

تأثیر محلول نانوکلات پتاسیم بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گندم تحت تنش خشکی

زهرا بزرگوار^۱، علیرضا قاسمیان^{۲*}، سیده یلدا رئیسی ساداتی^۳، اسداله اسدی^۴، سید مهدی رضوی^۵، سدابیه جهانبخش^۶
او^۲ و^۵ به ترتیب دانش آموخته فیزیولوژی گیاهی، استادیار، دانشیار و استاد گروه زیست‌شناسی دانشگاه محقق اردبیلی،
۳ و ۶- دانشجوی دکتری و دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه محقق اردبیلی
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۴/۲۵ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۸/۵)

چکیده

از آنجایی که پتاسیم نقش بسزایی در فعالیت‌های حیاتی گیاه داشته و جزو مهارکننده‌های اثرات مخرب ناشی از تنش خشکی می‌باشد. به منظور بررسی تأثیر نانوکلات پتاسیم بر برخی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گندم در شرایط تنش خشکی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار به صورت کشت گلدانی در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل فاکتور اول تنش خشکی در سه سطح پتانسیل اسمزی (۸-، ۴- و صفر بار)، فاکتور دوم ارقام گندم (رصد و گاسکون) و فاکتور سوم شامل نانوکلات پتاسیم (عدم کاربرد نانوکلات پتاسیم، ۳۵ و ۶۵ میلی‌گرم در لیتر) بود. محلول پاشی نانوکلات پتاسیم و تنش خشکی با پلی اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ به‌طور همزمان به گیاهان در مرحله‌ی سه تا پنج برگی به مدت پنج روز اعمال شد و سپس نمونه برداری از نمونه‌های شاهد و تیماری انجام گرفت. محلول پاشی نانوکلات پتاسیم موجب افزایش مقدار رنگدانه‌های فتوسنتزی، شاخص کلروفیل برگ، عملکرد کوانتومی، ارتفاع اندام‌های هوایی و زمینی، وزن خشک و تر ساقه و ریشه گردید. تنش خشکی موجب کاهش عملکرد کوانتومی، مقادیر کلروفیل a، b و کلروفیل کل و میانگین طول ساقه، طول میانگره، طول برگ، طول ریشه و همچنین موجب کاهش وزن تر و خشک ساقه شد. بین ارقام مورد مطالعه رقم گاسکون واکنش مناسب‌تری نسبت به تنش خشکی تحت محلول پاشی نانوکلات پتاسیم نشان داد که نشان دهنده تحمل بیشتر این رقم نسبت به تنش خشکی است. بطور کلی کاربرد نانوکلات پتاسیم در غلظت ۳۵ میلی‌گرم در لیتر موجب تعدیل اثرات مخرب تنش خشکی روی صفات مورد اندازه‌گیری شده و موجب افزایش سازوکارهای دفاعی گیاه بخصوص بهبود سیستم فتوسنتزی گیاه گردید.
واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، رنگیزه‌های فتوسنتزی، فلورسانس، گندم نان، نانوکلات پتاسیم.

Effect of nano-chelated potassium solution on some physiological and morphological characteristics of wheat under drought stress

Zahra. Barzegari¹, Alireza. Gasemian^{2*}, Seyed Yalda. Raeesi sadati³, Asadollah. Asadi⁴, Seyed Mehdi. Razavi⁵, Soodabeh. Jahanbakhsh⁶

1,2,4,5., Department of Biology, Faculty of Science, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.
3,6. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.

(Received: July 15, 2020 - Accepted: October 26, 2020)

ABSTRACT

Since potassium plays an important role in the vital activities of the plant and is one of the inhibitors of the destructive effects of drought stress. In order to investigate the effect of potassium nano-chelated on some physiological and morphological characteristics of wheat in drought stress conditions, a factorial experiment in the form of a completely randomized basic design with three replications was performed in potted culture in the greenhouse of Mohaghegh Ardabili University. The factors include the first factor of drought stress at three levels of osmotic potential (0, -4 and -8 Bar), the second factor of wheat cultivars (Rasad and Gascogn) and the third factor including nano-chelated potassium (non-application of nano-chelated potassium, 35 and 65 mg / liter). Foliar application of nano-chelated potassium and drought stress with polyethylene glycol 6000 was applied simultaneously to plants in three to five leaves stage for five days and then samples were taken from control and treated samples. Foliar application of nano-chelated potassium increased the amount of photosynthetic pigments, leaf chlorophyll index, quantum yield, height of aerial and terrestrial organs, dry and wet weight of stems and roots. Drought stress reduced maximum fluorescence, quantum yield, chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll and the average stem length, internode length, leaf length, root length and also reduced wet and dry stem weight. Among the studied cultivars, the highest amount of measured physiological and morphological traits under drought condition was related to Gascogn cultivar. In other words, this cultivar showed a better response to drought stress under foliar application of potassium nano-chelated, which indicates greater tolerance of this cultivar to drought stress. In general, the application of nano-chelated potassium at a concentration of 35 mg / l moderated the damaging effects of drought stress and increased plant defense mechanisms, especially improving the plant's photosynthetic system.

Keywords: Drought stress, fluorescence, photosynthetic pigments, nano-chelated potassium, wheat bread.

* Corresponding author E-mail: a_ghasemian@uma.ac.ir

مقدمه

مقاومت گیاهان به خشکی افزایش غلظت کلروفیل، کربن‌گیری در گیاه، فعال‌سازی آنزیم‌ها و ساخت پروتئین‌ها نقش عمده‌ای دارد. در گیاهانی که پتاسیم به مقدار کافی وجود دارد، فعالیت روزنه‌ها به خوبی کنترل می‌شود؛ به عبارت دیگر، مکانیسم باز و بسته شدن روزنه‌ها کاملاً به جریان پتاسیم وابسته است. افزایش مقدار غلظت پتاسیم باعث تأثیر مثبت در فتوسنتز، افزایش تعداد روزنه‌ها، تقویت سنتز آدنوزین تری فسفات (ATP) و NADPH، افزایش سنتز کلروفیل a و b و افزایش سرعت انتقال مواد از ته به دانه‌ها در غلات می‌گردد (Zheng et al., 2008).

استفاده از نانوکودها به منظور کنترل دقیق آزادسازی عناصر غذایی می‌تواند گامی مؤثر در جهت دستیابی به کشاورزی پایدار و سازگار با محیط زیست باشد (Vattani et al., 2012). نانوکودها ذراتی در ابعاد نانومتر هستند که مواد مغذی را آزاد کرده و در اختیار گیاه قرار می‌دهند (Solanki et al., 2015). از آنجایی که با به‌کارگیری نانو کودها زمان و سرعت رهاسازی عناصر با نیاز غذایی گیاه منطبق و هماهنگ می‌شود، لذا گیاه قادر به جذب بیشترین مقدار مواد غذایی بوده و در نتیجه ضمن کاهش آبشویی عناصر، عملکرد محصول نیز افزایش می‌یابد. با به‌کارگیری فناوری نانو در بهینه کردن فرمولاسیون کودهای شیمیایی می‌توان به دستاوردهای شگرفی از جمله کاهش مصرف انرژی، صرفه‌جویی در هزینه‌های تولید و جلوگیری از معضلات زیست‌محیطی نائل آمد (Tavan et al., 2014).

با توجه به اینکه قسمت عمده‌ای از سطح زیر کشت گندم ایران به صورت دیم بوده و در معرض تنش کم‌آبی قرار دارد، بررسی تغییرات مورفولوژیک و فیزیولوژیک که در پاسخ به تنش کم‌آبی بروز می‌کند، به منظور بهبود مقاومت گیاهان در برابر تنش خشکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. همچنین با توجه به اینکه عنصر پتاسیم در تنظیم سازگاری در برابر تنش خشکی مؤثر است و از سوی دیگر اخیراً کاربرد نانوکودها به عنوان راه‌کاری در جهت کاهش مصرف مواد شیمیایی در سیستم‌های زراعی مطرح شده است، لذا هدف از این پژوهش بررسی تعدیل اثرات مخرب کم‌آبی با به‌کارگیری نانوکلات

ایران با متوسط بارندگی ۲۴۰ میلی‌متر در سال جزو مناطق خشک به حساب می‌آید (Emam, 2013). همزمان با افزایش دمای هوا و کمبود آب، رشد گیاه تحت تاثیر تنش خشکی قرار گرفته و از پتانسیل تولید کاسته می‌شود (Joudi et al., 2014). درجه حرارت بالا تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی دارد که به نوبه خود بر فعالیت فتوسنتزی گیاه گندم تأثیر می‌گذارد (Djanaguiraman et al., 2018). تنش کم‌آبی باعث تولید اکسیژن فعال، آسیب دیدن غشای سلولی، تخریب رنگدانه‌ها و کاهش غلظت کلروفیل b و a می‌شود. تنش یاد شده اثر بسیار بارزی در مرحله‌ی پر شدن دانه‌ها دارد؛ زیرا عملکرد بالقوه بستگی به وزن هر دانه دارد که مستلزم تجمع مواد فتوسنتزی در دانه‌ها است (Pgter et al., 2005).

یکی از عوامل محدودکننده فتوسنتز در تنش خشکی، بسته شدن روزنه‌ها است؛ زیرا آماس سلول‌های محافظ روزنه‌ها به مقدار آب بستگی دارد. کاهش و یا توقف سنتز رنگیزه‌های فتوسنتزی نیز جزو عوامل محدود کننده فتوسنتز است. فتوسنتز یکی از اصلی‌ترین فرایندهای متابولیکی است که بر بازده غلات تأثیر می‌گذارد. بنابراین فعالیت فتوسنتز خالص و محتوای کلروفیل شاخص‌های مهم سازگاری گندم با تنش گرما و سایر عوامل تنش‌زای غیر زنده هستند (Khan et al., 2013).

بررسی مکانیسم‌هایی که گیاهان را قادر می‌سازد تا با تنش خشکی سازش پیدا کنند و رشدشان را تحت آن شرایط حفظ نمایند، می‌تواند در انتخاب ارقام مقاوم به خشکی برای کشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک کمک کند (Shetabi, 2016). تنش خشکی در بعضی گیاهان از جذب و انتقال k^+ جلوگیری می‌نماید. در این گیاهان مقاومت به خشکی ضعیف بوده و حساسیت بیشتری مشاهده می‌شود (Shabala & Cuin, 2008).

فراهم نمودن عناصر غذایی از طریق تأثیر بر فرآیندهای رشد گیاه زراعی، می‌تواند موجب افزایش عملکرد گیاه گردد (Baghai & Maleki Farahani, 2014). پتاسیم یکی از مهم‌ترین کاتیون‌های مورد نیاز گیاه است که هنگام تنش اسمزی تجمع می‌یابد و در

کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل هستند، A_{۶۶۳/۲} جذب در طول موج ۶۶۳/۲ نانومتر و A_{۶۴۶/۸} جذب در طول موج ۶۴۶/۸ نانومتر است.

تحت شرایط گلخانه‌ای، هر چهار روز یک بار از هر تیمار به‌طور تصادفی ۳ برگ کاملاً توسعه یافته انتهایی گیاه (در فاصله زمانی ساعت ۱۰-۸ صبح) انتخاب و بعد از ۲۰ دقیقه تاریکی توسط گیره‌های مخصوص، ویژگی‌های فلورسانس کلروفیل برگ شامل F_o (حداقل فلورسانس از برگ سازگار شده با تاریکی)، F_M (میزان فلورسانس حداکثر، بعد از تابیدن یک پالس نور اشباع بر روی گیاه سازگار شده به تاریکی) و F_v (فلورسانس متغیر از برگ سازگار شده با تاریکی که برابر تفاوت بیش‌ترین و کم‌ترین حد فلورسانس است)، توسط دستگاه فلورسانس کلروفیل (مدل OS-30p، شرکت آپتی‌ساینس، آمریکا) قبل و بعد از اعمال تیمار نانوکلات پتاسیم و تنش خشکی در فواصل زمانی هر چهار روز یک‌بار اندازه‌گیری شدند و F_v/F_M یا به‌عبارت دیگر میزان عملکرد کوآنتومی فتوسیستم II محاسبه شد (Kheirizadeh Arough *et al.*, 2016).

اندازه‌گیری برخی صفات مورفولوژیک: طول ساقه، طول میان‌گره، طول برگ و طول ریشه پس از خارج نمودن گیاهچه‌ها از بستر کشت با خط کش اندازه‌گیری شدند. در پایان ریشه‌ها از اندام‌های هوایی جدا شدند و وزن هر کدام به‌طور جداگانه توسط ترازوی دیجیتال ثبت گردید. سپس اندام‌های مذکور به‌مدت ۴۸ ساعت درون آون و در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و سپس با ترازوی دیجیتال با دقت میلی‌گرم وزن شدند. تجزیه و تحلیل داده‌ها با کمک نرم افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۰.۵٪ و رسم نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد اثرهای متقابل سه عامل رقم × نانوکلات پتاسیم × تنش خشکی برای کلروفیل b در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. همچنین برهم‌کنش تنش خشکی × نانوکلات پتاسیم برای صفات کلروفیل a و کلروفیل کل به ترتیب در

پتاسیم در غلظت‌های مذکور و انتخاب رقم متحمل‌تر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم و تنش خشکی در گندم، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه و آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل فاکتور اول تنش خشکی در سه سطح پتانسیل اسمزی (۸-، ۴- و صفر بار)، فاکتور دوم ارقام گندم نان (رصد و گاسکوبین) و فاکتور سوم شامل نانوکلات پتاسیم (عدم کاربرد نانوکلات پتاسیم، ۳۵ و ۶۵ میلی‌گرم در لیتر) بود. محلول‌پاشی با نانوکلات پتاسیم در مرحله سه تا پنج برگی اعمال شد (برای هر گیاهچه ۵ سانتی‌متر مکعب). برای اعمال تنش خشکی پلی‌اتیلن گلیکول (PEG6000) در سه سطح پتانسیل اسمزی (۸-، ۴- و صفر بار) در محلول هوکلند حل گردید و به گلدان‌های آزمایشی افزوده شد. گیاهچه‌ها در مرحله سه تا پنج برگی به‌مدت ۵ روز هم‌زمان تحت تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی قرار گرفتند و سپس نمونه‌برداری گیاه به شکل کامل (اندام هوایی و ریشه) انجام شد و نمونه‌های شاهد و تیمار جهت بررسی برخی صفات فیزیولوژیکی در فریزر و تحت دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

اندازه‌گیری برخی صفات فیزیولوژیکی: مقدار کلروفیل برگ و کارتنوئید با استفاده از روش Arnon (1976) سنجش شد و طبق روابط ۱، ۲ و ۳ برای هر تیمار غلظت کلروفیل a، b و کلروفیل کل بر حسب میلی‌گرم بر میلی‌لیتر عصاره گیاهی تعیین و سپس نتایج بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ محاسبه شد.

$$\text{Chla} = 12.25 \times A_{663.2} - 2.79 \times A_{646.8} \quad \text{رابطه ۱}$$

$$\text{Chlb} = 21.21 \times A_{646.8} - 5.1 \times A_{663.2} \quad \text{رابطه ۲}$$

$$\text{ChIT} = \text{Chla} + \text{Chlb} \quad \text{رابطه ۳}$$

$$\text{CX} = (1000A_{470} - 1.82Ca - 85.02Cb) / 198 \quad \text{رابطه ۴}$$

در فرمول فوق Chla، Chlb و ChIT به‌ترتیب غلظت

سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود. برهم‌کنش رقم × تنش خشکی فقط در فلورسانس حداکثر اثر معنی‌دار داشت (جدول ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف نانوکلات پتاسیم و تنش خشکی بر صفات فلورسانس حداکثر، حداکثر و عملکرد کوآنتومی و برخی رنگی‌های فتوسنتزی در گندم

Table 1. Variance analysis of the effects of different levels of potassium nano chelates and drought stress on minimum and maximum fluorescences and quantum yield and some photosynthetic pigments in wheat

SOV	Df	Means of square (MS)						
		Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total Chlorophyll	Carotenoid	primary fluorescence	High fluorescence	quantum yield
cultivar	1	143.44 **	1.345 *	287.45 ns	1.482 **	0.030 ns	99.80 ns	0.060 *
stress	2	0.861 ns	0.272 ns	6.704 ns	0.325 *	0.272 ns	96.90 ns	0.045 *
nano -chelated	2	2.40 ns	0.129 ns	2.151 ns	0.090 ns	0.193 ns	12.42 ns	0.018 ns
cultivar × stress	2	0.329 ns	0.313 ns	6.837 ns	0.016 ns	0.044 ns	107.35 *	0.024 ns
cultivar × nano -chelated	2	5.633 ns	0.352 *	16.88 ns	0.040 ns	0.217 ns	3.54 ns	0.002 ns
Stress × nano -chelated	2	12.465 **	0.128 ns	18.231 *	0.024 ns	0.648 ns	19.86 ns	0.008 ns
Trilateral effects	4	1.44 ns	0.355 *	4.656 ns	0.031 ns	0.359 ns	4.711 ns	0.003 ns
Error	36	3.066	0.103	7.769	0.063	0.487	32.44	0.015
cv%	-	16.1	16.3	18.4	14.7	14.9	14.7	13.8

ns, **, * : به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد.

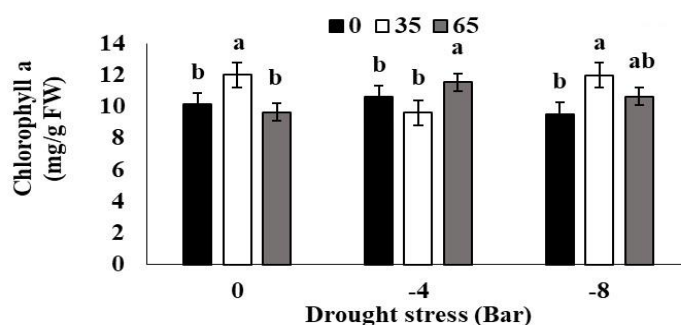
ns, ** and *: non significant and significant at 1% and 5% of probability levels, respectively.

غلظت کلروفیل a برگ:

غلظت کلروفیل a در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر رقم و اثر متقابل تنش خشکی × نانوکلات پتاسیم قرار گرفت (جدول ۱). رقم گاسکونین با میانگین ۱۲/۴۲ میلی گرم بر گرم در مقایسه با رقم رصد با میانگین ۹/۱۶ میلی گرم بر گرم غلظت کلروفیل a بالاتری از خود نشان داد. همچنین برهم‌کنش تنش خشکی × نانوکلات پتاسیم نشان داد در اثر تنش غلظت کلروفیل a کاهش یافته و نانوکلات پتاسیم نیز بر اساس سطح تنش نتیجه متفاوتی داشت. محلول پاشی نانوکلات پتاسیم با غلظت ۳۵ میلی گرم بر لیتر موجب افزایش کلروفیل a گردید؛ به طوری که در تنش ملایم اختلاف معنی‌دار با گروه شاهد مشاهده نمی‌شود و با رسیدن تنش به ۸- بار بالاترین غلظت این رنگی‌زه ملاحظه شد. کاربرد ۶۵ میلی گرم بر لیتر تحت تنش خشکی موجب افزایش این رنگی‌زه گردید (شکل ۱).

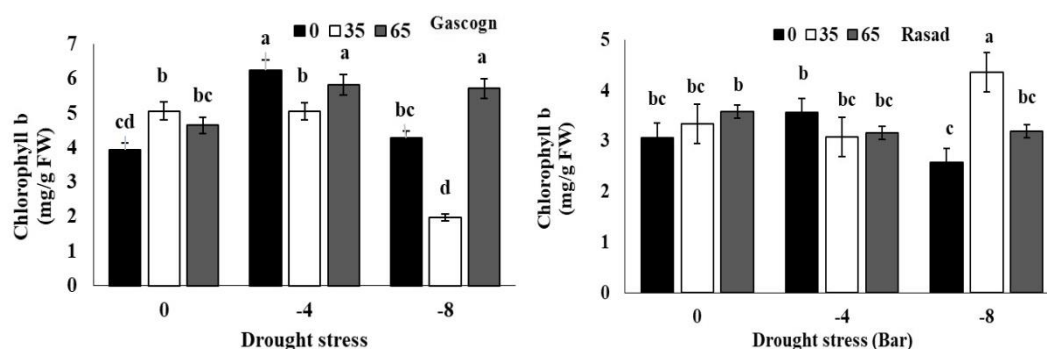
غلظت کلروفیل b:

اثر متقابل سه‌جانبه رقم × تنش خشکی × نانوکلات پتاسیم در سطح احتمال پنج درصد بر غلظت کلروفیل b معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین تنش خشکی × نانوکلات پتاسیم نشان داد که در رقم رصد، در شرایط عدم استفاده از نانوکلات، سطوح پایین تنش موجب افزایش غلظت کلروفیل b شده ولی با شدت یافتن تنش غلظت کلروفیل b کاهش پیدا کرد، در حالی که با کاربرد ۳۵ میلی گرم بر لیتر نانوکلات غلظت کلروفیل b در تنش ۸- بار افزایش پیدا کرده و نیز مصرف ۶۵ میلی گرم بر لیتر موجب کاهش این رنگدانه شد (شکل ۲)؛ در حالی که در رقم گاسکونین کاربرد ۳۵ میلی گرم بر لیتر نانوکلات در تنش ۸- بار موجب کاهش غلظت کلروفیل b شد، ولی مصرف ۶۵ میلی گرم بر لیتر نانوکلات موجب افزایش این رنگدانه در تنش ۸- بار شد (شکل ۲).



شکل ۱- اثر متقابل رقم و تنش خشکی بر تغییرات غلظت کلروفیل a. حروف متفاوت در هر سطح از تنش خشکی، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد می‌باشد.

Figure 1. Interaction effects of cultivar \times drought stress on changes of chlorophyll a content. Different letters in each drought stress level show significant difference at 5% level.



شکل ۲- تغییرات غلظت کلروفیل b تحت اثر متقابل نانوکلات \times تنش \times رقم.

حروف متفاوت در هر سطح از تنش خشکی، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد می‌باشد.

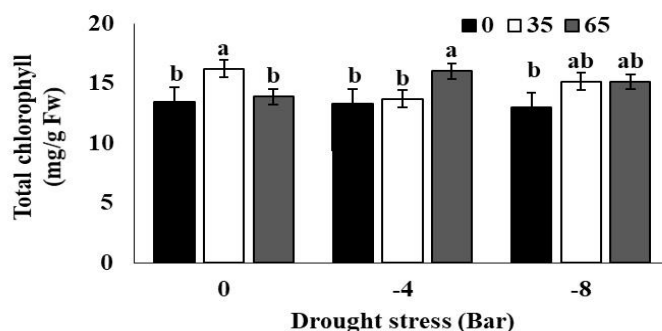
Figure 2. Interaction effects of nano-chelate \times stress \times cultivar on changes of chlorophyll b content. Different letters in each drought stress level show significant difference at 5% level.

غلظت کاروتنوئیدها

غلظت کاروتنوئیدها: نتایج مقایسه میانگین نشان داد غلظت کاروتنوئیدها در رقم گاسکوپین (۳/۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بالاتر از رقم رصد (۲/۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بود. تنش نیز بر غلظت کاروتنوئیدها تأثیر گذار بود، به طوری که با شدت یافتن تنش غلظت این رنگیزه افزایش یافت. در شرایط عدم تنش غلظت کاروتنوئیدها ۲/۷۲ میلی‌گرم بر گرم و تحت تنش ۸- بار به ۳/۲۱ میلی‌گرم بر گرم رسید (شکل ۴).

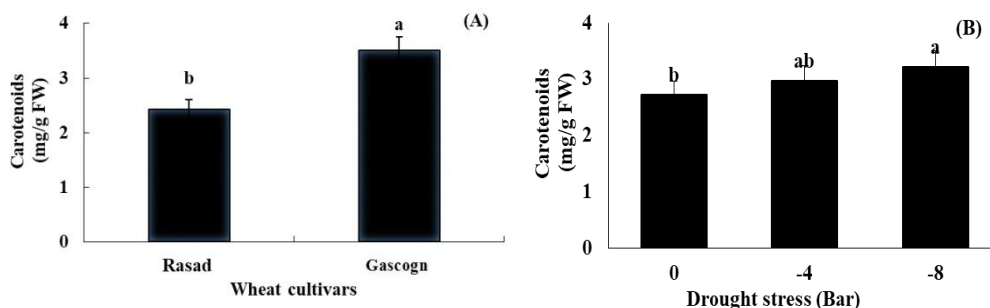
غلظت کلروفیل کل برگ

غلظت کلروفیل کل: تحت تأثیر تنش در نانوکلات در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسات میانگین نشان داد غلظت کلروفیل کل در تنش ملایم افزایش پیدا کرد، اما در تنش شدید نتیجه برعکس بود، همچنین محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم در شرایط تنش موجب کاهش تأثیرات تنش شده به طوری که مصرف ۳۵ میلی‌گرم بر لیتر در تنش ملایم تفاوت معنی‌داری از نظر غلظت کلروفیل کل با شرایط کنترل نداشت، ولی مصرف ۶۵ میلی‌گرم بر لیتر موجب روند افزایشی غلظت کلروفیل کل در شرایط تنش گردید (شکل ۳).



شکل ۳- اثر متقابل تنش خشکی × نانوکلات تغییرات غلظت کلروفیل کل در گندم. حروف متفاوت در هر سطح از تنش خشکی، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد می‌باشد.

Figure 3. Interaction effects of drought stress × nano-chelate on changes total chlorophyll content. Different letters in each drought stress level show significant difference at 5% level.

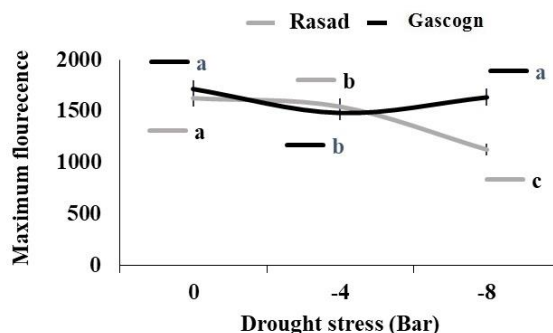


شکل ۴- تغییرات غلظت کاروتنوئیدها در ارقام گندم (A) و تنش خشکی (B). حروف متفاوت در هر نمودار، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد می‌باشد.

Figure 4. Changes in carotenoids content in wheat cultivars and drought stress. Different letters in the same graph represent a significant difference at the 5% level.

نگرفت، اما بررسی مقایسه میانگین فلورسانس حداکثر نشان داد که با افزایش تنش خشکی، غلظت فلورسانس حداکثر در رقم رصد روند نزولی داشت، اما برای رقم گاسکوین این روند صعودی بود (شکل ۵).

فلورسانس حداقل (F₀) و حداکثر (F_m)
در ارقام مورد بررسی، مقدار فلورسانس حداقل تحت تأثیر ترکیب تیماری تنش × محلول‌پاشی نانو کلات پتاسیم قرار



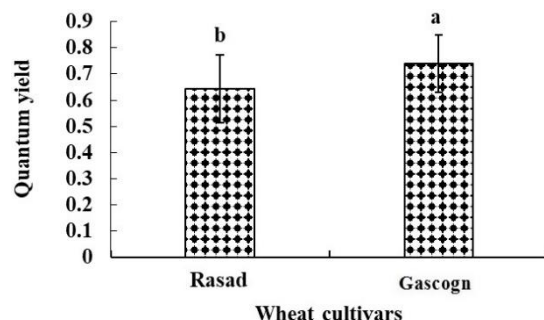
شکل ۵- تغییرات فلورسانس حداکثر ارقام رصد و گاسکوین گندم تحت تنش خشکی.

Figure 5. Maximum fluorescence changes in Rassad and Gascogn wheat cultivars under drought stress.

عملکرد کوآنتمومی (Fv/Fm)

نتایج مقایسه میانگین نشان داد، رقم گاسکوپین (میانگین ۰/۷۳۸) در مقایسه با رقم رصد (میانگین ۰/۶۴۴) از عملکرد کوآنتمومی بالاتری برخوردار بود (شکل ۶).

از مهم‌ترین ویژگی‌های فلورسانس کلروفیل که در تشخیص مدت تنش‌های محیطی کاربرد دارد، کارایی فتوسیستم II می‌باشد که از طریق عملکرد کوآنتمومی سنجش می‌شود (Rahbarian et al., 2012).



شکل ۶- تغییرات عملکرد کوآنتمومی در ارقام رصد و گاسکوپین تحت تنش خشکی.

حروف متفاوت در هر نمودار نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد می‌باشد.

Figure 6- Quantum yield changes in cultivars Rasad and Gascogn under drought stress (B). The different letters in each graph represent a significant difference at the 5% level.

در وزن‌تر و خشک ریشه اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. اثرات متقابل رقم × تنش خشکی بر طول ریشه و نیز تنش خشکی × نانوکلات پتاسیم بر وزن خشک ساقه معنی‌دار بود. اثرهای اصلی رقم، تنش خشکی و نانوکلات روی طول میان‌گره معنی‌دار بود.

بر اساس نتایج جدول ۲، اثرات متقابل سه جانبه رقم × نانوکلات پتاسیم × تنش خشکی بر طول ساقه و طول برگ در سطح احتمال پنج درصد و برای وزن‌تر ساقه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. اما

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم بر طول ساقه، میان‌گره، برگ و ریشه، وزن‌تر و خشک ساقه و ریشه گندم.

Table 2. Variance analysis of the effects of potassium nano chelate solution foliar application and drought stress on stem, internode, leaf and root lengths and wet and dry weight of wheat stem and root.

SOV	Degree of freedom	Means of square (MS)							
		Stem height	internode	Leaf length	Root length	Stem fresh weight	Stem dry weight	Root fresh weight	Root dry weight
cultivar	1	48.167 **	0.375 **	275.98 **	699.84 **	1.85 ns	9.71 *	27.64 ns	0.008 ns
stress	2	0.542 ns	0.253 **	27.94 *	14.90 ns	40.02 **	2.42 ns	21.68 ns	4.59 ns
nano-chelated	2	0.597 ns	0.152 *	0.008 ns	35.18 *	40.23 **	1.40 ns	2.21 ns	2.976 ns
cultivar × stress	2	0.347 ns	0.042 ns	1.69 ns	22.83 *	24.38 *	1.16 ns	2.148 ns	0.731 ns
cultivar × nano-chelated	2	0.292 ns	0.089 ns	4.31 ns	14.45 ns	8.89 ns	5.88 ns	3.69 ns	4.26 ns
Stress × nano-chelated	2	0.910 ns	0.073 ns	8.17 ns	12.08 ns	8.20 ns	6.93 *	12.22 ns	2.026 ns
Trilateral effects	4	1.61 *	0.096 ns	26.24 *	14.09 ns	27.6 **	2.59 ns	9.67 ns	4.06 ns
Error	36	0.500	0.047	7.71	6.72	4.96	2.30	6.46	2.65
cv%	-	11.3	18.3	13.4	14.9	12.7	26.4	23.3	24.1

ns, ** و *: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد.

ns, ** and *: non significant and significant at 1% and 5% of probability levels, respectively.

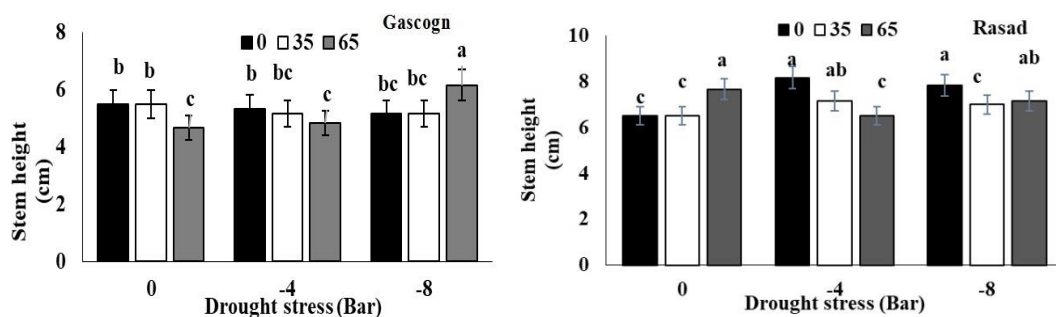
اثرات مثبت نانو کلات پتاسیم کاست (شکل ۷، A). در حالی که در رقم گاسکوپین نتایج متفاوت بود. کاربرد ۶۵ میلی‌گرم بر لیتر نانوکلات پتاسیم تحت تنش شدید تأثیر مثبت بر طول ساقه داشت (شکل ۷، B)، اما بر

طول ساقه و برگ

طول ساقه و برگ: نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد، محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم در رقم رصد اثر مثبتی بر طول ساقه و برگ داشت، ولی تنش خشکی از

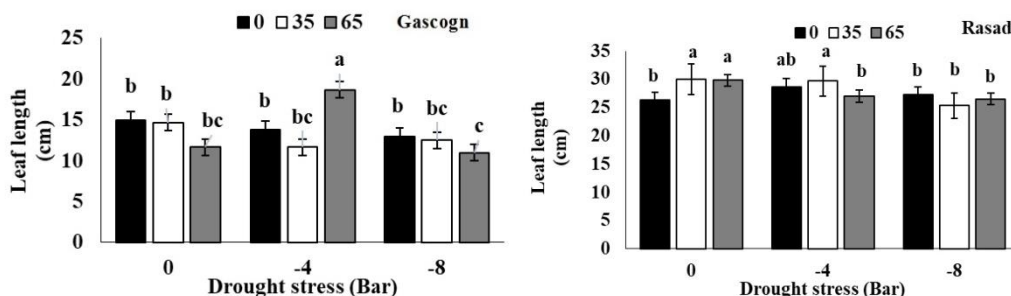
سانتی‌متر) در رقم رصد (تحت تنش ۴- بار و عدم تنش که تفاوت چندانی مشاهده نشد) و اثر متقابل کاربرد نانوکلات و تنش ۸- بار در رقم گاسکوپین به دست آمد (شکل ۸).

طول برگ تأثیر منفی نشان داد (شکل ۸، B)، بیشترین ارتفاع ساقه در رقم رصد تحت شرایط تنش ۴- بار و کاربرد ۶۵ میلی‌گرم بر لیتر نانوکلات و در رقم گاسکوپین به کاربرد ۶۵ میلی‌گرم بر لیتر نانوکلات پتاسیم در تنش ۸- بار تعلق داشت (شکل ۷). همچنین بیشترین و کمترین طول برگ به ترتیب با محلول پاشی ۶۵ میلی-گرم بر لیتر نانوکلات پتاسیم (با میانگین ۱۸/۶۷



شکل ۷- اثر برهم‌کنش نانو کلات × تنش خشکی بر تغییرات ارتفاع ساقه در رقم رصد (A) و گاسکوپین (B). حروف متفاوت در هر نمودار، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد می‌باشد.

Figure 7. Interaction effect of nano-chelates × drought stress on stem height changes in Rasad (A) and Gascogn (B) cultivars. Different letters in the same graph represent a significant difference at 5% level.



شکل ۸- اثر برهم‌کنش نانو کلات × تنش خشکی بر تغییرات طول برگ در رقم رصد (A) و گاسکوپین (B). حروف متفاوت در هر نمودار، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد می‌باشد.

Figure 8. Interaction effect of nano-chelates × drought stress on leaf length changes in Rasad (A) and Gascogn (B) cultivars. Different letters in the same graph represent a significant difference at the 5% level.

ولی کاربرد غلظت بالاتر از آن اثر معنی‌داری نداشت (شکل ۹C).

طول ریشه

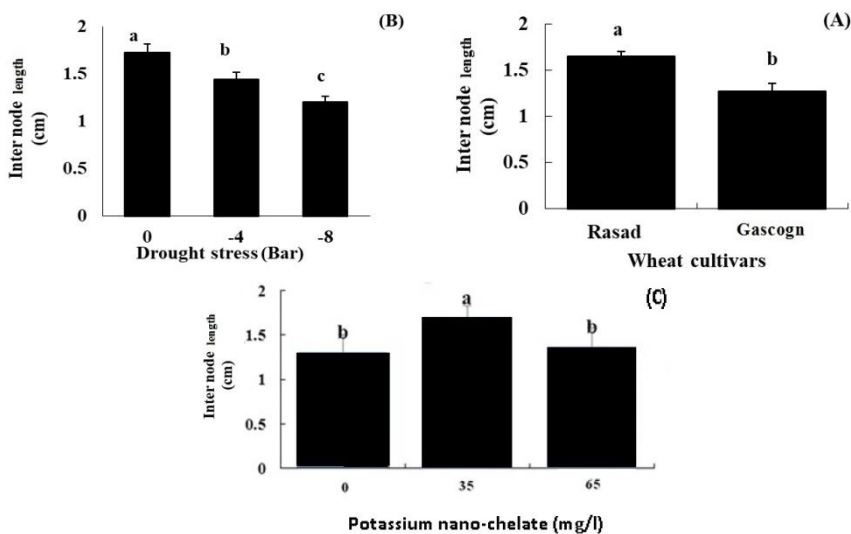
محلول‌پاشی نانو کلات پتاسیم موجب افزایش طول ریشه نسبت به شرایط کنترل شد، به طوری که با کاربرد ۶۵ میلی‌گرم بر لیتر نانو کلات پتاسیم، طول ریشه‌های گندم از ۱۵/۸ به ۱۷/۹۷ سانتی‌متر رسید. بررسی برهم-کنش رقم × تنش خشکی نشان داد که در رقم رصد،

طول میانگره

نتایج بررسی‌ها نشان داد که بیشترین طول میانگره به رقم رصد (۱/۶۵ سانتی‌متر) تعلق داشت (شکل ۹A). تنش خشکی موجب کاهش طول میانگره شد، به طوری که کمترین طول میانگره (۱/۲۰ سانتی‌متر) در تنش شدید و بیشترین آن (۱/۷۲ سانتی‌متر) در عدم تنش مشاهده شد (شکل ۹B). کاربرد ۳۵ میلی‌گرم بر لیتر نانوکلات پتاسیم، موجب بهبود طول میانگره‌ها شد،

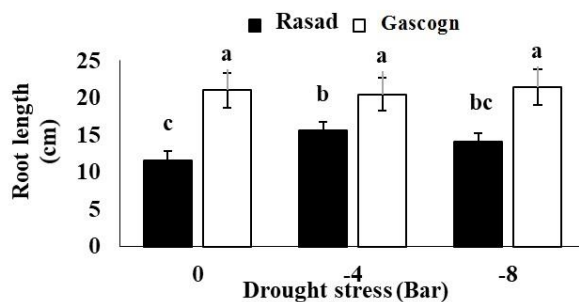
معنی داری نداشت (شکل ۱۰).

تنش ملایم (منفی چهار بار)، موجب افزایش طول ریشه شد، در حالی که طول ریشه در رقم گاسکوین تغییر



شکل ۹- تغییرات طول میانگه در ارقام گندم (A)، تنش خشکی (B) و کاربرد نانوکلات پتاسیم (C). حروف متفاوت در هر نمودار نشان دهنده اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد می باشد.

Figure 9. internode length changes in wheat cultivars (A), drought stress (B) and application of potassium nano-chelate (C). Different letters in the same graph represent significant difference at 5% level.



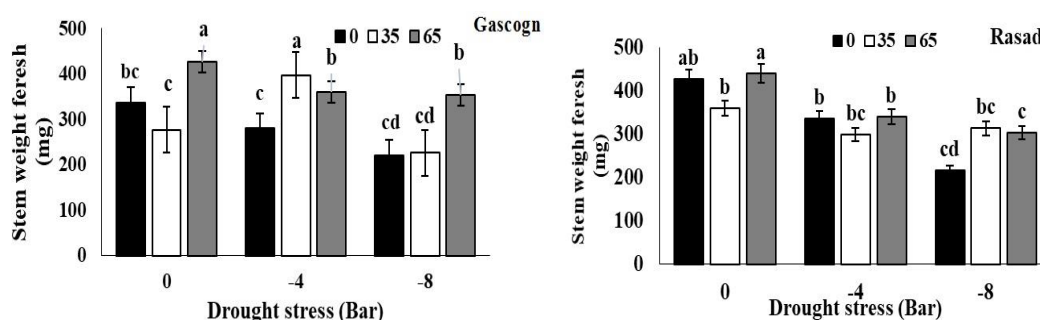
شکل ۱۰- اثر برهم کنش تنش خشکی × رقم بر تغییرات طول ریشه. حروف متفاوت در هر نمودار، نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح پنج درصد می باشد.

Figure 10 Interaction effects of drought stress × cultivar on root length changes. Different letters in the same graph represent significant difference at 5% level.

پتاسیم و تنش خشکی منفی هشت بار به دست آمد. در رقم گاسکوین تحت تنش منفی هشت بار، محلول پاشی ۶۵ میلی گرم در لیتر نانوکلات پتاسیم، بیشترین تأثیر را بر وزن تر ساقه نشان داد (شکل ۱۱). ترکیب تیماری تنش خشکی و نانوکلات پتاسیم نشان داد که محلول-پاشی ۳۵ میلی گرم بر لیتر نانو کلات پتاسیم در تنش منفی هشت بار، وزن خشک ساقه را افزایش داد (شکل ۱۲).

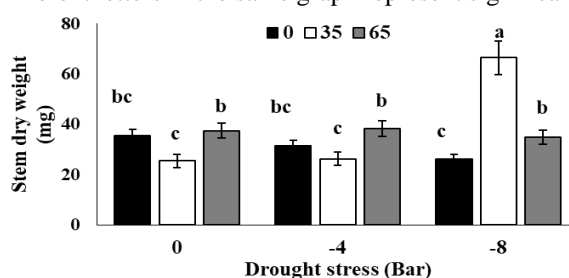
وزن تر و خشک ساقه

مقایسه میانگین اثرات سه جانبه نشان داد که در رقم رصد، تنش خشکی موجب کاهش وزن تر ساقه شد، اما کاربرد نانوکلات پتاسیم طی تنش، تا حدودی موجب جلوگیری از این کاهش وزن شد. بیشترین (۴۴۰ میلی-گرم) و کمترین (۲۱۶/۶ میلی گرم) مقدار وزن تر ساقه به ترتیب با مصرف ۶۵ میلی گرم بر لیتر نانو کلات



شکل ۱۱- اثر برهم‌کنش نانو کلات × تنش خشکی بر تغییرات وزن تر ساقه در رقم رصد (A) و گاسکوین (B). حروف متفاوت در هر نمودار، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد می‌باشد.

Figure 11. Interaction effects of nano-chelates × drought stress on stem weight changes in Rasad (A) and Gascogn (B) cultivars. Different letters in the same graph represent significant difference at 5% level.



شکل ۱۲- اثر متقابل نانوکلات × تنش خشکی بر تغییرات وزن خشک ساقه. حروف متفاوت در هر نمودار، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد می‌باشد.

Figure 12. Interaction effect of nano-chelates × drought stress on stem dry weight changes. Different letters in the same graph represent significant difference at the 5% level.

از آن‌جا که تنش خشکی یکی از مهم‌ترین موانع محیطی در برابر فتوسنتز است و محتوای کلروفیل برگ‌ها یکی از عوامل کلیدی در تعیین شدت فتوسنتز می‌باشد، بسیاری از مطالعات در رابطه با تنش خشکی، کاهش در میزان فتوسنتز و محتوای کلروفیل‌ها را نشان می‌دهند (Sajjadinia, 2010). تحت تنش خشکی، دستگاه فتوسنتزی آسیب می‌بیند، فتوسنتز مختل می‌شود و رنگدانه‌های فتوسنتزی کاهش می‌یابند (Waseem *et al.*, 2011). در تحقیق حاضر، غلظت کلروفیل a و b تحت تنش خشکی کاهش یافت که احتمالاً می‌تواند به دلیل فتواکسیداسیون کلروفیل‌ها، اختلال در تعادل بین تولید و حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن، تجمع گونه‌های فعال اکسیژن، القای تنش اکسیداتیو، اکسایش نوری رنگیزه‌ها، تخریب ساختارهای تیلاکوئید و کلروپلاست و در نهایت ممانعت از بیوسنتز کلروفیل‌های جدید و فعال شدن آنزیم‌های تجزیه‌کننده کلروفیل از جمله کلروفیلاز می‌باشد (Bybord *et al.*, 2010; Hafeez *et al.*, 2013; Hadi)

et al., 2017). با توجه به این‌که پتاسیم برای تثبیت CO₂ در کلروپلاست و برای حفظ فعالیت فتوسنتزی، افزایش غلظت کلروفیل، تولید و انتقال مواد فتوسنتزی نقش مهم و کلیدی ایفا می‌کند و با حفاظت آبی گیاه و جلوگیری از هدر رفتن آب، سبب افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش خشکی می‌شود (Kanai *et al.*, 2007)، احتمالاً با محلول‌پاشی نانوکلات پتاسیم در تنش منفی هشت بار، غلظت کلروفیل a و b افزایش یافت. طبق مطالعات Gholipour (2014) و Tavan *et al.* (2015) در تنش کم‌آبی شدید گندم، غلظت کلروفیل برگ به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد که با نتایج تحقیق حاضر در رابطه با کاهش محتوای کلروفیل کل تحت تنش شدید خشکی مطابقت داشت. در تحقیق حاضر، تنش خشکی موجب افزایش غلظت کاروتنوئیدها شد، به‌طوری‌که در شرایط کنترل، غلظت کاروتنوئیدها ۲/۷۲ میلی‌گرم بر گرم که تحت تنش شدید به ۳/۲۱ میلی‌گرم بر گرم رسید. افزایش کاروتنوئیدها تحت تنش خشکی ممکن است به دلیل محافظت از سلول‌های

می‌یابد؛ به‌خصوص در شرایطی که تنش خشکی در مراحل رشد ساقه صورت پذیرد، کاهش ارتفاع شدیدتر است. خشکی با کاهش تقسیم و طویل شدن سلول، موجب کاهش ارتفاع گیاه می‌شود (Davatgar *et al.*, 2012). کاهش ارتفاع اندام‌های هوایی مختلف در تنش شوری در مطالعات Gholipour (2014) و Tavan *et al.* (2015) گزارش شده است. در تحقیق حاضر، کاهش طول ساقه و برگ در رقم رصد تحت شرایط تنش، احتمالاً مربوط به کاهش پتانسیل آب و رشد طولی سلول، کاهش فتوسنتز و آسمیلات‌های فتوسنتزی می‌باشد. از آن‌جا که تحقیقات به نقش پتاسیم در حفظ پتانسیل آب سلول و کمک به جذب آب توسط گیاه اشاره دارند (Heydari & Asgharipour, 2012)؛ بنابراین ممکن است افزایش ارتفاع ساقه، طول میانگره و ریشه‌های ارقام رصد و گاسکون گندم به‌دلیل خاصیت حلالیت بیشتر، ریز بودن و جذب راحت نانو کلات پتاسیم به‌وسیله ریشه‌ها باشد. به‌طور معمول تنش خشکی باعث کوتاه شدن ارتفاع گیاه، کاهش رشد میان‌گره‌ها و ریشه می‌شود. در تحقیق حاضر، تنش خشکی موجب کاهش طول میانگره و طول ریشه شد و بیشترین و کمترین طول میانگره به رقم رصد (۱/۶۵ سانتی‌متر) و گاسکون (۱/۲۶ سانتی‌متر) تعلق داشت. برخی از پژوهشگران معتقدند که تنش‌های شدید رطوبتی برخلاف تنش‌های ملایم، موجب کاهش طول میان‌گره می‌شود و قسمت اعظم افت ارتفاع گیاه در شرایط تنش رطوبتی به همین امر مربوط می‌شود (Izanloo *et al.*, 2008). وقوع خشکی در مرحله رشد رویشی، منجر به کاهش رشد ریشه و تراکم آن می‌شود (Mahajan *et al.*, 2011) که با نتایج تحقیق حاضر در رابطه با رقم گاسکون مطابقت داشت. در تحقیق حاضر، محلول‌پاشی نانو کلات پتاسیم موجب افزایش طول ریشه نسبت به شرایط کنترل شد. عناصری مانند پتاسیم، منیزیم و روی، رشد ریشه را بهبود می‌بخشند که این عامل به نوبه خود باعث افزایش جذب آب به داخل گیاه می‌شود و به تنظیم عمل روزنه‌ها و افزایش مقاومت گیاه به خشکی کمک می‌نماید (Khademi & Asadi, 2011). در برخی از مطالعات نشان داده شده است که رشد ریشه نسبت به اندام‌های

گیاهی در برابر انرژی مازاد و یا تأثیر غیرمستقیم آن‌ها در کاهش تولید گونه‌های اکسیژن و در نتیجه افزایش مقاومت در برابر تنش اکسیداتیو باشد (Koyro, 2006)؛ بنابراین افزایش مقدار آن‌ها در شرایط تنش قابل پیش‌بینی می‌باشد (Groppa & Benavids, 2008). همچنین مصرف ۶۵ میلی‌گرم بر لیتر نانوکلات، موجب افزایش غلظت کلروفیل کل در شرایط تنش شد. به عبارتی، مصرف نانوکلات پتاسیم در شرایط تنش، موجب کاهش تأثیرات تنش شد و به دنبال آن موجب کاهش تخریب رنگدانه‌ها در طی تنش شده است. این مطالب با نتایج حاضر در رابطه با افزایش غلظت کاروتنوئیدها در رقم گاسکون با شدت تنش مطابقت داشت.

فلورسانس، انرژی نورانی است که اغلب از مولکول‌های کلروفیل در فتوسیستم II منعکس می‌شود (دو تا سه درصد انرژی جذب شده) (Slapakauskas & Ruzgas, 2005). Taghipour *et al.* (2014) گزارش کردند که تنش خشکی موجب کاهش فلورسانس حداکثر در گندم می‌شود که با نتایج تحقیق حاضر در رابطه با رقم رصد مطابقت دارد. همچنین Dadkhah *et al.* (2015) گزارش کردند که در گیاه نخود تحت شرایط کنترل شده، مقدار بیشینه فلورسانس بیشتری نسبت به شرایط کم‌آبی وجود داشت که با نتایج به‌دست آمده این تحقیق در رابطه با رقم گاسکون مطابقت دارد. بنابراین رقم گاسکون از عملکرد فتوسنتزی بالاتری نسبت به رقم رصد تحت تنش خشکی برخوردار است. Hosseinzadeh (2016) گزارش کردند که تحت تنش خشکی، کاهش نسبت Fv/Fm، شاخص بسیار مناسبی جهت ارزیابی بازدارندگی نوری در گیاهان است. Rahbarian (2012) دریافتند که با افزایش سطوح خشکی، نسبت Fv/Fm کمترین مقدار را نسبت به شرایط بدون تنش داشت که علت آن را تخریب مراکز واکنش فتوسیستم II تحت اثر خشکی بیان کردند. این یافته‌ها با نتایج تحقیق حاضر در رابطه با کاهش عملکرد کوآنتومی تحت خشکی شدید مطابقت داشت.

در شرایطی که گیاه تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد، به‌دلیل کاهش ساخت مواد فتوسنتزی و عدم انتقال عناصر از ریشه‌ها، ارتفاع بوته کاهش

با افزایش وزن خشک ساقه در تنش شدید منفی هشت بار طی مصرف ۶۵ میلی‌گرم بر لیتر نانو کلات پتاسیم مطابقت داشت.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی از نتایج حاصل چنین استنباط می‌شود که تنش خشکی، موجب کاهش غلظت کلروفیل a، b، کل، فلورسانس حداکثر و عملکرد کوانتومی شد، اما مقدار سنتز کاروتنوئیدها در برگ به علت نقش آن‌ها در حفاظت از ساختار کلروفیل‌ها در برابر اثرات تخریبی انواع اکسیژن فعال افزایش یافت. همچنین تنش خشکی موجب کاهش رشد قسمت‌های مختلف گیاه از جمله طول ساقه، میانگرمه و برگ و نیز وزن خشک ساقه شد، ولی بر وزن خشک ریشه تاثیر معنی‌داری نداشت. محلول‌پاشی با ۳۵ میلی‌گرم نانوکلات پتاسیم در لیتر، از طریق بهبود سیستم فتوسنتزی گیاه گندم، موجب افزایش تحمل گیاه در برابر تنش خشکی شد. در بین ارقام مورد بررسی رقم گاسکون در مقایسه با رقم رصد، واکنش مناسب‌تری از خود نشان داد که این می‌تواند نشان‌دهنده تحمل بیشتر این رقم نسبت به تنش خشکی باشد.

هوایی در خلال تنش و پس از آن افزایش می‌یابد (Bagg, 1980) که با نتایج به‌دست آمده در رابطه با افزایش طول ریشه در رقم رصد تحت تنش ملایم مطابقت دارد.

در بین ارقام مورد مطالعه، بیشترین (میانگین ۴۱/۴۱ میلی‌گرم) و کمترین مقدار وزن خشک ساقه (میانگین ۳۲/۴۲ میلی‌گرم) به ترتیب به رقم گاسکون و رصد تعلق داشت. در تحقیق حاضر، تنش خشکی موجب کاهش وزن تر و خشک ساقه شد. احتمالاً علت کاهش وزن خشک و تر اندام‌های گیاه تحت تنش خشکی، کاهش پتانسیل آب در منطقه ریشه گیاه، کاهش شدت فتوسنتز و پیری زودرس برگ‌ها می‌باشد (Kehinde *et al.*, 2008) از آن‌جا که عنصر پتاسیم با بهبود فتوسنتز گیاه موجب افزایش تولید آسیمیلایون کربن می‌شود و از این طریق بر افزایش وزن خشک ساقه تاثیر مثبت می‌گذارد، بنابراین در پژوهش حاضر کاربرد نانو کلات پتاسیم موجب افزایش وزن خشک ساقه شد. Tavan *et al.* (2015) افزایش وزن خشک ساقه گندم را در اثر کاربرد نانو کلات پتاسیم تحت تنش خشکی گزارش کردند که با نتایج به‌دست آمده تحقیق حاضر در رابطه

REFERENCES

1. Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23, 112–121.
2. Baghai, N. & Maleki Farahani, S. (2014). Comparison of Nano and micro Chelated iron fertilizers on quantitative yield and assimilates allocation of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Saffron Research*, 1, 156–169 (In Persian with English Abstract)
3. Baybordi, A. & Mamedov, G. (2011). Evaluation of application methods for efficiency of zinc and iron for Canola (*Brassica napus* L.). *Notulae Scientia Biologicae*, 2, 94-103.
4. Bagg, J. E. (1980). Morphological adaptations of leaves to water stress. In: Adaptation of plants to water and high temperature stress. *Plant Sciences*, 120, 66–68.
5. Chen, C., Jackson, G., Neill, K., Wichman, D., Johnson, G. & Johnson, D. (2005). Determining the feasibility of early seeding canola in the northern Great Plains. *Agronomy Journal*, 97, 1252-1262.
6. Davatgar, N., Neishabouri, M. R., Sepaskhah, A. R. & Soltani, A. (2012). Physiological and morphological responses of rice (*Oryza sativa* L.) to varying water stress management strategies. *International Journal of Plant Production*, 3, 19-32.
7. Djanaguiraman, M., Boyle, D. L., Welti, R., Jagadish, S. V. K. & Prasad, P. V. V. (2018). Decreased photosynthetic rate under high temperature in wheat is due to lipid desaturation, oxidation, acylation, and damage of organelles. *BMC. Plant Biology*, 18: 55.
8. Emam, Y. (2013). *Cereal Crops*. Shiraz University Press (In Persian)
9. Gholipour, Q. (2014). *Investigation of Drought Stress Resistance in Ten Advanced Wheat Cultivars and Lines*. M.Sc., University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
10. Groppa, M. D. & Benavides, M. P. (2008). Polyamines and abiotic stress: recent advances. *Amino Acids*, 34, 35–45.
11. Ghosh, P. K., Ajay, K. K., Bandyopadhyay, M. C., Manna, K. G. Mandal, A. K. & Hati, K. M. (2004). Comparative effectiveness of cattle manure, poultry manure, phosphocompost and fertilizer-NPK on three

- cropping system in vertisols of semi-arid tropics. II. Dry matter yield, nodulation, chlorophyll content and enzyme activity. *Bioresource Technology*, 95, 85–93.
12. Heydari, M. & Asgharipour, M. R. (2012). Effect of different amounts of potassium sulfate on yield and yield components of sorghum seed under drought stress. *Iranian Journal of Field Crop Research*, 371-384.
 13. Hadi, H., Seyed Sharifi, R. & Namvar, A. (2017). *Phytoprotectants and abiotic stresses*. Urmia University Press, 341 pp. (In Persian).
 14. Hafeez, B., Khanif, Y. M. & Saleem, M. (2013). Role of zinc in plant nutrition- a review. *American Journal of Experimental Agriculture*, 3, 374-391.
 15. Hosseinzadeh, S. R., Amiri, H. & Ismaili, A. (2016). Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Photosynthetica*, 54, 87-92 (In Persian with English Abstract)
 16. Izanloo, A., Condon, A. G., Langridge, P., Tester, M. & Schnurbusch, T. (2008). Different mechanisms of adaptation to cyclic water stress in two south Australian bread wheat cultivars. *Journal of Express Botany*, 59, 3327-3346.
 17. Joudi, M., Ahmadi, A. Mohammadi, V. Abbasi, A. & Mohammadi, H. (2014). Genetic changes in agronomic and phenologic traits of Iranian wheat cultivars grown in different environmental conditions. *Euphytica*, 196, 237–249 (In Persian with English Abstract).
 18. Khan, S. U., Gurmani, A. R. Qayyum, A. & Khan. H. (2013). Heat tolerance evaluation of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes based on some potential heat tolerance indicators. *Journal of The Chemical Society of Pakistan*, 35, 647–653.
 19. Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, R., Sedghi, M. & Barmaki, M. (2016). Effect of zinc and biofertilizers on antioxidant enzymes activity, chlorophyll content, soluble sugars and proline in *Triticale* under salinity condition. *Notulae Botanicae Horticulture Agrobotanici Cluj-Napoca*, 44, 116-124.
 20. Kanai, S., Ohkura, K., Adu-Gyamfi, J., Mohapatra, P., Saneoka, H. & Fujita, K. (2007). Depression of sink activity precedes the inhibition of biomass production in tomato plants subjected to potassium deficiency stress. *Journal of Express Botany*, 58, 2917-2928.
 21. Kehinde, O., Yekale, O., Isaac, O. D., Alpha, Y. K., Adegoke, E. A. & Michel, O. A. (2008). Evaluation of tropical maize by brides under drought stress. *Journal of Agricultural and Environmental*, 6, 260–264.
 22. Koyro, H. W. (2006). Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of potential cash crop halophyte (*Plantago coronopus* L.). *Environmental and Experimental Botany*, 56, 136-149.
 23. Mahajan, P., Dhoke, S. K. & Khanna, A. S. (2011). Effect of Nano-ZnO particle suspension on growth of mung (*Vigna radiate*) and Gram (*Cicer arietinum*) seedlings using plant agar method. *Journal of Nanotechnology*, 1-7.
 24. Pagter, M., Bragato, C. & Brix, H. (2005). Tolerance and physiological responses of *Phragmites australis* to water deficit. *Aquatic Botany*, 81, 285-299.
 25. Rahbarian, R., Khavari-nejad, R., Ganjeali, A., Bagheri A. R. & Najafi, F. (2012). Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water relations in tolerant and susceptible chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. *Acta Biologica Cracoviensia*, 53, 47-56.
 26. Solanki, P., Bhargava, A., Chhipa, H., Jain, N. & Panwar, J. (2015). Nano- fertilizers and delivery system. *Nanotechnologies in Food and Agriculture*, Pp: 81-101.
 27. Shetabi, E. (2016). *The paper examines the effect of drought stress on plants*, International Conference on New Horizons in the Agricultural Sciences, Natural Resources and Environment (In Persian)
 28. Shabala, S. & Cuin, T.A. (2008). Potassium transport and plant salt tolerance. *Plant Physiology*, 133, 651–69.
 29. Sajjadinia, A., Ershadi, A., Hokmabadi, H., Khayyat, M. & Gholami, M. (2010). Gas exchange activities and relative water content at different fruit growth and developmental stages of on and off cultivated pistachio trees. *American Journal of Agricultural Economics*, 1, 1–6.
 30. Slapakauskas, V. & Ruzgas, V. (2005). Chlorophyll fluorescence characteristics of different winter wheat varieties (*Triticum aestivum* L.). *Agronomy Research*, 3, 203-209.
 31. Sankar, B., Abdul Jaleel, C., Manivannan, P., Kishore Kumar, A., Somasundaram, R. & Panneerselvam, R. (2008). Relative efficiency of water use in five varieties of (*Abelmoschus esculentus* L.) Moench Under water limited conditions. *Colloids and Surfaces B: Bio. Inter.* 62, 125-129.
 32. Tavan, T., Niyakan, M. & Nurinia, A. (2014). Effect of nano-potassium fertilizer on growth factors, photosynthetic system and protein content of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Iranian Journal of Plant*

- Ecophysiology*, 53, 71-61 (In Persian with English Abstract)
33. Taghipour, Z., Asghari Zakaria, R., Zare, N. & Shaikh Zadeh, P. (2014). Evaluation of drought stress tolerance in several populations of *Aegilops triuncialis* based on some physiological characteristics. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, 22, 55-66 In Persian with English Abstract)
34. Vattani, H., Keshavarz, N. & Baghaei, N. (2012). Effect of sprayed soluble different levels of iron chelate nano fertilizer on nutrient uptake efficiency in two varieties of spinach (Varamin 88 and Virofly). *The International Research Journal of Applied and Basic Sciences (IRJABS)*.
35. Waseem, M., Ali, A., Tahir, M., Nadeem, M. A., Ayub, M., Tanveer, A., Ahmad, R. & Hussain, M. (2011). Mechanism of drought tolerance in plant and its management through different methods. *Continental Journal of Agricultural Science*, 5, 10-25.
- Zheng, Y., Aijun, J., Tangyuan, N., Xud, J., Zengjia, L. & J. Gaoming, (2008). Potassium nitrate application alleviates sodium chloride stress in winter wheat cultivars differing in salt tolerance. *Journal of Plant Physiology*, 165, 1455-1465