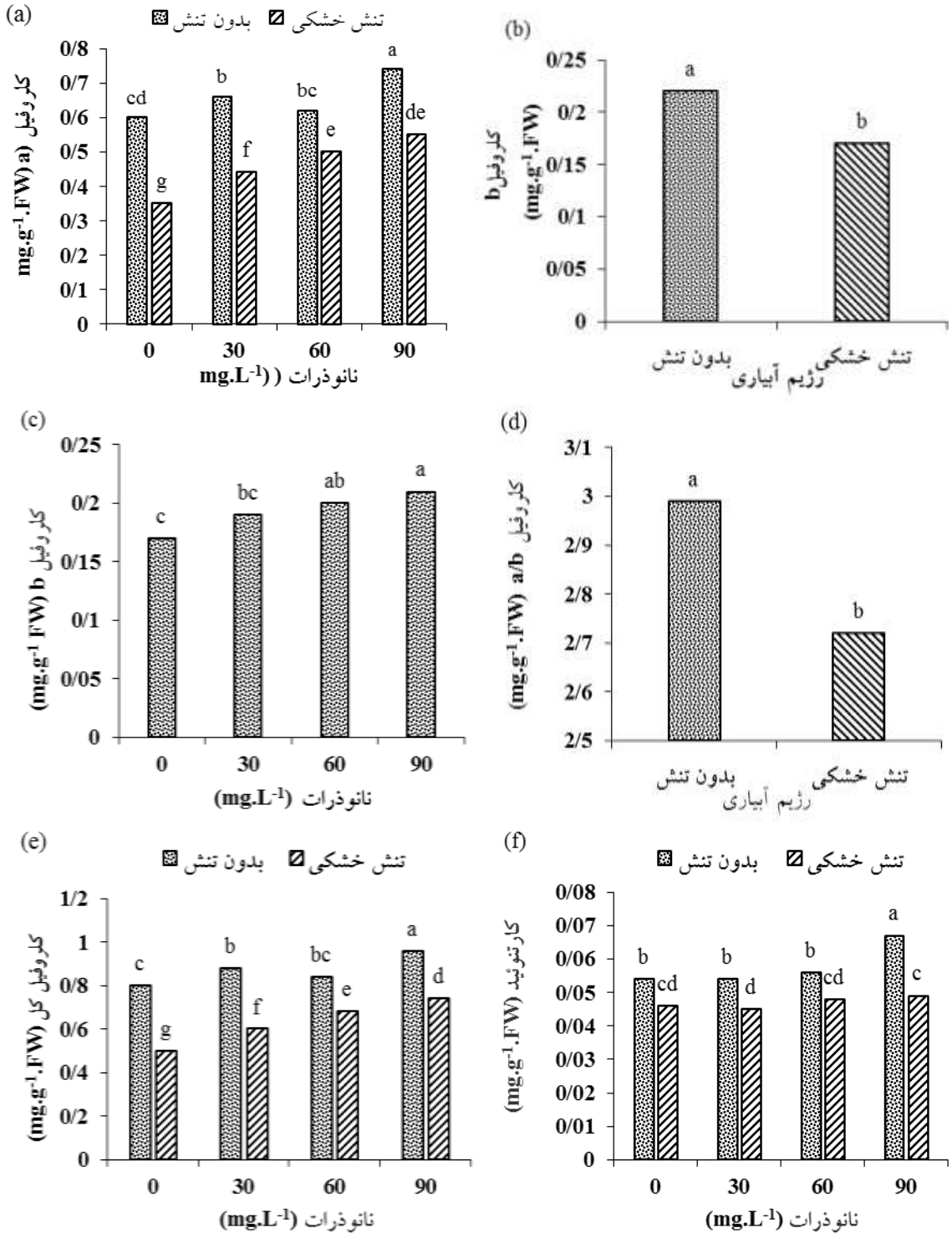
****، * و ns : به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال ۱٪ ، ۵٪ و غیر معنی دار**



شکل۲- مقایسه میانگین اثر برهمکنش نانوذرات و رژیم آبیاری بر ارتفاع ساقه. میانگین هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

به ترتیب موجب کاهش ۲۲ و ۹ درصدی کلروفیل b و نسبت کلروفیل a/b گردید (شکل‌های ۳b و ۳d). مصرف ٦۰ و ۹۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات موجب افزایش معنی‌دار کلروفیل b نسبت به عدم مصرف نانوذرات (شاهد) گردید (شکل ۳c).

از جمله دلایل کاهش محتوای کلروفیل در شرایط تنش خشکی، می‌توان به تخریب غشاهای تیلاکوئیدهای کلروپلاست و اکسیداسیون نوری کلروفیل در اثر افزایش فعالیت گونه‌های فعال اکسیژن (Alonso *et al.*, 2001) و افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز (Huffaker *et al.*, 1970) اشاره کرد. کاهش مقادیر کلروفیل a، b، کل و کارتنوئید تحت تأثیر تنش خشکی در برخی از گونه‌های گیاهی گزارش شده است (Gautam *et al.*, 2011).



شکل۳- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر رنگیزه‌های فتوسنتزی. میانگین هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

همچنین، تنش خشکی موجب کاهش ۱۰ درصدی نسبت کلروفیل a/b نسبت به شرایط بدون تنش گردید. به عبارت دیگر تنش خشکی غلظت کلروفیل a را بیشتر از کلروفیل b کاهش داد. به دلیل حساسیت بیشتر کلروفیل a به تنش خشکی، کاهش محتوای کلروفیل a بیشـتر از b است (Jaleel *et al.*, 2009). اشرف و همکاران (Ashraf *et al.*, 1994) نیز بیان نمودند که

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر نانوذرات کیتوزان برای برخی صفات اندازه‌گیری شده در گندم

منابع	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		غلظت CO_2 زیر روزنه (C_i)	تعرق	تعداد پنجه	وزن ۱۰۰۰ دانه	تعداد دانه در سنبله	عملکرد	زیست توده	شاخص برداشت
تکرار	۲	۵۱۶/۳۵	۰/۱۳	۱/۰۲	۱۸/۱۷	۶۰۳/۹۶	۴۵/۹۴	۳۲/۰۴	۳۶۵/۶۱
A(غلظت نانوذرات)	۳	۲۴۰۸/۲۵ ns	۱/۷۷ **	۱۱/۱۸ *	۱۲/۳۷ **	۲۰/۷۰ ns	۵۸/۰۱ **	۲۴۵/۸۸ **	۶۸۷/۳۱ ns
B (روش مصرف)	۱	۱۴۸۴/۸۵ ns	۰/۰۶ ns	۰/۱۸ ns	۳۶/۳۶ **	۳۶/۷۵ ns	۱۷/۴۷ ns	۳۱/۳۳ ns	۴۶/۸۲ ns
C(رژیم آبیاری)	۱	۳۴۱۷۴۰/۶۸ **	۲۰۷/۳۷ **	۲۰/۰۲ *	۹۳۰۶/۹۱ **	۱۹۲۲/۸۰ **	۳۹۰۵/۲۹**	۷۱۶/۱۰ **	۱۲۰۴۵/۶۸**
A×B	۳	۵۱۴۸/۰۹ *	۱/۸۳ **	۱۰/۵۷ *	۱۴/۰۵ **	۱۳۵/۳۱ ns	۳۲/۳۱ ns	۳/۳۹ ns	۲۷۵/۰۵ ns
A×C	۳	۶۷۷۸/۱۴ **	۱/۶۳ **	۶/۱۸ ns	۱۱/۴۸ **	۴۱۸/۶۴ *	۶۸/۹۷ **	۵۰/۵۹ *	۳۶۳/۲۰ **
B×C	۱	۷۴۱/۵۹ ns	۰/۹۰ *	۳۵/۰۲ **	۲/۳۴ ns	۷/۸۷ ns	۰/۷۹ ns	۲۲/۹۳ *	۴۹/۷۹ *
A×B×C	۳	۸۴۰۲/۷۱ **	۳/۴۱**	۲۷/۰۷ **	۳/۹۴ ns	۳۱۷/۶۳ ns	۲۱/۰۹ ns	۹۲/۸۸ ns	۴۰۱/۸۸ ns
اشتباه آزمایشی	۳۰	۱۴۸۹/۳۹	۰/۱۵	۲/۹۵	۲/۴۸	۱۳۸/۳۴	۰/۰۶	۷/۶۷	۱۱/۵۱
ضریب تغییرات (٪)	-	۱۰/۳۹	۱۲/۲۲	۱۰/۷۲	۶/۷۴	۱۵/۵۴	۱۰/۱۶	۶/۰۴	۷/۰۳

****، * و ns : به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال ۱٪ ، ۵٪ و غیر معنی دار**

در گندم تحت تنش خشکی، محتوای کلروفیل a کاهش یافت، در حالیکه کلروفیل b بدون تغییر باقی ماند.

از طرفی، میزان کلروفیلa، b و کل با مصرف نانو ذرات کیتوزان در هر دو رژیم آبیاری، و نیز کارتنوئید با مصرف ۹۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات در شرایط بدون تنش به طورمعنی‌داری افزایش یافتند. Limpanavech و همکاران (۲۰۰۸) بیان نمودند که کیتوزان در افزایش محتوی کلروفیل نقش دارد و می‌تواند بیان ژن کلروپلاست برگ را تحت تأثیر قرار دهد، به‌طوریکه موجب تغییرات در اندازه و توسعه کلروپلاست گردد. در همین راستا، نتایج برخی تحقیقات نشان داد که مصرف کیتوزان باعث افزایش کلروفیل a ، b، کل و کارتنوئید گردید (Sheikha and AL-Malki, 2009) که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد. علاوه بر این برخی از محققین اعلام کردند که کاربرد کیتوزان باعث کاهش اثر منفی تنش خشکی بر کلروفیل و افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه انگور گردید (Gornik *et al.*, 2008).

پارامترهای فتوسنتزی: نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهمکنش رژیم آبیاری، غلظت و روش مصرف نانو ذرات بر فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، غلظت CO_2 داخلی (C_i) و تعرق اثر معنی‌داری داشت (جدول‌های ۲ و ۳).

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار میزان فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق و افزایش معنی‌دار میزان غلظت CO_2 زیر روزنه (Ci) گردید (جدول ٤). بیشترین میزان هدایت روزنه‌ای (۰/۵۹ میلی‌مول آب بر مترمربع بر ثانیه) با محلول‌پاشی ۹۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات در گیاهان رشد کرده در شرایط بدون تنش بدست آمد. همچنین بیشترین میزان تعرق در گیاهان رشد کرده در شرایط بدون تنش و عدم مصرف نانوذرات کیتوزان (شاهد) مشاهده گردید. مصرف نانوذرات کیتوزان به‌ویژه غلظت ٦۰ و ۹۰ میلی‌گرم در لیتر در هر دو رژیم آبیاری موجب افزایش معنی‌دار فتوسنتز نسبت به عدم مصرف نانوذرات گردید. مصرف ٦۰ و ۹۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات موجب افزایش معنی‌دار هدایت روزنه‌ای در گیاهان رشد کرده در شرایط بدون تنش گردید؛ در حالیکه در گیاهان تحت تنش خشکی اثر معنی‌داری بر این صفت نداشت. مصرف نانوذرات در هر دو رژیم آبیاری موجب کاهش معنی‌دار Ci و تعرق گردید؛ هرچند

جدول ٤. مقایسه میانگین اثر نانوذرات کیتوزان بر برخی صفات اندازه‌گیری شده در گیاه گندم

روش مصرف	رژیم آبیاری	نانوذرات ($mg.L^{-1}$)	فتوسنتز ($\mu mol\ CO_2.\ m^{-2}.\ s^{-1}$)	هدایت روزنه‌ای ($\mu mol\ H_2O_2.\ m^{-2}.\ s^{-1}$)	غلظت CO_2 زیر روزنه ($\mu mol\ CO_2.\ mol^{-1}$) (Ci)	تعرق ($mmol.\ m^{-2}.\ s^{-1}$)	تعداد پنجه
محلول-پاش	بدون تنش خشکی	۰	١٤/٦٣ bc	۰/٤٩ c	٣١٣/٦٠ c	۷/۲۸ a	١٧/٦٤ abc
		۳۰	١٥/١١ bc	۰/٤٨ c	٢٥٤/٧٨ cd	٥/٥٧ b	١٨/٠١ abc
		٦٠	١٧/٤٦ ab	۰/٥٧ ab	٢٩٦/٨٦ cd	٤/٣٨ c	١٧/٣٢ bcd
		۹۰	١٩/٩٩ a	۰/٥٩ a	٢٨٩/٢٩ cd	٣/٩٨ c	١٩/٠٠ ab
	تنش خشکی	۰	٣/٦٤ f	۰/٣٨ d	٥٢٢/١٩ a	١/٣٥ de	١٣/٠١ f
		۳۰	٥/٩٣ def	۰/٣٩ d	٤٩٨/٥١ a	١/١٢ de	١٣/٦٠ ef
		٦٠	٨/١٤ d	۰/٣٨ d	٤١٩/٦٨ b	١/١٠ de	١٣/٦٧ ef
		۹۰	٧/٥٧ d	۰/٣٩ d	٤٢٠/٦٣ b	۰/٨٨ e	١٥/٣٣ cdef
خاک مصرف	بدون تنش خشکی	۰	١٣/٤٦ c	۰/٤٨ c	٣٢٠/٤٠ c	۷/۱۹ a	١٦/٠٠ bcdef
		۳۰	١٧/٠٩ ab	۰/٤٨ c	٣١٨/٠٠ c	٦/٠٢ b	١٧/٠٥ bcd
		٦٠	١٧/٣٢ ab	۰/٥٨ ab	٢٣٣/٤٤ d	٤/٦٥ c	١٦/٦٨ bcde
		۹۰	٢٠/٢٢ a	۰/٥٢ bc	٢٦٩/٦٥ cd	٤/٦٢ c	٢٠/٦٢ a
	تنش خشکی	۰	٣/٢٩ f	۰/٣٩ d	٥١٩/٢٢ a	١/٦٩ d	١٣/٠٨ f
		۳۰	٤/٠٨ ef	۰/٤٠ d	٤٢٦/٥٩ b	١/١٥ de	١٥/٦٤ cdef
		٦٠	٦/٨٥ de	۰/٣٩ d	٤٢٧/٣٦ b	١/١٣ de	١٤/٣٥ def
		۹۰	٧/٢٥ d	۰/٤١ d	٤١١/٨٩ b	۰/٨٤ e	١٥/٣٣ cdef

میانگین هایی در هر ستون که حداقل در یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

محلول‌پاشی نانوذرات در گیاهان رشد کرده در شرایط بدون تنش و محلول‌پاشی نانوذرات در گیاهان تحت تنش خشکی به ترتیب اثر معنی‌داری بر میزان Ci و تعرق نداشت.

عوامل محدود کننده فتوسنتز شامل دو نوع روزنه‌ای و غیر روزنه‌ای هستند. در زمانی که عامل محدود کننده روزنه‌ای باشد با کاهش آب در سلول‌های برگ، روزنه‌ها بسته می‌شوند. در این حالت به دلیل کاهش هدایت روزنه‌ای، انتشار CO_2 به فضای بین سلولی کاهش یافته و فعالیت فتوسنتزی کم و یا متوقف می‌شود. در مواقعی که عامل محدودکننده غیرروزنه‌ای باشد، به دلیل اختلال در واکنش‌های بیوشیمیایی گیاه (از جمله کاهش فعالیت رابیسکو و جلوگیری از واکنش‌های فتوشیمیایی) و یا کاهش محتوی کلروفیل برگ، C_i افزایش می‌یابد و موجب اشباع برگها از مواد فتوسنتزی می‌گردد که ممکن است فتوسنتز را محدود نماید (Valladares and Pearcy, 1997; Reddy *et al*., 2004).

با توجه به نتایج جدول ٤، هر دو عامل روزنه‌ای و غیر روزنه‌ای موجب کاهش فتوسنتز در شرایط تنش خشکی گردید. در توافق با نتایج ما، احمدی و بیکر (۱۳۷۵) بیان نمودند که تنش ملایم خشکی فتوسنتز را به طور عمده از طریق عوامل قابل برگشت روزنه‌ای کاهش داد، اما در شرایط تنش شدیدتر یا در تنش‌های طولانی مدت، عوامل غیر روزنه‌ای نیز مزید بر علت گردید.

همچنین، نتایج نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش هدایت روزنه‌ای و تعرق در گیاه گندم گردید که با نتایج گزارش شده توسط برخی محققین مشابهت دارد

(Saeedi *et al.*, 2010). شواهد بسیار زیادی بر این نکته دلالت دارد که کاهش فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای و به طبع آن تعرق، به طور مستقیم به سبب کاهش میزان آب در دسترس گیاه و در نتیجه بروز مکانیسم‌های مقاومتی گیاه نسبت به بسته نگه داشتن روزنه‌ها در شرایط خشکی می‌باشد (Brownlee, 2001).

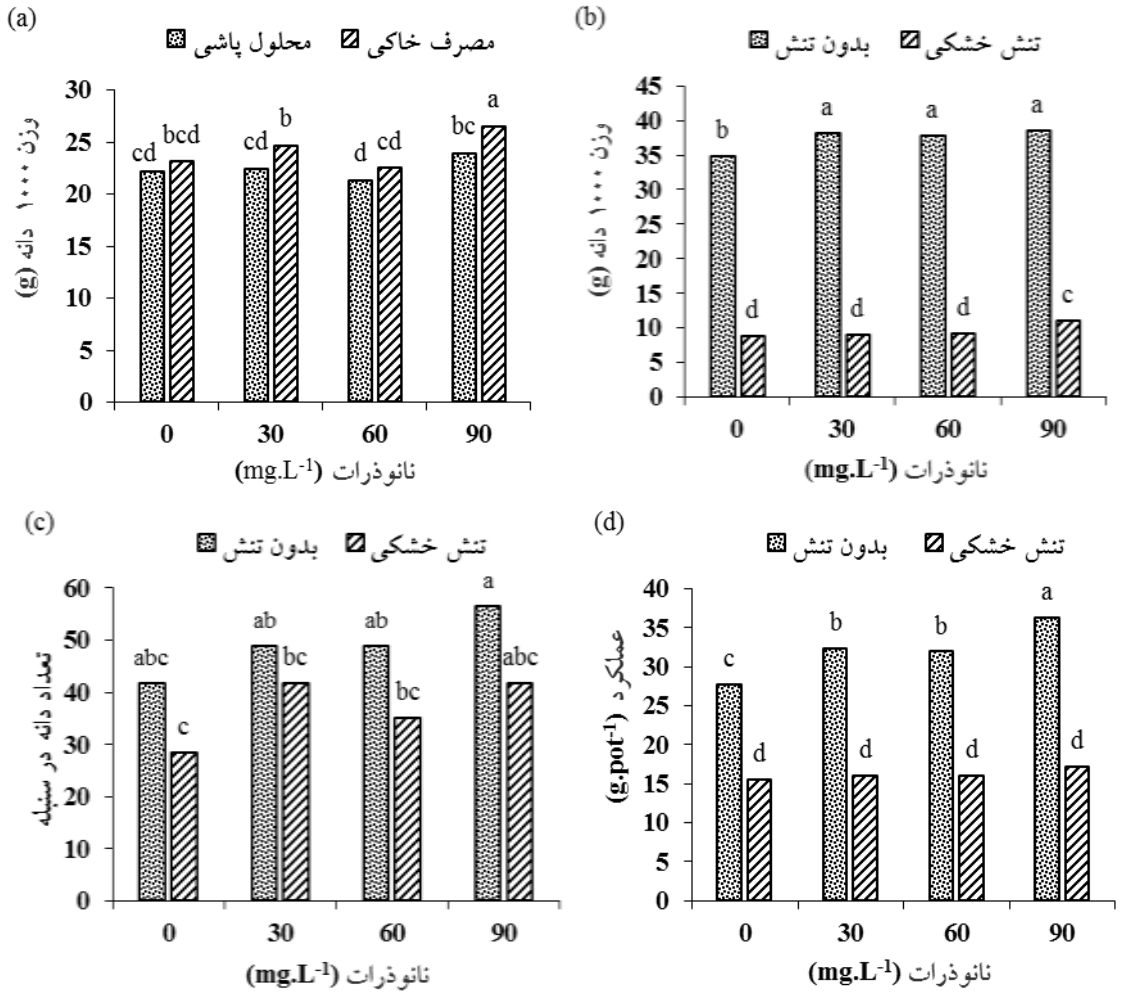
همچنین، افزایش C_i با وجود کاهش شدید در هدایت روزنه‌ای را می‌توان به کاهش ظرفیت فتوسنتزی کلروپلاست‌ها و یا کاهش بازده کربوکسیلاسیون نسبت داد (Luo, 1991). کاهش C_iدر شرایط تنش ملایم و افزایش آن در تنش‌های شدید در گیاهان مختلف گزارش شده است (Siddique *et al.*, 1999).

از طرفی، مصرف نانوذرات کیتوزان موجب افزایش معنی‌دار میزان فتوسنتز و کاهش تعرق و C_i در هر دو رژیم آبیاری گردید. مکانیسم عمل کیتوزان در کاهش اثرات مضر تنش خشکی به خوبی شناخته نشده و مطالعات کمی در این زمینه انجام شده است. بر طبق گزارشات Limpanavech و همکاران (۲۰۰۸) کیتوزان در افزایش فتوسنتز نقش دارد و بیان ژن کلروپلاست برگ را تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین، کیتوزان تأثیر مستقیمی بر بیان برخی از ژن‌های دخیل در مسیر سنتز جازمونیک اسید دارد که این ترکیب فعالیت مشابهی با هورمون گیاهی آبسزیک اسید ایفا می‌نماید (Bittelli *et al.*, 2001). بنابراین، دستکاری در مسیر انتقال سیگنال آبسزیک اسید موجب کاهش آب مصرفی در گیاهان، از طریق کاهش گشودگی روزنه‌ها و تعرق، می‌گردد (Grill and Ziegler, 1998). در توافق با نتایج ما، برخی از محققین بیان نمودند که کیتوزان موجب افزایش هدایت روزنه‌ای، کاهش تعرق و در نتیجه افزایش فتوسنتز، ارتفاع گیاه، طول ریشه‌ها و مقدار زیست توده گیاهی گردید (Bittelli *et al.*, 2001).

عملکرد و اجزای عملکرد: نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهمکنش رژیم آبیاری، غلظت و روش مصرف نانوذرات بر تعداد پنجه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). برهمکنش غلظت نانوذرات و رژیم آبیاری بر تعداد دانه در خوشه و عملکرد دانه به ترتیب در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد معنی‌دار بود. همچنین برهمکنش غلظت نانوذرات و رژیم آبیاری و نیز برهمکنش غلظت و روش مصرف نانوذرات بر وزن هزار دانه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود.

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که در روش محلول‌پاشی، تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار تعداد پنجه شد و در روش خاک مصرف اثر معنی‌داری بر تعداد پنجه نداشت (جز غلظت ۹۰ میلی‌گرم در لیتر) (جدول ٤). محلول‌پاشی نانوذرات در هر دو رژیم آبیاری و مصرف خاکی نانوذرات در گیاهان تحت تنش خشکی اثر معنی‌دار بر تعداد پنجه نداشت. بیشترین تعداد پنجه (۲۰/٦۲) با مصرف خاکی ۹۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات در شرایط بدون تنش بدست آمد. نتایج برهمکنش غلظت و روش مصرف نانوذرات نشان داد که مصرف خاکی نانوذرات بخصوص غلظت ۹۰ میلی‌گرم در لیتر اثر افزایشی بیشتری بر وزن هزار دانه نسبت به روش دیگر داشت (شکل ٤a). برهمکنش رژیم آبیاری و غلظت نانوذرات نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه و مصرف ۹۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات موجب بهبود معنی‌دار این صفت گردید (شکل ٤b). همچنین مصرف نانوذرات در گیاهان رشد کرده در شرایط بدون تنش موجب افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه گردید.

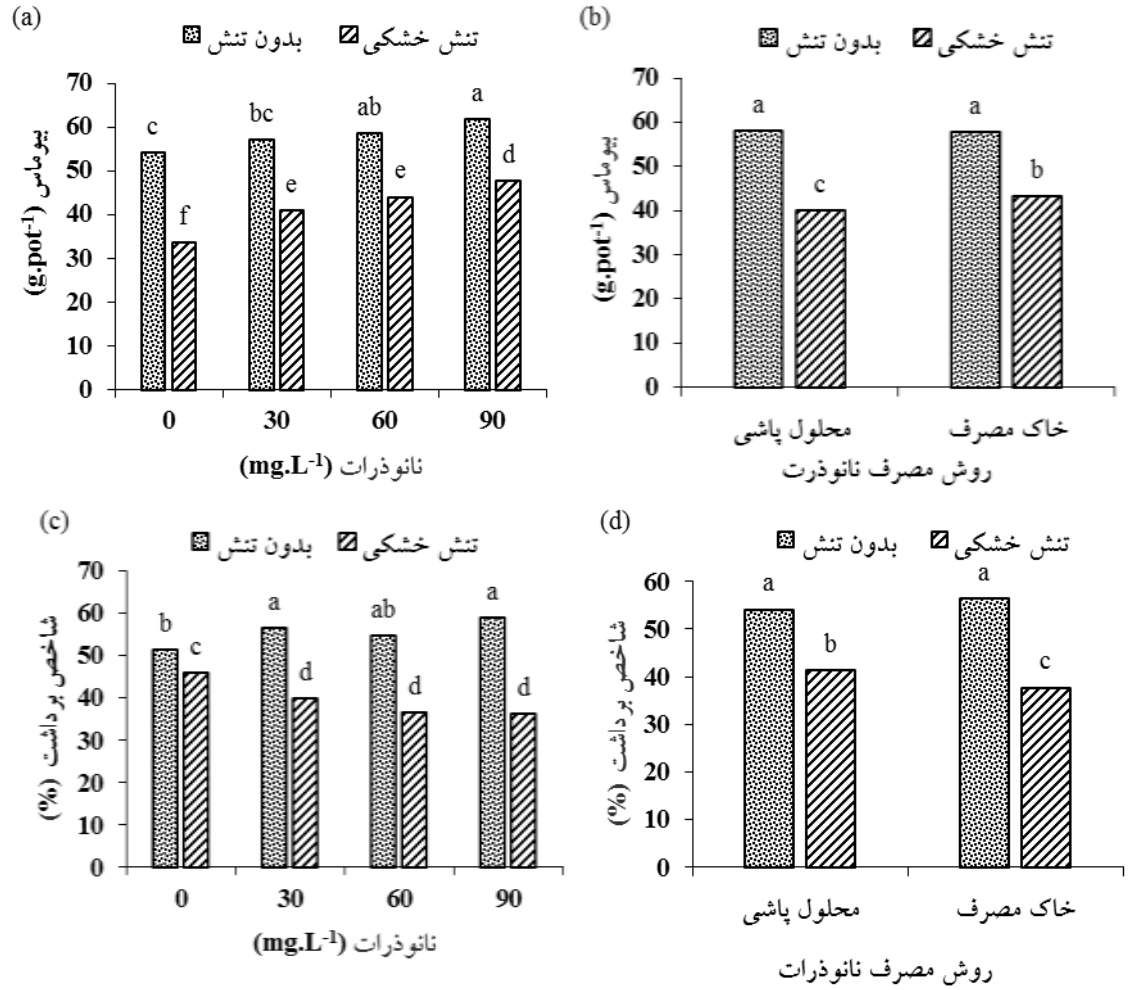
همچنین، در هر دو رژیم آبیاری، اختلاف معنی‌داری بین مصرف نانوذرات کیتوزان و عدم مصرف آن (شاهد) از لحاظ تعداد دانه در خوشه مشاهده نشد؛ اما بیشترین مقدار این صفت در تیمار مصرف نانوذرات کیتوزان مشاهده گردید (شکل ٤c). تنش خشکی اثر معنی‌داری بر تعداد دانه در خوشه نداشت اما موجب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه گردید (به ترتیب شکل‌های ٤c و ٤d). مصرف نانوذرات در گیاهان رشد کرده در شرایط بدون تنش موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه گردید؛ هرچند در گیاهان تحت تنش خشکی اثر معنی‌داری بر این صفت نداشت. بیشترین عملکرد دانه با مصرف ۹۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات در گیاهان رشد کرده در شرایط بدون تنش بدست آمد.



شکل٤- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر عملکرد و اجزای عملکرد. میانگین هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

فاصله بین تمایز سلولی سنبلچه‌ها و گلدهی حساس‌ترین دوره به خشکی است و ظرفیت ذخیره سازی دانه‌ها در غلات در مراحل اولیه رشد دانه‌ها یک تا ١٤ روز بعد از گرده‌افشانی مشخص می‌شود (Zhang and John, 2005). بروز تنش خشکی ١٤ روز بعد از گرده‌افشانی عملکرد دانه را از طریق کاهش ذخیره سازی مواد پرورده در دانه‌ها کاهش می‌دهد (Blum and Ebercon, 1976). همچنین، کاهش وزن دانه به رسیدگی زودتر گیاه و کاهش طول دوره‌ی پر شدن دانه مرتبط می‌باشد (Kobata *et al.*, 1999). در این پژوهش، کاهش شدید عملکرد گندم در اثر تنش خشکی مربوط به کاهش وزن هزاردانه می‌باشد. در توافق با نتایج ما، Richards و همکاران (۲۰۰۱) بیان نمودند که کاهش عملکرد دانه در گیاهان تحت تنش خشکی بعد از مرحله گلدهی، بیشتر از طریق کاهش وزن هزار دانه بود.

همچنین، نتایج نشان داد که بین شرایط کنترل و تنش خشکی از نظر تعداد دانه در سنبله تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۳c)؛ این نتیجه احتمالاً به این دلیل است که پتانسیل این جزء قبل از گرده‌افشانی و در مرحله طویل شدن ساقه‌ها (قبل از ظهور سنبله) شکل گرفته و قطع آبیاری پس از گلدهی تأثیر زیادی بر آن ندارد (Araus *et al.*, 2002). نتایج برخی تحقیقات نشان داد که تنش خشکی پس از گلدهی اثر معنی‌داری بر تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله و



شکل۵- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر زیست توده و شاخص برداشت. میانگین هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

ارتفاع ساقه نداشت (ممتازی، ۱۳۹۰).

از طرفی، افزایش عملکرد دانه و وزن هزار دانه تحت تأثیر نانوذرات کیتوزان در گیاهان رشد کرده در شرایط بدون تنش احتمالاً به دلیل تأثیر آن بر تحریک فرآیندهای فیزیولوژیکی، بهبود رشد رویشی و افزایش تثبیت CO_2 می‌باشد. در گیاهان تحت تنش خشکی، مصرف نانوذرات اثر معنی‌داری بر اجزای عملکرد دانه نداشت، بنابراین نتوانست عملکرد دانه را تحت تأثیر قرار دهد. نتایج برخی تحقیقات نشان داد که تعداد خوشه و وزن هزار دانه در گیاهان ارزن مرواریدی با مصرف کیتوزان در مقایسه با شاهد افزایش یافت (Sarathchandra and Jaj, 2004). همچنین، برخی محققین در یافته‌های خود به این نتیجه رسیده‌اند که در شرایط تنش، محلول‌پاشی گیاهان برنج در مرحله تشکیل پانیکول با اولیگو کیتوزان، موجب افزایش وزن پانیکول، وزن هزار دانه و عملکرد دانه گردید (Boonlertnirun *et al.*, 2008).

زیست توده و شاخص برداشت: نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهمکنش غلظت نانوذرات و رژیم آبیاری و نیز برهمکنش روش مصرف و رژیم آبیاری بر زیست توده و شاخص برداشت معنی‌دار گردیدند (جدول ۳).

تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار زیست توده گردید (به ترتیب شکل‌های ۵a و ۵b). هر چند مصرف نانوذرات کیتوزان در هر دو رژیم آبیاری موجب افزایش معنی‌دار این صفت گردید (شکل ۵a). بیشترین میزان زیست توده با مصرف ۹۰ میلی‌گرم در لیتر نانوذرات در گیاهان رشد کرده در شرایط

بدون تنش و کمترین این صفت در گیاهان تحت تنش خشکی و بدون مصرف نانوذرات بدست آمد. در گیاهان تحت تنش خشکی اثر مصرف خاکی نانوذرات بر افزایش میزان زیست توده بیشتر از روش دیگر بود (شکل ۵a). مصرف نانوذرات در گیاهان رشد کرده در شرایط بدون تنش موجب افزایش معنی‌دار و در گیاهان تحت تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار شاخص برداشت گردید (شکل ۵c). همچنین تنش خشکی بطور معنی‌داری موجب کاهش این صفت گردید (شکل‌های ۵c و ۵d). در گیاهان تحت تنش خشکی روش محلول‌پاشی نانوذرات اثر بهتری بر میزان شاخص برداشت نسبت به روش دیگر داشت (شکل ۵d).

تنش خشکی موجب کاهش زیست توده و شاخص برداشت گردید. شواهد زیادی وجود دارد که کاهش فراهمی آب سبب کاهش جذب عناصر غذائی، کلروفیل و توان فتوسنتزی گیاه می‌شود (Ribas-Carbo *et al*., 2005) که نتیجه آن کاهش زیست توده گیاه می‌باشد. در نتیجه کاهش عملکرد دانه و زیست توده به‌ویژه عملکرد دانه در اثر تنش خشکی، شاخص برداشت نیز کاهش یافت.

در توافق با نتایج ما گزارشات مختلفی وجود دارد. از جمله، سالمی و افیونی (۱۳۸۳) بیان نمودند که تنش کم آبی موجب کاهش ارتفاع ساقه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، زیست توده و شاخص برداشت در ارقام مختلف گندم گردید. از طرفی مصرف نانوذرات کیتوزان در هر دو رژیم آبیاری، موجب افزایش زیست توده و شاخص برداشت گردید (جز در تنش خشکی که موجب کاهش شاخص برداشت گردید).

مکانیسم عمل کیتوزان روی رشد ناشناخته باقی مانده است. اثر کیتوزان بر بهبود رشد گیاه می‌تواند به دلیل بهبود فتوسنتز، افزایش جذب آب و عناصر ضروری و کاهش تجمع رادیکال‌های آزاد اکسیژن از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانت باشد (Guan *et al*., 2009). در پژوهشی، نتایج مصرف خاکی کیتوزان روی رشد و عملکرد سویا، برنج، سیب زمینی، کاهو و تربچه نشان داد که کیتوزان شدیداً بر رشد گیاهان مؤثر است. کاربرد ۰/۵ درصد کیتوزان برای رشد سویا و برنج مناسب بود، اما غلظت ۰/۱ درصد آن بیشتر روی کاهو و سیب زمینی مؤثر بود (Chibu and Shibayama, 2001).

نتیجه گیری

نتایج بدست آمده نشان داد که مصرف نانوذرات کیتوزان در هر دو رژیم آبیاری منجر به تغییرات معنی‌داری در بیشتر صفات مورد بررسی نسبت به شاهد (بدون مصرف نانوذرات) گردید که این حاکی از اثربخشی این ترکیب طبیعی بخصوص در شرایط تنش خشکی می‌باشد. بنابراین، با توجه به ماهیت طبیعی و داشتن مزایایی از جمله ایمن و زیست تجزیه پذیر بودن این ترکیب در مقایسه با ترکیبات شیمیایی متداول که به منظور افزایش مقاومت به خشکی در گیاهان استفاده می‌شوند، می‌تواند جایگزین مناسبی برای این ترکیبات شیمیایی باشد. اما تجاری نمودن این ترکیب برای مصرف گسترده‌ی آن نیاز به آزمایشات تکمیلی در این خصوص دارد.

منابع

احمدی، ع. و بیکر، د. آ. (۱۳۷۵) اثر تنش خشکی بر انتقال مواد فتوسنتزی در گندم. چکیده‌ی مقالات چهارمین کنگره‌ی زراعت و اصلاح نباتات، اصفهان، ایران.

سالمی، ح. ر. و افیونی، د. (۱۳۸۳) کم آبیاری به منظور انتخاب ارقام گندم مقاوم به خشکی (مناطق خشک و نیمه خشک)، مجله خشکی و خشکسالی کشاورزی۱۲: ۹۳-۸۶.

ممتازی، ف. (۱۳۹۰) واکنش ارقام مختلف گندم به تنش خشکی بعد از گلدهی. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی ۳: ۱۷-۱.

کافی، م. و رستمی، م. (۱۳۸۸) اثر تنش خشکی بر عملکرد، اجزای عملکرد و درصد روغن ارقام گلرنگ در شرایط آبیاری با آب شور. مجله پژوهشهای زراعی ایران ۱: ۱۳۲-۱۲۱.

کردوانی، پ. (۱۳۷۸) مناطق خشک. جلد اول: ویژگیهای اقلیمی علل خشکی و مسائل آب ایجاد شهرک و مسکن و نیز راههای رساندن خدمات به روستاها (عمومی و ایران).. انتشارات دانشگاه تهران.

Alonso, R., Elvira, S., Castillo, F. J. and Gimeno, B. S. (2001) Interactive effects of ozone and drought stress on pigments and activities of antioxidative enzymes in *Pinus halepensis*. Plant, Cell and Environment 24: 905-916.

Araus, L. A., Slafer, G. A., Reynolds, M. P. and Royo, C. (2002) Plant breeding and drought in C3 cereals: what should we breed for? Annals Botany 89: 925-940.

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

Ashraf, M. Y., Azmi, A. R., Khan, A. H. and Ala, S. A. (1994) Effect of water stress on total phenols, peroxidase activity and chlorophyll content in wheat. Acta Physiologiae Plantarum 16: 185-191.

Bittelli, M., Flury, M., Campbell, G. S. and Nichols, E. J. (2001). Reduction of transpiration through foliar application of chitosan. Journal of Agricultural and Forest Meteorology 107: 167-175.

Blum, A. and Ebercon, A. (1976) Genotypic responses in sorghum to drought stress. III. Free proline accumulation and drought resistance. Crop Science 16: 428-431.

Boonlertnirun, S., Boonraung, C. and Suvanasara, R. (2008) Application of chitosan in rice production. Journal of the Minerals Metals and Materials Society 18: 47–52.

Brevedan, R. E. and Egli, D. B. (2003) Short periods of water stress during seed filling, leaf senescence, and yield of soybean. Crop Science 43: 2083-2088.

Brownlee, C. (2001) The long and the short of stomatal of density signals. Trends in Plant Science 6: 441- 442.

Chibu, H. and Shibayama, H. (2001) Effects of chitosan applications on the growth of several crops. In: Chitin and Chitosan in Life Science (eds.Uragami, T., Kurita, K. and Fukamizo T.), Yamaguchi.

Chmielewski, A. G., Migdal, W., Swietoslawski, J., Jakubaszek, U. and Tarnowski, T. (2007) Chemical radiation degradation of natural oligoamino-polysaccharides for agricultural application. Radiation Physics and Chemistry 76: 1840-1842.

Dutta, P. K., Dutta, J. and Tripathi, V. S. (2004) Chitin and chitosan: Chemistry, properties and applications. Journal of Scientific and Industrial Research 63: 20-31.

Dzung, N. A. (2007) Chitosan and their derivatives as prospective bio substances for developing sustainable ecoagriculture. In: Advances in Chitin Science (Eds. Senel, S. Varum, K. M. Sumnu, M. and Hincal,M. A. A.) Antalya, Turkey.

Dzung, N. A. and Thang, N. T. (2004) Effect of oligoglucosamine on the growth and development of peanut (*Arachis hypogea* L.). In Proceedings of the Sixth Asia-Pacific on Chitin, Chitosan Symposium (eds. Khor, E. Hutmacher, D. Yong, L. L.) Singapore.

Dzung, N. A., Phuong Khanh, V. T. and Dzung, T. T. (2011) Research on impact of chitosan oligomers on biophysical characteristics, growth, development and drought resistance of coffee. Carbohydrate Polymer 84: 751–755.

Gautam, P. P., Fritz, A. K., Kirkham, M. B. K. and Gill, B. (2011) Response of Aegilops species to drought stress during reproductive stages of development. Fundamental for Life, Soil, Crop and Environmental Sciences. International Annual Meetings 6: 16-19.

Gornik, K., Grzesik, M. and Duda, B. R. (2008) The Effect of chitosan on rooting of grapevine cuttings and on subsequent plant growth under drought and temperature stress. Journal of Fruit and Ornamental Plant Research 16: 333-343.

Grill, E. and Ziegler, H. (1998) A plants dilemma. Science 282: 252-253.

Guan, Y. J., Hu, J., Wang, X. J. and Shao, C. X. (2009) Seed priming with chitosan improves maize stress germination and seedling growth in relation to physiology changes under low temperature. Journal of Zhejiang University Science 10: 427-433.

Guttieri, M. J., Stark, J. C., O'Brien, K. and Souza, E. (2001) Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit. Crop Science of America 41: 327-335.

Hirano, S. (1996) Chitin biotechnology applications. Biotechnology Annual Review 2: 237–258.

Huffaker, R.C., Radin, T., Kleinkopfig, E. and Cox, E. L. (1970) Effect of mild water stress on enzyme of nitrate assimilation and of the carboxylative phase of photosynthesis in barley. Crop Science 10: 471-474.

Jaleel, C. A., Manivannan, P. Wahid, A. Farooq, M. Somasundaram, R. and Panneerselvam, R. (2009) Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. International Journal of Agriculture and Biology 11: 100-105.

Kobata, T. J., Palta, J. A. and Turner, N. C. (1992) Rate of development of postanthesis water deficits and grain filling of spring wheat. Crop Science 32: 1238-1242.

Li, B., Wang, X., Chen, R., Huangfu, W., Xie, G. L. (2008) Antibacterial activity of chitosan solution against *Xanthomonas* pathogenic bacteria isolated from *Euphorbia pulcherrima*. Carbohydrate Polymers 72: 287-292.

Liang, Z., Zhang, F., Shao, M. and Zhang, J. (2002) The relations of stomatal conductance, water consumption, growth rate to leaf water potential during soil drying and rewatering cycle of wheat (*Triticum aestivum* L.). Botanical Bulletin- Academia Sinica 43: 187-192.

Limpanavech, P., Chaiyasuta, S., Vongpromek, R., Pichyangkura, R., Khunwasi, C., Chadchawan, S et al. (2008) Chitosan effects on floral production, gene expression, and anatomical changes in the Dendrobium orchid. Scince Horticulture 116: 65-72.

Luo, Y. (1991) Changes of Ci /Ca in association with stomatal or no stomatal limitation to photosynthesis in water stressed Abutilon theophrasti. Journal of Photosynthetica 25: 273-279.

Mahdavi, B. and Rahimi, A. (2013) Seed priming with chitosan improves the germination and growth performance of ajowan (*Carum copticum*) under salt stress. EurAsian Journal of Biosciences 7: 69-76.

Martinez, D. E., Luquez, V. M., Bartoli, C. G. and Guiamet, J. J. (2003) Persistence of photosynthetic components and photochemical efficiency in ears of water-stressed wheat (*Triticum aestivum*). Plant Physiology 119: 1-7.

Munne-Bosh, S., Jubany-Mari, T. and Alegre, L. (2001) Drought induced senescence is characterized by a loss of antioxidant defenses in chloroplasts. Plant, Cell and Environment 24: 1319-1327.

Ogbonnaya, C. I., Sarr, B., Brou, C., Diouf, O., Diop, N. N. and Macauley, H. R. (2003) Selection of cowpea genotypes in hydroponics, pots, and field for drought tolerance. Crop Science 43:1114–1120.

Ramos-Garcia, M., Ortega-Centeno, S., Hernandes-Lauzardo, A. N. Alia-Tejacal, I., Bosquez-Molina, E. and Bautista-Banos, S. (2009) Response of gladiolus (*Gladiolus* spp) plants after exposure corms to chitosan and hot water treatments. Scientia Horticulturae 121: 480–484.

Reddy, A. R., Chaitany, K. V. and Vivekanandan, M. (2004) Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Journal of Plant Physiology 161: 1189-1202.

Ribas-Carbo, M., Taylor, N., Giles, L., Busquets, S., Finnegan, P. M., Day, D. A., Lambers, H., Medrano, H., Berry, A. J. and Flexas, J. (2005) Effects of water stress on respiration in Soybean leaves. Plant Physiology 139: 466-473.

Richards, R. A., Candon, A. G. and Rebetzke, G. J. (2001) Traits of improve yield in dry environments. In: Application of Physiology in Wheat Breeding (eds. Reynolds, M. P., O rtiz-Monasterio, J. U., Mcnab, A.) Pp. 240. Mexico, Cimmyt.

Saeedi, M., Moradi, F., Ahmadi, A., Sepehri, R., Najafiyan, G. and Shabani, A. (2010) Effect of terminal drought stress on physiological characteristics and source-sink relations in two bread wheat cultivars (*Triticum aestivum* L). Iranian Journal of Crop Sciences 12: 392-408.

Sarathchandra, R. G. and Jaj, S. N. (2004) A chitosan formulation alexa induce downy mildew disease resistance and growth promotion in pearl millet. Crop Protection 23: 881–888.

Sheikha, S. A. K. and AL-Malki, F. M. (2009) Growth and chlorophyll responses of bean plants to the chitosan applications. European Journal of Scientific Research 50: 124-134.

Siddique, M. R. B., Hamid, A. and Islam, M. S. (1999) Drought stress effects on photosynthetic rate and leaf gas exchange of wheat. Journal of Botany 40: 141-145.

Uthairatanakij, A., Texeira Da Silva, G. A. and Obsuwan, K. (2007) Chitosan for improving orchid production and quality. Orchid Science and Biotechnology 1: 1-5.

Valladares, F. and Pearcy, R. W. (1997) Interactions between water stress, sun-shade acclimation, heat tolerance and photoinhibition in the *Sclerophyll heteromeles arbutifolia*. Plant, Cell and Environmental 20: 25-36.

Yan-Jun, D., Zi-Zhen, L. and Wen-Long, L. (2006) Effect of different water supply regimes on growth and size hierarchy in spring wheat populations under mulched with clear plastic film. Agricultural Water Management 79, 265-279.

Zhang, K. and John, P. C. L. (2005) Raised level of cycling dependent kinase A after prolonged suspension culture of *Nicotiana plumbaginifolia* is associated with more rapid growth and division, diminished cytoskeleton and lost capacity for regeneration: implications for instability of cultured plant cells. Plant Cell Tissue and Organ Culture 82: 295-308.

The effect of foliar and soil application of chitosan nanoparticles on chlorophyll, photosynthesis, yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought stress after pollination

Faride Behboudi[1], Zeinolabedin Tahmasebi Sarvestani[1]*, Mohamad Zaman Kassaee[2], Seyed Ali Mohamad Modares Sanavi[1], Ali Sorooshzadeh[1]

[1]Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University
[2]Department of Chemistry, Collage of Sciences, Tarbiat Modares University
(Received: 01/06/2017, Accepted: 13/01/2018)

Abstract

To evaluate the effect of chitosan NPs on wheat under late season drought stress, a factorial experiment was performed based on a randomized complete block design in three replications under pot conditions at Tarbiat Modares University in 2015 .The experimental factors included the NPs concentrations (0, 30, 60 and 90 mg.L $^{-1}$), application methods (foliar and soil application) and irrigation regimes) normal irrigation and removal of irrigation 15 days after pollination .(Experimental procedure included planting seeds and then prepared chitosan NPs suspension added to them through soil and foliar application in three stages (tillering, stem elongation and heading .(Results indicated that the drought stress significantly decreased amount of carotenoid, chlorophyll a, b, total, photosynthesis, stomatal conductance, transpiration ,yield, 1000- grain weight as well as biomass but increased intercellular CO_2 concentration (Ci .(In the most studied traits ,no significant difference was observed between consumption methods of nanoparticles. In both irrigation regimes, applying NPs especially concentration of 60 and 90 mg.L $^{-1}$ significantly improved the majority of the studied traits .In general, application of chitosan NPs reduced negative effects of drought stress in wheat plants and improved growth.

Key words: Transpiration, Soil application, Yield, Carotenoid, Chitosan, Foliar

***Corresponding author, Email: tahmaseb@modares.ac.ir**